

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

Механико-математический факультет

УТВЕРЖДАЮ:
Декан ММФ ТГУ
Л. В. Гензе

Рабочая программа дисциплины

Современные методы вычислительной математики

по направлению подготовки

01.03.01 Математика, 02.03.01 Математика и компьютерные науки

Направленность (профиль) подготовки :

**Основы научно-исследовательской деятельности в области математики
Основы научно-исследовательской деятельности в области математики и
компьютерных наук**

Форма обучения
Очная

Квалификация
Бакалавр

Год приема
2023

СОГЛАСОВАНО:
Руководитель ОП
Л.В. Гензе

Председатель УМК
Е.А. Тарасов

Томск – 2023

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-4 Способен проводить под научным руководством исследование на основе существующих методов в конкретной области профессиональной деятельности.

ПК-1 Способен проводить научно-исследовательские разработки по отдельным разделам выбранной темы.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК 4.1 Проводит поиск и обработку научной и научно-технической информации, необходимой для решения исследовательских задач

ИОПК 4.2 Оценивает полученные результаты и формулирует выводы по итогам проведенных исследований

ИПК 1.1 Проводит работы по обработке и анализу научно-технической информации и результатов исследований

ИПК 1.2 Подготавливает планы и программы проведения отдельных этапов научно-исследовательской работы

ИПК 1.3 Проводит отдельные этапы научно-исследовательской работы

2. Задачи освоения дисциплины

– Знание основных этапов численного моделирования задач механики жидкости и газа с использованием современных пакетов вычислительной гидромеханики, а также основные математические модели жидких сред, используемые в пакете ANSYS FLUENT.

- Умение создавать геометрию произвольной расчетной области, строить сетки в этих областях и оценивать их качество, выбирать математическую модель решения задачи о течении жидкости или газа и задавать её параметры в пакете ANSYS FLUENT, выбирать численный метод решения задачи, управлять процессом расчета в пакете FLUENT, анализировать и представлять результаты расчетов в пакете FLUENT, а также экспортировать результаты в другие программы обработки, использовать полученные знания в своей профессиональной деятельности.

- Владение способами построения двумерных и трёхмерных областей в пакете GAMBIT, способами построения сеток и оценкой их качества в пакете GAMBIT, навыками решения наиболее распространённых типов задач механики жидкости и газа в пакете FLUENT, способами представления результатов расчёта.

– Научиться применять средства пакета ANSYS FLUENT для численного решения практических задач механики жидкости и газа в профессиональной деятельности.

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

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

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор.

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

Седьмой семестр, зачет

5. Входные требования для освоения дисциплины

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: Программирование, Математический анализ, Механика сплошных сред, Учебно-вычислительная практика.

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 з.е., 72 часов, из которых:

-практические занятия: 32 ч.

в том числе практическая подготовка: 32 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Тема 1. Введение.

Этапы решения задач гидродинамики. Основные характеристики течений жидкости и газа. Основные математические понятия, используемые при моделировании течений жидкости.

Тема 2. Система уравнений гидродинамики

Математические модели жидкости, используемые при решении задач гидродинамики. Постановка задач гидродинамики: классы задач и типы граничных условий.

Тема 3. Основные понятия численного решения уравнений гидродинамики

Методы дискретизации расчётной области и обзор методов численного решения уравнений гидродинамики.

Тема 4. Геометрический пакет GAMBIT.

Знакомство с геометрическим пакетом GAMBIT. Построение геометрических объектов в пакете GAMBIT. Построение и анализ сеток в пакете GAMBIT.

Тема 5. Знакомство с пакетом FLUENT.

Интерфейс пакета. Порядок работы. Этапы решения задач вычислительной гидродинамики в пакете FLUENT

Тема 6. Расчет нестационарного теплового поля в покоящейся среде.

Решение нестационарной задачи о распространении тепла в твёрдом теле.

Тема 7. Конвективный теплообмен при течении в канале.

Задача теплообмена при ламинарном течении несжимаемой жидкости в канале.

Решение задачи турбулентного течения и теплообмена несжимаемой жидкости в канале.

Тема 8. Сопряженный конвективный теплообмен.

