

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Ордена Трудового Красного Знамени  
Институт солнечно-земной физики  
Сибирского отделения Российской академии наук  
(ИСЗФ СО РАН)

УТВЕРЖДАЮ:  
Директор ИСЗФ СО РАН

чл.-корр. РАН \_\_\_\_\_ А.В. Медведев  
« 15 » мая 2023 г.

### **Рабочая программа дисциплины**

#### **Д.Ф.3 Спутниковые системы навигации**

**Научная специальность 1.6.18. Науки об атмосфере и климате**

Иркутск 2023

РАБОЧУЮ ПРОГРАММУ разработал кандидат физико-математических наук	Ясюкевич Ю.В.
---	---------------

## **1. Место и роль дисциплины (модуля) в структуре ОПОП**

Дисциплина «Спутниковые системы навигации» входит в образовательный компонент основной профессиональной образовательной программы по научной специальности 1.6.18. Науки об атмосфере и климате.

Дисциплина является факультативной для обучающихся в аспирантуре по научной специальности 1.6.18. Науки об атмосфере и климате.

Знания и умения, приобретаемые аспирантами после изучения дисциплины, будут использоваться для решения научных задач на этапе получения и обработки экспериментального материала, и направлены на подготовку к сдаче кандидатского экзамена и к дальнейшей научной работе.

## **2. Цели и задачи дисциплины (модуля)**

Целью дисциплины «Спутниковые системы навигации» является получение фундаментальных знаний и возможности их использования в процессе дальнейшего обучения, при прохождении практик, написания научных работ, в своей научной и педагогической деятельности.

Задачами дисциплины «Спутниковые системы навигации» является:

- освоение современных методов решения задач дистанционного зондирования окружающей среды;
- развитие навыков использования универсального радиофизического метода для решения обратных задач в различных разделах физики;
- приобретение практического опыта построения высокотехнологичных технических систем;
- сбор, обработка, анализ и систематизация научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта в сфере радиофизики;
- приобретение опыта подготовки научно-технических отчётов, обзоров, публикаций по результатам выполненных исследований;
- освоение новых теорий и моделей;
- математическое моделирование процессов и объектов;
- проведение экспериментов по заданной методике, составление описания проводимых исследований;
- обработка полученных результатов на современном уровне и их анализ.

### 3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля)

#### Знать:

- Принципы организации современных систем спутниковой навигации.
- Основные методы изучения ионосферы с использованием спутниковых систем навигации.
- Методы формирования радиосигналов, используемых в спутниковых системах навигации.
- Факторы, определяющие качество функционирования спутниковой навигации.

#### Уметь:

- Осуществлять постановку эксперимента с использованием спутниковых систем навигации.
- Пользоваться данными спутниковых систем и данными, содержащимися в базах данных и Интернет для решения научных задач.
- Осуществлять фильтрацию данных различного типа.
- Выявлять артефакты обработки данных.

#### Владеть:

- Различными методами исследования ОКП на основе спутниковых систем навигации.
- Основными понятиями, связанными с мониторингом околоземного космического пространства с использованием спутниковых систем навигации.
- Математическим аппаратом для решения прямой задачи оценки радионавигационных параметров сигнала.
- Методами пространственного анализа ионосферных данных.

### 4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы/ 144 часа.

Вид учебной работы	Всего часов / зачетных единиц
<b>Аудиторные занятия</b> (всего)	<b>36/1</b>
В том числе:	
Лекции	36/1
Семинары	
<b>Самостоятельная работа</b> (всего)	<b>108/3</b>
Вид промежуточной аттестации (зачет, экзамен)	зачет
<b>Контактная работа</b> (всего)	<b>36/1</b>
<b>Общая трудоёмкость</b> (часы/зачетные единицы)	<b>144/4</b>

## 5. Содержание дисциплины (модуля)

### 5.1. Содержание разделов и темы дисциплины (модуля)

#### Раздел 1. Построение глобальных навигационных спутниковых систем

Тема 1. Состав и структура спутниковых навигационных систем.

Основные технические характеристики (рабочие частоты, параметры орбиты). Системы координат. Системы времени. Требования к точности определения координат.

