

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

Цифровые двойники материалов для новой техники и медицины

по направлению подготовки

15.04.03 Прикладная механика

Направленность (профиль) подготовки:

Компьютерный инжиниринг конструкций, биомеханических систем и материалов

Форма обучения

Очная

Квалификация

Магистр

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:

ОПК-10 Способен разрабатывать физико-механические, математические и компьютерные модели при решении научно-технических задач в области прикладной механики;

ОПК-5 Способен разрабатывать аналитические и численные методы при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов;

ОПК-6 Способен осуществлять научно-исследовательскую деятельность, используя современные информационно-коммуникационные технологии, глобальные информационные ресурсы.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК 10.1 Знать современные физико-механические, математические и компьютерные модели при решении актуальных научно-технических задач в области прикладной механики

ИОПК 10.2 Уметь разрабатывать физико-механические, математические и компьютерные модели при решении научно-технических задач в области прикладной механики

ИОПК 10.3 Владеть методикой разработки физико-механических, математических и компьютерных моделей при решении научно-технических задач в области прикладной механики

ИОПК 5.1 Знать теоретические основы аналитических и численных методов при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов

ИОПК 5.2 Уметь анализировать математические модели машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов и разрабатывать аналитические и численные методы для их применения

ИОПК 5.3 Владеть методиками разработки аналитических и численных методов при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов

ИОПК 6.1 Знать современные информационно-коммуникационные технологии, основные глобальные информационные ресурсы в научно-исследовательской деятельности

ИОПК 6.2 Уметь применять современные информационно-коммуникационные технологии и глобальные информационные ресурсы в научно-исследовательской деятельности.

ИОПК 6.3 Владеть методикой использования современной информационно-коммуникационной технологии, глобальных информационных ресурсов в научно-исследовательской деятельности

2. Задачи освоения дисциплины

– Освоить аппарат создания цифровых двойников материалов и научиться прогнозировать их физико-механические свойства исходя из учета особенностей структуры и предположительных условий эксплуатации, опираясь на современные подходы в области компьютерного дизайна материалов и численного моделирования.

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

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

Дисциплина относится к обязательной части образовательной программы.

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 компетенции, сформированные в ходе освоения образовательных программ предшествующего уровня образования. Знание основ вычислительной механики, метода конечных элементов, композиционных материалов, механики деформируемого твердого тела.

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 часов, из которых:

-лекции: 14 ч.

-лабораторные: 20 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Тема 1. Подходы к определению понятия «цифровой двойник» в задачах описания физико-механических свойств материалов

Концепция цифрового двойника. Моделирование материалов на разных масштабных уровнях. Понятия эффективных свойств материалов. Понятие представительности модельной ячейки.

Тема 2. Определяющие уравнения в задачах вычислительной механики при создании цифровых двойников материалов в континуальном приближении.

Исходные данные для адекватного выбора определяющих уравнений и определения их параметров. Реологический подход к описанию механического поведения материалов. Простые реологические модели. Комбинированные реологические модели. Сложные комбинированные реологические модели. Физические нелинейности.

Тема 3. Нелинейные определяющие уравнения.

Подходы к описанию упругопластического деформационного поведения металлов и сплавов. Изотропное и кинематическое упрочнение. Гиперупругое поведение конструкционных полимерных материалов и их описание.

Тема 4. Особенности моделирования термомеханических эффектов памяти формы и сверхэластичности материалов в приложениях техники и медицины.

Эффект памяти формы при термомеханическом воздействии. Проявление эффекта сверхэластичности в специальных материалах. Моделирование эффектов памяти формы в континуальном приближении, вызванных фазовыми переходами.

Тема 5. Комбинации определяющих уравнений в задачах создания цифровых двойников композиционных материалов с явным учетом характера их внутренней структуры.

Явный учет структуры композиционных материалов с целью численного определения физико-механических свойств. Пространственная структура композиционных материалов, однонаправленный композит, случайный однонаправленный композит, хаотически армированный композит, тканевый композит, пористый композит. Учет граничных условий при моделировании деформационного воздействия на представительную ячейку, масштабирование свойств при гомогенизации.

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

Экзамен в третьем семестре проводится в письменной форме по билетам. Экзаменационный билет состоит из трех вопросов. 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) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

б) Методические указания по проведению лабораторных работ.

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная 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.

– Моделирование эффектов памяти формы в конструкциях из никелида титана при термомеханических воздействиях: учебно-методическое пособие / Е.С. Марченко, А.А. Козулин, Г.А. Байгонакова, А.В. Ветрова [и др.]. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2022. 82 с.

– 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:

– 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. 1. Теоретические основы вычислительной нелинейной механики деформируемых сред : курс лекций / А. И. Голованов, Л. У. Султанов ; Казан. гос. ун-т .- Казань : Изд-во Казанского государственного университета, 2008 .- 163, [1] с.

– Дудченко, А. А. Теория упругости анизотропных материалов: учебное пособие / А. А. Дудченко, Ф. В. — Москва: МАИ, 2021. — 119 с. — ISBN 978-5-4316-0796-7. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/207440>

– Савельев, Л. М. Теория упругости : учебное пособие / Л. М. Савельев. — Самара: Самарский университет, 2021. — 339 с. — ISBN 978-5-7883-1711-3. — Текст:

электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/257033>

– Численные методы: учеб. пособие для студентов физ.-мат. спец. вузов / Н.С. Бахвалов, Н.П. Жидков, Г.М. Кобельков ; Моск. гос. ун-т .- 4-е изд. - Москва : БИНОМ. Лаб. знаний, 2006.- 636 с.:

– Бахвалов Н. С., Жидков Н. П., Кобельков Г. М. Бахвалов Н.С. Численные методы: учеб. пособие для студентов физ.-мат. спец. вузов / Моск. гос. ун-т. 7-е изд.: Москва: БИНОМ. Лаб. знаний, 2012. - 635 с. // <http://e.lanbook.com/view/book/4397/>

– Бахвалов Н. С., Лапин А. В., Чижонков Е. В. Численные методы в задачах и упражнениях: учебное пособие. [Электронный ресурс] - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Бином. Лаборатория знаний, 2013. - 240 с. Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=56911

– Межуева, Л. В. Композиционные материалы: учебное пособие / Л. В. Межуева, А. В. Быков, А. П. Иванова. — Оренбург: ОГУ, 2024. — 105 с. — ISBN 978-5-7410-3219-0. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/437732>

– Öchsner A. Design and Analysis of Materials and Engineering Structures / edited by Andreas Öchsner, Lucas F. M. Silva, Holm Altenbach. // Springer eBooks, 2013. – VIII, 178 p. – URL: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-32295-2>

– Brenner S. C. The Mathematical Theory of Finite Element Methods / by Susanne C. Brenner, L. Ridgway Scott. // Springer eBooks, 2008. – URL: <http://dx.doi.org/10.1007/978-0-387-75934-0>

– 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.

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?](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>;

– 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 (Design Modeler, 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 ЮПайт – <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.