

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

Введение в компьютерный инжиниринг

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.

ОПК-3 Способен использовать знания в сфере математики при осуществлении педагогической деятельности.

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..

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 3.1 Популярно и доступно излагает современные научные достижения в сфере математики для аудитории различного уровня

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

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

2. Задачи освоения дисциплины

Цель учебной дисциплины «Введение в компьютерный инжиниринг» - формирование у студентов теоретических и практических знаний в области применения современного программного обеспечения для выполнении сквозного проектирования изделий, предиктивного моделирования характеристик изделий на основе цифровых моделей; развитие системного мышления студентов; ознакомление студентов с возможностями современных CAD/CAM/CAE-систем.

К задачам дисциплины «Введение в компьютерный инжиниринг» относятся:

- изучить CAD/CAM/CAE/PLM-системы;
- освоить основные принципы и приемы работы в инженерном пакете ANSYS Workbench;
- изучить особенности передачи моделей между CAD/CAM/CAE системами;
- освоить способы разработки программных алгоритмов в известных пакетах инженерного анализа;
- освоить основные этапы численного решения инженерных задач с использованием современных пакетов компьютерного моделирования;
- научиться строить геометрию расчетной области, генерировать сетки и оценивать их качество;
- освоить выбор математических моделей для решения задач механики жидкости и газа;
- научиться задавать параметры моделей, граничные условия и управлять процессом расчета в пакетах компьютерного моделирования;

- овладеть навыками анализа и представления результатов расчетов, верификации моделей.

Предметом освоения дисциплины «Введение в компьютерный инжиниринг» являются:

- программные системы компьютерного проектирования;
- программный пакет ANSYS Workbench;
- сеточный генератор Gambit;
- методы вычислительной механики и компьютерного инжиниринга.

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

Первый семестр, зачет

5. Входные требования для освоения дисциплины

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

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 часов, из которых:

- лекции: 16 ч.
- практические занятия: 16 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Тема 1. Введение в компьютерный инжиниринг

Ключевой вызов, стоящий сегодня перед промышленностью, - это оперативная разработка и вывод на мировой рынок новых поколений продукции, обладающей высокой конкурентоспособностью и потребительской ценностью. Достижение этой цели требует непрерывного процесса генерации, практического внедрения, накопления и передачи передовых знаний, а также активного развития наукоемких технологий, их интеграции в технологические цепочки, создания прорывных технологий и развертывания интеллектуальных цифровых производств.

Среди всех технологических решений, обеспечивающих лидерство новых продуктов, центральное место занимает компьютерный инжиниринг (ComputerAided Engineering, CAE) как наиболее наукоемкое направление. Его отличительными особенностями являются мультидисциплинарность.

Тема 2. Инженерное образование в эпоху цифровизации: вызовы вчерашнего, реальности сегодняшнего, перспективы завтрашнего дня

Традиционно инженер воспринимался как узкий специалист. Однако сегодня, особенно в малом технологическом бизнесе, он должен быть одновременно исследователем, менеджером и лидером - главным источником инноваций.

Классические русская, немецкая и французская инженерные школы, готовили именно таких универсалов. Их отличительной чертой была опора на фундаментальную науку и развитие не только интеллекта, но управлеченческих качеств. Со временем, с ростом роли фундаментальной науки, теоретики стали опережать практиков. Массовая профессия сместилась в сторону узкой специализации, а понятие инженера-универсала сохранилось лишь в феномене «генерального конструктора» - стратега, способного управлять всеми аспектами при разработке новой техники.

Тема 3. Основные стейкхолдеры темы «Компьютерный инжиниринг»

К ключевым стейкхолдерам российского инженерного образования относятся: руководство ведущих инженерных вузов; федеральные органы власти (Правительство РФ, Минобрнауки, Минпромторг, Минэкономразвития); промышленные предприятия; национальные научные фонды и исследовательские организации; ведущие мировые Нi-Tech-компании - разработчики оборудования, PLM-систем и межотраслевых технологий.