Постановка задач. Решение задачи о сопряженном конвективном теплообмене несжимаемой жидкости в круглой трубе.

Тема 9. Моделирование свободно-конвективных течений.

Модели течений при наличии свободной конвекции. Решение задач о свободно-конвективном течении от нагретого источника в ламинарном и турбулентном режиме.

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, использования вопросов для самоконтроля, контроля работы над индивидуальным

заданием, путем защиты отчета по индивидуальному заданию и фиксируется в форме экзамена в конце семестра.

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Зачет в седьмом семестре проводится устно по результатам защиты отчета по выполненному студентом индивидуальному заданию.

При защите отчета по индивидуальному заданию обучающийся должен продемонстрировать следующие компетенции: ОПК-4, ПК-1, ИОПК 4.1, ИОПК 4.2, ИПК 1.1, ИПК 1.2, ИПК 1.3.

Примеры индивидуальных заданий

1. Построить конечно-разностную сетку и провести расчет на основе пакета **FLUENT** ламинарного неизоотермического течения воздуха в плоском канале при $Re_H=10$ и $Pr=5$. Построить графики изменения осевой скорости, коэффициента трения и безразмерного коэффициента теплообмена. Оценить длину начального гидродинамического и термического участков.
2. Построить конечно-разностную сетку и провести расчет ламинарного неизоотермического течения в трубе при $Re_D=50$ и $Pr=0,71$. Построить графики изменения осевой скорости, коэффициента трения и безразмерного коэффициента теплообмена. Оценить длину начального гидродинамического и термического участков.
3. Построить конечно-разностную сетку и провести расчет на основе пакета **FLUENT** ламинарного неизоотермического течения в плоском канале с одной теплоизолированной стенкой при $Re_H=100$ и $Pr=0,71$. Построить графики изменения осевой скорости, коэффициента трения и безразмерного коэффициента теплообмена. Оценить длину начального гидродинамического и термического участков. Рассмотреть случай зависимости теплофизических свойств теплоносителя от температуры. Перепад температур (входящего потока и стенки) принять равным **50** градусам.
4. Рассматривается ламинарное течение вязкой несжимаемой жидкости в **Z**-образном канале при $Re_H=10$ и $Pr=0,71$. Расстояние между параллельными стенками канала равно **0,015** м, скорость потока на входе - **0,01** м/с, температура - **300** К. Длина входного предвключенного участка канала равна **0,03** м, выходного **0,05** м. Верхняя стенка теплоизолирована, нижняя имеет температуру **330** К. Построить конечно-разностную сетку и провести расчет на основе пакета **FLUENT** с учетом и без учета влияния зависимости теплофизических свойств от температуры. Дать объяснение полученным результатам.
5. Построить конечно-разностную сетку и провести расчет на основе пакета **FLUENT** турбулентного неизоотермического течения в трубе круглого поперечного сечения при $Re_D=50000$ и $Pr=0,71$. Поток, поступающий в трубу, имеет температуру на **10** градусов ниже, чем температура стенок. Построить графики изменения осевой скорости, коэффициента трения и безразмерного коэффициента теплообмена. Оценить длину начального гидродинамического и термического участков.
6. Построить конечно-разностную сетку и провести расчет на основе пакета **FLUENT** турбулентного неизоотермического течения в плоском канале со вставкой ($h/H=0,5$) при $Re_H=10000$ и $Pr=0,71$. Обогрев канала ведется от входного сечения. Рассмотреть случаи, когда вставка располагалась на расстоянии **10H** и **50H** от входного сечения трубы.

Построить графики изменения коэффициента трения и локального числа Нуссельта по длине трубы. Оценить длину участка рециркуляционного течения, дать объяснение полученным особенностям течения.

7. Построить конечно-разностную сетку и провести расчет на основе пакета **FLUENT** турбулентного неизотермического течения в трубе круглого поперечного сечения с кольцевой квадратной выемкой при $Re_H=10000$ и $Pr=5$. Глубина выемки составляет половину радиуса трубы. Поток, поступающий в трубу, имеет температуру на **15** градусов выше, чем температура стенок. Рассмотреть случаи, когда вставка располагалась на расстоянии **10H** и **50H** от входного сечения трубы. Построить графики изменения коэффициента трения и локального числа Нуссельта по длине трубы. Дать подробное описание полученной картины течения и теплообмена в выемке.

