

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО
Директор физтех-школы
аэрокосмических технологий
С.С. Негодяев

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Введение в аэрогазодинамику
по направлению:	Техническая физика
профиль подготовки:	Техническая физика космических летательных аппаратов Физтех-школа Аэрокосмических Технологий центр образовательных программ ФАКТ
курс:	4
квалификация:	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

7 (осенний) - Дифференцированный зачет

8 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 120 всего, в том числе:

лекции: 60 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 60 час.

Самостоятельная работа: 75 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 225, всего зач. ед.: 5

Программу составил: В.В. Курашов, преподаватель

Программа обсуждена на заседании центра образовательных программ ФАКТ 02.12.2024

Аннотация

Курс «Введение в аэрогазодинамику» посвящен задаче моделирования течения жидкости и газа. В курсе рассматривается постановка задачи движения жидкой частицы, невязкие, несжимаемые, дозвуковые, сверхзвуковые, сжимаемые, вязкие, турбулентные постановки течения газа, а также основные принципы их компьютерной реализации.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- изучение основных теоретических понятий, концепций и подходов, используемых для высокоточного моделирования течения жидкости и газа.

Задачи дисциплины

- приобретение базовых знаний о моделировании невязких течений;
- приобретение базовых знаний о моделировании несжимаемых течений;
- приобретение базовых знаний о моделировании сжимаемых течений;
- приобретение базовых знаний о моделировании вязких течений;
- приобретение базовых знаний о моделировании турбулентных течений;
- освоение современных подходов к реализации численных моделей на персональном компьютере,

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен использовать фундаментальные законы природы и основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями и законами современных естественнонаучных дисциплин в сфере своей профессиональной деятельности
	ОПК-1.2 Использует необходимые физические законы и понимает границы их применимости
ОПК-2 Способен применять методы математического анализа, математического моделирования и оптимизации для решения задач, возникающих в ходе профессиональной деятельности	ОПК-2.1 Знаком с основными методами математического анализа, математического моделирования и оптимизации
	ОПК-2.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-2.3 Способен определять границы применимости полученных результатов

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- физические основы моделирования течения жидкости и газа;
- математические основы моделирования течения жидкости и газа;
- основные алгоритмические подходы для моделирования течения жидкости и газа;
- оценивать сложность алгоритмов для моделирования течения жидкости и газа.

уметь:

- выбирать ту или иную физическую модель в зависимости от необходимой точности для решения задачи течения жидкости и газа;
- выбирать ту или иную математическую модель в зависимости от необходимой точности для решения задачи течения жидкости и газа.

владеть:

- теоретическим и понятийным аппаратом, используемым в науках, связанных с моделированием течения жидкости и газа.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Введение. Фундаментальные принципы	2		2	4
2	Принципы и соотношения. Векторные соотношения	4		4	4
3	Невязкая газодинамика	4		4	4
4	Сжимаемые течения	4		4	4
5	Прямой скачок	4		4	4
6	Косой скачок, волны разрежения	4		4	4
7	Сопло Лавалья	4		4	4
8	Дозвуковые сжимаемые течения около крыла	4		4	2
9	Линеаризованные сверхзвуковые течения	6		4	6
10	Введение в численные методы нелинейных сверхзвуковых течений	4		4	6
11	Элементы гиперзвуковой газодинамики	4		4	6
12	Вязкие течения	4		6	6
13	Течение Куэтта	4		4	6
14	Ламинарный пограничный слой	4		4	8
15	Турбулентный пограничный слой	4		4	7
Итого часов		60		60	75
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		225 час., 5 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 7 (Осенний)

1. Введение. Фундаментальные принципы

Фундаментальные принципы Введение. Классификация на практике. Силы, центр давления. Пи теорема, безразмерные параметры. Типы течений.

2. Принципы и соотношения. Векторные соотношения

Принципы и соотношения. Векторные соотношения. Модель контрольного объема и жидкой частицы. Законы сохранения. Субстанциональная производная, линия тока. Завихренность. Потенциальные течения.

3. Невязкая газодинамика

Невязкая газодинамика. Несжимаемые течения. Уравнение Бернулли. Трубка Пито. Коэффициент давления. Основные соотношения для безвихревого движения (уравнение Лапласа). Набор элементарных течений. Подъемная сила цилиндра. Трехмерные несжимаемые течения.

4. Сжимаемые течения

Сжимаемые течения. Термодинамика. Сжимаемость. Основные соотношения для сжимаемого газа. Критическая точка. Ударные волны.

5. Прямой скачок

Прямой скачок. Скорость звука. Специальная форма закона сохранения энергии. Расчет прямого скачка уплотнения.

6. Косой скачок, волны разрежения

Косой скачок, волны разрежения. Соотношения на косом скачке. Волны Прандтля-Майера. Вязко-невязкое взаимодействие.

7. Сопло Лавалья

Сопло Лавалья. Основные соотношения. Течения в соплах. Диффузоры. Вязкие эффекты.

8. Дозвуковые сжимаемые течения около крыла

Дозвуковые сжимаемые течения около крыла. Уравнение для потенциала. Учет сжимаемости по Прандтлю (коррекция). Критическое число Маха. Звуковой барьер. Правило площадей. Сверхзвуковые крылья.

