



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ДВАЖДЫ ГЕРОЯ  
СОВЕТСКОГО СОЮЗА, ЛЕТЧИКА-КОСМОНАВТА А.А. ЛЕОНОВА»

«УТВЕРЖДАЮ»

И.о. проректора

\_\_\_\_\_ А.В. Троицкий

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 г.

**ИНСТИТУТ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ И  
ТЕХНОЛОГИЙ**

**КАФЕДРА ИНФОРМАЦИОННЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ**

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

**ДИСЦИПЛИНЫ**

**УПРАВЛЕНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В  
КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ (ПРОФИЛЬ 1 НИИ КС) (МОДУЛЬ):**

**СИСТЕМЫ ВНЕШНЕТРАЕКТОРНЫХ И ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ  
ИЗМЕРЕНИЙ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ И КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

**Направление подготовки:** 27.03.04 Управление в технических системах

**Профиль:** Информационные системы и средства управления технологическими процессами

**Уровень высшего образования:** бакалавриат

**Форма обучения:** очная

Королев  
2023

Рабочая программа является составной частью основной профессиональной образовательной программы и проходит рецензирование со стороны работодателей в составе основной профессиональной образовательной программы. Рабочая программа актуализируется и корректируется ежегодно.

**Автор: д.т.н., проф. Чаплинский В.С. Рабочая программа дисциплины: Управление и информационные технологии в космических системах (модуль): Системы внешнетраекторных и телеметрических измерений ракет-носителей и космических аппаратов. – Королев МО: «Технологический университет», 2023 г.**

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

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки бакалавров 27.03.04 «Управление в технических системах» и Учебного плана, утвержденного Ученым советом Технологического университета. Протокол № 9 от 11 апреля 2023 г.

**Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры:**

Заведующий кафедрой (ФИО, ученая степень, звание, подпись)	Артюшенко В.М. д.т.н. профессор 			
Год утверждения (переутверждения)	2023			
Номер и дата протокола заседания кафедры	№ 12 от 05.04.2023			

**Рабочая программа согласована:**

**Руководитель ОПОП ВО**



к.т.н., доц. Е.Н. Дмитренко

**Рабочая программа рекомендована на заседании УМС:**

Год утверждения (переутверждения)	2023			
Номер и дата протокола заседания УМС	№ 5 от 11. 04.2023			

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

**Целью** изучения дисциплины «Системы внешнетраекторных и телеметрических измерений ракет-носителей и космических аппаратов» 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**

- ПК-1 – Способен проводить исследования электронных средств и электронных систем БКУ АКА;
- ПК-7 – готовность к участию в работах по изготовлению, отладке и сдаче в эксплуатацию систем и средств автоматизации и управления.

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 необходимые знания:**

- Языки программирования и языки поведенческого описания; аналоговую и цифровую схемотехнику, дисциплины естественнонаучного и математического цикла в рамках основной профессиональной образовательной программы;
- Структуру декомпозиции работ

**необходимые умения:**

Осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, применяя современные, компьютерные и сетевые технологии.. Работать с современными системами автоматизированного проектирования и системами электронного документооборота.

- Осваивать новые образцы программных, технических и информационных технологий.

- Контролировать соблюдение требований контракта (договора), технического задания, проектной, рабочей документации для реализации проекта или программы в РКП

**трудовые действия:**

- Методами теоретических исследований электронных систем БКУ АКА.
- Навыками разработки рекомендаций и заключений по использованию результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ электронных средств и электронных систем БКУ АКА.
- Методами описания содержания проекта и декомпозиции работ проекта в РКП

## **2. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО**

Дисциплина Управление и информационные технологии в космических системах (профиль НИИ КС) (модуль): Системы внешнетраекторных и телеметрических измерений ракет-носителей и космических аппаратов относится к дисциплинам по выбору части, формируемой участниками образовательных отношений, основной образовательной программы подготовки бакалавров по направлению подготовки 27.03.04 «Управление в технических системах».

Изучение данной дисциплины базируется на ранее изученных дисциплинах: «Математическая логика и теория алгоритмов», «Теория вероятностей и математическая статистика», «Дифференциальные уравнения», «Вычислительные сети, системы и телекоммуникации», «Информационные технологии в профессиональной деятельности» и компетенциях: ОПК-1,3,4,6,7,8,11, ПК-1,7.

Основные положения дисциплины должны быть использованы в дальнейшем при выполнении 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.

<b>Виды занятий</b>	<b>Всего часов</b>	<b>Семестр шестой</b>
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>72</b>	<b>72</b>
<b>Аудиторные занятия</b>	<b>32</b>	<b>32</b>
Лекции (Л)	<b>16</b>	<b>16</b>
Практические занятия (ПЗ)	<b>16</b>	<b>16</b>
Лабораторные работы (ЛР)	-	-
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>40</b>	<b>40</b>
<b>Курсовые работы, проекты</b>	-	-
<b>Контрольная работа, домашнее задание</b>	+ -	+ -
<b>Текущий контроль знаний (7 - 8, 15 - 16 недели)</b>	<b>Тест</b>	<b>Тест</b>
<b>Вид итогового контроля</b>	<b>Зачет</b>	<b>Зачет</b>

## 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 автоматизированный комплекс управления космическими аппаратами.	2	2		ПК-1 ПК-7
Тема 2. Радиотехнические и квантово-оптические средства измерений текущих навигационных параметров космических аппаратов.	2	2	2	ПК-1 ПК-7
Тема 3. Определение требований к составу и точности навигационных измерений.	2	2		ПК-1
Тема 4. Релятивистские частотно-фазовые соотношения между параметрами сигналов.	2	2	2	ПК-1
Тема 5. Системы измерения скоростных навигационных параметров.	2	2	2	ПК-1 ПК-7
Тема 6. Принципы космической дальнометрии. Фазовые системы измерения дальности.	2	2	2	ПК-1 ПК-7
Тема 7. Импульсный метод измерения дальности.	2	2		ПК-1
Тема 8. Применение широкополосных сигналов в космической дальнометрии.	2	2		ПК-1 ПК-7
<b>Итого</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>8</b>	

## 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.

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

1. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.
2. Методические указания для обучающихся по выполнению контрольной работы.

