

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Ястребов Олег Александрович  
Должность: Ректор  
Дата подписания: 28.05.2026 10:28:14  
Уникальный программный ключ:  
ca953a0120d891083f939673078ef1a989dae18a

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»**

**Инженерная академия**

(наименование основного учебного подразделения (ОУП) – разработчика ОП ВО)

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

### **SPACE FLIGHT MECHANICS**

(наименование дисциплины/модуля)

**Рекомендована МССН для направления подготовки/специальности:**

### **27.03.04 УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

(код и наименование направления подготовки/специальности)

**Освоение дисциплины ведется в рамках реализации основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОП ВО):**

### **DATA SCIENCE И КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ**

(наименование (профиль/специализация) ОП ВО)

## 1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина «Space Flight Mechanics» входит в программу бакалавриата «Data Science и космические системы» по направлению 27.03.04 «Управление в технических системах» и изучается в 3, 4, 5, 6, 7 семестрах 2, 3, 4 курсов. Дисциплину реализует Кафедра механики и процессов управления. Дисциплина состоит из 12 разделов и 56 тем и направлена на изучение теоретических основ механики космического полета, прогнозирования движения космических аппаратов, теории маневрирования, траекторных измерений и межпланетных перелетов. Особое внимание уделяется разбору методов решения типовых задач и анализу области их применения в профессиональной деятельности.

Целью освоения дисциплины является формирование фундаментальных знаний и навыков применения методов механики космического полета решения задач космонавтики, необходимых для профессиональной деятельности и освоения последующих дисциплин.

## 2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение дисциплины «Space Flight Mechanics» направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций (части компетенций):

Таблица 2.1. Перечень компетенций, формируемых у обучающихся при освоении дисциплины (результаты освоения дисциплины)

Шифр	Компетенция	Индикаторы достижения компетенции (в рамках данной дисциплины)
ОПК-1	Способен анализировать задачи профессиональной деятельности на основе положений, законов и методов в области естественных наук и математики	ОПК-1.1 Обладает базовыми знаниями, полученными в области математических и (или) естественных наук; ОПК-1.2 Умеет использовать их в профессиональной деятельности; ОПК-1.3 Имеет навыки выбора методов решения задач профессиональной деятельности на основе теоретических знаний;
ОПК-11	Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности	ОПК-11.1 Знает цифровые методы и технологии применяемые в профессиональной деятельности; ОПК-11.2 Умеет применять цифровые методы и технологии в профессиональной деятельности для изучения и моделирования объектов профессиональной деятельности, анализа данных, представления информации; ОПК-11.3 Уверенно владеет цифровыми методами и технологиями в профессиональной деятельности (в области управления в технических системах) для: изучения и моделирования объектов профессиональной деятельности, анализа данных, представления информации;
ОПК-2	Способен формулировать задачи профессиональной деятельности на основе знаний, профильных разделов математических и естественнонаучных дисциплин (модулей)	ОПК-2.1 Владеет математическими методами, основами программирования и специализированными системами программирования для реализации алгоритмов решения прикладных задач; ОПК-2.2 Умеет осуществлять выбор и адаптацию математических методов и программного обеспечения к решению практических задач; ОПК-2.3 Владеет навыками разработки и реализации алгоритмов решения прикладных задач в области профессиональной деятельности;
ОПК-3	Способен использовать фундаментальные знания для решения базовых задач управления в технических системах с целью совершенствования в профессиональной деятельности	ОПК-3.1 Знает теоретические основы и принципы математического моделирования; ОПК-3.2 Умеет разрабатывать и использовать методы математического моделирования, информационные технологии для решения задач прикладной математики; ОПК-3.3 Владеет практическими навыками решения задач прикладной математики, методами

Шифр	Компетенция	Индикаторы достижения компетенции (в рамках данной дисциплины)
		<p>математического моделирования, информационными технологиями и основами их использования в профессиональной деятельности, навыками профессионального мышления и арсеналом методов и подходов, необходимыми для адекватного использования методов современной математики в теоретических и прикладных задачах;</p>
ОПК-6	<p>Способен разрабатывать и использовать алгоритмы и программы, современные информационные технологии, методы и средства контроля, диагностики и управления, пригодные для практического применения в сфере своей профессиональной деятельности</p>	<p>ОПК-6.1 Знает основные алгоритмы и программы, современные информационные технологии, методы и средства контроля, диагностики и управления, пригодные для практического применения в сфере своей профессиональной деятельности;</p> <p>ОПК-6.2 Умеет применять алгоритмы и программы, современные информационные технологии, методы и средства контроля, диагностики и управления, пригодные для практического применения в сфере своей профессиональной деятельности;</p> <p>ОПК-6.3 Уверенно владеет алгоритмами и и программами, современными информационными технологиями, методами и средствами контроля, диагностикой и управлением, пригодными для практического применения в сфере своей профессиональной деятельности;</p>
ПК-1	<p>Способен собирать, обрабатывать и интерпретировать данные современных научных исследований, необходимые для формирования выводов по соответствующим научным исследованиям, в том числе данные дистанционного зондирования Земли</p>	<p>ПК-1.1 Знает современные методы того, как собирать, обрабатывать и интерпретировать данные современных научных исследований, необходимые для формирования выводов по соответствующим научным исследованиям;</p> <p>ПК-1.2 Умеет применять современные методы и средства для обработки и интерпретации данные научных исследований;</p> <p>ПК-1.3 Владеет основными навыками сбора, обработки и интерпретации данных современных научных исследований, необходимых для формирования выводов по соответствующим научным исследованиям;</p>
ПК-2	<p>Способен участвовать в разработке схемотехнической документации на систему управления полетами ракет-носителей и космических аппаратов, в подготовке публикаций по результатам исследований и разработок</p>	<p>ПК-2.1 Знает основные подходы к разработке математических моделей узлов, функциональных модулей и приборов системы управления полетами ракет-носителей и космических аппаратов;</p> <p>ПК-2.2 Умеет составлять аналитические обзоры и научно-технические отчеты по результатам исследований и разработок;</p> <p>ПК-2.3 Имеет навыки проектирования функциональных узлов и блоков системы управления полетами ракет-носителей и космических аппаратов;</p>
ПК-4	<p>Способен формулировать, анализировать и решать инженерные задачи в области баллистики, механики движения и управления движением космических аппаратов на основе профессиональных знаний</p>	<p>ПК-4.1 Знает основные понятия и основные алгоритмы решения задач в области баллистики, механики движения и управления движением на основе автоматизированных и автоматических систем;</p> <p>ПК-4.2 Умеет решать инженерные задачи аналитического характера в области баллистики, механики движения и управления движением космических аппаратов на основе профессиональных знаний;</p> <p>ПК-4.3 Владеет навыками использования математических методов обработки информации, полученной в результате экспериментальных исследований, основными методами анализа механики движения и управления движением космических аппаратов на базе стандартных методик и пакетов программ;</p>

