

**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>	Практическая аэродинамика высокоскоростных летательных аппаратов
<b>по направлению:</b>	Информатика и вычислительная техника
<b>профиль подготовки:</b>	Программная инженерия передовая инженерная школа радиолокации, радионавигации и программной инженерии кафедра физики полета
<b>курс:</b>	4
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 15 час.

Всего часов: 45, всего зач. ед.: 1

Программу составил: А.А. Губанов, канд. техн. наук, доцент, доцент

Программа обсуждена на заседании кафедры физики полета 15.04.2022

## Аннотация

Программа "Практическая аэродинамика высокоскоростных летательных аппаратов" направлена на формирование у студентов базовых знаний в области аэродинамики и выбора рациональных конфигураций высокоскоростных ЛА и приобретение теоретических знаний в области выбора рациональных форм элементов высокоскоростных ЛА и формирования интегральных аэродинамических компоновок.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

Целью данного курса является знакомство студентов с основами практической аэродинамики высокоскоростных летательных аппаратов (ЛА), включая теоретические основы выбора рациональных форм элементов таких ЛА, особенности современных расчётных и экспериментальных методов исследования их аэродинамических, тягово-экономических и лётно-технических характеристик, формирование интегральных аэродинамических компоновок, анализ вопросов обеспечения прочности и тепловой прочности, устойчивости и управляемости.

#### Задачи дисциплины

- ☐ формирование у студентов базовых знаний в области аэродинамики и выбора рациональных конфигураций высокоскоростных ЛА;
- ☐ приобретение теоретических знаний в области выбора рациональных форм элементов высокоскоростных ЛА и формирования интегральных аэродинамических компоновок;
- ☐ знакомство с современными теоретическими и экспериментальными методами аэродинамических исследований;
- ☐ оказание консультаций и помощи студентам в проведении собственных теоретических и экспериментальных исследований.

### 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-3 Способен составлять и оформлять научные и (или) технические (технологические, инновационные) отчеты (публикации, проекты)	ОПК-3.1 Знает основные правила оформления научных публикаций и научно-технической документации, в том числе с использованием прикладного программного обеспечения
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:

- ☐ фундаментальные понятия, законы, теории классической и современной физики;
- ☐ порядки численных величин, характерные для различных разделов физики;
- ☐ современные проблемы физики, математики;
- ☐ современное положение дел в проблеме идентификации физических механизмов в условиях полёта или экспериментальных исследований высокоскоростных ЛА;
- ☐ разновидности современных способов экспериментального исследования шума высокоскоростных течений при обтекании элементов высокоскоростных ЛА и физических принципов, на которых основываются выбор рациональных форм их элементов и формирование интегральных аэродинамических компоновок.

уметь:

- ☐ принимать во внимание главное и абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций;
- ☐ пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач;
- ☐ делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
- ☐ ориентироваться в порядках величин основных характеристик высокоскоростных ЛА, самостоятельно проводить приближённые численные оценки;
- ☐ делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;
- ☐ видеть в технических задачах физическое содержание;
- ☐ осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики;
- ☐ выводить основные уравнения, используемые для оценки аэродинамического и интегрального компоновочного совершенства высокоскоростных ЛА; понимать их физический смысл;
- ☐ эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

владеть:

- ☐ навыками освоения большого объема информации;
- ☐ навыками самостоятельной работы в лабораториях и в Интернете;
- ☐ культурой постановки и моделирования физических задач;
- ☐ навыками грамотной обработки результатов аэродинамического эксперимента и сопоставления с теоретическими данными;
- ☐ практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач;
- ☐ навыками теоретического анализа реальных практических задач.

