

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

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор передовой инженерной  
школы радиолокации,  
радионавигации и программной  
инженерии**

**М.А. Кудров**

**Рабочая программа дисциплины (модуля)**

<b>по дисциплине:</b>	Введение в динамику полета
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Беспилотные авиационные системы
	Физтех-школа авиационных и цифровых технологий
	кафедра аэрофизики и летательных аппаратов
<b>курс:</b>	3
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 5 (осенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составил: С.А. Лёвин, канд. техн. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры аэрофизики и летательных аппаратов 11.03.2024

## Аннотация

Программа предназначена для освоения студентами специальности «Беспилотные авиационные системы». Программа нацелена на изучение студентами основных понятий, методов исследования и результатов динамики полёта — раздела механики, изучающего движение летательных аппаратов (ЛА) в атмосфере, а также на приобретение практических навыков анализа и расчёта лётно-технических характеристик. Предметом рассмотрения курса являются математические модели летательных аппаратов (ЛА) тяжелее воздуха, в том числе беспилотных воздушных судов (БВС) самолётного и винтокрылого типов. Курс динамики полёта традиционно разделяется на две части: в первой части студенты изучают движение ЛА как материальной точки, а во второй — движение вокруг центра масс. Знакомство с дисциплиной начинается с основных понятий динамики полёта: систем координат, углов между ними, основных обозначений и уравнений движения. Далее студенты знакомятся с исходными данными ЛА и формой их представления для использования в уравнениях движения. Отдельно рассматривается модель атмосферы и массовых сил. Следующим разделом при изучении дисциплины является рассмотрение частных решений уравнений траекторного движения при установившемся и неустановившемся движении, изучаются основные факторы, влияющие на дальность и продолжительность полёта ЛА, область возможных режимов полёта, маневренные характеристики. Во второй части курса студенты изучают движение ЛА вокруг центра масс: рассматриваются основные способы управления ЛА различных типов, а также связь параметров ЛА с характеристиками устойчивости и управляемости движения. В заключительной части программы изучаются вопросы автоматизации движения ЛА и оптимизации параметров компоновки, режимов движения и траекторий. Программа включает в себя решение студентами практических задач динамики полёта на семинарах, нацеленных на освоение как аналитических, так и численных методов, развитие навыков разработки которых также является частью курса и проводится в учебных лабораториях. Для закрепления полученных знаний и формирования навыков их использования в курсе предусмотрены задания для самостоятельного выполнения. Программа допускает самостоятельное освоение студентами теоретической составляющей дисциплины с использованием электронных средств дистанционного обучения и рекомендованной в программе учебной литературы.

## 1. Цели и задачи

### Цель дисциплины

- передать студентам знания по основам динамики полета, дисциплины, лежащей на стыке теоретической механики, механики полета, аэродинамики, теории автоматического управления и эргономики. Курс содержит теоретические основы динамики полета и систем управления, сведения о методах и средствах расчетных и прикладных исследований, описание математических моделей движения самолетов, сведения об атмосферных факторах, элементах систем управления, моделях системы «самолет-летчик».

### Задачи дисциплины

- формирование у студентов базовых знаний в области динамики полета;
- приобретение теоретических знаний в области методов исследования и математических моделей движения самолета и систем управления;
- оказание консультаций и помощи студентам в проведении собственных теоретических и экспериментальных исследований в области динамики полета.

