

**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: | Аэродинамическое проектирование пассажирских и транспортных самолетов |
| по направлению: | Прикладные математика и физика |
| профиль подготовки: | Авиационные технологии |
| | Физтех-школа авиационных и цифровых технологий |
| | кафедра аэрофизики и летательных аппаратов |
| курс: | 1 |
| квалификация: | магистр |

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 60 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: А.Л. Болсуновский, канд. техн. наук, доцент

Программа обсуждена на заседании кафедры аэрофизики и летательных аппаратов 04.03.2025

Аннотация

Программа "Аэродинамическое проектирование пассажирских и транспортных самолетов" направлено на формирование у студентов базовых знаний в области аэродинамики летательных аппаратов, как дисциплины, интегрирующей общефизическую и общетеоретическую подготовку физиков и обеспечивающей технологические основы современных инновационных сфер деятельности.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- знакомство студентов с методами и методиками аэродинамического проектирования крыльев и других элементов летательных аппаратов (ЛА). Основное внимание уделяется целям аэродинамического проектирования, методам определения аэродинамических характеристик, способам снижения сопротивления ЛА, а также прямым, обратным и оптимизационным методам численной аэродинамики. Содержание курса вырабатывает у студентов понимание основных подходов, применяемых в аэродинамическом проектировании, имеющихся проблем и перспектив развития аэродинамики ЛА и численных методов CFD.

Задачи дисциплины

- формирование базовых знаний в области аэродинамики летательных аппаратов, как дисциплины, интегрирующей общефизическую и общетеоретическую подготовку физиков и обеспечивающей технологические основы современных инновационных сфер деятельности;
- обучение студентов принципам методик аэродинамического проектирования и выявление особенностей их применения;
- формирование подходов к выполнению исследований студентами в области аэродинамики и аэродинамического проектирования летательной техники.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

| Код и наименование компетенции | Индикаторы достижения компетенции |
|--|---|
| ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук | ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук |
| | ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности |
| | ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности |
| ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения | ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники) |
| | ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения |
| | ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений |
| ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий | ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов |
| | ОПК-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов |

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- взаимосвязи и фундаментальное единство авиационных дисциплин, место и роль аэродинамики в задачах проектирования летательной техники;
- свойства сплошной среды и законы сохранения;
- основные закономерности протекания и зависимости аэродинамических характеристик ЛА от геометрических параметров и параметров среды (α , M , Re и др.);
- теоретические модели процессов обтекания элементов летательных аппаратов;
- современное положение дел в численных и экспериментальных исследованиях аэродинамических характеристик;
- основные способы улучшения тех или иных аэродинамических характеристик;
- основные численные инструменты аэродинамического проектирования.

уметь:

- эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;
- пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач и технологических проблем;
- выделять главные факторы при моделировании обтекания реальных физических объектов;
- осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики;
- эффективно использовать современные численные методы, информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов;
- интерпретировать результаты эксперимента при сравнении их с расчетом.

владеть:

- культурой постановки и моделирования задач прикладной аэродинамики;
- информацией о точности расчета и области применимости различных численных методов аэродинамики;
- навыками самостоятельной работы на современном компьютерном оборудовании;
- навыками самостоятельного анализа статей по тематике аэродинамического проектирования;
- навыками самостоятельной работы в Интернете;
- навыками грамотной обработки результатов опыта и сопоставления с теоретическими данными.

