

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

**Вычислительная механика**

по направлению подготовки / специальности

**15.03.03 Прикладная механика**

Направленность (профиль) подготовки/ специализация:

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

Форма обучения

**Очная**

Квалификация

**Инженер, инженер-разработчик**

Год приема

**2024**

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОПОП

В.А. Скрипняк

Е.С. Марченко

Председатель УМК

В.А. Скрипняк

Томск – 2024

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

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

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

ПК-1 Способен осуществлять проведение расчетов композиционных материалов и микромеханики.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

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

РОПК 1.1 Знает основы технологии конструкционных и композиционных материалов, основы упругости, пластичности и ползучести, основы механики композиционных материалов и конструкций, основы материаловедения, физические и механические характеристики конструкционных и композиционных материалов, основы теплопроводности и теплопередачи, основы усталостной прочности, основы теории устойчивости конструкций, основы теории проведения измерений при экспериментальных работах

РОПК 1.2 Умеет применять методики расчета на прочность конструкций различной сложности, составлять математические модели с учетом геометрической нелинейности элементов силовых, температурных воздействий, и пластичности материалов, проводить расчеты на прочность аналитическими и численными методами решения задач механики, проводить расчеты на прочность в универсальных программных системах конечно-элементного анализа, читать и понимать техническую документацию на английском языке, использовать стандартное программное обеспечение при оформлении документации и инженерных расчетов, использовать программное обеспечение для расчетов на прочность

## **2. Задачи освоения дисциплины**

– Освоить аппарат, используемый в современных подходах прикладной механики с использованием численных методов – алгоритм проведения вычислительного эксперимента, постановка задач вычислительного эксперимента, правила идеализации геометрических, физических, математических моделей, выбор численного метода решения задач прикладной механики, принципы использования дискретных методов, основы метода конечных элементов;

– Научиться применять понятийный аппарат прикладной механики для решения практических задач профессиональной деятельности, связанных с определением напряжённо-деформированного состояния конструкций с использованием метода конечных элементов, анализа и интерпретации результатов решения.

## **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**

Восьмой семестр, экзамен

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

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: математический анализ, линейная алгебра, аналитическая геометрия, основы теории и методы решения дифференциальных уравнений, теория функций комплексного переменного, физика, математическая физика, сопротивление материалов.

## **6. Язык реализации**

Русский

## **7. Объем дисциплины**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 з.е., 180 часов, из которых:  
-лекции: 34 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

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

Тема 1. Содержание и задачи курса, связь с другими предметами.

Краткое содержание темы. До обучающихся доводится информация о роли изучаемого курса в общей образовательной программе, какими знаниями необходимо обладать для успешного обучения, какие дисциплины из ранее изученных являются опорными для данного курса, какие перспективы открываются после успешного прохождения теоретического материала. Озвучиваются требования для допуска к экзамену и правила его сдачи.

Тема 2. Определение задач вычислительной механики. Области приложения вычислительной механики.

Краткое содержание темы. Рассматриваются основная терминология и определения курса необходимая для работы с теоретическим материалом и часто используемая в нормативных документах и профессиональной среде общения. Рассказывается о связи между понятиями Теоретическая механика, Прикладная механика и Вычислительная механика.

Тема 3. Вычислительный эксперимент. Этапы вычислительного эксперимента.

Краткое содержание темы. Дается понятие вычислительного эксперимента, его роль в научных исследованиях и профессиональной инженерной, конструкторской деятельности. Рассматриваются этапы вычислительного эксперимента, алгоритм действий и возможные ошибки и способы их устранения, возникающие на разных этапах вычислительного эксперимента.

Тема 4. Методы расчета задач вычислительной механики. Дискретные методы.

Краткое содержание темы. Рассматриваются наиболее популярные численные методы (метод конечных элементов, метод граничных элементов, метод конечных разностей, методы сглаженных частиц гидродинамики и др.), используемые в вычислительных экспериментах, ранжирование по эффективности и применимости, особенности каждого, плюсы и минусы.

Тема 5. Метод перемещений строительной механики.

Краткое содержание темы. На основе примеров раскрываются особенности теории метода перемещений в аналитическом виде как подоснова появления и развития новых методов используемых в вычислительной механике.

Тема 6. Вариационные принципы механики.

Краткое содержание темы. Рассказывается теория основных вариационных принципов механики: вариационный принцип Лагранжа, Кастильяно, Хо-Вашицу и др.

Тема 7. Основные положения метода конечных элементов.

Краткое содержание темы. Начало изучения теоретических основ метода конечных элементов, основные положения, термины.

Тема 8. Этапы практической реализации метода конечных элементов.

Краткое содержание темы. Рассказывается о реализации этапов метода конечных элементов, алгоритм действий на каждом этапе.

Тема 9. Классификация конечных элементов, используемых в вычислительной механике.

Краткое содержание темы. На примерах рассказывается о классификации конечных элементов, используемых в вычислительной механике. Разделение элементов по признаку формы, математического описания, линейные и нелинейные конечные элементы.

Тема 10. Постановка плоской задачи теории упругости для реализации решения в методе конечных элементов.

Краткое содержание темы. Даются теоретические основы плоской задачи теории упругости для реализации решения в методе конечных элементов, математическая запись для плоско-напряжённого и плоско-деформированного состояний.

Тема 11. Одномерные аппроксимации в конечных элементах.

