



Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
Московской области

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
Е.К. Самаров
« 08 » 2021г.



***ИНСТИТУТ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ
Кафедра управления и информационных технологий в космических системах
(НИИ КС им. А.А. Максимова, филиал АО «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева»)***

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
ДИСЦИПЛИНЫ**

**«ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ВНЕШНЕ-ТРАЕКТОРНЫХ
ИЗМЕРЕНИЙ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ»**

Направление подготовки: 01.03.02. Прикладная математика и информатика

Профиль: Искусственный интеллект и управление в ракетно-космических системах

Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

Форма обучения: очная

Королев
2021

Автор: д.т.н., профессор Чаплинский В.С. Рабочая программа дисциплины: Основы построения систем внешне-траекторных измерений ракетно-космических объектов. – Королев МО: МГОТУ, 2021 г.

Рецензент: д.т.н., профессор Вокин Г.Г.

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки бакалавров по направлению подготовки бакалавров 01.03.02. «Прикладная математика и информатика» и Учебного плана, утвержденного Ученым советом МГОТУ.

Протокол № _____ от _____ 2021 года.

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры:

Заведующий кафедрой (ФИО, ученая степень, звание, подпись)	Вокин Г.Г. д.т.н., профессор 	Вокин Г.Г. д.т.н., профессор 	Вокин Г.Г. д.т.н., профессор 	
Год утверждения (переутверждения)	2021	2022	2023	2024
Номер и дата протокола заседания кафедры	№ 8 от 10.06.21	№ 5 от 14.06.22	№ 4 от 06.04.23	

Рабочая программа согласована:

Руководитель ОПОП ВО  к.т.н., доц. И.В. Бугай

Рабочая программа рекомендована на заседании УМС:

Год утверждения (переутверждения)	2021	2022	2023	2024
Номер и дата протокола заседания УМС	№ 7 от 15.06.21	№ 5 от 21.06.22	№ 5 от 11.04.23	

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО

Целью изучения дисциплины «Основы построения систем внешне-траекторных измерений ракетно-космических объектов» является формирование у бакалавров теоретических знаний и практических навыков по вопросам технических требований, проектирования и применения радиотехнических средств траекторного и телеметрического контроля автоматизированных систем управления космическими аппаратами. Студенты должны получить научно-обоснованные сведения о принципах построения и возможностях применения современных и перспективных космических систем траекторных и телеметрических измерений для решения прикладных задач.

Изучение дисциплины содействует формированию системного мышления.

В процессе обучения студент приобретает и совершенствует следующие компетенции:

профессиональные компетенции

- Способность использовать современные методы разработки и реализации конкретных алгоритмов математических моделей на базе языков программирования и пакетов прикладных программ (ПК-3);
- Способность демонстрировать базовые знания математических и естественных наук, основ программирования и информационных технологий (ПК-2).

Основными **задачами** изучения дисциплины являются:

- изучение радиотехнических методов измерения координатных и скоростных навигационных параметров космических аппаратов;
- изучение принципов структурного построения и параметрического синтеза радиоэлектронных средств автоматизированных систем траекторного и телеметрического контроля наземных комплексов управления космическими аппаратами;
- освоение принципов представления измерительной информации, информационного обмена между измерительными средствами и центрами управления, методов математической интерпретации и обработки траекторных измерений.

После завершения освоения данной дисциплины студент должен

Знать:

- радиотехнические методы измерения координатных и скоростных навигационных параметров космических аппаратов;
- принципы структурного построения и параметрического синтеза радиоэлектронных средств автоматизированных систем траекторного и

телеметрического контроля наземных комплексов управления космическими аппаратами;

- принципы представления измерительной информации, информационного обмена между измерительными средствами и центрами управления, методы математической интерпретации и обработки траекторных измерений.

Уметь:

- определять необходимый состав и требуемую точность измерений текущих навигационных параметров РН и КА;
- определять необходимость учёта и проводить расчет релятивистского и гравитационного смещения шкал времени пространственно разнесённых космических объектов;
- обосновывать структуру измерительных сигналов фазовых, псевдошумовых и импульсных дальномерных систем, фазовых угломерных систем.
- проводить расчёт энергетических соотношений и определять эффективную площадь наземных антенн и мощность излучения сигналов в космических измерительных системах при заданной точности траекторных измерений;
- проводить расчёт поправок в траекторные измерения на распространение сигнала в тропосфере и ионосфере Земли;
- обосновывать структуру измерительной информации, выдаваемой в центр управления полётом КА для автоматизированной обработки при определении параметров контролируемых орбит.

Владеть:

- практическими навыками по вопросам технических требований, проектирования и применения радиотехнических средств траекторного и телеметрического контроля автоматизированных систем управления космическими;
- научно-обоснованными сведениями о принципах построения и возможностях применения современных и перспективных космических систем траекторных и телеметрических измерений.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплина «Основы построения систем внешне-траекторных измерений ракетно-космических объектов» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений, основной профессиональной образовательной программы подготовки бакалавров по направлению подготовки 01.03.02. «Прикладная математика и информатика».

Изучение данной дисциплины базируется на знаниях, полученных в процессе изучения дисциплины: «Конструкции и основные системы ракет-носителей и космических аппаратов» и компетенциях: ПК-2, ПК-5.

Знания и компетенции, полученные при освоении дисциплины, являются базовыми для изучения дисциплин: «Основы построения и функционирования космических навигационных систем», «Основы построения и функционирования космических систем дистанционного зондирования Земли», «Основы построения программно-аппаратных средств для обучения персонала эксплуатации ракетно-космических объектов», «Основы технико-экономического обоснования ракетно-космических систем» и выполнения выпускной квалификационной работы бакалавра.

3. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины для студентов очной формы обучения составляет 2 зачетных единицы, 72 часа.

Таблица 1

Виды занятий	Всего часов	Семестр первый	Семестр ...	Семестр шестой	Семестр ...
Общая трудоемкость	72			72	
ОЧНАЯ ФОРМА ОБУЧЕНИЯ					
Аудиторные занятия	48			48	
Лекции (Л)	16			16	
Практические занятия (ПЗ)	32			32	
Лабораторные работы (ЛР)	-			-	
Самостоятельная работа	24			24	
Курсовые работы, проекты	-			-	
Контрольная работа, домашнее задание	+			+	
	-			-	
Текущий контроль знаний	Тест			2	
Вид итогового контроля	Зачет			Зачет	
ЗАОЧНАЯ ФОРМА НЕ ПРЕДУСМОТРЕНА УЧЕБНЫМ ПЛАНОМ					

4. Содержание дисциплины

4.1. Темы дисциплины и виды занятий

Таблица 2

Наименование тем	Лекции, час	Практические занятия, час	Занятия в интерактивной форме, час	Код компетенций
Тема 1. Наземный комплекс автоматизированного управления космическими аппаратами	1	2		ПК-2 ПК-3
Тема 2. Радиотехнические и квантово-оптические средства измерений текущих навигационных параметров космических аппаратов	1	2	2	ПК-2 ПК-3
Тема 3. Определение требований к составу и точности навигационных измерений	1	2		ПК-2 ПК-3
Тема 4. Релятивистские частотно-фазовые соотношения между параметрами сигналов.	1	2	2	ПК-2 ПК-3
Тема 5. Системы измерения скоростных навигационных параметров.	2	4	2	ПК-2 ПК-3
Тема 6. Принципы космической дальнометрии. Фазовые системы измерения дальности.	2	4		ПК-2 ПК-3
Тема 7. Импульсный метод измерения дальности.	2	4		ПК-2 ПК-3
Тема 8. Применение широкополосных сигналов в космической дальнометрии.	2	4		ПК-2 ПК-3
Тема 9. Комплексы многопутевых измерений навигационных параметров.	1	2	2	ПК-2 ПК-3
Тема 10. Угломерные измерительные системы.	1	2		ПК-2 ПК-3
Тема 11. Принципы формирования и структура измерительной информации.	1	2	2	ПК-2 ПК-3
Тема 12. Принципы построения радиотелеметрических систем ЛА.	1	2		ПК-2 ПК-3
Итого	16	32	10	

4.2. Содержание тем дисциплины

Тема 1. Наземный автоматизированный комплекс управления.

Назначение и решаемые задачи. Размещение объектов НАКУ. Центральный командный пункт НАКУ. Командно - измерительные пункты НАКУ. Средства командно - измерительных пунктов НАКУ. Командно-измерительные системы. Радиотелеметрические системы. Средства переговорной и телевизионной связи. Средства службы единого времени. Система связи и передачи данных. Ретрансляционный контур управления. Показатели качества НАКУ. Характеристики НАКУ. Методы синтеза НАКУ.

Тема 2. Радиотехнические и квантово-оптические средства измерений текущих навигационных параметров космических аппаратов.

Назначение средств измерений текущих навигационных параметров. Системы измерения дальности. Разностная дальнометрия. Радиоинтерферометрия. Измерение скоростных навигационных параметров. Радиальная псевдоскорость КА. Радиальная скорость КА. Разностно-скоростные измерения. Угловые навигационные измерения. Основные характеристики средств навигационных измерений НАКУ. Классификация средств ИТНП по точности измерений.

Тема 3. Определение требований к составу и точности навигационных измерений.

Связь информационных параметров сигнала с навигационными параметрами КА. Модель орбитального движения КА. Определение параметров движения КА. Метод наименьших квадратов. Состав требований к навигационным измерениям. Выбор состава навигационных измерений. Методические основы определения требуемой точности навигационных измерений. Направления совершенствования средств навигационных измерений.

Тема 4. Релятивистские частотно-фазовые соотношения между параметрами сигналов.

Связь собственного времени источника колебаний с координатным временем. Отношение частот принятого и излученного сигнала. Связь интервалов собственного времени источника и приемника сигнала. Приращение фазы колебаний источника и приемника сигнала. Формирование текущей шкалы времени объекта-источника. Пороговое значение отношения энергии сигнала к спектральной плотности шума на входе приемного устройства. Формулы связи дисперсии оценок параметров сигнала и отношения сигнал-шум.

Тема 5. Системы измерения скоростных навигационных параметров.

Скоростные параметры радиолинии. Соотношение несущих частот принимаемого и излучаемого сигналов. Определение производной $\frac{\partial t_u}{\partial t_n}$ по времени распространения сигнала. Принцип определения скоростного параметра по частотным измерениям. Радиальная скорость. Псевдоскоростной

навигационный параметр. Расчетный аналог псевдоскоростного навигационного параметра. Структурная схема систем.

Тема 6. Принципы космической дальнометрии. Фазовые системы измерения дальности.

Принципы измерения дальности до космических объектов. Периодические дальномерные сигналы. Неоднозначность измерений. Многошкальные системы. Типовая структура дальномерной системы. Выбор параметров дальномерных сигналов для обеспечения требуемой точности и однозначности измерений. Многошкальные фазовые дальномерные системы. Структурная схема фазовой дальномерной системы. Показатели качества.

Тема 7. Импульсный метод измерения дальности.

Обеспечение требуемой точности и однозначности измерений. Разрешение целей. Обеспечение одновременных измерений группой наземных станций. Структурная схема импульсной дальномерной системы. Показатели качества.

Тема 8. Применение широкополосных сигналов в космической дальнометрии.

