

Ученому секретарю

диссертационного совета 24.2.327.03

доктору технических наук, доценту

Старкову А.В.

125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4

ОТЗЫВ

официального оппонента

ведущего инженера-конструктора отделения аэродинамики

Публичного акционерного общества «Яковлев»,

доктора технических наук, профессора

Левицкого Сергея Владимировича

на диссертационную работу Моунг Хтанг Ома

«Методы и алгоритмы идентификации аэродинамических коэффициентов и силы тяги двигателей воздушных судов с учетом неблагоприятных факторов летного эксперимента», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.16. «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

Представленная диссертационная работа посвящена решению **актуальной проблемы** в современной авиационной науке – повышению достоверности идентификации параметров математических моделей летательных аппаратов (ЛА) по данным натурного эксперимента.

Автор стремится разрешить фундаментальное противоречие между требованиями классической теории идентификации, предполагающей адекватность моделей измерительных систем и окружающей среды, с реальными условиями лётных испытаний, неизбежно сопровождающихся

систематическими погрешностями и атмосферными возмущениями, коррелированными с полезными сигналами.

Предлагаемый автором системный подход к созданию алгоритмов, устойчивых к комплексу неблагоприятных факторов является востребованным для организаций связанных с разработкой и эксплуатацией авиационной техники. Поэтому актуальность темы диссертации и соответствие её основным направлениям развития современной авиации достаточно очевидна.

Тема, содержание и полученные в диссертационной работе результаты соответствуют специальности 2.5.16 «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов». Объектом исследования является процесс идентификации параметров модели пространственного движения ЛА, то есть рассматривается одна из ключевых задач данной специальности. В работе используются и развиваются методы динамики полета, теории управления, теории оптимизации, математической статистики. Разработанные алгоритмы направлены на оценку именно тех параметров (аэродинамические коэффициенты сил и моментов), которые являются определяющими для анализа динамики, устойчивости и управляемости ЛА. Таким образом, паспорту специальности работа соответствует в полной мере.

Научная новизна работы во многом определяется её системным характером. Автору удалось не просто предложить ряд улучшений, а сформулировать новый подход к методологии идентификации. К наиболее значимым новым результатам относятся:

- методологический подход к подавлению систематических смещений оценок идентификации. В отличие от традиционной парадигмы минимизации случайных ошибок, автор фокусируется на борьбе с фундаментальной причиной нерегулярности оценок – коррелированными с полезным сигналом помехами, порождаемыми несоответствием модели и объекта. Это новый подход к решению проблемы;

- алгоритм раздельной идентификации сил тяги и сопротивления. Решение этой классически некорректной задачи без привлечения сложных газодинамических моделей двигателя является оригинальным результатом, который удалось получить на основе комбинации специального тестового маневра, оптимального управления и алгоритмов сглаживания;

- метод обнаружения коррелированных помех при помощи «искусственного временного сдвига сигналов». Метод отличается простотой реализации и эффективностью. Он выявляет источник смещения оценок, который ранее мог оставаться необнаруженным, и представляет собой новый диагностический инструмент в теории идентификации и планирования эксперимента;

- частотно-временной алгоритм идентификации. Удачное сочетание моделирования во временной области с минимизацией функционала в частотной области позволяет эффективно использовать априорную информацию о спектре помех, что особенно ценно для нелинейных систем.

Достоверность результатов обеспечена корректным применением фундаментальных методов (метод максимального правдоподобия, методы статистики, методы оптимизации), их строгим математическим обоснованием, а также многоуровневой системой контроля результатов. Автор последовательно проверяет каждый алгоритм на синтезированных данных с известными характеристиками, что позволяет отделить погрешности метода от влияния неучтенных факторов летного эксперимента.

Теоретическая значимость диссертации существенна. Работа вносит вклад в развитие теории идентификации нелинейных динамических систем в условиях параметрической и структурной неопределенности.

Расширение границ применимости классических методов. Автор показывает, как методы наименьших квадратов и максимального правдоподобия могут быть адаптированы для условий, выходящих за рамки их стандартных допущений.

Вклад в теорию планирования эксперимента. Предложенный метод формирования оптимального тестового воздействия для разделения тяги и сопротивления, а также алгоритм обнаружения коррелированных помех представляют собой новые результаты в области повышения информативности эксперимента.

Развитие методики решения некорректных задач. Представленный подход к раздельной идентификации существенно коллинеарных параметров через специальное управление является методическим результатом, применимым и в других областях.

