

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Главного конструктора тематического направления АО МНПК «Авионика»

Кулабухова Владимира Сергеевича

на диссертацию **Чжо Зин Латт** «Алгоритмическое обеспечение повышения точности измерений воздушных параметров движения самолета на основе методов идентификации и динамики полета», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности **05.07.09** – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов»

**Актуальность темы исследования.** Повышение точности измерений параметров движения самолета относительно воздушной среды является одним из важнейших направлений совершенствования комплексных систем управления (КСУ) и систем ограничения пилотажных режимов (СОПР), в которых эти параметры используются в формульных зависимостях, отражающих законы управления и логику функционирования в широких пределах изменения режимов полета. Современное состояние и перспективы совершенствования методов и технологий измерения параметров движения летательных аппаратов (ЛА) относительно воздушной среды характеризуются улучшением не только методов прямых измерений воздушных параметров, но и интенсивным развитием и применением методов математического моделирования и комплексной обработки информации (КОИ), позволяющих использовать сложные алгоритмы оптимального оценивания и идентификации для высокоточного вычисления воздушных параметров по информации разнородных датчиков, основанных на различных физических принципах действия. Одним из важнейших датчиков, ставших доступным для практического применения в задачах косвенной оценки и коррекции аэрометрических измерений, является приемник спутниковых навигационных систем (СНС). Многие современные алгоритмы идентификации и оценивания различных параметров и переменных состояния ЛА целенаправленно создаются в расчете на использование бортовых приемников СНС. Возможность системного сочетания априорных знаний, содержащихся в математических моделях и в результатах продувок в аэродинамических трубах, и знаний, формируемых в реальном времени по результатам прямых и косвенных измерений, является важным преимуществом методов КОИ.

Актуальность темы диссертации обусловлена дальнейшим развитием указанного выше направления для повышения точности измерений воздушных параметров полета ЛА путем разработки и исследования специальных комплексных алгоритмов обработки измеряемой информации на основе выявления информационных связей между элементами рассматриваемой динамической системы. Важной составляющей работы является также использование методов динамики полета для выбора тестовых маневров, улучшающих наблюдаемость и оценивание погрешностей бортовых измерений воздушной скорости, углов атаки и скольжения ЛА с использованием приемников СНС.

В целом, в диссертационной работе рассматриваются актуальные задачи синтеза высокоточных алгоритмов КОИ о воздушных параметрах полета ЛА и задачи анализа результатов обработки полетных данных, решение которых можно получить на основе теории идентификации систем и динамики полета.

**Рассмотрение содержания диссертации.** Представленная диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы.

ОБЩИЙ СЕДЕЛ МАИ  
Вх. № 10 / 12 2019

**Во введении** обоснована актуальность темы исследования, описана степень ее разработанности. Сформирована цель диссертационной работы, определены объект, предмет и задачи исследования, представлены методы достижения поставленной цели, результаты, выносимые на защиту, научная новизна и практическая значимость работы, обоснована достоверность научных положений, продемонстрировано внедрение результатов работы, а также приведены сведения об апробации и структуре работы.

**В первой главе** автором по результатам имеющихся публикаций выполнен анализ методов обработки бортовых измерений, направленных на повышение их точности. Основное внимание уделено методам, использующим комплексирование информации и методам теории идентификации систем для получения оценок систематических погрешностей.

По результатам анализа автор сделал вывод, что перспективным направлением исследований является оценивание и коррекция погрешностей аэрометрических измерений с использованием данных СНС.

**Во второй главе** автор изложил методику и алгоритмы оценивания и коррекции погрешностей бортовых аэрометрических измерений воздушной скорости и составляющих скорости ветра.

**Третья глава** посвящена изложению результатов исследования алгоритма совместной идентификации различных систематических погрешностей аэрометрических измерений. Для формирования рекомендаций по оценке систематических погрешностей датчиков углов атаки и скольжения, а также канала измерения воздушной скорости автором было выполнено моделирование полетов гипотетического учебно-тренировочного самолета на пилотажном исследовательском стенде и произведена обработка полученных данных с использованием программно-алгоритмического обеспечения разработанных автором процедур идентификации. При моделировании оператор воспроизводил различные виды полетных маневров, которые было целесообразно использовать для идентификации.

