

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Московский физико-технический институт (государственный  
университет)

Физтех-школа Аэрокосмических технологий  
Кафедра теоретической механики

НИР 9

Исследование алгоритмов комплексирования  
информации БИНС и внешних корректоров.

**Автор:**  
Студент 301 группы  
Киямова Н.Р.

**Научный руководитель:**  
Фомичев А.В.

## Аннотация

Бесплатформенные инерциальные навигационные системы традиционно применяются в составе бортового оборудования широкого класса подвижных объектов — самолетов и вертолетов, судов и космических аппаратов, а также внутритрубных снарядов, инклинометров и беспилотных систем. Разработка и производство различных инерциальных навигационных систем - это большой и востребованный сектор современного рынка высоких технологий.

Основная функция навигационной системы — вычисление положения, скорости и ориентации объекта относительно координатных систем независимо от движения объекта. Вычисления параметров, которые можно получить из анализа навигационной системы может производиться с помощью численного моделирования движения.

ИНС дает информацию о параметрах движения, вычисляемых по основной навигационной информации или же с привлечением внешних данных, которые формируют оценку скорости и положения в пространстве. Также, зная основные параметры и их ошибки, всегда можно найти и второстепенные параметры и их ошибки. Например, по заданному вектору скорости в географических осях взятому за основной параметр можно вычислить путевой угол (второстепенный параметр), а по ошибкам скорости — ошибка путевого угла.

Для оценки обоих типов указанных параметров, используются специальные приборы и системы датчиков разного класса и областей применимости. В зависимости от решаемых задач, ИНС имеют различные классы точности, низкий класс точности — МЭМС, высокий класс точности — ВТГ, ВОГ и ЛГ, и кварцевых акселерометров. Структурная схема системы, использующей данные с навигационных датчиков, представлена на Рисунке 1.



Рисунок 1 – Структурная схема ИНС

Несмотря на интенсивное развитие других типов навигационных систем, ИНС незаменимы во многих областях применения, являясь востребованным высокотехнологичным продуктом. Разработкой и производством навигационных систем, заняты подразделения крупных промышленных корпораций во всём мире, к примеру, таких как Honeywell, Northrop Grumman, Safran, Thales. В России разработкой и выпуском ИНС занимаются ПАО «МИЭА», АО ИТТ, «АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», НПК «Оптолик», НПК «Электрооптика», ПНППК и другие производители. Данные компании работают с основными комплектующими ИНС - приборной части и программным обеспечением для нее. Приборы включают в себя датчики типа МЭМС, ВТГ и прочие высокоточные устройства, о которых будет рассказано далее.

МЭМС — устройства типа микроэлектромеханических систем, в них используются подвижные массы в качестве чувствительных элементов. Производством подобного оборудования занимаются, к примеру, такие как компании Sagem, Litef, чьи устройства позволяют достигать класса

---

точности  $150^{\circ}/\text{час} - 1^{\circ}/\text{час}$  и  $10 - 1\text{mg}$ . К устройствам более высокого класса точности относятся кольцевой лазер (RLG) и волоконно-оптические гироскопы (FOG). Оба прибора работают на основе общего принципа - эффекта Саньяка. Они могут достигать значений до  $0.01^{\circ}/\text{час}$  и до  $100\mu g$ .

Наиболее точными являются приборы ВТГ и RLG-FOG, способные достигать инструментальных точностей до  $0.001^{\circ}/\text{час}$  и до  $10\mu g$ .

Однако даже самые точные приборы предполагают наличие фактора ошибок, влияющего на качество выдаваемых ими данных. Так, в итоговое значение получаемого датчика ИНС заложены как инструментальная погрешность, так и навигационная ошибка, тогда для уточнения результата применяется комплексирование. Одним из способов повышения точности инерциального режима навигации автокалибровка на основе модельных данных – повышение за счет использования оценок погрешностей инерциальных датчиков, полученных в предыдущих результате моделирования (имитации, симуляции) работы аппарата. Для решения задачи коррекции навигационных погрешностей ИНС используются алгоритмы оценивания калмановского типа с устойчивой численной реализацией дискретного фильтра.

Независимо от приборной реализации навигационной системы ее вычислительные алгоритмы и эволюция погрешностей описываются единой теорией. Она дает универсальную базу для построения вычислительных алгоритмов, анализа погрешностей ИНС и служит основой для комплексирования информации ИНС и внешних корректоров любых типов и классов точности.

В настоящей работе рассматриваются способы работы с данными, получаемыми с помощью навигационных систем, которые могут быть использоваться в системах управления подвижными объектами.

Более подробная структурная схема ИНС представлена на Рисунке 2.

