



МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ТОРГОВЛИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Ученому секретарю диссертационного совета  
Д 212.125.12 при МАИ (национальный  
исследовательский университет)»

Государственный научный центр Российской Федерации  
Федеральное государственное унитарное предприятие

к.т.н. А.В. Старкову

**«ЦЕНТРАЛЬНЫЙ  
АЭРОГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
имени профессора Н.Е.Жуковского»  
ФГУП «ЦАГИ»**

125993, г. Москва, А-80, ГСП-3,  
Волоколамское ш., д. 4

140180 Московская обл., г. Жуковский, ул. Жуковского, д. 1  
тел.: (495)556-4205, факс: (495)777-6332  
E-mail: <http://www.tsagi.ru>  
ОКПО 07542112, ОГРН 1025001624471  
ИНН / КПП 5013009056/504001001

06.11.2018 № 21/15-10-0240

На № \_\_\_\_\_



**Уважаемый Александр Владимирович!**

Направляю Вам отзыв официального оппонента Ткаченко Олега Ивановича, к.т.н., начальника отдела НИО-15 НИК БП ФГУП «ЦАГИ» на диссертационную работу Моунг Хтанг Ом на тему «Разработка алгоритмов идентификации для решения задач испытаний и эксплуатации летательного аппарата», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.09 «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

Приложение: отзыв на диссертацию, 2 экз.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 403.004.01,

доктор физ-мат наук, доцент

Брутян М.А.

ОБЩИЙ ОТДЕЛ МАИ  
Вх. № 2  
06.11.2018

018198

Исп. Ткаченко О.И., т.556-30-63

## ОТЗЫВ

официального оппонента Ткаченко Олега Ивановича  
на диссертационную работу

Моунг Хтанг Ом

на тему «Разработка алгоритмов идентификации для решения задач испытаний и эксплуатации летательного аппарата», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.09 «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

**Актуальность** избранной темы диссертационной работы обусловлена тем, что в процессе испытаний и эксплуатации самолетов значение методов моделирования очень велико и неизменно возрастает. Важнейшим инструментом создания математических моделей самолетов для сопровождения испытаний и эксплуатации являются методы идентификации динамических систем, получающие информацию непосредственно из летного эксперимента, что существенно повышает уровень достоверности моделирования.

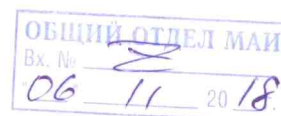
**Научная новизна диссертационной работы** состоит в том, что в ней получен ряд новых научных результатов, имеющих значение для дальнейшего развития алгоритмического обеспечения летных испытаний и эксплуатации ЛА на основе моделирования и идентификации.

К новым результатам относятся:

- алгоритм повышения точности идентификации аэродинамических коэффициентов на основе гармонических сигналов с использованием метода декомпозиции,

- алгоритм идентификации параметров статически неустойчивых самолетов на основе дополнительной устойчивой модели, который позволяет избежать численного интегрирования дифференциальных уравнений неустойчивого объекта,

- частотный алгоритм идентификации параметров линейных моделей движения статически неустойчивых самолетов.



Элементы научной и методической новизны присутствуют также в методических рекомендациях по анализу результатов идентификации на основе математической статистики и в методиках оценивания влияния форм сигнала и уровня шумов измерений на точность идентификации аэродинамических коэффициентов.

**Достоверность** научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированные в диссертации обеспечивалась корректным использованием основных положений и математического аппарата теории идентификации динамических систем и математической статистики. Для подтверждения достоверности разработанных алгоритмов идентификации осуществлена проверка их работоспособности методом математического моделирования.

**Практическая значимость работы** определяется тем, что в ней предложены работоспособные алгоритмы и методы идентификации аэродинамических коэффициентов, пригодные для практической обработки полетных данных. Эти алгоритмы могут быть использованы при разработке алгоритмического обеспечения сопровождения испытаний и эксплуатации самолётов.

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 проведен подробный теоретический анализ методов идентификации, получивших наибольшее распространение и используемых при обработке летных испытаний: метод множественной регрессии, метод максимума правдоподобия, дискретно-непрерывный метод. Во многом качество идентификации определяется уровнем шумов измерений. Показано, что ни один из указанных методов не может быть универсальным.

Во второй главе приводится методика оценивания влияния форм входных сигналов и уровня шумов измерений на результаты идентификации аэродинамических параметров летательного аппарата. Показано, что наименьшие погрешности идентифицируемых параметров получены при простых сигналах типа прямоугольная волна и полигармонический двухчастотный сигнал. Относительно уровня шумов измерений показано, что удовлетворительные точности идентификации, соответствующие относительным погрешностям менее 5% достигаются при уровне шумов с коэффициентом менее 0,2.