**В четвертой главе** представлены результаты исследований различных методов оценивания скорости ветра с использованием измерителей воздушной скорости, углов атаки и скольжения самолета.

**В заключении** обобщены и изложены основные результаты диссертационной работы.

**Новизна полученных результатов и их научная ценность.** В работе получены следующие результаты, обладающие новизной и научной значимостью:

- алгоритм оценивания систематической аддитивной погрешности измерений воздушной скорости с использованием спутниковых измерений и оцениванием скорости ветра;
- алгоритм проверки согласованности спутниковых измерений скорости полета и бортовых измерений углов атаки и скольжения с учетом скорости ветра;
- алгоритм оценивания систематических погрешностей бортовых измерений углов атаки и скольжения с учетом скорости ветра;
- обобщенный алгоритм идентификации систематических погрешностей бортовых измерений воздушной скорости, углов атаки и скольжения с одновременной идентификацией скорости ветра;

- алгоритм идентификации в полете трех проекций скорости ветра по данным спутниковой навигационной системы и бортовым аэрометрическим измерениям воздушной скорости, углов атаки и скольжения;

- выявлена зависимость точностных характеристик алгоритма оценивания систематических погрешностей аэрометрических измерений и идентификации скорости ветра от видов полетных маневров и длительности интервала обработки;

- выявлена зависимость точностных характеристик алгоритма оценивания трех составляющих скорости ветра по данным спутниковой навигационной системы от не исключенных систематических погрешностей аэрометрических измерений, видов полетных маневров, длительности интервала обработки.

**Практическая значимость полученных результатов.** Полученные в работе результаты, обеспечивающие высокую точность бортовых аэрометрических измерений и оценивание трех проекций скорости ветра по данным спутниковой навигационной системы, могут быть использованы в ходе разработки алгоритмического обеспечения для сопровождения испытаний и эксплуатации ЛА, а также в учебном процессе.

**Достоверность результатов диссертационной работы** обеспечивается корректностью применения методов идентификации и динамики полета, подтверждением полученных теоретических результатов численными экспериментами, а также сравнением с известными результатами, полученными ранее другими авторами.

По теме диссертации опубликованы:

- одна статья в журнале, входящем в Web of Science;

- одна статья в журнале, входящем в Scopus;

- две статьи в журналах, входящих в рекомендованный Высшей аттестационной комиссией при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации перечень научных изданий;

- три работы в сборниках тезисов докладов на научно-технических конференциях. Все публикации отражены в диссертационной работе.

Основные научные результаты исследований по теме диссертации докладывались и обсуждались на 4-х научных конференциях и одном семинаре.

Основные положения представленной диссертации достаточно полно и адекватно отражены в **автореферате**, выполненном в соответствии с требованиями ВАК.

**В качестве замечаний по диссертации** следует указать:

1. Обзор методов оценивания погрешностей бортовых измерений на основе комплексирования измерительной информации в параграфе 1.1 носит в основном констатирующий характер. Особенности анализируемых работ в части используемых методов идентификации и достигнутых результатов изложены недостаточно четко. Анализируются, в том числе, и работы, не относящиеся по своему содержанию к теме диссертации: например, на стр. 14 анализируется работа [87] по посадке на авианосец, на этой же странице анализируются работы [88-90] по созданию бортовых систем интеллектуальной поддержки экипажа, на стр. 15 анализируются работы [55-60] по поддержке управляющих действий летчика при выполнении посадочных режимов. Указанный параграф не содержит выводов. Ссылки на анализируемые работы, следующие подряд, в тексте диссертации даются длинной очередью: например, на стр. 13 дана ссылка (цитата) «В работах [31] [32] [33] [34] [35] [36] [37] [38] [39] [40] предлагаются ...», которую можно было бы существенно сократить до вида [31-40].

2. В разделе 2 при описании различных алгоритмов идентификации автор не придерживается единого подхода к учету скорости ветра: в уравнениях (2.1) на стр. 38 и (2.18) на стр. 50 вычитает скорость ветра из скорости полета относительно земли (земной скорости), а в уравнениях (2.5) на стр. 43 и (2.9) на стр. 45 прибавляет скорость ветра к земной скорости.