Тема 2. Радионавигационный план GPS и ГЛОНАСС.

Основные документы. Кодовое и частотное разделение каналов. Псевдослучайные последовательности. Фазовая манипуляция. Радионавигационный план (РНП) ГЛОНАСС. Дальномерные коды ГЛОНАСС. Навигационное сообщение ГЛОНАСС. РНП GPS. Дальномерные коды GPS. Навигационное сообщение GPS

Тема 3. Измерение радиофизических параметров в приемниках сигналов СРНС.

Поиск сигналов по задержке и частоте. Слежение за фазой. Слежение за задержкой.

Тема 4. Измерения радиофизических параметров в условиях неизвестного дальномерного кода.

Квадратичная обработка (squaring technique). Корреляционная обработка (squaring technique). Комбинированная обработка (Code correlation plus squaring technique). Z-tracking.

Тема 5. Решение навигационной задачи.

Общие понятия. Дальномерный методы. Псевдодальномерный метод. Разностный псевдодальномерный метод. Доплеровский метод. Линеаризация. Метод наименьших квадратов. Разностные методы. Устранение фазовой неоднозначности. Модели ионосферы. Модели нейтральной атмосферы. Системы дифференциальной коррекции. Особенности Real-time-kinematic (RTK).

Тема 6. Источники погрешностей и точность навигационно-временных определений в СРНС.

Ошибки первичной обработки. Ошибки вторичной обработки. Геометрический фактор. Ухудшение точности позиционирования во время возмущений ОКП

#### Раздел 2. Использование СРНС для изучения ОКП

Тема 1. Полное электронное содержание ионосферы и его влияние на СРНС.

Формула Эпплтона. Определение полного электронного содержания с использованием фазовых и групповых измерений. Оценки абсолютного ПЭС. Эффекты 1го и 2го порядка на точность определения координат.

Тема 2. Методы исследования ионосферных возмущений на основе данных СРНС.

Особенности измерения полного электронного содержания в GPS и ГЛОНАСС. Фильтрация данных ПЭС. Интерферометрия ионосферных неоднородностей. Метод D1-GPS. Метод SADM-GPS. Картирование ионосферных неоднородностей.

Тема 3. Экспериментальные результаты детектирования ионосферных неоднородностей.

Классификация ионосферных возмущений. Отклик ионосферы на землетрясения, запуски ракет, промышленные взрывы. Отклик ионосферы на солнечный терминатор и на солнечное затмение. Отклик ионосферы на магнитную бурю. Отклик ионосферы на действие тропических циклонов. Крупномасштабные магнитоориентированные неоднородности.

Тема 4. Глобальные и региональные ионосферные карты.

Карты полного электронного содержания GIM. Ассимиляционные физические модели. Глобальное электронное содержание. Климатология ионосферы.

Тема 5. Томография ионосферы с использованием навигационных систем.

Низкоорбитальная 2D-радиотомография. Высокоорбитальная 4D-радиотомография

Тема 6. Развитие СРНС и их применения.

Методика оценки содержания водяных паров в атмосфере. Перспективы развития ВО СРНС: Региональные навигационные системы, навигационная система Beidou/Compass, Навигационная система Galileo. Фазовые и амплитудные мерцания

### 5.2. Разделы дисциплины (модуля) и виды занятий

№	Раздел	Всего часов	Аудиторные занятия		СРС	Форма контроля
			Лекции	Практические занятия		
1	Построение глобальных навигационных спутниковых систем	88	18		70	зачет
2	Использование СРНС для изучения ОКП	56	18		38	зачет
<b>Итого (часы)</b>		144	36		108	зачет
<b>Итого (з.е.)</b>		<b>4</b>	<b>1</b>		<b>3</b>	

### 5.3. Разделы и темы дисциплины (модуля) и междисциплинарные связи

№ п/п	Наименование обеспечиваемых (последующих) дисциплин и практик	№ № разделов и/или тем данной дисциплины, необходимых для изучения обеспечиваемых (последующих) дисциплин
1	Исследовательская практика	Р.1, Т. 1-6; Р. 2, Т. 1-3, 6

