

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.

Основная функция навигационной системы — вычисление положения, скорости и ориентации объекта относительно координатных систем, интересующих потребителя навигационной информации.

Первичная информация с датчиков в составе ИНС может быть полезна для потребителя, в том плане, что на ее основе может быть получено представление о положении и скорости объекта. Так, данные можно разделить на основные и второстепенные данные навигационной информации, которые могут быть вычислены 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 решения задач ИНС используются приборы разного класса точности. Класс точности зависит от точности датчика первичной информации, на основе которого построена система. Так датчики, производимые современными производителями, можно поделить на грубые, стандартные и высокоточные. Структурная схема системы, использующей данные с навигационных датчиков, представлена на Рис. 1.

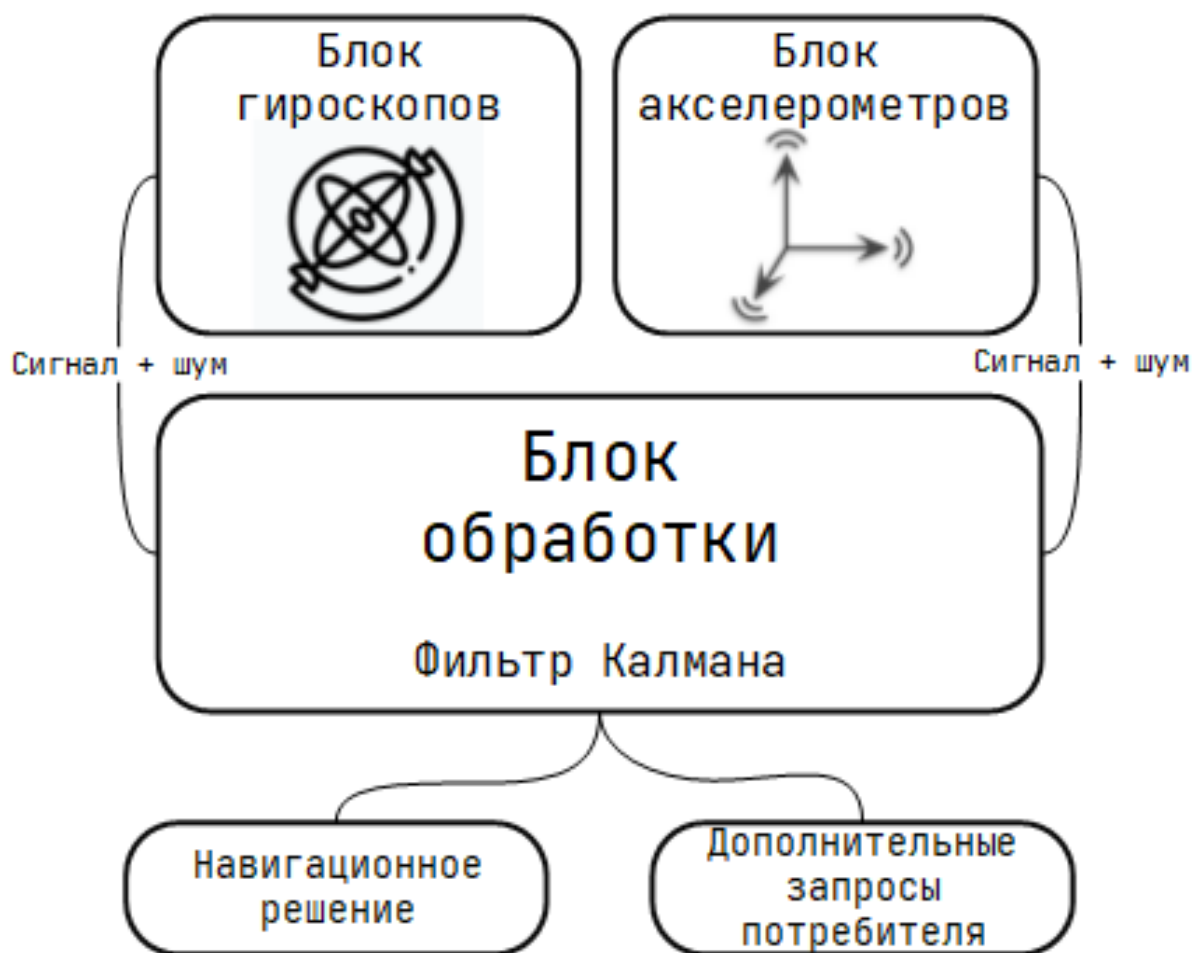


Рисунок 1 – Структурная схема ИНС

На основе указанной выше классификации точности датчики бывают низкого класса, такие как МЭМС, с грубыми и/или стандартными датчиками, высокого класса точности — волнового твердотельного гироскопа (ВТГ), волоконно-оптические гироскопы (ВОГ) и лазерный гироскоп (ЛГ), и кварцевых акселерометров, с высокоточными и/или стандартными датчиками. МЭМС — устройства типа микроэлектромеханических систем, в них используются подвижные массы в качестве чувствительных элементов. Производством подобного оборудования занимаются многие компании, чьи устройства позволяют достигать класса точности  $150^\circ/\text{час}$ — $1^\circ/\text{час}$ . К устройствам более высокого класса точности относятся кольцевой лазер и ВОГ. Оба прибора работают на основе общего принципа - эффекта Саньяка. Они могут достигать значений до  $0.01^\circ/\text{час}$ .

Представителем наиболее точного класса является ВТГ, способный

---

достигать инструментальных точностей до  $0.001^\circ/\text{час}$ .

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 «Электрон», НПК «Оптолик», НПК «Электрооптика», ПНППК и другие производители. Данные компании работают с основными комплектующими ИНС - приборной части и программным обеспечением для нее. Разработка и производство различных инерциальных навигационных систем - это большой и востребованный сектор современного рынка высоких технологий.

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.

Более подробная структурная схема ИНС представлена на Рис. 2.

