

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Ястребов Олег Александрович  
Должность: Ректор  
Дата подписания: 29.06.2022 15:20:57  
Уникальный программный ключ:  
ca953a0120d891083f939673078ef1a989dae18a

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

**Инженерная академия**

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

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Проектирование орбитальных маневров космических аппаратов**

(наименование дисциплины/модуля)

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

**01.04.02 «Прикладная математика и информатика»**

(код и наименование направления подготовки/специальности)

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

**Баллистическое проектирование космических комплексов и систем**

(наименование (профиль/специализация) ОП ВО)

## 1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины «Проектирование орбитальных маневров космических аппаратов» является получение представления об основных принципах, задачах и методах маневрирования космических аппаратов на орбитах.

## 2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Освоение дисциплины «Проектирование орбитальных маневров космических аппаратов» 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)
УК-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя ее базовые составляющие УК-1.2 Определяет и ранжирует информацию, требуемую для решения поставленной задачи УК-1.3 Осуществляет поиск информации для решения поставленной задачи по различным типам запросов
ОПК-2	Способен совершенствовать и реализовывать новые математические методы решения прикладных задач	ОПК-2.1 Использует результаты прикладной математики для освоения, адаптации новых методов решения задач в области профессиональных интересов ОПК-2.2 Реализует и совершенствует новые методы решения прикладных задач в области профессиональной деятельности ОПК-2.3 Проводит качественный и количественный анализ полученного решения с целью построения оптимального варианта
ОПК-3	Способен разрабатывать математические модели и проводить их анализ при решении задач в области профессиональной деятельности	ОПК-3.1 Разрабатывает математические модели в области прикладной математики и информатики ОПК-3.2 Анализирует математические модели для решения прикладных задач профессиональной деятельности ОПК-3.3 Разрабатывает и анализирует новые математические модели для решения прикладных задач профессиональной деятельности в области прикладной математики и информатики
ПК-1	Способен формулировать цели, задачи научных исследований в области прикладной математики и информатики, вычислительной техники и современных технологий программирования, выбирать методы и средства решения задач	ПК-1.1 Обладает фундаментальными знаниями, полученными в области математических и (или) естественных наук, программирования и информационных технологий ПК-1.2 Умеет находить, формулировать и решать стандартные задачи в собственной научно-исследовательской деятельности в области прикладной математики и информатики, вычислительной техники и современных технологий программирования ПК-1.3 Имеет практический опыт научно-исследовательской деятельности в области прикладной математики и информатики, вычислительной техники и современных технологий программирования

ПК-2	Способен применять современные теоретические и экспериментальные методы разработки математических моделей исследуемых объектов и процессов, относящихся к профессиональной деятельности по направлению подготовки и участвовать в их реализации в виде программных продуктов	ПК-2.1 Знает современные теоретические и экспериментальные методы разработки математических моделей, инновационные инструментальные средства проектирования и элементы архитектурных решений информационных систем ПК-2.2 Умеет разрабатывать и реализовывать алгоритмы математических моделей на базе языков и пакетов прикладных программ моделирования ПК-2.3 Имеет практический опыт разработки вариантов реализации информационных систем с использованием инновационных инструментальных средств
ПК-3	Способен участвовать в проведении научных исследований и разработке проектных решений в области баллистики, динамики и управления полетами космических аппаратов	ПК-3.1 Знает основные математические методы и современные инструментальные средства в области баллистического проектирования космических комплексов и систем ПК-3.2 Владеет базовыми знаниями по стандартам, нормам и правилами разработки проектных решений в области баллистики, динамики и управления полетами космических аппаратов ПК-3.3 Умеет применять математические методы и современные информационные технологии при проведении научных исследований и разработке проектных решений в области баллистики, динамики и управления полетами космических аппаратов

### 3. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОП ВО

Дисциплина «Проектирование орбитальных маневров космических аппаратов» относится к обязательной части блока Б1 ОП ВО.

В рамках ОП ВО обучающиеся также осваивают другие дисциплины и/или практики, способствующие достижению запланированных результатов освоения дисциплины «Проектирование орбитальных маневров космических аппаратов».

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

Шифр	Наименование компетенции	Предшествующие дисциплины/модули, практики*	Последующие дисциплины/модули, практики*
УК-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	– Прикладные задачи математического моделирования – Численные методы решения задач математического моделирования – Проектирование межпланетных траекторий космических аппаратов – Проектирование орбитальных тросовых систем – Обработка больших данных	Проектирование траекторий спуска космических аппаратов на поверхность планеты
ОПК-2	Способен	– Прикладные задачи	– Основы управления