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

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

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Введение. Классификация высокоскоростных ЛА.	2			
2	Физические особенности обтекания элементов ЛА при больших скоростях. Кинетическое нагревание.	4			
3	Рациональные формы крыльев и фюзеляжей высокоскоростных ЛА. Аэродинамическая интерференция крыльев и фюзеляжей.	4			
4	Органы управления высокоскоростных ЛА. Особенности обеспечения устойчивости и управляемости.	4			3
5	Аэродинамические компоновки высокоскоростных ЛА с ВРД. Их основные характеристики. Принцип разделения аэродинамических характеристик ЛА с ВРД и их моделей на внешние и внутренние составляющие.	2			3
6	Определение основных лётно-технических характеристик ЛА. Формула Бреге и её обобщение для ЛА с ВРД.	2			3

7	Современные расчётные методы исследования аэродинамики высокоскоростных ЛА.	2			3
8	Интеграция планера и силовой установки высокоскоростного ЛА. Принципы формирования интегральных аэродинамических компоновок.	2			3
9	Практические примеры интегральных аэродинамических компоновок ЛА с различным расположением воздухозаборных устройств относительно крыла и фюзеляжа.	2			
10	Нетрадиционные аэродинамические компоновки ЛА, основанные на концепциях волнолёта и биплана Буземана.	2			
11	Особенности методики экспериментальных исследований аэродинамики высокоскоростных ЛА в аэродинамических трубах.	2			
12	Комплексный подход к выбору и оптимизации компоновок высокоскоростных ЛА.	2			
Итого часов		30			15
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		45 час., 1 зач.ед.			

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

Семестр: 7 (Осенний)

##### 1. Введение. Классификация высокоскоростных ЛА.

Введение. Классификация высокоскоростных ЛА. Комплексный системный анализ. Различные типы старта и двигателей. Компоновочные схемы и оценка характеристик.

##### 2. Физические особенности обтекания элементов ЛА при больших скоростях. Кинетическое нагревание.

Дозвук, гиперзвук. Физические особенности обтекания элементов ЛА при больших скоростях. Кинетическое нагревание.

##### 3. Рациональные формы крыльев и фюзеляжей высокоскоростных ЛА. Аэродинамическая интерференция крыльев и фюзеляжей.

Алгоритм выбора рациональных параметров крыла. Рациональные формы сверхзвуковых самолетов. Высокоскоростные летательные аппараты. Формы сечений сжатых стержней.

##### 4. Органы управления высокоскоростных ЛА. Особенности обеспечения устойчивости и управляемости.

Радионавигационные элементы. Центр масс. Воздушная и путевая скорость. Угол сноса. Сигналы и органы управления. Органы управления высокоскоростных ЛА. Особенности обеспечения устойчивости и управляемости.

5. Аэродинамические компоновки высокоскоростных ЛА с ВРД. Их основные характеристики. Принцип разделения аэродинамических характеристик ЛА с ВРД и их моделей на внешние и внутренние составляющие.

Аэродинамические компоновки высокоскоростных ЛА с ВРД. Их основные характеристики. Принцип разделения аэродинамических характеристик ЛА с ВРД и их моделей на внешние и внутренние составляющие.

6. Определение основных лётно-технических характеристик ЛА. Формула Бреге и её обобщение для ЛА с ВРД.

Аэродинамические характеристики (поляры самолета), отражающие в достаточной степени его внешнюю конфигурацию. Весовые характеристики самолета (взлетный вес второго приближения, вес топлива, вес сбрасываемых в полете грузов). Высотно-скоростные и дроссельные характеристики двигателя. Таблица международной стандартной атмосферы.

7. Современные расчётные методы исследования аэродинамики высокоскоростных ЛА.

Расчеты аэродинамических характеристик модели летательного аппарата схемы «летающее крыло» в безграничном потоке при разных углах атаки. Современные расчётные методы исследования аэродинамики высокоскоростных ЛА.

8. Интеграция планера и силовой установки высокоскоростного ЛА. Принципы формирования интегральных аэродинамических компоновок.

Интеграция планера и силовой установки высокоскоростного ЛА. Принципы формирования интегральных аэродинамических компоновок. Газодинамический поворот вектора тяги силовой установки.

9. Практические примеры интегральных аэродинамических компоновок ЛА с различным расположением воздухозаборных устройств относительно крыла и фюзеляжа.

Плоскость симметрии самолета по направлению полета. Управляемые поворотные части. Практические примеры интегральных аэродинамических компоновок ЛА с различным расположением воздухозаборных устройств относительно крыла и фюзеляжа.

