

**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:	Аэродинамика больших скоростей
по направлению:	Информатика и вычислительная техника
профиль подготовки:	Программная инженерия передовая инженерная школа радиолокации, радионавигации и программной инженерии кафедра теоретической и прикладной аэрогидромеханики
курс:	4
квалификация:	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

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

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 60 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: В.Н. Голубкин, д-р техн. наук, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры теоретической и прикладной аэрогидромеханики 15.04.2022

Аннотация

Годовой курс «Аэродинамика больших скоростей» посвящен изложению фундаментальных основ теории обтекания тел потоком идеального сжимаемого газа. Рассматриваются постановки задач обтекания для дозвуковых, трансзвуковых, сверхзвуковых и гиперзвуковых скоростей набегающего потока с учетом особенностей, присущих течениям газа в каждом из этих диапазонов. Приводятся классические точные и приближенные решения, полученные в рамках линеаризованной и нелинейной теории. Формулируются законы подобия, плодотворные аналогии, качественные закономерности, способствующие пониманию основных особенностей сжимаемых течений и поведения аэродинамических характеристик элементов летательных аппаратов в широком диапазоне скоростей полета.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- знакомство студентов с основами аэродинамики как науки, изучающей течения сжимаемого газа. Рассматриваются классические постановки и подходы к решению задач обтекания тел сжимаемым потоком, широко применяемые в современной аэродинамике, включая точные и приближенные аналитические методы в различных диапазонах чисел Маха полета. Особое внимание уделяется характерному для авиакосмических приложений обтеканию тонких тел (профиль, крыло конечного размаха, тело вращения) и конфигураций в рамках линейной и нелинейной теории, формулам для расчета распределенных и интегральных аэродинамических характеристик, задачам оптимизации, законам подобия.

Задачи дисциплины

- формирование базовых знаний закономерностей аэродинамики элементов ЛА при обтекании потоком сжимаемого совершенного газа, опирающихся на знания в области уравнений математической физики, теории функций комплексного переменного, вариационного исчисления, методы малого параметра и асимптотические методы;
- овладение принципами и методами проведения приближенных оценок аэродинамических характеристик элементов ЛА в различных диапазонах чисел М полета;
- формирование практических навыков для выполнения исследований студентами в рамках выпускных работ на степень бакалавра.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-2 Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	ОПК-2.1 Способен применять современные вычислительную технику и сервисы сети Интернет в области (сфере) профессиональной деятельности
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.2 Знает основные источники научно-технической и (или) технологической информации в области профессиональной деятельности

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- ☐ постановки задач обтекания тел сжимаемым газом (уравнения, граничные условия), основные аналитические подходы к их решению и результаты.

уметь:

- ☐ проводить оценки аэродинамических характеристик элементов ЛА с помощью аналитических формул и законов подобия;
- ☐ пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач аэродинамики;
- ☐ делать теоретически обоснованные выводы из аналитического решения задач обтекания и сопоставления результатов теории и эксперимента;
- ☐ производить параметрические оценки характеристик обтекания по порядку величины;
- ☐ делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах.

владеть:

- ☐ точными и приближенными методами классической аэродинамики;
- ☐ практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач обтекания элементов ЛА;
- ☐ навыками теоретического анализа реальных задач аэродинамики.

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	Постановка задачи обтекания. Вихревые и потенциальные течения газа. Линеаризация уравнений и краевых условий в аэродинамике	6			3
2	Линеаризованная теория дозвукового обтекания тонких тел	8			4
3	Линеаризованная теория сверхзвукового обтекания тонких тел	8			4
4	Нелинейная теория дозвуковых течений	8			4
5	Трансзвуковое обтекание тонких тел	10			10
6	Нелинейная теория сверхзвуковых течений	10			10
7	Гиперзвуковая аэродинамика	10			10
Итого часов		60			45
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

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

Семестр: 7 (Осенний)

1. Постановка задачи обтекания. Вихревые и потенциальные течения газа. Линеаризация уравнений и краевых условий в аэродинамике

Постановка задачи обтекания тела потоком идеального газа. Уравнения газовой динамики. Начальные и граничные условия. Интеграл Бернулли. Вихревые течения газа. Уравнение Гельмгольца-Фридриха. Теорема Крокко о вихрях. Потенциальные течения газа. Нелинейное уравнение для потенциала скорости. Изоэнтропические и изоэнергетические течения. Инвариантные преобразования Седова-Прима. Теорема о сохранении обобщенной циркуляции. Линеаризация уравнений и краевых условий в аэродинамике. Классификация течений. Пределы применимости линейной теории. Линеаризованная формула для коэффициента давления.

