

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

Механико-математический факультет

УТВЕРЖДЕНО:
Декан
Л.В. Гензе

Рабочая программа дисциплины

Вычислительная механика

по направлению подготовки

01.04.01 Математика

Направленность (профиль) подготовки:
Моделирование и цифровые двойники

Форма обучения
Очная

Квалификация
Магистр

Год приема
2025

СОГЛАСОВАНО:
Руководитель ОП
Е.И. Гурина

Председатель УМК
Е.А. Тарасов

Томск – 2025

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-1 Способен формулировать и решать актуальные и значимые проблемы математики.

ОПК-2 Способен строить и анализировать математические модели в современном естествознании, технике, экономике и управлении.

ПК-1 Способен разрабатывать и внедрять цифровые двойники, используя современные технологии, методы и инструменты, с учетом технических требований заказчика и специфики моделируемых объектов и процессов.

ПК-2 Способен проводить тестирование, валидацию и анализ данных цифровых двойников для обеспечения их корректной работы, оптимизации процессов и принятия решений.

ПК-4 Способен документировать процессы разработки и эксплуатации цифровых двойников, работать в команде и взаимодействовать с заказчиками и специалистами для успешной реализации проектов.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК 1.1 Формулирует поставленную задачу, пользуется языком предметной области, обоснованно выбирает метод решения задачи.

ИОПК 1.2 Анализирует актуальные и значимые проблемы математики и существующие подходы к их решению.

ИОПК 2.1 Анализирует, выбирает и обосновывает математические модели для решения задач в области современного естествознания, техники, экономики и управления.

ИОПК 2.2 Разрабатывает новые и/или адаптирует/совершенствует математические модели для задач современного естествознания, техники, экономики и управления под руководством более квалифицированного работника.

ИПК 1.1 Анализирует и выбирает современные технологии, методы и инструменты для проектирования и разработки цифровых двойников с учетом специфики решаемых задач.

ИПК 1.2 Разрабатывает цифровые двойники на основе технических требований заказчика и особенностей моделируемых объектов и процессов.

ИПК 1.3 Разрабатывает математические модели и алгоритмы для создания математической основы цифровых двойников изделий и технических систем.

ИПК 1.4 Применяет современные программные продукты и среды для моделирования и симуляции цифровых двойников.

ИПК 2.1 Проводит тестирование и отладку цифровых двойников для обеспечения их корректной работы и соответствия заданным параметрам.

ИПК 2.3 Проводит валидацию цифровых двойников для подтверждения их соответствия требованиям заказчика.

ИПК 4.2 Эффективно взаимодействует с инженерами, программистами и заказчиками в рамках командной работы для успешной реализации проектов.

2. Задачи освоения дисциплины

– приобретение практических навыков работы с программным комплексом ANSYS;

– овладение знаниями об устройстве современных систем автоматизированного инженерного анализа (CAE);

– дать систематические знания методов моделирования физико-технических процессов;

– научиться применять понятийный аппарат вычислительной механики твердых тел для решения практических задач профессиональной деятельности.

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

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

Дисциплина относится к обязательной части образовательной программы.

Дисциплина входит в модуль Основы для создания Digital Twins.

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

Второй семестр, экзамен

5. Входные требования для освоения дисциплины

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

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: Современные методы вычислительной математики, Дополнительные главы МСС, Дополнительные главы МДТТ.

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины

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

-лекции: 32 ч.

-практические занятия: 32 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Лекции:

Тема 1. Введение в вычислительную механику. (2 часа)

Основные этапы численного исследования прочности конструкций. Построение физической модели.

Тема 2. Математические модели упругости. (2 часа)

Построение математической модели. Матричная форма записи основных соотношений теории упругости. Плоские (двумерные) задачи. Основные соотношения между напряжениями, деформациями и температурой. Соотношения между деформациями и смещениями.

Тема 3. Начальные и граничные условия. (2 часа)

Уравнения равновесия. Граничные условия. Идея и область применения метода конечных элементов. Основные этапы практической реализации метода. Конечные элементы. Построение сетки конечных элементов. Точность расчетов.

