

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

Механико-математический факультет

УТВЕРЖДЕНО:

Декан

Л. В. Гензе

Оценочные материалы по дисциплине

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. Компетенции и индикаторы их достижения, проверяемые данными оценочными материалами**

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. Оценочные материалы текущего контроля и критерии оценивания**

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 семестр.

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

Элементы текущего контроля:

– индивидуальные задания.

*Индивидуальное задание 1 (ИОПК 1.1, ИОПК 1.2, ИОПК 2.1, ИОПК 3.1, ИПК 1.1, ИПК 1.4):*

Чтение КД и построение 3D модели смесителя холодной и горячей воды в САД.

Генерация сетки в расчетном домене смесителя холодной и горячей воды в САЕ

Разработка математической постановки задачи для рассматриваемой задачи.

Проведение численного расчета и визуализация результатов в САЕ системе.

При выполнении данного задания слушателями будут нарабатываться навыки чтения конструкторской документации и построения твердотельных деталей и небольших узловых сборок в САД (САПР). Для трехмерного проектирования изделий и узлов слушателям будут предложены чертежи с заданными размерами, допусками, схемами сборки. Геометрия области исследования представлена на Рис. 1.

Так же у слушателей нарабатываются навыки построения математической постановки задачи, построения расчетной сетки, проведения численного расчета и

визуализации полученных результатов с последующей защитой отчета для аудитории студентов.