Тема 4. Роль цифрового проектирования, а также математического и компьютерного моделирования при решении производственных задач

Использование цифрового проектирования и моделирования позволяет обнаруживать и корректировать ошибки на виртуальной стадии разработки изделия, что значительно сокращает время и издержки по сравнению с внесением изменений в готовый прототип. В результате ускоряется вывод продукта на рынок и снижается его конечная стоимость. В рамках данной темы рассматриваются основные возможности использования САЕ технологий для расчета различных конструкций.

Тема 5. Технологии цифрового проектирования и моделирования. Классификация CAD/CAM/CAE/PDM - систем

В рамках данной темы рассматриваются цифровые и производственные технологии, ключевыми из которых являются технологии цифрового проектирования и моделирования:

- технологии компьютерного проектирования (Computer-Aided Design, CAD);
- технологии математического моделирования, компьютерного и суперкомпьютерного (ComputerAided Engineering, CAE и High-Performance Computing, HPC) инжиниринга и оптимизации (Computer-Aided Optimization, CAO);
- технологическая подготовка процесса производства, ориентированная как на формирование управляющих программ станков с ЧПУ (Computer-Aided Manufacturing, CAM), так и на моделирование технологических процессов аддитивного производства (Computer-Aided Additive Manufacturing, CAAM);
- технологии бионического дизайна (Simulation & Optimization)-Driven Bionic Design); Технологии управления данными о продукте (Product Data Management, PDM) и технологий управления жизненным циклом изделий (Product Lifecycle Management, PLM).

Студенты знакомятся с работами, выполняемыми с использованием современных средств CAD/CAM/CAE/PDM – систем.

Тема 6. Особенности применения компьютерного инжиниринга для решения задач вычислительной гидродинамики

Рассматриваются основные математические понятия, используемые при моделировании течений жидкости. Вводятся основные понятия сплошной среды (элементарный объем, массовые силы, поверхностные силы). Рассматриваются этапы решения задач вычислительной гидродинамики (физическая модель, математическая модель, задание геометрии расчетной области, построение сетки, дискретизация дифференциальных уравнений, выбор метода решения конечно-разностных уравнений, получение численного решения, анализ и визуализация результатов расчета).

Тема 7. Знакомство с препроцессором GAMBIT

В данной теме подробно рассматриваются основные этапы построения расчетных моделей в препроцессоре GAMBIT универсального программного комплекса FLUENT. Рассматриваются интерфейс GAMBIT и файлы, создаваемые при его работе. Рассматриваются основные объекты, используемые при геометрическом моделировании в пакете: точки, отрезки линий, двумерные и трехмерные области, сетки, зоны. Выполняются упражнения по построению геометрических объектов и анализу двумерных и трехмерных сеток в препроцессоре.

Тема 8. Знакомство с универсальным программным комплексом ANSYS Fluent

В данном разделе происходит знакомство обучающихся с пользовательским интерфейсом ANSYS Fluent. Рассматриваются основные этапы решения задач вычислительной гидродинамики в пакете. Рассматривается необходимые для решения задачи процессы: импорта созданной в GAMBIT геометрии совместно с построенной сеткой; выбора модели течения; задания параметров веществ, учитываемых в расчете; определения граничных условий; выбора метода численного решения; проведения расчетов; визуализация и анализа результатов.

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, выполнения индивидуальных заданий в течение семестра, и фиксируется в форме [«Контрольная точка 1»](#) не менее одного раза в семестре.

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

Итоговая аттестация студентов по курсу «Введение в компьютерный инжиниринг» состоит из двух частей. Программа курса считается освоенной при успешном прохождении обоих этапов аттестации:

1. Подготовка и оформление отчёта по итоговому индивидуальному проекту. Физическая постановка задачи может быть выбрана по желанию обучающегося или дана преподавателем. Задача может иметь прикладной или исследовательский характер.
2. Устный зачет, содержащий один теоретический вопрос из лекционного материала.

Итоговый отчет должен включать следующие разделы:

- введение;
- физическая постановка задачи и детальное описание построения геометрии средствами CAD/CAE технологий;

- математическая постановка задачи;
- начальные и граничные условия;
- этапы численного решения поставленной задачи в пакете ANSYS Fluent;
- визуализация протекающего физического процесса (например, распределение модуля скорости/давления/температуры на цилиндрических поверхностях, на плоскостях симметрии, в интересующих сечениях модели);
- анализ полученных результатов расчета, верификация;
- заключение.