### 3. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОП ВО

Дисциплина «Space Flight Mechanics» относится к обязательной части блока 1 «Дисциплины (модули)» образовательной программы высшего образования.

В рамках образовательной программы высшего образования обучающиеся также осваивают другие дисциплины и/или практики, способствующие достижению запланированных результатов освоения дисциплины «Space Flight Mechanics».

Таблица 3.1. Перечень компонентов ОП ВО, способствующих достижению запланированных результатов освоения дисциплины

Шифр	Наименование компетенции	Предшествующие дисциплины/модули, практики*	Последующие дисциплины/модули, практики*
ОПК-6	Способен разрабатывать и использовать алгоритмы и программы, современные информационные технологии, методы и средства контроля, диагностики и управления, пригодные для практического применения в сфере своей профессиональной деятельности	Computer Science and Programming; Introduction to Computing Science;	Undergraduate Training;
ОПК-1	Способен анализировать задачи профессиональной деятельности на основе положений, законов и методов в области естественных наук и математики	Mathematical analysis; Algebra and Geometry; Physics;	Technological Training; Undergraduate Training;
ОПК-2	Способен формулировать задачи профессиональной деятельности на основе знаний, профильных разделов математических и естественнонаучных дисциплин (модулей)	Mathematical analysis; Algebra and Geometry;	Technological Training; Undergraduate Training;
ОПК-3	Способен использовать фундаментальные знания для решения базовых задач управления в технических системах с целью совершенствования в профессиональной деятельности	Algebra and Geometry; Mathematical analysis;	Technological Training; Undergraduate Training;
ОПК-11	Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности		Undergraduate Training; Technological Training;
ПК-1	Способен собирать, обрабатывать и интерпретировать данные современных научных исследований, необходимые для формирования выводов по соответствующим научным исследованиям, в том числе данные дистанционного	Computer Science and Programming; Introduction to Computing Science;	Technological Training; Undergraduate Training;

Шифр	Наименование компетенции	Предшествующие дисциплины/модули, практики*	Последующие дисциплины/модули, практики*
	зондирования Земли		
ПК-2	Способен участвовать в разработке схемотехнической документации на систему управления полетами ракет-носителей и космических аппаратов, в подготовке публикаций по результатам исследований и разработок		Undergraduate Training;
ПК-4	Способен формулировать, анализировать и решать инженерные задачи в области баллистики, механики движения и управления движением космических аппаратов на основе профессиональных знаний		Technological Training; Undergraduate Training;

\* - заполняется в соответствии с матрицей компетенций и СУП ОП ВО

\*\* - элективные дисциплины /практики

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Space Flight Mechanics» составляет «24» зачетные единицы.

Таблица 4.1. Виды учебной работы по периодам освоения образовательной программы высшего образования для очной формы обучения.

Вид учебной работы	ВСЕГО, ак.ч.	Семестр(-ы)	Семестр(-ы)	Семестр(-ы)	Семестр(-ы)	Семестр(-ы)	
		3	4	5	6	7	
Контактная работа, ак.ч	411	36	51	108	108	108	
Лекции (ЛК)	160	18	34	36	36	36	
Лабораторные работы (ЛР)	125	0	17	36	36	36	
Практические/семинарские занятия (СЗ)	126	18	0	36	36	36	
Самостоятельная работа обучающихся, ак.ч.	363	36	57	108	45	117	
Контроль (экзамен/зачет с оценкой), ак.ч.	90	0	0	36	27	27	
Общая трудоемкость дисциплины ак.ч.	ак.ч.	864	72	108	252	180	252
	зач.ед.	24	2	3	7	5	7

Общая трудоемкость дисциплины «Space Flight Mechanics» составляет «24» зачетные единицы.