Шифр	Наименование компетенции	Предшествующие дисциплины/модули, практики*	Последующие дисциплины/модули, практики*
	совершенствовать и реализовывать новые математические методы решения прикладных задач	математического моделирования – Численные методы решения задач математического моделирования – Проектирование межпланетных траекторий космических аппаратов – Проектирование орбитальных тросовых систем	космическим движением – Прогнозирование засоренности космического пространства
ОПК-3	Способен разрабатывать математические модели и проводить их анализ при решении задач в области профессиональной деятельности	– Прикладные задачи математического моделирования – Численные методы решения задач математического моделирования – Проектирование межпланетных траекторий космических аппаратов – Проектирование орбитальных тросовых систем	Прогнозирование засоренности космического пространства
ПК-1	Способен формулировать цели, задачи научных исследований в области прикладной математики и информатики, вычислительной техники и современных технологий программирования, выбирать методы и средства решения задач	– Проектирование межпланетных траекторий космических аппаратов – Проектирование орбитальных тросовых систем	– Основы управления космическим движением – Прогнозирование засоренности космического пространства
ПК-2	Способен применять современные теоретические и экспериментальные методы разработки математических моделей исследуемых объектов и процессов, относящихся к профессиональной деятельности по направлению подготовки и участвовать в их реализации в виде программных продуктов	Проектирование орбитальных структур спутниковых систем	– Основы управления космическим движением – Прогнозирование засоренности космического пространства – Проектирование траекторий спуска космических аппаратов на поверхность планеты
ПК-3	Способен участвовать в проведении научных исследований и	– Проектирование межпланетных траекторий космических аппаратов	– Основы управления космическим движением – Прогнозирование

Шифр	Наименование компетенции	Предшествующие дисциплины/модули, практики*	Последующие дисциплины/модули, практики*
	разработке проектных решений в области баллистики, динамики и управления полетами космических аппаратов	– Проектирование орбитальных тросовых систем – Проектирование орбитальных структур спутниковых систем	засоренности космического пространства – Проектирование траекторий спуска космических аппаратов на поверхность планеты

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

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

Общая трудоемкость дисциплины «Проектирование орбитальных маневров космических аппаратов» составляет 4 зачетных единиц.

Таблица 4.1. Виды учебной работы по периодам освоения ОП ВО для ОЧНОЙ формы обучения

Вид учебной работы	ВСЕГО, ак.ч.	Семестр(-ы)
		2
<i>Контактная работа, ак.ч.</i>	54	54
Лекции (ЛК)	18	18
Лабораторные работы (ЛР)	18	18
Практические/семинарские занятия (СЗ)	18	18
<i>Самостоятельная работа обучающихся, ак.ч.</i>	63	63
<i>Контроль (экзамен/зачет с оценкой), ак.ч.</i>	27	27
<b>Общая трудоемкость дисциплины</b>	ак.ч.	<b>144</b>
	зач.ед.	<b>4</b>

#### 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

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

Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела (темы)	Вид учебной работы*
Раздел 1. Введение. Постановка задачи. Общая схема решения.	Тема 1.1. Ознакомление с аспектами орбитального маневрирования и классификацией динамических операций космических аппаратов	ЛК
	Тема 1.2. Постановка задачи расчета параметров оптимальных маневров КА на околокруговых орбитах, необходимые условия оптимальности	ЛК
	Тема 1.3. Итерационная процедура решения задачи расчета параметров оптимальных маневров космических аппаратов.	ЛК, ЛР
Раздел 2. Маневры переходов	Тема 2.1. Метод решения задачи орбитального перехода между компланарными орбитами.	ЛК, ЛР, СЗ
	Тема 2.2. Метод решения задачи орбитального перехода между некомпланарными орбитами.	ЛК, ЛР, СЗ
	Тема 2.3. Сравнение решения задачи перехода в линеаризованной постановке с точным решением.	ЛК
Раздел 3. Маневры встречи	Тема 3.1. Метод решения задачи орбитальной встречи между компланарными орбитами.	ЛК, ЛР, СЗ
	Тема 3.2. Метод решения задачи орбитальной встречи между некомпланарными орбитами.	ЛК, ЛР, СЗ

Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела (темы)	Вид учебной работы*
	Тема 3.3. Сравнение решения задачи встречи в линеаризованной постановке с точным решением.	ЛК
Раздел 4. Численные методы решения задачи маневрирования	Тема 4.1. Анализ классических численных методов решения расчета параметров оптимальных маневров космических аппаратов.	ЛК
	Тема 4.2. Численный метод, используемый в баллистическом центре ИПМ им. М.В. Келдыша РАН для определения параметров маневров реальных КА, примеры расчётов.	ЛК, ЛР, СЗ
Раздел 5. Маневрирование с помощью двигателей, имеющих ограниченную постоянную тягу	Тема 5.1. Алгоритмы определения параметров маневров перехода между компланарными орбитами при фиксированной ориентации ДУ в орбитальной и инерциальной системах координат.	ЛК, ЛР, СЗ
	Тема 5.2. Алгоритм определения оптимальной изменяющейся ориентации ДУ.	ЛК, ЛР, СЗ
	Тема 5.3. Алгоритм расчета параметров маневров перехода между некомпланарными орбитами	ЛК, ЛР, СЗ
Раздел 6. Поддержание заданной конфигурации спутниковой системы	Тема 6.1. Численно–аналитический метод, позволяющий аналитически вычислять величины маневров, обеспечивающих гибкое поддержание необходимой конфигурации системы на всем интервале поддержания.	ЛК, ЛР, СЗ
	Тема 6.2. Метод решения задачи «жесткого» поддержания орбиты малого спутника.	ЛК, ЛР, СЗ
	Тема 6.3. Поддержание устойчивой конфигурации спутниковой группы на длительном интервале времени на примере Formation flying “Tandem”.	ЛК, ЛР, СЗ