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 «Moodle» - <https://lms.tsu.ru/course/view.php?id=38218>
- б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.
- в) Для успешного освоения материала студентам необходимо посещать занятия. Во время самостоятельной работы пользоваться основной и дополнительной литературой, базами данных и информационно-справочными системами, которые представлены в списке литературы, а также методическими материалами по данному курсу.

Самостоятельная работа студентов включает:

- изучение теоретических основ и приобретение практических навыков твердотельного моделирования деталей и сборочных единиц с использованием САПР;
- освоение методов математического и компьютерного моделирования процессов тепломассопереноса, а также течений жидкостей и газов;
- обучение корректной постановке задач для расчёта конкретных физических процессов;
- подготовку и оформление отчёта по итоговому индивидуальному проекту.

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

- ГОСТ Р 57700.37–2021 «Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения». – Режим доступа: <http://protect.gost.ru/v.aspx?control=7&id=241313>
- ГОСТ Р 57188–2016 Численное моделирование физических процессов. Термины и определения. – Режим доступа: <https://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=205363>
- ГОСТ Р 57700.22–2020 Компьютерные модели и моделирование. Классификация Режим доступа: <https://protect.gost.ru/default.aspx/v.aspx?control=7&id=239182>
- В.Д. Гольдин, Е.И. Гурина, Е.А. Данилкин, Р.Б. Нутерман, А.В. Старченко. Численное моделирование задач механики жидкости и газа, тепломассопереноса с помощью пакета прикладных программ ANSYS Fluent: Учебное пособие/Под ред. А.В. Старченко. – Томск: Изд-во СТТ, 2025. – 272 с.;

- Компьютерный инжиниринг: учеб. пособие / А.И. Боровков, С.Ф. Бурдаков, О.И. Клявин, М.П. Мельникова, А.А. Михайлов, А.С. Немов, В.А. Пальмов, Е.Н. Силина. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 93 с. – URL: https://fea.ru/spaw2/uploads/files/2012_Книги_СИО_и_КИ/2013_0101_НИУ_СПбГПУ_Боровков_А_И_и_др_Компьютерный_инжиниринг-2012.pdf
- Моделирование технологических процессов: конспект лекций / В.А. Штерензон. – Екатеринбург: Изд-во Рос. гос. проф.-пед. ун-та, 2010. – 66 с.
- Процесс системной инженерии. – URL: http://sewiki.ru/Процесс_системной_инженерии
- Боровков А.И. PLM-технологии, компьютерный инжиниринг, глобальный аутсорсинг. Часть 1. Современное состояние, тенденции и перспективы развития // Конструктор-машиностроитель. Информационно-аналитический журнал. Декабрь, 2005. 4 – 7.
- Дженкинс Б. (Jenkins B.) Создание возможностей для компьютерного моделирования физических процессов и инженерного анализа // CAD/CAM/ CAE Observer, 2010, № 1, 44 – 48.
- Павлов С., Береза Ю. К вопросу о классификации MCAE-систем. Часть I. // CAD/CAM/CAE Observer, 2009, № 1, 64 – 69. 58.
- Павлов С., Береза Ю. К вопросу о классификации MCAE-систем. Часть II. // CAD/CAM/CAE Observer, 2009, № 2, 58 – 63. 59.
- Павлов С., Береза Ю. К вопросу о классификации MCAE-систем. Часть III. // CAD/CAM/CAE Observer, 2009, № 4, 64 – 75.
- Behrens A. Машиностроительное проектирование за прошедшие 35 лет ... // CAD / CAM / CAE Observer. №5. 2006. 15 – 17.
- Bozdoc M. The History of CAD (<http://mbinfo.mbdesign.net/CAD-History.htm>).

