

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

Физико-технический факультет



Ю.Н. Рыжих

« 28 » 06 20 22 г.

Рабочая программа дисциплины

Теория турбулентности

по направлению подготовки

16.03.01 Техническая физика

Направленность (профиль) подготовки :

Компьютерное моделирование в инженерной теплофизике и аэрогидродинамике

Форма обучения

Очная

Квалификация

Бакалавр

Год приема

2022

Код дисциплины в учебном плане: Б1.В.ДВ.06.01

СОГЛАСОВАНО:

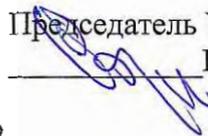
Руководитель ОПОП

 Э.Р. Шрагер

Руководитель ОПОП

 А.В. Шваб

Председатель УМК

 В.А. Скрипняк

Томск – 2022

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

- ОПК-1 – Способен использовать фундаментальные законы природы и основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности;
- ОПК-2 Способен применять методы математического анализа, моделирования, оптимизации и статистики для решения задач, возникающих в ход профессиональной деятельности;
- ПК-2 – Способен проводить исследования по аэрогидродинамике и процессам теплообмена изделий РКТ с использованием высокопроизводительной компьютерной техники.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК-1.1 Знать фундаментальные законы природы, основные законы и понятия естественно-научных и инженерных дисциплин.

ИОПК-1.2 Уметь на основе знаний по профильным разделам математических и естественно-научных дисциплин формировать собственные суждения при решении конкретных задач теоретического и прикладного характера.

ИОПК-1.3 Владеть навыками использования знаний физики и математики при решении практических задач в различных областях технической физики.

ИОПК-2.1 Знать современные методы математического анализа, моделирования, оптимизации и статистики для решения профессиональных задач в различных областях технической физики.

ИОПК-2.2 Уметь использовать методы математического анализа, моделирования, оптимизации и статистики для моделирования процессов в различных областях технической физики.

ИОПК-2.3 Владеть методами математического анализа, моделирования, оптимизации и статистики используемых для решения профессиональных задач в различных областях технической физики.

ИПК-2.1 Знает основы разработки численных методов решения прикладных задач.

ИПК-2.2 Умеет использовать пакеты прикладных программ и разрабатывать оригинальные программы реализации моделей.

ИПК-2.3 Владеет навыками представления и анализа полученных численных результатов.

2. Задачи освоения дисциплины

– Изучение основных положений теории турбулентности и методов экспериментального и 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 части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор.

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 результаты обучения по следующим дисциплинам: математический анализ, теория обыкновенных дифференциальных уравнений, основы линейной алгебры, общие курсы физики и химии, термодинамика, методы математической физики, гидродинамика. Студент должен знать: основные термины, понятия, законы, принципы, модели, методы указанных дисциплин.

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 часов, из которых:

-лекции: 10 ч.

-лабораторные: 30 ч.

-практические занятия: 30 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

8. Содержание дисциплины (модуля), 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, тестов по лекционному материалу, выполнения домашних заданий, и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

В середине семестра проводится контрольная точка в виде теста, в котором студенты отвечают по билету, содержащему 5 вопросов. Примерный перечень вопросов для одного билета при выполнении контрольной точки.

1. Сформулировать модель турбулентности Буссинеска.
2. Закон стенки.
3. Физические особенности мелкомасштабной турбулентности.
4. Определение коэффициента перемежаемости.
5. В чем отличие моделирование турбулентности в моделях DNS и LES.

Зачет с оценкой проведенной контрольной точки определяется по количеству правильно сформулированных ответов на эти 5 вопросов. Оценка «отлично» при положительных ответах на все 5 вопросов. Оценка «хорошо» при 4 правильных ответах. Оценка «удовлетворительно» при 3 правильных ответах и «неудовлетворительно» при менее трех положительных ответов. На экзамене вес этого теста составляет 10% окончательной оценки, получаемой на экзамене.

1. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=22367>

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

в дисциплине предусмотрено проведение практических занятий, на которых каждый студент обязан участвовать. Темы практических занятий:

Тема 1.	Гидродинамическая неустойчивость ламинарного режима течения. Переход к турбулентности.
Тема 2.	Уравнения Рейнольдса и полуэмпирические теории турбулентности.
Тема 3.	Размерный анализ. Крупномасштабная и локальная турбулентность. Аналогии при турбулентном переносе.
Тема 4.	Пристенная турбулентность.
Тема 5.	Неизотропная свободная турбулентность.
Тема 6.	Современные модели турбулентности.

В результате выступлений на практических занятиях в течении семестра получают итоговую оценку по пяти бальной системе и в общую оценку экзамена она входит с весом 10%.

в) План практических занятий по дисциплине:

в.1. Гидродинамическая неустойчивость ламинарного режима течения.

Переход к турбулентности.

в.2. Уравнения Рейнольдса и полуэмпирические теории турбулентности.

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

в.4. Пристенная турбулентность.

в.5. Неизотропная свободная турбулентность.

в.6. Современные модели турбулентности.

г) Методические указания по проведению лабораторных работ содержатся в электронной дисциплине «Теория турбулентности» <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=22367>

Студенты на практических занятиях участвуют в выполнении лабораторных работ по численному расчету гидродинамики и теплообмена в двухмерной области (для каждого студента своя геометрическая область расчета) при граничных условиях первого, второго и третьего рода и в этой же области проводится расчет гидродинамики с учетом процессов теплообмена и определение процесса теплоотдачи. Результаты этой работы оцениваются по пяти бальной системе и входят в общую оценку с весом 20%.

После завершения проводится устный экзамен, вес оценки которого составляет 60% .

Общая оценка складывается из суммы полученных оценок с учетом веса каждой. Пример оценки:

Вид работы	Вес оценки	Оценка	Баллы	Суммарная оценка: 0.5+0.4+1.0+1.8=3.7
Тест	10%	5	0.5	
Практические занятия	10%	4	0.4	
Лабораторная работа	20%	5	1.0	
Устный экзамен	60%	3	1.8	
Оценка за экзамен	хорошо			

д) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов: использование основной и дополнительной литературы, ресурсов сети интернет и учебных пособий, представленных в литературе

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

– Агарков А.П. Экономика и управление на предприятии / А.П. Агарков [и др.]. – М.: Дашков и Ко, 2021. – 400 с.

– Менеджмент: Учебник для бакалавров / Е. Л. Маслова. – М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2022. – 336 с. – URL: <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=51388>

– 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 погранслои 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:

- Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU: <http://elibrary.ru/>;
- Электронный ресурс SPIE Digital Library: <http://www.spiedigitallibrary.org>;
- Электронный ресурс ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com/>;
- Электронный ресурс SpringerLink: <http://link.springer.com/>.
- Журнал «Эксперт» - <http://www.expert.ru>
- Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики РФ - www.gsk.ru
- Официальный сайт Всемирного банка - www.worldbank.org
- 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/>

в) профессиональные базы данных (*при наличии*):

- 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.

Лаборатории, оборудованные для проведения лабораторных вычислительных работ по задачам динамического и теплового пограничного слоя.

Аудитории для проведения занятий лекционного и семинарского типа индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации в смешенном формате («Актру»).

15. Информация о разработчиках

Шваб А.В., д.ф.-м.н., профессор, ТГУ, профессор.

Турубаев Р.Р., ТГУ, ассистент.