

ОТЗЫВ

официального оппонента к.т.н. Ткаченко Олега Ивановича
на диссертационную работу
Горо Секу

на тему: «Разработка алгоритмов повышения точности бортовых измерений в целях идентификации параметров моделей движения самолетов» на соискание
ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16.

«Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

Актуальность избранной темы диссертационной работы обусловлена необходимостью повышения эффективности применения и безопасности полетов современных летательных аппаратов. Разработка математических моделей, скорректированных по данным летных испытаний, позволяет корректировать алгоритмы систем управления как беспилотных летательных аппаратов, так и пилотируемых человеком на основе методов теории идентификации систем. Современные методы идентификации параметров моделей движения летательных аппаратов представляют собой хорошо разработанный аппарат, позволяющий решать задачи параметрической идентификации с высокой степенью точности. Однако точность получаемых оценок принципиально зависит от эффективности подавления различных составляющих погрешностей. В рамках данного диссертационного исследования автором проводится комплексный анализ природы погрешностей измерительных систем, влияющих на обработку данных летных испытаний.

Новизна научных положений и выводов, сформулированных в диссертации, заключается в:

- разработке автором метода оценивания систематических погрешностей измерения параметров полёта, основанный на сочетании уравнений динамики полёта и параметрической идентификации;

- разработке алгоритма коррекции погрешностей дискретизации бортовых измерений, обусловленных ограниченностью разрядной сетки;
- разработке алгоритме идентификации на основе расширенного фильтра Калмана с перекрывающимся скользящим окном;
- предложении методики определения оптимального скользящего окна с использованием нейронных сетей, обученных на смоделированных полетных данных, обеспечивающая наименьшую погрешность в задаче идентификации аэродинамических параметров.

Теоретическая значимость результатов исследования.

Перечисленные выше научные результаты 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 различных вариантов фильтра Калмана, нейросетевых технологий, сплайнов Эрмита и других подходов.

Практическая значимость работы

Практическая значимость работы состоит в разработке автором алгоритма на основе расширенного фильтра Калмана с перекрывающимся скользящим окном, который существенно повышает точность идентификации аэродинамических параметров модели ЛА по сравнению со стандартными методами идентификации.

Разработанное программное обеспечение с использованием нейронных сетей для применения предложенной автором методики определения наилучшего скользящего окна, обеспечивает наименьшую погрешность при идентификации параметров модели ЛА.

Разработанные методики коррекции погрешностей целесообразно применять также при анализе летных испытаний.

Оценивая содержание работы, следует отметить, что представленный материал изложен четким, ясным языком с хорошей логической последовательностью повествования.

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Во введении обосновывается актуальность исследования, формулируется цель работы, показана ее новизна и практическая значимость, указаны основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе диссертации рассмотрен состав информационно-измерительной системы бортовых измерений современных и перспективных ЛА, выявлены их недостатки и достоинства, описаны методы для предварительной обработки полетных данных, а также представлены существующие методы обработки бортовых измерений:

- идентификации параметров;
- комплексирования данных от различных датчиков;
- фильтрации данных;
- анализа спектра, методы конечных разностей и др.

Вторая глава посвящена разработке алгоритмов комплексирования и восстановления бортовых измерений, разработке алгоритмов восстановления случайных и систематических погрешностей бортовых измерений в ходе обработки результатов летных испытаний летательных аппаратов.

В интересах подавления влияния случайных и систематических погрешностей при оценке параметров динамической системы предложен подход, основанный на применении кубических сплайнов и конечных разностей, что позволяет получить более точные и плавные оценки сигналов и параметров системы,

Предложено применение расширенного фильтра Калмана с перекрывающимся скользящим окном для идентификации аэродинамических параметров учебно-тренировочного самолёта.

В третьей главе автором рассмотрен комбинированный подход, сочетающий метод скользящего окна с расширенным фильтром Калмана (EKF) и свёрточными нейронными сетями (CNN) для выбора оптимального размера скользящего окна, который должен обеспечить наименьшую погрешность при идентификации аэродинамических параметров.

Четвертая глава содержит оценки работоспособности предложенных алгоритмов и методов с использованием данных стендового моделирования и обработка полученных данных разработанным автором комплексом программного обеспечения.

В главе изложены материалы по сравнительному анализу методов оценки аэродинамических параметров, выполнена оценка наилучшего интервала скользящего окна с использованием нейронных сетей в методе идентификации с применением расширенного фильтра Калмана.

