

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

Инженерная академия  
*(факультет/институт/академия)*

Рекомендовано МССН

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Наименование дисциплины**

Современные методы механики космического полета

**Рекомендуется для направления подготовки/специальности**

01.04.02 Прикладная математика и информатика  
*(указываются код и наименование направления подготовки/специальности)*

**Направленность программы (профиль)**

Баллистическое проектирование космических комплексов и систем  
*(наименование образовательной программы в соответствии с направленностью (профилем))*

### 1. Цели и задачи дисциплины:

Целью освоения дисциплины «Современные методы механики космического полета» является получение знаний, умений, навыков и опыта деятельности в области проектирования космических спутниковых систем различного назначения, маневрирования космических аппаратов на орбите, методов их расчета и оптимизации, характеризующих этапы формирования компетенций и обеспечивающих достижение планируемых результатов освоения образовательной программы.

Изучение дисциплины «Современные методы механики космического полета» предусматривает приобретение практических навыков при решении проектных задач формирования и расчета движения космических аппаратов, орбитальных структур различного назначения, решение конкретных инженерных задач, связанных с выводением, маневрированием на орбите, применение методов математического моделирования в решении поставленных задач с использованием современных компьютерных средств.

### 2. Место дисциплины в структуре ОП ВО:

Дисциплина «Современные методы механики космического полета» относится к вариативной части блока 1 учебного плана.

В таблице № 1 приведены предшествующие и последующие дисциплины, направленные на формирование компетенций дисциплины в соответствии с матрицей компетенций ОП ВО.

Таблица № 1

#### Предшествующие и последующие дисциплины, направленные на формирование компетенций

№ п/п	Шифр и наименование компетенции	Предшествующие дисциплины	Последующие дисциплины (группы дисциплин)
<b>Универсальные компетенции</b>			
1.	УК-7. Способен искать нужные источники информации и данные, воспринимать, анализировать, запоминать и передавать информацию с использованием цифровых средств, а также с помощью алгоритмов при работе с полученными из различных		Технологическая практика Преддипломная практика Государственный экзамен Выпускная квалификационная работа
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>			
2.	ОПК-1. Способен решать актуальные задачи фундаментальной и прикладной математики		Технологическая практика Преддипломная практика Государственный экзамен Выпускная квалификационная работа
3.	ОПК-3. Способен разрабатывать математические модели и проводить их анализ при решении задач в области профессиональной деятельности		Технологическая практика Преддипломная практика Государственный экзамен Выпускная квалификационная работа
<b>Профессиональные компетенции (вид профессиональной деятельности )</b>			
4.	ПК-3 Способен проводить работы и исследования по обработке и анализу научно-технической информации в области применения математических методов и информационных технологий		Технологическая практика Преддипломная практика Государственный экзамен Выпускная квалификационная работа

	баллистического проектирования и применения космических систем ДЗЗ		
Профессионально-специализированные компетенции специализации			

### 3. Требования к результатам освоения дисциплины:

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

УК-7.1; УК-7.2; УК-7.3; ОПК-1.1; ОПК-1.2; ОПК-1.3; ОПК-3.1; ОПК-3.2; ОПК-3.3; ПК-3.1; ПК-3.2; ПК-3.3.

(указываются в соответствии с ОС ВО РУДН)

В результате изучения дисциплины студент должен:

**Знать:** знает принципы применения цифровых технологий для сбора, отбора и обобщения информации; анализирует проблемы в области фундаментальной и прикладной математики; разрабатывает математические модели в области прикладной математики и информатики; знает основные понятия в области применения математических методов и информационных технологий баллистического проектирования и применения космических систем ДЗЗ, методы системного анализа.

**Уметь:** умеет применять цифровые технологии для поиска, обработки, анализа, хранения и представления информации в области прикладной математики и информатики; формулирует задачи исследования; анализирует математические модели для решения прикладных задач профессиональной деятельности; умеет решать задачи аналитического характера, предлагающих выбор многообразия актуальных способов решения задач, умеет использовать пакеты программного обеспечения геоинформационных систем.

**Владеть:** владеет навыками применения цифровых технологий и методов поиска, обработки, анализа, хранения и представления информации в области прикладной математики и информатики; решает актуальные задачи фундаментальной и прикладной математики; разрабатывает и анализирует новые математические модели для решения прикладных задач профессиональной деятельности в области прикладной математики и информатики; владеет навыками использования математических методов обработки информации, полученной в результате экспериментальных исследований или производственной деятельности, основными методами анализа автоматизированных и автоматических систем управления.

