

Общество  
с ограниченной ответственностью  
«Экспериментальная мастерская  
НаукаСофт»



129085, г. Москва, ул. Годовикова, д. 9, стр. 1  
тел.: +7 (495) 255-36-35, факс: +7 (499) 558-00-49  
e-mail: contacts@xlab-ns.ru, <https://naukasoft.ru>

Исх. № 127 от 01.11.18 г

Ученому секретарю диссертационного совета  
Д 212.125.12

Старкову А.В.

-----  
125993, г. Москва, ГСП-3, А80, Волоколамское  
шоссе, д.4. Ученый совет МАИ.

Уважаемый Александр Владимирович!

Направляю в Ваш адрес отзыв официального оппонента доктора  
технических наук, профессора Харькова Виталия Петровича согласно  
приложения.

Приложение: Отзыв ----- 2 экз. на 6 листах каждый.

Заместитель генерального директора

А.П. Патрикеев

«01» ноября 2018 г.



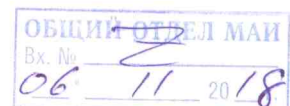
## ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, профессора Харькова Виталия Петровича на диссертацию Моунг Хтанг Ома, выполненную на тему «Разработка алгоритмов идентификации для решения задач испытаний и эксплуатации летательного аппарата», на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Специальность: 05.07.09 «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов» (авиационная и ракетно-космическая техника)

**Актуальность темы диссертации.** Диссертационная работа Моунг Хтанг Ома посвящена разработке алгоритмов идентификации аэродинамических коэффициентов летательных аппаратов по данным летных испытаний. В настоящее время с появлением специфических задач, таких как: дозаправка самолетов в воздухе, автоматическая посадка, применение высокоточного управляемого вооружения потребовало знания достоверных математических моделей самолётов и их систем. Это привело к тому, что математическое и стендовое моделирование стало важным средством решения, указанных задач не только на этапах испытаний, но и при эксплуатации воздушных судов.

Известны различные методы и подходы к структурно-параметрической идентификации моделей воздушных судов, отличающихся потребными вычислительными ресурсами, требованиями к точности знания априорных характеристик внешних условий, вычислительной устойчивостью и т.д. Однако все они, в основном, ориентированы на решение задачи для устойчивых моделей исследуемых объектов.



Поэтому совершенствование методов параметрической идентификации, которые повышают точность и достоверность оценивания по данным летных экспериментов, системный подход к выбору самого метода идентификации в зависимости от условий решения задачи, уровню шума входных и выходных сигналов, представления математической модели объекта идентификации представляет собой весьма актуальную народнохозяйственную задачу.

### **Научная новизна полученных результатов**

Новыми научными результатами, полученными автором в диссертационной работе, являются:

алгоритм повышения точности идентификации аэродинамических коэффициентов на основе гармонических сигналов и применения метода декомпозиции,

алгоритм идентификации параметров статически неустойчивых самолетов, основанный на использовании дополнительной устойчивой модели,

частотный алгоритм идентификации параметров линейных моделей движения статически неустойчивых самолетов.

В первом из этих методов предлагается использовать тестовый входной сигнал, представляющий сумму нескольких гармонических составляющих с известными частотами. Автор использует тот факт, что в случае линейной модели объекта после завершения переходных процессов, то есть на установившемся движении, входные и выходные сигналы будут содержать составляющие, имеющие только эти частоты. Поэтому возможно, применяя линейную множественную регрессию, разложить измеренные в натурном эксперименте входные и выходные сигналы в тригонометрический ряд,



включающий только указанные частотные компоненты. Смысл преобразования в том, что тем самым отфильтровываются шумы измерений. Качество фильтрации получается весьма высоким, поскольку, во-первых, используется априорная информация о частотах всех полезных компонент преобразуемых сигналов, во-вторых, в этом случае выполняются известные предпосылки регрессионного анализа, поэтому относительно простой метод множественной регрессии дает несмещенные оценки коэффициентов разложения.