## 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки

ОПК-5 Способен участвовать в проведении фундаментальных и прикладных исследований и разработок, самостоятельно осваивать новые теоретические, в том числе, математические методы исследований, и работать на современной экспериментальной научно-исследовательской, измерительно-аналитической и технологической аппаратуре	ОПК-5.2 Обладает способностью к освоению новых знаний на основе изучения литературы, научных статей и других источников
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.2 Имеет глубокое знание и понимание базовых математических дисциплин
	ПК-1.3 Владеет культурой постановки научной задачи и моделирования естественнонаучных объектов и систем
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях
	ПК-1.5 Владеет навыками безопасной работы с современными научными приборами и другим экспериментальным оборудованием
	ПК-1.6 Знает основные правила поведения и работы в современной научной лаборатории
	ПК-1.7 Способен оценивать требуемые ресурсы (материальные и временные) для планирования и проведения научного эксперимента
	ПК-1.8 Владеет навыками работы с современными языками программирования и программными пакетами для научных расчетов
	ПК-1.9 Знает перечень ведущих периодических научных изданий и способен выделять актуальные научные публикации в профессиональной области
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-2.2 Умеет находить ключевые параметры, определяющие изучаемое явление, и производить численные оценки по порядку величины
	ПК-2.3 Способен представлять научные утверждения, их обоснования и доказательства, научные проблемы и их решения ясно и точно в терминах, понятных для профессиональной аудитории, в письменной и устной форме
ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.1 Знает принципы работы и диапазоны рабочих параметров используемого научного оборудования
	ПК-3.2 Знает области и критерии применимости используемых теоретических подходов и умение оценивать точность приближенных аналитических методов вычислений
	ПК-3.3 Умеет производить оценку точности численных методов, используемых на ЭВМ, вычислительной сложности используемых алгоритмов и объема требуемых вычислительных ресурсов
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.2 Знает источники происхождения и умеет производить оценку погрешности измерений и достоверности экспериментальных результатов
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- основные термины, определения и обозначения, применяемые в динамике полёта: системы координат, углы между ними, силы и моменты, действующие на ЛА в полёте;
- основные аналитические зависимости, аппроксимирующие исходные данные, необходимые для анализа лётно-технических характеристик;
- связь параметров движения с характеристиками ЛА на основных установившихся режимах полёта;
- условие балансировки, способы создания управляющих моментов;
- критерии устойчивости движения и их связь с параметрами ЛА;
- характерные значения основных величин, описывающих модели ЛА различных типов, а также параметров атмосферы.

уметь:

- выводить и получать частные решения уравнений движения, описывающие изучаемый тип движения ЛА;
- проводить анализ лётно-технических характеристик, определять параметры устойчивости и управляемости по исходным данным ЛА;
- формировать рекомендации по выбору параметров компоновки ЛА по заданным лётно-техническим характеристикам.

владеть:

- методами создания математических моделей движения;
- методами анализа и расчёта лётно-технических характеристик, характеристик устойчивости и управляемости.

### 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	Системы координат. Уравнения движения	4	4		7
2	Исходные данные	4	4		7
3	Установившееся движение ЛА	6	6		7
4	Маневрирование ЛА	4	4		7
5	Балансировка, устойчивость и управляемость	4	4		7
6	Автоматическое управление полётом	4	4		7
7	Оптимизация	4	4		3
Итого часов		30	30		45
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

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

Семестр: 5 (Осенний)

## 1. Системы координат. Уравнения движения

Основные системы координат: связанная, скоростная, нормальная, нормальная земная. Переходы между системами координат. Полные уравнения движения твёрдого тела. Упрощение уравнений в частных случаях.

## 2. Исходные данные

Аэродинамические характеристики ЛА самолётного типа, аэродинамические характеристики воздушных винтов. Характеристики электрических двигателей. Стандартная атмосфера.

## 3. Установившееся движение ЛА

Установившиеся режимы полёта ЛА самолётного типа. Висение винтокрылых ЛА. Установившееся планирование. Дальность и продолжительность полёта.

## 4. Маневрирование ЛА

Установившиеся манёвры ЛА самолётного типа. Маневрирование винтокрылых ЛА. Движение при наличии кинематических связей.

## 5. Балансировка, устойчивость и управляемость

Балансировка ЛА самолётной схемы. Балансировка винтокрылых ЛА. Линеаризация уравнений углового движения. Устойчивость и управляемость движения ЛА.

## 6. Автоматическое управление полётом

Автоматическое управление ЛА самолётного типа: управление углом тангажа, крена, управление высотой и скоростью полёта. Автоматическое управление винтокрылыми ЛА: стабилизация, управление угловым положением, управление высотой полёта.