Работа обладает высокой практической ценностью. Разработанные алгоритмы и методики доведены до уровня, готового к прямому внедрению в практику летных испытаний и научных исследований. Результаты работы целесообразно использовать:

- в испытательных организациях: алгоритмы контроля данных (оценка ветра, проверка аэрометрии) позволят повысить метрологическую культуру испытаний. Метод разделения тяги и сопротивления может сократить объем экспериментов по определению тяговых характеристик и аэродинамического качества;

- в конструкторских бюро: получение уточненных аэродинамических коэффициентов из ограниченного числа полетов позволит корректировать модели летательных аппаратов в процессе испытаний;

- в эксплуатирующих организациях: методы восстановления углов атаки и скольжения, диагностики погрешностей могут быть использованы при расшифровке данных бортовых регистраторов для более точного анализа авиационных инцидентов.

Комплексный характер работы означает, что её внедрение может дать эффект на всех этапах: от первичной обработки полетной информации до получения итоговых параметрических моделей.

Диссертация структурно завершена и логически обоснована. Её композиция отражает классический научный подход: от анализа проблемы и существующих методов к разработке нового аппарата и его проверке. Особо следует отметить материалы первой главы, где автор проводит основательный математический анализ причин нерегулярности оценок, что служит отправной точкой для всей последующей работы.

Изложение материала четкое, аргументированное. Математический аппарат применен корректно. Иллюстрации и таблицы качественно дополняют текст.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации. Он составлен грамотно, отражает все ключевые элементы работы: актуальность, цель, научную новизну, положения, выносимые на защиту, выводы. Формулировки в автореферате адекватны тексту диссертации. Объем и структура автореферата соответствуют требованиям ВАК. На основании автореферата можно составить полное и объективное представление о содержании диссертации и о научном вкладе соискателя.

Апробация результатов выполнена на высоком уровне. Участие в 15 крупных российских и международных конференциях (IAC, ICASSE, HSTD и др.) свидетельствует о признании исследований автора научным сообществом.

Автора отличает также высокая публикационная активность: 46 работ, включая 13 статей в журналах ВАК (11 по специальности), 18 публикаций в Scopus/Web of Science и одна монография, переведенная на 9 языков. Важно, что среди публикаций есть статьи в высокорейтинговых международных изданиях, что подтверждает международную значимость проведенных исследований. Публикации полностью раскрывают основные положения, выносимые на защиту.

Представляется целесообразным высказать следующие замечания:

- в диссертации представлен алгоритм отдельной идентификации тяги и сопротивления, однако не рассмотрены практические ограничения, которые

могут возникнуть при его реализации в реальных летных испытаниях воздушных судов, особенно с учетом требований к безопасности полетов и типовых ограничений на выполнение маневров;

- алгоритм оценки вектора ветра в реальном времени использует скользящее окно малой длительности, однако не предложена методика выбора оптимального размера этого окна;

- метод обнаружения коррелированных помех с помощью сдвига входного сигнала является эффективным диагностическим средством, однако не показано, в какой мере его чувствительность зависит от характера самого входного сигнала, например, его частотного состава;

- при использовании частотно-временного алгоритма идентификации необходима настройка весовых коэффициентов в частотной области, при этом неясно, возможна ли такая настройка при отсутствии априорной информации о спектре помех.

Высказанные замечания не умаляют достоинств диссертации.

Результаты диссертации заслуживают широкого внедрения в профильные организации, для чего целесообразно:

- подготовить и издать практическое руководство (учебное пособие) по применению новых методов для инженеров-испытателей;
- использовать наработанный материал для чтения специальных курсов в авиационных вузах.

Общий вывод.

Представленная работа является завершенным самостоятельным научным трудом, в котором решена значимая научно-техническая проблема разработки системы методов и алгоритмов идентификации параметров моделей движения воздушных судов с учетом неблагоприятных факторов летного эксперимента. Автор продемонстрировал глубокие профессиональные знания, владение современным математическим аппаратом и умение самостоятельно ставить задачи и проводить комплексные исследования на высоком уровне.

На основании изложенного считаю, что диссертационная работа Моунг Хтанг Ома «Методы и алгоритмы идентификации аэродинамических коэффициентов и силы тяги двигателей воздушных судов с учетом неблагоприятных факторов летного эксперимента» заслуживает положительной оценки, а её автор – **Моунг Хтанг Ом – достоин присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.5.16. «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».**

«27» января 2026 г.

«27» января 2026 г.

С отзивом означених.
27.01.2026

Телефон: +7 (495) 777 21 01, E-mail: office@yakovlev.ru