#### 5.4. Перечень лекционных занятий

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование используемых технологий	Трудоемкость (часы)	Оценочные средства
1.	Тема 1. Состав и структура спутниковых навигационных систем.	лекция	3	устный опрос
2.	Тема 2. Радионавигационный план GPS и ГЛОНАСС	лекция	3	устный опрос
3.	Тема 3. Измерение радиофизических параметров в приемниках сигналов СРНС	лекция	3	устный опрос
4.	Тема 4. Измерения радиофизических параметров в условиях неизвестного дальномерного кода.	лекция	3	устный опрос
5.	Тема 5. Решение навигационной задачи.	лекция	3	устный опрос
6.	Тема 6. Источники погрешностей и точность навигационно-временных определений в СРНС.	лекция	3	устный опрос
7.	Тема 1. Полное электронное содержание ионосферы и его влияние на СРНС.	лекция	3	устный опрос
8.	Тема 2. Методы исследования ионосферных возмущений на основе данных СРНС	лекция	3	устный опрос
9.	Тема 3. Экспериментальные результаты детектирования ионосферных неоднородностей.	лекция	3	устный опрос
10.	Тема 4. Глобальные и региональные ионосферные карты.	лекция	3	устный опрос
11.	Тема 5. Томография ионосферы с использованием навигационных систем	лекция	3	устный опрос
12.	Тема 6. Развитие СРНС и их применения.	лекция	3	устный опрос

#### 5.5. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ

Данный вид занятий не предусмотрен

### 5.6. Перечень и содержание самостоятельной работы

Раздел	Тема	Вид самостоятельной работы	Рекомендуемая литература	Всего часов
1	Состав и структура спутниковых навигационных систем	Экспериментальный анализ наблюдаемости спутников GPS/ГЛОНАСС	основная литература 1,2; дополнительная литература 1	26
	Решение навигационной задачи	Разработка программного обеспечения для решения навигационной задачи	основная литература 1,2; дополнительная литература 1	26
	Источники погрешностей и точность навигационно-временных определений в СРНС	Экспериментальный анализ погрешностей позиционирования GPS/ГЛОНАСС	основная литература 1,2; дополнительная литература 1	18
2	Полное электронное содержание ионосферы и его влияние на СРНС	Экспериментальное изучение шумов измерений ПЭС	основная литература 1,2; дополнительная литература 1	19
	Экспериментальные результаты детектирования ионосферных неоднородностей	Построение и анализ карт вариаций ПЭС	основная литература 1,2; дополнительная литература 1	19

### Методические указания по организации самостоятельной работы

Каждый вид самостоятельной работы направлен на закрепление и углубление знаний, полученных во время аудиторных занятий.

#### 1) Работа с конспектами лекций

Аспирант повторяет содержание лекции, используя материалы конспекта, в случае необходимости дополняет их информацией из рекомендуемой и дополнительной литературы.

#### 2) Работа с литературой

Аспирант осваивает материал, предназначенный для самостоятельного изучения, используя рекомендуемую и дополнительную литературу, составляет подробный конспект темы, анализирует, формулирует проблемные вопросы по теме.

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 6.1. Основная литература

№	Автор, название, место издания, издательство, год издания учебной и учебно-методической литературы	Количество экземпляров
1.	В.В. Демьянов, Ю.В. Ясюкевич. Механизмы воздействия нерегулярных геофизических факторов на	ЭБ ( <a href="http://irbis.iszf.irk.ru">http://irbis.iszf.irk.ru</a> ): неограниченный доступ



	функционирование спутниковых радионавигационных систем : монография. – Иркутск : Изд-во ИГУ, 2014. – 349 с. – (Солнечно-земная физика). ISBN 978-5-9624-1098-2	
2.	Ю. В. Ясюкевич, И. К. Едемский, Н. П. Перевалова, А. С. Полякова. Отклик ионосферы на гелио- и геофизические возмущающие факторы по данным GPS : монография. – Иркутск : Изд-во ИГУ, 2013. – 259 с. – (Солнечно-земная физика). ISBN 978-5-9624-0879-8.	ЭБ ( <a href="http://irbis.iszf.irk.ru">http://irbis.iszf.irk.ru</a> ): неограниченный доступ

