

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ
ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ЛЕТНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ИМЕНИ М.М. ГРОМОВА»
(АО «ЛИИ им. М.М. Громова»)

Гарнаева ул., д. 2А, г. Жуковский,
Московская область, 140185
тел.: (495) 556-59-38
факс: (495) 556-70-70
e-mail: office@lii.ru

ОГРН 1125040002823
ИНН 5040114973, КПП 504001001

08.12.2025 № 02-1545
На _____ от _____

Ученому секретарю ДС 24.2.327.03,
на базе «Московского авиационного
института (национального
исследовательского университета)»

д.т.н., доценту А.В. Старкову

125080, г. Москва, Волоколамское
шоссе, д. 4, Ученый совет МАИ

Уважаемый Александр Владимирович!

Высылаю отзыв ведущей организации по диссертации Горо Секу 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».

Приложение: 1 Отзыв, на 5 л. в 2 экз.

Первый заместитель генерального
директора по науке – начальник НИЦ



К.В. Деев

Поплавский Борис Кириллович
(495)5567527

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ
ДОКУМЕНТОВ МАИ

«9» 12 2025 г.

«Утверждаю»

Первый заместитель генерального
директора по науке – начальник НИЦ
АО «ЛИИ им. М.М. Громова»

К.В. Деев

«18» декабря 2025 г.



ОТЗЫВ ведущей организации

ГНЦ РФ АО «ЛИИ им. М.М. Громова» на диссертационную работу Горо Секу 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».

Актуальность темы исследования

Рассмотрение диссертационной работы Горо Секу, изложенной на 177 страницах, показывает, что она посвящена актуальной научно-технической задаче — повышению точности бортовых измерений параметров движения летательных аппаратов в целях обеспечения идентификации параметров их математических моделей. Получение достоверных моделей движения ЛА, корректируемых по данным летных испытаний, представляет собой необходимое условие повышения эффективности процессов проектирования, испытаний и эксплуатации авиационной техники. В этой связи разработка методов и алгоритмов, направленных на компенсацию систематических погрешностей, вызывающих при идентификации значимые смещения оценок, имеет существенное значение.

Практическая ценность работы заключается в расширении возможностей методов комплексной обработки бортовой информации и идентификации динамических систем благодаря созданию новых алгоритмов, основанных на современных подходах, включая адаптивную фильтрацию, нейросетевые технологии и сплайн-аппроксимацию. Особую актуальность данная проблематика получает в связи с широким распространением беспилотных летательных аппаратов, бортовые измерительные системы которых часто имеют ограничения по точности применяемых датчиков и перечню регистрируемых параметров.

Структура и содержание работы

Рецензируемая диссертационная работа содержит введение, четыре главы, заключение, список сокращений и список использованных источников.

Во введении автором дано общее направление исследования. Обоснована целесообразность повышения точности бортовых измерений для обеспечения решения задач идентификации параметров моделей движения летательных аппаратов. Сформулированы цель и задачи исследования, изложено содержание основных результатов, полученных в диссертации, представлены положения, выносимые на защиту.

В первой главе диссертации автором выполнен анализ современных бортовых систем, обеспечивающих измерения параметров движения летательных аппаратов. Кроме того, представлены методы обработки полетных данных, прежде всего основанные на комплексировании разнородных датчиков на основе теории идентификации динамических систем. В рамках анализа выявлены ключевые достоинства и недостатки существующих подходов, и определены направления исследований.

Во второй главе приведена разработанная автором методика оценивания систематических погрешностей измерений параметров полета, основанная на совместной обработке данных бортовых датчиков перегрузок угловых скоростей и трех проекций скорости полета, измеряемых спутниковой навигационной системой. Разработан и представлен алгоритм коррекции погрешностей дискретизации бортовых измерений, обусловленных ограничениями разрядной сетки аналого-цифрового преобразователя, в условиях случайных погрешностей в измерительных каналах. Проведен сравнительный анализ вариантов фильтра Калмана, на основе которого для решения последующих задач выбран расширенный фильтр Калмана, как более устойчивый к неопределенности априорной информации о статистических свойствах шумов. На его основе предложен алгоритм совместного оценивания вектора состояния и аэродинамических коэффициентов модели движения самолета с использованием перекрывающегося скользящего окна. В рамках данной главы также представлен оригинальный метод численного дифференцирования для оценки углового ускорения, основанный на комплексировании измерений угла и угловой скорости тангажа.

В третьей главе диссертации автором предложена и детально описана методика определения оптимальной длительности скользящего окна для задачи идентификации параметров движения ЛА с использованием нейронных сетей. Метод основан на автоматическом выборе величины скользящего интервала обработки данных путем анализа предыстории измерений параметров полета, что позволяет адаптивно настраивать алгоритм в зависимости от текущего режима полета.

В четвертой главе изложены методические рекомендации по организации экспериментальных исследований, а также примеры анализа и обработки

результатов моделирования. Для определения характеристик разработанных алгоритмов было выполнено комплексное моделирование полетов гипотетического учебно-тренировочного самолета на пилотажном исследовательском стенде с воспроизведением различных полетных маневров, что позволило оценить эффективность предложенных решений в условиях, близких к реальным.