Относительно двух предложенных алгоритмов идентификации статически неустойчивых самолетов необходимо сказать следующее. Существует очевидный способ исключить при идентификации специфику, связанную со статической неустойчивостью. Для этого надо рассмотреть замкнутый контур «самолет-система управления-привод», который обладает свойством устойчивости, иначе полет статически неустойчивого самолета был бы невозможен. Однако здесь возникает проблема размерности, поскольку модели системы управления и приводов в общем случае являются достаточно сложными, а любая неточность этих моделей может привести к смещению оценок аэродинамических коэффициентов. Если же выделить самолет из замкнутого контура, то получаем проблему, связанную с численным интегрированием дифференциальных уравнений неустойчивого объекта. Такое интегрирование используется в наиболее эффективных методах параметрической идентификации, например, в методе максимума правдоподобия с настраиваемой моделью и в расширенном фильтре Калмана.

Метод дополнительной модели представляет собой специфический вариант линейного фильтра. Преимущество по сравнению с известными универсальными алгоритмами цифровой фильтрации заключается в том, что

для фильтрации используется дополнительная модель, по структуре совпадающая с моделью объекта, поэтому полезные сигналы не искажаются, чего нет в фильтрах, не использующих информацию о модели объекта.

Во втором алгоритме интегрирование исключается за счет перехода в частотную область. Оригинальность этого алгоритма в том, что автор не идет по пути непосредственного использования результатов теоремы Винера-Хинчина, которые позволяют идентифицировать передаточную функцию на выбранной сетке частот. В этом случае число параметров равно числу узлов сетки, то есть относительно велико, что снижает точность оценок. Вместо этого предлагается использовать известные в динамике полета аналитические выражения передаточных функций через несколько аэродинамических коэффициентов, оценки которых определяются по методу Ньютона. В итоге достигается приемлемая точность.

**Достоверность научных результатов диссертации.** Обоснованность и достоверность основных положений диссертации подтверждена корректностью принятых допущений, правильным использованием методов динамики полета, математического моделирования движения самолёта, теории идентификации динамических систем, численной оптимизации и математической статистики. Полученные результаты аргументированы в рамках принятых допущений и не противоречат представлениям о физических процессах, происходящих в исследуемых объектах. Работоспособность, предложенных алгоритмов идентификации подтверждена сравнением некоторых результатов компьютерного моделирования в среде MATLAB с известными результатами, полученными ранее другими авторами.

**Практическая значимость результатов диссертации.** Методы, алгоритмы и результаты идентификации аэродинамических

коэффициентов, полученные автором в диссертационной работе, могут быть использованы в ходе разработки алгоритмического обеспечения для сопровождения испытаний и эксплуатации самолётов, а также в учебном процессе.

Результаты, полученные в диссертационной работе, апробированы на международных и всероссийских научно-технических конференциях, три работы опубликованы в изданиях, входящих в базы Web of Science и в Scopus, 3 статьи опубликованы в журналах, включенных в перечень ВАК.

Автореферат и опубликованные работы достаточно полно отражают основное содержание диссертации.

#### **Замечания по диссертационной работе.**

1. Автор неудачно использует термин идентификация по максимуму правдоподобия для алгоритма, который фактически является разновидностью метода настраиваемой модели.
2. Автор применяет статистические критерии (критерий Стьюдента) для определения соответствия оценок априорным данным. Во-первых, они и не должны соответствовать из-за наличия априорных ошибок, во-вторых, не показан характер статистического распределения самих невязок.
3. При определении постоянной погрешности угла атаки допущено ряд неточностей: не учтен постоянный ветер, угол тангажа равен только путевому углу атаки, не учтено ни режим работы силовой установки, ни положение механизации крыла.

Сделанные замечания не снижают общей ценности работы. Диссертационная работа Моунг Хтанг Ома «Разработка алгоритмов идентификации для решения задач испытаний и эксплуатации



летательного аппарата», в которой изложены теоретические и практические результаты разработки алгоритмического обеспечения идентификации аэродинамических коэффициентов, является законченной научной квалификационной работой, обладает актуальностью, научной новизной и имеет практическое значение.

**ВЫВОД:** Представленная диссертационная работа соответствует требованиям п.9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г., предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Моунг Хтанг Ом заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.09 «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

Официальный оппонент главный научный сотрудник ООО "Экспериментальная мастерская НаукаСофт".  
«01» ноября 2016 г.



В.П. Харьков

Подпись Харькова В.П. удостоверяю.  
Помощник генерального директора по кадрам.  
«01» ноября 2018 г.



О.Ю. Максимова

129085, г. Москва, ул. Годовикова, 9 стр. 1  
ООО "Экспериментальная мастерская НаукаСофт"  
contacts@naukasoft.ru  
www.naukasoft.ru