### 6.2. Дополнительная литература

№	Автор, название, место издания, издательство, год издания учебной и учебно-методической литературы	Количество экземпляров
1.	Афраймович Э. Л., Перевалова Н. П. GPS-мониторинг верхней атмосферы Земли – Иркутск : ГУ НЦ ВСНЦ СО РАН, 2006. – 480 с.	ЭБ ( <a href="http://irbis.iszf.irk.ru">http://irbis.iszf.irk.ru</a> ): неограниченный доступ
2.	Geodetic sciences - Observations, modeling and applications. Eds. By S. Jin. Croatia: InTech. 2013. ISBN 978-953-51-1144-3. 2013 – 344p	ЭБ ( <a href="http://irbis.iszf.irk.ru">http://irbis.iszf.irk.ru</a> ): неограниченный доступ
3.	Дэвис К. Радиоволны в ионосфере. Пер. с англ. И.В. Ковалевского и А.П. Кропоткина. Под ред. А.А. Корчака. — М.: Изд-во "Мир", 1973. — 502 с	ЭБ ( <a href="http://irbis.iszf.irk.ru">http://irbis.iszf.irk.ru</a> ): неограниченный доступ
4.	Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Wasle E. GNSS - Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more. Springer, 2008. — 548 p. — ISBN-10 3211730125; ISBN-13 978-3211730126.	ЭБ ( <a href="http://irbis.iszf.irk.ru">http://irbis.iszf.irk.ru</a> ): неограниченный доступ

### 6.3. Профессиональные базы данных, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине:

- Данные ИСЗФ СО РАН (Отдел радиоастрофизики) <http://ssrt.iszf.irk.ru/indexru.shtml>
- Служба системы астрофизических данных SAO/NASA : NASA ADS ([http://adsabs.harvard.edu/ads\\_abstracts.html](http://adsabs.harvard.edu/ads_abstracts.html)).
- Архив наблюдений радиоастрофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН (<http://badary.iszf.irk.ru/>)
- Научная база данных Scopus (<https://www.scopus.com>)
- Научные данные (материалы) издательства Cambridge University Press (<http://www.cambridge.org>)

### 6.4. Информационные, информационно-справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине:

- Информационно-справочная информация в библиотеке ИСЗФ СО РАН <http://irbis.iszf.irk.ru>
- Государственная публичная научно-техническая библиотека России <http://www.gpntb.ru/>
- Журналы Американского физического общества <http://publish.aps.org/>
- научная электронная библиотека + Российский Индекс Научного Цитирования <https://elibrary.ru>
- Международный каталог и поисковая система по публикациям в области астрофизики [http://adsabs.harvard.edu/abstract\\_service.html](http://adsabs.harvard.edu/abstract_service.html)
- Международная система индексирования публикаций Web of Science <http://webofknowledge.com>
- Научные ресурсы зарубежного издательства Elsevier B.V. – Freedom Collection (<https://www.elsevier.com>)

### 6.5. Программное обеспечение

Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине:

- Операционная система Ubuntu 18.04 (свободно распространяемое ПО)
- Офисный пакет Libre Office (свободно распространяемое ПО)
- 7-Zip (свободно распространяемое ПО)
- Adobe Acrobat Reader DC (свободно распространяемое ПО)
- Mozilla Firefox 1 (свободно распространяемое ПО)
- VLC Mediaplayer (свободно распространяемое ПО)
- K-Lite Codec Pack (свободно распространяемое ПО)
- Операционная система Microsoft Windows 10 Pro
- VideoMost Proton

### 6. Образовательные технологии

В учебном процессе используются как активные, так интерактивные формы проведения занятий.

Интерактивные формы включают в себя:

- Лекции;
- Творческие задания в форме изложения проблемного материала;
- Групповые оценки и взаимооценки: а именно рецензирование аспирантами выступлений друг друга.

Аудиторные занятия проводятся в интерактивной форме с использованием мультимедийного обеспечения (ноутбук, проектор). Презентации позволяют качественно иллюстрировать аудиторные занятия схемами, формулами, чертежами, рисунками и

структурировать материал занятия. Электронная презентация позволяет отобразить процессы в динамике, что улучшает восприятие материала.

