

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

Физико-технический факультет



УТВЕРЖДАЮ:

Декан ФТФ

Ю.Н. РЫЖИХ

06

20 22 г.

Рабочая программа дисциплины

**Теория нелинейных динамических систем**

по направлению подготовки

**15.04.03 Прикладная механика**

Направленность (профиль) подготовки :

**Механика биокomпозитов, получение и моделирование их структуры и свойств**

Форма обучения

**Очная**

Квалификация

**Магистр**

Год приема

**2022**

Код дисциплины в учебном плане: Б1.В.ДВ.04.01

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОПОП

Е.С. Марченко

Председатель УМК

В.А. Скрипняк

Томск – 2022

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

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

– ПК-2 – Способен самостоятельно выполнять научные исследования в области прикладной механики, решать сложные научно-технические задачи, которые для своего изучения требуют разработки и применения математических и компьютерных моделей, применения программных систем мультидисциплинарного анализа (CAE-систем мирового уровня);

– ПК-4 – Способен применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИПК 2.1 Знать: математические и компьютерные модели, программные системы мультидисциплинарного анализа (CAE-системы мирового уровня), используемые для решения поставленных научно-технических задач.

ИПК 2.2 Уметь самостоятельно выполнять научные исследования в области прикладной механики, решать сложные научно-технические задачи, которые для своего изучения требуют разработки и применения математических и компьютерных моделей, применения программных систем мультидисциплинарного анализа (CAE-систем мирового уровня).

ИПК 2.3 Владеть навыками самостоятельного выполнения научных исследований в области прикладной механики, решения сложных научно-технических задач.

ИПК 4.1 Знать физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования, применяемые в процессе профессиональной деятельности.

ИПК 4.2 Уметь применять физико-математический аппарат, теоретические, расчетные и экспериментальные методы исследований, методы математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности.

ИПК 4.3 Владеть навыками применения физико-математического аппарата, теоретических, расчетных и экспериментальных методов исследования, методов математического и компьютерного моделирования в процессе профессиональной деятельности.

## **2. Задачи освоения дисциплины**

– Познакомить с теорией динамических систем и нелинейной динамикой в приложении к задачам физики живых систем;

– Познакомить с законами эволюции природных, экономических, социальных и технических систем.

– Научить применять методы и полученные знания общетеоретического характера к анализу состояния и оценки устойчивости конкретной исследуемой динамической системы;

– Научить формулировать задачу изучения состояния динамической системы как задачу ее эволюции в полях действующих сил, уметь выбирать критерии оценки текущего состояния динамической системы и ее близости к критическому состоянию;

– Научить использовать для решения научно-технических проблем эволюции различных систем современные методы анализа, их состояния и прогноза возможных катастрофических явлений.

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

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор.

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

Первый семестр, зачет

Второй семестр, зачет

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

Для успешного освоения дисциплины требуются компетенции, сформированные в ходе освоения образовательных программ предшествующего уровня образования.

### **6. Язык реализации**

Русский

### **7. Объем дисциплины**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 з.е., 180 часов, из которых:

-лекции: 22 ч.

-практические занятия: 34 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

### **8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам**

Тема 1. Введение. Что такое нелинейная динамика?

Общее определение динамической системы. Нелинейное мышление Мандельштама. Предмет нелинейной динамики. Эволюция взглядов на динамические системы: от работ А. Пуанкаре до идей И. Пригожина, работ А.Н. Колмагорова, С.П. Курдюмова, Г. Хакена и современной математической теории нелинейных динамических систем.

Тема 2. Общие принципы и законы эволюции нелинейных динамических систем

Математический маятник, нерегулярные хаотические колебания маятника. Роль информации в эволюции динамической системы. Принципиальное существование горизонта прогноза эволюции любых динамических систем.

Тема 3. Самоорганизация в нелинейных динамических системах

Ячейки Бинары, химические реакции Белоусова-Жаботинского. Ключевые идеи И. Пригожина о фундаментальных механизмах самоорганизации. Когда выгодны флуктуации? Неравновесность, необратимость, неустойчивость. Порядок через флуктуации.

Тема 4. Хаос и порядок.

Детерминированный хаос. Пути проникновения в хаос. Динамика Ферхюльста (модель роста популяции). Равновесное поведение и переход от порядка к хаосу. Аттрактор Лоренса.

Тема 5. Фрактальная геометрия природы Бенуа Мандельброта.

Понятие фрактала. Фрактальная геометрия – отказ от требования гладкости. Простейшие примеры фракталов (канторова пыль, фракталы Коха, салфетки Серпинского, дерево Пифагора). Стохастические фракталы. Фракталы в природе, геосреды и геоматериалы как природные фракталы.

