

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

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

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Аэродинамическое проектирование пассажирских и транспортных самолетов
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Авиационные технологии передовая инженерная школа радиолокации, радионавигации и программной инженерии кафедра физики полета
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

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

Программа обсуждена на заседании кафедры физики полета 04.06.2020

## 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 ( $\alpha$ ,  $M$ ,  $Re$  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		2
2	Подъемная сила крыла		2		2
3	Виды аэродинамического сопротивления		2		2
4	Индуктивное сопротивление ЛА		2		2
5	Волновое сопротивление ЛА		2		2
6	Цели и задачи аэродинамического проектирования		2		2

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

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Авиационные технологии передовая инженерная школа радиолокации, радионавигации и программной инженерии кафедра физики полета
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен	
<b>Разработчик:</b>	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 ( $\alpha$ ,  $M$ ,  $Re$  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.

Билет 1

Выведите теорему Жуковского о подъемной силе.

Билет 2

Сформулировать закон вязкого трения Ньютона.

**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 экзамена обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также справочной литературой, вычислительной техникой.

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