

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

Теория турбулентности

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:

БК-1 Способен применять общие и специализированные компьютерные программы при решении задач профессиональной деятельности.

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

ОПК-2 Способен выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения физико-математический аппарат и современные компьютерные технологии.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

РОБК-1.1 Знает правила и принципы применения общих и специализированных компьютерных программ для решения задач профессиональной деятельности

РОБК-1.2 Умеет применять современные ИТ-технологии для сбора, анализа и представления информации; использовать в профессиональной деятельности общие и специализированные компьютерные программы.

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-2.1 Знает методику выявления естественнонаучной сущности проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, и методику привлечения физико-математического аппарата и современные компьютерных технологий для их решения

РООПК-2.2 Умеет выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности и привлекать для их решения физико-математический аппарат и современные компьютерные технологии

2. Задачи освоения дисциплины

– Изучение основных положений теории турбулентности и методов теоретического исследования течений при турбулентном режиме.

– Владение моделированием турбулентных течений с применением моделей турбулентности различного уровня сложности с учётом переноса тепла и массы применительно к природным явлениям и инженерным задачам.

– Применение численных методов расчета пространственных нестационарных и установившихся турбулентных течений при моделировании технологических процессов 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, зачет с оценкой

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. *Гидродинамическая неустойчивость ламинарного режима течения. Переход к турбулентности.*

Опыты Рейнольдса. Переходные явления. Явление перемежаемости. Верхнее и нижнее число Рейнольдса. Определение турбулентности.

Тема 2. *Уравнения Рейнольдса и полуэмпирические теории турбулентности.*

Вывод уравнений Рейнольдса. Уравнения переноса кинетической энергии и скалярной субстанции при турбулентном режиме. Теория пути смешения. Теория Буссинеска, Прандтля, Кармана, Тейлора, Рейхардта.

Тема 3. *Размерный анализ. Крупномасштабная и локальная турбулентность. Аналогии при турбулентном переносе.*

Развитая турбулентность. Крупномасштабная и мелкомасштабная турбулентность. Закон Колмогорова-Обухова. Перенос импульса, теплоты и вещества. Аналогия при турбулентном переносе в широком и узком смысле. Подобие гипотез Буссинеска, Фурье и Фика.

Тема 4. *Пристенная турбулентность.*

Приближенные уравнения для пристенной турбулентности. Универсальные закономерности распределения скоростей и напряжений в пристенных слоях. Закон стенки. Универсальный закон распределения температуры. Вопросы турбулентного переноса скалярной субстанции при течениях около твердой стенки. Законы сопротивления гладких и шероховатых труб на основе универсальных закономерностей в каналах и трубах. Обтекание плоской пластины при турбулентном режиме. Экспериментальные данные и их сравнение с классическими моделями.

Тема 5. *Неизотропная свободная турбулентность.*

Физические основы течений при неизотропной свободной турбулентности. Вывод приближенных уравнений для турбулентных течений для струйных течений и для следов при обтекании различных тел. Распределение скорости в следе за цилиндром. Классические модели при определении скорости в следе за цилиндром. Перенос скалярной субстанции в следе за цилиндром. Результаты измерений распределений осредненной скорости и осредненной температуры в следе за цилиндром. Осесимметричная турбулентная струя.

Тема 6. *Современные модели турбулентности.*

Моделирование турбулентных течений на основе подходов: 1. DNS - Direct Numerical Simulation (прямое численное моделирование). 2. LES - Large Eddy Simulation (моделирование крупных вихрей). 3. RANS - Reynolds Averaging based Numerical Simulations (моделирование на базе осредненных уравнений Навье-Стокса). Инженерные модели RANS: однопараметрические и двухпараметрические модели, модели переноса турбулентных напряжений и их приближения.

Тема 7. Численные методы.

Особенности численных методов решения уравнений переноса импульса, теплоты и вещества при турбулентном режиме течения.

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 при турбулентном режиме течения и выступлением с докладом (презентацией) по выполненной лабораторной работе. Проведение 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

Зачет с оценкой в восьмом семестре проводится в устной форме по билетам. Экзаменационный билет состоит из двух вопросов. Продолжительность зачета с оценкой 1 час.

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=22367>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

в) Методические указания по проведению лабораторных работ.

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

- Хинце И.О. Турбулентность. М.: Физматгиз, 1963. 680с.
- Монин А.С., Яглом А.М. Статистическая гидромеханика \ ч.1,2. М.: Наука, 1967.
- Турбулентность \ Под ред. Бредшоу. - М.: Машиностроение, 1980., 333с.
- Методы расчета турбулентных течений: Пер. с англ. \ Под ред. В. Колльмана. - М. Мир, 1984. - 464 с.
- Бай Ши-И. Турбулентное течение жидкостей и газов. М.: Изд. Ин.-лит., 1962, 306с
- Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М.: Наука, 1974, 712 с.
- Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1987.
- Шваб А.В. Теория конвективного теплообмена/ Томск, Изд. НТЛ, 2007, 187с

б) дополнительная литература:

- Основы теории управления: Учебное пособие/ А.П. Балашов - М.: Вузовский учебник, НИЦ ИНФРА-М, 2021. - 280 с. - URL: <http://znanium.com/bookread2.php?book=49191>

- Рейзлин В. Математическое моделирование. Учебное пособие. – М.: Юрайт, 2016. 128с.;
- Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости.-М.: Энергоатомиздат, 1984, 150с.;
- Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т.VI. Гидродинамика.-М.: Наука, 1988.-736с.
- Липанов А.М. Теоретическая гидромеханика ньютоновских сред.–М.:Наука, 2011. 551с.;
- Лапин Ю.В. Турбулентный погранслой в сверхзвуковых потоках газа. М.:Наука. 1970.
- Себеси Т., Бредшоу П. Конвективный теплообмен. Москва, Мир,1987, 590 с.;
- Самарский А.А. Вабищевич П.Н. Вычислительная теплопередача.–М.: Едиториал УРСС, 2003. – 784 с.;
- У.Фриш. Турбулентность. Наследие А.Н.Колмогорова. \ Пер. с англ. Под ред. М.Л. Бланка., Москва,Фазис,1998, 344с.
- Обухов А.М. Турбулентность и динамика атмосферы. \Л. Гидрометеиздат 1988,412с

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 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

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