

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
МОСКОВСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
Кафедра Радиотехнических систем

ШОСТАК АЛЕКСЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

**МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ НАВИГАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ В СПУТНИКОВЫХ  
РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ**

Специальность 11.05.01– «Радиоэлектронные системы и комплексы»

Автореферат  
выпускной квалификационной работы  
инженера

Руководитель  
к.т.н., инженер 1 категории  
УИЦ ЛНС Нагин Илья  
Алексеевич

Москва – 2019

## **Актуальность темы**

Существует большое количество вариантов решения навигационной задачи, использующих траекторную фильтрацию движущейся цели (потребителя). Актуальность выбранной темы исследования обусловлена тем, что потребности современного общества в качественной и надежной навигации растут и заставляют для осуществления этой задачи искать новые методы и алгоритмы, не уступающие по точности уже известным и хорошо себя зарекомендовавшим.

Наряду с распространенными методами решения навигационной задачи, такими как метод наименьших квадратов (МНК), расширенный фильтр Калмана (РФК), решено сравнить точность оценивания навигационных параметров с помощью фильтра частиц (PF).

**Объектом** исследования выступает потребитель (приемник), движущийся по траектории в виде окружности.

## **Цели и задачи работы**

**Целью** работы является сравнение трех методов решения навигационной задачи - МНК и РФК, PF.

Для достижения цели работы требуется решить ряд **задач**:

1. Разработка имитационной модели, реализующей решение навигационной задачи методами МНК и РФК, PF;
2. Определение ошибок оценивания навигационных параметров каждого алгоритма в заданных условиях моделирования;
3. Исследование влияния начальных условий на точность и устойчивость работы методов МНК, РФК и PF;

**Методы исследования.** При решении поставленных задач использованы методы математического моделирования динамики потребителя (приемника), анализ и сравнение точности полученных.

**Научная новизна.** В работе получены следующие новые результаты, выносимые на защиту:

1. Адаптация метода PF в решении навигационной задачи.
2. Проведены эксперименты, выявляющие зависимость устойчивости методов МНК, РФК и PF от начальных условий.

### **Практическая ценность работы.**

1. Разработанная модель позволяет проводить оценивание динамики потребителя (приемника), и на основе сравнения результатов методов, получать высокую точность определения координат потребителя (приемника).

2. В перспективе данную модель можно адаптировать к языку программирования, используемому в аппаратуре потребителей спутниковых радионавигационных систем.

3. Показана пригодность метода PF в решении навигационной задачи.

**Структура и объем работы** По своей структуре работа состоит из введения, 7 глав, заключения, списка литературы и приложения. Работа изложена на 97 страницах машинописного текста, содержит 19 рисунков, 6 таблиц и списка литературы из 15 наименования и текст программы моделирования в качестве приложения.

### **Основное содержание работы**

**В введении** проводится обзор существующих алгоритмов решения навигационной задачи, определяются конкретные варианты для сравнения, ставятся задачи, эффективное решение которых даст ответ, какой из

выбранных методов точнее определяет координаты подвижного потребителя (приемника).

**В первой главе** определяется постановка задачи оценивания координат и скоростей подвижного потребителя (приемника).

**Во второй главе** проводится теоретическое обоснование и синтез метода МНК для решения навигационной задачи.

**В третьей главе** проводится теоретическое обоснование и синтез метода РФК для решения навигационной задачи.

**В четвертой главе** проводится теоретическое обоснование и синтез метода РФ для решения навигационной задачи.

**В пятой главе** рассказано об учете угла места при решении навигационной задачи, показаны блок-схемы и результаты моделирования методами МНК, РФК, РФ, графики и таблицы ошибок определения навигационных параметров и анализ полученных результатов, исследование устойчивости и сходимости рассматриваемых методов.

**В шестой главе** рассмотрены факторы, влияющие и препятствующие комфортным условиям для организации правильной работы оператора и меры по их предотвращению.

**В седьмой главе** проведен расчет затрат на разработку программного обеспечения использующихся в данной работе математических моделей.

### **Основные результаты работы и выводы**

Решены поставленные задачи, а именно:

- Разработана имитационная модель, реализующая решение навигационной задачи методами МНК и РФК, РФ;
- Определены ошибки оценивания навигационных параметров каждого алгоритма в заданных условиях моделирования;

- Исследовано влияние начальных условий на точность и устойчивость работы алгоритмов МНК, РФК и РФ.

Разработанная модель MATLAB позволяет оценить точность работы рассматриваемых методов для разных условий работы. Оценка производится при помощи порога ресемплирования, набора частиц и ассоциированных с ними весов.

На основе модели можно сделать выводы, что в рамках данных постановок задачи и заданных условий метод РФ показывает в основном схожие, а местами, даже выше по точности, результаты ошибок оценивания координат, скоростей, смещения шкал времени и частоты. При увеличении количества точек значения ошибок алгоритма РФ существенно снижаются при обеих постановках задачи, однако ошибки оценивания скоростей и смещения частоты имеют не такое сильное снижение. Стоит отметить, что увеличение количества точек ведет к увеличению времени расчетов методом РФ, что в свою очередь накладывает требования к вычислительным мощностям аппаратуры потребителей СРНС. Устойчивость метода РФ зависит от величины начальной ошибки, и падает с ее ростом, приводя к его расхождению. Можно сказать о практической применимости метода РФ, при условии обладания необходимой высокопроизводительной вычислительной аппаратуры.