

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

Пограничный слой и теплопередача в энергетических устройствах

по направлению подготовки / специальности

16.03.01 Техническая физика

Направленность (профиль) подготовки/ специализация:

Компьютерное моделирование в инженерной теплофизике и аэрогидродинамике

Форма обучения

Очная

Квалификация

Инженер, инженер-разработчик

Год приема

2025

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОПОП

Э.Р. Шрагер

Ю.Н. Рыжих

А.Ю. Крайнов

Председатель УМК

В.А. Скрипняк

Томск – 2025

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-1 Способен использовать в профессиональной деятельности основные законы естественнонаучных и инженерных дисциплин, применять методы математического моделирования, теоретических и экспериментальных исследований.

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

ПК-1 Способен использовать методы математического моделирования тепловых процессов, формулировать задачи компьютерных исследований процессов теплообмена при разработке изделий РКТ

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

РООПК-1.1 Знает фундаментальные законы природы и основные физические и математические законы

РООПК-1.2 Умеет применять физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера

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 модели математического описания процессов теплообмена

РОПК - 1.2 Умеет использовать стандартные методики и разрабатывать новые подходы математического моделирования

2. Задачи освоения дисциплины

– Изучение фундаментальных положений механики жидкости, газа и теории пограничного слоя.

– Владение методами математического моделирования при решении фундаментальных и технологических задач механики жидкости, газа и теплопереноса.

– Применение теоретических знаний и методов математического моделирования к процессам и аппаратам в энергетической, химической и атомной промышленности, чтобы быть востребованным к практической профессиональной деятельности.

3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

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

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор. Дисциплина входит в модуль Цифровые технологии в аэродинамике летательных аппаратов.

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 компетенции, сформированные в ходе освоения образовательных программ предшествующего уровня образования.

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: математический анализ, основы теории и методы решения дифференциальных уравнений, аналитическая геометрия, физика, приближенные вычисления.

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины

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

-лекции: 10 ч.

-лабораторные: 30 ч.

-практические занятия: 30 ч.

в том числе практическая подготовка: 60 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Тема 1. *Жидкости и газы как сплошные деформированные среды.*

Основные свойства жидкостей и газов. Объемные и поверхностные силы. Понятие напряжения в механике жидкостей и газов. Закон Ньютона. Тензор напряжений, тензор скоростей деформаций. Вращение жидкой частицы.

Тема 2. *Составление уравнений неразрывности, переноса импульса, энергии и их общие свойства.*

Вывод дифференциальных уравнений неразрывности, Навье-Стокса, переноса полной энергии, переноса энтальпии и теплоты. Уравнения Эйлера. Уравнение Громека – Ламба. Уравнение Гельмгольца- Фридмана. Уравнение Гельмгольца. Уравнение Навье-Стокса как уравнение переноса вихрей. Векторный потенциал. Функция тока.

Тема 3. *Составление уравнений пограничного слоя и их точные и приближенные решения.*

Понятие пограничного слоя. Гипотеза Прандтля. Отрыв пограничного слоя и образование вихрей. Составление уравнений пограничного слоя. Сопротивление трения. Пограничный слой на пластине. Общие свойства уравнений пограничного слоя. Подобные решения уравнений погранслоя. Теорема импульсов. Теорема энергии. Течение около клина. Течение в суживающемся канале. Спутное течение позади плоской пластины, обтекаемой в продольном направлении. Плоская и круглая затопленная струя. Течение вблизи вращающегося бесконечного диска. Вращательное движение жидкости над неподвижным диском. Трехмерные пограничные слои.

Тема 4. *Температурные пограничные слои при вынужденной и свободной конвекции.*

Основные понятия и определения. Закон Фурье. Закон Ньютона-Рихмана. Уравнения переноса теплоты. Условия однозначности для уравнения переноса теплоты. Теория подобия в теплопередаче. Физический смысл критериев. Составление уравнений температурного пограничного слоя. Температурный пограничный слой на пластине. Естественная конвекция. Конвективная инверсия. Установившиеся динамический и тепловой пограничные слои на вертикальной пластине. Теплообмен в плоской и круглой ламинарной струе. Теплообмен при больших скоростях.

