

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

**УТВЕРЖДЕНО**  
**Директор физтех-школы**  
**аэрокосмических технологий**  
**С.С. Негодяев**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Проектирование оптимальных систем управления угловым движением КА
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Космические технологии Физтех-школа Аэрокосмических Технологий кафедра аэрофизической механики и управления движением
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 15 час.

семинары: 15 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: С.Е. Бекшанов, ассистент

Программа обсуждена на заседании кафедре аэрофизической механики и управления движением 06.04.2020

## Аннотация

Изучение учебной дисциплины направлено на углубление и расширение базовой профессиональной подготовки магистранта, формирование соответствующих компетенций.

В учебной дисциплине рассматриваются основные теоретические понятия, концепции и подходы, используемые в проектировании оптимальных систем управления угловым движением космических аппаратов. Студенты знакомятся со специализированным математическим аппаратом, используемым в области разработки и эксплуатации систем управления движением и навигации космических аппаратов.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

- формирование базовых знаний по проектированию оптимальных систем управления угловым движением космических аппаратов (включая знакомство со специализированным математическим аппаратом) для использования в области разработки и эксплуатации систем управления движением и навигации космических аппаратов.

#### Задачи дисциплины

- дать студентам базовые знания в области проектирование оптимальных систем управления угловым движением космических аппаратов;
- развить навыки постановки, анализа и решения задач по проектирование оптимальных систем управления угловым движением космических аппаратов.

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
УК-2 Способен управлять проектом на всех этапах его реализации	УК-2.1 Формулирует в рамках обозначенной проблемы, цель, задачи, актуальность, значимость (научную, практическую, методическую и иную в зависимости от типа проекта), ожидаемые результаты и возможные сферы их применения
	УК-2.3 Способен организовать и координировать работу участников проекта, обеспечивать работу команды необходимыми ресурсами
	УК-2.4 Представляет публично результаты проекта (или отдельных его этапов) в форме отчетов, статей, выступлений на научно-практических конференциях, семинарах и т.п.
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в составе научного коллектива

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

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

- структуру СУДН;
- общую классификацию исполнительных органов СУДН;
- динамические уравнения движения КА;
- математическую постановку кинематической задачи оптимального управления;
- математическую постановку динамической задачи оптимального управления.

уметь:

- видеть физическое содержание в задачах по оптимальным разворотам;
- использовать информационные технологии и компьютерную технику для решения задач;
- использовать методы математического анализа для решения задач.

владеть:

- культурой математической постановки задач, связанных с оптимальными разворотами;
- навыками самостоятельной работы;
- навыками работы с научной литературой по оптимальным разворотам.

#### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

##### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Динамическая задача управления ориентацией КА	2	2		6
2	Классификация исполнительных органов (ИО)	2	2		4
3	Общая постановка задачи оптимального управления КА	2	2		4
4	Кинематическая задача оптимального управления	2	2		4
5	Оптимальное управление угловой скоростью	2	2		4
6	Управление ориентацией КА с использованием реактивных двигателей	2	2		4
7	Управление ориентацией КА с использованием инерционных исполнительных органов	3	3		4
Итого часов		15	15		30
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

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

Семестр: 2 (Весенний)

###### 1. Динамическая задача управления ориентацией КА

Общая формулировка задачи управления динамическими системами. Обзор математических методов анализа и проектирования СУД. Вывод динамических уравнений углового движения КА, содержащего вращающиеся массы. Различные формы записи динамических уравнений.

## 2. Классификация исполнительных органов (ИО)

Реактивные, инерционные, магнитные, гравитационные исполнительные органы. Принципы работы и основные характеристики.

## 3. Общая постановка задачи оптимального управления КА

Обзор критериев качества, применяемых для различных ИО. Структурная схема динамического контура стабилизации ДК. Декомпозиция общей задачи оптимального управления на три подзадачи: кинематическую задачу оптимального управления, задачу оптимальной стабилизации КА по скорости, оптимальное управление системой ИО.

