

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

Физико-технический факультет

УТВЕРЖДЕНО:

Декан

Ю.Н. Рыжих

Рабочая программа дисциплины

**Механика деформируемого твердого тела и методы вычислений**

по направлению подготовки

**15.03.03 Прикладная механика**

Направленность (профиль) подготовки:

**Компьютерный инжиниринг конструкций, биомеханических систем и материалов**

Форма обучения

**Очная**

Квалификация

**Инженер, инженер-разработчик**

Год приема

**2025**

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОПОП

В.А. Скрипняк

Е.С. Марченко

Председатель УМК

В.А. Скрипняк

Томск – 2025

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

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций: профессиональной деятельности, привлекать для их решения физико-математический и/или естественнонаучный аппарат и современные информационные технологии.

ОПК-6 Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных, аргументировано защищать результаты выполненной работы.

ОПК-7 Способен нести ответственность за принятие решений по части или всем сложным видам инженерной деятельности.

ПК-4 Способен выполнять подготовку элементов документации, проектов планов и программ проведения отдельных этапов работ.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

РООПК-2.1 Знает методику выявления естественнонаучной сущности проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и методику привлечения физико-математического аппарата и современные информационных технологий для их решения

РООПК-2.2 Умеет выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности и привлекать для их решения физико-математический аппарат и современные информационные технологии

РООПК-6.1 Знает основные методы и средства проведения экспериментальных исследований, способы обработки и представления данных, системы стандартизации и сертификации

РООПК-6.2 Умеет выбирать способы и средства измерений и проводить экспериментальные исследования

РООПК-7.1 Знает оценки эффективности результатов профессиональной деятельности

РООПК-7.2 Умеет выбирать средства и технологии, в том числе с учетом последствий их применения в профессиональной сфере, определять приоритеты профессиональной деятельности и способы ее совершенствования

РОПК-4.1 Знает цели и задачи проводимых исследований и разработок, отечественный и международный опыт в соответствующей области исследований, методы и средства планирования и организации научных исследований и опытно-конструкторских разработок, методы разработки технической документации, нормативную базу для составления информационных обзоров, рецензий, отзывов, заключений на техническую документацию

РОПК-4.2 Умеет применять нормативную документацию в соответствующей области знаний, оформлять проекты календарных планов и программ проведения отдельных элементов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, оформлять элементы технической документации на основе внедрения результатов научно-исследовательских работ

## **2. Задачи освоения дисциплины**

– Освоить аппарат, используемый в решении задач механики деформируемого твердого тела с использованием современных методов вычислений, реализованных на высокопроизводительных вычислительных системах и наукоёмких компьютерных технологиях мирового уровня – особенности решения нелинейных задач МДТТ численными методами.

– Научиться применять понятийный аппарат прикладной механики для выполнения расчетно-экспериментальных работ, связанных с определением напряжённо-

деформированного состояния отдельных изделий и конструкций с современных методов инженерного анализа на основе вычислительных методов, распространенных в промышленности систем.

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

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

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, является обязательной для изучения.

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

Шестой семестр, зачет

Седьмой семестр, зачет

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

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: Математический анализ, Термодинамика, Математическая физика, Физика.

### **6. Язык реализации**

Русский

### **7. Объем дисциплины**

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

-лекции: 26 ч.

-лабораторные: 40 ч.

в том числе практическая подготовка: 40 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

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

Тема 1. Предмет и метод механики сплошных сред (МСС) и механики деформируемого твердого тела (МДТТ), как раздела МСС.

Предмет и метод МСС и МДТТ, как раздела МСС. Подходы Эйлера и Лагранжа к описанию процессов движения и деформирования сплошных сред. Переменные Эйлера и Лагранжа.

Тема 2. Введение в тензорное исчисление.

Метод координат. Базисные векторы. Частное и общее определение тензора. Ковариантные, контравариантные и смешанные компоненты тензора. Фундаментальный метрический тензор. Тензорная алгебра. Скалярные инварианты тензора. Тензорная поверхность, главные оси, главные компоненты тензоров 2-го ранга. Основы тензорного анализа. Ковариантная производная, ковариантное дифференцирование.

Тема 3. Теория деформаций.

Тензор деформаций, его выражение через компоненты вектора перемещений. Тензор деформаций Грина, Альманси, Коши. Тензор скоростей деформаций. Условие совместности деформаций.

Тема 4. Динамические уравнения МДТТ.

Закон сохранения массы. Уравнения движения (закон сохранения количества движения), граничные условия, тензор напряжений. Закон сохранения моментов

количества движения, симметрия тензора напряжений. Закон сохранения энергии, теорема живых сил, выражение для работы напряжений.

