

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
ИНСТИТУТ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ КИБЕРНЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ  
КАФЕДРА КИБЕРНЕТИКИ

ОДОБРЕНО УМС ИИКС

Протокол № 8/1/2024

от 28.08.2024 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 01.03.02 Прикладная математика и информатика

<b>Семестр</b>	<b>Трудоемкость, кред.</b>	<b>Общий объем курса, час.</b>	<b>Лекции, час.</b>	<b>Практич. занятия, час.</b>	<b>Лаборат. работы, час.</b>	<b>В форме практической подготовки/ В</b>	<b>СРС, час.</b>	<b>КСР, час.</b>	<b>Форма(ы) контроля, экс./зач./КР/КП</b>
6	2	72	15	15	30		12	0	3
Итого	2	72	15	15	30	15	12	0	

## АННОТАЦИЯ

Цель курса – введение в проблематику и изучение подходов, используемых при описании движения динамических объектов, таких например, как летательные аппараты. Рассматриваются модель атмосферы, поверхности, гравитационного поля Земли. Изучаются принципы реактивного движения тела переменной массы. Рассматриваются системы координат, используемые при описании движения летательных аппаратов. Выводятся уравнения пространственного движения как материальной точки, уравнения вращательного движения, уравнения движения в энергетической форме. Рассматриваются способы описания сил, действующих на летательный аппарат. Теоретические знания закрепляются в рамках лабораторных работ на компьютере.

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения учебной дисциплины является освоение подходов к формированию математических моделей сложных технических систем на примере математического описания подвижных объектов.

### 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Для успешного освоения дисциплины необходимы знания общей физики и теории обыкновенных дифференциальных уравнений.

### 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	--

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
производственно-технологический			
разработка и сопровождение программного обеспечения	информационные и программные системы	ПК-1.2 [1] - способен разрабатывать и применять прикладные программы при решении задач в области	З-ПК-1.2[1] - знать принципы построения и условия применения программ, используемых в задачах разработки и

		<p>киберфизических и информационных систем</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.057, Анализ опыта: разработка математического и программного обеспечения киберфизических систем</p>	<p>сопровождения киберфизических и информационных систем;</p> <p>У-ПК-1.2[1] - уметь обоснованно выбирать алгоритмы и программные средства для решения задач проектирования и сопровождения киберфизических и информационных систем;</p> <p>В-ПК-1.2[1] - владеть навыками использования прикладных программ при разработке и моделировании киберфизических и информационных систем</p>
<b>научно-исследовательский</b>			
анализ и математическое моделирование физических процессов	системы ядерно-энергетического комплекса	<p>ПК-2 [1] - Способен понимать, применять и совершенствовать современный математический аппарат</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078</p>	<p>З-ПК-2[1] - знать современный математический аппарат, используемый при описании, решении и анализе различных прикладных задач;</p> <p>У-ПК-2[1] - использовать современный математический аппарат для построения математических моделей и алгоритмов решения различных прикладных задач;</p> <p>В-ПК-2[1] - владеть навыками применения современного математического аппарата для построения математических моделей различных процессов, для обработки</p>

			экспериментальных, статистических и теоретических данных, для разработки новых алгоритмов и методов исследования задач различных типов
--	--	--	--

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование навыков коммуникации, командной работы и лидерства (B20)
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование способности и стремления следовать в профессии нормам поведения, обеспечивающим нравственный характер трудовой деятельности и неслужебного поведения (B21)
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование творческого инженерного/профессионального мышления, навыков организации коллективной проектной деятельности (B22)

#### 5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практи. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>6 Семестр</i>						
1	Часть 1	1-8	8/8/15		25	КИ-8	3-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2
2	Часть 2	9-15	7/7/15		25	КИ-15	3-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2, 3-ПК-2, У-ПК-2,

							В-ПК-2
	<i>Итого за 6 Семестр</i>		15/15/30		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 6 Семестр</b>				50	3	3-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2

\* – сокращенное наименование формы контроля

\*\* – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
КИ	Контроль по итогам
З	Зачет