---

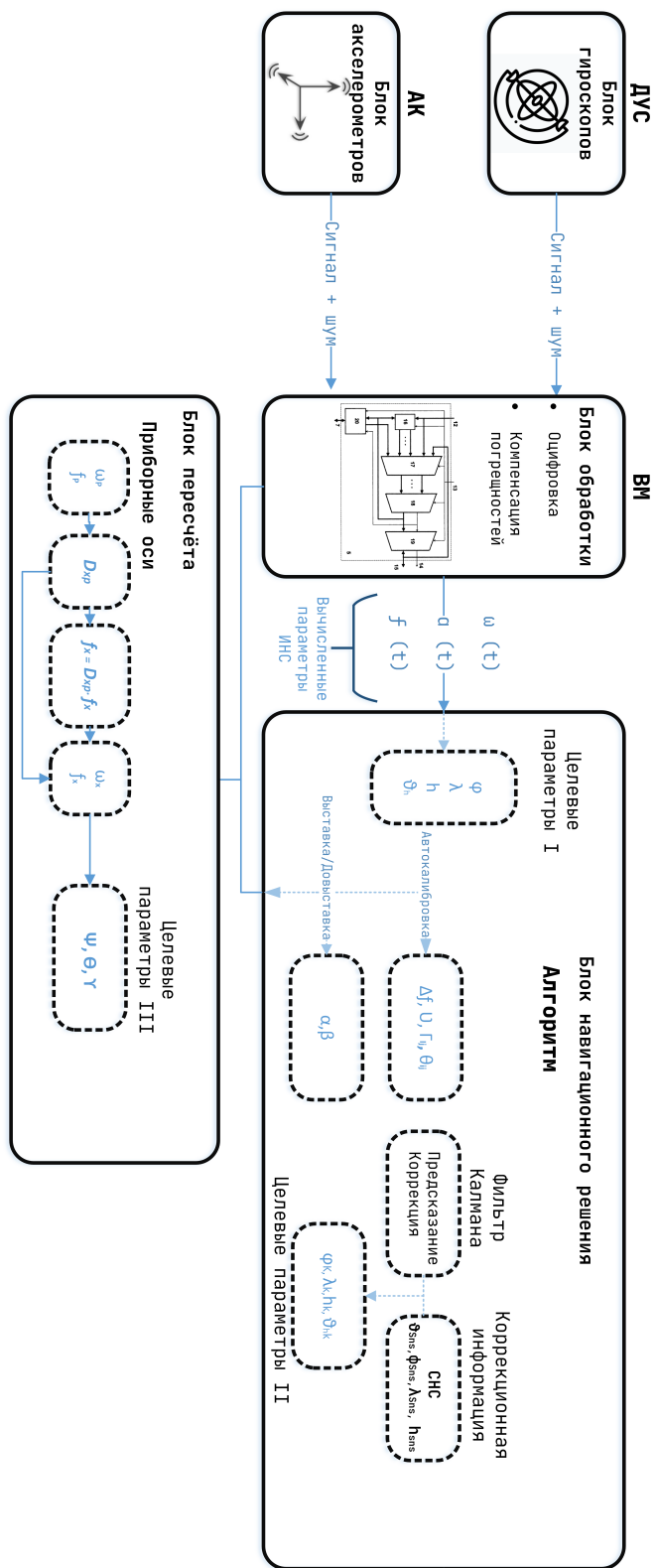


Рисунок 2 – Расширенная структурная схема ИНС

# Оглавление

Введение	3
1.1 Разработка модели . . . . .	4

## 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.

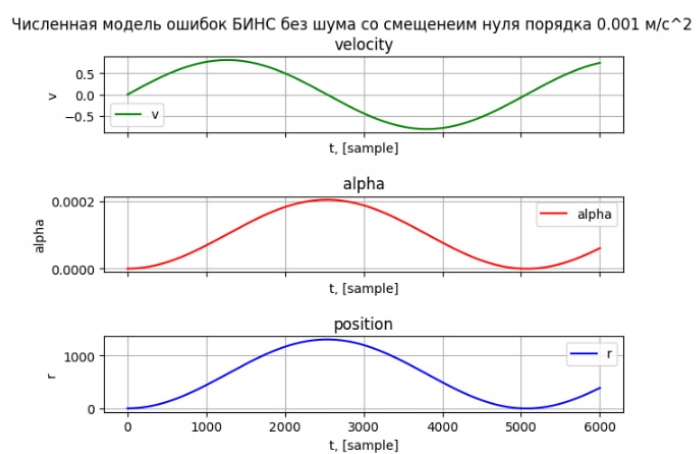


Рисунок 3 – Результат

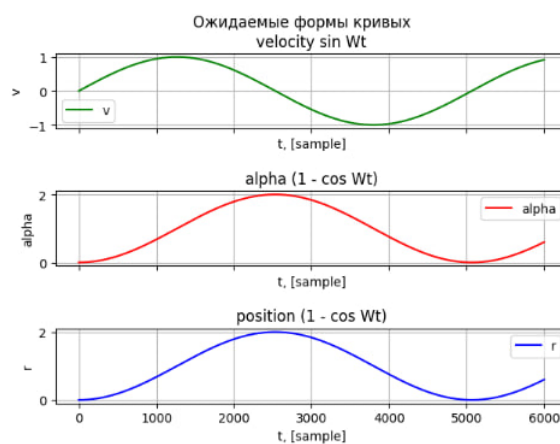