### **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. Технические средства автоматизации и управления: Учебное пособие / О.В. Шишов. - М.: ИНФРА-М, 2021. - 397 с.: 60x90 1/16 + CD-ROM. - (Высшее образование). (переплет, cd rom) ISBN 978-5-16-005130-7  
<http://www.znaniium.com/catalog.php?bookinfo=242497>
2. Современные технологии и технические средства информатизации: Учебник / О.В. Шишов. - М.: НИЦ Инфра-М, 2021. - 462 с.: 60x90 1/16. - (Высшее образование). (переплет) ISBN 978-5-16-005369-1  
<http://www.znaniium.com/catalog.php?bookinfo=263337>

### **Дополнительная литература:**

1. [Конюх В.Л.](#) Проектирование автоматизированных систем производства: Учебное пособие / В.Л. Конюх. - М.: КУРС: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 312 с.: 60x90 1/16. (переплет) ISBN 978-5-905554-53-7. Режим доступа: <http://www.znaniium.com/catalog.php?bookinfo=449810>.
2. [Аверченков В. И.](#), Казаков Ю. М., Автоматизация проектирования технологических процессов: учебное пособие для вузов "Флинта", 2011 ISBN 978-5-9765-1265-8. <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=93235&sr=1>

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

1. Сайт «Научно-исследовательский институт космических систем (НИИ КС)» - <http://www.khrunichev.ru/main.php?id=81>
2. Официальный сайт открытого акционерного общества «Российская корпорация ракетно-космического приборостроения и информационных систем» - <http://www.spacecorp.ru/>

## **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: LibreOffice, VisSim.**

**Информационные справочные системы:** не предусмотрено курсом данной дисциплины.

Ресурсы информационно-образовательной среды «Технологического университета»:

Рабочая программа и методическое обеспечение по дисциплине «Системы внешнетраекторных и телеметрических измерений ракет-носителей и космических аппаратов».

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

### **Лекционные занятия:**

- аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран).
- комплект электронных презентаций / слайдов на темы лекций №1-12.

### **Практические занятия:**

- учебный класс, оснащенный вычислительной техникой (ПК), программами для компьютерного моделирования систем управления Multisim.
- рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет;
- рабочие места студентов, оснащенные компьютерами.

**Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации  
обучающихся по дисциплине**

***ИНСТИТУТ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ***

***КАФЕДРА ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ***

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ  
АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ  
« УПРАВЛЕНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В  
КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ (ПРОФИЛЬ 1 НИИ КС) (МОДУЛЬ):  
СИСТЕМЫ ВНЕШНЕТРАЕКТОРНЫХ И ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ  
ИЗМЕРЕНИЙ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ И КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ»**

**Направление подготовки:** 27.03.04 Управление в технических системах

**Профиль:** Информационные системы и средства управления технологическими процессами

**Уровень высшего образования:** бакалавриат

**Форма обучения:** очная

Королев  
2023

# 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:		
				необходимые знания	необходимые умения	трудовые действия
1.	ПК-1	способность проводить исследования электронных средств и электронных систем БКУ АКА	<p><b>Тема 1.</b> Наземный автоматизированный комплекс управления космическими аппаратами.</p> <p><b>Тема 2.</b> Радиотехническое и квантово-оптические средства измерений текущих навигационных параметров космических аппаратов.</p> <p><b>Тема 3.</b> Определение требований к составу и точности навигационных измерений.</p> <p><b>Тема 4.</b> Релятивистские частотно-фазовые соотношения между параметрами сигналов.</p> <p><b>Тема 5.</b> Системы измерения скоростных навигационных параметров.</p> <p><b>Тема 6.</b> Принципы космической дальнометрии. Фазовые системы измерения дальности.</p>	Языки программирования и языки поведенческого описания; аналоговую и цифровую схемотехнику, дисциплины естественнонаучного и математического цикла в рамках основной профессиональной образовательной программы	Осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, применяя современные, компьютерные и сетевые технологии.. Работать с современными системами автоматизированного проектирования и системами электронного документооборота. Осваивать новые образцы программных, технических и информационных технологий	Методами теоретических исследований электронных систем БКУ АКА. Навыками разработки рекомендаций и заключений по использованию результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ электронных средств и электронных систем БКУ АКА
2.	ПК-7	способность проводить работы по направлению проектной деятельности по проекту или программе РКП	<p><b>Тема 7.</b> Импульсный метод измерения дальности.</p> <p><b>Тема 8.</b> Применение широкополосны</p>	Структуру декомпозиции работ	Контролировать соблюдение требований контракта (договора), технического задания,	Методами описания содержания проекта и декомпозиции работ проекта в РКП

			х сигналов в космической дальнометрии.		проектной, рабочей документации для реализации проекта или программы в РКП.	
--	--	--	--	--	---	--

## 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-1	Письменное задание Решение задач по темам дисциплины	<p>А) полностью сформирована (компетенция освоена на высоком уровне) – 5 баллов</p> <p>Б) частично сформирована:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•компетенция освоена на продвинутом уровне – 4 балла;</li> <li>•компетенция освоена на базовом уровне – 3 балла;</li> </ul> <p>В) не сформирована (компетенция не освоена) – 2 и менее баллов</p>	<p>Проводится в письменной форме</p> <p>Критерии оценки:</p> <p>Время, отведенное на процедуру – 10 - 15 мин.</p> <p>Неявка – 0.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.Соответствие содержания отчёта заданию (1 балл).</li> <li>2.Полнота проведения расчётов и обоснований (2 балла).</li> <li>3.Владение информацией и способность отвечать на вопросы аудитории (1 балл).</li> <li>4.Качество самой представленной работы (1 балл).</li> </ol> <p>Максимальная сумма баллов - 5 баллов.</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-7	Реферат Выступление с докладом на практическом занятии	<p>А) полностью сформирована (компетенция освоена на высоком уровне) – 5 баллов</p> <p>Б) частично сформирована:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•компетенция освоена на продвинутом уровне – 4 балла;</li> <li>•компетенция освоена на базовом уровне – 3 балла;</li> </ul> <p>В) не сформирована (компетенция не освоена) – 2 и менее баллов</p>	<p>Проводится в письменной форме</p> <p>Критерии оценки:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.Соответствие содержания реферата заданной тематике (1 балл).</li> <li>2.Полнота изложения (2 балла).</li> <li>3. Качество оформления работы (1 балл).</li> <li>4. Владение информацией и способность отвечать на вопросы аудитории (1 балл).</li> </ol> <p>Максимальная сумма баллов - 5 баллов.</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>

### **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**

#### **Контрольное задание:**

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

Тематика письменных 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.

