

**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 систем управления движением и навигации
<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

Семестры, формы промежуточной аттестации:

1 (осенний) - Зачет  
2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 105 всего, в том числе:

лекции: 45 час.  
семинары: 60 час.  
лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 90 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 225, всего зач. ед.: 5

Программу составил: В.Н. Платонов, д-р техн. наук, доцент

Программа обсуждена на заседании кафедре аэрофизической механики и управления движением 06.04.2020

## Аннотация

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

В учебной дисциплине рассматриваются основные теоретические понятия, концепции и подходы в области проектирования систем управления движением и навигации космических аппаратов, включая определение состава приборов и исполнительных органов систем управления движением, разработку алгоритмов управления движением, разработку программного обеспечения систем управления движением. Студенты изучают принципы работы инерционных исполнительных органов космических аппаратов (маховиков, силовых гироскопов, гиросtabilизаторов) и алгоритмы управления ими, а также рассматривают на конкретных примерах современные системы управления движением автоматических космических аппаратов, транспортных космических кораблей и орбитальных станций (включая алгоритмы управления ориентацией и программное обеспечение систем управления и навигации).

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

- формирование базовых знаний по основам проектирования систем управления движением и навигации космических аппаратов, включая определение состава приборов и исполнительных органов систем управления движением, разработку алгоритмов управления движением, разработку программного обеспечения систем управления движением.

#### Задачи дисциплины

- дать студентам базовые знания в области кинематики и динамики движения космических аппаратов, теории оптимального управления движением;
- изучить принципы работы инерционных исполнительных органов космических аппаратов (маховиков, силовых гироскопов, гиросtabilизаторов) и алгоритмы управления ими;
- рассмотреть на конкретных примерах современные системы управления движением автоматических космических аппаратов, транспортных космических кораблей и орбитальных станций (включая алгоритмы управления ориентацией и программное обеспечение систем управления и навигации).

### 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-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
ПК-3 Способен профессионально работать с	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)

исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)
	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

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

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- принципы построения, состав и структуру систем управления движением и навигации (СУДН);
- построение режимов и программного обеспечения СУДН;
- алгоритмы управления инерционными исполнительными органами (ИИО);
- способы разгрузки накопленного кинетического момента ИИО;
- методы, используемые при построении алгоритмов управления ориентацией КА;
- часто используемые формулы, связанные с кинематикой и динамикой движения КА.

уметь:

- использовать методы теории оптимального управления;
- определять тип и параметры ИИО для конкретных СУДН;
- применять новые теоретические подходы в решении задач управления движением;
- формировать динамические модели описывающих контур управления ориентацией;
- разрабатывать последовательности операций составляющих режимы СУДН.

владеть:

- навыками самостоятельной работы;
- культурой математической постановки задач, связанных с управлением движением КА;
- базовыми навыками работы с кватернионами;
- навыками критического и конструктивного анализа информации, присутствующего в научных публикациях.

### 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	Принципы построения СУДН	10	8		15
2	Инерционные исполнительные органы и управление ими	10	8		15
3	Способы разгрузки накопленного кинетического момента ИИО	10	8		15
4	Оптимальное управление движением	15	6		15
5	Управление ориентацией КА		8		6
6	Управление движением центра масс КА		6		8
7	Системы управления движением и навигацией современных КА		10		8
8	Обеспечение условий для работы целевой аппаратуры на борту КА		6		8
Итого часов		45	60		90
Подготовка к экзамену		30 час.			

Общая трудоёмкость	225 час., 5 зач.ед.
--------------------	---------------------

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

Семестр: 1 (Осенний)

##### 1. Принципы построения СУДН

Задачи систем управления движением и навигации (СУДН). Принцип построения СУДН. Бесплатформенная инерциальная навигационная система (БИНС). Состав и структура СУДН. Кинематический, динамический и навигационный контуры СУДН. Датчиковая аппаратура и исполнительные органы СУДН.