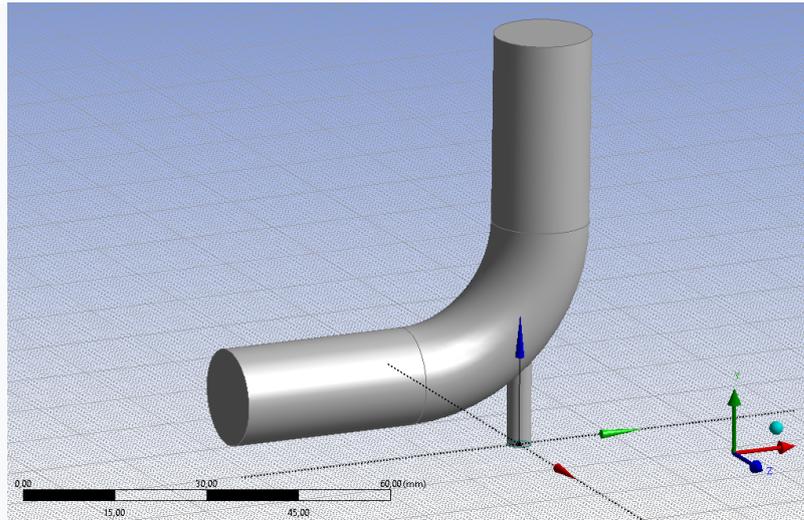


Рис. 1. Визуализация 3D-модели смесителя

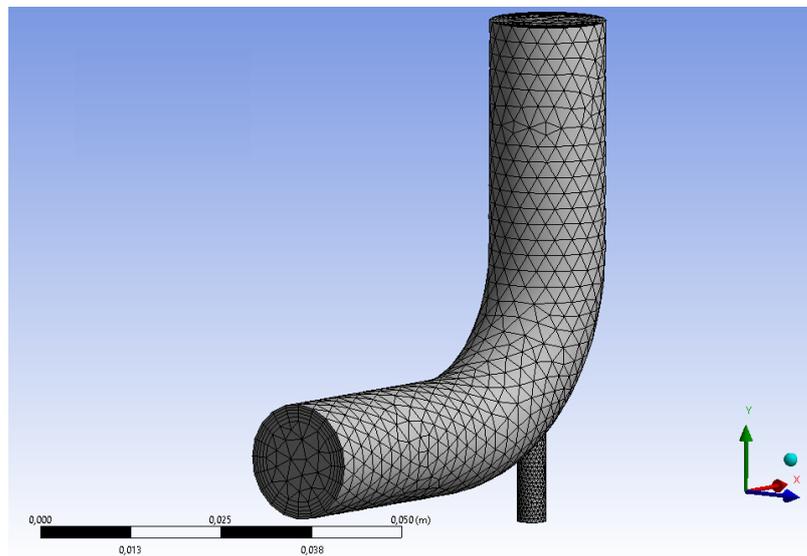


Рис. 2. Созданная сетка в домене смесителя

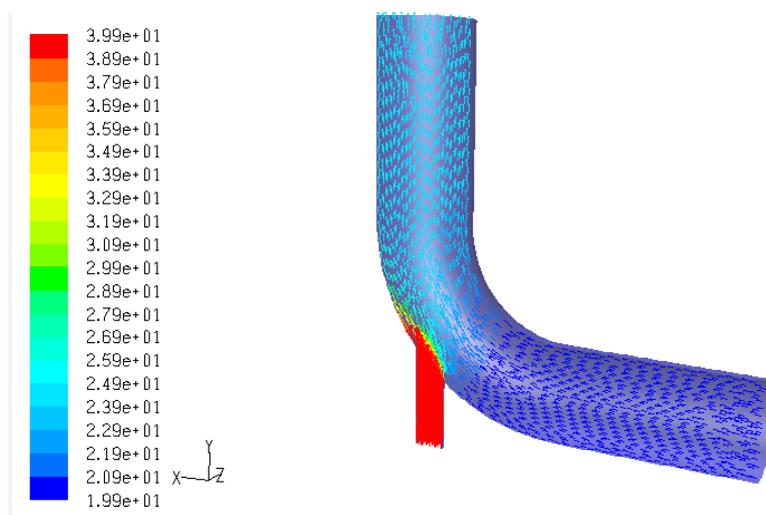


Рис. 3. Визуализация векторного поля скорости, раскрашенного в значение температуры [°C]

На Рис. 3 представлено поле векторов скорости для смесителя, в котором холодная жидкость ( $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) поступает через основной входной патрубок большого диаметра и смешивается с горячей жидкостью ( $T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), подаваемой через дополнительный патрубок малого диаметра, расположенный на изгибе канала.

### **3. Оценочные материалы итогового контроля (промежуточной аттестации) и критерии оценивания**

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.

Оценка «зачтено» выставляется, если студент подготовил и оформил отчет по итоговому проекту, защитил его перед аудиторией слушателей и успешно ответил на один теоретический вопрос по лекционному материалу.

Оценка «не зачтено» выставляется в противном случае.

*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.

#### **Типовые вопросы для проведения промежуточной аттестации в форме зачета:**

1. Раскройте принципиальные различия и области применения нисходящего (top-down) и восходящего (bottom-up) подходов к проектированию.
2. Назовите ключевые цели и задачи автоматизации проектирования в современном инжиниринге.
3. Опишите основные методы и инструменты, применяемые для повышения качества и точности проектирования на виртуальной стадии.
4. Сравните способы представления геометрической информации в САПР (например, твердотельное) и обоснуйте критерии их выбора для различных классов инженерных задач.
5. Дайте определение проекта (Project) в среде ANSYS Workbench и охарактеризуйте его структуру и основные компоненты.

6. Перечислите основные типы физических задач (механика деформируемого твердого тела, гидрогазодинамика, электромагнетизм, полупроводники, оптика, фотоника, моделирование новых материалов, аддитивные технологии и др.), решаемые с помощью пакета ANSYS Workbench.
7. Дайте определение термину «дискретный» применительно к численным методам и процессу конечно-элементного анализа.
8. Дайте определение компьютерного инжиниринга (CAE). Какие его ключевые особенности и преимущества определяют центральную роль в создании конкурентоспособной продукции?
9. Опишите эволюцию роли инженера. В чем заключается различие между классическим «инженером-универсалом» и современными тенденциями специализации?
10. Перечислите основных стейкхолдеров в области компьютерного инжиниринга в России и охарактеризуйте роль и интересы одного из них (на выбор: вуз, промышленное предприятие, государственный орган).
11. Раскройте экономический эффект от применения CAE-технологий на ранних стадиях проектирования. Почему виртуальные испытания дешевле и эффективнее испытаний физических прототипов?
12. В чем заключается принципиальное различие между системами CAD, CAE, CAM и PDM/PLM? Опишите, как эти системы взаимодействуют в рамках единого жизненного цикла изделия.
13. Перечислите и кратко охарактеризуйте основные этапы решения задачи в пакете ANSYS Fluent (от геометрии до анализа результатов).
14. Какова роль препроцессора (на примере GAMBIT) в процессе компьютерного моделирования?
15. Что такое «сетка» (расчетная сетка) в вычислительной гидродинамике и почему ее качество критически важно для точности и скорости расчета?
16. Объясните, что понимается под «мультидисциплинарностью» компьютерного инжиниринга. Приведите пример инженерной задачи, требующей совместного анализа нескольких физических явлений.
17. Какой метод дискретизации наиболее эффективен при решении задач динамики жидкостей и газов на неструктурированных сетках?
18. В чём заключается основная идея метода конечных объёмов?
19. Как можно убедиться в достоверности результатов, полученных при численных расчётах?
20. В чем разница между верификацией и валидацией моделей? Рассмотрите необходимость оценки адекватности моделей относительно реального изделия.