Свойства псевдошумовых дальномерных последовательностей (ПСП). Выбор параметров ПСП для обеспечения требуемой точности и однозначности измерений. Формирование псевдошумовых дальномерных последовательностей. Структурная схема системы.

Тема 9. Комплексы многопутевых измерений навигационных параметров.

Сущность многопутевых измерений навигационных параметров. Соотношения связи навигационных величин с результатами измерений. Принципы определения суммарной дальности по измерениям суммарной псевдодальности. Условия определения по данным суммарно-доплеровских измерений скоростных параметров движения ЛА. Сличение начальных фаз сигналов и номиналов частот разнесенных генераторов сигналов.

Тема 10. Угломерные измерительные системы.

Радиотехнические угломерные системы пеленгационного типа. Радиointерферометры. Выбор структуры и параметров фазовых пеленгаторов космического назначения. Астрооптические угломерные системы.

Тема 11. Принципы формирования и структура измерительной информации.

Выбор дискретности измерения навигационных функций, исходя из теоремы Котельникова и закона распределения погрешности измерений. Адресная информация сеансного массива измерений. Структура сеансного информационного массива. Определение цены отсчетной единицы при представлении результатов измерения координатных и скоростных навигационных параметров. Файловая и специальная структуры измерительной информации.

Тема 12. Принципы построения радиотелеметрических систем ЛА.

Назначение систем телеконтроля ЛА. Основные требования к радиотелеметрическим системам. Общая схема радиотелеметрической системы. Радиолинии передачи телеметрической информации. Применяемые виды модуляции сигналов в космических РТМС. Системы с частотно-импульсной модуляцией, с биортогональными кодами.

5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы по дисциплине

Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Структура фонда оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине приведена в Приложении 1.

7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

Основная литература:

1. Чаплинский В.С. Внешнетраекторные измерения. Учебное пособие. МГОТУ. Королёв. 2020-268 с.
2. Чаплинский В.С. Методы и способы траекторных измерений космических летательных аппаратов. Практикум. МГОТУ. Королёв. 2020-112 с.

Дополнительная литература:

1. Космические траекторные измерения. Радиотехнические методы измерений и математическая обработка данных. /Коллектив авторов под ред. Агаджанова П.А., Дулевича В.Е., Коростелева А.А. - М.:Советское радио,1969.-504 с.
2. Радиосистемы управления, учебник для ВУЗов, под ред. В.А. Вейцеля.М.: Дрофа, 2005. -411с.
3. Чаплинский В.С. Релятивистские траекторные измерения. Монография. Королёв-2019. -235 с.

Рекомендуемая литература:

1. Основы радионавигационных измерений/Под ред. Н.Ф.Клюева: Министерство обороны СССР, 1987. -430с.
2. Н.А. Кащеев. Радиотехнические средства управления космическими аппаратами: МИРЭА, 2005. -202с.
3. Кукушкин С.С., Гладков И.А., Чаплинский В.С. Методы и информационные технологии контроля состояний динамических систем. Москва. Минобороны, 2008. – 328 с.
4. Аверьянов А.П., Вокин Г.Г., Чаплинский В.С. В. Введение в ракетно-космическую технику Часть 1. Общие сведения. Космодромы. Наземные

средства контроля и управления ракетами и космическими аппаратами: Учебное пособие. – Королев МО: КИУЭС. – 2011. -238с.

5. Аверьянов А.П., Вокин Г.Г., Чаплинский В.С. В. Введение в ракетно-космическую технику Часть 2.: Учебное пособие. – Королев МО: КИУЭС. – 2012. -230с.

6. Информационные технологии в радиотехнических системах. И.Б.Федоров, [ред.]. Москва : 2004.- 768с. (Раздел 8; раздел 9).

7. Киселев А.И., Медведев А.А., Меньшиков В.А. Космонавтика на рубеже тысячелетий. Итоги и перспективы. - М.: Машиностроение,2001. - 672с.

8. Жданюк Б.Ф. Основы статистической обработки траекторных измерений. - М.: Советское радио,1978. -384 с.

9. Точность измерения параметров движения космических аппаратов радиотехническими методами/Под редакцией С.Д. Сильвестрова. - М.:Советское радио,1970.-312 с.

10. Сильвестров С.Д., Васильев В.В. Структура космических измерительных систем. - М.: Советское радио,1979. -224 с.

8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

Интернет-ресурсы:

<http://www.znanium.com/> - электронно-библиотечная система

<http://www.e.lanbook.com/> - ЭБС Издательства "ЛАНЬ"

<http://www.rucont.ru/> - электронно-библиотечная система

<http://www.biblioclub.ru/> -университетская библиотека онлайн

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля) приведены в Приложении 2.

10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Перечень программного обеспечения: MSOffice, VisSim.

Информационные справочные системы: *Электронные ресурсы образовательной среды Университета.*

11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Лекционные занятия:

- аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран); доской для письма мелом или фломастерами;
- комплект электронных презентаций/слайдов.

Практические занятия:

- аудитория, оснащенная мультимедийными средствами (проектор, ноутбук), демонстрационными материалами (наглядными пособиями); доской для письма мелом или фломастерами;
- рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет;
- рабочее место студента, оснащенное компьютером с доступом в Интернет.