## 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.	
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.	

Тип аудитории	Оснащение аудитории	Специализированное учебное/лабораторное оборудование, ПО и материалы для освоения дисциплины (при необходимости)
Компьютерный класс	Компьютерный класс для проведения занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, оснащенная персональными компьютерами (в количестве 12 шт.), доской (экраном) и техническими средствами мультимедиа презентаций.	General Mission Analysis Tool

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

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Основная литература:

1. Баранов А.А. Маневрирование космических аппаратов в окрестности круговой орбиты. Монография. – Москва: Издательство «Спутник+», 2016. – 512 с.
2. Баранов А.А. Методика расчета параметров маневров встречи КА с орбитальной станцией. – Препринт Института прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН, 2008, №6. – 32 с.
3. Сухой Ю.Г. Коррекции орбит геостационарных спутников: В 3-х частях. Часть 1. Особенности управления орбитальным движением и возмущения орбит геостационарных спутников: Пособие для специалистов. Монография. – Москва: Издательство «Спутник+», 2011. – 120 с.

### Дополнительная литература:

1. Баранов А.А., Разумный В.Ю., Баранов А.А. Формирование и поддержание орбит МКА с помощью двигателей малой тяги. – Препринт Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, 2010. – № 52. – 32 с.
2. Баранов А.А. О геометрическом решении задачи импульсного многовиткового перехода между близкими околосферическими компланарными орбитами. – Препринт Института прикладной математики им. М. В. Келдыша АН СССР, 1985, №64. – 27 с.
3. Охоцимский Д.Е., Сихарулидзе Ю.Г. Основы механики космического полета. Учебное пособие. – Москва: Наука, 1990. – 448 с.
4. Лоуден Д.Ф. (Lawden D.F.) Оптимальные траектории для космической навигации. – Москва: Мир, 1966. – 152 с.
5. Чернов А.А., Чернявский Г.М. Орбиты спутников дистанционного зондирования Земли: Лекции и упражнения. – Москва: Радио и связь, 2004. – 200 с.
6. Алексеев К.Б., Бебенин Г.Г., Ярошевский В.А. Маневрирование космических аппаратов. – Москва: Машиностроение, 1970. – 232 с.
7. Эльясберг П. Е. Введение в теорию полета искусственных спутников Земли. – Москва: Наука, 1965. – 540 с.
8. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование. – Москва: Мир, 1975. – 534 с.
9. Херрик С. Астродинамика. – Москва: Мир, 1978. – 359с.
10. Сихарулидзе Ю.Г. Баллистика летательных аппаратов. – Москва: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1982. – 352 с.
11. Решетнев М.Ф., Лебедев А.А., Бартенев В.А., Красильщиков М.Н., Малышев В.А., Малышев В.А., Управление и навигация искусственных спутников Земли на околосферических орбитах. – Москва: Машиностроение, 1988. 336с.
12. Соловьёв Ц.В., Тарасов Е.В. Прогнозирование межпланетных полетов. – Москва: Машиностроение, 1973. – 400 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 «Лань» <http://e.lanbook.com/>  
 - ЭБС «Троицкий мост»

2. Базы данных и поисковые системы:

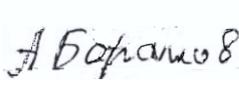
- электронный фонд правовой и нормативно-технической документации  
<http://docs.cntd.ru/>  
 - поисковая система Яндекс <https://www.yandex.ru/>  
 - поисковая система Google <https://www.google.ru/>  
 - реферативная база данных SCOPUS <http://www.elsevierscience.ru/products/scopus/>

## **8. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СИСТЕМА ОЦЕНИВАНИЯ УРОВНЯ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Оценочные материалы и балльно-рейтинговая система\* оценивания уровня сформированности компетенций (части компетенций) по итогам освоения дисциплины «Проектирование орбитальных маневров космических аппаратов» представлены в Приложении к настоящей Рабочей программе дисциплины.

\* - ОМ и БРС формируются на основании требований соответствующего локального нормативного акта РУДН.

### **РАЗРАБОТЧИКИ:**

<b>Профессор ДМПУ</b>		<b>Баранов А.А.</b>
Должность, БУП	Подпись	Фамилия И.О.
<b>РУКОВОДИТЕЛЬ БУП: ДМПУ</b>		<b>Разумный Ю.Н.</b>
Наименование БУП	Подпись	Фамилия И.О.
<b>РУКОВОДИТЕЛЬ ОП ВО: Профессор ДМПУ</b>		<b>Разумный Ю.Н.</b>
Должность, БУП	Подпись	Фамилия И.О.