### **Примеры физических постановок задач, для выполнения итогового проекта:**

1. Создание расчётной геометрии и разностной сетки изогнутого канала для смешивания жидкостей с различной температурой.
2. Построение периодического сегмента для расчета обтекания и аэродинамических характеристик профиля крыла лопатки спрямляющего аппарата.
3. Построение периодического сегмента для расчета обтекания и аэродинамических характеристик профиля крыла лопатки рабочего колеса.
4. Построение расчетного домена и моделирование процесса смешивания двух газовых потоков в цилиндрическом канале.
5. Построение геометрии и анализ течения в лабиринтном уплотнении с изменяемым профилем каналов.
6. Моделирование геометрии и теплового режима радиатора в термошкафе защитном.

7. Расчет теплового режима и охлаждения электронного блока с несколькими источниками тепла.
8. Построение геометрии и моделирование течения в коллекторе сложной конфигурации.
9. Разработка геометрической модели и расчет теплообмена в полости с перфорированными перегородками.
10. Моделирование геометрии и аэродинамических характеристик диффузора с изменяемым углом раскрытия.
11. Моделирование геометрии и аэродинамических характеристик конфузора с изменяемым углом раскрытия.

#### **4. Оценочные материалы для проверки остаточных знаний (сформированности компетенций)**

*Тест (ИОПК 1.1, ИОПК 1.2, ИОПК 2.1, ИПК 1.1, ИПК 1.4):*

1. Какова основная экономическая цель использования САЕ-систем на ранних стадиях проектирования? (ИОПК 1.1, ИОПК-2.1)
  - а) Увеличить количество инженеров в проекте
  - б) Полностью исключить этап физических испытаний
  - в) Снизить стоимость и время разработки за счет виртуального устранения ошибок
  - г) Упростить интерфейс программного обеспечения
2. Какая из перечисленных аббревиатур обозначает класс систем для управления всеми данными и процессами на протяжении всего жизненного цикла изделия? (ИПК-1.1)
  - а) CAD (Computer-Aided Design)
  - б) CAM (Computer-Aided Manufacturing)
  - в) CAE (Computer-Aided Engineering)
  - г) PLM (Product Lifecycle Management)
3. Что является конечным продуктом этапа построения сетки в препроцессоре (например, GAMBIT)? (ИПК-1.4)
  - а) Готовый чертеж детали
  - б) Отчет о результатах расчета
  - в) Дискретная модель расчетной области, состоящая из ячеек (расчетная сетка)
  - г) Управляющая программа для станка с ЧПУ
4. Выберите верное утверждение, характеризующее роль современного инженера. (ИОПК-1.2)
  - а) Инженер является узким специалистом, отвечающим только за расчеты.
  - б) Инженер должен совмещать функции исследователя, проектировщика и организатора работы.
  - в) Основная задача инженера - составление конструкторской документации.
  - г) Развитие искусственного интеллекта делает роль инженера менее значимой.

Ключи: 1 - в, 2 - г, 3 - в, 4 - б

**Задачи ( ИОПК 2.1 , ИПК 1.4):**

**Задача 1 (ИПК-1.4)**

Имеется упрощенная 2D-модель пластины размерами 1x1 м. Требуется провести стационарный тепловой расчет. Левая граница имеет постоянную температуру 100°C, правая - 20°C, верхняя и нижняя границы теплоизолированы.

Вопрос: Какой тип граничных условий (ГУ) необходимо задать для верхней и нижней границ в ANSYS Fluent для описания теплоизоляции? Дайте краткое обоснование.

Ответ: Для теплоизолированных границ следует задать Граничное условие «Wall» с типом тепловых условий «Adiabatic» (Адиабатическая) или с нулевым тепловым потоком (Heat Flux = 0). Это означает, что через эти границы не происходит перенос тепла, что математически соответствует граничному условию II рода с нулевым потоком.

**Задача 2 (ИОПК-2.1)**

При построении геометрии для моделирования обтекания куба потоком воздуха студент создал два варианта расчетной области: 1) малая область, расположенная близко к поверхности куба; 2) большая область, обеспечивающая развитие потока до и после куба.

Вопрос: Какой из вариантов является более корректным и почему?.

