

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

Механико-математический факультет

УТВЕРЖДАЮ:  
Декан  
Л. В.Гензе

Рабочая программа дисциплины

**Механика деформируемого твердого тела**

по направлению подготовки

**01.04.03 Механика и математическое моделирование**

Направленность (профиль) подготовки:  
**Механика жидкости, газа и нефтегазотранспортных систем**

Форма обучения  
**Очная**

Квалификация  
**Магистр**

Год приема  
**2024, 2025**

Код дисциплины в учебном плане: Б1.В.3.ДВ.03.02

СОГЛАСОВАНО:  
Руководитель ОП  
А.М.Бубенчиков

Председатель УМК  
Е.А.Тарасов

Томск – 2024

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

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ПК-1 Способен самостоятельно решать исследовательские задачи в рамках реализации научного (научно-технического, инновационного) проекта.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИПК 1.1 Проводит исследования, направленные на решение отдельных исследовательских задач

ИПК 1.2 Определяет способы практического использования научных (научно-технических) результатов

ИПК 1.3 Осуществляет наставничество в процессе проведения исследований

## **2. Задачи освоения дисциплины**

– Освоить математический аппарат постановки задачи для численного моделирования методом конечных элементов задач определения напряженного состояния элементов конструкций.

– В рамках сформулированной постановки задачи научиться формировать однозначно граничные условия, соответствующие условиям нагружения, обрабатывать и интерпретировать полученные результаты, вырабатывать рекомендации для решения практических задач в профессиональной деятельности.

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

Дисциплина относится к Блоку 1 «Дисциплина (модули)».

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**

Третий семестр, экзамен

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

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: математический анализ, дифференциальные уравнения, программирование, механика сплошной среды.

## **6. Язык реализации**

Русский

## **7. Объем дисциплины**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 з.е., 216 часов, из которых:  
-лекции: 32 ч.

-практические занятия: 32 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

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

Тема 1. Основные элементы МДТТ и законы сохранения – массы, импульса, моментов импульсов и энергии.

Роль законов сохранения массы, импульса, моментов импульсов и энергии в МДТТ. Выполнение законов сохранения в уравнениях неразрывности, движения и в уравнениях состояния.

Тема 2. Общая теория деформаций, общая теория напряжений.

**Соотношения между компонентами различных тензоров деформаций. Соотношения между компонентами различных тензоров напряжений.**

Тема 3. Формулировка задач теории упругости.

Частные случаи решения задач в рамках теории упругости – в трехмерной постановке, в рамках приближений плоского напряженного состояния и плоской деформации. Формулировка задач теории упругости в оболочечных конструкциях.

Тема 4. Метод конечных элементов.

Алгоритмы решения задач теории упругости на ЭВМ с применением различных разностных схем. Статический и динамический методы конечных элементов. Постановки задач в рамках теории упругости для статических и динамических условий нагружения.

Тема 5. Законы распространения и отражения упругих волн.

Распространение упругих продольных и поперечных волн в безграничном пространстве. Распространения волн Похгаммера в стержнях. Законы отражения продольных волн от границ, разделяющих среды с различными акустическими импедансами. Акустическое согласование сред.

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

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, проведения контрольных работ, выполнения домашних заданий и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр. В рамках проведения контрольной точки суммируются результаты контрольной точки и выполнения заданий на практических занятиях в компьютерном классе.

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

Экзамен в третьем семестре проводится в устной форме по билетам. Экзаменационный билет состоит из двух теоретических вопросов. Продолжительность экзамена 1,5 часа. Вопросы экзаменационного билета отвечают проверке формирования компетенции ПК-1 и отражать достижение индикаторов ИПК 1.1, ИПК 1.2, ИПК 1.3.

Результаты экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Контроль посещаемости влияет на 10% на оценку при проведении промежуточной аттестации. Оценка «отлично» ставится при прохождении промежуточной аттестации, дан правильный и развернутый ответ на вопрос. Студент четко и логично изложил свой ответ на поставленный в тесте вопрос.

Оценка «хорошо» ставится в случае при прохождении промежуточной аттестации, если дан правильный ответ на вопрос, но не все изложено развернуто и логически структурировано.

Оценка «удовлетворительно» ставится в случае, если в целом дан правильный ответ на вопрос, но он изложен поверхностно и с нарушением логики изложения.