#### **Примерная тематика реферата:**

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 одна промежуточная аттестация в виде зачета в устной форме и контрольная работа в письменном виде.

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 учебному плану	Тестирование (защита письменных заданий)	<b>ПК-1, ПК-7</b>	Задания 1-11	Оформление отчётов по каждому заданию	Результаты тестирования предоставляются в день защиты письменных заданий	Критерии оценки определяются процентным соотношением. Не явка -0 Удовлетворительно - от 51% правильных ответов. Хорошо – от 61%. Отлично – от 81%.
Согласно учебному плану	Тестирование	<b>ПК-1, ПК-7</b>	Задания 1-12	Оформление отчётов по каждому заданию	Результаты тестирования предоставляются в день защиты письменных заданий	Критерии оценки определяются процентным соотношением. Не явка -0 Удовлетворительно - от 51% правильных ответов. Хорошо – от 61%. Отлично – от 81%. Максимальная оценка – 5 баллов.
Согласно учебному плану	Зачет	<b>ПК-1, ПК-7</b>	2 вопроса, 1 практическое задание	Зачет проводится в письменной форме путем ответа на вопросы и решения практического задания. Время отведенное на	Результаты предоставляются в день проведения зачета	Критерии оценки: « <b>Отлично</b> »: • знание основных понятий предмета; • умение использовать и применять полученные знания на практике; • работа на практических занятиях; • знание основных научных теорий, изучаемых предметов;

			процедуру – 0,35 часа на студента.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ответ на вопросы билета.</li> <li>«Хорошо»:</li> <li>• знание основных понятий предмета;</li> <li>• умение использовать и применять полученные знания на практике;</li> <li>• работа на практических занятиях;</li> <li>• знание основных научных теорий, изучаемых предметов;</li> <li>• ответы на вопросы билета</li> <li>• с ошибкой решено практическое задание</li> <li>«Удовлетворительно»:</li> <li>• демонстрирует частичные знания по темам дисциплин;</li> <li>• незнание неумение использовать и применять полученные знания на практике;</li> <li>• не работал на практических занятиях;</li> <li>«Неудовлетворительно»:</li> <li>• демонстрирует частичные знания по темам дисциплин;</li> <li>• незнание основных понятий предмета;</li> <li>• неумение использовать и применять полученные знания на практике;</li> <li>• не работал на практических занятиях;</li> <li>• не отвечает на вопросы.</li> </ul>
--	--	--	------------------------------------	--

Итоговое начисление баллов по дисциплине осуществляется в соответствии с разработанной и внедренной балльно-рейтинговой системой контроля и оценивания уровня знаний и внеучебной созидательной активности обучающихся.

#### 4.1. Типовые задания на тестирование

По дисциплине проводятся две текущие аттестации в виде защиты 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 (неделя текущего контроля 7-8).*

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 (неделя текущего контроля 15-16).*

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. Формирование текущей шкалы времени объекта-источника.
12. Радиальная псевдоскорость. Принцип определения скоростного параметра по частотным измерениям. Расчетный аналог псевдоскоростного навигационного параметра.
13. Радиальная скорость. Общее выражение навигационного параметра. Навигационный параметр для приемо-передающего пункта. Измерение частотного смещения.
14. Измерение доплеровского смещения частоты с использованием следящего фильтра ФАП.
15. Сущность многопутевых измерений скоростных навигационных параметров. Навигационные параметры.
16. Псевдодальность. Функционал для формирования навигационного параметра по полученным псевдодальностям. Расчетный аналог измерений.
17. Многопутевые измерения дальности. Дальность и суммарная псевдодальность. Суммарная псевдодальность ГИП-ЛА-ВИП.
18. Импульсный метод измерения дальности. Показатели качества.
19. Фазовый метод измерения дальности. Показатели качества. Многошкальные фазовые дальномерные системы.
20. Применение широкополосных сигналов в космической дальнометрии.

21. Методы измерения угловых координат КА. Радиотехнические угломерные системы.
22. Астрометрические угломерные системы.
23. Методика расчета энергетического потенциала космических радиолиний.
24. Методика расчета поправок в измерения дальности и углов места КА на распространение сигнала в тропосфере при заданных метеопараметрах.
25. Методика учета ионосферных поправок в измерения дальности и радиальной скорости в двухдиапазонных когерентных радиолиниях.
26. Формирование информационной посылки для дальномерной космической системы.
27. 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 ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ***  
***И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ***

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ  
ДИСЦИПЛИНЫ

**« УПРАВЛЕНИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В  
КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ (ПРОФИЛЬ 1 НИИ КС) (МОДУЛЬ):  
СИСТЕМЫ ВНЕШНЕТРАЕКТОРНЫХ И ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ  
ИЗМЕРЕНИЙ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ И КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ»**

**Направление подготовки:** 27.03.04 Управление в технических системах

**Профиль:** Информационные системы и средства управления технологическими процессами

**Уровень высшего образования:** бакалавриат

**Форма обучения:** очная

Королев  
2023

## 1. Общие положения

**Цель дисциплины:** 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.

### **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.

### **3. Указания по проведению лабораторного практикума**

Не предусмотрено учебным планом.

### **3. Указания по проведению практических занятий**

#### **Образовательные технологии:**

**Технологии формирования ключевых компетентностей; мозговой штурм, круглый стол.**

#### **Практическое занятие 1**

##### **1. Релятивистские частотно-фазовые соотношения между параметрами сигналов.**

###### *Учебные вопросы*

1. Понятие о скорости релятивистского смещения шкал времени разнесённых в пространстве объектов (задания 1.1, 1.2, 1.3)..
2. Упреждение релятивистского смещения шкал времени в космических навигационных системах типа ГЛОНАСС (задание 1.4, 1.5);
3. Релятивистское смещение шкал времени разнесённых наземных пунктов (задание 1.6);

4. Релятивистское смещение шкалы времени на космическом аппарате при приёме сигналов Глонавс (задание 1.7).