Тема 4. Конечный элемент и его свойства. (2 часа)

Типы конечных элементов. Линейный упругий элемент. Матрица жесткости. Система упругих элементов. Матрица жесткости системы элементов.

Тема 5. Матрица жесткости и функции формы. (2 часа)

Функции формы конечных элементов и матрица жесткости. Линейный плоский треугольный элемент. Квадратичный треугольный элемент. Линейный четырехугольный элемент.

Тема 6. Теория пластин и оболочек. (2 часа)

Преобразование нагрузки. Пластины и оболочки. Основные соотношения теории пластин и оболочек. Основные положения теории тонких пластин. Основные положения теории толстых пластин. Конечные элементы для пластин и оболочек.

Тема 7. Анализ устойчивости и колебаний.

Понятия о модальном анализе и задачах устойчивости конструкций. Решение простых задач устойчивости и колебаний. Анализ результатов.

Тема 8. Задачи теплопередачи. (4 часа)

Особенности теплового и термопрочностного анализа конструкций. Теплопроводность, конвекция, излучение тепла. Выбор конечного элемента, настройки решателя. Простые стационарные задачи теплопередачи.

Тема 9. Нелинейные задачи. (2 часа)

Геометрическая нелинейность конструкции. Нелинейное поведение материала. Особенности задания опций решателя. Решение простых нелинейных задач.

Тема 10. Задачи контактного взаимодействия. (2 часа)

Типы контактов, контактные конечные элементы. Особенности задания опций решателя. Алгоритмы контактного взаимодействия. Решение простых контактных задач.

Тема 11. Применение теории пластичности. (2 часа)

Виды математических моделей с учетом пластичности материалов. Задания произвольных упругопластических моделей. Моделирование течения материала.

Тема 12. Моделирование слоистых композитных конструкций. (4 часа)

Особенности моделирования и расчета слоистых композитных конструкций. Специальные типы конечных элементов, задание их вещественных констант. Учет анизотропии материалов.

Практические занятия:

Тема 1. (2 часа)

Компьютерные пакеты инженерного и научного анализа. Введение в компьютерное моделирование. Обзор основных программных комплексов компьютерной инженерии (CAE-систем). Возможности и модули ПК ANSYS. Составные части комплекса ANSYS и их назначение. Вход в программу. Основные этапы решения задачи. Оболочка ANSYS Workbench.

Тема 2. (2 часа)

Принципы создания геометрической модели. Операции по созданию и редактированию эскиза. Трехмерные операции. Редактирование геометрической модели. Импорт моделей из внешних CAD-систем. Инструменты для поиска, исправления ошибок и упрощения моделей, создание внешних и внутренних объемов.

Тема 3. (4 часа)

Построение расчетной сетки в ANSYS Meshing (4 часа) Основные виды сеток. Структурированная, многоблочная, конформная сетки. Модуль ANSYS Meshing.

Методы построения сетки в 2D и 3D областях. Глобальные и локальные настройки. Инфляционные слои. Контроль качества сетки. Приложение нагрузок и получение решения.

Тема 4. (2 часа)

Основные переменные, применяемые в решениях ANSYS. Постпроцессорная обработка. Типы основных файлов, создаваемых и используемых программой.

Тема 5. (4 часа)

Полоса с отверстием. Постановка задачи. Построение модели. Построение сетки. Приложение нагрузок и получение решения. Обработка, печать и сохранение результатов.

Тема 6. (4 часа)

Критерии механики разрушения. Коэффициент интенсивности напряжений. Энергетический инвариантный интеграл. Методы расчета коэффициента интенсивности напряжений. Упругая задача.

Тема 7. (4 часа)

Модальный анализ конструкции. Влияние граничных и начальных условий на модальный анализ. Применение точечных масс. Визуализация формы колебаний и постпроцессинг.

Тема 8. (4 часа)

Решение задач теплопроводности в ANSYS. Основные уравнения термоупругости. Задание тепловых потоков и источников тепла.

Тема 9.(2 часа)

Решение задач контактного взаимодействия твердых тел. Выбор алгоритма расчета контактных границ. Задание поверхностного трения.