Тема 5. *Сжимаемые и нестационарные пограничные слои.*

Физические основы. Связь между распределением скоростей и температуры. Пограничный слой на продольно обтекаемой плоской пластине. Теорема импульсов и теорема энергии для сжимаемого пограничного слоя.

Общие замечания и численные методы расчета нестационарных пограничных слоев. Периодический пограничный слой.

Тема 6. *Управление пограничным слоем.*

Способы управления пограничным слоем. Приведение стенки в движение в сторону течения. Сдувание пограничного слоя. Отсасывание пограничного слоя. Вдувание другого газа. Придание стенке специальной формы. Охлаждение стенки. Решение некоторых задач для управления пограничного слоя.

Тема 7. *Численные методы решения задач динамики жидкости и теплообмена.*

Численные методы решения уравнений переноса импульса и теплоты в переменных скорость-давление и в переменных вихрь-функция тока. Численные методы решения уравнений пограничного слоя.

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, выполнения домашних заданий, проведение лабораторных работ по созданию численных программ, описывающих перенос импульса и тепла и выступлением с докладом (презентацией) по выполненной лабораторной работе, и фиксируется в форме контрольной точки 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/>.

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

Экзамен в восьмом семестре проводится в письменной форме по билетам. Экзаменационный билет состоит из двух 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:

1. Трехмерные турбулентные пограничные слои / Под ред. Х. Фернхольца и Е. Краузе. – М.: Мир, 1985.

2. Рейзлин, В. И. Математическое моделирование: учебное пособие. – М.: Юрайт, 2016. – 128 с.

3. Лойцянский, Л.Г. Механика жидкости и газа. – М.: Наука, 1987.

4. Патанкар, С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 150 с.

5. Ландау, Л.Д. Теоретическая физика. Т. VI. Гидродинамика / Л. Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Наука, 1988. – 736 с.

6. Бэтчелор, Дж. Введение в динамику жидкости. – М.: Мир, 1973. – 758 с.

7. Шваб, А. В. Теория конвективного теплообмена. – Томск: Изд-во НТЛ, 2007. – 187 с.

б) дополнительная литература:

1. Балашов, А. П. Основы теории управления: учебное пособие. – М.: Вузовский учебник, НИЦ ИНФРА-М, 2021. – 280 с.

2. Липанов, А. М. Теоретическая гидромеханика ньютоновских сред. – М.: Наука, 2011. – 551 с.
3. Лапин, Ю. В. Турбулентный погранслой в сверхзвуковых потоках газа. – М.: Наука, 1970.
4. Кутателадзе, С. С. Основы теории теплообмена. – Новосибирск: Наука, 1970. – 659 с.
5. Ламб, Г. Гидродинамика. – М.-Л.: Огиз, 1947. – 928 с.
6. Карслоу, Г. Теплопроводность твердых тел / Г. Карслоу, Д. Егер. – М.: Наука, 1964. – 487 с.
7. Себеси, Т. Конвективный теплообмен / Т. Себеси, П. Бредшоу. – М.: Мир, 1987. – 590 с.
8. Исаченко, В. П. Теплопередача / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. – М.: Энергоиздат, 1981. – 417 с.
9. Самарский, А. А. Вычислительная теплопередача / А. А. Самарский, П. Н. Вабищевич. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 784 с.

в) ресурсы сети Интернет:

– 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 OneNote, 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/>

в) Университетская информационная система РОССИЯ – <https://uisrussia.msu.ru/>

– Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС) –
<https://www.fedstat.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

Шваб Александр Вениаминович, доктор физико-математических наук, профессор, кафедра прикладной аэромеханики физико-технического факультета, профессор.