

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

Физико-технический факультет



УТВЕРЖДАЮ:

Декан

Ю.Н. Рыжих

06

2022 г.

Рабочая программа дисциплины

**Теория пограничного слоя**

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.04.01

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-4 – Способен самостоятельно проводить теоретические и экспериментальные исследования в избранной области технической физики, использовать основные приемы обработки и представления полученных данных, учитывать современные тенденции развития технической физики в своей профессиональной деятельности;

– ПК-3 – Способен выполнять фундаментальные и прикладные работы поискового, теоретического и экспериментального характера при разработке новых материалов, технологий и устройств.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК-4.1 Знать современные теоретические и экспериментальные методы исследований, позволяющие решать конкретные задачи в различных областях технической физики, основные приемы обработки и представления полученных данных.

ИОПК-4.2 Уметь самостоятельно проводить теоретические и экспериментальные исследования в избранной области технической физики, использовать основные приемы обработки и представления полученных данных, учитывать современные тенденции развития технической физики в своей профессиональной деятельности.

ИОПК-4.3 Владеть современными теоретическими и экспериментальными методами исследования в избранной области технической физики, основными приемами обработки и представления полученных данных с учетом.

ИПК-3.1 Знает фундаментальные законы в области теплофизики и механики сплошных сред.

ИПК-3.2 Умеет проводить компьютерный эксперимент в области теплофизики и аэрогидродинамики.

ИПК-3.3 Умеет оформлять презентации, научно-технические отчеты по результатам выполненных исследований.

## **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 части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор.

## **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 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. *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, 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

Дисциплина реализуется в восьмом семестре. 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 закон Фурье и закон Ньютона - Рихмана.
2. Способы управления пограничным слоем.
3. Всегда ли существует динамический и тепловой пограничные слои и почему.
4. Физический смысл критериев. Примеры.
5. Что такое "отрыв" пограничного слоя и причины его возникновения.

Оценка, 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=22368>

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.	Жидкости и газы как сплошные деформированные среды.
Тема 2.	Составление уравнений неразрывности, переноса импульса, энергии и их общие свойства.
Тема 3.	Составление уравнений пограничного слоя и их точные и приближенные решения.
Тема 4.	Температурные пограничные слои при вынужденной и свободной конвекции.
Тема 5.	Сжимаемые и нестационарные пограничные слои.
Тема 6.	Управление пограничным слоем.

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 Изучение переноса теплоты теплопроводностью.
- в.2 Теория конвективного переноса теплоты
- в.3. Теплоотдача при фазовых превращениях
- в.4. Тепломассоперенос в двухкомпонентных средах
- в.5. Теплообмен излучением
- в.6. Численные методы решения задач тепломассопереноса

г) Методические указания по проведению лабораторных работ содержатся в электронной дисциплине «Теория пограничного слоя» <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=22455>

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>

– Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М.: Наука, 1974, 712 с.

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

- Рейзлин В. Математическое моделирование. Учебное пособие. – М.: Юрайт, 2016. 128с.;
- Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.:Наука, 1987.
- 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.
- Бэтчелор Дж. Введение в динамику жидкости, М.:Мир,1973, 758с
- 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>
- Липанов А.М. Теоретическая гидромеханика ньютоновских сред.–М.:Наука, 2011. 551с.;
- Лапин Ю.В. Турбулентный погранслои в сверхзвуковых потоках газа. М.:Наука. 1970.
- Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена.-Новосибирск: Наука, 1970, 659с.;
- Ламб Г. Гидродинамика, М.-Л.,Огиз,1947. 928 с.
- Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел. Наука, Москва, 1964,487с.;
- Себеси Т., Бредшоу П. Конвективный теплообмен. Москва, Мир,1987, 590 с.;
- Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С.Теплопередача. М. Энергоиздат. 1981,417с.;
- Самарский А.А. Вабищевич П.Н. Вычислительная теплопередача.–М.: Едиториал УРСС, 2003. – 784 с.;

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](http://www.gsk.ru)
- Официальный сайт Всемирного банка - [www.worldbank.org](http://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 Александр Вениаминович, доктор физико-математических наук, профессор, кафедры прикладной аэромеханики физико-технического факультета, профессор.

Турубаев Роман Ринатович, кафедра прикладной аэромеханики физико-технического факультета, ассистент.