Базовые системы координат. Кинематические уравнения с использованием формализма кватернионов. Динамические уравнения. Моменты гравитационных сил, аэродинамических сил, сил светового давления, моменты от взаимодействия магнитных полей КА с магнитным полем Земли.

Основные режимы СУДН. Программное обеспечение СУДН. Структура программного обеспечения, уровни компонентов ПО. Уровни автоматического контроля работы СУДН. Стадии отработки ПО СУДН.

##### 2. Инерционные исполнительные органы и управление ими

Типы инерционных исполнительных органов. Отличия в принципе действия силовых гироскопов (СГ) и маховиков. Уравнения движения маховиков. Структура и характеристики электродвигателей маховиков. Схемы установки маховиков. Законы управления маховиками.

Двухстепенные силовые гироскопы (гиродины). Особые точки систем гиродинов. Проходимые и непроходимые особые точки. Методы нахождения особых точек и определения их проходимости.

Схемы расположения гиродинов. Структура области вариации кинетического момента и особых поверхностей гиросистем. Критерии выбора схем установки гиродинов на КА. Схемы установки гиродинов орбитальной станции «Мир» и астрофизического модуля «Гамма». Законы управления скоростями прецессии системы гиродинов орбитальной станции «Мир».

Трехстепенные силовые гироскопы. Силовые гироскопы орбитальных станций «Skylab» и МКС. Закон управления угловыми скоростями подвесов трехстепенных силовых гироскопов американского сегмента МКС.

Метод связывания кинетического момента с корпусом космического аппарата. Система ориентации с силовым гиросtabilизатором в упруго-вязком подвесе. Длительное поддержание ориентации геостационарного спутника без использования информации с датчиков внешней информации и инерциальных датчиков.

##### 3. Способы разгрузки накопленного кинетического момента ИИО

Способы разгрузки накопленного кинетического момента ИИО КА. Гравитационная разгрузка накопленного кинетического момента системы гиродинов орбитальной станции «Мир». Способы гравитационной разгрузки относительно инерциальной и орбитальной систем координат.

Режим равновесной ориентации МКС.

Разгрузка накопленного кинетического момента системы ИИО с использованием моментов сил светового давления применительно к СУДН КА серии «Ямал».

Разгрузка накопленного кинетического момента системы ИИО с использованием моментов, создаваемых магнитным полем применительно к СУДН КА ДЗЗ.

##### 4. Оптимальное управление движением

Управляемость, наблюдаемость, динамический алгоритм оценивания. Процессы с ортогональными приращениями. Белый шум. Случайные возмущения динамики линейных систем и формирующие уравнения.

Оптимальная стабилизация. Непрерывный фильтр Калмана.

Выбор параметров управления и наблюдения для систем управления ориентацией КА.

Семестр: 2 (Весенний)

## 5. Управление ориентацией КА

Контур управления ориентацией КА с использованием ИИО.

Стабилизация упругих колебаний конструкции КА. Преобразование аналогового фильтра к цифровому фильтру. Преобразование фильтра нижних частот в фильтр нижних частот с другой частотой среза.

Динамический фильтр угловой скорости.

Законы управления ориентацией КА на ГСО и ВЭО с использованием маховиков.

Законы управления ориентацией орбитальной станции «Мир» с использованием гироскопов.

Расчет оптимального по быстродействию разворота вокруг вектора конечного поворота с использованием инерционных исполнительных органов. Вопросы минимизации расхода рабочего тела при смене режимов ориентации.

Разработка алгоритмов углового движения КА обеспечивающих прецизионное управление ориентацией и стабилизацией КА. ДЗЗ.

## 6. Управление движением центра масс КА

Коррекции орбиты КА на ГСО и ВЭО с использованием электрореактивных двигателей. Одновременное управление движением центра масс и вокруг центра масс при маневрах космических аппаратов на геостационарной и высокоэллиптических орбитах с использованием электрореактивных двигателей. Управление кинетическим моментом маховиков при реализации маневров спутников связи серии «Ямал». Управление кинетическим моментом маховиков при реализации маневров КА ДЗЗ на ВЭО.