## 7. Оптимизация

Оптимизация параметров компоновки ЛА для достижения наилучших лётно-технических характеристик. Выбор наилучших режимов полёта. Оптимизация траекторий полёта.

## 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. Динамика полета [Текст] : уч. для вузов / под ред. А. М. Мхитаряна. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Машиностроение, 1978. — 424 с.

### Дополнительная литература

1. Теория автоматического управления [Текст] : в 2 т. : учеб. пособие для вузов : доп. М-вом образования Рос. Федерации. Т. 2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы / Д. П. Ким. — М. : Физматлит, 2004. — 464 с.
2. Динамика полета. Траектории летательных аппаратов [Текст] : учебник для вузов / И. В. Остославский, И. В. Стражева. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Машиностроение, 1969. — 499 с.

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

Не используются

**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 дисциплину "Введение в динамику полета" должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике.

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

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

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

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

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

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Беспилотные авиационные системы Физтех-школа авиационных и цифровых технологий кафедра аэрофизики и летательных аппаратов
<b>курс:</b>	<u>3</u>
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 5 (осенний) - Экзамен

**Разработчик:** С.А. Лёвин, канд. техн. наук

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
ОПК-5 Способен участвовать в проведении фундаментальных и прикладных исследований и разработок, самостоятельно осваивать новые теоретические, в том числе, математические методы исследований, и работать на современной экспериментальной научно-исследовательской, измерительно-аналитической и технологической аппаратуре	ОПК-5.2 Обладает способностью к освоению новых знаний на основе изучения литературы, научных статей и других источников
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.2 Имеет глубокое знание и понимание базовых математических дисциплин
	ПК-1.3 Владеет культурой постановки научной задачи и моделирования естественнонаучных объектов и систем
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях
	ПК-1.5 Владеет навыками безопасной работы с современными научными приборами и другим экспериментальным оборудованием
	ПК-1.6 Знает основные правила поведения и работы в современной научной лаборатории
	ПК-1.7 Способен оценивать требуемые ресурсы (материальные и временные) для планирования и проведения научного эксперимента
	ПК-1.8 Владеет навыками работы с современными языками программирования и программными пакетами для научных расчетов
ПК-2 Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения)	ПК-1.9 Знает перечень ведущих периодических научных изданий и способен выделять актуальные научные публикации в профессиональной области
	ПК-2.1 Владеет методами статистической обработки и анализа научных данных
	ПК-2.2 Умеет находить ключевые параметры, определяющие изучаемое явление, и производить численные оценки по порядку величины
ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в	ПК-2.3 Способен представлять научные утверждения, их обоснования и доказательства, научные проблемы и их решения ясно и точно в терминах, понятных для профессиональной аудитории, в письменной и устной форме
	ПК-3.1 Знает принципы работы и диапазоны рабочих параметров используемого научного оборудования
	ПК-3.2 Знает области и критерии применимости используемых теоретических подходов и умение оценивать точность приближенных аналитических методов вычислений



избранной предметной области	ПК-3.3 Умеет производить оценку точности численных методов, используемых на ЭВМ, вычислительной сложности используемых алгоритмов и объема требуемых вычислительных ресурсов
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.2 Знает источники происхождения и умеет производить оценку погрешности измерений и достоверности экспериментальных результатов
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Введение в динамику полета» обучающийся должен:

### знать:

- основные термины, определения и обозначения, применяемые в динамике полёта: системы координат, углы между ними, силы и моменты, действующие на ЛА в полёте;
- основные аналитические зависимости, аппроксимирующие исходные данные, необходимые для анализа лётно-технических характеристик;
- связь параметров движения с характеристиками ЛА на основных установившихся режимах полёта;
- условие балансировки, способы создания управляющих моментов;
- критерии устойчивости движения и их связь с параметрами ЛА;
- характерные значения основных величин, описывающих модели ЛА различных типов, а также параметров атмосферы.

### уметь:

- выводить и получать частные решения уравнений движения, описывающие изучаемый тип движения ЛА;
- проводить анализ лётно-технических характеристик, определять параметры устойчивости и управляемости по исходным данным ЛА;
- формировать рекомендации по выбору параметров компоновки ЛА по заданным лётно-техническим характеристикам.