8. Построить конечно-разностную сетку и провести расчет на основе пакета **FLUENT** турбулентного неизотермического течения в трубе круглого поперечного сечения с внезапным сужением ($d/D=0,5$) при $Re_H=10000$ и $Pr=0,71$. Поток, поступающий в трубу, имеет температуру на **10** градусов выше, чем температура стенок. Сечение сужения потока располагается на расстоянии **50** диаметров от входа. Построить графики изменения осевой скорости, коэффициента трения и локального числа Нуссельта по длине трубы. Дать объяснение полученным результатам. Локализовать зоны рециркуляционного течения, определить положение точек присоединения потока.

9. Вода при температуре **337 К** течет по каналу прямоугольного сечения **10×15 см** со средней скоростью **8 м/с**. Температура горизонтальных стенок отличается от температуры на входе на **+20** градусов, а вертикальных - на **-20** градусов. Длина канала **6 м**. Построить конечно-разностную сетку и провести расчет на основе пакета **FLUENT** турбулентного неизотермического течения. Исследовать развитие пограничных слоев в канале, построить графики изменения локальных коэффициентов трения и числа Нуссельта, вычисленных на ограничивающих поток поверхностях, по длине канала.

10. Водород при атмосферном давлении и числе Рейнольдса **17000** движется по гладкой трубе диаметром **1,5 см** и длиной **1 м**. Температура водорода на входе **293 К**, а температура стенок трубы поддерживается равной **313 К**. Построить конечно-разностную сетку и провести расчет на основе пакета **FLUENT** турбулентного неизотермического течения. Рассчитать тепловой поток от стенок и определить температуру водорода на выходе из трубы.

11. Жидкий **фреон-12** поступает в гладкую трубу диаметром **1,3 см**. Скорость движения фреона **2,9 м/с**, его температура на входе в трубу **263 К**. Температура стенки трубы **283 К**. Построить конечно-разностную сетку и провести расчет на основе пакета **FLUENT** турбулентного неизотермического течения. Рассчитать тепловой поток к фреону в трубе длиной **1 м**.

12. Труба в химико-технологической установке используется для транспортировки скипидара с массовым расходом **23 кг/сек**. Труба имеет длину **10 м** и внутренний диаметр **13 см**. Температура скипидара на входе в трубу **373 К**, температура стенки трубы **303 К**. Построить конечно-разностную сетку и провести расчет на основе пакета **FLUENT** турбулентного неизотермического течения. Учитывать зависимость теплофизических свойств скипидара от температуры. Рассчитать тепловой поток от скипидара и температуру на выходе из трубы, расположенной горизонтально или вертикально.

13. Построить конечно-разностную сетку и провести расчет изотермического ламинарного течения в плоском канале шириной **0,01 м** со вставкой высотой **0,005 м** и шириной **0,005 м**. Число Рейнольдса, построенное по средней скорости до преграды и высоте канала, имеет значение **142**. Произвести расчет и построить линии тока и профили осевой скорости в нескольких сечениях за преградой в области рециркуляционного течения. Описать полученную картину течения.

Результаты зачета определяются оценками «зачтено», «не зачтено». Чтобы получить «зачтено», нужно подготовить и успешно защитить отчет.

11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=35005>

в) План практических занятий по дисциплине:

1. Этапы решения задач гидродинамики. Основные характеристики течений жидкости и газа.
2. Основные математические понятия, используемые при моделировании течений жидкости.
3. Математические модели жидкости, используемые при решении задач гидродинамики. Постановка задач гидродинамики: классы задач и типы граничных условий.
4. Методы дискретизации расчётной области, методы численного решения уравнений гидродинамики.
5. Знакомство с геометрическим пакетом GAMBIT. Построение геометрических объектов в пакете GAMBIT. Построение и анализ сеток в пакете GAMBIT.
6. Интерфейс пакета FLUENT. Порядок работы. Этапы решения задач вычислительной гидродинамики в пакете FLUENT.
7. Решение нестационарной задачи о распространении тепла в твёрдом теле.
8. Модель вязкой несжимаемой жидкости. Решение задачи о стационарном ламинарном течении вязкой несжимаемой жидкости в канале.
9. Задача теплообмена при ламинарном течении несжимаемой жидкости в канале.
10. Модели турбулентного течения, используемые в пакете FLUENT. Решение задачи турбулентного течения и теплообмена несжимаемой жидкости в канале.
11. Сопряженный конвективный теплообмен. Решение задачи о сопряженном конвективном теплообмене несжимаемой жидкости в круглой трубе.
12. Моделирование свободно-конвективных течений. Модели течений при наличии свободной конвекции. Решение задачи о свободно-конвективном течении от нагретого источника в ламинарном режиме.
13. Решение задачи о свободно-конвективном течении от нагретого источника в турбулентном режиме.

г) Методические указания по проведению лабораторных работ.

д) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

Для успешного освоения материала студентам необходимо посещать занятия, а 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 состоит в повторении материала с практических занятий, самостоятельного изучения дополнительных вопросов, более глубокого анализа темы с помощью литературы.

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

- Эглит М.Э. Лекции по основам механики сплошных сред. М.:Ленанд, 2014. 206 с.
- Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. газа: Учеб. для вузов. — М.: Дрофа, 2003. — 840 с.
- Гриднева В.А. Лекции по механике сплошной среды. Учебное пособие. – Томск: Томский государственный университет. Томск, 2004. 428 с
- А.В. Гарбарук, М.Х. Стрелец, М.Л. Шур. Моделирование турбулентности в расчетах сложных течений. Учеб. пособие. - СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 88 с.

б) дополнительная литература:

- Андерсон Д., Таннехил Дж., Плетчер Р. Вычислительная гидромеханика и теплообмен: В 2-х томах. – М.: Мир, 1990.
- Патанкар С., Сполдинг Д. Тепло и массообмен в пограничных слоях. – М.: Энергия, 1971.
- Пирумов У.Г., Росляков Г.С. Численные методы газовой динамики. – М.: Высш. шк., 1987 – 232 с.
- моделирование турбулентных течений: Учеб. пособие. - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. — 143 с.
- Батуриин О.В., Батуриин Н.В., Матвеев В.Н. Построение расчетных моделей в препроцессоре Gambit универсального программного комплекса Fluent: учеб. пособие – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2009. – 172 с.:ил.
- Батуриин О.В., Батуриин Н.В., Матвеев В.Н. Расчет течений жидкости и газа с помощью универсального программного комплекса FLUENT. Учеб. пособие – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2009. - 151с.: ил.

13. Перечень информационных технологий

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

- операционная система Windows 7 или Windows 10 <https://www.microsoft.com/ru-ru/software-download/windows10>;
- геометрический препроцессор GAMBIT 2.4.6;
- пакет ANSYS FLUENT 17.2

б) информационные справочные системы:

- Система помощи в пакете ANSYS FLUENT
- 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/
- Фирсов Д.К. Метод контрольного объёма на неструктурированной сетке в вычислительной механике. Учебное пособие. - Кафедра теоретической механики ММФ ТГУ. Томск, 2007. 72 с. http://math.tsu.ru/EEResources/pdf_common/Posobie2.pdf

14. Материально-техническое обеспечение

Для проведения практических занятий используются компьютерные классы, рассчитанные не менее, чем на 12 рабочих мест + рабочее место преподавателя. На компьютерах установлен пакет ANSYS FLUENT, имеется возможность проецирования экрана преподавателя на доску (314 ауд.)

Для проведения практических занятий и самостоятельной работы используются компьютерные классы учебно-вычислительной лаборатории ММФ, рассчитанные не менее, чем на 15 рабочих мест + рабочее место преподавателя. На компьютерах

установлен пакет ANSYS FLUENT, имеется возможность проецирования экрана преподавателя на доску. При выполнении индивидуальных заданий, самостоятельных работ используется свободное и лицензионное программное обеспечение:

- офисный пакет Microsoft Office 2010 (составление отчетов).

15. Информация о разработчиках

Гольдин Виктор Данилович, старший преподаватель