Коррекции орбиты транспортных кораблей с использованием поворотного двигателя. Применение метода гармонической линеаризации для определения частот и амплитуд угловых автоколебаний КА. Компенсация угловых ошибок КА возникающих из-за эксцентриситета вектора тяги.

## 7. Системы управления движением и навигацией современных КА

Системы управления движением и навигацией геостационарных спутников связи и спутников дистанционного зондирования Земли. Структура СУДН. Приборный состав. Режимы работы.

Системы управления движением грузовых и пилотируемых транспортных кораблей. Режимы СУДН. Автоматический и ручной контуры управления движением.

Интегрированная система управления движением и навигации МКС, включающая СУДН российского и американского сегментов. Распределение задач между российской и американскими системами управления движением МКС. Основные принципы организации СУДН МКС. Обеспечение надежности при выполнении режимов СУДН МКС. Архитектура системы управления МКС. Интерфейс между СУДН российского и СУДН американского сегментов. Требования предъявляемые к системе управления движением российского сегмента МКС. Структура режимов ориентации МКС. Основные режимы СУДН МКС. Переходы между режимами СУДН российского и американского сегментов.

## 8. Обеспечение условий для работы целевой аппаратуры на борту КА

Расчет микроускорений на борту КА. Режимы СУДН КА обеспечивающие проведение экспериментов в условиях микрогравитации. Влияние дебалансов роторов ИИО на микроускорения на борту КА.

Оценка угловых отклонений на посадочном месте ЦА КА ДЗЗ из-за дебалансов роторов маховиков. Обеспечение точностных характеристик стабилизации КА при проведении наблюдений.

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

учебная аудитория, компьютер и мультимедийное оборудование (проектор, звуковая система).

## **6.Перечень рекомендуемой литературы**

### Основная литература

1. Оптимальное управление движением [Текст] / В. В. Александров [и др.] - М.Физматлит,2005
2. 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
3. Применение кватернионов в задачах ориентации твердого тела [Текст]/В. Н. Бранец, И. П. Шмыглевский, -М., Наука, 1973
4. Управление ориентацией космических аппаратов [Текст]/Б. В. Раушенбах, Е. Н. Токарь, -М., Наука, 1974
1. Кульба В.В., Микрин Е.А., Павлов Б.В., Платонов В.Н.. Теоретические основы проектирования информационно-управляющих систем космических аппаратов. Москва. Наука. 2006. 580 С.
2. Александров В.В., Болтянский В.Г., Лемак С.С., Парусников Н.А.,Тихомиров В.М.. Оптимальное управление движением. Москва. Физматлит, 2005.
3. Платонов В.Н.. О возможности длительного поддержания ориентации геостационарного спутника без использования датчиков внешней информации и инерциальных датчиков. Космические исследования, 2009, том 47, №3, с.263-270.
4. Бранец В.Н., Платонов В.Н.. Система управления движением и навигации Российского сегмента МКС. Гиропскопия и навигация, N 4, 2002. С.13-22.
5. Токарь Е.Н., Платонов В.Н.. Исследование особых поверхностей систем безупорных гиродин. Космические исследования 16. вып. 5, 1978. С.675-685.
6. Платонов В.Н.. Одновременное управление движением центра масс и вокруг центра масс при маневрах космических аппаратов на геостационарной и высокоэллиптических орбитах с использованием электрореактивных двигателей. Космическая техника и технологии. 2013. № 1. С. 56-65.