*ИНСТИТУТ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ
Кафедра управления и информационных технологий в космических
системах (НИИ КС им. А.А. Максимова, филиал АО «ГКНПЦ им. М.В.
Хруничева»)*

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ
ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО
ДИСЦИПЛИНЕ
«ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ВНЕШНЕ-ТРАЕКТОРНЫХ
ИЗМЕРЕНИЙ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ»
(Приложение 1 к рабочей программе)**

Направление подготовки: 01.03.02. Прикладная математика и информатика
Профиль: Искусственный интеллект и управление в ракетно-космических системах
Квалификация (степень) выпускника: бакалавр
Форма обучения: очная

Королев
2021

1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы

№ п/п	Индекс компетенции	Содержание компетенции (или ее части)*	Раздел дисциплины, обеспечивающий формирование компетенции (или ее части)	В результате изучения раздела дисциплины, обеспечивающего формирование компетенции (или ее части), обучающийся должен:		
				знать	уметь	владеть
1.	ПК-3	Способность использовать современные методы разработки и реализации конкретных алгоритмов математических моделей на базе языков программирования и пакетов прикладных	Темы 1-12	методы и приемы формализации задач; методы и средства проектирования программного обеспечения, программных интерфейсов; приемы построения деревьев-целей для организации процессов исследовательского проектирования изделий с заданными тактико-техническими характеристиками; методы выбора оптимальных и близких к оптимальным, структур и параметров изделий РКТ; алгоритмы автоматизированного решения изобретательских задач для выбора рациональных технических решений; принципы построения и функционирования проблемно-ориентированных экспертных систем для исследовательского проектирования изделий РКТ	Уметь выбирать средства и вырабатывать реализации требований к программному обеспечению; проводить оценку и обоснование рекомендуемых решений; формировать технические задания для выбора рациональных тактико-технических требований к характеристикам изделий РКТ; разрабатывать программные средства для исследовательского проектирования изделий РКТ; проводить технико-экономическую оценку проектов создания изделий; определять ожидаемые тактико-технические характеристики проектируемых изделий расчетным путем, а также на основе экспериментальных данных; оценивать ожидаемую технико-экономическую эффективность изделий при эксплуатации	методами и средствами проектирования баз данных; способами разработки проблемно-ориентированных экспертных систем исследовательского проектирования; приемами построения баз данных и баз знаний экспертных систем; способами наполнения баз знаний продукционными правилами в интересах исследовательского проектирования изделий; практическим опытом исследовательского проектирования изделий с оптимальным уровнем их основных тактико-технических характеристик
2.	ПК-2	Способность демонстрировать базовые знания	Темы 1-12	базовые знания, полученные в области	находить, формулировать и решать	практическим опытом научно-исследовательской

		математических и естественных наук, основ программирования и информационных технологий		математических или естественных наук, программирования или информационных технологий; общие принципы действия и структурный состав основных изделий РКТ, в том числе конструкторские решения ракет и КА и их систем управления, энергообеспечения, навигации, контроля эксплуатации, а также систем оказания технических услуг	стандартные задачи в научно-исследовательской деятельности в математике и информатике; строить структурные и функциональные схемы систем изделий РКТ; составлять уравнения движения центра масс и относительно центра масс ракет и КА; определять траектории полета ракет и орбиты КА по данным внешне траекторных измерений; расшифровывать телеметрическую информацию, получаемую с борта ракет и КА при испытаниях	деятельности в математике и информатике; способами подготовки полетных заданий для ракет и КА и расчета их траекторий движения; приемами определения неисправностей на борту ракет и КА по данным телеизмерений; методами решения краевых задач и выбора оптимальных траекторий полета ракет и КА; методами коррекции полета КА на орбитах и перехода их с одной орбиты на другую; способами взаимодействия с потребителями космических услуг
--	--	--	--	--	---	---

2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Код компетенции	Инструменты, оценивающие сформированность компетенции	Показатель оценивания компетенции	Критерии оценки
ПК-2 ПК-3	Письменные задания	<p>А) полностью сформирована (компетенция освоена на высоком уровне) – 5 баллов</p> <p>Б) частично сформирована:</p> <ul style="list-style-type: none"> •компетенция освоена на продвинутом уровне – 4 балла; •компетенция освоена на базовом уровне – 3 балла; <p>В) не сформирована (компетенция не освоена) – 2 и менее баллов</p>	<p>Проводится в письменной форме</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Выбор оптимального метода решения задачи (1 балл) 2. Умение применить выбранный метод (1 балл) 3. Логический ход решения правильный, но имеются арифметические в расчетах (1 балл) 4. Решение задачи и получение правильного результата (2 балла) 5. Задача не решена вообще (0 баллов) <p>Максимальная оценка - 5 баллов.</p> <p>Время, отведенное на процедуру – до 40 мин. При необходимости время может быть увеличено.</p> <p>Результаты оценочной процедуры представляются обучающимся в срок не позднее 1 недели после проведения процедуры – для текущего контроля. Оценка проставляется в электронный журнал</p>

ПК-2 ПК-3	Реферат. Выступление с докладом на практическом занятии.	А) полностью сформирован 5 баллов; В) частично сформирован 3-4 балла; С) не сформирован 2 балла.	Проводится в письменной форме Критерии оценки: 1.Соответствие содержания реферата заданной тематике (1 балл). 2.Полнота изложения (2 балла). 3. Качество оформления работы (1 балл). 4. Владение информацией и способность отвечать на вопросы аудитории (1 балл). Максимальная сумма баллов - 5 баллов. Результаты оценочной процедуры представляются обучающимся в срок не позднее 1 недели после проведения процедуры – для текущего контроля. Оценка проставляется в электронный журнал.
--------------	---	--	---

3. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

3.1 Тематика письменных заданий:

Для текущего контроля успеваемости используются опросы и оценка заданий, выданных на практических занятиях.