Самостоятельная работа включает в себя:

- формулирование проблемных вопросов в результате самостоятельного изучения темы с привлечением основной и дополнительной литературы;
- поиск научно-технической информации в открытых источниках с целью анализа и выявления ключевых особенностей;
- разработка программного обеспечения;
- экспериментальный анализ данных.

При необходимости, в процессе работы над заданием, аспирант может получить индивидуальную консультацию у преподавателя.

### **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Для обучения имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы.

Специальные помещения укомплектованы специализированной мебелью, техническими средствами обучения, служащими для представления информации большой аудитории, компьютерным оборудованием.

### **9. Контроль качества освоения программы аспирантуры**

**Цель контроля** – получение информации о результатах обучения и степени их соответствия результатам обучения.

#### **Планируемые результаты освоения дисциплины**

##### **Знать:**

1. Принципы организации современных систем спутниковой навигации.
2. Основные методы изучения ионосферы с использованием спутниковых систем навигации.
3. Методы формирования радиосигналов, используемых в спутниковых системах навигации.
4. Факторы, определяющие качество функционирования спутниковой навигации.

##### **Уметь:**

1. Осуществлять постановку эксперимента с использованием спутниковых систем навигации.
2. Пользоваться данными спутниковых систем и данными, содержащимися в базах данных и Интернет для решения научных задач.
3. Осуществлять фильтрацию данных различного типа.
4. Выявлять артефакты обработки данных.

##### **Владеть:**

1. Различными методами исследования ОКП на основе спутниковых систем навигации.
2. Основными понятиями, связанными с мониторингом околоземного космического пространства с использованием спутниковых систем навигации.
3. Математическим аппаратом для решения прямой задачи оценки радионавигационных параметров сигнала.
4. Методами пространственного анализа ионосферных данных.

### **Текущий контроль**

Текущий контроль успеваемости аспиранта, т.е. проверка усвоения учебного материала, регулярно осуществляется на протяжении семестра. Текущий контроль знаний обучающихся организован как регулярный краткий письменный срез знаний (Приложение 1).

Текущая самостоятельная работа аспиранта направлена на углубление и закрепление знаний, и развитие практических умений аспиранта.

Объектами оценивания выступают:

- Учебная дисциплина - активность на занятиях, своевременность и качество выполнения различных видов заданий, посещаемость занятий;
- Степень усвоения теоретических знаний.

### **Характеристика ОС для обеспечения текущего контроля по дисциплине**

<b>Раздел/Тема</b>	<b>ОС</b>	<b>Содержание задания</b>
Раздел 1. Тема 1. Состав и структура спутниковых навигационных систем.	Письменная работа	Дать ответы на вопросы
	Письменная работа	Дать ответы на вопросы
Раздел 1. Тема 2. Радионавигационный план GPS и ГЛОНАСС.	Письменная работа	Дать ответы на вопросы
Раздел 1. Тема 3. Измерение радиофизических параметров в приемниках сигналов СРНС.	Письменная работа	Дать ответы на вопросы
Раздел 1. Тема 4. Измерения радиофизических параметров в условиях неизвестного дальномерного кода.	Письменная работа	Дать ответы на вопросы
Раздел 1. Тема 5. Решение навигационной задачи.	Письменная работа	Дать ответы на вопросы
Раздел 1. Тема 6. Источники погрешностей и точность навигационно-временных определений в СРНС.	Письменная работа	Дать ответы на вопросы
Раздел 2. Тема 1. Полное электронное содержание ионосферы и его влияние на СРНС.	Письменная работа	Дать ответы на вопросы
Раздел 2. Тема 2. Методы исследования ионосферных возмущений на основе данных СРНС. Особенности измерения полного электронного содержания в GPS и ГЛОНАСС.	Письменная работа	Дать ответы на вопросы
	Письменная работа	Дать ответы на вопросы
	Письменная работа	Дать ответы на вопросы
	Письменная работа	Дать ответы на вопросы
	Письменная работа	Дать ответы на вопросы
	Письменная работа	Дать ответы на вопросы

