

**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 аэродинамику
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Беспилотные авиационные системы Физтех-школа авиационных и цифровых технологий кафедра аэрофизики и летательных аппаратов
курс:	2
квалификация:	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

3 (осенний) - Дифференцированный зачет

4 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 60 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: С.В. Ляпунов, доктор наук, старший научный сотрудник, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры аэрофизики и летательных аппаратов 17.03.2020

Аннотация

Дисциплина "Введение в аэродинамику" посвящена изучению основных базовых понятий, методов и результатов, используемых при анализе аэродинамики летательных аппаратов и их элементов. Основными крупными разделами курса являются: общие понятия и принципы аэродинамики, плоские течения идеальной несжимаемой жидкости, теория крыльев конечного размаха, течения вязкой жидкости, ламинарный и турбулентный пограничный слой, дозвуковые течения сжимаемого газа, сверхзвуковые течения, аэродинамическое нагревание. Курс содержит изложение основных физических и математических моделей, используемых в аэродинамике, а также подходов, применяемых при экспериментальных исследованиях. Дисциплина направлена на формирование у студентов понимания базовых принципов и основных результатов в области аэродинамики, необходимых всем авиационным научным работникам, независимо от дальнейшей специализации и содержание дисциплины необходимо для дальнейшего развития в более узконаправленных углубленных курсах аэродинамического направления.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- знакомство студентов с основами аэродинамики дозвуковых, околозвуковых и сверхзвуковых течений идеального и вязкого газа. Курс содержит как теоретические основы аэродинамики, так и сведения о методах и средствах экспериментальных исследований.

Задачи дисциплины

формирование у студентов базовых знаний в области аэродинамики, понимания связи аэродинамики с другими разделами физики;

приобретение теоретических знаний в области описания и моделирования течений жидкостей и газов;

формирование представлений об экспериментальных методах в аэродинамике.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-2 Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений	УК-2.1 Формулирует совокупность взаимосвязанных задач в рамках поставленной цели работы, обеспечивающих ее достижение. Определяет ожидаемые результаты решения поставленных задач
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
ПК-2 Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения)	ПК-2.1 Владеет методами статистической обработки и анализа научных данных
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

фундаментальные понятия, законы, теории аэродинамики;
 физические и математические модели, применяемые в аэродинамике;
 порядки численных величин, характерные для различных разделов аэродинамики;
 современные проблемы аэродинамики;
 физические и математические модели, применяемые в аэродинамике;
 разновидности современных способов экспериментального исследования аэродинамики
 летательных аппаратов и их элементов и физические принципы, на которых они основаны.

уметь:

абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных аэродинамических задач;
 пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач аэродинамики;
 делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
 производить численные оценки по порядку величины;
 делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых аэродинамических проблемах;
 видеть в технических задачах физическое содержание;
 применять понятия и формулы, представленные в курсе для оценки аэродинамических характеристик летательных аппаратов и их элементов;
 объяснять специфику поведения различных аэродинамических характеристик на основе физики явлений, происходящих в движущемся газе.

владеть:

навыками освоения большого объема информации;
 навыками самостоятельной работы в аудитории и Интернете;
 культурой постановки и моделирования физических задач;
 навыками грамотной обработки результатов опыта и сопоставления с теоретическими данными;
 практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач;
 навыками теоретического анализа реальных задач аэродинамики;
 основными методами определения аэродинамических характеристик при дозвуковых и сверхзвуковых скоростях.

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	Предмет и классификация разделов аэродинамики. Свойства атмосферы. Стандартная атмосфера. Аэростатика.	2			4
2	Аэродинамические коэффициенты и законы механического подобия при испытаниях моделей. Критерии подобия в аэродинамике.	2			4
3	Кинематическое подобие. Нестационарные процессы. Число Струхала. Воздушный винт и лопасть вертолета.	2			4
4	Простейшие течения идеальной жидкости (источник, диполь, вихрь). Обтекание цилиндра.	2			