### владеть:

- методами создания математических моделей движения;
- методами анализа и расчёта лётно-технических характеристик, характеристик устойчивости и управляемости.

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

1. Связанная система координат
2. Уравнения траекторного движения ЦМ ЛА
3. Аэродинамическая подъёмная сила
4. Аэродинамическая сила лобового сопротивления
5. Понятие установившегося движения
6. Профиль температуры в стандартной атмосфере
7. Связь силы тяжести, аэродинамического качества и силы тяги в установившемся горизонтальном полёте
8. Мощность, затрачиваемая на висение
9. Формула дальности полёта самолёта при постоянном аэродинамическом качестве и скорости
10. Угол атаки, тангажа и наклона траектории
11. Тяговооружённость
12. Момент тангажа, действующий на ЛА
13. Понятие статической устойчивости движения ЛА по перегрузке
14. Общее уравнение вращательного движения ЛА

15. Понятие опорного движения и отклонения от него
16. Критерий устойчивости линейных систем
17. Демпфирующий момент тангажа
18. Аэродинамический фокус по углу атаки
19. Наивыгоднейшая скорость полёта
20. Крейсерская скорость полёта
21. Минимальная скорость полёта
22. Статический потолок

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

1. Основные системы координат: связанная, скоростная, нормальная, нормальная земная. Переходы между системами координат
2. Полные уравнения движения твёрдого тела. Упрощение уравнений в частных случаях
3. Аэродинамические характеристики ЛА самолётного типа
4. Аэродинамические характеристики воздушных винтов
5. Характеристики электрических двигателей
6. Стандартная атмосфера
7. Установившиеся режимы полёта ЛА самолётного типа
8. Установившееся планирование
9. Дальность и продолжительность полёта
10. Установившиеся манёвры ЛА самолётного типа
11. Маневрирование винтокрылых ЛА
12. Движение при наличии кинематических связей
13. Балансировка ЛА самолётной схемы
14. Балансировка винтокрылых ЛА
15. Линеаризация уравнений углового движения
16. Устойчивость и управляемость движения ЛА
17. Автоматическое управление ЛА самолётного типа: управление углом тангажа, крена, управление высотой и скоростью полёта
18. Автоматическое управление винтокрылыми ЛА: стабилизация, управление угловым положением, управление высотой полёта
19. Оптимизация параметров компоновки ЛА для достижения наилучших лётно-технических характеристик
20. Выбор наилучших режимов полёта
21. Оптимизация траекторий полёта
22. Висение винтокрылых ЛА

##### **Билет 1**

1. Основные системы координат: связанная, скоростная, нормальная, нормальная земная. Переходы между системами координат
2. Движение при наличии кинематических связей

##### **Билет 2**

1. Полные уравнения движения твёрдого тела. Упрощение уравнений в частных случаях
2. Балансировка ЛА самолётной схемы

##### **билет 3**

1. Аэродинамические характеристики ЛА самолётного типа
2. Балансировка винтокрылых ЛА

##### **Билет 4**

1. Аэродинамические характеристики воздушных винтов
2. Линеаризация уравнений углового движения

##### **Билет 5**

1. Характеристики электрических двигателей
2. Устойчивость и управляемость движения ЛА

Билет 6

1. Стандартная атмосфера
2. Автоматическое управление ЛА самолётного типа: управление углом тангажа, крена, управление высотой и скоростью полёта

Билет 7

1. Установившиеся режимы полёта ЛА самолётного типа
2. Автоматическое управление винтокрылыми ЛА: стабилизация, управление угловым положением, управление высотой полёта

Билет 8

1. Установившееся планирование
2. Оптимизация параметров компоновки ЛА для достижения наилучших лётно-технических характеристик

Билет 9

1. Дальность и продолжительность полёта
2. Выбор наилучших режимов полёта

Билет 10

1. Установившиеся манёвры ЛА самолётного типа
2. Оптимизация траекторий полёта

Билет 11

1. Маневрирование винтокрылых ЛА
2. Висение винтокрылых ЛА

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