	Письменная работа	Дать ответы на вопросы
Раздел 2. Тема 3. Экспериментальные результаты детектирования ионосферных неоднородностей.	Письменная работа	Дать ответы на вопросы
	Письменная работа	Дать ответы на вопросы
Раздел 2. Тема 4. Глобальные и региональные ионосферные карты.	Письменная работа	Дать ответы на вопросы
	Письменная работа	Дать ответы на вопросы
	Письменная работа	Дать ответы на вопросы
Раздел 2. Тема 5. Томография ионосферы с использованием навигационных систем.	Письменная работа	Дать ответы на вопросы
Раздел 2. Тема 6. Развитие СРНС и их применения.	Письменная работа	Дать ответы на вопросы
	Письменная работа	Дать ответы на вопросы
	Письменная работа	Дать ответы на вопросы

### **Вопросы для текущего контроля успеваемости аспиранта**

#### Раздел 1. Построение глобальных навигационных спутниковых систем

##### Тема 1. Состав и структура спутниковых навигационных систем.

1. Сколько спутников GPS и ГЛОНАСС находятся на орбите?
2. Что такое наклонение орбиты?
3. Каково наклонение орбит GPS и ГЛОНАСС?
4. Какова общая структура ГНСС?
5. Напишите примерную орбиту GPS?
6. Каково время жизни аппарата ГЛОНАСС-К на орбите?
7. Какова нестабильность системного стандарта частоты GPS и ГЛОНАСС?
8. Какова средняя невязка перехода из системы координат WGS-84 в ПЗ-90?
9. Напишите основные параметры, характеризующие качество навигации?
10. Какие орбиты стабильнее – GPS или ГЛОНАСС? Почему?

##### Тема 2. Радионавигационный план GPS и ГЛОНАСС.

1. Как называется основной документ, в котором прописаны основные принципы ГНСС.
2. Каким образом осуществляется разделение различных спутников в GPS и в ГЛОНАСС.
3. На каких частотах работают системы GPS и ГЛОНАСС.
4. Какую поляризацию имеют сигналы GPS и ГЛОНАСС.
5. Какими кодами модулируются несущие GPS и ГЛОНАСС.
6. Какие выгоды дает использование M-последовательностей.
7. Чему равен максимальный период M-последовательности, сформированной 4-разрядным регистром сдвига.

8. Запишите последовательность, генерируемую РСЛОС  $x^3+x+1$ . Начальное состояние 010.

9. Является ли P-код закрытым?

10. Какую информацию содержит навигационное сообщение?

Тема 3. Измерение радиофизических параметров в приемниках сигналов СРНС.

1. Назовите два основных этапа обработки сигнала GPS/ГЛОНАСС

2. Как осуществляется грубый поиск сигнала по частоте и задержке.

3. С какими проблемами можно столкнуться при грубом поиске сигнала по частоте и задержке.

4. Каково характерное СКО оценки фазы.

5. Какой фильтр используется при фильтрации фазы?

Тема 4. Измерения радиофизических параметров в условиях неизвестного дальномерного кода.

1. Назовите основные типы обработки сигнала при использовании P(Y)-кода.

2. К каким типам относятся следующие методы обработки: Z-tracking, корреляционная обработка, комбинированная обработка, квадратичная обработка?

3. В чем принцип действия квадратичной и корреляционной обработки?

4. Какие есть недостатки у квадратичной обработки?

5. Почему при комбинированной обработке существенный выигрыш по отношению сигнал-шум относительно корреляционной?

6. Укажите потери по мощности при различных методах обработки?

7. Каков принцип действия метода z-tracking?

Тема 5. Решение навигационной задачи.

1. Каким образом корректируются эффекты среды распространения навигационного сигнала?

2. Что такое модель Клобучара?

3. Дайте классификацию методов решения навигационной задачи.

4. Что такое «навигационный» и «радионавигационный» параметры?

5. В чем отличие дальностного и псевдодальностного методов?

6. Какую дополнительную информацию дает доплеровский метод?

7. Какие типы дифференциальной коррекции Вы можете выделить по особенностям формирования поправок?

Тема 6. Источники погрешностей и точность навигационно-временных определений в СРНС.