### Дополнительная литература

1. Введение в теорию бесплатформенных инерциальных навигационных систем [Текст]/В. Н. Бранец, И. П. Шмыглевский, -М., Наука, 1992
2. Сборник задач по теории автоматического управления. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы [Текст] : учеб. пособие для вузов / Д. П. Ким. — М. : Физматлит, 2008. — 328 с.
3. Жидкостная ракета как объект регулирования [Текст]/К. С. Колесников, -М., Машиностроение, 1969
1. Квакеракнаак Х., Сиван Р. Линейные оптимальные системы управления. М. Мир, 1977.
2. Branets V.N., Weinberg D.M., Werestchagin V.P., Danilov-Nitusov N.N., Legostaev V.P., Platonov V.N., Semenov U.P., Semjchkin V.S., Chertok B.E., Sheremetyevsky N.N. Development Experience of the Attitude Control System Using Single-Axis Control Moment Gyros for Long-Term Orbiting Space Stations. Acta Astronautica. V.18, P.91. 1988
3. Платонов В.Н. О точности стабилизации космического аппарата дистанционного зондирования Земли без использования информации инерциальных датчиков. Космическая техника и технологии. 2014. № 3 (6). С. 33-38.
4. Богачев А.В. , Платонов В.Н., Тимаков С.Н.. Анализ возможности обеспечения точностных характеристик стабилизации перспективного космического аппарата, предназначенного для дистанционного зондирования Земли. Космонавтика и ракетостроение. 2013 . № 2. С. 83-89.

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

<http://elibrary.ru/defaultx.asp> - российский информационно-аналитический портал в области науки, технологии, медицины и образования, содержащий рефераты и полные тексты более 19 млн научных статей и публикаций

<http://acanud.ru> – сайт международной общественной организации «Академия навигации и управления движением».

## **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 спецкурса «Проектирование систем управления движением и навигации» требует систематических занятий и большой самостоятельной работы студента и изучения литературы..

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.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<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>	<u>1</u>
<b>квалификация:</b>	магистр

Семестры, формы промежуточной аттестации:

- 1 (осенний) - Зачет
- 2 (весенний) - Экзамен

**Разработчик:** В.Н. Платонов, д-р техн. наук, доцент

## 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-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты
ПК-3 Способен профессионально работать с исследовательским и испытательным оборудованием (приборами и установками, специализированными пакетами прикладных программ) в избранной предметной области	ПК-3.1 Понимает принципы работы используемого оборудования (специализированных пакетов прикладных программ)
	ПК-3.2 Способен проводить эксперимент (моделирование) с использованием исследовательского оборудования (пакетов прикладных программ)
	ПК-3.3 Способен оценивать точность полученных экспериментальных (численных) результатов

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Проектирование систем управления движением и навигации» обучающийся должен:

### знать:

- принципы построения, состав и структуру систем управления движением и навигации (СУДН);
- построение режимов и программного обеспечения СУДН;
- алгоритмы управления инерционными исполнительными органами (ИИО);
- способы разгрузки накопленного кинетического момента ИИО;
- методы, используемые при построении алгоритмов управления ориентацией КА;
- часто используемые формулы, связанные с кинематикой и динамикой движения КА.

### уметь:

- использовать методы теории оптимального управления;
- определять тип и параметры ИИО для конкретных СУДН;
- применять новые теоретические подходы в решении задач управления движением;
- формировать динамические модели описывающих контур управления ориентацией;
- разрабатывать последовательности операций составляющих режимы СУДН.

### владеть:

- навыками самостоятельной работы;
- культурой математической постановки задач, связанных с управлением движением КА;
- базовыми навыками работы с кватернионами;
- навыками критического и конструктивного анализа информации, присутствующего в научных публикациях.