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>6 Семестр</i>	15	15	30
<b>1-8</b>	<b>Часть 1</b>	8	8	15
1 - 4	<b>Модели среды. Реактивное движение</b> Модель атмосферы Земли. Строение атмосферы Изменение температуры и давления с высотой. Скорость звука и число Маха. Особенность сверхзвукового движения. Эффект болида. Классификация летательных аппаратов по скорости. Форма Земли. Земной эллипсоид. Модель силы тяжести. Реактивное движение Принцип реактивного движения. Описание движения тела переменной массы. Уравнение Мещерского. Формула Циолковского. Удельный импульс. Аэродинамические и гравитационные потери. Многоступенчатые ракеты.	Всего аудиторных часов		
		4	4	7
		Онлайн		
		0	0	0
5 - 8	<b>Системы координат и уравнения движения.</b> Системы координат, используемые при описании движения. Геодезическая и геоцентрическая системы координат. Инерциальная система координат. Нормальная земная система координат. Связанная, полусвязанная, скоростная, траекторная системы координат. Углы, задающие взаимное положение систем координат. Переход к другой системе координат. Матрица направляющих косинусов. Построение матрицы перехода. Запись уравнений движения в неинерциальной системе координат. Уравнения движения в связанной системе координат. Уравнения движения в траекторной и скоростной системах координат. Уравнения вращательного движения относительно центра масс и их	Всего аудиторных часов		
		4	4	8
		Онлайн		
		0	0	0

	упрощение. Кинематические уравнения Эйлера. Учет ветра. Перегрузка. Уравнения движения в перегрузках. Связь перегрузок и параметров траектории. Уравнения движения в вертикальной плоскости. Движение в горизонтальной плоскости.			
<b>9-15</b>	<b>Часть 2</b>	7	7	15
9 - 12	<b>Уравнения движения в энергетической форме.</b> Перегрузка. Проекция перегрузок на оси систем координат. Уравнения движения центра масс ЛА в перегрузках. Уравнения движения в вертикальной и горизонтальной плоскостях в перегрузках. Связь между перегрузками и параметрами траектории. Энергетическая высота. Изоэнергетическая траектория. Уравнения набора высоты в энергетической форме. Неустановившееся снижение. Профиль полёта и его оптимизация.	Всего аудиторных часов		
		4	4	8
		Онлайн		
		0	0	0
13 - 15	<b>Аэродинамические силы и коэффициенты.</b> Аэродинамическое качество. Поляра. Метод Жуковского . Влияние внешних факторов на кривые Жуковского. Характерные скорости движения ЛА и их графическое определение. Построение области располагаемых высот и скоростей установившегося полёта. Первые и вторые режимы полёта. Статический потолок. Набор высоты и снижение. Уравнение баланса сил при наборе высоты и снижении. Формула Бреге. Дальность полета винтового самолёта. Диаграмма нагрузка-дальность полёта. Локсодромия. Ортодромия. Расчет дистанции воздушного участка взлёта. Расчет дистанции воздушного участка посадки и кривизны траектории.	Всего аудиторных часов		
		3	3	7
		Онлайн		
		0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

#### ТЕМЫ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>6 Семестр</i>
1 - 8	<b>Лабораторная работа 1</b> Моделирование выведения ИСЗ на орбиту

9 - 15	<b>Лабораторная работа 2</b> Аэродинамические коэффициенты. Метод тяг.
--------	---

#### ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>6 Семестр</i>
1 - 4	<b>Модели среды</b> Расчет параметров атмосферы и гравитации на заданной высоте
5 - 8	<b>Реактивное движение</b> Расчет характеристической скорости
9 - 12	<b>Системы координат и уравнения движения.</b> Вычисление матриц перехода между различными подвижными системами координат
13 - 15	<b>Аэродинамические силы и коэффициенты.</b> Характерные скорости движения ЛА и их графическое определение.

#### ТЕМЫ СЕМИНАРОВ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>6 Семестр</i>
	<b>Укажите название пункта</b> Введите здесь подробное описание пункта

### 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Курс базируется на сочетании и совмещении теоретической и практической подготовки студентов в рамках единых занятий. В начале занятий в форме лекции даются теоретические основы и описываются методы решения задачи, а затем в форме семинара проводится закрепление пройденного материала посредством решения задач, оценки различных вариантов решений, а также совместного обсуждения изученных приемов.

В рамках данного курса проводится серия лабораторных работ, состоящая в выполнении ряда заданий по ходу изучения дисциплины в компьютерных классах кафедры, оборудованных вычислительной техникой с последующей защитой лабораторных работ.

Теоретический материал курса представлен в виде текста лекций.

Практические задания и темы лабораторных работ разработаны для закрепления теоретического материала.

### 7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-1.2	3-ПК-1.2	3, КИ-8, КИ-15

	У-ПК-1.2	3, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-1.2	3, КИ-8, КИ-15
ПК-2	З-ПК-2	3, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-2	3, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-2	3, КИ-8, КИ-15

### Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-х балльной шкале	Отметка о зачете	Оценка ECTS
90-100	5 – «отлично»	«Зачтено»	A
85-89	4 – «хорошо»		B
75-84			C
70-74			D
65-69	3 – «удовлетворительно»		E
60-64		F	
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	«Не зачтено»	

Оценка «отлично» соответствует глубокому и прочному освоению материала программы обучающимся, который последовательно, четко и логически стройно излагает свои ответы, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответах материалы монографической литературы.