### 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 15 зачетных единиц.

Вид учебной работы	Всего часов	Модуль					
		1	2	3	4	5	6
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	204	36	32	36	32	36	32
В том числе:	–	–	–	–	–	–	–
<i>Лекции</i>	102	18	16	18	16	18	16
<i>Практические занятия (ПЗ)</i>	51	9	8	9	8	9	8
<i>Семинары (С)</i>	–	–	–	–	–	–	–
<i>Лабораторные работы (ЛР)</i>	51	9	8	9	8	9	8
<b>Самостоятельная работа (всего)</b>	336	36	76	72	40	36	76
Общая трудоемкость, час	540	72	108	108	72	72	108
Общая трудоемкость, зач. ед.	15	2	3	3	2	2	3

## 5. Содержание дисциплины

### 5.1. Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела (темы)
1.	Методы оптимизации орбитальных структур спутниковых систем	<p>1. Общие принципы проектирования спутниковых систем. Способы построения систем глобального непрерывного обзора районов Земли. Баллистическое проектирование систем зонального непрерывного обзора поверхности Земли.</p> <p>2. Определение времени разрыва в наблюдении одной фронтальной группой всей поверхности Земли. Способы построения спутниковых систем периодического обзора поверхности Земли. Построение баллистических структур систем обзора всей поверхности Земли с малыми разрывами в наблюдении. Построение систем периодического обзора района на поверхности Земли. Баллистическое проектирование вероятностных систем космических аппаратов.</p> <p>3. Системы космических аппаратов связи. Спутниковые радионавигационные системы. Особенности построения метеорологических спутниковых систем. Построение систем обзора космического пространства. Баллистическое проектирование систем с использованием баллистически связанных групп космических аппаратов.</p> <p>4. Космические тросовые системы. Орбитальное функционирование связанных космических объектов. Сближение в космосе с использованием тросовых систем. Метод формирования оптимальных режимов управляемого движения тросовых систем при решении практических задач.</p>
2.	Численно-аналитические методы оптимизации орбитальных маневров	<p>1. Уравнения движения космических аппаратов в отклонениях от движения по опорной круговой орбите. Одноимпульсные маневры. Изменение формы орбиты в результате приложения импульса скорости. Оценка величины маневров, выбор начального отклонения вдоль орбиты при старте космического аппарата. Необходимые условия оптимальности. Основные типы задач оптимального маневрирования космических аппаратов.</p> <p>2. Оптимальное маневрирование в проблеме космического мусора. Маневры уклонения космического аппарата от столкновения с космическим мусором. Оценка маневров, выполненных активным космическим объектом.</p> <p>3. Оптимальное маневрирование в задаче космического обслуживания. Планирование оптимального обслуживания группировки космических аппаратов, находящихся на некомпланарных орбитах. Оценка маневров, выполняемых активным космическим аппаратами, при переводе в окрестность обслуживаемых объектов.</p>
3.	Методы расчета возмущенного движения космических аппаратов в силовом поле нескольких небесных тел	<p>1. Задача двух тел. Эмпирические законы Кеплера. Первые интегралы задачи Кеплера. Фазовый портрет. Оскулирующие элементы. Уравнения возмущенного движения в оккупирующих элементах.</p> <p>2. Задача трех тел. Ограниченная круговая задача трех тел. Устойчивость точек либрации. Области Хилла. Задача</p>

		Ситникова. Гравитационный потенциал Земли. Задача Эйлера о двух неподвижных притягивающих центрах. Обобщенная задача двух неподвижных центров. 3. Задача N тел. Устойчивость Солнечной системы. Теорема Лапласа. КАМ теория. Исследования Жака Ласкара. 4. Движение твердого тела в центральном гравитационном поле. Спутниковое приближение. Ограниченная постановка задачи о движении спутника. Относительные равновесия. Задача о Леонове и заглушке. 5. Влияние светового давления на движение космического аппарата. Солнечный парус.
--	--	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

(Содержание указывается в дидактических единицах. По усмотрению разработчиков материал может излагаться не в форме таблицы)