1. Что такое ГНСС?
2. Что такое точность, непрерывность, доступность и целостность?
3. Что относится к ошибкам первичной обработки, а что к ошибкам вторичной обработки?
4. Какой вклад дают ошибки вследствие релятивистских и гравитационных эффектов? Как компенсируются эти ошибки?
5. Что такое многолучевость? Как с ней борются?
6. Какие погрешности, относят к погрешностям приемника?
7. Что такое геометрический фактор? К каким ошибкам его относят?
8. Что влияет на геометрический фактор?
9. Что означает DOP? Какие DOP Вы можете назвать?
10. Какие эффекты, влияющие на позиционирование, могут возникать во время возмущений ОКП?
11. Почему солнечные вспышки могут влиять на качество ГНСС?
12. Как влияют неоднородности электронной концентрации на функционирование ГНСС?

## Раздел 2. Использование СРНС для изучения ОКП

### Тема 1. Полное электронное содержание ионосферы и его влияние на СРНС.

1. Откуда следуют основные выражения для ГНСС-измерений?
2. Что такое фазовая и что такое групповая скорость? Какая скорость для ГНСС больше?
3. Что такое полное электронное содержание? Как его можно измерить в ГНСС? Какие измерения «лучше»?
4. В чем заключается метод наименьших квадратов?
5. Что такое ионосферные эффекты первого и второго порядка в ГНСС? Какой порядок величины они имеют?
6. Как работают методы дифференциальной коррекции?
7. Какие ограничения имеют методы дифференциальной коррекции?
8. Что такое RTK? Какие данные ему нужны?
9. Что такое широкозонные дифференциальные системы?
10. Ионосфера задана гауссовым профилем с максимумом на высоте  $z=300$  км, полутолщиной 50 км, и концентрацией в максимуме  $1.2 \cdot 10^{12}$  эл/м<sup>3</sup>. Оцените дополнительный набег фазы, связанный с ионосферной для основной и вспомогательной частот GPS.

## Тема 2. Методы исследования ионосферных возмущений на основе данных СРНС.

1. Какие измерения ПЭС как правило используются для ионосферных исследований?
2. Что такое подионосферная точка и зачем это понятие вводится?
3. Зачем осуществляется фильтрация рядов ПЭС и преобразование в вертикальное ПЭС?
4. Какие эффекты может внести фильтрация?
5. Чтобы получить нормированные вариации нужно: а) сначала отфильтровать скользящим средним, а потом привести к «вертикальному» формулой Клобучара; б) Сначала использовать привести к «вертикальному» формулой Клобучара, а потом отфильтровать методом скользящего среднего.
6. Что такое интерферометрия?
7. В чем отличие метода SADM-GPS от D1-GPS?
8. Объясните физическую суть метода D1.
9. Что такое волновой пакет? Как его можно выделить в автоматическом режиме?
10. В чем смысл методов картирования? Какие варианты картирования Вы знаете?

## Тема 3. Экспериментальные результаты детектирования ионосферных неоднородностей.

1. Какие эффекты может внести фильтрация в данные ГНСС?
2. Что такое интерферометрия?
3. Как проявляется ионосферный отклик на солнечную вспышку?
4. Какой вид имеет характерное ионосферное возмущение, вызванное землетрясением? Какие моды в ионосфере может генерировать землетрясение?
5. Каков источник генерации возмущения при запуске космического аппарата?
6. Назовите эффекты магнитных бурь в ионосфере Земли.
7. Почему влияние солнечных вспышек на систему ГЛОНАСС меньше, чем на GPS?
8. Каковы по порядку величины амплитуда и длительность известных Вам возмущений?

## Тема 4. Глобальные и региональные ионосферные карты.

1. Назовите основные лаборатории, производящие глобальные карты GIM.
2. Что такое IONEX?
3. Каково разрешение карт GIM?



4. Каково максимальное разрешение карт GIM?
5. Опишите принцип построения большинства карт GIM?
6. Что собой представляют карты US-TEC и на каком принципе они строятся?
7. Что такое GAIM и IRTAM?
8. Что такое ассимиляция?
9. Как рассчитывается глобальное электронное содержание (ГЭС)?
10. Какие вариации включает ГЭС?
11. Назовите аномалии в ионосфере Земли.

Тема 5. Томография ионосферы с использованием навигационных систем.