Краткое содержание темы. Математическое описание одномерных конечных элементов в линейной и нелинейной аппроксимации.

Тема 12. Двумерные аппроксимации в треугольных конечных элементах различного порядка.

Краткое содержание темы. Математическое описание двумерных треугольных конечных элементов в линейной и нелинейной аппроксимации.

Тема 13. Двумерные аппроксимации в четырехугольных конечных элементах различного порядка.

Краткое содержание темы. Математическое описание двумерных четырехугольных конечных элементов в линейной и нелинейной аппроксимации.

Тема 14. Формирование глобальной матрицы жесткости и вектора сил, учет граничных условий.

Краткое содержание темы. Математическое описание при формировании глобальной матрицы жесткости и вектора сил, учет граничных условий.

Тема 15. Реализация связи аппроксимирующих функций с напряженно-деформированным состоянием.

Краткое содержание темы. Математическое описание реализации связи функций аппроксимирующих перемещения узлов конечного элемента с его напряженно-деформированным состоянием.

Тема 16. Метод конечных элементов в задачах динамики.

Краткое содержание темы. Описание особенностей и математическая постановка метода конечных элементов для динамических задач.

Тема 17. Анализ результатов вычислительного эксперимента. Определение погрешности и ошибки решения.

Краткое содержание темы. Правила проведения анализа результатов вычислительного эксперимента, верификация и валидация. Методы определения односторонней и двухсторонней погрешности решения.

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

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, проведения тестов по лекционному материалу, выполнения домашних заданий, и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

Основное изучение теоретического материала происходит на лекциях, самостоятельное углублённое освоение изложенного на лекциях теоретического материала, закрепление и расширение полученных знаний производится с использованием указанной основной и дополнительной учебной и научной литературы.

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 восьмом семестре** проводится в письменной форме по билетам. 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 электронном университете «iDO» – <https://lms.tsu.ru/course/view.php?id=22392>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине (<https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>).

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

1. Моделирование эффектов памяти формы в конструкциях из никелида титана при термодформационных 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.

2. 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.

3. Иосилевич Г. Б. Прикладная механика : [учебник для вузов] / Г. Б. Иосилевич, П. А. Лебедев, В. С. Стреляев. – М. : Альянс, 2013. – 574 с.

4. Андреев В. И. Механика неоднородных тел : учебное пособие / В. И. Андреев ; Моск. гос. строит. ун-т - Нац. исслед. ун-т. – М. : Юрайт, 2015. – 254 с. – Режим доступа ЭБС Юрайт: <https://www.biblio-online.ru/book/3F97844B-D9D7-4995-84A7-03683495A972>

5. Gatica G. N. A Simple Introduction to the Mixed Finite Element Method : Theory and Applications / / by Gabriel N. Gatica. // Springer eBooks, 2014. XII, 132 p. – URL: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-03695-3>

6. Каплун А. Б. ANSYS в руках инженера : практическое руководство / А. Б. Каплун, Е. М. Морозов, М. А. Олферьева ; предисл. А. С. Шадского. – Изд. 4-е. – М. : ЛИБРОКОМ, 2013. – 269 с.

7. Волков К. Н. Вычислительные технологии в задачах механики жидкости и газа / К. Н. Волков, В. Н. Емельянов. – М. : Физматлит, 2012. – 468 с. – Режим доступа ЭБС Лань: <http://e.lanbook.com/book/59637>

8. Соппротивление материалов с основами теории упругости и пластичности : учебник / Г. С. Варданян, В. И. Андреев, Н. М. Атаров, А. А. Горшков ; под ред. Г. С. Варданяна, Н. М. Атарова. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : ИНФРА-М, 2014. – 510 с. – Режим доступа ЭБС Znanium.com: <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=448729>

9. Кукуджанов В. Н. Численные методы в механике сплошных сред. Курс лекций : учебное пособие / В. Н. Кукуджанов. – М.: "МАТИ"-РГТУ, 2006. – 158 с.

б) дополнительная литература:

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.

2. Нигматулин Р. И. Механика сплошной среды, Кинематика. Динамика. Термодинамика. Статистическая динамика: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 010701 "Фундаментальная механика и механика" и направлению подготовки 010800 "Механика и математическое моделирование" / Р. И. Нигматулин. Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2014. 639 с.

3. Введение в численные методы : учеб. пособие для вузов / А. А. Самарский ; Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова .- 3-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2005 .- 288 с.

4. 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. :

5. 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/>

6. 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](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=56911)

7. Калиткин, Н. Н. Численные методы: учеб. пособие / Н. Н. Калиткин. 2-е изд., исправленное. СПб.: БХВ-Петербург, 2011. 586 с.: ил. (Учебная литература для вузов) // <http://znanium.com/bookread.php?book=350803>

8. 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>

9. 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>

в) ресурсы сети Интернет:

– открытый онлайн-курс «Метод конечных элементов»  
<https://stepik.org/course/57097/promo>

– Колмакова Т.В., Лейцин В.Н., Сидоренко Ю.Н. Элементы вычислительной механики / Электронное учебное пособие. 2006 г. (режим доступа свободный [https://ido.tsu.ru/iop\\_res/vichislmech/](https://ido.tsu.ru/iop_res/vichislmech/)).

### **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.

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**

Козулин Александр Анатольевич, к.ф.-м.н., доцент, каф. МДТТ ФТФ ТГУ, доцент.