Тематика заданий:

1. Методика расчёта упреждения релятивистского смещения шкал времени в космических навигационных системах типа ГЛОНАСС; релятивистского смещения шкал времени разнесенных наземных пунктов; релятивистского смещения шкалы времени на космическом аппарате при приёме сигналов Глонасс.
2. Методика обоснования энергетических показателей измерительных каналов и точность навигационных измерений.
4. Методика расчёта технических параметров радиолинии для измерения радиальной скорости КА с заданной точностью.
5. Методика обоснования структуры многошкальной импульсной дальномерной системы, обеспечивающей требуемую точность измерений дальности до КА при высоте орбиты 10 тыс.км.
6. Методика обоснования структуры многошкальной фазовой системы с кратными измерительными частотами, обеспечивающей требуемую точность измерений дальности до КА при высоте орбиты 10 тыс.км. и до КА на околокруговых орбитах от низких со средней высотой от 200 км до геостационарных со средней высотой 35809 км.
7. Методика обоснования структуры псевдошумовой дальномерной системы, обеспечивающей требуемую точность измерений дальности до КА на

околокруговых орбитах от низких - со средней высотой от 200 км до геостационарных - средняя высота 35809 км.

8. Методика обоснования структуры многошкальной фазовой угломерной системы, предназначенной для траекторных измерений КА на геостационарных орбитах.

9. Принципы формирования и методы передачи измерительной информации.

10. Учет влияния среды распространения измерительных сигналов. Методика расчёта поправок на распространение сигнала в тропосфере Земли.

3.2 Примерная тематика рефератов:

1. Использование космических навигационных систем для навигации космических аппаратов.
2. Беззапросный навигационный контроль низкоорбитальных космических аппаратов.
3. Измерение параметров движения низкоорбитальных КА с использованием космических систем ретрансляции сигналов.
4. Методы измерения угловых координат космических аппаратов.
5. Сущность многопутевых измерений скоростных навигационных параметров.

4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Формой контроля знаний по дисциплине являются две текущие аттестации в виде тестов и итоговый контроль в виде зачета.

Неделя текущего контроля	Вид оценочного средства	Код компетенций, оценивающий знания, умения, навыки	Содержание оценочного средства	Требования к выполнению	Срок сдачи (неделя семестра)	Критерии оценки по содержанию и качеству с указанием баллов
Согласно графика учебного процесса	Тестирование 1, 2	ПК-3 ПК-2	20 вопросов	Компьютерное тестирование; время, отведенное на процедуру - 40 минут	Результаты тестирования предоставляются в день проведения процедуры	Критерии оценки определяются процентным соотношением. Не явка - 0 Удовлетворительно - от 51% правильных ответов. Хорошо - от 70%. Отлично – от 90%.
Согласно графика учебного процесса	Зачет	ПК-3 ПК-2	2 вопроса, 1 практическое задание	Зачет проводится в письменной форме, путем ответа на вопросы и решения практического	Результаты предоставляются в день проведения зачета	Критерии оценки: «Зачет»: • знание основных понятий предмета; • умение использовать и применять полученные знания на практике; • работа на

				<p>задания. Время отведенное на процедуру – 0,35 часа на студента.</p>	<p>практических занятиях; • знание основных научных теорий, изучаемых предметов; • ответ на вопросы билета. «Незачет»: • демонстрирует частичные знания по темам дисциплин; • незнание основных понятий предмета; • неумение использовать и применять полученные знания на практике; • не работал на практических занятиях; • не отвечает на вопросы.</p>
--	--	--	--	---	---

4.1. Типовые задания на тестирование

По дисциплине проводятся две текущие аттестации в виде тестирования при решении письменных заданий. По форме заданий предоставляется письменный отчет. Содержание отчёта должно соответствовать заданию, а также выполняется полное проведение расчетов и обоснований.

Предлагаются задания №1-11 (согласно графика учебного процесса).

1. Соотношение для определения скорости релятивистского смещения шкалы времени КА относительно наземного пункта.
2. Расчёт геоцентрической скорости КА на круговой околоземной орбите.
3. Расчёт геоцентрической скорости наземного пункта.
4. Определение гравитационного потенциала КА и наземного пункта.
5. Соотношения интервалов собственного времени излучателя сигнала и приемника сигнала и интервалов собственного времени приемника и излучателя сигнала
6. Выразить интервал собственного времени приемника $\Delta\tau_n$ через интервал собственного времени излучателя $\Delta\tau_u$,
7. Выразить интервал собственного времени излучателя $\Delta\tau_u$ через интервал собственного времени приемника $\Delta\tau_n$.
8. Соотношение для оценки потенциальной точности измерения частотного смещения принимаемого сигнала.
9. Эквивалентное время приема сигнала при измерении частотного смещения.
10. Связь порогового значения отношения энергии принимаемого сигнала к спектральной плотности шума и мощности принимаемого сигнала при измерении скоростных параметров летательных аппаратов
11. Выражение для расчёта полосы частот фильтра выделения сигнала при измерении скоростных параметров летательных аппаратов.

Предлагаются задания №1-12 (согласно графика учебного процесса).

1. Формула расчёта мощности принимаемого в радиолинии сигнала, выраженная через параметры радиолинии.
2. Соотношение для оценки потенциальной точности измерения временного запаздывания принимаемого сигнала.
3. Расчёт номиналов точной и самой грубой измерительных частот многошкального фазового дальномера с пояснением составляющих.
4. Определение необходимого количества измерительных шкал в многошкальном фазовом дальномере
5. Расчёт номиналов тактовой частоты псевдослучайной дальномерной последовательности (ПСП) и периода повторения ПСП.
6. Определение необходимого количества триггеров в схеме формирования дальномерной ПСП.
7. Соотношение для оценки потенциальной точности измерения угловых координат фазовым пеленгатором принимаемого сигнала.
8. Расчёт номиналов измерительных баз фазового пеленгатора.
9. Определение необходимого количества измерительных баз фазового пеленгатора.
10. Метеопараметры, значения которых учитываются при расчёте тропосферных поправок в измерения дальности и угла места летательного аппарата.
11. Структура адресной информации при передаче сеансных массивов траекторных измерений в центр управления космическим аппаратом.
12. Структура представления измеренных текущих навигационных параметров для передачи сеансных массивов траекторных измерений в центр управления космическим аппаратом.