В частности, проведено сравнение работоспособности предложенного метода в сравнении методами Поплавского и конечных разностей. Проведенный анализ спектральных характеристик подтверждает безусловное преимущество предложенного метода во всех частотных диапазонах, ограниченную применимость метода Поплавского исключительно для низкочастотного анализа, и полную непригодность метода конечных разностей для точных измерений.

Использование алгоритма на основе расширенного фильтра Калмана с перекрывающимся скользящим окном улучшает точность оценки аэродинамических параметров.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы по диссертационной работе.

Заключение о соответствии диссертации требованиям «Положения о присуждении ученых степеней»:

- полученные результаты диссертационного исследования соответствуют поставленной цели и задачам;
- автореферат в целом соответствует содержанию диссертационной работы;
- основные результаты опубликованы в 12-ти печатных работах, из них 4 – в изданиях, входящих в перечень ВАК РФ, 1 работа – в изданиях, индексируемых в базе данных Scopus, 1 работа – в материалах и трудах конференций, индексируемых в базе данных Scopus. Автором опубликовано 6 материалов в международных и всероссийских научно-технических конференциях;
- диссертационная работа тематически и по содержанию соответствует паспорту специальности о 2.5.16 «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

При всех достоинствах, диссертационная работа не лишена **недостатков**:

1. При достаточно разработанном автором математического аппарата идентификации в работе продемонстрирован пример оценки ограниченного числа параметров модели продольной аэродинамики самолета в предположении линейного характера изменения аэродинамических характеристик. В приведенном примере отсутствуют оценки моментных характеристик самолета. Аэродинамические характеристики самолета существенно зависят от угла атаки и числа М. Работа выиграла бы при идентификации нелинейных зависимостей аэродинамических параметров.

2. На стр.148 приведена Таблица 4.5.1.1 сравнения среднеквадратических отклонений для двух параметров, при этом приведено излишне большое число значащих цифр после запятой. Такое представление

результата не имеет смысла, а только затрудняет понимание проведенных автором исследований.

3. Вызывает вопрос рисунок 4.1.3 на стр.127. Подпись оси ординат не соответствует физике исследуемого процесса. Сравнение его с рисунком 4.2.1.1 на стр. 131 показывает, что, всей видимости, приведен график изменения тангажа.

4. В главе 2 на стр.107 автор высказывает замечание, что среднюю абсолютную процентную ошибку (MAPE – Mean Absolute Percentage Error) не рекомендуется использовать при наличии нулевых или близких к нулю значений в данных. Тем не менее в главе 4 во многих местах используется мера MAPE для сравнения методов идентификации. Возникают вопросы по результатам, приведенным, в частности, в таблице 4.5.2 на стр.151. Возможно, целесообразнее было бы использовать другие меры для сравнения результатов расчетов.

5. В автореферате автор практически не уделил места для описания главы 4. При этом часть материалов этого раздела диссертации оказалось в описании других глав.

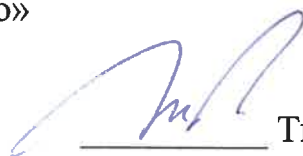
Приведенные замечания не снижают общего высокого научного уровня диссертационной работы Горо Секу.

Диссертация Горо Секу «Разработка алгоритмов повышения точности бортовых измерений в целях идентификации параметров моделей движения самолетов» представляет собой законченную научно-квалификационную работу на актуальную тему «Развития методов идентификации параметров моделей движения летательных аппаратов» и имеет практическую значимость в интересах знаний о динамике самолета на всех основных этапах его жизненного цикла, включая разработку, летные испытания и эксплуатацию.

По своей актуальности, научной новизне, объему выполненных исследований и практической значимости полученных результатов, диссертационная работа соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК Минобрнауки РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук. Автор работы Горо Секу заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16 «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОППОНЕНТ

Начальник отдела НИО-15 НИЦ БП
ФАУ «ЦАГИ им. профессора Н.Е. Жуковского»
кандидат технических наук
Ткаченко Олег Иванович



Ткаченко О.И.

«08» декабря 2025 года

140181, Московская обл.,
г. Жуковский, ул. Жуковского, 1,
e-mail: flight15@tsagi.ru,
моб. тел.: 8(916)612-75-32.

Подпись официального оппонента к.т.н. Ткаченко Олега Ивановича заверяю.

(фамилия имя отчество оппонента полностью)

Начальник управления персоналом
(должность)

(подпись)

О.А. Власова
(Ф.И.О.)



С отзывом ознакомлен
09.12.2025 Горо Секу