Оценка «хорошо» соответствует твердым знаниям материала обучающимся, который грамотно и, по существу, излагает свои ответы, не допуская существенных неточностей.

Оценка «удовлетворительно» соответствует базовому уровню освоения материала обучающимся, при котором освоен основной материал, но не усвоены его детали, в ответах присутствуют неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности.

Отметка «зачтено» соответствует, как минимум, базовому уровню освоения материала программы, при котором обучающийся владеет необходимыми знаниями, умениями и навыками, умеет применять теоретические положения для решения типовых практических задач.

Оценку «неудовлетворительно» / отметку «не зачтено» получает обучающийся, который не знает значительной части материала программы, допускает в ответах существенные ошибки, не выполнил все обязательные задания, предусмотренные программой. Как правило, такие обучающиеся не могут продолжить обучение без дополнительных занятий.

## **8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

1. ЭИ К 82 Динамика полета. Расчет летно-технических и пилотажных характеристик самолета : , Кривель С. М., Санкт-Петербург: Лань, 2022
2. ЭИ 3-53 Пилотирование самолета и ориентация в пространстве : , Земляной А. Ф., Санкт-Петербург: Лань, 2022

### **ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

1. 629 С41 Баллистика и наведение летательных аппаратов : , Сихарулидзе Ю.Г., Москва: Бином. Лаборатория знаний, 2011
2. 629 И20 Баллистика и навигация космических аппаратов : учебник для вузов, Иванов Н.М., Лысенко Л.Н., Москва: Дрофа, 2004

### **ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:**

1. СИНУС (К-312, К-315)

### **LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:**

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

## **9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

## **10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ**

В курсе изучаются математические модели движения летательных аппаратов. Поиск литературы для самостоятельно изучения вопроса следует осуществлять по ключевым словам «Динамика полёта».

Лабораторный практикум может быть выполнен с использованием программы Синус. В первой лабораторной работе моделирование этапов работы многоступенчатой ракеты-носителя может быть выполнено либо методом припасовывания, либо с использованием встроенной функции «диапазон». Старт осуществляется вертикально, однако для уменьшения гравитационных потерь можно изменять угол наклона траектории, что является предметом исследования в данной работе. Вывод ИСЗ считается успешным, если сформирована горизонтальная траектория на заданной высоте с первой космической скоростью.

При выполнении второй работы также может быть использована программа Синус при реализации упрощенного метода тяг, однако при реализации итерационного метода с учетом

угла атаки удобнее разработать собственную программу. Кривые, вычисленные с использованием самостоятельно разработанной программы, можно отображать с использованием программы Синус.

## 11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Теоретическая часть курса основана на относительно небольшом числе уравнений, физических моделей и методик, на основе которых делается ряд выводов. Учитывая, что эти производные факты могут быть получены за относительно небольшое время, изучение этих вопросов рекомендуется перенести на семинары, где под руководством преподавателя их должны получить сами студенты. Это может быть сделано либо у доски одним из студентов, либо в рамках коллективной работы на семинаре. К таким вопросам относятся:

Вычисление матриц перехода от одной конкретной системы координат к другой.

Вывод уравнений движения в различных системах координат.

Вывод уравнений движения в перегрузках.

Вычисление характерных скоростей и аэродинамических коэффициентов по кривым Жуковского в методе тяг для установившегося режима полёта.

Влияние внешних факторов полёта на кривые потребных и располагаемых тяг.

Вычисление максимальной дальности и вывод формулы Бреге.

Полученные на семинарах результаты должны быть представлены как теоретические (следствие фундаментальных принципов описания движения) и включены в экзамен.

Лабораторный практикум может быть выполнен с использованием программы Синус. В первой лабораторной работе моделирование этапов работы многоступенчатой ракеты-носителя может быть выполнено либо методом припасовывания, либо с использованием встроенной функции «диапазон». Старт осуществляется вертикально, однако для уменьшения гравитационных потерь можно изменять угол наклона траектории, что является предметом исследования в данной работе. Вывод ИСЗ считается успешным, если сформирована горизонтальная траектория на заданной высоте с первой космической скоростью.

При выполнении второй работы также может быть использована программа Синус при реализации упрощенного метода тяг, однако при реализации итерационного метода с учетом угла атаки удобнее разработать собственную программу. Кривые, вычисленные с использованием самостоятельно разработанной программы, можно отображать с использованием программы Синус.

Автор(ы):

Ктитров Сергей Викторович, к.т.н., доцент