5	Теорема Жуковского о подъемной силе. Гипотеза Чаплыгина-Жуковского. Парадокс Даламбера-Эйлера.	4			
6	Плоские течения идеальной несжимаемой жидкости. Обтекание крыловых профилей.	4			1
7	Вихревая схема крыла конечного размаха. Гипотеза плоских сечений. Уравнение Прандтля.	6			
8	Подъемная сила и индуктивное сопротивление при малых скоростях у крыла конечного размаха. Влияние удлинения крыла. Влияние близости земли. Концевые шайбы.	2			1
9	Ламинарные течения. Ламинарный пограничный слой.	2			
10	Турбулентные течения. Турбулентный пограничный слой.	2			1
11	Ламинарно-турбулентный переход. Ламинаризация обтекания.	2			
12	Основные понятия и законы течения сжимаемого газа.	2			1
13	Дозвуковые течения сжимаемого газа.	2			1
14	Течения с местной сверхзвуковой зоной, волновое сопротивление.	2			1
15	Эффект скольжения и стреловидности.	4			2
16	Основные закономерности сверхзвуковых течений.	4			1
17	Сверхзвуковое обтекание пластинки и профиля конечной толщины.	4			2
18	Сверхзвуковое обтекание затупленных тел.	2			1
19	Клин и конус в сверхзвуковом потоке.	2			1
20	Гиперзвуковые течения, теория Ньютона, ее модификации.	2			2
21	Сверхзвуковое обтекание крыльев конечного размаха.	4			2
22	Аэродинамическое нагревание тел при больших скоростях.	2			1
Итого часов		60			30
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

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

Семестр: 3 (Осенний)

1. Предмет и классификация разделов аэродинамики. Свойства атмосферы. Стандартная атмосфера. Аэростатика.

Предмет и место аэродинамики в механике сплошных сред. Понятие об гидродинамике, аэродинамике малых скоростей, газовой динамике. Связь с другими разделами физики. Равновесная атмосфера, барометрическая формула. Международная стандартная атмосфера. Принципы воздухоплавания.

2. Аэродинамические коэффициенты и законы механического подобия при испытаниях моделей. Критерии подобия в аэродинамике.

Безразмерные аэродинамические коэффициенты сил и моментов, действующих на летательный аппарат. Механические критерии подобия (число Фруда, число Рейнольдса) и их применение в различных ситуациях. Число Маха.

3. Кинематическое подобие. Нестационарные процессы. Число Струхаля. Воздушный винт и лопасть вертолета.

Подобие при обтекании воздушного винта (относительная поступь). Подобие при нестационарном обтекании. Воздушный и несущий винты, сходство и различия.

4. Простейшие течения идеальной жидкости (источник, диполь, вихрь). Обтекание цилиндра.

Понятие функции тока плоских течений идеальной несжимаемой жидкости. Функции тока простейших течений (источник, диполь, вихрь). Потенциальные течения. Обтекание кругового цилиндра без циркуляции и с циркуляцией.

5. Теорема Жуковского о подъемной силе. Гипотеза Чаплыгина-Жуковского. Парадокс Даламбера-Эйлера.

Связь подъемной силы с циркуляцией скорости (теорема Жуковского). Выбор циркуляции для профиля с острой задней кромкой (Гипотеза Чаплыгина-Жуковского).

6. Плоские течения идеальной несжимаемой жидкости. Обтекание крыловых профилей.

Плоская пластинка и тонкий профиль в несжимаемой жидкости. Профиль конечной толщины. Безразмерный коэффициент давления. Влияние формы профиля, угла атаки на распределение давления при малых скоростях.

7. Вихревая схема крыла конечного размаха. Гипотеза плоских сечений. Уравнение Прандтля.

Вихревая пелена, при обтекании крыла конечного размаха. Обтекание крыла большого удлинения. Интегро-дифференциальное уравнение Прандтля.

8. Подъемная сила и индуктивное сопротивление при малых скоростях у крыла конечного размаха. Влияние удлинения крыла. Влияние близости земли. Концевые шайбы.

Анализ подъемной силы и индуктивного сопротивления, действующих на крыло большого удлинения, зависимость их от удлинения. Влияние близости земли. Концевые аэродинамические поверхности различного рода.

Влияние формы крыла в плане на распределение подъемной силы по размаху. Эллиптическое распределение циркуляции.

Влияние формы в плане на аэродинамические характеристики. Крыло минимального индуктивного сопротивления («эллиптическое» крыло).

