

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе

Драгунов В.К.

« 16 » июня 2015 г.

Программа аспирантуры

Направление 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи

Направленность (специальность) 05.12.14 Радиолокация и радионавигация

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины по выбору

«Оптимальный прием сигналов в аппаратуре потребителей спутниковых радионавигационных систем»

Индекс дисциплины по учебному плану: Б1.В.ДВ.2.2

Всего: 108 часов

Семестр 3, в том числе

6 часов – контактная работа,  
84 часа – самостоятельная работа,  
18 часов – контроль

Программа составлена на основе федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению подготовки 11.06.01 Электроника, радиотехника и системы связи, утвержденного приказом министерства образования и науки РФ от 30 июля 2014 № 878, и паспорта специальности 05.12.14 Радиолокация и радионавигация, номенклатуры специальностей научных работников, утвержденной приказом Минобрнауки России от 25 февраля 2009 г. № 59.

## **ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Целью** изучения дисциплины является изучение методов и алгоритмов оптимальной обработки навигационных сигналов в аппаратуре потребителей спутниковых радионавигационных систем (СРНС).

**Задачами** дисциплины являются:

– формирование знаний, навыков и умений, позволяющих самостоятельно применять методы синтеза аппаратуры потребителей СРНС и отдельных ее подсистем;

– ознакомление с научными основами анализа процессов, происходящих в оптимальной аппаратуре потребителей СРНС.

В процессе освоения дисциплины **формируются следующие компетенции:**

I. Универсальные компетенции

– способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);

– готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач (УК-3).

II. Общепрофессиональные компетенции

– владение методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности (ОПК-1).

### III. Профессиональные компетенции

– способность разрабатывать эффективные алгоритмы решения научных задач (ПК-1);

– способность реализовать разработанные алгоритмы решения научных задач с использованием современных языков программирования (ПК-2).

## **ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать **следующие результаты образования:**

### ***Знать:***

алгоритмы оптимальной обработки сигналов и информации в аппаратуре потребителей СРНС;

потенциальные характеристики алгоритмов оптимальной обработки сигналов и информации в аппаратуре потребителей СРНС.

### ***Уметь:***

применять методы статистического синтеза для решения задач обработки перспективных сигналов в аппаратуре потребителей;

применять статистические методы анализа радиотехнических систем и устройств.

### ***Владеть:***

статистическими методами синтеза и анализа радионавигационных систем и устройств;

методиками расчета основных характеристик оптимальных радионавигационных систем и устройств.

## **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ**

1. Основы теории случайных событий и процессов. Статистическое описание сигналов и помех. Плотности вероятности. Корреляционные функ-

ции. Спектральные плотности мощности. Апериорная и апостериорная плотности вероятности. Критерии оптимальности.

2. Обнаружение навигационных сигналов с известной фазой. Обнаружения навигационных сигналов со случайной фазой. Характеристики обнаружения. Использование некогерентного накопления для улучшения характеристик обнаружения. Поиск сигналов (последовательный, параллельный, смешанный). Характеристики поиска сигналов.

3. Оценки максимального правдоподобия: основные соотношения, свойства. Оценки максимального правдоподобия: амплитуды сигнала, фазы сигнала, задержки огибающей, задержки сигнала по фазе, доплеровского смещения частоты, совместной оценки задержки по огибающей и доплеровского смещения частоты. Поиск сигналов, постановка и общее решение задачи поиска, как задачи оценки параметров сигнала. Оценки максимального правдоподобия параметров радиосигнала. Общее решение задачи синтеза оптимального алгоритма оценки цифровых данных навигационного сообщения. Потенциальная точность оценок максимального правдоподобия: основные соотношения, нижняя граница Рао-Крамера. Потенциальная точность оценок амплитуды сигнала, фазы сигнала, задержки огибающей, задержки сигнала по фазе, доплеровского смещения частоты, совместной оценки задержки по огибающей и доплеровского смещения частоты (применительно к сигналам СРНС).

4. Основные положения теории оптимальной нелинейной фильтрации при приеме навигационных сигналов. Апостериорная плотность вероятности (АПВ): определение, обобщенное описание рекуррентными (дифференциальными) уравнениями. Одномодальные и многомодальные АПВ в задачах приема и обработки навигационных сигналов. Гауссовская аппроксимация АПВ: основные определения и соотношения, границы применимости. Оптимальный дискриминатор и оптимальный фильтр в обобщенной оптимальной следящей системе. Оптимальная линейная фильтрация информационных процессов. Эволюция апостериорной плотности вероятности. Уравнения