Таким образом, структура работы является логически завершенной, а содержание глав последовательно раскрывает решение поставленных задач от анализа существующих методов до разработки, реализации и экспериментальной проверки новых алгоритмов.

Научная и практическая значимость результатов

В рамках диссертационного исследования получены следующие результаты, обладающие научной новизной и значимостью:

- Разработан метод оценки систематических погрешностей параметров полета, основанный на совместном использовании бортовых измерений, уравнений динамики полета и алгоритмов параметрической идентификации.
- Предложен алгоритм коррекции погрешностей, вызванных дискретизацией измерительных сигналов, который позволяет компенсировать искажения, связанные с ограниченной разрядностью измерительной сетки.
- Создан алгоритм на основе расширенного фильтра Калмана с перекрывающимся скользящим окном, обеспечивающий повышенную точность совместной оценки вектора состояния и аэродинамических коэффициентов модели движения самолета в реальном времени.
- Разработана методика применения нейронных сетей для адаптивного определения оптимальной длительности скользящего интервала обработки данных, что позволяет увеличить точность идентификации аэродинамических параметров.
- Предложен метод численного дифференцирования, основанный на совместной обработке зашумленных измерений угла и угловой скорости тангажа, который позволяет снизить погрешность оценки углового ускорения.

Научная значимость работы определяется созданием нового комплекса методов и алгоритмов идентификации и оценивания, направленного на минимизацию влияния погрешностей измерений на точность определения параметров математических моделей динамики летательных аппаратов.

Обоснованность и достоверность результатов

Достоверность полученных научных положений, выводов и результатов подтверждается значительным объемом проведенных вычислительных экспериментов, включая программную реализацию предложенных алгоритмов и

обработку данных, полученных в ходе стендового моделирования. Корректность и эффективность разработанных методов проверена путем сравнения результатов параметрической идентификации с эталонными значениями, использованными в модели.

Практическая значимость работы

Практическая ценность диссертационного исследования заключается в разработке и апробации методов оценки систематических погрешностей и восстановления параметров полета, а также алгоритмов совместного оценивания состояния и аэродинамических коэффициентов. Полученные результаты могут быть использованы при создании алгоритмического обеспечения систем сопровождения летных испытаний и эксплуатации летательных аппаратов. Кроме того, материалы диссертации могут быть внедрены в учебный процесс для подготовки специалистов в областях летных испытаний, обработки полетной информации и идентификации систем.

Аннотация диссертации соответствует ее содержанию.

Результаты работы опубликованы в 12 печатных работах, включая 4 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 1 статью в журнале, индексируемом в базе данных Scopus и приравненном к изданию из перечня ВАК. Кроме того, опубликованы 1 статья в материалах конференции, индексируемой в Scopus, а также 6 статей в сборниках докладов международных и всероссийских научно-технических конференций.

По рассмотренной работе следует высказать следующие замечания:

1. В работе рассмотрены только интерполяционные сплайны и не рассмотрено возможное применение среднеквадратических кубических сплайнов.
2. В диссертации предложенный автором метод вычисления производных сравнивается с известными методами численного дифференцирования. Это не вполне корректно, поскольку в формулах дифференцирования, по определению, используется только дифференцируемый сигнал, тогда как автор рассматривает два связанных сигнала – угол тангажа и угловую скорость тангажа.
3. При рассмотрении сигма-точечного (взвешенного) фильтра Калмана следовало бы дать более детальное описание порядка выбора взвешенных коэффициентов, аппроксимирующих нелинейную модель объекта.
4. В рамках оценки свойств алгоритма оптимизации длины скользящего интервала с использованием нейронной сети следовало бы представить оценку минимального объема обучающей выборки.

Диссертация является самостоятельной научно-квалификационной работой. Решение поставленной в работе задачи имеет существенное значение для совершенствования методов обработки полетной информации и повышения

точности параметрической идентификации моделей движения самолетов. Работа выполнена на высоком научном уровне, а ее автор, Горо Секу, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности **2.5.16** – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

Отзыв одобрен на заседании НТС НИО-7 03.12.2025г.

Начальник лаборатории НИО-7 Научно-исследовательского центра АО «ЛИИ им. М.М. Громова»
д.т.н. профессор

«8» декабря 2025 г.

 Поплавский Борис Кириллович

Начальник НИО-7 Научно-исследовательского центра АО «ЛИИ им. М.М. Громова»
к.ф.-м.н.

«8» декабря 2025 г.

 Бардин Алексей Алексеевич

Ведущий научный сотрудник НИО-7 Научно-исследовательского центра АО «ЛИИ им. М.М. Громова»
к.п.н.

«8» декабря 2025 г.

 – Меликова Мария Бенедиктовна

Рабочий телефон: 8 (495) 556 75 27

С отзывом ознакомлен

09.12.2025

 Горо Секу