Таблица 4.2. Виды учебной работы по периодам освоения образовательной программы высшего образования для очной формы обучения.

Вид учебной работы	ВСЕГО, ак.ч.	Семестр(-ы)	Семестр(-ы)	Семестр(-ы)	Семестр(-ы)	Семестр(-ы)	
		3	4	5	6	7	
Контактная работа, ак.ч	411	36	51	108	108	108	
Лекции (ЛК)	160	18	34	36	36	36	
Лабораторные работы (ЛР)	125	0	17	36	36	36	
Практические/семинарские занятия (СЗ)	126	18	0	36	36	36	
Самостоятельная работа обучающихся, ак.ч.	363	36	57	108	45	117	
Контроль (экзамен/зачет с оценкой), ак.ч.	90	0	0	36	27	27	
Общая трудоемкость дисциплины ак.ч.	ак.ч.	864	72	108	252	180	252
	зач.ед.	24	2	3	7	5	7

Общая трудоемкость дисциплины «Space Flight Mechanics» составляет «24» зачетные единицы.

Таблица 4.3. Виды учебной работы по периодам освоения образовательной программы высшего образования для очной формы обучения.

Вид учебной работы	ВСЕГО, ак.ч.	Семестр(-ы)	Семестр(-ы)	Семестр(-ы)	Семестр(-ы)	Семестр(-ы)	
		3	4	5	6	7	
Контактная работа, ак.ч	411	36	51	108	108	108	
Лекции (ЛК)	160	18	34	36	36	36	
Лабораторные работы (ЛР)	125	0	17	36	36	36	
Практические/семинарские занятия (СЗ)	126	18	0	36	36	36	
Самостоятельная работа обучающихся, ак.ч.	363	36	57	108	45	117	
Контроль (экзамен/зачет с оценкой), ак.ч.	90	0	0	36	27	27	
Общая трудоемкость дисциплины ак.ч.	ак.ч.	864	72	108	252	180	252
	зач.ед.	24	2	3	7	5	7

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 5.1. Содержание дисциплины (модуля) по видам учебной работы\*

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы*
Раздел 1	Введение	1.1	Механики космического полета в структуре научно-технического знания. Структура дисциплины. Области применения методов механики космического полета	Определение механики космического полета как раздела баллистики и небесной механики, изучающего движение космических аппаратов. Характеристика структуры дисциплины: динамика центра масс, динамика относительно центра масс, баллистика, астродинамика. Описание областей применения методов механики космического полета: выведение на орбиту, прогнозирование движения, орбитальные маневры, межпланетные перелеты, управление ориентацией, планирование космических миссий.	ЛК
		1.2	Динамика тел переменной массы. Закон всемирного тяготения. Основные законы механики.	Определение тела переменной массы как объекта, чья масса изменяется во времени вследствие отделения или присоединения частиц. Характеристика уравнения Мещерского для описания движения тел переменной массы. Формулировка закона всемирного тяготения Ньютона: сила гравитационного притяжения пропорциональна произведению масс и обратно пропорциональна квадрату расстояния. Описание основных законов механики: первый закон инерции, второй закон о пропорциональности силы и ускорения, третий закон о равенстве действия и противодействия.	ЛК, СЗ
		1.3	Сферическая тригонометрия	Определение сферической тригонометрии как раздела геометрии, изучающего соотношения между сторонами и углами сферических треугольников. Характеристика основных формул: формула сторон для прямоугольного сферического треугольника, теорема синусов, теорема косинусов для стороны и для угла. Описание применения сферической тригонометрии в механике космического полета для расчёта небесных координат, углов ориентации и трасс полета космических аппаратов.	ЛК, ЛР
Раздел 2	Невозмущенное движение космического аппарата	2.1	Основные понятия и определения. Уравнения движения в гравитационном поле	Определение невозмущенного движения как движения космического аппарата под действием только гравитационного поля центрального тела. Описание основных понятий: притягивающий центр, радиус-вектор, гравитационный параметр, плоскость орбиты. Характеристика уравнений движения в гравитационном поле в векторной форме и в проекциях на оси координат. Вывод уравнения ускорения как второй производной радиус-вектора.	ЛК, СЗ
		2.2	Интегралы уравнений невозмущенного движения	Определение интегралов движения как величин, сохраняющихся постоянными во времени. Характеристика трёх основных интегралов: интеграл энергии удельной механической энергии, интеграл площадей вектора момента количества движения, интеграл Лапласа вектора эксцентриситета. Описание физического смысла каждого интеграла: постоянство энергии определяет тип орбиты, постоянство момента количества движения обеспечивает движение в фиксированной плоскости.	ЛК, ЛР
		2.3	Уравнение траектории. Виды орбит. Геометрические характеристики орбит	Вывод уравнения траектории в полярных координатах. Характеристика видов орбит в зависимости от эксцентриситета: окружность при нулевом эксцентриситете, эллипс при эксцентриситете от нуля до единицы, парабола при эксцентриситете равном единице, гипербола при эксцентриситете больше единицы. Описание геометрических характеристик орбит: фокус, большая и малая полуоси, фокальный параметр, перицентр и апоцентр, истинная аномалия.	ЛК, ЛР

