

ОТЗЫВ

научного руководителя

на диссертационную работу аспиранта Горо Секу (Республика Мали) на тему «Разработка алгоритмов повышения точности бортовых измерений в целях идентификации параметров моделей движения самолетов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16. - «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов»

В 2021 году Горо Секу окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский авиационный институт» (национальный исследовательский университет) по направлению подготовки 24.04.04 «Авиастроение».

В 2021 году Горо Секу поступил и в 2025 году окончил очную аспирантуру государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (государственный технический университет)» по специальности 2.5.16. - «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов». За прошедший период обучения им была подготовлена диссертация на тему «Разработка алгоритмов повышения точности бортовых измерений в целях идентификации параметров моделей движения самолетов».

В Диссертационной работе Горо Секу сформулированы и решены актуальные научные задачи, заключающиеся в разработке эффективной системы методов и алгоритмов, обеспечивающей коррекцию погрешностей в целях улучшения параметрической идентификации.

Цель работы состоит в повышении точности измерений параметров движения летательных аппаратов на основе комплексирования бортовых измерений, идентификации систематических погрешностей и применения нейронной сети.

В рамках проекта и для достижения поставленной цели решаются следующие основные задачи:

- анализ существующих методов обработки бортовых измерений, в том числе сравнение различных вариантов калмановской фильтрации при оценивании параметра движения самолёта и сравнительный анализ метода сплайн-аппроксимации и метода фильтрации Калмана в задаче сглаживания полетных данных.
- анализ методов статического анализа данных, методов идентификации параметров, а также анализ влияния

систематических погрешностей на точность параметрической идентификации.

- разработка методов оценивания систематических погрешностей измерений угловых скоростей, перегрузок и углов ориентации.
- разработка методики улучшения идентификации аэродинамических параметров на основе расширенного фильтра Калмана.
- разработка методов восстановления и оценивания сигналов, характеризующих движение ЛА: разработка алгоритма восстановления систематических погрешностей дискретизации бортовых измерений и разработка метода численного дифференцирования для оценки углового ускорения на основе использования угла тангажа и угловой скорости.
- исследование метода выбора участков полета при анализе полетных данных, в частности, выбор с применением нейронной сети наилучшего скользящего окна в задаче идентификации параметров.
- подтверждение работоспособности предложенных методов и алгоритмов по данным полета и стендового моделирования.

Научная новизна диссертационной работы.

В общем научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

- разработан метод оценивания систематических погрешностей измерения параметров полёта, основанный на сочетании уравнений динамики полёта и параметрической идентификации.
- разработан алгоритм коррекции погрешностей дискретизации бортовых измерений, обусловленных ограниченностью разрядной сетки.
- разработан алгоритм на основе расширенного фильтра Калмана с перекрывающимся скользящим окном, обеспечивающий совместную оценку состояния и аэродинамических параметров движения самолета.
- предложена методика определения оптимального скользящего окна с использованием нейронной сети, обученной на смоделированных полетных данных, обеспечивающая наименьшую погрешность в задаче идентификации аэродинамических параметров.
- разработан метод численного дифференцирования для оценки углового ускорения на основе использования соотношений, определяемых уравнениями Эйлера.

Теоретическая значимость результатов исследования.

Перечисленные выше научные новизны, вносят существенный вклад в развитие теории оптимальной фильтрации и идентификации параметров, методов адаптивной обработки данных, численного анализа и коррекции систематических погрешностей за счёт разработки новых алгоритмов на основе расширенного фильтра Калмана, нейросетевых технологий, параметрической идентификации и сплайнов Эрмита.

Практическая значимость результатов исследования.

- метод оценивания систематических погрешностей параметров полёта обеспечивает идентификацию погрешности угловых скоростей и перегрузок с среднеквадратическим отклонением, не превышающим 0,0012 град/с в каналах угловых скоростей и 0,0423 в каналах перегрузок.
- алгоритм коррекции погрешностей дискретизации бортовых измерений: восстанавливает погрешности с точностью 96–93% при случайных погрешностях в канале тангажа с среднеквадратическим отклонением 0.3–1°.
- разработанный алгоритм на основе расширенного фильтра Калмана с перекрывающимся скользящим окном повышает точность идентификации параметров ЛА, снижая погрешности оценок аэродинамических коэффициентов на 85% по сравнению со стандартным ЕKF.
- применение разработанной методики определения скользящего окна с использованием нейронных сетей обеспечивает наименьшую погрешность при идентификации параметров модели ЛА для заданного набора данных.
- разработанный метод численного дифференцирования за счёт использования угла тангажа и угловой скорости повышает точность оценки углового ускорения в условиях шумов на 11.76% по сравнению с традиционными методами численного дифференцирования.

В целом Горо Секу успешно решены задачи и реализованы планы исследований, которые были сформулированы в самом начале работы над диссертацией. Кроме того, Горо Секу опубликовал 12 печатных работ, 4 статьи из которых в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 1 статья – в изданиях, индексируемых в базе данных Scopus, 1 статья в материалах и трудах конференций, индексируемых в базе данных Scopus. Кроме того, Горо Секу выступил на 6 международных и всероссийских научно-технических конференциях.

Горо Секу проявил себя как самостоятельный и квалифицированный исследователь, способный решать сложные научно-технические задачи. Его диссертационная работа представляет собой законченное исследование, отвечающее всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Считаю, что Горо Секу заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16. - «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов»

Научный руководитель:

Доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры 101

«Проектирование и сертификация авиационной техники»

Московского авиационного института

(национального исследовательского университета)

«22» 09 2025 г.

О.Н. Корсун

Подпись Корсуна О.Н. удостоверяю.

Директор дирекции Института №1



Д.Ю. Стрелец

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

Московский авиационный институт

(национальный исследовательский университет)

Кафедра «Проектирование и сертификация
авиационной техники»

125080, г. Москва, Волоколамское ш, д.4