Тема 10. (4 часа)

Учет анизотропии и сложной внутренней структуры на примере композитного материала. Модели деформирования и прочности композитов.

9. Текущий контроль по дисциплине

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

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

Экзамен по дисциплине проводится в устной форме по билетам. Экзаменационный билет состоит из двух вопросов: один теоретического, один практического характера. Продолжительность экзамена 1,5 часа.

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 среде электронного обучения iDO -
<https://lms.tsu.ru/course/view.php?id=40899>

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

в) План семинарских / практических занятий по дисциплине.

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

– Работнов Ю. Н. Механика деформируемого твердого тела учебное пособие для студентов механико-математических и физических специальностей университетов / Ю. Н. Работнов. — Изд. 3-е. — Москва : URSS, ЛЕНАНД, 2018 (макет 2019). — 711, [1] с. ил.; 22. — ISBN 978-5-9710-5637-9.

– Ильюшин А. А. Механика сплошной среды учебник для студентов университетов, обучающихся по специальности "Механика" / А.А. Ильюшин. — Изд. 4-е. — Москва : URSS, ЛЕНАНД, 2014. — 310 с. ил.; 22. — (Физико-математическое наследие: физика (механика)); ISBN 978-59710-1026-5.

– Каплун А.Б. ANSYS в руках инженера [Текст] : практическое руководство / А. Б. Каплун, Е. М. Морозов, М. А. Шамраева ; предисловие А. С. Шадского. - Изд. 5-е. - Москва : URSS, сор. 2017. - 269 с. : ил.; 22 см.; ISBN 978-5-9710-4314-0

б) дополнительная литература:

– Седов Л.И. Механика сплошной среды : учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности "Механика" : [в 2 т.] / Л. И. Седов ; Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова. - 6-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2004-. Т. 2. - 2004. - 560 с. : ил.; ISBN 5-8114-0542-1

– Басов, К. А. ANSYS: справочник пользователя : справочник / К. А. Басов. - Москва : ДМК Пресс, 2018. - 640 с. - ISBN 978-5-97060-593-6. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/2012563> (дата обращения: 14.10.2025).

– Чигарев А.В. ANSYS для инженеров : Справ. пособие / А. В. Чигарев, А. С. Кравчук, А. Ф. Смалюк. - Москва : Машиностроение : Машиностроение-1, 2004. - 511 с. : ил.; 22 см.; ISBN 5-94275-048-3 : 2000

в) ресурсы сети Интернет:

– Бураго Н. Г. Вычислительная механика. Расширенный конспект лекций.
<https://pmm.ipmnet.ru/~burago/papers/nummet.pdf>

– Волчков Ю.М. Механика деформируемого твердого тела (теория пластичности).
<http://mmf-old.nsu.ru/sites/default/files/volchkov-solids-2014.pdf>

– Теория упругости: основные положения : учеб. пособие / В. В. Стружанов, Н. В. Бурмашева; М-во науки и высшего образования Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2019. — 204 с.
https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/68501/1/978-5-7996-2541-2_2019.pdf

– Савельев Л. М. Теория упругости : учебное пособие / Л. М. Савельев; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Самарский университет. – Самара: Издательство Самарского университета, 2021. – 1 CD-ROM (7,62 Мб). – Загл. с титул. экрана. – Текст: электронный. <https://repo.ssau.ru/bitstream/Uchebnye-izdaniya/Teoriya-uprugosti-95404/1/%D0%A1%D0%B0%D0%B2%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D0%B5%D0%B2%20%D0%9B.%D0%9C.%20%D0%A2%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F%20%D1%83%D0%BF%D1%80%D1%83%D0%B3%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8%202021.pdf>

13. Перечень информационных технологий

a) 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 Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);

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

– универсальная программная система анализа ANSYS.

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, необходимым программным обеспечением и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

15. Информация о разработчиках

Радченко Павел Андреевич, доктор физико-математических наук, доцент, заведующий сектором 22 НИИ ПММ ТГУ.

Курс «**Вычислительная механика**» разработан при поддержке Регионального научно-образовательного математического центра Томского государственного университета ([НОМЦ ТГУ](#)).