Тема 5. Модели сред. Идеальный газ. Идеальная жидкость. Упруго-пластическая среда

Понятие идеальных сред без диссипации. Идеальная жидкость и газ. Полная система уравнений, описывающая течение идеальной жидкости и газа. Баротропные среды. Идеальная упругая среда. Система уравнений, описывающая деформацию упругой идеальной среды. Реальная вязкая жидкость с диссипацией. Уравнения Навье-Стокса.

Тема 6. Общая постановка задачи МДТТ.

Полная система уравнений МДТТ. Постановка задачи деформирования упругой пластической среды. Понятие уравнения состояния и определяющих уравнений. Модель линейного упругого тела. Идеальная пластичность. Понятие об деформационно-упрочняющихся средах. Поверхность текучести. Постулат Друкера.

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

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости и оценки отчетов по лабораторным работам.

Оценочные материалы текущего контроля размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» - <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

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

Зачет в шестом семестре проводится в письменной форме по билетам. Продолжительность зачета 1 час.

Зачет в седьмом семестре проводится в письменной форме по билетам. Продолжительность зачета 1 час.

Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» - <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

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

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «iDo» - <https://lms.tsu.ru/course/view.php?id=24737>

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

в) Методические указания по проведению лабораторных работ.

г) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

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

а) основная литература:

– Бакушев С. В. Дифференциальные уравнения и краевые задачи механики деформируемого твердого тела / С. В. Бакушев. - Москва: Ленанд, 2020. - 300 с.

– Учайкин В. В. Механика. Основы механики сплошных сред / Учайкин В. В.. - Санкт-Петербург : Лань, 2022. - 860 с.. URL: <https://e.lanbook.com/book/209819>.

– Учайкин В. В. Механика. Основы механики сплошных сред. Задачи с указаниями и ответами / Учайкин В. В.. - Санкт-Петербург : Лань, 2021. - 320 с.. URL: <https://e.lanbook.com/book/209819>.

– Келлер И. Э. Тензорное исчисление / Келлер И. Э.. - Санкт-Петербург : Лань, 2021. - 176 с.. URL: <https://e.lanbook.com/book/168427>.

б) дополнительная литература:

– Жуков И.А., Козулин А.А., Марченко Е.С. Экспериментальные методы определения механических свойств конструкционных материалов / Учебное пособие. Томск : Изд-во Том. ун-та, 2024. 78 с.

– Марченко Е.С., Козулин А.А., Ветрова А.В., Байгонакова Г.А. Моделирование напряженно-деформированного состояния при оценке механического поведения конструкций из никелида титана / Учеб.-метод. пособие. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2021. 80 с.

– Седов Л.И. Механика сплошной среды - М.: Наука, 1983. - Т. 1, 2. - 528 с.

– Бровко Г. Элементы математического аппарата механики сплошной среды: Учебное пособие. - Москва: Издательская фирма "Физико-математическая литература" (ФИЗМАТЛИТ), 2015. - 424 с. URL: <http://znanium.com/catalog/document?id=141886>.

– Макаров П.В. Микродинамическая теория пластичности и разрушения структурно-неоднородных материалов. // Изв. вузов. Сер. физика. - 1992. - № 4. - С. 42-58.

– Физическая мезомеханика и компьютерное конструирование материала. - Панин В.Е., Егорушкин В.Е., Макаров П.В. и др. - Новосибирск: Наука, 1995. - Т. 1. - 315 с.

– Структурные уровни пластической деформации и разрушения. Панин В.Е., Гриняев Ю.В., Данилов В.И. и др. - Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1990. - 255 с.

– Новацкий В. Теория упругости. - М.: Мир, 1975. - 872 с.

в) ресурсы сети Интернет:

– открытые онлайн-курсы на платформе Stepik (Электронный ресурс: <http://stepik.org>);

– 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/;](http://www.sciencedirect.com/)

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

– Общероссийская Сеть КонсультантПлюс Справочная правовая система. <http://www.consultant.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);

– компьютерное оборудование для практических занятий имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение: Ansys Workbench (SpaceClaim, Static Structural, Explicit dynamics, Autodyn), T-Flex (CAD), SolidWorks (CAD, CAE);

– 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.

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

Учебные мультимедийные аудитории, вместимостью более 12 человек. Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Типовая комплектация мультимедийной аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, включающей монитор с диагональю не менее 22 дюймов, персональный компьютер (с техническими характеристиками не ниже Intel Core i7-3500, DDR4 16 Mb, 500Gb), подключения: USB, audio, HDMI.

Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от рабочего места, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, вебинары, мастер-классы, конференции и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов. Лаборатории, оборудованные:

– Испытательная машина с возможностью регистрации перемещений и усилий, с захватами для растяжения, изгиба, сжатия образцов.

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

Козулин Александр Анатольевич, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры Механики деформируемого твердого тела физико-технического факультета НИ ТГУ.