9. Ламинарные течения. Ламинарный пограничный слой.

Вязкая жидкость, закон трения Ньютона. Течение Пуазейля и Куэтта. Пограничный слой при больших числах Рейнольдса. Пограничный слой на плоской пластинке (решение Блази- уса). Профиль скорости. Интегральные толщины пограничного слоя.

Влияние градиента давления на пограничный слой. Отрыв пограничного слоя.

Влияние продольного градиента давления на пограничный слой на основе метода Польгау-зена. Диффузорный отрыв пограничного слоя.

10. Турбулентные течения. Турбулентный пограничный слой.

Опыты Рейнольдса. Отличия ламинарного и турбулентного течений. Понятие о моделях турбулентности. Модель пути смешения Прандтля. Структура турбулентного пограничного слоя. Логарифмический профиль скорости.

Турбулентное трение пластины. Турбулентный отрыв. Кризис обтекания на плохообтекаемых телах.

11. Ламинарно-турбулентный переход. Ламинаризация обтекания.

Переход пограничного слоя в турбулентный. Влияние возмущений (отделка поверхности, турбулентность) на переход. Влияние формы тела на переход. Ламинаризация. Экспериментальные методы определения перехода.

Ламинарно-турбулентный переход. Обтекание пластины при различных числах Рейнольдса. Число Рейнольдса ламинарно-турбулентного перехода. Анализ факторов, влияющих на переход. Способы ламинаризации обтекания элементов летательных аппаратов. Определение положения перехода в эксперименте.

Семестр: 4 (Весенний)

12. Основные понятия и законы течения сжимаемого газа.

Изэнтропические соотношения для сжимаемого идеального газа. Параметры торможения. Критическая скорость звука. Число Маха и приведенная скорость.

Основные соотношения для течений идеального сжимаемого газа. Уравнение Бернулли, его различные формы, изэнтропические соотношения, связь числа Маха и приведенной скорости, зависимость расхода газа в трубке тока от числа Маха. Сопло Лаваля.

13. Дозвуковые течения сжимаемого газа.

Чистодозвуковое обтекание профиля. Линейная теория и формула Прандтля-Глауэрта.

Линейная теория при дозвуковых скоростях. Теория Прандтля-Глауэрта, область ее применимости.

14. Течения с местной сверхзвуковой зоной, волновое сопротивление.

Соотношения для прямого скачка уплотнения. Изменение энтропии в прямом скачке.

Обтекание профиля с местной сверхзвуковой зоной. Волновое сопротивление, зависимость от числа Маха.

Физическая картина обтекания профиля при до и закритических числах Маха. Зависимость волнового сопротивления от числа Маха.

15. Эффект скольжения и стреловидности.

Эффект скольжения и стреловидности. Влияние на критическое число Маха. Свойства стреловидного крыла.

Скользящее крыло. Преимущества и недостатки стреловидных крыльев.

16. Основные закономерности сверхзвуковых течений.

Свойства сверхзвуковых потоков. Косой скачок уплотнения, ударная волна. Сильные и слабые скачки. Течение Прандтля-Майера. Формула Аккерета для коэффициента давления при сверхзвуковых скоростях. Отражение скачков уплотнения. Биплан Буземана.

Косые скачки уплотнения и их описание с помощью ударной волны. Течение Прандтля-Майера. Линейная теория на сверхзвуке (формула Аккерета). Отражение скачков уплотнения от твердой и свободной границ. Обтекание биплана Буземана.

17. Сверхзвуковое обтекание пластины и профиля конечной толщины.

Плоская пластина в сверхзвуковом потоке. Индуктивно-волновое сопротивление.

Обтекание плоской пластины сверхзвуковым потоком. Аэродинамические характеристики пластины.

Чисто-сверхзвуковое обтекание профилей различной формы. Волновое сопротивление формы. Оптимальные профили при сверхзвуковых скоростях.

Линейная теория сверхзвукового обтекания профиля произвольной формы. Профили минимального волнового сопротивления.

18. Сверхзвуковое обтекание затупленных тел.

Сверхзвуковое обтекание клина с присоединенным скачком и отсоединенной головной волной. Сверхзвуковое обтекание тела с местной дозвуковой зоной. Давление в критической точке.