3. В уравнениях (2.1), (2.8), (2.15), (2.20) неоднократно используется достаточно громоздкая матрица перехода от земной к связанной системе координат, определяемая ГОСТ 20058-80, что привело к техническим опискам при ее многократном воспроизведении. Достаточно было написать ее один раз, либо ввести для нее обозначение и сослаться на указанный ГОСТ.

4. В разделе 2 при описании решаемых задач идентификации автор в тексте диссертации приводит лишь уравнения объекта, уравнения измерений, а применительно к самим алгоритмам идентификации ограничивается ссылками на решение задач известными методами [2-4] – см. стр. 46. Какой конкретно метод идентификации использовался автором, из текста не ясно, т.к. в достаточно полном виде алгоритм не приведен. В тех случаях, когда в дополнение к уравнениям объекта и измерений автор приводит минимизируемый функционал, как на стр. 27 и стр. 54, его «методическая структура» выглядит по-разному без каких-либо пояснений.

5. Из анализа результатов моделирования полетов на пилотажном стенде следует, что идентификация воздушной скорости, составляющих ветра, углов атаки и скольжения проводилась в режиме постобработки, т.е. после завершения полета. Автор не соотносит модельные эксперименты с реальными летными экспериментами и не поясняет, с какими эталонными значениями необходимо сравнивать идентифицированные значения в реальных полетах? Не совсем ясно также назначение разрабатываемых алгоритмов идентификации: как использовать после полета восстановленные значения составляющих ветра, углов атаки, скольжения и т.д.? Возможно ли применение алгоритмов идентификации непосредственно в полете в реальном времени или целесообразно ограничиться лишь послеполетным оцениванием параметров градуировочных характеристик измерителей, что тоже делает автор?

6. В разделе 4 при исследовании методов оценивания скорости ветра с использованием воздушной скорости, углов атаки и скольжения не приведены описания уравнений наблюдаемых процессов, уравнений измерений, выражений для минимизируемых функционалов, а также не проанализирована наблюдаемость оцениваемых параметров при том или ином составе измерителей и при изменении характера выполняемых самолетом маневров. В тексте раздела не упоминается применение приемника СНС в качестве эталонного внешнетраекторного измерителя (упоминается лишь в одном из выводов по разделу). В связи с этим неясно, как будут оцениваться погрешности измерения скорости ветра в реальных полетах?

Указанные замечания существенно не меняют общего положительного впечатления о диссертационной работе в целом. Диссертационная работа выполнена на актуальную тему, отличается научной новизной и практической значимостью.

**Общее заключение о диссертации.** Диссертационная работа соискателя Чжоу Зин Латт является законченным научным исследованием, в котором решена задача разработки и исследования алгоритмического обеспечения для повышения точности измерений воздушных параметров движения самолета на основе методов идентификации и динамики полета, важного для создания современных комплексных систем управления полетом и

систем ограничения пилотажных режимов самолетов. Диссертация соответствует требованиям ВАК при Минобрнауки РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Чжо Зин Латт, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.07.09 – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

**Официальный оппонент:**

Кулабухов Владимир Сергеевич – кандидат технических наук по специальности 20.02.14, доцент, главный конструктор тематического направления АО Московский научно-производственный комплекс «Авионика» имени О.В. Успенского (АО МНПК «Авионика»).

Почтовый адрес: 127055, Москва, ул. Образцова, д.7

Тел. 8(495) 771-66-09

Элек. почта: [avionika@mnpk.ru](mailto:avionika@mnpk.ru)

« 5 » 12 2019

 В.С. Кулабухов

Подпись официального оппонента Кулабухова В.С., к.т.н, доцента, главного конструктора тематического направления АО Московский научно-производственный комплекс «Авионика» имени О.В. Успенского (АО МНПК «Авионика») «заверяю».

Помощник Управляющего директора по кадрам -  
Начальник отдела кадров АО МНПК «Авионика»

 А.В. Вяткина

