

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

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

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Основы проектирования бесплатформенных инерциальных навигационных систем
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: 1 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 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 ориентацией 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 основам проектирования бесплатформенных инерциальных систем управления ориентацией 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 основ проектирования бесплатформенных инерциальных систем управления ориентацией;
- Развить навыки постановки, анализа и решения задач по проектированию бесплатформенных инерциальных систем управления ориентацией.

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-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
	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-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)
	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
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	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности

новые научные результаты

ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- способы задания углового положения твердого тела в пространстве с помощью углов Крылова, матриц перехода, кватернионов, их свойства, достоинства и недостатки;
- кинематическое и динамическое уравнение углового движения космического аппарата;
- общую структурную схему СУДН, приборный состав;
- основные задачи БИНС.

уметь:

- видеть физическое содержание в задачах по БИНС;
- использовать различные кинематические параметры для решения прикладных задач;
- использовать методы математического анализа для решения задач.

владеть:

- культурой математической постановки задач, связанных с инерциальными системами управления ориентацией;
- навыками самостоятельной работы;
- навыками работы с научной литературой по инерциальным системам управления ориентацией.

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	Исторический обзор	4	4		4
2	Основные определения и понятия	4	4		4
3	Вывод уравнений углового движения КА	4	4		4
4	Общая структурная схема СУДН. Приборный состав	4	4		4
5	БИНС; основные задачи решаемые БИНС	4	4		4
6	Кинематический контур (КК) ориентации	4	4		4
7	Методы определения и компенсации погрешностей измерительной аппаратуры	6	6		6
Итого часов		30	30		30
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

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

1. Исторический обзор

Исторический обзор развития инерциальных систем управления движением (СУД) космических аппаратов (КА). Общая постановка задачи.

2. Основные определения и понятия

Системы координат. Кинематические параметры. Преобразования базисов.

3. Вывод уравнений углового движения КА

Кинематические уравнения. Формальное определение вектора угловой скорости. Вывод кинематических уравнений с использованием различных кинематических параметров. Вывод динамических уравнений углового движения КА.

4. Общая структурная схема СУДН. Приборный состав

Общая структурная схема СУДН. Приборный состав. Структура программного обеспечения БЦВМ, реализующего управление ориентацией КА. Три основных контура ориентации: бесплатформенная инерциальная система (БИНС), кинематический контур (КК) и динамический контур (ДК).

5. БИНС; основные задачи решаемые БИНС

Обзор измерителей угловой скорости (гироскопические, лазерные, вибрационные, оптоволоконные). Принципы работы, основные характеристики. Методы интегрирования кинематических уравнений.

6. Кинематический контур (КК) ориентации

Основные задачи, решаемые КК. Системы координат. Режимы ориентации. Требования, предъявляемые к режимам ориентации. Обзор измерителей углового положения (ИУП) - звёздные, солнечные, датчики Земли, магнитометры. Принципы работы и основные характеристики. Принципы построения корректируемых БИНС.

7. Методы определения и компенсации погрешностей измерительной аппаратуры

Состав погрешностей СУДН. Методы расчёта суммарной погрешности ориентации. Методы определения погрешностей БИНС по измерениям трёхкоординатных ИУП. Методы определения ориентации базовых осей ГИУС относительно ИУП. Методы определения взаимной ориентации базовых осей различных ИУП.

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

Учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Применение кватернионов в задачах ориентации твердого тела [Текст]/В. Н. Бранец, И. П. Шмыглевский, -М., Наука, 1973

2. Введение в теорию бесплатформенных инерциальных навигационных систем [Текст]/В. Н. Бранец, И. П. Шмыглевский, -М., Наука, 1992

Дополнительная литература

1. Теория инерциальной навигации. Корректируемые системы [Текст]/В. Д. Андреев, -М., Наука, 1967

1. Раушенбах Б.В., Токарь Е.Н., Управление ориентацией космическими аппаратами. М., Изд-во «Наука», 1974.

2. Брайсон А, ХО Ю-ШИ, Прикладная теория оптимального управления. М., Изд-во «Мир», 1972.

3. Коваленко А.П., Магнитные системы управления космическими летательными аппаратами. М., Изд-во «Машиностроение», 1975.

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)

MS Office.

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

Успешное освоение курса 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.

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: 1 (осенний) - Дифференцированный зачет

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-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
	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-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)
	ОПК-3.1 Способен анализировать задачу, планировать пути решения, предлагать и комбинировать способы решения
	ОПК-3.3 Владеет аналитическими и вычислительными методами решения, понимает и учитывает на практике границы применимости получаемых решений
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-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Основы проектирования бесплатформенных инерциальных навигационных систем» обучающийся должен:

знать:

- способы задания углового положения твердого тела в пространстве с помощью углов Крылова, матриц перехода, кватернионов, их свойства, достоинства и недостатки;
- кинематическое и динамическое уравнение углового движения космического аппарата;
- общую структурную схему СУДН, приборный состав;
- основные задачи БИНС.

уметь:

- видеть физическое содержание в задачах по БИНС;
- использовать различные кинематические параметры для решения прикладных задач;
- использовать методы математического анализа для решения задач.

владеть:

- культурой математической постановки задач, связанных с инерциальными системами управления ориентацией;
- навыками самостоятельной работы;
- навыками работы с научной литературой по инерциальным системам управления ориентацией.

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

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

Перечень контрольных вопросов:

1. Исторический обзор развития инерциальных систем управления движением космических аппаратов
2. Кинематические параметры, углы Крылова, их свойства, пример использования
3. Кинематические параметры, матрицы перехода, их свойства, пример использования
4. Кинематические параметры, кватернионы, их свойства, пример использования
5. Общая структурная схема СУДН, датчики углового положения
6. Определение углового положения по показаниям двух датчиков направления на ориентир
7. Метод взаимной привязки звездных датчиков
8. Общая структурная схема СУДН, датчики угловой скорости
9. Вычисление угловой скорости по показаниям N измерительных каналов (осей чувствительности) датчика угловой скорости методом наименьших квадратов
10. Состав погрешности датчика угловой скорости; измерение постоянной составляющей ошибки датчика угловой скорости
11. Кинематическое уравнение углового движения космического аппарата; совместная работа датчиков углового положения и угловой скорости
12. Уравнение Эйлера; его решение для частных случаев

Примеры билетов:

№ 1

1. Кватернионы, их свойства, примеры использования
2. Общая структурная схема СУДН

№ 2

1. Уравнение Эйлера, его решение для частных случаев
2. Датчики угловой скорости

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

Порядок проведения устного дифференцированного зачета:

Состав и порядок проведения дифференцированного зачета объявляется, по крайней мере, за неделю до зачета. При проведении дифференцированного зачета студенту предоставляется 1 час на подготовку. Во время проведения дифференцированного зачета студент не может пользоваться конспектами и любой другой литературой.