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы*
		2.4	Кинематические параметры движения	Определение кинематических параметров как величин, характеризующих положение и скорость космического аппарата в пространстве. Описание радиальной и трансверсальной составляющих скорости. Характеристика зависимости скорости от радиуса на эллиптической орбите. Формула скорости в перигентре и апоцентре. Связь круговой скорости и первой космической скорости с гравитационным параметром и радиусом. Определение параболической скорости как второй космической скорости.	ЛК, ЛР
		2.5	Уравнение Кеплера	Определение уравнения Кеплера как основного уравнения невозмущённого эллиптического движения. Формулировка уравнения: средняя аномалия равна эксцентрической аномалии минус произведение эксцентриситета на синус эксцентрической аномалии. Описание величин: средняя аномалия равномерно растёт со временем, эксцентрическая аномалия является вспомогательным геометрическим параметром. Характеристика методов решения уравнения Кеплера: метод последовательных приближений и метод итераций.	ЛК, СЗ
		2.6	Определение кеплеровых элементов орбиты по начальным условиям движения	Определение кеплеровых элементов как набора шести параметров, однозначно задающих орбиту. Описание элементов: большая полуось, эксцентриситет, наклонение, долгота восходящего узла, аргумент перигентра, истинная аномалия в начальный момент. Характеристика алгоритма определения элементов по начальным радиус-вектору и вектору скорости. Вычисление удельной энергии и момента количества движения, затем большой полуоси, эксцентриситета и ориентации орбиты.	ЛК, ЛР
		2.7	Определение кинематических параметров движения по кеплеровым элементам орбиты	Описание обратной задачи: вычисление положения и скорости космического аппарата в произвольный момент времени по известным кеплеровым элементам. Характеристика последовательности действий: решение уравнения Кеплера для нахождения эксцентрической аномалии, вычисление истинной аномалии и радиуса, расчёт координат в плоскости орбиты, преобразование в гелиоцентрическую или геоцентрическую систему координат через матрицы поворота. Вычисление вектора скорости.	ЛК, ЛР
		2.8	Трасса полета космического аппарата	Определение трассы полета как проекции орбиты космического аппарата на поверхность вращающегося центрального тела. Описание влияния суточного вращения Земли на смещение трассы к западу при каждом витке. Характеристика понятия витка: широта и долгота трассы, восходящий и нисходящий узлы. Описание прицельной трассы и коридора посадки. Расчёт повторяемости трассы для круговых орбит.	ЛК, ЛР
		2.9	Определение кеплеровых элементов орбиты по двум положениям космического аппарата	Формулировка задачи Гаусса: определение орбиты по двум положениям радиус-вектора и интервалу времени между ними. Описание метода Ламберта: связь времени перелёта с большой полуосью и хордой траектории. Характеристика итерационного решения трансцендентного уравнения Ламберта. Определение неоднозначности решения для эллиптических орбит.	ЛК, СЗ
Раздел 3	Возмущенное движение центра масс космического аппарата	3.1	Общая характеристика возмущений и основные методы исследования возмущенного движения	Определение возмущенного движения как движения, отклоняющегося от невозмущенной кеплеровой траектории под действием дополнительных сил. Характеристика основных возмущающих сил: нецентральность гравитационного поля, сопротивление атмосферы, притяжение других небесных тел, световое давление, релятивистские эффекты. Описание двух основных методов исследования возмущенного движения: метод оскулирующих элементов и метод численного интегрирования.	ЛК, СЗ
		3.2	Метод оскулирующих	Определение оскулирующих элементов как мгновенных кеплеровых элементов,	ЛК, ЛР

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы*
			элементов	которые имел бы космический аппарат, если бы в данный момент возмущения прекратились. Характеристика дифференциальных уравнений Лагранжа для изменения оскулирующих элементов под действием возмущающих сил. Описание правых частей уравнений как производных от возмущающей функции по элементам орбиты. Преимущества метода: наглядность и возможность аналитического осреднения.	
		3.3	Анализ возмущенного движения по околокруговым орбитам	Определение околокруговой орбиты как орбиты с эксцентриситетом близким к нулю. Описание методов линеаризации уравнений возмущенного движения для малых эксцентриситетов. Характеристика вековых возмущений элементов: медленный дрейф долготы восходящего узла и аргумента перицентра под действием сжатия Земли. Описание короткопериодических возмущений с периодом орбиты. Анализ эволюции формы и ориентации орбиты.	ЛК, ЛР
		3.4	Влияние нецентральности гравитационного поля Земли	Описание гравитационного поля Земли через разложение геопотенциала в ряд по сферическим функциям. Характеристика основного возмущения от второй зональной гармоники J <sub>2</sub> , обусловленной сжатием Земли у полюсов. Описание эффектов: прецессия линии узлов вращение плоскости орбиты вокруг оси Земли, вращение линии апсид поворот орбиты в её плоскости. Расчёт суточного смещения узла для солнечно-синхронных орбит.	ЛК, ЛР
		3.5	Влияние атмосферы Земли	Характеристика силы сопротивления атмосферы как диссипативной силы, направленной против вектора скорости. Описание зависимости сопротивления от плотности атмосферы, скорости аппарата и баллистического коэффициента. Основные эффекты сопротивления: уменьшение большой полуоси, снижение высоты орбиты, уменьшение эксцентриситета круговление эллиптической орбиты, сокращение времени существования космического аппарата на низких орбитах.	ЛК, СЗ
		3.6	Влияние притяжения небесных тел	Определение возмущающего ускорения как разности ускорений от притяжения третьего тела и ускорения самого центрального тела. Характеристика влияния Луны и Солнца как основных источников гравитационных возмущений для спутников Земли. Описание эффектов для высокоорбитальных аппаратов: вековые изменения эксцентриситета и наклона, резонансные явления. Характеристика сферы действия тяготения и задачи трёх тел.	ЛК, ЛР
		3.7	Влияние светового давления	Определение светового давления как силы, обусловленной передачей импульса от фотонов солнечного излучения поверхности космического аппарата. Характеристика зависимости силы от площади поверхности, коэффициента отражения и интенсивности солнечного излучения. Описание эффектов для аппаратов с большой площадью парусного типа и для геостационарных спутников. Влияние на орбиту: периодические возмущения и долгопериодический дрейф.	ЛК, ЛР
Раздел 4	Динамика движения космического аппарата относительно центра масс	4.1	Моменты сил, действующие на космический аппарат	Определение момента силы как векторной величины, характеризующей вращательное действие силы. Описание основных источников моментов сил: гравитационный момент из-за неравномерности поля тяготения, аэродинамический момент от взаимодействия с атмосферой, световой момент от давления солнечного излучения, внутренние моменты от работы двигателей и перемещения подвижных частей.	ЛК, СЗ
		4.2	Дифференциальные уравнения вращательного движения космического аппарата	Формулировка основного уравнения динамики вращательного движения: момент инерции, умноженный на угловое ускорение, равен сумме моментов внешних сил. Описание использования тензора инерции для характеристики распределения массы относительно связанной системы координат. Характеристика уравнений Эйлера в	ЛК, ЛР