10. Нетрадиционные аэродинамические компоновки ЛА, основанные на концепциях волнолёта и биплана Буземана.

Ударная волна высокого давления. Плоские внешние поверхности. Биплан Буземана.

11. Особенности методики экспериментальных исследований аэродинамики высокоскоростных ЛА в аэродинамических трубах.

Методика экспериментальных исследований высокоскоростных летательных аппаратов в аэродинамических трубах с различными характеристиками.

12. Комплексный подход к выбору и оптимизации компоновок высокоскоростных ЛА.

Повышение уровня эффективности синтеза и оценки компоновок высокоскоростных летательных аппаратов.

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

Учебная аудитория, оснащённая мультимедиапроектором и экраном.

## **6.Перечень рекомендуемой литературы**

## Основная литература

1. Методы возмущений [Текст]/А. Х. Найфэ , пер. с англ. А. А. Меликяна, А. А. Миронова , -М., Мир, 1976
2. Течения газа с большой сверхзвуковой скоростью [Текст]/Г. Г. Черный, -М., Физматгиз, 1959
3. Механика сплошной среды [Текст] : в 2 т. Т. 2 : учебник для вузов : доп. М-вом высш. и сред. спец. образования СССР / Л. И. Седов .— 4-е изд., испр. и доп. — М. : Наука, 1984 .— 560 с.

## Дополнительная литература

1. Аэродинамика ракет [Текст] : учебное пособие / Н. Ф. Краснов, В. Н. Кошевой, А. Н. Данилов [и др.] ; под общ. ред. Н. Ф. Краснова .— М. : Высшая школа, 1968 .— 772 с.
2. Теория оптимальных аэродинамических форм [Текст], монография/ред. А. Миеле , -М., Мир, 1969
3. Прикладная аэродинамика [Текст] / под общ. ред. Н. Ф. Краснова - М.Высшая школа,1974  
Фонд литературы кафедры

1. Руководство для конструкторов по проектированию самолётов, т. I, кн. 4, вып. 1. ЦАГИ, 1979.
2. Блиш В.Г. О внешних и внутренних аэродинамических силах и моментах летательных аппаратов с ВРД и их моделей при ненулевых углах атаки и скольжения. Труды ЦАГИ, вып. 2328, 1987.

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

Журналы по аэродинамике и формированию аэродинамических компоновок ЛА (Техника воздушного флота, Учёные записки ЦАГИ, Труды ЦАГИ), материалы научно-технических конференций, форумов и конгрессов (ICAS, EUCASS, HYTASP), материалы о новейших разработках высокоскоростных ЛА, доступные через сеть Интернет.

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

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

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

Студент, изучающий курс «Практическая аэродинамика высокоскоростных ЛА», 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 классической и современной физики; порядки численных величин, характерные для различных разделов физики; современные проблемы физики, математики;

современное положение дел в проблеме идентификации физических процессов при высокоскоростном обтекании элементов ЛА в условиях натурного полёта и при испытаниях моделей в аэродинамических трубах.

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;
- подготовку к дифференцированному зачёту.

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

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

<b>по направлению:</b>	Информатика и вычислительная техника
<b>профиль подготовки:</b>	Программная инженерия передовая инженерная школа радиолокации, радионавигации и программной инженерии кафедра физики полета
<b>курс:</b>	<u>4</u>
<b>квалификация:</b>	бакалавр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Дифференцированный зачет	
<b>Разработчик:</b>	А.А. Губанов, канд. техн. наук, доцент, доцент

## 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-3 Способен составлять и оформлять научные и (или) технические (технологические, инновационные) отчеты (публикации, проекты)	ОПК-3.1 Знает основные правила оформления научных публикаций и научно-технической документации, в том числе с использованием прикладного программного обеспечения
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 «Практическая аэродинамика высокоскоростных летательных аппаратов» обучающийся должен:

### знать:

- ☐ фундаментальные понятия, законы, теории классической и современной физики;
- ☐ порядки численных величин, характерные для различных разделов физики;
- ☐ современные проблемы физики, математики;
- ☐ современное положение дел в проблеме идентификации физических механизмов в условиях полёта или экспериментальных исследований высокоскоростных ЛА;
- ☐ разновидности современных способов экспериментального исследования шума высокоскоростных течений при обтекании элементов высокоскоростных ЛА и физических принципов, на которых основываются выбор рациональных форм их элементов и формирование интегральных аэродинамических компоновок.