Рисунок 4 – Модель

Рассмотрение численной модели с применением фильтра Калмана.

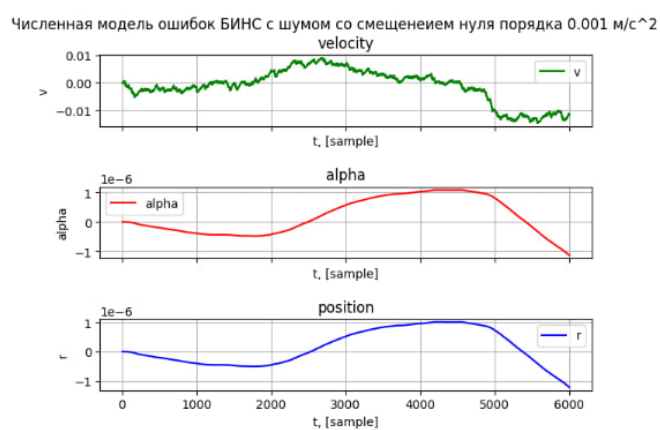


Рисунок 5 – Общая модель измерения ошибок

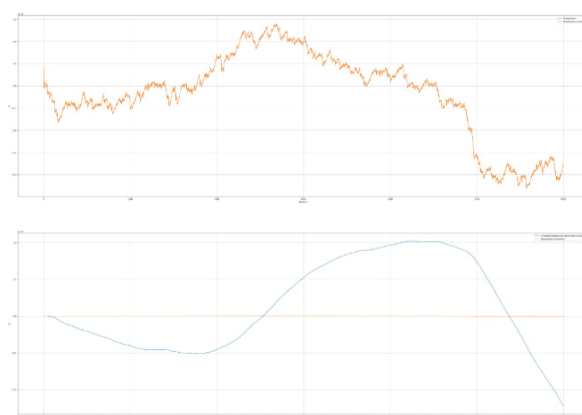


Рисунок 6 – Результаты применения фильтра Калмана к измерению скорости