## 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**

Примеры контрольных вопросов к зачёту в осеннем семестре:

1. Задачи систем управления движением и навигации (СУДН).
2. Принцип построения СУДН
3. Основные режимы СУДН
4. Типы инерционных исполнительных органов
5. Уравнения движения маховиков
6. Двухстепенные силовые гироскопы (гиродины)
7. Способы разгрузки накопленного кинетического момента ИИО
8. Способы гравитационной разгрузки относительно инерциальной и орбитальной систем координат
9. Оптимальное управление движением
10. Оптимальная стабилизация. Непрерывный фильтр Калмана

Примеры вопросов к экзамену:

##### **ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №1**

- 1.1. Бесплатформенные инерциальные навигационные системы. Выставка и коррекция БИНС.
- 1.2. Типы инерционных исполнительных органов
- 1.3. Контур управления ориентацией ОС «Мир» с использованием гиродинов. Закон формирования управляющего момента.

##### **ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №2**

- 2.1. Расчет моментов, создаваемых силами светового давления.
- 2.2. Энергетические затраты маховиков
- 2.3. Основные режимы работы СУДН АС и СУДН РС МКС.

##### **ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №3**

- 3.1. Системы координат J2000, ОСК, ИСК БИНС, ПСК.
- 3.2. Уравнение описывающее динамику ротора маховика. Схемы установки маховиков.
- 3.3. Расчет оптимального по быстродействию разворота вокруг вектора конечного поворота с использованием инерционных исполнительных органов.

##### **ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №4**

- 4.1. Уравнения движения КА вокруг центра масс.
- 4.2. Закон управления ускорениями маховиков
- 4.3. Построение контура управления ориентацией КА.

##### **ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №5**

- 5.1. Уравнения упругих колебания конструкции КА.
- 5.2. Кинематическая схема гиродина. Усиление управляющего момента
- 5.3 Структура и состав систем управления движением и навигацией геостационарных спутников связи и спутников дистанционного зондирования Земли.

##### **ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №6**

- 6.1. Преобразования систем координат в кватернионной форме.
- 6.2. Отличия в принципе действия силовых гироскопов и маховиков

6.3. Коррекции орбиты транспортных кораблей с использованием поворотного двигателя. Применение метода гармонической линеаризации для определения частот и амплитуд угловых автоколебаний КА.

#### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №7

7.1. Задачи, решаемые СУДН.

7.2. Особые точки систем гиродинов. Метод нахождения особых точек

7.3. Расчет микроускорений на борту КА.

#### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №8

8.1. Задачи, решаемые кинематическим контуром СУДН.

8.2. Схемы установки гиродинов: Додекаэдр, 2х2х2.

8.3. Одновременное управление движением центра масс и вокруг центра масс при маневрах космических аппаратов серии «Ямал».

#### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №9

9.1. Управляемость, наблюдаемость, динамический алгоритм оценивания.

9.2. Схемы установки гиродинов

9.3. Метод связывания кинетического момента с корпусом космического аппарата.

#### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №10

10.1. Задачи, решаемые динамическим контуром СУДН.

10.2. Структура особых поверхностей систем гиродинов. Типы особых поверхностей.

10.3. Автоматический контроль работы СУДН

#### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №11

11.1. Расчет моментов аэродинамических сил.

11.2. Проходимые и непроходимые особые точки систем гиродинов.

11.3. Структура программного обеспечения СУДН.

#### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №12

12.1. Задачи, решаемые навигационным контуром СУДН.

12.2. Закон управления скоростями прецессии гиродинов.

12.3. Распределение задач между российской и американской системами управления движением МКС.

#### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №13

13.1. Кинематические уравнения в инерциальной и вращающейся системах координат.

13.2. Функция настройки в законе управления гиродинами.

13.3. Режимы СУДН АС и СУДН РС. Переходы между режимами СУДН Российского и Американского сегментов.

#### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №14

14.1. Расчет моментов гравитационных сил.

14.2. Кинематическая схема трехстепенного силового гироскопа. Особые точки систем трехстепенных гироскопов

14.3. Непрерывный фильтр Калмана

#### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №15

15.1. Режимы СУДН.

15.2. Закон управления угловыми скоростями подвесов трехстепенных силовых гироскопов МКС.

15.3. Динамический фильтр угловой скорости.

#### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №16

- 16.1. Выбор параметров управления и наблюдения для систем управления ориентацией КА.
- 16.2. Способы гравитационной разгрузки накопленного кинетического момента гироскопов орбитальной станции «Мир».
- 16.3. Основные принципы организации интегрированной системы управления движением и навигации МКС, включающая СУДН Российского и Американского сегментов.

#### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №17

- 17.1. Стабилизация упругих колебаний конструкции КА.
- 17.2. Режим гравитационной разгрузки ИИО в инерциальной системе координат с главной центральной осью с минимальным моментом инерции КА в плоскости орбиты.
- 17.3. Интерфейс между СУДН российского и СУДН Американского сегментов. Переходы между режимами СУДН Российского и Американского сегментов.

#### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №18

- 18.1. Датчиковая аппаратура и исполнительные органы СУДН.
- 18.2. Режим гравитационной разгрузки ИИО в орбитальной системе координат.
- 18.3. Законы управления ориентацией КА на ГСО и ВЭО с использованием маховиков.

#### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №19

- 19.1. Преобразование аналогового фильтра упругих колебаний к цифровому фильтру.
- 19.2. Разгрузка накопленного кинетического момента системы ИИО с использованием моментов сил светового давления для КА на ГЕО.
- 19.3. Длительное поддержание ориентации геостационарного спутника без использования информации с датчиков внешней информации и инерциальных датчиков

#### ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ №20

- 20.1. Преобразование фильтра нижних частот в фильтр нижних частот с другой частотой среза.
- 20.2. Разгрузка накопленного кинетического момента системы ИИО с использованием моментов, создаваемых магнитным полем.
- 20.3. Оценка угловых отклонений на посадочном месте ЦА КА ДЗЗ из-за дебалансов роторов маховиков.

#### Критерии оценивания

оценка «зачёт» выставляется студенту, показавшему систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины при ответе на контрольные вопросы и вопросы по программе дисциплины, а также по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов;

оценка «незачёт» выставляется студенту по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов, а также, если во время ответа на контрольные вопросы и вопросы по программе дисциплины он показал, что не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных

оценка «отлично (10)» выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины при ответе экзаменационного билета и ответе на вопросы по программе дисциплины, а также по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов;

оценка «отлично (9)» выставляется студенту, показавшему систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины при ответе экзаменационного билета и ответе на вопросы по программе дисциплины, а также по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов;

оценка «отлично (8)» выставляется студенту, показавшему систематизированные, знания учебной программы дисциплины при ответе экзаменационного билета и ответе на вопросы по программе дисциплины, а также по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов;

оценка «хорошо (7)» выставляется студенту по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов, если он твердо знает материал экзаменационного билета, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности;

оценка «хорошо (6)» выставляется студенту по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов, если он знает материал экзаменационного билета, по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе много неточностей;

оценка «хорошо (5)» выставляется студенту по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов, если он знает материал экзаменационного билета, излагает его, умеет применять полученные знания на практике, не допускает в ответе грубых ошибок;

оценка «удовлетворительно (4)» выставляется студенту по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов, а также, если во время ответа экзаменационного билета он показал фрагментарный, характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, но при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения;

оценка «удовлетворительно (3)» выставляется студенту по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов, а также, если во время ответа экзаменационного билета он показал разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушение логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации;

оценка «неудовлетворительно (2-1)» выставляется студенту по результатам контрольных, самостоятельных работ и тестов, а также, если во время ответа экзаменационного билета, он показал, что не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных

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

При проведении устного экзамена обучающемуся предоставляется 60 минут на подготовку. Вопрос обучающегося по билету на устном экзамене не должен превышать 30 минут.

Во время проведения экзамена при подготовке ответов на билеты, обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, конспектами лекций, семинаров и любой другой литературой.

Во время проведения экзамена при ответе обучающегося на вопросы по билету или по программе дисциплины, он не может пользоваться конспектами лекций и семинаров и любой другой литературой.