**Задание 1.1.** Вычислить скорость релятивистского смещения шкалы времени КА относительно наземного пункта с координатами  $r_k = 6371$  км и  $B=55$  град.с.ш. для КА на круговых орбитах с высотой  $H=400$  км,  $H=1000$  км,  $H=5000$  км,  $H=10000$  км,  $H=19100$  км (орбита КА Глонавс),  $H=30000$  км,  $H=35809$  км (ГСО). Принять при расчетах геоцентрическую постоянную  $\mu = 4.10^{14} \frac{M^3}{c^2}$ ;

$$\cos 55^\circ = 0,575 . \text{ Примечание: } \dot{r}_k^2 = \frac{\mu}{r_k} ; \varphi_k = \frac{-|\mu|}{r_k} .$$

**Задание 1.2.** По вычисленным значениям  $R_n^k$  построить график зависимости  $R_n^k(H)$ .

**Задание 1.3.** Вычислить высоту круговой орбиты КА, на которой значение  $R_n^k = 0$  при условии, что  $r_n = 6371$  км,  $B_n = 55^\circ$ .

**Задание 1.4.** Для скорости релятивистского смещения шкалы времени КА Глонавс относительно наземного пункта с координатами  $r_k = 6371$  км и  $B=55$  град.с.ш. определить величину поправки к частоте навигационного сигнала  $F = 1600$  МГц, при которой ход шкалы времени КА будет совпадать с ходом шкалы времени наземного пункта.

**Задание 1.5.** Определить допустимые погрешности априорной информации о геоцентрической скорости и о высоте орбиты КА Глонавс, при которых погрешность упреждения релятивистского смещения не вызовет соответствующее дополнительное смещение шкалы времени КА более 10 нс на интервале времени наземного синхронизатора  $T = 10^5 c$ . Принять погрешности расчета релятивистского смещения за счет погрешностей в геоцентрической скорости и модуле геоцентрического радиус - вектора КА примерно равными. Погрешностью расчета геоцентрической скорости и гравитационного потенциала наземного пункта пренебречь.

**Задание 1.6.** Вычислить релятивистское смещение шкал времени разнесенных наземных пунктов Щ ( $r_n = 6371200$  м.  $B = 55$  град с.ш.  $\cos 55^\circ = 0,575$ ) и У ( $r_n = 6371000$  м.  $B = 44$  град с.ш.  $\cos 44^\circ = 0,719$ ) и определить необходимость учета этого смещения при измерении суммарной псевдодальности КА относительно этих наземных пунктов при продолжительности мерного интервала  $T=100000$  секунд (примерно одни сутки), если аппаратная погрешность составляет 3 м при условии, чтобы погрешность, вносимая релятивистским смещением, не превышала 10% от аппаратной погрешности измерений. Если данное условие не выполняется, оценить допустимую погрешность априорной информации о геоцентрической высоте

наземных пунктов, чтобы обеспечить требуемую точность учета релятивистского смещения. Принять вклад погрешностей обеих пунктов одинаковым.

**Задание 1.7.** Вычислить релятивистское смещение шкалы времени КА Глонасс относительно орбитальной станции на круговой орбите с высотой 400 км, которое необходимо учитывать дополнительно при проведении навигационных измерений по навигационным сигналам КА Глонасс, в которые введено упреждение релятивистского смещения шкалы времени КА (относительно опорного наземного пункта).

#### *Основная литература*

Чаплинский В.С. Релятивистские частотно-фазовые соотношения между параметрами сигналов. Электронная версия лекции.

#### *Дополнительная литература*

**Чаплинский В.С. Практические задания по теме «Релятивистские частотно-фазовые соотношения между параметрами сигналов». Электронная версия.**

*Продолжительность занятия 2 часа*

## **Практическое занятие 2**

### **2. Системы измерения скоростных навигационных параметров.**

#### *Учебные вопросы*

Энергетические показатели измерительных каналов (задание 2.1. 2.4) и точность навигационных измерений в ГЛОНАСС (задания 2.2, 2.3).

**Задание 2.** Для навигационной радиолинии системы Глонасс ( $h_k = 19100$  км) с несущей частотой  $F_1 = 1600 \text{ МГц}$  (диапазона L1) при следующих установочных данных: мощность бортового передатчика  $P_{б1} = 35$  Вт (15 дБВт), коэффициент усиления бортовой антенны  $G_{б1} = 0,25$  (6дБ); коэффициент ослабления сигнала в атмосфере 0,625 (2 дБ), коэффициент усиления антенны наземного приемника  $G_{н1} = 2,0$  (3дБ), температура шума наземного приемника  $T_{нш} = 44\text{К}$ , угол места линии визирования КА  $\gamma = 5^\circ$  (дальность до КА  $L = 24,1$  тыс.км)

**2.1.** Рассчитать энергетические соотношения – мощность принимаемого сигнала

$P_{пр}$ , спектральную мощность шума  $P_{ш0}$ , отношение  $\frac{P_{пр}}{P_{ш0}}$ ;

**2.2.** Определить потенциальное значение СКО измерений радиальной псевдоскорости  $\sigma_{\dot{r}}$  для случая отсутствия модуляции несущего колебания (вся

мощность бортового передатчика на несущем колебании) при времени измерения  $T = 0,1$  сек;

**2.3.** Определить потенциальное значение СКО измерений радиальной псевдодальности  $\sigma_S$  для случая доли мощности модулирующей ПСП, равной  $0,5 P_{\sigma 1}$ , при тактовой частоте ПСП  $F_T = 0,511 \text{ МГц}$  и времени измерения (шаге съема отсчетов)  $T = 1$  сек;

**2.4.** Проверить, что при  $\gamma = 5^\circ$  дальность до КА составляет  $L = 24,1$  тыс.км.

#### *Основная литература*

Чаплинский В.С. Энергетические соотношения сигналов в космических измерительных системах. Электронная версия лекции..

#### *Дополнительная литература*

Чаплинский В.С. Практические задания по теме «Системы измерения скоростных навигационных параметров». Электронная версия.

*Продолжительность занятия 2 часа*

### **Практическое занятие 3**

#### **3. Радиальная псевдоскорость.**

##### *Учебные вопросы*

Коэффициент усиления радиолинии антенны наземного приемника  $G_{н1}$  навигационной радиолинии системы Глонасс для измерения радиальной псевдоскорости КА ГЛОНАСС с заданной точностью.