Семестр: 8 (Весенний)

9. Линеаризованные сверхзвуковые течения

Линеаризованные сверхзвуковые течения. Основные соотношения. Практика. Вязкие течения.

10. Введение в численные методы нелинейных сверхзвуковых течений

Введение в численные методы нелинейных сверхзвуковых течений. Введение в численные методы. Метод характеристик. Сверхзвуковое сопло. Течение около конуса.

11. Элементы гиперзвуковой газодинамики

Элементы гиперзвуковой газодинамики. Соотношения. Формула Ньютона. Пластина. Ударная волна в гиперзвуковом случае. Гиперзвуковая аналогия. Численные методы. Нагрев.

12. Вязкие течения

Вязкие течения. Введение и фундаментальные принципы. Количественный аспект. Вязкость и теплопроводность. Навье-Стокс. Вязкость в уравнение для энергии. Безразмерные параметры.

13. Течение Куэтта

Течение Куэтта. Несжимаемое. Сжимаемое. Введение в пограничный слой. Соотношения в пограничном слое.

14. Ламинарный пограничный слой

Ламинарный пограничный слой. Несжимаемое течение около пластины. Профиль Блазиуса. Сжимаемое течение около пластины. Метод опорной температуры. Критическая точка. Численные методы решения.

15. Турбулентный пограничный слой

Турбулентный пограничный слой. Турбулентное течение около пластины. Модели турбулентности. k - ω , k - ϵ , Spalart-Allmaras, RANS, LES, DNS.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Компьютерная аудитория, проектор, доска.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Теоретическая физика [Текст]. В 10 т. Т. 6. Гидродинамика, учеб. пособие для вузов / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц, М., Физматлит, 1988, 2003, 2006

Литература из фонда базовой кафедры:

1. Anderson J.D. Fundamentals of aerodynamics. McGraw-Hill series in aeronautical and aerospace engineering, 2011 г.
2. Anderson J.D. Hypersonic and High temperature gas dynamics. AIAA education series, 2006 г.

Дополнительная литература

1. Конвективный теплообмен летательных аппаратов [Электронный ресурс] / под науч. ред. Б. А. Землянского. — М., Физматлит, 2014.— URL: <https://e.lanbook.com/book/59672> (дата обращения: 22.01.2021). - Полный текст (Режим доступа : из сети МФТИ / Удаленный доступ)

Литература из фонда базовой кафедры:

1. T.H. Pulliam, D.W. Zingg. Fundamental Algorithms in Computational Fluid Dynamics. Springer. 2014 г.
2. Лунёв В.В. Течения реальных газов с большими скоростями. Из-во ФИЗМАТЛИТ. 2007 г.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

- <http://lib.mipt.ru/> – электронная библиотека Физтеха
- <http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование»
- <http://elibrary.ru> – электронная библиотека

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

C++, Python, интернет-ресурсы

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Лекции сопровождаются лабораторными работами и домашними заданиями (самостоятельной работой), в процессе выполнения которых студент совершенствует способность создания программного кода, а также закрепляет знания, полученные на лекции.

Лабораторные работы включают в себя реализацию и исследование алгоритмов, обсужденных на лекционных занятиях.

Самостоятельная работа включает в себя:

- ознакомление с актуальной научной литературой;
- решение задач при выполнении домашних заданий;
- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной литературе).

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляет преподаватель путем проверки домашних заданий и проведения индивидуальных консультаций.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Техническая физика
профиль подготовки:	Техническая физика космических летательных аппаратов Физтех-школа Аэрокосмических Технологий центр образовательных программ ФАКТ
курс:	<u>4</u>
квалификация:	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

7 (осенний) - Дифференцированный зачет
8 (весенний) - Экзамен

Разработчик: В.В. Курашов, преподаватель

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен использовать фундаментальные законы природы и основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями и законами современных естественнонаучных дисциплин в сфере своей профессиональной деятельности
	ОПК-1.2 Использует необходимые физические законы и понимает границы их применимости
ОПК-2 Способен применять методы математического анализа, математического моделирования и оптимизации для решения задач, возникающих в ходе профессиональной деятельности	ОПК-2.1 Знаком с основными методами математического анализа, математического моделирования и оптимизации
	ОПК-2.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-2.3 Способен определять границы применимости полученных результатов

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Введение в аэрогазодинамику» обучающийся должен:

знать:

- физические основы моделирования течения жидкости и газа;
- математические основы моделирования течения жидкости и газа;
- основные алгоритмические подходы для моделирования течения жидкости и газа;
- оценивать сложность алгоритмов для моделирования течения жидкости и газа.

уметь:

- выбирать ту или иную физическую модель в зависимости от необходимой точности для решения задачи течения жидкости и газа;
- выбирать ту или иную математическую модель в зависимости от необходимой точности для решения задачи течения жидкости и газа.