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы*
				проекциях на главные центральные оси инерции. Описание задачи управления угловым положением аппарата.	
		4.3	Кинематические соотношения Пуассона. Интеграл энергии	Определение кинематических уравнений Пуассона, связывающих угловую скорость с производными по времени от направляющих косинусов. Описание связи между угловой скоростью и кинематическими параметрами: углами Эйлера и кватернионами. Характеристика преимущества использования кватернионов для численного моделирования вращательного движения: отсутствие сингулярностей. Определение интеграла энергии.	ЛК, ЛР
		4.4	Интеграл энергии. Относительное равновесие космического аппарата. Устойчивость равновесия	Определение относительного равновесия как состояния, при котором космический аппарат сохраняет неизменную ориентацию относительно орбитальной системы координат. Описание положений равновесия при действии гравитационного момента: устойчивая ориентация вытянутого аппарата по местной вертикали. Характеристика критериев устойчивости равновесия Ляпунова. Условия устойчивости для гантельной модели спутника.	ЛК, ЛР
		4.5	Границы колебаний. Условия непереворачиваемости	Определение границ колебаний как максимальных углов отклонения оси аппарата от положения равновесия при начальных возмущениях. Описание фазового портрета вращательного движения в координатах угол отклонения и угловая скорость. Характеристика условия непереворачиваемости как ограничения начальной кинетической энергии, при котором аппарат совершает либрационные колебания без полного оборота.	ЛК, ЛР
		4.6	Способы ориентации и стабилизации космического аппарата	Определение ориентации как придания космическому аппарату требуемого углового положения. Характеристика способов стабилизации: пассивная стабилизация гравитационная, магнитная, аэродинамическая, активная стабилизация с использованием двигателей-маховиков, гиродинов и реактивных двигателей малой тяги. Описание трёхосной ориентации и стабилизации вращением спин-стабилизации. Сравнение энергопотребления и точности различных методов.	ЛК, ЛР
Раздел 5	Орбитальные маневры в центральном гравитационном поле	5.1	Основные положения теории маневров	Определение орбитального маневра как целенаправленного изменения параметров орбиты космического аппарата с помощью двигательной установки. Характеристика импульсного маневра как мгновенного изменения вектора скорости в точке приложения импульса. Описание задачи оптимизации маневра по минимуму характеристической скорости суммарного импульса. Определение гравитационных потерь и эффективности использования двигателя.	ЛК, СЗ
		5.2	Маневры переходов	Описание простейшего маневра перехода с одной круговой орбиты на другую компланарную круговую орбиту. Характеристика эллиптического переходного эллипса Гомана-Цандера: минимальный расход характеристической скорости при оптимальном соотношении радиусов. Расчёт двух импульсов: разгонного в перигеуме и тормозного в апоцентре. Описание биеллиптических переходов для больших отношений радиусов орбит.	ЛК, ЛР
		5.3	Встреча на компланарных орбитах	Определение задачи встречи как совмещения космического аппарата с целевым объектом в заданной точке пространства в заданное время. Характеристика фазового угла и расчёта времени ожидания между орбитами. Описание метода конических сечений для планирования перелёта с заданным временем. Оптимизация импульсов для сближения с космической станцией.	ЛК, ЛР
		5.4	Встреча на	Описание задачи встречи космических аппаратов, движущихся в различных	ЛК, СЗ