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 | Основные аэродинамические характеристики ЛА | | 2 | | 4 |
| 2 | Подъемная сила крыла | | 2 | | 4 |
| 3 | Виды аэродинамического сопротивления | | 2 | | 4 |
| 4 | Индуктивное сопротивление ЛА | | 2 | | 4 |
| 5 | Волновое сопротивление ЛА | | 2 | | 4 |
| 6 | Цели и задачи аэродинамического проектирования | | 2 | | 4 |

| | | | | | |
|-----------------------|---|--------------------|----|--|----|
| 7 | Классификация прямых методов аэродинамического расчета | | 2 | | 4 |
| 8 | Классификация обратных методов | | 2 | | 4 |
| 9 | Использование обратных методов | | 2 | | 4 |
| 10 | Методы численной оптимизации | | 2 | | 4 |
| 11 | Методы оптимизации | | 2 | | 4 |
| 12 | Методы на базе решения сопряженных задач | | 2 | | 4 |
| 13 | Оптимизационные и обратные методов проектирования | | 2 | | 4 |
| 14 | Профиль летательного аппарата, его проектирование | | 2 | | 4 |
| 15 | Особенности аэродинамического проектирования магистральных пассажирских самолетов | | 1 | | 2 |
| 16 | Нетрадиционные схемы летательных аппаратов | | 1 | | 2 |
| Итого часов | | | 30 | | 60 |
| Подготовка к экзамену | | 0 час. | | | |
| Общая трудоёмкость | | 90 час., 2 зач.ед. | | | |

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

Семестр: 2 (Весенний)

1. Основные аэродинамические характеристики ЛА

Основные аэродинамические характеристики летательного аппарата. Цели и задачи аэродинамического проектирования.

2. Подъемная сила крыла

Подъемная сила крыла. Основные способы повышения несущих свойств.

3. Виды аэродинамического сопротивления

Виды аэродинамического сопротивления. Профильное сопротивление и способы его уменьшения.

4. Индуктивное сопротивление ЛА

Индуктивное сопротивление летательного аппарата и способы его уменьшения.

5. Волновое сопротивление ЛА

Волновое сопротивление летательного аппарата и способы его уменьшения.

6. Цели и задачи аэродинамического проектирования

Цели и задачи аэродинамического проектирования. Основные этапы проектирования и применяемые инструменты.

7. Классификация прямых методов аэродинамического расчета

Классификация прямых методов аэродинамического расчета и рекомендации по их применению.

8. Классификация обратных методов

Классификация обратных методов. Методы остаточной коррекции.

9. Использование обратных методов

Использование обратных методов для проектирования крыльев магистральных самолетов.

10. Методы численной оптимизации

Обзор методов численной оптимизации. Генетические методы.

11. Методы оптимизации

Двухуровневые методы оптимизации в задачах аэродинамического проектирования.

12. Методы на базе решения сопряженных задач

Оптимизационные методы на базе решения сопряженных задач.

13. Оптимизационные и обратные методов проектирования

Взаимосвязь оптимизационных и обратных методов проектирования.

14. Профиль летательного аппарата, его проектирование

Проектирование профиля с учетом множества критериев и конструктивных ограничений при помощи оптимизационной процедуры.

15. Особенности аэродинамического проектирования магистральных пассажирских самолетов

Особенности аэродинамического проектирования магистральных пассажирских самолетов. Примеры проектирования аэродинамической компоновки самолетов различных схем.

16. Нетрадиционные схемы летательных аппаратов

Нетрадиционные схемы летательных аппаратов. Перспективы развития гражданской авиации.

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. Аэродинамика летательных аппаратов [Текст] : учебник для студ. вузов / Н. С. Аржаников, Г. С. Садекова. — М. : Высшая школа, 1983. — 360 с.
2. Аэродинамика и динамика полета турбореактивных самолетов [Текст]/Т. И. Лигум, -М., Транспорт, 1967

Дополнительная литература

1. Аэродинамика [Текст] : в 2 ч, Ч. 1 Основы теории. Аэродинамика профиля и крыла / Н. Ф. Крылов - М.ЛИБРОКОМ,2010
2. Аэродинамика [Текст] : в 2 ч, Ч. 2 Методы аэродинамического расчета / Н. Ф. Крылов - М.ЛИБРОКОМ,2010

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

Литература по аэро- гидро- динамике, доступная через Internet, журналы Journal of Aircraft, AIAA Journal, AIAA paper, Aerospace Science and Technology, Progress in Aerospace Sciences.