**Задание 3.1.** Определить требуемое для измерения радиальной псевдоскорости со средней квадратической погрешностью  $\sigma_S = 2,64 \text{ см/с}$  значение коэффициента усиления антенны наземного приемника

$G_{н1}$  навигационной радиолинии системы Глонасс ( $h_k = 19100$  км) с несущей частотой  $F_1 = 1600 \text{ МГц}$  (диапазона L1) при следующих установочных данных: мощность бортового передатчика  $P_{\sigma 1} = 35$  Вт (условно полагая, что измерение проводится при отсутствии модуляции навигационного сигнала и вся мощность затрачивается на сигнал несущей частоты), время приема сигнала при измерении  $T = 0,1$  сек; коэффициент усиления бортовой антенны  $G_{\sigma 1} = 0,25$ ; коэффициент ослабления сигнала в

атмосфере  $0,625$ , температура шума наземного приемника  $T_{\text{шум}} = 44 \text{ К}$ , угол места линии визирования КА  $\gamma = 5^\circ$  (дальность до КА  $L = 24,1$  тыс.км).

### *Основная литература*

Чаплинский В.С. Радиальная псевдоскорость. Электронная версия лекции.

### *Дополнительная литература*

Чаплинский В.С. Практические задания по теме «Радиальная псевдоскорость». Электронная версия.

*Продолжительность занятия 2 часа*

## **Практическое занятие 4**

### **4. Радиальная скорость**

#### *Учебные вопросы*

Технические параметры радиолинии для измерения радиальной скорости КА ГЛОНАСС с заданной точностью.

**Задание 4.1.** Рассчитать параметры радиолинии (диаметр наземной антенны  $d_n$  и мощность наземного передатчика  $P_n$ ) для измерения радиальной скорости КА системы Глонасс ( $h_k=19100$  км) с СКО  $\sigma\dot{L}=10^{-3}$  м/с при следующих установочных данных: несущая частота запроса  $f_n=5,7$  ГГц, ответа  $f_o=3,4$  ГГц; мощность бортового передатчика  $P_o=3$  Вт; коэффициент усиления бортовой антенны  $G_o=0,1$ ; температура шума наземного приемника  $T_{ниш}=70$  К, бортового приемника  $T_{буш}=400$  К; время приема сигнала при измерении  $T=2$  сек; угол места линии визирования КА  $\gamma=5^\circ$  (дальность до КА  $L=24,1$  тыс.км); погрешность априорных данных о радиальной скорости  $\delta\tilde{L}=10$  м/с;  $\frac{\delta f}{f}=10^{-9}$ ; мощность сигнала на несущей частоте равна 0,15 общей мощности бортового и наземного передатчиков. Принять коэффициент запаса  $\kappa_{зан}=10$ .

### *Основная литература*

Чаплинский В.С. Радиальная скорость. Электронная версия лекции.

### *Дополнительная литература*

Чаплинский В.С. Практические задания по теме «Радиальная скорость». Электронная версия.

*Продолжительность занятия 2 часа*

## **Практическое занятие 5**

### **5. Импульсный метод измерения дальности.**

### *Учебные вопросы*

Параметры многошкальной импульсной дальномерной системы, обеспечивающей требуемую точность измерений дальности до КА при высоте орбиты 10 тыс.км.

**Задание 5.1.** Определить технические параметры импульсной дальномерной системы, предназначенной для траекторных измерений КА на околокруговых орбитах со средней высотой до 10 тыс.км : длительность зондирующих импульсов  $\tau_c$ , период повторения импульсных сигналов  $T_c$ , число импульсов  $m$ , принимаемых в пачке, период повторения маркированных импульсов  $T$ , диаметр наземной параболической антенны  $d_A$ , мощность наземного передатчика  $P_H$  при следующих исходных данных: средняя мощность бортового передатчика  $P_\sigma = 3\text{Вт}$ ; коэффициент усиления бортовой антенны  $G_\sigma = 0,1$ ; среднеквадратическая погрешность измерений  $\sigma L \leq 3\text{м}$ ; максимальная погрешность априорной информации о дальности  $\delta \tilde{L} = 100\text{км}$ . Частота радиолинии 2,3 ГГц. Минимальный угол места наземной антенны при измерении  $\gamma = 5$  град.

Принять эффективную шумовую температуру бортового приемника  $T_{шб} = 900^\circ\text{К}$ , наземного приемника  $T_{шн} = 285^\circ\text{К}$ , относительное значение СКО измерений

$$\frac{\sigma \tau_c}{\tau_c} = 0,02.$$

#### *Основная литература*

1. Основы радио-навигационных измерений/Под ред. Н.Ф.Клюева. : Министерство обороны СССР, 1987.-430с.
2. Чаплинский В.С. Импульсный метод измерения дальности до космических объектов. Электронная версия лекции..

#### *Дополнительная литература*

Чаплинский В.С. Практические задания по теме «Импульсный метод измерения дальности до космических объектов». Электронная версия.

*Продолжительность занятия 2 часа*

## **Практическое занятие 6**

### **6. Фазовый метод измерения дальности.**

#### *Учебные вопросы*

Параметры многошкальной фазовой системы с кратными измерительными частотами, обеспечивающей требуемую точность измерений дальности до КА при высоте орбиты 10 тыс.км. (задание 6.1) и до КА на околокруговых орбитах от

низких со средней высотой от 200 км до геостационарных со средней высотой 35809 км( задание 6.2).

**Задание 6.1.** Определить технические параметры многошкальной фазовой дальномерной системы с кратными измерительными частотами, предназначенной для траекторных измерений КА на околокруговых орбитах со средней высотой до 10 тыс.км : состав и номинальные значения измерительных частот, диаметр наземной параболической антенны  $d_A$ , мощность наземного передатчика  $P_H$  при следующих исходных данных: мощность бортового передатчика  $P_б = 3\text{Вт}$ ; коэффициент усиления бортовой антенны  $G_б = 0,1$ ; среднеквадратическая погрешность измерений  $\sigma L \leq 3\text{м}$ ; максимальная погрешность априорной информации о дальности  $\delta \tilde{L} = 100\text{км}$ . Несущая частота радиолинии запроса 2,1 ГГц, ответа 2, 3 ГГц. Минимальный угол места наземной антенны при измерении  $\gamma = 5$  град.