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы*
			некомпланарных орбитах	плоскостях. Характеристика необходимости изменения наклона орбиты как наиболее энергоёмкого манёвра. Расчёт импульса для поворота плоскости орбиты в узловой линии. Оптимальная комбинация манёвров: изменение наклона совместно с корректировкой формы орбиты. Использование перелёта через восходящий или нисходящий узел.	
		5.5	Численные методы оптимизации и повышения точности параметров маневров	Описание необходимости численных методов при учёте возмущений и неимпульсности работы двигателей. Характеристика методов вариационного исчисления и принципа максимума Понтрягина для поиска оптимальной программы управления. Использование методов последовательных приближений и градиентных методов. Повышение точности маневров через коррекцию траектории по данным навигационных измерений.	ЛК, ЛР
		5.6	Маневрирование с помощью двигателя, имеющего ограниченную постоянную тягу	Определение маневра с двигателем конечной тяги как реалистичного случая работы двигательной установки в течение конечного интервала времени. Описание отличий от импульсного маневра: потери на управление, гравитационные потери, необходимость учёта изменения массы аппарата. Характеристика спиральных переходов между круговыми орбитами. Оптимизация направления вектора тяги для минимизации времени перелёта или расхода топлива.	ЛК, ЛР
Раздел 6	Системы координат	6.1	Система небесных координат. Гелиоцентрическая система координат	Определение небесной системы координат как инерциальной системы с началом в центре Солнца или барицентре Солнечной системы. Описание фундаментальной плоскости эклиптики плоскости орбиты Земли и направления на точку весеннего равноденствия. Характеристика гелиоцентрической эклиптической системы координат для описания движения планет и межпланетных аппаратов.	ЛК, ЛР
		6.2	Геоцентрические системы координат. Связные системы координат	Определение геоцентрической инерциальной системы координат с началом в центре Земли и осями, ориентированными на неподвижные звёзды. Описание земной экваториальной системы координат, связанной с вращающейся Землёй. Характеристика орбитальной системы координат: ось X по радиус-вектору, ось Z по нормали к плоскости орбиты, ось Y дополняет до правой тройки. Определение связной системы координат, жёстко связанной с корпусом космического аппарата.	ЛК, СЗ
		6.3	Переход между системами координат	Описание перехода между системами координат с помощью матриц поворота вокруг координатных осей. Характеристика матриц поворота на угол вокруг осей X, Y и Z. Последовательный переход от инерциальной системы к геоцентрической, затем к орбитальной и к связной системе через углы Эйлера. Учёт вращения Земли при переходе от инерциальных координат к географическим координатам.	ЛК, ЛР
Раздел 7	Шкалы времени	7.1	Солнечное, звездное и атомное время	Определение истинного солнечного времени как времени, определяемого видимым движением Солнца. Описание среднего солнечного времени как равномерной шкалы, осредняющей неравномерность истинного солнечного движения. Характеристика звездного времени как времени, измеряемого вращением Земли относительно неподвижных звёзд. Определение атомного времени как самой равномерной шкалы, основанной на частоте электромагнитного излучения атомов цезия.	ЛК, СЗ
		7.2	Динамическое и координированное время	Определение динамического времени как аргумента уравнений движения небесных тел в гравитационных полях. Характеристика земного динамического времени и барицентрического динамического времени для задач механики космического полета. Описание всемирного координированного времени как компромиссной шкалы, согласующей атомное время с вращением Земли. Характеристика високосных секунд.	ЛК, ЛР

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы*
		7.3	Переход между шкалами времени	Описание перехода между звёздным и солнечным временем через коэффициент пересчёта. Формула связи среднего солнечного времени и звёздного времени в заданный момент. Переход от всемирного координированного времени к атомному времени с учётом накопленной разности. Использование таблиц разностей времени для пересчёта моментов наблюдений.	ЛК, СЗ
Раздел 8	Методы прогнозирования движения космического аппарата	8.1	Формы представления гравитационного поля Земли	Описание гравитационного поля Земли через разложение гравитационного потенциала в ряд по сферическим гармоникам. Характеристика зональных, тессеральных и секториальных гармоник. Представление в виде коэффициентов Стокса и нормированных коэффициентов. Использование моделей геопотенциала EGM96, EGM2008 и других для расчёта ускорений.	ЛК, СЗ
		8.2	Математическое моделирование возмущающих сил	Описание модели сопротивления атмосферы: зависимость плотности от высоты по стандартной атмосфере, учёт баллистического коэффициента и коэффициента лобового сопротивления. Моделирование притяжения Луны и Солнца через точечные массы. Моделирование светового давления с учётом затенения Землёй и отражённого альbedo. Характеристика упрощённых и высокоточных моделей для разных задач.	ЛК, СЗ
		8.3	Аналитические методы прогнозирования движения	Определение аналитических методов как методов получения формул для элементов орбиты в виде функций времени. Характеристика метода осреднения для отделения вековых и долгопериодических возмущений от короткопериодических. Описание теории движения спутников Брауэра и Козаи. Преимущества аналитических методов: быстроедействие и наглядность, недостатки: ограниченная точность для низких орбит.	ЛК, ЛР
		8.4	Представление правых частей уравнений движения в виде функций элементов орбит	Описание перехода от уравнений движения в декартовых координатах к уравнениям для кеплеровых элементов. Выражение возмущающих ускорений через производные возмущающей функции по элементам. Характеристика уравнений Лагранжа и уравнений Гаусса. Описание особенностей применения при малых эксцентриситетах и наклонениях.	ЛК, ЛР
		8.5	Численные методы прогнозирования движения	Определение численных методов как методов прямого интегрирования дифференциальных уравнений движения. Характеристика одношаговых методов: метод Рунге-Кутты четвёртого порядка, метод Рунге-Кутты-Фельберга с автоматическим выбором шага. Описание многошаговых методов Адамса-Бэшфорта-Мултона. Характеристика требования высокой точности для долгосрочного прогнозирования.	ЛК, ЛР
		8.6	Методы теории специальных возмущений в задачах динамики космического аппарата	Определение специальных возмущений как методов, использующих численное интегрирование для конкретного начального состояния. Характеристика метода Энке: интегрирование отклонений от опорной невозмущённой орбиты. Метод Коуэлла: прямое интегрирование полных уравнений движения. Сравнение эффективности методов в зависимости от величины возмущений и требуемой точности.	ЛК, ЛР
		Раздел 9	Определение параметров движения космического аппарата на основе траекторных измерений	9.1	Характеристики и классификация измерений. Преобразование измерительной информации.
9.2	Задача Ламберта			Формулировка задачи Ламберта: определение орбиты по двум положениям и времени перелёта между ними. Описание уравнения Ламберта, связывающего время перелёта с большой полуосью и суммой расстояний до притягивающего центра. Характеристика	ЛК, ЛР