Тема 6. Теория режимов с обострением

Стадии разрушения, переход от медленной квазистационарной стадии накопления повреждений к сверхбыстрому автокаталитическому (катастрофическому) режиму

разрушения. Пространственная локализация деформации сменяется локализацией процесса во времени.

Тема 7. Принципы многомасштабности и иерархичности в структурной организации твердых тел.

Твердые тела – типичные нелинейные динамические системы. Масштабы разрушения, универсальный принцип фрактальной делимости твердых тел и сред. Самоподобие и автомодельность процесса разрушения во всей иерархии масштабов.

Тема 8. Нелинейные волны

Ударные волны. Механизмы формирования ударной волны. Соотношения Ренкина-Гюгонио. Понятие ударной адиабаты. Солитоны (уединенные волны).

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

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости и путем опроса нескольких студентов в течение каждой лекции и практики по материалам предыдущих занятий, выполнения индивидуального задания и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр. Индивидуальные задания готовятся в форме презентации и являются как комбинацией общего материала по дисциплине, так и индивидуального опыта, специфики научно-исследовательского направления обучающегося, а также материала по конкретной тематике индивидуального задания.

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

Баллы, выставленные за выполнение индивидуальных заданий и текущий контроль знаний, непосредственно влияют на оценку промежуточной аттестации.

Образец индивидуальных заданий:

Подготовить презентацию и доклад на тему «Фундаментальные законы эволюции нелинейных динамических систем на примере модели роста населения Земли». В работе кратко изложить традиционные демографические подходы к прогнозу численности населения. Изложить модель роста населения Земли С.П. Капицы, основанную на идеях нелинейной динамики. Осветить вопрос как модель отражает фундаментальные законы эволюции нелинейных динамических систем, связать эти идеи с задачами темы НИР, которой Вы занимаетесь или занимались при выполнении курсовых и выпускных квалификационных работ. Это могут быть статьи в журналах, в Интернете и т.п. с обязательной ссылкой на первоисточник в списке литературы.

Выполнение индивидуальных заданий по дисциплине проверяет сформированность ИПК – 2.2., ИПК – 2.3., ИПК– 4.2., ИПК– 4.3.

Промежуточная аттестация в первом и втором семестрах проводится в виде письменного зачета. Зачет проводится по билетам. Билет состоит из двух вопросов из разных разделов курса. Вопросы зачета проверяют сформированность ИПК – 2.1., ИПК – 4.1.

Примерный перечень теоретических вопросов:

- 1 Понятие динамической системы.
2. Перечислить основные характерные черты эволюционных сценариев любых динамических систем.
3. Роль нелинейности в эволюционном процессе.
4. Идея И. Пригожина «порядок из хаоса».
5. Общее понятие самоорганизации (понятие самоорганизации по Г. Хакину).
6. Ячейки Бинара и реакции Белоусова-Жаботинского как примеры самоорганизации.
7. Роль информации в эволюционном процессе. Примеры эволюционного обмена в физических и природных процессах.
8. Информационный обмен в процессах эволюции НДС нагружаемых твердых тел.
9. Динамика Ферхюльста.
10. Открытие динамического хаоса. Уравнения Э. Лоренца.

11. Качественные признаки хаоса.
12. Количественные меры хаоса.
13. Понятие фрактала. Канторова пыль, снежинка Коха, ковры Серпинского, дерево Пифагора.
14. Геометрия природы Б. Мандельброта.
15. Понятие фрактальной размерности.
16. Размерность Хаусдорфа-Безиковича.
17. Понятие аттрактора. Атрактор Э. Лоренца.
18. Универсальный принцип фрактальной делимости твердых тел.
19. Уравнения математической теории эволюции нагружаемых твердых тел.
20. Роль положительных и отрицательных обратных связей в эволюционном процессе.
21. Отрицательная и положительная обратные связи в процессах эволюции НДС нагружаемых твердых тел.
22. Понятие ударной волны.
23. Ударная диабата (определение и уравнения).
24. Понятие произвольного разрыва. Соотношения Ренкина-Гюгонио.
25. Общее понятие солитона. Уравнение Шрёдингера и Кортевега-ДеФриса.

Количество баллов за промежуточную аттестацию определяется как средний балл выставленный за все этапы (зачет/зачет с оценкой, индивидуальные задания, проверка теоретических знаний на лекциях).

Результаты промежуточной аттестации определяются оценками «зачтено», «не зачтено» для зачета и оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно» для зачета с оценкой и проставляются в зависимости от количества набранных баллов.

Соответствие оценок полученным баллам представлено в таблице:

неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	отлично
0 – 59 баллов	60 – 73 баллов	74 – 87 баллов	88 – 100 баллов
<b>не зачтено</b>		<b>зачтено</b>	

Оценка «зачтено» свидетельствует об успешном достижении магистрантами результатов обучения по дисциплине: ИПК – 2.1, ИПК – 2.2., ИПК – 2.3., ИПК – 4.1., ИПК– 4.2., ИПК– 4.3.