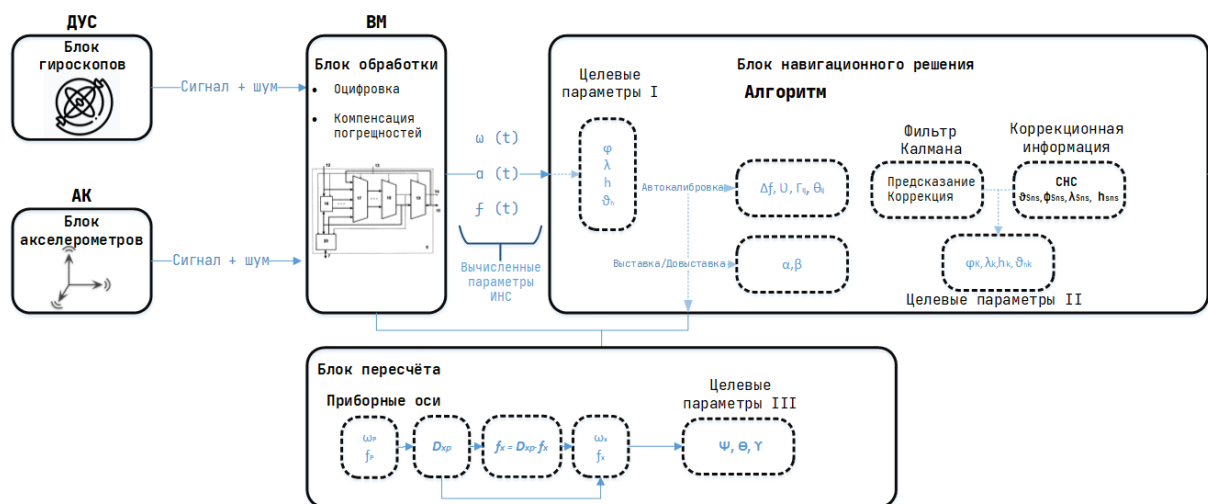


Рисунок 2 – Расширенная структурная схема ИНС

# Оглавление

Введение	2
1.1 Разработка модели . . . . .	3

## Введение

Постановка задачи (О РАСШИРЕНИИ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИНТЕГРАЦИИ ИНЕРЦИАЛЬНЫХ И СПУТНИКОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ В АВИАЦИОННЫХ ПРИЛОЖЕНИЯХ)

Анализ и оптимизация алгоритмов оценивания навигационных и инструментальных ошибок. Гибридизация ИНС и внешних корректоров

Модель движения

Реализация с++

# 1. Постановка задачи и разработка модели движения

## 1.1 Разработка модели

На Рисунке 3 и Рисунке 4 приведены демонстрации результатов и модели.

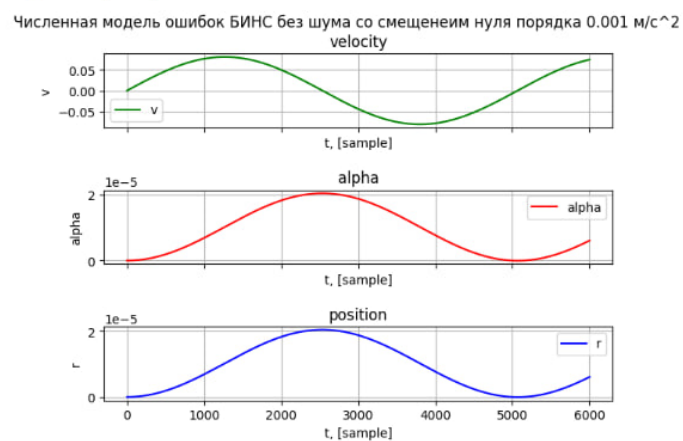


Рисунок 3 – Результат

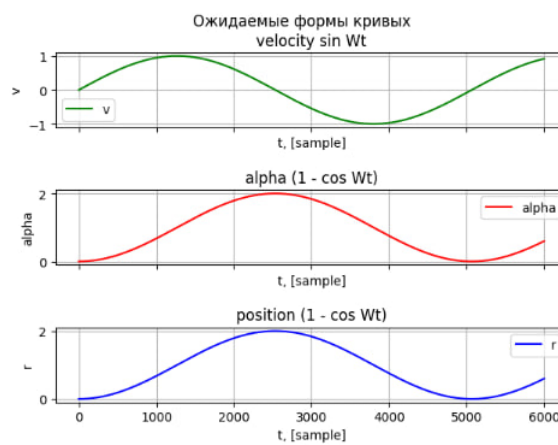


Рисунок 4 – Модель



Рассмотрение численной модели с применением фильтра Калмана.

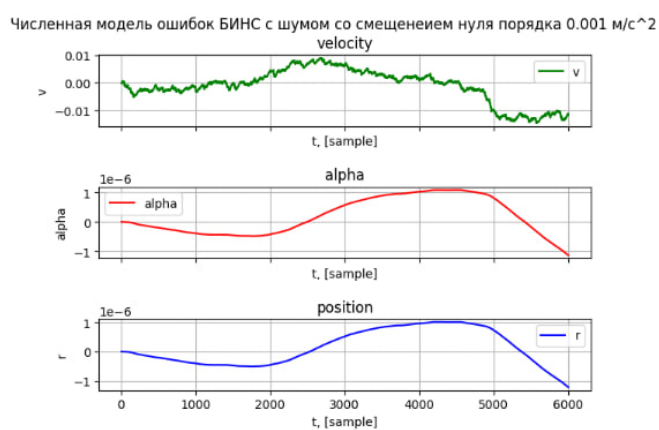


Рисунок 5 – Общая модель измерения ошибок

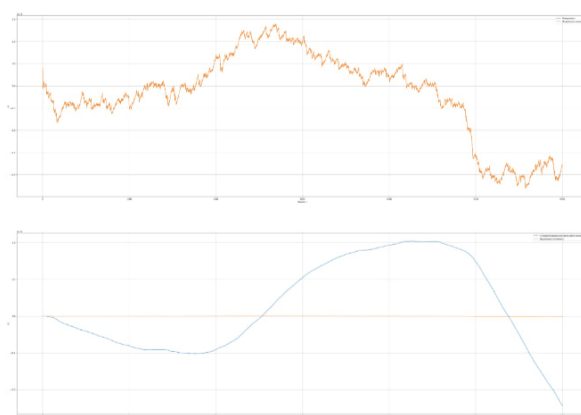


Рисунок 6 – Результаты применения фильтра Калмана к измерению скорости