Принять эффективную шумовую температуру бортового приемника  $T_{шб} = 900^\circ\text{К}$ , наземного приемника  $T_{шн} = 285^\circ\text{К}$ ; мощность сигнала на несущей частоте, равную 0,15 от общей мощности передатчиков радиолиний; относительное значение СКО фазовых измерений  $\frac{\sigma\phi}{2\pi} = 0,02$ , масштабное соотношение измерительных шкал  $m = 4$ ; относительную стабильность частот  $\frac{\delta f}{f} \leq 10^{-8}$ , максимальное значение радиальной скорости 7км/с.

**Задание 6.2.** Определить технические параметры многошкальной фазовой дальномерной системы с кратными измерительными частотами, предназначенной для траекторных измерений КА на околокруговых орбитах от низких (со средней высотой от 200 км) до геостационарных (средняя высота 35809 км): состав и номинальные значения измерительных частот, диаметр наземной параболической антенны  $d_A$ , мощность наземного передатчика  $P_H$  при следую -  
щих исходных данных: мощность бортового передатчика  $P_б = 5\text{Вт}$ ; коэффициент усиления бортовой антенны  $G_б = 0,1$ ; среднеквадратическая погрешность измерений  $\sigma L \leq 3\text{м}$ ; максимальная погрешность априорной информации о дальности  $\delta \tilde{L} = 150\text{км}$ . Несущая частота радиолинии запроса 2,1 ГГц, ответа 2, 3 ГГц. Минимальный угол места наземной антенны при измерении  $\gamma = 5$  град.  
Принять эффективную шумовую температуру бортового приемника  $T_{шб} = 900^\circ\text{К}$ , наземного приемника  $T_{шн} = 285^\circ\text{К}$ ; мощность сигнала на несущей частоте, равную 0,2 от общей мощности передатчиков радиолиний; относительное значение СКО

фазовых измерений  $\frac{\sigma\phi}{2\pi} = 0,02$ , масштабное соотношение измерительных шкал

$m = 4$ ; относительную стабильность частот  $\frac{\delta f}{f} \geq 10^{-8}$ .

#### *Основная литература*

1. Основы радио-навигационных измерений/Под ред. Н.Ф.Клюева. : Министерство обороны СССР, 1987.-430с.

2. Чаплинский В.С. Фазовый метод измерения дальности до космических объектов. Электронная версия лекции..

#### *Дополнительная литература*

Чаплинский В.С. Практические задания по теме «Фазовый метод измерения дальности до космических объектов». Электронная версия.

*Продолжительность занятия 2 часа*

### **Практическое занятие 7**

#### **7. Применение широкополосных сигналов в космической дальнометрии.**

##### *Учебные вопросы*

Параметры псевдошумовой дальномерной системы, обеспечивающей требуемую точность измерений дальности до КА при высоте орбиты 10 тыс.км. (задание 7.1) и до КА на околокруговых орбитах от низких - со средней высотой от 200 км до геостационарных - средняя высота 35809 км (задание 7.2).

**Задание 7.1.** Определить технические параметры псевдошумовой дальномерной системы, предназначенной для траекторных измерений КА на околокруговых орбитах со средней высотой  $h$  до 10 тыс.км : номинальное значение тактовой частоты  $F_T$ , необходимое количество триггеров в регистре сдвига  $M$  и период  $T_{ПСП}$  повторения ПСП, диаметр наземной параболической

антенны  $d_A$ , мощность наземного передатчика  $P_H$

при следующих исходных данных: мощность бортового передатчика  $P_b = 3\text{Вт}$ ;

коэффициент усиления бортовой антенны  $G_b = 0,1$ ; мощность сигнала на несущей частоте, равную 0,15 от общей мощности передатчиков радиолиний;

среднеквадратическая погрешность измерений  $\sigma L \leq 3\text{м}$ ; максимальная

погрешность априорной информации о дальности  $\delta \tilde{L} = 100\text{км}$ . Несущая частота радиолинии запроса 2,1 ГГц, ответа 2,3 ГГц. Минимальный угол места наземной антенны при измерении  $\gamma = 5$  град.

Принять эффективную шумовую температуру бортового приемника  $T_{шб} = 900^\circ K$ , наземного приемника  $T_{шн} = 285^\circ K$ , относительное значение СКО измерений  $\frac{\sigma L}{cF_T} = 0,02$ .

**Задание 7.2.** Определить технические параметры псевдошумовой дальномерной системы, предназначенной для траекторных измерений КА на околокруговых орбитах от низких (со средней высотой от 200 км) до геостационарных (средняя высота 35809 км): номинальное значение тактовой частоты  $F_T$ , необходимое количество триггеров в регистре сдвига  $M$  и период  $T_{ПСП}$  повторения ПСП, диаметр наземной параболической антенны  $d_A$ , мощность наземного передатчика  $P_H$  при следующих исходных данных: мощность бортового передатчика  $P_b = 5\text{Вт}$ ; коэффициент усиления бортовой антенны  $G_b = 0,1$ ; мощность сигнала на несущей частоте, равную 0,2 от общей мощности передатчиков радиолиний; среднеквадратическая погрешность измерений  $\sigma L \leq 3\text{м}$ ; максимальная погрешность априорной информации о дальности  $\delta \tilde{L} = 150\text{км}$ . Несущая частота радиолинии запроса 2,1 ГГц, ответа 2, 3 ГГц. Минимальный угол места наземной антенны при измерении  $\gamma = 5$  град. Принять эффективную шумовую температуру бортового приемника  $T_{шб} = 900^\circ K$ , наземного приемника  $T_{шн} = 285^\circ K$ , относительное значение СКО измерений  $\frac{\sigma L}{cF_T} = 0,02$ .

#### *Основная литература*

1. Радиосистемы управления, учебник для ВУЗов, под ред. В.А. Вейцеля. М.: Дрофа, 2005. - 411 с
2. Чаплинский В.С. Применение широкополосных сигналов в космической дальнометрии. Электронная версия лекции..

#### *Дополнительная литература*

Чаплинский В.С. Практические задания по теме «Применение широкополосных сигналов в космической дальнометрии». Электронная версия.

*Продолжительность занятия 2 часа*

## **Практическое занятие 8**

### **8. Методы измерения угловых координат КА**

#### *Учебные вопросы*

Технические параметры многошкальной фазовой угломерной системы, предназначенной для траекторных измерений КА на геостационарных орбитах.

