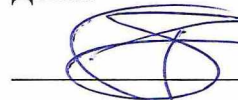


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Механико-математический факультет

УТВЕРЖДАЮ:

Декан



Л. В. Гензе

« 30 » 06 20 22 г.

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

**2022**

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

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП



А.М. Бубенчиков

Председатель УМК



Е.А. Тарасов

Томск – 2022

## **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 «Moodle»  
- <https://moodle.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) Бруйка 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/matematicheskaya-teoriya-plastichnostiishlinskii-a-u-ivlev-d-d-2001-2003.html>, свободный. — Загл. с экрана.

- в) 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+ TeXstudio, 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+ TeXstudio, 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