19. Клин и конус в сверхзвуковом потоке.

Сверхзвуковое обтекание клина с присоединенным скачком и отсоединенной головной волной. Сверхзвуковое обтекание тела с местной дозвуковой зоной. Давление в критической точке.

20. Гиперзвуковые течения, теория Ньютона, ее модификации.

Отсоединенная головная волна при сверхзвуковом обтекании. Местная дозвуковая зона. Давление в критической точке. Потери полного давления в отсоединенной волне.

Обтекание тел при гиперзвуковых скоростях. Гиперзвуковая теория Ньютона.

Формула Ньютона для коэффициента давления при гиперзвуковых скоростях.

21. Сверхзвуковое обтекание крыльев конечного размаха.

Крыло конечного размаха при сверхзвуковых скоростях. Дозвуковые и сверхзвуковые кромки. Треугольное крыло. Конус.

Влияние конечности размаха крыла при сверхзвуковых скоростях. Обтекание треугольного крыла с дозвуковыми и сверхзвуковыми кромками. Особенности обтекания кругового конуса.

22. Аэродинамическое нагревание тел при больших скоростях.

Аэродинамическое нагревание тел при сверхзвуковых скоростях. Температура в критической точке. Равновесная температура. Равновесная радиационная температура. Методы теплозащиты летательных аппаратов.

Температура в критической точке. Равновесная температура поверхности в ламинарном и турбулентном пограничном слое. Влияние излучения, равновесная радиационная температура. Обзор методов теплозащиты высокоскоростных летательных аппаратов.

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

Учебная аудитория, оснащенная мультимедиапроектором и экраном.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Механика жидкости и газа [Текст] = учебник для вузов / Л. Г. Лойцянский .— 5-е изд., перераб. — М. : Наука, 1973 .— 736 с.
2. Экспериментальная аэродинамика [Текст] : уч. для вузов : доп. М-вом высш. образ. СССР / А. К. Мартынов .— М. : Оборонгиз, 1950 .— 480 с.

Дополнительная литература

1. Аэродинамика летательных аппаратов [Текст] : учебник для студ. вузов / Н. С. Аржаников, Г. С. Садекова .— М. : Высшая школа, 1983 .— 360 с.

2. Динамика полета и управление самолетами [Текст] : темат. сборник науч. трудов / М-во высш. и спец. образования СССР, Моск. авиац. ин-т им. С. Орджоникидзе ; [Ф. А. Михайлов (пред.) и др.] .— М. : Изд-во МАИ, 1982 .

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

Журналы (J.Aircraft, AIAA Paper) и труды конференций, доступные через Internet.

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

Не используются

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

Студент, изучающий курс «Введение в аэродинамику», 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 фундаментальные понятия, законы, теории аэродинамики, физические и математические модели, применяемые в аэродинамике, порядки численных величин, характерные для различных разделов аэродинамики, современные проблемы аэродинамики, физические и математические модели, применяемые в аэродинамике, разновидности современных способов экспериментального исследования аэродинамики летательных аппаратов и их элементов и физические принципы, на которых они основаны.

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;
- решение задач, предлагаемых студентам на лекциях;
- подготовку к дифференцированному зачету.

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

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Беспилотные авиационные системы Физтех-школа авиационных и цифровых технологий кафедра аэрофизики и летательных аппаратов
курс:	<u>2</u>
квалификация:	бакалавр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

- 3 (осенний) - Дифференцированный зачет
- 4 (весенний) - Дифференцированный зачет

Разработчик: С.В. Ляпунов, доктор наук, старший научный сотрудник, профессор

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-2 Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений	УК-2.1 Формулирует совокупность взаимосвязанных задач в рамках поставленной цели работы, обеспечивающих ее достижение. Определяет ожидаемые результаты решения поставленных задач
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
ПК-2 Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения)	ПК-2.1 Владеет методами статистической обработки и анализа научных данных
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области

2. Показатели оценивания компетенций

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

знать:

фундаментальные понятия, законы, теории аэродинамики;
физические и математические модели, применяемые в аэродинамике;
порядки численных величин, характерные для различных разделов аэродинамики;
современные проблемы аэродинамики;
физические и математические модели, применяемые в аэродинамике;
разновидности современных способов экспериментального исследования аэродинамики летательных аппаратов и их элементов и физические принципы, на которых они основаны.