4.2. Типовые вопросы, выносимые на зачет

1. Назначение и решаемые задачи наземным комплексом управления КА.
2. Состав и структура НАКУ.
3. Показатели качества НАКУ. Характеристики НАКУ.
4. Методы синтеза НАКУ.
5. Назначение средств измерений текущих навигационных параметров. Основные характеристики средств навигационных измерений НАКУ. Классификация средств ИТНП по точности измерений.
6. Координатные и скоростные навигационные параметры КА.
7. Связь информационных параметров сигнала с навигационными параметрами КА.
8. Состав требований к навигационным измерениям. Выбор состава навигационных измерений.
9. Методические основы определения требуемой точности навигационных измерений.
10. Связь собственного времени источника колебаний с координатным временем. Отношение частот принятого и излученного сигнала.

11. Связь интервалов собственного времени источника и приемника сигнала.
12. Формирование текущей шкалы времени объекта-источника.
13. Радиальная псевдоскорость. Принцип определения скоростного параметра по частотным измерениям.
14. Расчетный аналог псевдоскоростного навигационного параметра.
15. Радиальная скорость. Общее выражение навигационного параметра.
16. Навигационный параметр для приемо-передающего пункта. Измерение частотного смещения.
17. Измерение доплеровского смещения частоты с использованием следящего фильтра ФАП.
18. Сущность многопутевых измерений скоростных навигационных параметров. Навигационные параметры.
19. Псевдодальность. Функционал для формирования навигационного параметра по полученным псевдодальностям. Расчетный аналог измерений.
20. Многопутевые измерения дальности. Дальность и суммарная псевдодальность. Суммарная псевдодальность ГИП-ЛА-ВИП.
21. Импульсный метод измерения дальности. Показатели качества.
22. Фазовый метод измерения дальности. Показатели качества. Многошкальные фазовые дальномерные системы.
23. Применение широкополосных сигналов в космической дальнометрии.
24. Методы измерения угловых координат КА. Радиотехнические угломерные системы.
25. Астрометрические угломерные системы.
26. Методика расчета энергетического потенциала космических радиолиний.
27. Методика расчета поправок в измерения дальности и углов места КА на распространение сигнала в тропосфере при заданных метеопараметрах.
28. Методика учета ионосферных поправок в измерения дальности и радиальной скорости в двухдиапазонных когерентных радиолиниях.
29. Формирование информационной посылки для дальномерной космической системы.
30. Формирование информационной посылки для угломерной космической системы
28. Формирование информационной посылки для космической системы измерения скоростных параметров ЛА
29. Формирование информационной посылки для результатов измерения метеопараметров.
30. Назначение систем телеконтроля ЛА. Основные требования к радиотелеметрическим системам. Общая схема радиотелеметрической системы.

*ИНСТИТУТ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ
Кафедра управления и информационных технологий в космических
системах (НИИ КС им. А.А. Максимова, филиал АО «ГКНПЦ им. М.В.
Хруничева»)*

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ
ДИСЦИПЛИНЫ**

**«ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ВНЕШНЕ-ТРАЕКТОРНЫХ
ИЗМЕРЕНИЙ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ»**

(Приложение 2 к рабочей программе)

Направление подготовки: 01.03.02. Прикладная математика и информатика

Профиль: Искусственный интеллект и управление в ракетно-космических системах

Уровень высшего образования: бакалавр

Форма обучения: очная

Королев
2021

1. Общие положения

Цель дисциплины: формирование у бакалавров теоретических знаний и практических навыков по вопросам технических требований, проектирования и применения радиотехнических средств траекторного контроля автоматизированных систем управления космическими аппаратами. Студенты должны получить научно-обоснованные сведения о принципах построения и возможностях применения современных и перспективных космических систем траекторных измерений для решения прикладных задач.

Изучение дисциплины содействует формированию системного мышления.

Задачи дисциплины:

- изучение радиотехнических методов измерения координатных и скоростных навигационных параметров космических аппаратов;
- изучение принципов структурного построения и параметрического синтеза радиоэлектронных средств автоматизированных систем траекторного и телеметрического контроля наземных комплексов управления космическими аппаратами;
- освоение принципов представления измерительной информации, информационного обмена между измерительными средствами и центрами управления, методов математической интерпретации и обработки траекторных измерений.

2. Указания по проведению лабораторного практикума

Не предусмотрено учебным планом.

3. Указания по проведению практических занятий

По дисциплине проводятся практические занятия в виде решения задач и письменных заданий. При решении задач выполняется полное проведение расчетов и обоснований.

Предлагаются вопросы и задания №1-22 (согласно графика учебного процесса).

1. Определение понятия "управление ориентацией и стабилизацией РН".
2. Определение понятия "управление ориентацией и стабилизацией КА".
4. Основные системы координат, применяемые при изучении движения РН.
5. Основные системы координат, применяемые при изучении движения КА.
6. Основные системы координат, применяемые при управлении ориентацией и стабилизацией РН.
7. Основные системы координат, применяемые при управлении ориентацией и стабилизацией КА.
8. Общая схема выведения РН при выводе КА на орбиту.
9. Силы, действующие на РН и КА.