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы*
				итерационных методов решения. Применение задачи Ламберта для баллистического проектирования межпланетных перелётов и сближения.	
		9.3	Метод наименьших квадратов	Определение метода наименьших квадратов как метода статистической обработки избыточных измерений для нахождения наиболее вероятных параметров движения. Описание минимизации суммы квадратов невязок между измеренными и расчётными значениями. Характеристика линейного и нелинейного метода наименьших квадратов. Применение для улучшения параметров орбиты по данным траекторных измерений.	ЛК, ЛР
		9.4	Фильтры Калмана	Определение фильтра Калмана как рекурсивного алгоритма оптимальной оценки состояния динамической системы по зашумлённым измерениям. Описание двух этапов фильтра: предсказание и коррекция. Характеристика ковариационной матрицы ошибок и калмановского усиления. Применение фильтров Калмана для навигации космических аппаратов в реальном времени при сближении и посадке.	ЛК, ЛР
Раздел 10	Динамика выведения космического аппарата на околоземную орбиту	10.1	Стартовые системы координат. Определение оптимального времени старта	Описание стартовых систем координат: геоцентрическая стартовая система, топоцентрическая система с началом в точке старта. Характеристика влияния вращения Земли на начальную скорость аппарата на старте. Определение оптимального времени старта для выведения на заданную орбиту: учёт положения плоскости орбиты и необходимости попадания в окно пуска. Расчёт азимута пуска.	ЛК, СЗ
		10.2	Ракетные двигатели. Силы и моменты действующие на ракету-носитель	Характеристика ракетных двигателей как двигателей реактивного действия. Описание тяги двигателя как реактивной силы истечения газов. Перечень сил, действующих на ракету-носитель: тяга двигателей, сила тяжести, аэродинамическая подъёмная сила и сила лобового сопротивления. Описание управляющих моментов от поворота камер сгорания, газовых рулей и решетчатых рулей.	ЛК, ЛР
		10.3	Математическое моделирование движения ракеты-носителя	Описание системы дифференциальных уравнений движения центра масс ракеты-носителя в стартовой системе координат. Уравнение изменения массы секундный расход топлива. Характеристика моделирования атмосферного участка полёта с учётом изменения плотности воздуха и скоростного напора. Описание программы полёта: гравитационный разворот, отключение ступеней, выведение на опорную орбиту.	ЛК, ЛР
Раздел 11	Динамика спуска космического аппарата на Землю	11.1	Общая схема спуска. Требования, предъявляемые к траектории спуска	Описание общей схемы спуска: торможение двигательной установкой для схода с орбиты, вход в атмосферу, аэродинамическое торможение, парашютирование или мягкая посадка. Характеристика требований к траектории спуска: ограничение по перегрузкам для экипажа и оборудования, ограничение по тепловым потокам на теплозащиту, заданная точность приземления. Описание баллистического и планирующего спуска.	ЛК, ЛР
		11.2	Математическое моделирование движения спускаемого аппарата в атмосфере	Описание уравнений движения спускаемого аппарата в атмосфере с учётом силы тяжести, аэродинамической силы и управляющих воздействий. Характеристика аэродинамических коэффициентов: коэффициент лобового сопротивления и коэффициент подъёмной силы. Моделирование тепловых потоков в зависимости от скорости и высоты. Расчёт траектории до момента раскрытия парашютной системы.	ЛК, СЗ
Раздел 12	Межпланетные перелеты	12.1	Методы расчета участков межпланетных траекторий	Описание методов расчёта межпланетных траекторий как последовательности гелиоцентрических участков и участков сфер действия планет. Характеристика метода конических сечений: разбиение траектории на кеплеровы дуги. Описание метода сшивания конических сечений с использованием гиперболических скоростей входа и выхода из сферы действия планет. Учёт гравитационных манёвров в поле планет.	СЗ