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

На занятиях могут использоваться мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

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

Студент, изучающий курс «Аэродинамическое проектирование пассажирских самолетов», прежде всего, должен владеть пониманием физики обтекания летательных аппаратов, порядками величин сопротивления и аэродинамического качества, знать основные пути снижения всех видов сопротивления.

В результате изучения дисциплины студент должен хорошо ориентироваться в численных методах расчета аэродинамических характеристик, основанных на уравнениях газовой динамики различного типа, понимать пределы применимости каждого метода и обосновывать их применение. Кроме того, студент должен понимать последовательность этапов аэродинамического проектирования и пути повышения аэродинамического совершенства дозвуковых ЛА различных типов, а также создавать алгоритмы выполнения поисковых исследований.

Студент должен владеть поиском информации в научно-технической литературе, проникнуть в суть рассматриваемых проблем и уметь выделять новизну в рецензируемых работах.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

| | |
|--|--|
| по направлению: | Прикладные математика и физика |
| профиль подготовки: | Авиационные технологии Физтех-школа авиационных и цифровых технологий кафедра аэрофизики и летательных аппаратов |
| курс: | <u>1</u> |
| квалификация: | магистр |
| Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Дифференцированный зачет | |
| Разработчик: | А.Л. Болсуновский, канд. техн. наук, доцент |

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

| Код и наименование компетенции | Индикаторы достижения компетенции |
|--|---|
| ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук | ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук |
| | ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности |
| | ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности |
| ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения | ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники) |
| | ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения |
| | ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений |
| ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий | ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов |
| | ОПК-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов |
| | ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования |

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Аэродинамическое проектирование пассажирских и транспортных самолетов» обучающийся должен:

знать:

- взаимосвязи и фундаментальное единство авиационных дисциплин, место и роль аэродинамики в задачах проектирования летательной техники;
- свойства сплошной среды и законы сохранения;
- основные закономерности протекания и зависимости аэродинамических характеристик ЛА от геометрических параметров и параметров среды (α , M , Re и др.);
- теоретические модели процессов обтекания элементов летательных аппаратов;
- современное положение дел в численных и экспериментальных исследованиях аэродинамических характеристик;
- основные способы улучшения тех или иных аэродинамических характеристик;
- основные численные инструменты аэродинамического проектирования.

уметь:

- эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;
- пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач и технологических проблем;
- выделять главные факторы при моделировании обтекания реальных физических объектов;
- осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики;
- эффективно использовать современные численные методы, информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов;
- интерпретировать результаты эксперимента при сравнении их с расчетом.

владеть:

- культурой постановки и моделирования задач прикладной аэродинамики;
- информацией о точности расчета и области применимости различных численных методов аэродинамики;
- навыками самостоятельной работы на современном компьютерном оборудовании;
- навыками самостоятельного анализа статей по тематике аэродинамического проектирования;
- навыками самостоятельной работы в Интернете;
- навыками грамотной обработки результатов опыта и сопоставления с теоретическими данными.

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

1. Что такое максимальная подъемная сила, способы ее увеличения?
2. Как изменяется температура, давление и плотность с изменением скорости (числа Маха) в изэнтропическом течении сжимаемого газа?
3. Как изменяется распределение коэффициента давления (коэффициент подъемной силы) с изменением числа Маха при дозвуковом обтекании профиля?
4. Что такое волновое сопротивление, причины его образования?
5. Как выглядит соотношение Прандтля на прямом скачке уплотнения?
6. Что такое сильный и слабый косые скачки уплотнения?
7. Что такое стреловидные крылья, зачем они применяются?
8. Каков коэффициент подъемной силы пластинки при чисто сверхзвуковом обтекании?
9. Какова температура потока в критической точке, равновесная температура стенки в зависимости от числа Маха полета?

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.

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.

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