### 11. Учебно-методическое обеспечение

- а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <http://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=22410> (первый семестр)  
<http://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=24742> (второй семестр)
- б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.
- в) План практических занятий по дисциплине.
- г) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

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

- а) основная литература:
  - Кащенко С. А. Динамика моделей на основе логистического уравнения с запаздыванием / С. А. Кащенко. - Москва : Красанд, 2020. - 573 с.: ил. - ( Синергетика: от прошлого к будущему ;N 102: )
  - Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой. – М.: УРСС, 2014. – 431 с.

– Голицын Г.С. Статистика и динамика природных процессов и явлений. Методы, инструментарий, результаты/ Г.С. Голицын.–М: Красанд, 2013.– 400 с.

б) дополнительная литература:

– Пелюхова, Е.Б. Синергетика в физических процессах: самоорганизация физических систем. [Электронный ресурс] / Е.Б. Пелюхова, Э.Е. Фрадкин. — Электрон. дан. — СПб.: Лань, 2011. — 448 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/649>

– Синергетика и проблемы теории управления. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — М.: Физматлит, 2004. — 504 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/59320>

– Нелинейная механика. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — М.: Физматлит, 2001. — 432 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/59276>

– Шелухин, О.И. Самоподобие и фракталы. Телекоммуникационные приложения. [Электронный ресурс] / О.И. Шелухин, А.В. Осин, С.М. Смольский. — Электрон. дан. — М.: Физматлит, 2008. — 368 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/2307>

– Багдоев, А.Г. Линейные и нелинейные волны в диспергирующих сплошных средах. [Электронный ресурс] / А.Г. Багдоев, В.И. Ерофеев, А.В. Шекоян. — Электрон. дан. — М.: Физматлит, 2009. — 320 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/2665> — Загл. с экрана.

– Ерофеев, В.И. Волны в стержнях. Дисперсия. Диссипация. Нелинейность. [Электронный ресурс] / В.И. Ерофеев, В.В. Кажаяев, Н.П. Семерикова. — Электрон. дан. — М.: Физматлит, 2002. — 208 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/59310> — Загл. с экрана.

– Молотков, И.А. Аналитические методы в теории нелинейных волн. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — М.: Физматлит, 2003. — 208 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/59356> — Загл. с экрана.

– Режимы с обострением: эволюция идеи. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — М.: Физматлит, 2006. — 312 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/59453> — Загл. с экрана.

– Макаров П.В. Об иерархической природе деформации и разрушения твердых тел и сред // Физ. мезомех. – 2004. – Т.7. – №4. – С. 25–34.

– Макаров П.В. Нагружаемый материал как нелинейная динамическая система. Проблема моделирования // Физ. мезомех. – 2005. – Т.8. – №6. – С. 39–56.

– Капица С.П., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г. Синергетика и прогнозы будущего. — М.: УРСС, 2003. — 342 с. [http://www.e-reading.club/bookreader.php/108302/Капица - Синергетика i prognozy buduschego.html](http://www.e-reading.club/bookreader.php/108302/Капица_-_Синергетика_i_prognozy_buduschego.html)

в) ресурсы сети Интернет:

– SpringerLink [Electronic resource] / Springer International Publishing AG, Part of Springer Science+Business Media. — Electronic data. — Cham, Switzerland, [s. n.]. — URL: <http://link.springer.com/> (Электронный ресурс SpringerLink: <http://link.springer.com/> ;).

– Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU [Электронный ресурс]. — Электрон. дан. — М., 2000- . — URL: <http://elibrary.ru/defaultx.asp?;>

– ScienceDirect [Electronic resource] / Elsevier B.V. — Electronic data. — Amsterdam, Netherlands, 2016. — URL: <http://www.sciencedirect.com/>

– Электронная библиотека ТГУ: <http://www.lib.tsu.ru/ru;>

### **13. Перечень информационных технологий**

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

– Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);

– публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).

б) информационные справочные системы:

- Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ –  
<http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>
- Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ –  
<http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>
- ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>
- ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>
- Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>
- ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>
- ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

в) профессиональные базы данных:

- Научная электронная библиотека – [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru)
- База данных по материаловедению Springer Materials – [www.materials.springer.com](http://www.materials.springer.com)
- Библиотека журналов издательства John Wiley & Son и др., например, Wiley Online Library – [www.onlinelibrary.wiley.com](http://www.onlinelibrary.wiley.com)
- Коллекции журналов Sage по естественным, техническим наукам и медицине – [www.online.sagepub.com](http://www.online.sagepub.com)
- Политематическая база данных издательства Elsevier – [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com).

#### **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.

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

Макаров Павел Васильевич, доктор физико-математических наук, профессор кафедры прочности и проектирования физико-технического факультета.