фильтра Калмана. Структурная схема оптимального линейного фильтра. Общая характеристика дисперсионных уравнений. Когерентный и некогерентный прием навигационных сигналов. Синтез оптимальных когерентных дискриминаторов фазы и задержки при приеме сигналов СРНС. Синтез оптимальных некогерентных дискриминаторов доплеровской частоты и задержки при приеме сигналов СРНС. Статистические характеристики оптимальных дискриминаторов: задержки, фазы доплеровской частоты (когерентных и некогерентных). Синтез оптимальных дискриминаторов двухкомпонентных навигационных сигналов. Линеаризация дискриминаторов следящих систем. Статистические характеристики дисперсии шума на выходе дискриминатора, приведенной к измеряемому параметру. Эквивалентные линейные наблюдения фильтруемых процессов при синтезе оптимальных следящих систем. Методика использования теории оптимальной линейной фильтрации для синтеза сглаживающих фильтров следящих систем. Синтез оптимальных сглаживающих фильтров для следящих систем: за фазой, задержкой и доплеровской частотой сигнала. Точность оценки фазы, задержки и доплеровской частотой сигнала в соответствующих оптимальных следящих системах. Постановка задачи синтеза оптимальных алгоритмов решения навигационной задачи. Одношаговый алгоритм решения навигационной задачи. Фильтрационные автономные алгоритмы решения навигационной задачи. Фильтрационный комплексный алгоритм решения навигационной задачи. Синтез оптимальных алгоритмов комплексной обработки сигналов и информации. Описание инерциальных датчиков движения объекта и инерциальных навигационных систем (ИНС). Постановка задачи синтеза комплексных алгоритмов оценивания на первичном и вторичном уровнях по сигналам СРНС и ИНС. Синтез комплексного алгоритма фильтрации координат объекта на вторичном уровне. Синтез комплексного алгоритма фильтрации на первичном уровне в когерентном режиме. Синтез комплексного алгоритма фильтрации на первичном уровне в некогерентном режиме. Характеристики комплексных алгоритмов фильтрации.

## ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАЗОВАНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины: 3 семестр  
– дифференцированный зачет.

### Вопросы для самоконтроля и для проведения зачета

1. Статистическое описание навигационных радиосигналов.
2. Обнаружение сигнала со случайной фазой
3. Обнаружение сигнала с некогерентным накоплением
4. Оценки максимального правдоподобия: основные соотношения, свойства.
5. Поиск навигационного сигнала по задержке и частоте
6. Оценки максимального правдоподобия параметров радиосигнала.
7. Потенциальная точность оценок максимального правдоподобия: основные соотношения, нижняя граница Рао-Крамера.
8. Основные положения теории оптимальной нелинейной фильтрации при приеме навигационных сигналов
9. Оптимальная линейная фильтрация информационных процессов
10. Синтез оптимальных когерентных дискриминаторов фазы и задержки при приеме сигналов СРНС.
11. Когерентный и некогерентный прием навигационных сигналов. Особенности синтеза дискриминаторов в этих режимах
12. Эквивалентные линейные наблюдения фильтруемых процессов при синтезе оптимальных следящих систем. Методика использования теории оптимальной линейной фильтрации для синтеза сглаживающих фильтров следящих систем.
13. Синтез оптимальных алгоритмов решения навигационной задачи
14. Синтез комплексного измерителя дальности и скорости
15. Синтез комплексного алгоритма фильтрации координат объекта на вторичном уровне.

Критерии оценки за освоение дисциплины определены в Инструктивном письме И-23 от 14 мая 2012 г.

### **Рекомендуемая литература**

#### **Основная литература:**

1. Перов А.И. Методы и алгоритмы оптимального приема сигналов в аппаратуре потребителей спутниковых радионавигационных систем. – М.: Радиотехника, 2012.
2. Перов А.И. Статистическая теория радиотехнических систем. – М. Радиотехника, 2003.
3. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования, Под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова – М.: Радиотехника, 2010.
4. Тихонов В.И. Харисов В.Н. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем. – М.: ИПРЖ, 2005.

#### **Дополнительная литература:**

5. Меркулов В.И., Перов А.И. и др. Оценивание дальности и скорости в РЛС. Часть 2. – М.: Радиотехника, 2007.
6. Меркулов В.И., Перов А.И. и др. Оценивание дальности и скорости в РЛС. Часть 3. – М.: Радиотехника, 2009.
7. Перов А.И., Замолодчиков В.Н., Чиликин В.М. Радиоавтоматика. – М.: Радиотехника, 2014.
8. Саватеев Ю.И. Оптимальный прием сигналов на фоне помех и шумов. – М.: Радиотехника, 2011.
9. Сосулин Ю.Г., Костров В.В., Паршин Ю.Н. Оценочно-корреляционная обработка сигналов и компенсация помех. – М.: Радиотехника, 2014.
10. Borre K., Strang G. Algorithms for Global Positioning. WELLESLEY-CAMBRIDGE PRESS, 2012.