2. Линеаризованная теория дозвукового обтекания тонких тел

Дозвуковое обтекание тонких профилей, тел вращения и крыльев конечного размаха. Сведение к задачам гидродинамики. Особенности обтекания закругленных и острых передних кромок. Симметричная и антисимметричная задачи. Метод особенностей (источники, вихри, диполи). Влияние сжимаемости. Правило Прандтля-Глауэрта. Эффективное удлинение крыла. Обтекание крыльев малого удлинения. Формула Джонса.

3. Линеаризованная теория сверхзвукового обтекания тонких тел

Линеаризованная теория сверхзвуковых течений. Обтекание тонкого профиля. Формулы Аккерета. Волновое сопротивление. Постановка и решение вариационных задач. Оптимальные свойства ромбовидных профилей. Полезная интерференция тел. Биплан Буземана. Метод особенностей при сверхзвуковых скоростях. Обтекание тонких осесимметричных тел. Задача о тонком конусе. Осесимметричные конические течения. Оптимальные формы. Оживало Кармана, тело Сирса-Хаака. Сверхзвуковое обтекание крыла конечного размаха. Эффект скольжения. Метод источников. Треугольные крылья с до- и сверхзвуковыми передними кромками и их несущие свойства. Конические течения общего вида. Теорема обратимости.

4. Нелинейная теория дозвуковых течений

Нелинейная теория плоских потенциальных дозвуковых течений. Метод годографа. Уравнения Чаплыгина. Струйные течения. Приближенные методы Чаплыгина и Кармана-Цзяна. Правило Кармана-Цзяна. Критическое число Маха.

Семестр: 8 (Весенний)

5. Трансзвуковое обтекание тонких тел

Трансзвуковое обтекание тонких тел и крыльев. Внешнее и внутреннее решения, сращивание. Нелинейное уравнение Кармана. Законы околосредового подобия для тонких профилей, тел вращения и крыльев большого размаха. Пространственное обтекание тонких тел с произвольным поперечным сечением. Принцип эквивалентности и правило площадей Уиткомба.

6. Нелинейная теория сверхзвуковых течений

Нелинейная теория плоских сверхзвуковых течений. Характеристики уравнений газовой динамики в физической плоскости и в плоскости годографа для потенциальных и вихревых течений. Эпициклоиды. Решение основных задач методом характеристик. Течение Прандтля-Майера. Задача об истечении сверхзвуковой недорасширенной струи. Образование скачков уплотнения. Соотношения Ренкина-Гюгонио. Ударная поляра. Обтекание клина. Второе приближение в теории тонкого профиля. Сверхзвуковые конические течения. Осесимметричное обтекание конуса (решение Буземана). Яблоковидная кривая. Обтекание кормовых частей (решение Никольского). Приближенные методы касательных клиньев и конусов. Метод скачков-волн разрежения при сверхзвуковых скоростях.

7. Гиперзвуковая аэродинамика

Гиперзвуковые течения, классификация. Принцип независимости от числа М (гиперзвуковая стабилизация) при обтекании тупых тел. Обтекание тонких заостренных тел и крыльев гиперзвуковым потоком. Закон плоских сечений (нестационарная аналогия) и законы подобия для тонких тел при малых и конечных углах атаки. Правило полос. Автомодельные решения для степенных тел. Влияние затупления на аэродинамические характеристики. Аналогия с задачей о сильном взрыве. Обтекание затупленной пластины и цилиндра (автомодельная задача). Влияние затупления на аэродинамические характеристики. Энтропийный слой. Приближенная теория Ньютона и ее модификации. Формула Ньютона – Буземана. Гиперзвуковое обтекание цилиндра. Отсоединение сжатого слоя и образование свободных слоев. Асимптотический метод тонкого сжатого слоя.

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

Необходимое оборудование для лекций: учебные аудитории, оснащенные досками.
Для самостоятельной работы: наличие ПК; доступ к библиотеке и к сети Интернет.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Теоретическая гидромеханика [Текст] : 2 ч. Ч. 1 : учеб. пособие для вузов / Н. Е. Кочин, И. А. Кибель, Н. В. Розе ; под ред. И. А. Кибеля. — 6-е изд., испр. и доп. — М : Физматгиз, 1963. — 583 с.
2. Механика жидкости и газа [Текст] = учебник для вузов / Л. Г. Лойцянский. — 5-е изд., перераб. — М. : Наука, 1973. — 736 с.
3. Газовая динамика [Текст] / Г. Г. Черый - М. Наука, 1988
4. Краткий курс теоретической газовой динамики [Текст] / А. Н. Крайко ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т - М.Изд-во МФТИ, 2007