10. Сила притяжения Земли.
11. Аэродинамические силы.
12. Сила тяги реактивного двигателя.
13. Моменты сил, действующих на РН и КА.
14. Общие сведения о системах управления.
15. Структурная схема системы ориентации и стабилизации КА.
16. Назначение гироскопа и инерциальных датчиков.
17. Свойства гироскопа.
18. Гироскопические приборы системы стабилизации.
19. Определение абсолютной системы координат.
20. Определение гринвичской системы координат.
21. Определение орбитальной системы координат.
22. Определение связанной системы координат.

Предлагаются вопросы и задания №1-33 (согласно графика учебного процесса).

1. Общее уравнение движения КА.
2. Общее уравнение движения РН.
3. Силы, действующие на РН.
4. Силы, действующие на КА.
5. Моменты сил, действующих на КА.
6. Момент гравитационных сил.
7. Момент аэродинамических сил.
8. Магнитный момент.
9. Момент от сил светового давления.
10. Задачи и возможный состав системы управления движением центра масс КА.
11. Классификация систем управления КА.
12. Управление угловым движением КА с помощью реактивных двигателей.
13. Управление угловым движением КА с помощью двигателей-маховиков.
14. Управление угловым движением КА с помощью гироскопического стабилизатора.
15. Управление угловым движением КА с помощью магнитопривода.
16. Система управления движением и навигации КА.
17. Уравнения движения КА относительно центра масс.
18. Кинематические соотношения Пуассона.
19. Приборы, используемые в системах ориентации и стабилизации РН.
20. Приборы, используемые в системах ориентации и стабилизации КА.
21. Назначение реактивных двигателей КА.
22. Определение бесплатформенной инерциальной навигационной системы (БИНС).
23. Принцип использования системы двигателей-маховиков для управления движением КА относительно центра масс.
24. Стабилизация КА вращением.

25. Система гравитационной стабилизации КА.
26. Ориентация КА в магнитных полях Земли.
27. Общее уравнение движения КА относительно центра масс.
28. Сущность астрокоррекции БИНС.
29. Системы управления РН.
30. Требования к системе управления РН.
31. Система наведения. Регулятор кажущейся скорости.
32. Система стабилизации.
33. Органы управления РН.

Предлагаются задания №1-11 (согласно графика учебного процесса).

1. Соотношение для определения скорости релятивистского смещения шкалы времени КА относительно наземного пункта.
2. Расчёт геоцентрической скорости КА на круговой околоземной орбите.
3. Расчёт геоцентрической скорости наземного пункта.
4. Определение гравитационного потенциала КА и наземного пункта.
5. Соотношения интервалов собственного времени излучателя сигнала и приемника сигнала и интервалов собственного времени приемника и излучателя сигнала
6. Выразить интервал собственного времени приемника $\Delta\tau_n$ через интервал собственного времени излучателя $\Delta\tau_u$,
7. Выразить интервал собственного времени излучателя $\Delta\tau_u$ через интервал собственного времени приемника $\Delta\tau_n$.
8. Соотношение для оценки потенциальной точности измерения частотного смещения принимаемого сигнала.
9. Эквивалентное время приема сигнала при измерении частотного смещения.
10. Связь порогового значения отношения энергии принимаемого сигнала к спектральной плотности шума и мощности принимаемого сигнала при измерении скоростных параметров летательных аппаратов
11. Выражение для расчёта полосы частот фильтра выделения сигнала при измерении скоростных параметров летательных аппаратов.

Предлагаются задания №1-12 (согласно графика учебного процесса).

1. Формула расчёта мощности принимаемого в радиолинии сигнала, выраженная через параметры радиолинии.
2. Соотношение для оценки потенциальной точности измерения временного запаздывания принимаемого сигнала.
3. Расчёт номиналов точной и самой грубой измерительных частот многошкального фазового дальномера с пояснением составляющих.
4. Определение необходимого количества измерительных шкал в многошкальном фазовом дальномере

5. Расчёт номиналов тактовой частоты псевдослучайной дальномерной последовательности (ПСП) и периода повторения ПСП.
6. Определение необходимого количества триггеров в схеме формирования дальномерной ПСП.
7. Соотношение для оценки потенциальной точности измерения угловых координат фазовым пеленгатором принимаемого сигнала.
8. Расчёт номиналов измерительных баз фазового пеленгатора.
9. Определение необходимого количества измерительных баз фазового пеленгатора.
10. Метеопараметры, значения которых учитываются при расчёте тропосферных поправок в измерения дальности и угла места летательного аппарата.
11. Структура адресной информации при передаче сеансных массивов траекторных измерений в центр управления космическим аппаратом.
12. Структура представления измеренных текущих навигационных параметров для передачи сеансных массивов траекторных измерений в центр управления космическим аппаратом.

4. Указания по проведению самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа студентов является одной из важнейших составляющих образовательного процесса. Самостоятельная работа проводится в виде подготовки к практическим занятиям, выполнения индивидуальных заданий, направленных на развитие у студентов самостоятельности и инициативы, подготовки к участию в научно-практических конференциях, подготовки к сдаче экзамена.

Контроль результатов самостоятельной работы студентов проводится в письменной, устной или смешанной форме по представлению студентами продуктов своей творческой деятельности или результатам демонстрации своих знаний и умений.

Задачи самостоятельной работы:

- 1) расширить свои знания о системах внешнетраекторных измерений ракет-носителей и космических аппаратов;
- 2) самостоятельно выполнить домашнее задание (задачу по варианту) в соответствии с графиком учебных занятий;
- 3) овладеть навыками самостоятельной работы с библиографическими и электронными источниками.