уметь:

абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных аэродинамических задач;
пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач аэродинамики;
делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
производить численные оценки по порядку величины;
делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых аэродинамических проблемах;
видеть в технических задачах физическое содержание;
применять понятия и формулы, представленные в курсе для оценки аэродинамических характеристик летательных аппаратов и их элементов;
объяснять специфику поведения различных аэродинамических характеристик на основе физики явлений, происходящих в движущемся газе.

владеть:

навыками освоения большого объема информации;
навыками самостоятельной работы в аудитории и Интернете;
культурой постановки и моделирования физических задач;
навыками грамотной обработки результатов опыта и сопоставления с теоретическими данными;
практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач;
навыками теоретического анализа реальных задач аэродинамики;
основными методами определения аэродинамических характеристик при дозвуковых и сверхзвуковых скоростях.

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

Текущий контроль осуществляется в форме контрольных/самостоятельных работ или тестов в письменной форме по каждой теме. Каждое задание в контрольных самостоятельных и тестовых работах оценивается определенным количеством баллов в конце условия каждого задания. По итогам набранных баллов выставляется оценка.

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

1. Как зависят физические характеристики воздуха от высоты?
2. Что такое число Рейнольдса, как оно моделируется при испытаниях в аэродинамических трубах?
3. Что такое число Маха?
4. Сформулируйте теорему Жуковского о подъемной силе.
5. Как зависит подъемная сила плоской пластинки и крылового профиля от угла атаки (теория и практика)?
6. Что такое индуктивное сопротивление крыла конечного размаха? От чего оно зависит?
7. Какое крыло имеет минимальный коэффициент индуктивного сопротивления при заданном удлинении и коэффициенте подъемной силы?
8. Сформулировать закон вязкого трения Ньютона.
9. Сравнить вязкое сопротивление плоской пластинки при ламинарном и турбулентном обтекании. Объяснить различие.
10. Что такое максимальная подъемная сила, способы ее увеличения?
11. Как изменяется температура, давление и плотность с изменением скорости (числа Маха) в изэнтропическом течении сжимаемого газа?
12. Как изменяется распределение коэффициента давления (коэффициент подъемной силы) с изменением числа Маха при дозвуковом обтекании профиля?
13. Что такое волновое сопротивление, причины его образования?
14. Как выглядит соотношение Прандтля на прямом скачке уплотнения?
15. Что такое сильный и слабый косые скачки уплотнения?
16. Что такое стреловидные крылья, зачем они применяются?
17. Каков коэффициент подъемной силы пластинки при чисто сверхзвуковом обтекании?
18. Какова температура потока в критической точке, равновесная температура стенки в зависимости от числа Маха полета?

Примеры контрольных заданий:

1. Рассчитать размерную подъемную силу (сопротивление) по известным аэродинамическим коэффициентам, геометрическим характеристикам, скорости и высоте полета.
2. Вывести соотношение между коэффициентом давления и скоростью потока в несжимаемой жидкости.
3. Рассчитать сопротивление плоской пластины при обтекании вязким ламинарным или турбулентным потоком при различных параметрах течения.
4. Вывести формулы для максимального аэродинамического качества летательного аппарата при квадратичной поляре.
5. Вывести формулу Бреге для дальности полета летательного аппарата.
6. Вывести соотношение между числом Маха и приведенной скоростью.
7. Вывести соотношение между коэффициентом давления и скоростью потока в изэнтропическом потоке сжимаемого газа.

Примеры экзаменационных билетов из 2-х вопросов:

Билет №1

1. Обтекание кругового цилиндра с циркуляцией. Теорема Жуковского о подъемной силе.
2. Прямой скачок уплотнения, соотношение Прандтля на прямом скачке. Обтекание профиля с местной сверхзвуковой зоной. Волновое сопротивление, зависимость от числа Маха.

1. Основные типы взлетно-посадочной механизации крыла. Энергетические способы увеличения максимальной подъемной силы.
2. Эффект скольжения и стреловидности, влияние на критическое число Маха. Свойства стреловидного крыла.

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.