## 4. Кинематическая задача оптимального управления

Общее решение кинематической задачи оптимального управления методом максимума Понтрягина. Обзор аналитических решений оптимального управления относительно инерциальной системы координат для частных случаев. Решение кинематической задачи оптимального управления во вращающейся системе координат.

## 5. Оптимальное управление угловой скоростью

Различные постановки и методы решения задачи оптимальной стабилизации. Задача оптимального управления по быстродействию. Задача оптимального управления по расходу рабочего тела.

## 6. Управление ориентацией КА с использованием реактивных двигателей

Общая постановка задачи оптимального управления КА с использованием реактивных двигателей. Оптимальное управление по вектору кинетического момента. Вычисление потребного управляющего момента. Задача оптимального слежения за программной скоростью КА. Оптимальное управление N-мерной системой реактивных двигателей. Метод динамического программирования. Приближённые методы оптимального управления по квадратичному критерию. Управление в малом. Метод фазовой плоскости.

## 7. Управление ориентацией КА с использованием инерционных исполнительных органов

Математические модели ИИО (одностепенных ИО - маховиков и двухстепенных ИО - гиридинов). Применение аналитических решений кинематической задачи при управлении на ИИО (квазиоптимальное управление). Оптимальное управление N-мерной системой одностепенных ИО. Управление в малом. Исследование системы на устойчивость и управляемость.

## 5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

учебная аудитория, оснащенная мультимедиапроектором и экраном.

## 6. Перечень рекомендуемой литературы

### Основная литература

1. Введение в теорию бесплатформенных инерциальных навигационных систем [Текст]/В. Н. Бранец, И. П. Шмыглевский, -М., Наука, 1992
2. Математическая теория оптимальных процессов [Текст]/Л. С. Понтрягин [и др.], -М., Наука, 1983
3. Применение кватернионов в задачах ориентации твердого тела [Текст]/В. Н. Бранец, И. П. Шмыглевский, -М., Наука, 1973

#### Дополнительная литература

1. Введение в оптимальное управление: линейная теория [Текст] / В. И. Благодатских ; под ред. В. А. Садовниченко - М. Высшая школа, 2001
2. Оптимальное управление [Текст] / М. Атанс, П. Фалб, - М., Машиностроение, 1968
3. Прикладная теория оптимального управления. Оптимизация, оценка и управление [Текст] / А. Брайсон, Хо Ю-Ши, пер. с англ. Э. М. Макашова, Ю. П. Плотникова под ред. А. М. Летова, - М., Мир, 1972
4. Управление ориентацией космических аппаратов [Текст] / Б. В. Раушенбах, Е. Н. Токарь, - М., Наука, 1974

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

Не используются

#### **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

пакеты офисного программного обеспечения Microsoft Office (Word, Excel, PowerPoint), OpenOffice.

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

Успешное освоение предмета требует систематических занятий и самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- изучение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала (по конспектам);
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к тестам и опросам.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в результате анализа итогов тестов и опросов по рассмотренным темам.

Критерием качества владения материалом служит умение отвечать на вопросы по теме курса.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

**по направлению:** Прикладные математика и физика  
**профиль подготовки:** Космические технологии  
Физтех-школа Аэрокосмических Технологий  
кафедра аэрофизической механики и управления движением  
**курс:** 1  
**квалификация:** магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен

**Разработчик:** С.Е. Бекшанов, ассистент

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
УК-2 Способен управлять проектом на всех этапах его реализации	УК-2.1 Формулирует в рамках обозначенной проблемы, цель, задачи, актуальность, значимость (научную, практическую, методическую и иную в зависимости от типа проекта), ожидаемые результаты и возможные сферы их применения
	УК-2.3 Способен организовать и координировать работу участников проекта, обеспечивать работу команды необходимыми ресурсами
	УК-2.4 Представляет публично результаты проекта (или отдельных его этапов) в форме отчетов, статей, выступлений на научно-практических конференциях, семинарах и т.п.
ОПК-3 Способен выбирать и (или) разрабатывать подходы к решению типовых и новых задач в области профессиональной деятельности, учитывая особенности и ограничения различных методов решения	ОПК-3.2 Способен использовать исследовательские методы при решении новых задач, применяя знания в различных областях науки (техники)
ПК-2 Способен самостоятельно или в качестве члена (руководителя) малого коллектива организовывать и проводить научные исследования и их апробацию	ПК-2.1 Способен планировать и проводить научные исследования самостоятельно или в составе научного коллектива