Ответ: Более корректным является вариант 2 (большая область). Необходимо обеспечить задание граничных условий, адекватных физике рассматриваемого процесса. На входе должен быть установлен равномерный профиль скорости, а на выходе - стабилизированное течение (например, условие «Pressure Outlet»). Малая область не позволяет потоку правильно развиваться и искажает результаты расчета аэродинамических характеристик.

**Теоретический вопрос (ИОПК-1.1, ИОПК-2.1, ИПК-1.1)**

1. Опишите ключевые этапы работы в рамках компьютерного инжиниринга при решении задачи о стационарном обтекании тела потоком жидкости.

Ответ должен содержать последовательность этапов: от построения геометрии и сетки до анализа результатов, с краткой характеристикой каждого.

Пример ответа:

- ✓ Геометрическое моделирование (CAD): создание 3D-модели тела и расчетной области;
- ✓ Построение сетки (препроцессор): дискретизация области на конечные объемы;
- ✓ Настройка модели: выбор модели течения (ламинарная/турбулентная), задание свойств жидкости, граничных условий (скорость на входе, давление на выходе, стенка);
- ✓ Расчет: решение системы уравнений;
- ✓ Анализ результатов (постпроцессор): визуализация полей скорости, давления, анализ сил, действующих на тело.

*Кейс от индустриального партнера (ИОПК-1.1, ИОПК-1.2, ИОПК-2.1, ИОПК-3.1, ИПК-1.1, ИПК-1.4)*

*Описание кейса:*

На производстве возникла проблема перегрева критического электронного компонента, установленного на печатной плате внутри корпуса. Заказчик просит предложить варианты модернизации системы охлаждения без кардинального изменения конструкции корпуса.

*Задание:*

1. сформулируйте постановку задачи для математического моделирования с целью анализа теплового режима;
2. предложите последовательность действий для решения этой задачи с использованием САЕ-пакета (например, ANSYS);
3. перечислите возможные варианты модернизации, которые можно исследовать виртуально, и критерии для их оценки;
4. в доступной форме донесите информацию по этапам математического и имитационного моделирования при решении задачи для заказчика.

*Критерии оценки ответа по пунктам 1-3 на кейс:*

- ✓ Постановка задачи: присутствуют цель, объект, определяются физические явления (конвекция, кондукция), граничные условия.
- ✓ Последовательность действий: этапы (геометрия, сетка, настройка, расчет, анализ) логичны и полны.
- ✓ Варианты модернизации и критерии: предложены реалистичные варианты (изменение формы корпуса, добавление вентилятора, перфорация корпуса) и критерии их оценки (максимальная температура компонента, равномерность нагрева).

*Примерная структура ответа на пункт 4 для студента:*

Коллеги, наша работа будет состоять из нескольких последовательных этапов, цель которых - найти оптимальное решение по охлаждению вашего устройства без лишних затрат и без кардинального изменения конструкции корпуса. Для этого мы выполним несколько пунктов:

Создание твердотельной модели. Здесь мы создадим точную 3D-модель вашего устройства. Это нужно, чтобы компьютер понимал, как расположены все детали.

Виртуальный эксперимент. Мы переведем физику протекающего процесса - нагрев, распространение тепла по деталям и охлаждение воздухом - на язык математики. Не углубляясь в сложные формулы, скажем, что современные методы позволяют "разделить" нашу 3D-модель на миллионы мелких ячеек и для каждой решить упрощенные уравнения, описывающие баланс тепла. Этот подход, основанный на методах конечных объемов, - ключевое научное достижение, лежащее в основе всего компьютерного инжиниринга. Далее компьютер проведет расчет для всей модели в целом, определив, как тепло распространяется по корпусу и куда уходит.

Анализ "тепловой карты". Мы получим цветную "тепловую карту", которая наглядно покажет, какие зоны перегреваются. Это ключевой момент для понимания проблемы. Мы видим результат решения системы дифференциальных уравнений в частных производных совместно с начально-краевыми условиями (данная система описывает математически физику протекающего процесса внутри корпуса) в виде интуитивно понятной визуализации, что превращает сложные математические выкладки в ценный инструмент для принятия решений.

Оптимизация и тестирование решений. После чего мы будем виртуально тестировать различные геометрические улучшения (оптимизация расчетного домена) анализируя, как каждое из них повлияет на температуру.

Это и есть основное преимущество использования цифровых двойников изделий: мы можем быстро и дешево провести десятки "цифровых экспериментов", чтобы найти наилучшее решение, основанное на численном расчете. Вся мощь современной вычислительной математики и имитационного моделирования будет направлена на решение вашей конкретной производственной задачи.

### **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](#)).