### 5.2. Разделы дисциплин и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лек.	Прак. зан.	Лаб. зан.	Семина.	СРС	Всего час.
1.	Методы оптимизации орбитальных структур спутниковых систем	34	17	17	–	112	180
2.	Численно-аналитические методы оптимизации орбитальных маневров	34	17	17	–	112	180
3.	Методы расчета возмущенного движения космических аппаратов в силовом поле нескольких небесных тел	34	17	17	–	112	180

### 6. Лабораторный практикум (при наличии)

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость (час.)
1.	Методы оптимизации орбитальных структур спутниковых систем	Расчет и анализ трассы полета космического аппарата и определение времени прохождения через заданный район Земли	9
		Расчет и анализ систем космических аппаратов различного целевого назначения	8
2.	Численно-аналитические методы оптимизации орбитальных маневров	Выявление и анализ опасного сближения защищаемого космического аппарата с объектом космического мусора	9
		Анализ функционирования космической обслуживающей системы на основе оптимизации межорбитальных переходов по критерию минимума энергозатрат	8
3.	Методы расчета возмущенного движения космических аппаратов в силовом поле нескольких небесных тел	Фазовый портрет приведенной задачи Кеплера для различных значений параметров	9
		Построение областей Хилла	8

### 7. Практические занятия (семинары) (при наличии)

№ п/п	№ раздела дисциплины	Тематика практических занятий (семинаров)	Трудоемкость (час.)
1.	Методы оптимизации орбитальных структур спутниковых систем	Определение характеристик землеобзора	5
		Построение систем космических аппаратов глобального непрерывного обзора	4
		Расчёт систем зонального непрерывного обзора	4
		Построение систем периодического обзора поверхности Земли	4
2.	Численно-аналитические методы оптимизации орбитальных маневров	Расчет оптимальных маневров переходов между компланарными и некомпланарными орбитами	4
		Определение оптимальных маневров встречи между компланарными и некомпланарными орбитами	7
		Расчет одноимпульсных маневров уклонения	3
		Оценка параметров маневров большой продолжительности	3
3.	Методы расчета возмущенного движения космических аппаратов в силовом поле нескольких небесных тел	Анализ типов орбит в задаче двух тел. Уравнения движения в оскулирующих элементах	4
		Неинерциальная система отсчета. Силы инерции. Точки либрации в ограниченной круговой задаче трех тел. Устойчивость точек либрации	4
		Момент инерции системы. Теорема Эйлера. Тензор инерции. Устойчивость вращений твердого тела относительно главных осей	4
		Динамика твердого тела. Оси Кенига. Поступательно-вращательное движение	5

#### **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины:**

*(описывается материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)).*

Аудиторная и самостоятельная работа обучающихся должна обеспечиваться учебными помещениями, техническими и электронными средствами обучения, в состав которых входят:

1. Учебные аудитории.
2. ПЭВМ.
3. Мультимедийные проекторы.
4. Интерактивная доска.

#### Технические средства обучения

№ п/п	Аудитория	Учебно-лабораторное оборудование, технические и электронные средства обучения и контроля
1.	553 (ул. Орджоникидзе, д.3)	Аудитория на 30 рабочих мест для проведения лекционных и групповых занятий
2.	207 (ул. Орджоникидзе, д.3)	Компьютерная аудитория на 25 рабочих мест с ПЭВМ, специализированным программным обеспечением, для проведения лабораторных работ и практических занятий
3.	Учебный центр управления полетами (ул. Миклухо-Маклая, д. 6)	Специализированная аудитория на 30 рабочих мест с ПЭВМ для проведения лабораторных работ и практических занятий

## **9. Информационное обеспечение дисциплины**

*(указывается перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости))*

а) программное обеспечение:

- программное обеспечение общего анализа космических миссий GMAT;
- библиотека низкоуровневой пространственной динамики Orekit;
- программа моделирования и информационного обеспечения полетов (МИОП);
- средства разработки программного обеспечения Python, C++ и др.

б) базы данных, информационно-справочные 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/>.

## **10. Учебно-методическое обеспечение дисциплины:**

*(указывается наличие печатных и электронных образовательных и информационных ресурсов)*

а) основная литература:

- 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.
- Баранов А.А. Маневрирование космических аппаратов в окрестности круговой орбиты. – М.: Издательство «Спутник+», 2016. – 512 с.
- 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.
- Белецкий В.В. Очерки о движении космических тел. Выпуск №4. – М.: Издательская группа URSS, 2017. – 432 с.