владеть:

- теоретическим и понятийным аппаратом, используемым в науках, связанных с моделированием течения жидкости и газа.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Текущий контроль осуществляется в форме защиты домашних работ. Итоговая оценка выставляется с учетом выполнения домашних работ и устной беседы по программе курса.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Промежуточная аттестация по дисциплине «Введение в аэрогазодинамику» проводится в форме дифференцированного зачета в осеннем семестре 4 курса и экзамена в весеннем семестре 4 курса.

Примеры вопросов для дифференцированного зачета:

1. Классификация течений. Несжимаемые, сжимаемые течения. Вязкие течения. Дозвуковые, трансзвуковые, сверхзвуковые течения.
2. Пи теорема, безразмерные параметры. Число Маха, Рейнольдса. Задача о взрыве. Модель контрольного объема и жидкой частицы. Законы сохранения. Субстанциональная производная, линия тока. Завихренность. Потенциальные течения.
3. Невязкая газодинамика. Несжимаемые течения. Уравнение Бернулли. Трубка Пито. Коэффициент давления. 4. Основные соотношения для безвихревого движения (уравнение Лапласа). Подъемная сила цилиндра.

4. Сжимаемые течения. Термодинамика. Сжимаемость. Основные соотношения для сжимаемого газа. Критическая точка.
5. Прямой скачок. Скорость звука. Специальная форма закона сохранения энергии. Расчет прямого скачка уплотнения
6. Косой скачок, волны разрежения. Соотношения на косом скачке. Волны Прандтля-Майера. Вязко-невязкое взаимодействие.
7. Сопло Лавы. Основные соотношения. Течения в соплах. Диффузоры. Вязкие эффекты
8. Дозвуковые сжимаемые течения около крыла. Уравнение для потенциала. Учет сжимаемости по Прандтлю (коррекция). Критическое число Маха. Звуковой барьер. Правило площадей. Сверхзвуковые крылья.

Примеры вопросов для экзамена:

1. Линеаризованные сверхзвуковые течения. Основные соотношения. Вязкие течения.
2. Введение в численные методы нелинейных сверхзвуковых течений. Введение в CFD. Метод характеристик. Сверхзвуковое сопло. Течение около конуса.
3. Элементы гиперзвуковой газодинамики. Соотношения. Формула Ньютона. Пластина. Ударная волна в гиперзвуковом случае. Гиперзвуковая аналогия. Численные методы. Нагрев.
4. Вязкие течения. Введение и фундаментальные принципы. Количественный аспект. Вязкость и теплопроводность. Навье-Стокс. Вязкость в уравнение для энергии. Безразмерные параметры.
5. Течение Куэтта. Несжимаемое. Сжимаемое. Введение в пограничный слой. Соотношения в пограничном слое.
6. Таминарный пограничный слой. Несжимаемое течение около пластины. Профиль Блазиуса. Сжимаемое течение около пластины. Метод опорной температуры. Критическая точка. Численные методы решения.
7. Турбулентный пограничный слой. Турбулентное течение около пластины. Модели турбулентности. k - ω , k - ϵ , Spalart-Allmaras, RANS, LES, DNS.
8. Метод опорной температуры. Критическая точка. Численные методы решения.

Пример экзаменационного билета:

Билет № 1

1. Формула Ньютона.
2. Метод опорной температуры.

Критерии оценивания

оценка «отлично (10)» выставляется студенту, показавшему систематизированные, знания учебной программы дисциплины при выполнении домашних заданий и ответе на вопросы по программе дисциплины;

оценка «отлично (9)» выставляется студенту, показавшему систематизированные, знания учебной программы дисциплины при выполнении домашних заданий и ответе на вопросы по программе дисциплины;

оценка «отлично (8)» выставляется студенту, показавшему систематизированные, знания учебной программы дисциплины при выполнении домашних заданий и ответе на вопросы по программе дисциплины, но допускает при этом небольшие неточности;

оценка «хорошо (7)» выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, демонстрирует умение применять полученные знания на практике при выполнении домашних заданий, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;

оценка «хорошо (6)» выставляется студенту, если он знает материал экзаменационного билета, по существу излагает его, демонстрирует умение применять полученные знания на практике при выполнении домашних заданий, но допускает в ответе или в решении задач много неточностей;

оценка «хорошо (5)» выставляется студенту, если он знает материал экзаменационного билета, излагает его, демонстрирует умение применять полученные знания на практике при выполнении домашних заданий, не допускает в ответе грубых ошибок;

оценка «удовлетворительно (4)» выставляется студенту, если во время ответа, при выполнении домашних заданий он показал фрагментарный, характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, но при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения;

оценка «удовлетворительно (3)» выставляется студенту, если во время ответа, при выполнении домашних заданий он показал разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушение логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;

оценка «неудовлетворительно (2-1)» выставляется студенту, если во время ответа он показал, что не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины и не умеет использовать полученные знания при решении типовых практических задач или не выполнил какое-либо из домашних заданий.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

При проведении устного дифференцированного зачёта или экзамена обучающемуся выдается билет и предоставляется 60 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету не должен превышать двух астрономических часов. Во время проведения дифференцированного зачёта или экзамена при подготовке ответов на билеты, обучающиеся могут пользоваться только программой дисциплины.