Оценка «неудовлетворительно» ставится в случае, если ответ представлен очень поверхностно и с нарушением логики изложения, студент очень плохо владеет основными моделями и концепциями, допущены существенные терминологические и фактические ошибки.

Примерный перечень теоретических вопросов

1. Основные гипотезы и определения в механике сплошных сред (МСС).
2. Переменные Лагранжа и Эйлера.
3. Законы сохранения, используемые в МСС: закон сохранения массы, энергии, импульса и момента импульса.

4. Основные уравнения МДТТ, используемые в задачах ТУ: уравнение неразрывности, уравнение движения упругой среды, уравнение моментов количества движения.
5. Тензоры в 3-мерном евклидовом пространстве.
6. Общая теория деформаций.
7. Объемная деформация.
8. Тензор скоростей деформации в переменных Лагранжа и Эйлера.
9. Общая теория напряжений.
10. Главные оси тензора напряжений.
11. Наибольшие касательные напряжения.
12. Разложение энергии упругой деформации на энергию изменения объема и энергию изменения формы.
13. Разложение тензоров полных напряжений и полных деформаций на шаровые и девиаторные части.
14. Дифференцирование напряжений по времени.
15. Геометрически нелинейные задачи.
16. Формулировка задачи теории упругости.
17. Потенциал напряжений.
18. Уравнения теории упругости в перемещениях и напряжениях.
19. Плоская задача теории упругости.
20. Алгоритм решения плоских задач теории упругости на ЭВМ.
21. Пространственные задачи теории упругости.
22. Сосредоточенная сила в изотропной неограниченной упругой среде. Принцип Сен-Венана.
23. Деформация оболочек.
24. Контактная задача.
25. Динамические задачи теории упругости.
26. Постановка динамических задач теории упругости.
27. Распространение плоских волн в неограниченной упругой среде.
28. Распространение волн в стержнях.
29. Отражение упругих волн от свободной границы.
30. Метод конечных элементов (МКЭ).
31. Алгоритм МКЭ. Построение матрицы жесткости системы.
32. Аппроксимация перемещений в конечном элементе.
33. Функции формы в конечном элементе.
34. Динамический МКЭ. Разностная схема динамического МКЭ.
35. Моментная теория упругости.
36. Изотропные и анизотропные среды. Соотношения теории упругости для анизотропных сред.

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

- а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «IDo» - <https://lms.tsu.ru/course/view.php?id=7182>
- б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.
- в) План практических занятий по дисциплине

- Введение в Ansys Workbench, основы геометрических построений (2 часа)
- Простые модельные задачи статики (нагруженная балка с вариантами опор) (4 часа)
- Численная оценка коэффициента Пуассона при растяжении и сжатии тел (2 часа)
- Концентрация напряжений – круговой вырез, эллиптический вырез, влияние граничных условий (4 часа)
- Задача о штампе, точные решения для анизотропных сред и сравнение и расчетами (4 часа)
  - Работа с инструментом Fracture , расчет основных характеристик механики разрушения (J-интеграл, коэффициенты трещиностойкости) (4 часа)
  - Элементы динамики соударения в задаче «боёк» - «преграда», качественный анализ влияния поведения материала бойка и преграды на результат расчета. (6 часов)
  - Сопряженная задача: расчет конечного деформирования стенок разветвленной системы трубопровода при протекании высокотемпературной жидкости (6 часов)

г) Бруяка В.А. - Инженерный анализ в Ansys Workbench. Учебное пособие. Часть 1 - 2010