**Задание 8.1.** Определить технические параметры многошкальной фазовой угломерной системы, предназначенной для траекторных измерений КА на геостационарных орбитах: состав и номинальные значения угломерных баз, диаметр наземных параболических антенны  $d_A$ , при следующих исходных данных: мощность бортового передатчика  $P_б = 3\text{Вт}$ ; коэффициент усиления бортовой антенны  $G_б = 0,1$ ; среднеквадратическая погрешность измерений  $\sigma_{\text{Cos}\theta} \leq 2 \cdot 10^{-5}$ ; максимальная погрешность априорной информации о направляющем косинусе  $\delta \tilde{\text{Cos}\theta} = 3 \cdot 10^{-3}$ . Несущая частота радиолинии 2, 3 ГГц. Минимальный угол места наземной антенны при измерении  $\gamma = 5$  град. Принять эффективную шумовую температуру наземного приемника  $T_{шб} = 320^\circ \text{K}$ ; мощность сигнала на несущей частоте, равную 0,5 от общей мощности бортового передатчика радиолинии; относительное значение СКО фазовых измерений  $\frac{\sigma_\phi}{2\pi} = 0,01$ , масштабное соотношение измерительных баз  $m = 4$ ; относительную стабильность частот  $\frac{\delta f}{f} \leq 10^{-8}$ .

*Примечание:* связь энергетики радиолинии и технических параметров угломерной системы

$$\sigma_{\text{cos}\theta}^2 = \frac{1}{\frac{2\mathcal{E}_{np}}{P_{ш0}} \left(2\pi \frac{B_{ск}}{\lambda}\right)^2}, \text{ где эквивалентная длина базы } B_{ск} = 0,3B.$$

#### *Основная литература*

1. Основы радио-навигационных измерений/Под ред. Н.Ф.Клюева. : Министерство обороны СССР, 1987.-430с.

2. Чаплинский В.С. Методы измерения угловых координат КА. Электронная версия лекции.

#### *Дополнительная литература*

Чаплинский В.С. Практические задания по теме «Методы измерения угловых координат КА». Электронная версия.

*Продолжительность занятия 2 часа*

### **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 и телеметрических измерений ракет-носителей и космических аппаратов;

2) самостоятельно выполнить домашнее задание (задачу по варианту) в соответствии с графиком;

3) овладеть навыками самостоятельной работы с библиографическими и электронными источниками.

Задачи, выносимые на самостоятельное изучение, представлены в таблице 1.

Таблица 1

№ п/п	Наименование блока (раздела) дисциплины	Виды СРС
1.	Тема 1. Наземный автоматизированный комплекс управления	<b><i>Подготовка докладов по темам:</i></b> 1. Командно - измерительные системы. 2. Ретрансляционный контур управления.
2.	Тема 2. Радиотехнические и квантово-оптические средства измерений текущих навигационных параметров космических аппаратов	<b><i>Подготовка рефератов по темам:</i></b> 1. Назначение средств измерений текущих навигационных параметров. 2. Классификация средств ИТНП по точности измерений. 3. Радиальная псевдоскорость КА. Радиальная скорость КА.
3.	Тема 3. Определение требований к составу и точности навигационных измерений	<b><i>Подготовка докладов по темам:</i></b> 1. Требования к навигационным измерениям. Выбор состава навигационных измерений. 2. Методические основы определения требуемой точности навигационных измерений. 3. Направления совершенствования средств навигационных измерений.

4	Тема 4. Релятивистские частотно-фазовые соотношения между параметрами сигналов. Радиальная псевдоскорость	<b><i>Подготовка рефератов по темам:</i></b> 1. Связь собственного времени источника колебаний с координатным временем. 2. Формирование текущей шкалы времени объекта-источника.
5.	Тема 5. Системы измерения скоростных навигационных параметров	<b><i>Подготовка докладов по темам:</i></b> 1. Скоростные параметры радиолинии. 2. Навигационный параметр для приемо-передающего пункта.
6.	Тема 6. Принципы космической дальнометрии. Фазовые системы измерения дальности	<b><i>Подготовка рефератов по темам:</i></b> 1. Принципы измерения дальности до космических объектов. Многошкальные системы. 2. Типовая структура дальномерной системы.
7.	Тема 7. Импульсный метод измерения дальности	<b><i>Подготовка докладов по темам:</i></b> 1. Импульсная дальномерная система. 2. Обеспечение одновременных измерений группой наземных станций.
8.	Тема 8. Применение широкополосных сигналов в космической дальнометрии	<b><i>Подготовка рефератов по темам:</i></b> 1. Свойства псевдошумовых дальномерных последовательностей (ПСП).

## 5. Указания по проведению контрольных работ

### 5.1. Требования к структуре

Структура контрольной работы должна способствовать раскрытию темы: иметь титульный лист, содержание, введение, основную часть, заключение, список литературы.

### 5.2. Требования к содержанию

5.2.1. Во введении обосновывается актуальность темы, определяется цель работы, задачи и методы исследования.

5.2.2. При определении целей и задач исследования необходимо правильно их формулировать. Так, в качестве цели не следует употреблять глагол «сделать». Правильно будет использовать глаголы: «раскрыть», «определить», «установить», «показать», «выявить» и т.д.

5.2.3. Основная часть работы включает вопросы, каждый из которых посвящается решению задач, сформулированных во введении, и заканчивается констатацией итогов.

5.2.4. Приветствуется иллюстрация содержания работы таблицами, графическим материалом (рисунками, схемами и т.п.).

5.2.5. Необходимо давать ссылки на используемую Вами литературу.

5.2.6. Заключение должно содержать сделанные автором работы выводы, итоги исследования.

5.2.7. Вслед за заключением идет список литературы, который должен быть составлен в соответствии с установленными требованиями. Если в работе имеются приложения, они оформляются на отдельных листах, и должны быть соответственно пронумерованы.

### 5.3. Требования к оформлению.

Объём контрольной работы – 5...10 страниц формата А4, напечатанного с одной стороны текста (1,5 интервал, шрифт Times New Roman). Контрольная работа должна быть также представлена в электронном виде.

## Контрольная работа 1

### По темам 1-4.

Продолжительность проведения контрольной работы 2 часа (неделя текущего контроля 7-8).