б) дополнительная литература:

- Власов С.А., Кульвиц А.В., Скрипников А.Н. Теория полета космических аппаратов: учебник. – СПб: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2018. – 412 с.
- Иванов Н.М., Лысенко Л.Н. Баллистика и навигация космических аппаратов: учебник. 3-е издание. – М.: Дрофа, 2016. – 528 с.
- Сазонов В.В., Барбашова Т.Ф. Лекции по механике космического полета. Специальный курс. – М.: Изд-во МГУ, 2018. – 152 с.
- Машиностроение. Энциклопедия. Ред совет: К.В. Фролов (пред.) и др. -М.: Машиностроение. Ракетно-космическая техника. Т. IV-22 / А.П. Аджян, Э.Л. Аким, О.М. Алифанов и др.; отв. ред. В.П. Легостаев, редакторы Э.А. Аким, Ю.П. О.М. Алифанов, В.В. Вахниченко, Г.Н. Заславский, А.А. Дядькин, В.В. Ивашкин, Б.И. Каторгин, Ю.Н. Разумный, Ю.П. Улыбышев, Кн. 1. 2012. Раздел 2.5. Спутниковые системы. С. 180-224.
- Разумный Ю.Н., Школьников Д.О. Основные интегралы невозмущенного движения и уравнение Кеплера: учебное пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 38 с.

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

*(включает в себя методические указания по организации и выполнению СРС при изучении дисциплины, определяет требования и условия выполнения заданий)*

Основой учебной работы обучающихся является совершенствование теоретических знаний и практических навыков посредством активного участия в проведении лекций, практических занятий, лабораторных работ, а также целенаправленной самостоятельной работы.

Самостоятельная работа по изучению дисциплины является не только обязательной частью учебного процесса, но и её основным содержанием.

Самостоятельная работа по изучению дисциплины включает:

- повторение материала лекций и его редактирование с использованием цветных маркеров и карандашей;
- повторение материала практических занятий;
- восстановление конспектов пропущенных занятий;
- обсуждение с обучающимися группы полученных знаний;
- чтение и конспектирование учебной литературы;
- чтение и конспектирование конструкторской и эксплуатационной литературы;
- чтение периодической технической и научной литературы по теме дисциплины;
- чтение и конспектирование научно-технической литературы;
- чтение и конспектирование нормативно-технической литературы и руководящих документов;
- решение практических задач, выданных на практических занятиях;
- консультации у преподавателей департамента;
- подготовку к зачету.

На практических занятиях обучающиеся разрабатывают письменный отчёт в соответствии с заданиями на занятие.

Успешное освоение материала практических занятий по дисциплине предполагает повторение материалов лекций.

Самостоятельную работу обучающихся при подготовке к практическим занятиям необходимо нацелить на углубленное изучение учебной литературы по изучаемой дисциплине, проработку конспекта, а также изучение других современных источников информации.

Подготовка обучающихся к практическим занятиям осуществляется на основе задания, выданного на завершающей лекции по теме практического занятия. Задания и контрольные вопросы выдаются заблаговременно в комплекте раздаточного материала.

Практические занятия обеспечивают приобретение навыков и умений при расчёте, анализе и составлении алгоритмов и программ определения параметров движения и управления космическими аппаратами, проектировании спутниковых систем различного назначения и прогнозирования движения космических аппаратов.

## **12. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)**

В соответствии с требованиями ОС ВО РУДН для аттестации обучающихся на соответствие их персональных достижений планируемым результатам обучения по дисциплине созданы фонды оценочных средств (ФОС представлен в Приложении 1).

Преподаватель имеет право изменять количество и содержание заданий, выдаваемых обучающимся (обучающемуся), исходя из контингента (уровня подготовленности).

Рабочая программа дисциплины «Современные методы механики космического полета» составлена в соответствии с требованиями ОС ВО РУДН по направлению 01.04.02 Прикладная математика и информатика (уровень магистр), утвержденного Ученым советом РУДН протокол №10 от 17.05.2021.



## Разработчики:

---

должность, название кафедры

---

подпись

---

инициалы, фамилия

---

должность, название кафедры

---

подпись

---

инициалы, фамилия

## Руководитель программы

---

должность, название кафедры

---

подпись

---

инициалы, фамилия

## Директор департамента

---

название кафедры

---

подпись

---

инициалы, фамилия