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Проектирование оптимальных систем управления угловым движением КА» обучающийся должен:

### знать:

- структуру СУДН;
- общую классификацию исполнительных органов СУДН;
- динамические уравнения движения КА;
- математическую постановку кинематической задачи оптимального управления;
- математическую постановку динамической задачи оптимального управления.

### уметь:

- видеть физическое содержание в задачах по оптимальным разворотам;
- использовать информационные технологии и компьютерную технику для решения задач;
- использовать методы математического анализа для решения задач.

### владеть:

- культурой математической постановки задач, связанных с оптимальными разворотами;
- навыками самостоятельной работы;
- навыками работы с научной литературой по оптимальным разворотам.

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

Текущий контроль осуществляется в форме устного опроса на лекциях.

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

Перечень вопросов:

1. вывод динамических уравнений углового движения КА, содержащего вращающиеся массы. Различные формы записи динамических уравнений
2. классификация исполнительных органов, принципы работы и основные характеристики
3. структурная схема динамического контура стабилизации
4. общее решение кинематической задачи оптимального управления методом максимума Понтрягина
5. обзор аналитических решений кинематически оптимального управления относительно инерциальной системы координат для частных случаев
6. задача оптимального по быстродействию управления угловой скоростью
7. задача оптимального по расходу рабочего тела управления угловой скоростью
8. общая постановка задачи оптимального управления КА с использованием реактивных двигателей, подходы к решению
9. математические модели ИИО (одностепенных ИО - маховиков и двухстепенных ИО - гироскопов)
10. применение аналитических решений кинематической задачи при управлении на ИИО (квазиоптимальное управление)
11. оптимальное управление N-мерной системой одностепенных ИО
12. управление в малом, исследование системы на устойчивость и управляемость

Примеры билетов:

№ 1

1. Вывод динамических уравнений углового движения КА, содержащего вращающиеся массы. Различные формы записи динамических уравнений
2. Задача оптимального по быстродействию управления угловой скоростью

№ 2

1. Структурная схема динамического контура стабилизации
2. Общая постановка задачи оптимального управления КА с использованием реактивных двигателей, подходы к решению

#### Критерии оценивания

Студенту предлагается ответить на 2 вопроса, за каждый из которых выставляется от 0 до 5 баллов.

За ответ на каждый вопрос студент получает

- 5 баллов: ставится за полный, правильный и четкий ответ на вопрос
- 4 балла: ставится за полный и правильный ответ на вопрос. Допускаются отдельные нечёткости формулировок, опечатки в выписанных формулах, подсказки экзаменатора о необходимости поправить или дополнить ответ
- 3 балла: ставится за ответ на вопрос, содержащий ошибки или пропуски, но не содержащий грубых ошибок и существенных пропусков
- 2 балла: ставится за ответ на вопрос, содержащий грубую ошибку при ответе или при отсутствии ответа на одну из составляющих вопроса
- 1 балл: ставится за ответ на вопрос, содержащий грубые ошибки или пропуски при наличии в целом приемлемого ответа на хотя бы одну из составляющих вопроса
- 0 баллов: ставится за ошибочные или отсутствующие ответы на все составляющие вопроса

Итоговая оценка вычисляется как сумма баллов по каждому вопросу. Студенты, систематически посещавшие семинары и добросовестно выполнявшие задания, имеют преимущество в виде дополнительных 1-3 баллов к набранной сумме.

#### **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**



При проведении экзамена студенту предоставляется 1 час на подготовку. Во время проведения экзамена студент не может пользоваться конспектами и любой другой литературой.