1. В чем отличие томографии и картирования?
2. Укажите требования на низкоорбитальную томографию ионосферы.
3. Почему высокоорбитальная томография должна быть 4D, а не 3D, в то время как низкоорбитальная – 2D?
4. Какие возможны подходы постановки задачи спутниковой томографии?
5. В каких регионах возможно осуществлять ГНСС-томографию?
6. Какое потенциально возможное в настоящий момент разрешение ГНСС томографии?
7. Укажите основные сегодняшние проблемы низкоорбитальной томографии.
8. Объясните общий физический смысл решения томографической задачи.

Тема 6. Развитие СРНС и их применения.

1. Что такое водяной пар и почему его можно получить по данным ГНСС?
2. В чем состоит проблема оценки водяных паров по данным ГНСС?
3. В чем отличия и схожесть систем Beidou/Compass и Galileo от GPS и ГЛОНАСС?
4. Какие навигационные системы Вы знаете?
5. Укажите достоинства и недостатки геостационарных спутников для навигации и зондирования ионосферы.
6. Как измеряются амплитудные мерцания? Что такое S4?
7. Почему большинство приемников мировой и региональных сетей не может измерять амплитудные мерцания?
8. В каких регионах регистрируются наиболее интенсивные мерцания фазы и амплитуды навигационного сигнала?

## Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация аспирантов по дисциплине осуществляется по окончании дисциплины, в виде зачета в соответствии с графиком учебного процесса. В случае наличия учебной задолженности (пропущенных занятий и (или) невыполненных заданий), аспирант отрабатывает пропущенные занятия и выполняет задания.

### Вопросы к зачету (оценивание показателя ЗНАТЬ)

1. Принципы организации современных систем навигации.
2. Основные методы изучения ионосферы с использованием спутниковых систем навигации.
3. Качество функционирования спутниковой навигации в различных условиях.
4. Полукодовая и безкодовая обработка сигналов.
5. Достоинства и недостатки мониторинга околоземного пространства с использованием спутниковых систем навигации.
6. Оценка водяных паров по данным спутниковых систем навигации.
7. Основные характеристики и параметры ионосферных возмущений.
8. Радионавигационный план GPS.
9. Радионавигационный план ГЛОНАСС.

### Вопросы к зачету (оценивание показателя УМЕТЬ)

1. Формат RINEX, основные источники данных спутниковых систем навигации.
2. Цифровой фильтр «Скользящее среднее».
3. Глобальное электронное содержание и возмущенность ионосферы.
4. Отличие отклика ионосферы на солнечную вспышку по данным GPS/ГЛОНАСС и геостационарных спутников.
5. Решение навигационной задачи.
6. Какие возможности для изучения ионосферы предоставляют открытые данные GPS/ГЛОНАСС?
7. Ошибки мониторинга ионосферы, вносимы движением спутников.
8. Шумы и проблемы фазовых и групповых измерений полного электронного содержания.
9. Возможные артефакты при интерферометрической обработке данных.

### Вопросы/задания к зачету (оценивание показателя ВЛАДЕТЬ)

1. Алгоритмы ART и SART.

2. Получите выражение для оценки скорости и направления распространения в методе D1-GPS.

3. Получите выражение для оценки скорости и направления распространения в методе SADM-GPS.

4. Мониторинг околоземного космического пространства с использованием спутниковых систем навигации.

5. На каком уровне солнечной активности мы сейчас находимся исходя из оценки глобального электронного содержания?

6. Электронная концентрация в F-области увеличилась так, что ПЭС вырос на 2 TECU. Как изменится фаза навигационного сигнала, регистрируемая со спутника, находящегося на расстоянии 25 000 км на основной частоте L1?

7. Какие методы картирования Вы бы предпочли использовать на плотной сети станций GPS/ГЛОНАСС?

8. Опишите возможную схему проведения исследования эффектов солнечной вспышки.

9. Какие навигационные системы стоит предпочесть для исследования высокоширотного региона? Какие для низкоширотного?

#### **Критерии оценки:**

- оценка «зачтено» выставляется аспиранту, если основной материал усвоен, аспирант приобрел необходимые знания и умения;

- оценка «не зачтено» - если основной материал усвоен недостаточно, аспирант не приобрел необходимых знаний и умений