### уметь:

- ☐ принимать во внимание главное и абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций;
- ☐ пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач;
- ☐ делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
- ☐ ориентироваться в порядках величин основных характеристик высокоскоростных ЛА, самостоятельно проводить приближённые численные оценки;
- ☐ делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;
- ☐ видеть в технических задачах физическое содержание;
- ☐ осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики;
- ☐ выводить основные уравнения, используемые для оценки аэродинамического и интегрального компоновочного совершенства высокоскоростных ЛА; понимать их физический смысл;
- ☐ эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

### владеть:

- ☐ навыками освоения большого объема информации;
- ☐ навыками самостоятельной работы в лабораториях и в Интернете;
- ☐ культурой постановки и моделирования физических задач;
- ☐ навыками грамотной обработки результатов аэродинамического эксперимента и сопоставления с теоретическими данными;
- ☐ практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач;
- ☐ навыками теоретического анализа реальных практических задач.

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



1. От чего зависят основные лётно-технические характеристики ЛА? Какое соотношение используется для приближённой оценки максимальной дальности полёта?
2. На каких системах уравнений основываются современные численные методы расчёта аэродинамики и аэротермодинамики высокоскоростных ЛА? Каковы их достоинства и ограничения?
3. Как эффекты аэродинамического взаимодействия планера и силовой установки зависят от скорости полёта ЛА?
4. Что такое интеграции планера и силовой установки высокоскоростного ЛА? Для чего она нужна?
5. Приведите примеры интегральных аэродинамических компоновок ЛА.
6. Объясните концепцию волнолёта. Как она может использоваться в аэродинамических компоновках ЛА с ВРД?
7. Что такое биплан Буземана? Каковы преимущества его использования в аэродинамических компоновках ЛА с ВРД?
8. Объясните основы методики экспериментальных исследований моделей с протоками в аэродинамических трубах.
9. Объясните суть комплексного подхода к выбору и оптимизации компоновок высокоскоростных ЛА.

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

1. Назовите основные типы высокоскоростных ЛА.
2. Как высокоскоростные ЛА классифицируются по назначению, типовым траекториям полёта, типам двигателей?
3. Назовите физические особенности обтекания элементов ЛА при больших скоростях.
4. Какие элементы высокоскоростных ЛА подвергаются наиболее интенсивному кинетическому нагреванию?
5. Какие средства пассивной и активной теплозащиты используются при проектировании высокоскоростных ЛА?
6. Как оптимальные формы крыльев и фюзеляжей ЛА зависят от характерной скорости их полёта?
7. Назовите основные типы и характеристики органов управления высокоскоростных ЛА.
8. Что такое статическая устойчивость ЛА? Каковы трудности её обеспечения при больших скоростях полёта?
9. Как проявляется влияние ВРД на аэродинамические характеристики ЛА?
10. Объясните принцип разделения аэродинамических характеристик ЛА на внешние и внутренние составляющие.

Примеры контрольных заданий (используемых также при проведении дифференцированного зачёта):

Билет 1:

1. На каких системах уравнений основываются современные численные методы расчёта аэродинамики и аэротермодинамики высокоскоростных ЛА? Каковы их достоинства и ограничения?
2. Как эффекты аэродинамического взаимодействия планера и силовой установки зависят от скорости полёта ЛА?

Билет 2:

1. Как оптимальные формы крыльев и фюзеляжей ЛА зависят от характерной скорости их полёта?
2. Что такое интеграции планера и силовой установки высокоскоростного ЛА? Для чего она нужна?

Билет 3:

1. Назовите физические особенности обтекания элементов ЛА при больших скоростях.
2. Объясните концепцию волнолёта. Как она может использоваться в аэродинамических компоновках ЛА с ВРД?

#### 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.