**Задание 1.** Вычислить скорость релятивистского смещения шкалы времени КА относительно наземного пункта с координатами  $r_k = 6371$  км и  $B=55$  град.с.ш. для КА на круговых орбитах с высотой  $H=400$  км,  $H=1000$  км,  $H=5000$  км,  $H=10000$  км,  $H=19100$  км (орбита КА Глонасс),  $H=30000$  км,  $H=35809$  км (ГСО). Принять при расчетах геоцентрическую постоянную  $\mu=410^4 \frac{M^3}{c^2}$ ;

$\cos \delta = 0,57$ . Примечание:  $\dot{r}_k^2 = \frac{\mu}{r_k}$ ;  $\varphi_k = \frac{-|\mu|}{r_k}$ .

**Задание 2.** Для навигационной радиолнии системы Глонасс ( $h_k=19100$  км) с несущей частотой  $F_1=16000$  (диапазона L1) при следующих установочных данных: мощность бортового передатчика  $P_{\text{от}}=35$  Вт (15 дБВт), коэффициент усиления бортовой антенны  $G_{\text{от}} = 0,25$  (6дБ); коэффициент ослабления сигнала в атмосфере 0,625 (2 дБ), коэффициент усиления антенны наземного приемника  $G_{\text{пр}} = 2,0$  (3дБ), температура шума наземного приемника

$T_{\text{шш}}=44\text{К}$ , угол места линии визирования КА  $\gamma = 5^\circ$  (дальность до КА  $L = 24,1$  тыс.км)

Рассчитать энергетические соотношения – мощность принимаемого сигнала  $P_{\text{пр}}$ , спектральную мощность шума  $P_{\text{ш0}}$ , отношение  $\frac{P_{\text{пр}}}{P_{\text{ш0}}}$ ;

## Контрольная работа 2

**По темам 4-8.**

Продолжительность проведения контрольной работы 2 часа(неделя текущего контроля 15-16).

**Задание 1.** Определить требуемое для измерения радиальной псевдоскорости со средней квадратической погрешностью  $\tilde{\delta}=264\text{м}$  значение коэффициента усиления антенны наземного приемника  $G_{\text{н1}}$  навигационной радиолинии системы Глонасс ( $h_k=19100$  км) с несущей частотой  $F_1=1600\text{МГц}$  (диапазона L1) при следующих установочных данных: мощность бортового передатчика  $P_{\text{б1}}=35$  Вт (условно полагая, что измерение проводится при отсутствии модуляции навигационного сигнала и вся мощность затрачивается на сигнал несущей частоты), время приема сигнала при измерении  $T=0,1$  сек; коэффициент усиления бортовой антенны  $G_{\text{б1}} = 0,25$ ; коэффициент ослабления сигнала в атмосфере  $0,625$ , температура шума наземного приемника  $T_{\text{шш}}=44\text{К}$ , угол места линии визирования КА  $\gamma = 5^\circ$  (дальность до КА  $L = 24,1$  тыс.км).

**Задание 2.** Рассчитать параметры радиолинии (диаметр наземной антенны  $d_n$  и мощность наземного передатчика  $P_n$ ) для измерения радиальной скорости КА системы Глонасс ( $h_k=19100$  км) с СКО  $\tilde{\delta}=10\text{м/с}$  при следующих установочных данных: несущая частота запроса  $f_n=57\text{МГц}$ , ответа  $f_o=34\text{МГц}$ ; мощность бортового передатчика  $P_o=3$  Вт; коэффициент усиления бортовой антенны  $G_o = 0,1$ ; температура шума наземного приемника  $T_{\text{шш}}=70\text{К}$ , бортового приемника  $T_{\text{бш}}=400\text{К}$ ; время приема сигнала при измерении  $T=2$  сек; угол места линии визирования КА  $\gamma = 5^\circ$  (дальность до КА  $L= 24,1$  тыс.км); погрешность априорных данных о радиальной скорости  $\tilde{\delta}=10\text{м/с}$ ;  $\frac{\delta}{f}=10^{-9}$ ; мощность сигнала на несущей частоте равна  $0,15$  общей мощности бортового и наземного передатчиков. Принять коэффициент запаса  $\kappa_{\text{зан}}=10$

эллипсоидом 171 м.

Справочные данные приведены в таблице.

$\gamma^\circ$	sin	$\sin^2$	cos	$\cos^2$
0	0	0	1	1
7	0,1219	0,0149	0,9925	0,9857
30,7	0,5105	0,2607	0,8599	0,7394
61	0,8746	0,7650	0,4848	0,3709

## 6. Указания по проведению курсовых работ

Не предусмотрено учебным планом.

## 7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

### Основная литература:

1. Технические средства автоматизации и управления: Учебное пособие / О.В. Шишов. - М.: ИНФРА-М, 2021. - 397 с.: 60x90 1/16 + CD-ROM. - (Высшее образование). (переплет, cd rom) ISBN 978-5-16-005130-7  
<http://www.znaniyum.com/catalog.php?bookinfo=242497>
2. Современные технологии и технические средства информатизации: Учебник / О.В. Шишов. - М.: НИЦ Инфра-М, 2021. - 462 с.: 60x90 1/16. - (Высшее образование). (переплет) ISBN 978-5-16-005369-1  
<http://www.znaniyum.com/catalog.php?bookinfo=263337>

### Дополнительная литература:

1. [Конюх В.Л.](#) Проектирование автоматизированных систем производства: Учебное пособие / В.Л. Конюх. - М.: КУРС: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 312 с.: 60x90 1/16. (переплет) ISBN 978-5-905554-53-7. Режим доступа: <http://www.znaniyum.com/catalog.php?bookinfo=449810>.
2. [Аверченков В. И.](#), Казаков Ю. М., Автоматизация проектирования технологических процессов: учебное пособие для вузов "Флинта", 2011 ISBN 978-5-9765-1265-8.  
<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=93235&sr=1>

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

### Интернет-ресурсы:

1. Сайт «Научно-исследовательский институт космических систем (НИИ КС)» - <http://www.khrunichev.ru/main.php?id=81>
2. Официальный сайт открытого акционерного общества «Российская корпорация ракетно-космического приборостроения и информационных систем» - <http://www.spacecorp.ru/>

## **9. Перечень информационных технологий**

**Перечень программного обеспечения: LibreOffice VisSim.**

**Информационные справочные системы:** не предусмотрено курсом данной дисциплины.

**Ресурсы информационно-образовательной среды «Технологического университета»:**

Рабочая программа и методическое обеспечение по дисциплине «Системы внешнетраекторных и телеметрических измерений ракет-носителей и космических аппаратов».