Номер раздела	Наименование раздела дисциплины	Наименование темы		Содержание темы	Вид учебной работы*
		12.2	Схемы полета межпланетных аппаратов. Окна старта.	Характеристика прямых перелётов от Земли к планете-цели. Описание гравитационных манёвров у промежуточных планет для увеличения энергии или изменения плоскости орбиты. Определение окна старта как интервала времени, когда перелёт требует минимальной характеристической скорости. Расчёт гелиоцентрического углового положения планет в момент старта.	ЛК, ЛР
		12.3	Математическое моделирование движения межпланетных аппаратов	Описание уравнений движения межпланетного аппарата в гелиоцентрической системе координат с учётом притяжения Солнца, планет и возмущающих сил. Характеристика учёта манёвров и сброса ступеней. Моделирование коррекций траектории в ходе перелёта. Описание учёта гравитационного поля планеты при подлёте и переходе на орбиту искусственного спутника.	ЛК, ЛР
		12.4	Оптимизация межпланетных траекторий	Определение задачи оптимизации межпланетной траектории как поиска минимального расхода характеристической скорости или минимального времени перелёта. Характеристика методов глобальной оптимизации: перебор возможных дат старта и продолжительностей перелёта. Описание использования гравитационных манёвров и импульсов для снижения энергозатрат. Характеристика численных методов оптимизации: метод последовательного квадратичного программирования, генетические алгоритмы.	ЛК, ЛР

\* - заполняется только по ОЧНОЙ форме обучения: ЛК – лекции; ЛР – лабораторные работы; СЗ – практические/семинарские занятия.

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 6.1. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Тип аудитории	Оснащение аудитории	Специализированное учебное/лабораторное оборудование, ПО и материалы для освоения дисциплины (при необходимости)
Лекционная	Аудитория для проведения занятий лекционного типа, оснащенная комплектом специализированной мебели; доской (экраном) и техническими средствами мультимедиа презентаций.	
Компьютерный класс	Компьютерный класс для проведения занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, оснащенная персональными компьютерами (в количестве 14 шт.), доской (экраном) и техническими средствами мультимедиа презентаций.	
Семинарская	Аудитория для проведения занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, оснащенная комплектом специализированной мебели и техническими средствами мультимедиа презентаций.	
Для самостоятельной работы	Аудитория для самостоятельной работы обучающихся (может использоваться для проведения семинарских занятий и консультаций), оснащенная комплектом специализированной мебели и компьютерами с доступом в ЭИОС.	

\* - аудитория для самостоятельной работы обучающихся указывается **ОБЯЗАТЕЛЬНО!**

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Основная литература:

1. Власов С.А., Кульвиц А.В., Скрипников А.Н. Теория полета космических аппаратов: учебник. – СПб: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2018 – 412 с.
2. Аверкиев Н.Ф., Власов С.А., Богачев С.А., Жаткин А.Т., Кульвиц А.В. Баллистические основы проектирования ракет-носителей и спутниковых систем: учебник. – СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2017. – 300 с.
3. Баранов А.А. Маневрирование космических аппаратов в окрестности круговой орбиты. – М.: Издательство «Спутник+», 2016 – 512 с.
4. Бордовицына Т.В., Авдюшев В.А. Теория движения искусственных спутников Земли. Аналитические и численные методы: учебное пособие. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2007 – 178 с.
5. Н.М. Иванов, Л.Н. Лысенко. Баллистика и навигация космических аппаратов. — М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016 - 524 с.

### Дополнительная литература:

1. D.A. Vallado. Fundamentals of Astrodynamics and Applications. 4th ed. - USA, Hawthorne: Microcosm Press, 2013 - 1135 p. ISBN 13: 9781881883180. ISBN 10: 1881883183
2. O. Montenbruck, E. Gill. Satellite Orbits: Models, Methods and Applications. - Germany, Berlin: Springer, 2000 - 371 p. ISBN 978-3-540-67280-7
3. Ц.В. Соловьев, Е.В. Тарасов. Прогнозирование межпланетных полетов. - М: «Машиностроение», 1973 - 401 p.
4. М.Б. Балк, В.Г. Демин, А.Л. Куницын. Сборник задач по небесной механике и космодинамике. М: «Наука», 1972 - 336 с.

Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:

1. ЭБС РУДН и сторонние ЭБС, к которым студенты университета имеют доступ на основании заключенных договоров

- Электронно-библиотечная система РУДН – ЭБС РУДН <http://lib.rudn.ru/MegaPro/Web>
- ЭБС «Университетская библиотека онлайн» <http://www.biblioclub.ru>
- ЭБС Юрайт <http://www.biblio-online.ru>
- ЭБС «Консультант студента» [www.studentlibrary.ru](http://www.studentlibrary.ru)
- ЭБС «Троицкий мост»

2. Базы данных и поисковые системы

- электронный фонд правовой и нормативно-технической документации <http://docs.cntd.ru/>
- поисковая система Яндекс <https://www.yandex.ru/>
- поисковая система Google <https://www.google.ru/>
- реферативная база данных SCOPUS <http://www.elsevierscience.ru/products/scopus/>

*Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся при освоении дисциплины/модуля\*:*

1. Курс лекций по дисциплине «Space Flight Mechanics».

\* - все учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся размещаются в соответствии с действующим порядком на странице дисциплины **в ТУИС!**

**РАЗРАБОТЧИКИ**

Старший преподаватель

---

Должность

**РУКОВОДИТЕЛЬ ОП ВО**

Профессор

---

Должность

**РУКОВОДИТЕЛЬ БУП**

Заведующий кафедрой

---

Должность

Морозова Т.А.

---

Фамилия И.О

Разумный Ю.Н.

---

Фамилия И.О

Разумный Ю.Н.

---

Фамилия И.О