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

1. Димитриенко Ю. И. Нелинейная механика сплошной среды. М.: Физматлит, 2010
- . 2. Победря Б.Е., Георгиевский Д.В. Основы механики сплошной среды. М.: Физматлит, 2006 13
3. Численные методы в механике сплошных сред [Электронный ресурс] / Кукуджанов В.Н. — Электрон. дан. — М.: Научно-образовательный сайт MechMath, 2017. — Режим доступа: <http://mechmath.ipmnet.ru/lib/?s=numerics>, свободный. — Загл. с экрана.
4. Тензорный анализ. Теория и применения в геометрии и в механике сплошных сред [Электронный ресурс] / Сокольников И.С. — Электрон. дан. — М.: Научнообразовательный сайт MechMath, 2017. — Режим доступа: <http://mechmath.ipmnet.ru/lib/?s=numerics>, свободный. — Загл. с экрана.
5. Риманова геометрия и тензорный анализ [Электронный ресурс] / Рашевский П.К. — Электрон. дан. — М.: Научно-образовательный сайт MechMath, 2017. — Режим доступа: <http://mechmath.ipmnet.ru/lib/?s=numerics>, свободный. — Загл. с экрана.
6. Прикладная теория упругости [Электронный ресурс] / Дудяк А.И., Сахнович Т.А. — Электрон. дан. — М.: Научно-образовательный сайт nashol.com, 2017. — Режим доступа: <http://nashol.com/2014072379125/prikladnaya-teoriya-uprugosti-dudyak-a-isahnovich-t-a-2010.html>, свободный. — Загл. с экрана.
7. Акивис М.А., Гольдберг В.В. Тензорное исчисление: учебное пособие. М.: Физматлит, 2011 .

### **б) дополнительная литература:**

1. Теория упругости. Основы линейной теории и ее применения [Электронный ресурс] / Хан Х. — Электрон. дан. — М.: Научно-образовательный сайт "Библиотека Машиностроителя", 2017. — Режим доступа: <https://lib-bkm.ru/12566>, свободный. — Загл. с экрана.
2. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости. М.:Наука, 1979. 37 экз
3. Прикладная теория пластичности и ползучести [Электронный ресурс] / Малинин Н.Н. — Электрон. дан. — М.: Научно-образовательный сайт dwg.ru, 2017. — Режим доступа: <https://dwg.ru/dnl/6393>, свободный. — Загл. с экрана.
4. Горшков А.Г., Старовойтов Э.И., Тарлаковский Д.В. Теория упругости и пластичности. М.: Наука,2002.
5. Основы теории пластичности [Электронный ресурс] / Качанов Н.М. — Электрон. дан. — М.: Научно-образовательный сайт "Библиотека Машиностроителя", 2017. — Режим доступа: <https://lib-bkm.ru/11052>, свободный. — Загл. с экрана.

6. Математическая теория пластичности [Электронный ресурс] / Ишлинский А.Ю., Ивлев Д.Д. — Электрон. дан. — М.: Научно-образовательный сайт nashol.com, 2017. — Режим доступа: <http://nashol.com/2014072179066/mathematicheskaya-teoriya-plastichnostiishlinskii-a-u-ivlev-d-d-2001-2003.html>, свободный. — Загл. с экрана.

- б) ресурсы сети Интернет:  
– открытые онлайн-курсы

### **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/>

### **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.

#### **314 ауд.**

Интерактивный набор (доска InterWrite, экран, 2 проектора EPSON)

16 Компьютеров

Свободное и лицензионное программное обеспечение:

- операционные системы: Microsoft Windows 10.
- офисные и издательские пакеты: Microsoft Office 2013, MikTeX+ TeXstudiiio, Libre Office.
- средства разработки приложений и СУБД: Microsoft Visual Studio 2015.
- пакеты для решения задач вычислительной гидродинамики: Ansys 17.2, Fluent 6.3 + Gambit.
- утилиты 7zip, Adobe Acrobat Reader, DjVu Reader, Far manager, Mozilla Firefox, Notepad++.

#### **316 ауд.**

Интерактивный набор (доска InterWrite, экран, 2 проектора EPSON)

16 Компьютеров

- операционные системы: Microsoft Windows 10.

• офисные и издательские пакеты: Microsoft Office 2013, MikTeX+ TeXstudiiio, Libre Office.

• средства разработки приложений и СУБД: Microsoft Visual Studio 2015.

• пакеты для решения задач вычислительной гидродинамики: Ansys 17.2, Fluent 6.3 + Gambit.

• утилиты 7zip, Adobe Acrobat Reader, DjVu Reader, Far manager, Mozilla Firefox, Notepad++.

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**

Кривошеина Марина Николаевна, д.ф.-м.н., доцент, кафедра физической и вычислительной механики ММФ ТГУ, профессор,

Немирович-Данченко Михаил Михайлович, д.ф.-м.н., - (без звания), кафедра физической и вычислительной механики ММФ ТГУ, профессор