Задачи, выносимые на самостоятельное изучение, представлены в таблице:

№ п/п	Виды самостоятельной работы	Количество часов	Перечень заданий
1.	Вопросы, выносимые на самостоятельное изучение	6	Закрепляя пройденный материал, в дополнение к конспектам лекционных и практических занятий рекомендуется использовать литературу и другие источники, примерный перечень которых имеется в разделе 7.
2.	Подготовка к практическим занятиям	6	Проработка лекций, изучение рекомендованной литературы.
	Выполнение индивидуальной письменной работы	6	Выдается преподавателем каждому студенту индивидуально
	Подготовка к зачету	6	Проработка лекций, практик, изучение рекомендованной литературы. Консультации у преподавателя.
ИТОГО		24	

5. Указания по проведению контрольных работ

5.1. Требования к структуре

Каждому студенту при поступлении присваивается учебный шифр. Он указан в зачетной книжке и студенческом билете. Вариант определяется значениями m и n , которые выбираются с учетом двух последних цифр учебного шифра. Номера задач, входящих в вариант, определяются преподавателем.

5.2. Требования к оформлению

Каждая контрольная работа содержит определенное количество примеров и задач. При выполнении их необходимо придерживаться следующих правил:

1. Контрольную работу надо выполнить в отдельной тетради, оставляя поля для замечаний преподавателя. В конце работы нужно оставить 3-4 чистых страницы, которые, возможно, понадобятся для исправления решений.

2. В заголовке работы должны быть разборчиво написаны: фамилия, имя и отчество, учебный шифр, номер контрольной работы (ее части), название дисциплины. Заголовок надо поместить на обложку тетради. Здесь же указать дату выполнения контрольной работы.

3. Решение задач надо располагать в порядке номеров, указанных в задании, сохраняя номер задач своего варианта.

4. Перед решением каждой задачи надо полностью выписать ее условие, заменив, где надо, общие данные контрольными из своего варианта.

5. Решения задач излагайте аккуратно, объясняя основные действия, выписывая нужные формулы, делая необходимые чертежи.

6. После получения прорецензированной работы исправьте все ошибки и недочеты, вписав исправления на оставленных чистых страницах.

Работа засчитывается, если она при проверке (или после устранения недочетов) преподавателем получает положительную оценку (зачет). Студенты, не получившие зачета по контрольной работе, к экзамену не допускаются. Зачетные контрольные работы обязательно предъявляются на экзамене.

6. Указания по проведению курсовых работ

Не предусмотрено учебным планом.

7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная литература:

1. Чаплинский В.С. Внешнетраекторные измерения. Учебное пособие. МГОТУ. Королёв. 2020-268 с.
2. Чаплинский В.С. Методы и способы траекторных измерений космических летательных аппаратов. Практикум. МГОТУ. Королёв. 2020-112 с.

Дополнительная литература:

1. Космические траекторные измерения. Радиотехнические методы измерений и математическая обработка данных. /Коллектив авторов под ред. Агаджанова П.А., Дулевича В.Е., Коростелева А.А. - М.: Советское радио,1969.-504 с.
2. Радиосистемы управления, учебник для ВУЗов, под ред. В.А. Вейцеля.М.: Дрофа,2005. -411с
3. Чаплинский В.С. Релятивистские траекторные измерения. Монография. Королёв-2019. -235 с.

Рекомендуемая литература:

1. Космические траекторные измерения. Радиотехнические методы измерений и математическая обработка данных. /Коллектив авторов под ред. Агаджанова П.А., Дулевича В.Е., Коростелева А.А. - М.: Советское радио,1969. -504 с.
2. Основы радио-навигационных измерений/Под ред. Н.Ф.Клюева: Министерство обороны СССР, 1987.-430с.
3. Радиосистемы управления, учебник для ВУЗов, под ред. В.А. Вейцеля.М.: Дрофа,2005. -411с
4. Н.А. Кащеев. Радиотехнические средства управления космическими аппаратами: МИРЭА, 2005. -202с.
5. Кукушкин С.С., Гладков И.А., Чаплинский В.С. Методы и информационные технологии контроля состояний динамических систем. Москва. Минобороны, 2008. – 328 с.
6. Чаплинский В.С. Электронные тексты лекций по курсу.
7. Аверьянов А.П., Вокин Г.Г., Чаплинский В.С. В. Введение в ракетно-космическую технику Часть 1. Общие сведения. Космодромы. Наземные средства контроля и управления ракетами и космическими аппаратами: Учебное пособие. – королев МО: КИУЭС. – 2011. -238с.

8. Аверьянов А.П., Вокин Г.Г., Чаплинский В.С. В. Введение в ракетно-космическую технику Часть 2.: Учебное пособие. – Королев МО: КИУЭС. – 2012. -230с.
9. Информационные технологии в радиотехнических системах. И.Б.Федоров, [ред.]. Москва : 2004.- 768с. (Раздел 8; раздел 9).
10. Киселев А.И., Медведев А.А., Меньшиков В.А. Космонавтика на рубеже тысячелетий. Итоги и перспективы. - М.: Машиностроение,2001. - 672с.
11. Жданюк Б.Ф. Основы статистической обработки траекторных измерений. - М.: Советское радио,1978. -384 с.
12. Точность измерения параметров движения космических аппаратов радиотехническими методами/Под редакцией С.Д. Сильвестрова. - М.: Советское радио,1970. -312 с.
13. Сильвестров С.Д., Васильев В.В. Структура космических измерительных систем. - М.: Советское радио,1979. -224 с.

8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

Интернет-ресурсы:

<http://www.znanium.com/> - электронно-библиотечная система

<http://www.e.lanbook.com/> - ЭБС Издательства "ЛАНЬ"

<http://www.rucont.ru/> - электронно-библиотечная система

<http://www.biblioclub.ru/> -университетская библиотека онлайн

9. Перечень информационных технологий

Перечень программного обеспечения: MSOffice, VisSim.

Информационные справочные системы: *Электронные ресурсы образовательной среды Университета.*