В третьей главе рассмотрена проблема идентификации статически неустойчивых самолетов. Путем моделирования динамики летательного аппарата с учетом воздушных возмущений и моделей шумов датчиков показано, что рассмотренные в первой главе методы идентификации дают по ряду параметров значительные погрешности (30% и более). Автором предложен алгоритм для идентификации параметров неустойчивой системы, заключающийся в ведении дополнительной устойчивой системы, имеющей ту же структуру, что и исходная система, и последующей идентификацией параметров устойчивой системы и параметров отклонений этих систем. Показано, что применение предложенных алгоритмов значительно снижает погрешности оценки параметров.

Четвертая глава посвящена анализу результатов обработки летных испытаний, которые проведены автором на основе классических методов математической статистики применительно к параметрам коротко-периодического продольного движения.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы по диссертационной работе.

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

1. Обзор работ, посвященных теме идентификации аэродинамических характеристик по результатам летных испытаний, не является

представительным, несмотря на достаточно обширный библиографический список, включающий 80 наименований.

2. В автореферате неоправданно большой объем выделен для представления уравнений пространственного движения летательного аппарата, хорошо известных в динамике полета.

3. В работе введено нестандартное определение относительной погрешности оценки параметров, учитывающее знак погрешности. Соответствующая формула приведена на стр.82, хотя это определение используется ранее на стр.54 и 59. Однако автор при анализе результатов знак относительных погрешностей нигде не использует. Без всяких проблем следовало бы брать относительные погрешности по модулю, как это предусмотрено метрологическими стандартами.

4. В главе 3 в таблице 3.1.2 на стр.83 приведены погрешности оценок параметров для исходных методов идентификации без указания характеристик шумов измерений, в то время как в таблице 3.2.1 на стр.93 приведены погрешности оценок параметров для предлагаемого автором метода идентификации с указанием характеристик шумов измерений. В результате возникает сложность сравнении результатов идентификации параметров.

5. В названии диссертации указано, что работа посвящена разработке алгоритмов идентификации летательного аппарата, однако работоспособность предлагаемых методов демонстрируется на примере линейной модели коротко-периодического продольного движение, за исключением расширенного варианта метода дополнительной модели, где введены нелинейности и учтены составляющие бокового движения. Между тем аэродинамические характеристики могут быть существенно нелинейны, а идентификация характеристик бокового движения имеет значительную специфику, что не нашло достаточного отражения в работе.

6. Часть графического материала главы 2 (стр.45-50) следовало бы представить в более четком виде: слишком мелкий шрифт обозначения осей и

малая толщина линий графиков, что затрудняет их анализ. Рисунки в остальной части работы значительно более читабельны.

Приведенные замечания не снижают общего высокого научного уровня диссертационной работы Моунг Хтанг Ом.

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

- полученные результаты диссертационного исследования соответствуют поставленной цели и задачам;
- автореферат полностью соответствует содержанию диссертационной работы;
- основные результаты опубликованы в 10 работах, из них 3 в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий ВАК, 2 работы опубликованы в изданиях, входящих в Scopus, 1 работа опубликована в изданиях, входящих в Web of Science, а также в одной монографии,
- материалы диссертации представлялись автором на пяти научно-технических конференциях и семинарах;
- диссертационная работа тематически и по содержанию соответствует паспорту специальности 05.07.09 «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

Диссертация Моунг Хтанг Ом «Разработка алгоритмов идентификации для решения задач испытаний и эксплуатации летательного аппарата» представляет собой законченную научно-квалификационную работу на актуальную тему разработку методов, уточняющих наши знания об аэродинамике летательных аппаратов на этапе летных испытаний. Работа имеет практическую значимость, поскольку направлена на сокращение сроков испытаний за счет применения моделирования, а также на повышение безопасности эксплуатации авиационной техники.

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, Моунг Хтанг Ом, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.09 «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

### **ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОППОНЕНТ**

Начальник отдела НИО-15 НИК БП

ФГУП «ЦАГИ им. профессора Н.Е. Жуковского»

кандидат технических наук,

Ткаченко Олег Иванович

140180, Московская обл.,

г. Жуковский, ул. Жуковского, 1



Ткаченко О.И.

«02» ноября 2018 года

Подпись официального оппонента к.т.н. О.И. Ткаченко заверяю.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 403.004.01,

доктор физ-мат наук, доцент



Брутян М.А.