6) дополнительная литература:

- Боровков А.А. Технологии компьютерного инжиниринга (Computer-Aided Engineering, CAE). Основные тенденции развития // Доклад на Круглом столе (Workshop) Центра стратегического развития “Северо-Запад” “Основные тенденции развития технологий и рынков инжиниринга и проектирования”. Санкт-Петербург, ЦСР “Северо-Запад” 10 февраля 2012 года.
- Гореткина Е. Настоящее и будущее рынка САПР // PC Week Review, январь, 2011.
- Дженкинс Б. (Jenkins B.) Создание возможностей для компьютерного моделирования физических процессов и инженерного анализа // CAD/CAM/ CAE Observer, 2010, № 1, 44 – 48.
- Еженедельник PCWeek (<http://www.pcweek.ru>)
- Процесс системной инженерии. – URL: http://sewiki.ru/Процесс_системной_инженерии
- Самарский А.А. Математическое моделирование и вычислительный эксперимент / Вестник АН СССР. – 1979. – № 5. – С. 38-49.
- International Council on Systems Engineering. URL: https://www.incose.org/aboutsystems-engineering/system-and-se-definition/systems-engineeringdefinition#ENGINEERED_SYSTEM
- Снегирёв А.Ю. Высокопроизводительные вычисления в технической физике. Численное моделирование турбулентных течений: Учеб. пособие. - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. — 143 с.

в) ресурсы сети Интернет:

- ANSYS FLUENT 17.2 User's Guide;
- Старченко А.В., Беликов Д.А., Гольдин В.Д., Нутерман Р.Б. Пакет прикладных программ FLUENT для решения задач механики жидкости и газа, тепло- и массопереноса. Учебно-методический комплекс. Томск, 2007. <https://old.math.tsu.ru/EEResources/fluent/index.html>; http://ido.tsu.ru/iop_res2/fluent/.
- Электронная библиотека СПбПУ: <https://elib.spbstu.ru/dl/2/si20-1620.pdf/info>
- Цифровой инжиниринг ПИШ СПбПУ: <https://pish.spbstu.ru/>
- Цифровая платформа по разработке и применению цифровых двойников CML-Bench: <https://cml-bench.ru/>
- Уникальный онлайн-курс “Цифровые двойники изделий”: <https://openedu.ru/course/spbstu/DIGTWIN/>
- Боровков А.И. CompMechLab-REVIEW - битва САЕ-гигантов: ANSYS Inc. vs MSC. Software в 1995-2008 гг. // http://wwwfea.ru/FEA_news_1417.html
- Боровков А.И. CompMechLab-REVIEW. Лидеру САЕ-рынка ANSYS, Inc. – 40 лет // http://www.compmechlab.ru/FEA_news_1779.htm
- АО «Моделирование и цифровые двойники» (АО «МЦД») – ведущий поставщик инженерных цифровых продуктов и решений для проектных, научно-исследовательских и производственных предприятий: <https://digitaltwin.ru/sdt/>

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.);
- геометрический препроцессор GAMBIT 2.4.6;
- пакет ANSYS FLUENT 17.2.

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/>

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 LMS iDo и к информационным справочным системам.

Оснащение аудиторий 314, 316, 319:

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, Delphi 2006 (для работы с базами данных - Borland Database Engine, Database Desktop), Lazarus, PascalABC.NET, Intel Fortran Compiler 2015 (Parallel Studio), CUDA Toolkit 10.2, IDE CodeBlocks, MinGW compilers (C, C++, Fortran), Qtcreator, cmake, python3 (anakonda3), Visual Studio Code, R-lang, node.js, Pycharm, free pascal;

математические пакеты: PTC Mathcad 15, Mathematica 8, Maple 15, Matlab R2015; пакеты математической и графической обработки данных: Golden Software Grapher, Golden Software Surfer;

пакеты для решения задач вычислительной гидродинамики: Ansys 17.2, Fluent 6.3 + Gambit;

утилиты для получения удаленного доступа Winscp, Putty, Xming;

утилиты 7zip, Adobe Acrobat Reader, DjVu Reader, Far manager, Mozilla Firefox, Notepad++.

15. Информация о разработчиках

Гурина Елена Ивановна, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры вычислительной математики и компьютерного моделирования ММФ ТГУ.

Курс «[Введение в компьютерный инжиниринг](#)» разработан при поддержке Регионального научно-образовательного математического центра Томского государственного университета ([НОМЦ ТГУ](#)).