Дополнительная литература

1. Гиперзвуковая аэродинамика [Текст] : учеб. пособие : доп. М-вом образования СССР / В. В. Лунев. — М. : Машиностроение, 1975. — 327 с.
2. Основы трансзвуковой аэродинамики [Текст] / М. А. Брутян ; Центр. аэрогидродинам. ин-т им. Н. Е. Жуковского (ЦАГИ) - М. Наука, 2017
3. Краевые задачи вычислительной аэрогидромеханики [Текст] : в 2 ч., Ч. 1 Потенциальные и вихревые течения / В. В. Вышинский - М. МФТИ, 2007

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

<http://www.edu.ru> – федеральный портал «Российское образование»
<http://benran.ru> – библиотека по естественным наукам РАН
<http://www.elibrary.ru> – научная 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)

не предусмотрено.

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

Студент, изучающий дисциплину "Аэродинамика больших скоростей", должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике.

В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения, понятия, аксиомы.

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения, доказательство отдельных утверждений, свойств;
- подготовку к дифференцированному зачету и экзамену.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к лектору.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Информатика и вычислительная техника
профиль подготовки:	Программная инженерия передовая инженерная школа радиолокации, радионавигации и программной инженерии кафедра теоретической и прикладной аэрогидромеханики
курс:	<u>4</u>
квалификация:	бакалавр
Семестры, формы промежуточной аттестации:	
7 (осенний) - Дифференцированный зачет	
8 (весенний) - Экзамен	
Разработчик:	В.Н. Голубкин, д-р техн. наук, профессор

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-2 Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	ОПК-2.1 Способен применять современные вычислительную технику и сервисы сети Интернет в области (сфере) профессиональной деятельности
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.2 Знает основные источники научно-технической и (или) технологической информации в области профессиональной деятельности

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Аэродинамика больших скоростей» обучающийся должен:

знать:

- ☐ постановки задач обтекания тел сжимаемым газом (уравнения, граничные условия), основные аналитические подходы к их решению и результаты.

уметь:

- ☐ проводить оценки аэродинамических характеристик элементов ЛА с помощью аналитических формул и законов подобия;
- ☐ пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач аэродинамики;
- ☐ делать теоретически обоснованные выводы из аналитического решения задач обтекания и сопоставления результатов теории и эксперимента;
- ☐ производить параметрические оценки характеристик обтекания по порядку величины;
- ☐ делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах.

владеть:

- ☐ точными и приближенными методами классической аэродинамики;
- ☐ практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач обтекания элементов ЛА;
- ☐ навыками теоретического анализа реальных задач аэродинамики.

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

Перечень типовых контрольных заданий, используемых для оценки знаний, умений, навыков:

Билет 1

1. Постановка задачи обтекания тел потоком сжимаемого газа. Уравнения газовой динамики. Начальные и граничные условия.
2. Течение Прандтля-Майера.

Билет 2

1. Интеграл Бернулли для уравнений газовой динамики и различные его формы.
2. Приближенные методы касательных клиньев и конусов, метод скачков-волн разрежения при сверхзвуковых скоростях.

Билет 3

1. Вихревые течения газа. Уравнение Гельмгольца-Фридмана. Теорема Крокко о вихрях.
2. Автомодельные решения для тонких тел степенной формы в гиперзвуковом потоке.

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

Билет 1

1. Постановка задачи обтекания тел потоком сжимаемого газа. Уравнения газовой динамики. Начальные и граничные условия.

2. Течение Прандтля-Майера.

Билет 2

1. Интеграл Бернулли для уравнений газовой динамики и различные его формы.

2. Приближенные методы касательных клиньев и конусов, метод скачков-волн разрежения при сверхзвуковых скоростях.

Билет 3

1. Вихревые течения газа. Уравнение Гельмгольца-Фридмана. Теорема Крокко о вихрях.

2. Автомодельные решения для тонких тел степенной формы в гиперзвуковом потоке.

После ответа на вопросы экзаменационного билета обучающемуся задаются 2-3 дополнительных вопроса по тем разделам курса, которые не были охвачены билетом.

Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

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

Во время проведения дифференцированного зачета обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также справочной литературой, вычислительной техникой, конспектами лекций.

Дифференцированный зачет может проводиться по итогам текущей успеваемости и сдачи заданий, или путем организации специального опроса, проводимого в устной форме.

Во время проведения экзамена обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также справочной литературой, вычислительной техникой.

Экзамен проводится путем организации специального опроса, проводимого в устной форме.