



Открытое акционерное общество
"Московский институт электромеханики и автоматики"

Россия, 125319, Москва, Авиационный переулок, 5. Телефон: 499-152-4874, факс: 499-152-2631

E-mail AOMIEA @ AVIAPRIBOR. RU ОКПО 07543413

№ _____

На № _____ от _____

УТВЕРЖДАЮ



Генеральный директор
ОАО «МИЭА», д. т. н.

Кузнецов А.Г.

« 24 » марта 2015 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Антонова Дмитрия Александровича на тему «Бортовой навигационный комплекс повышенной помехозащищенности с переменной структурой для БПЛА», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.03 – «Приборы навигации»

Развитие беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), расширение их применения для решения широкого круга задач предъявляет к ним требования для обеспечения безопасного самолетовождения в общей структуре воздушного пространства. Появляется необходимость интеграции такого бортового оборудования БПЛА, которое не только удовлетворяло бы показателям стоимости, массогабаритным характеристикам, энергопотреблению и т. д., но и обеспечивало бы для данного воздушного пространства выдерживание требуемых характеристик точности определения текущего местоположения.

Кроме того, не менее важной проблемой является решение задачи помехозащищенности. Специфика применения малых и средних БПЛА при отсутствии наземных навигационных средств поддержки, в условиях маловысотного маневренного полёта, при снижении видимости и отражении сигналов навигационных космических

аппаратов (НКА) глобальных спутниковых навигационных систем (ГНСС) усложняет проблему обеспечения точности и помехозащищенности навигационного определения.

В этой связи **важной и актуальной** проблемой является разработка построения бортового навигационного комплекса (БНК), позволяющего оценить погрешности каждой из систем, входящих в его состав.

Личное участие автора в получении результатов диссертации заключается в предложении оригинальной концепции использования оценителя, построенного на основе оптимального фильтра Калмана и дополненного моделями возмущений волновой структуры. Предлагаемый подход позволил автору организовать процедуры контроля погрешностей псевдодальностей и псевдоскоростей, исключить измерения, содержащие погрешности выше установленных порогов, построить алгоритм оценивания с переменной структурой.

Диссертационная работа состоит из оглавления, введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и библиографического списка.

В **первой главе** на базе требований к конкретному БПЛА и режимам работы автор формирует требования к набору определяемых бортовым навигационным комплексом параметров ориентации и навигации, а также точности их получения. Концепция построения БНК формируется на основании предъявляемых к нему требований, при этом во главу угла ставятся алгоритмы комплексной обработки информации (КОИ), в том числе с переменной структурой, а исходные данные для них формируются алгоритмами ориентации и навигации.

Во **второй главе** основное внимание уделяется обоснованию и модификации математических моделей погрешностей датчиков и систем, входящих в состав БНК. Приводится модель погрешностей определения углов курса, крена и тангажа, выраженных через малые углы поворота вычисленного БИНС (бесплатформенная инерциальная навигационная система) трехгранника на произвольной траектории полета. Сделан вывод о необходимости введения волнового представления погрешностей определения псевдодальностей и псевдоскоростей НКА ГЛОНАСС/GPS. Использование волнового и статистического подходов для представления этого типа погрешностей позволяет значительно повысить точность и помехозащищенность работы алгоритмов навигационного обеспечения БНК в целом. Существенное внимание в главе уделено вопросам согласования ориентации приборных осей магнитного компаса (МК) и БНК и особенностям девиационных работ на базе рекуррентного метода наименьших квадратов.

Третья глава работы посвящена разработке алгоритмического обеспечения комплексной обработки информации в БНК. Автором рассмотрены слабосвязанная и

жестко связанная схемы комплексирования, в результате анализа автором предложена схема с переменной структурой. Предложенный алгоритм КОИ переменной структуры базируется на анализе кодовых и доплеровских измерений ГНСС с целью выявления параметров волновой структуры их погрешностей с амплитудой выше заданного порога. Такой подход позволяет учитывать особенности сигналов ГНСС при формировании алгоритмов КОИ, а также сравнивать различные схемы комплексирования для анализа их характеристик. Предложенная структура алгоритмов КОИ БНК и разработанных математических моделей позволяет проанализировать три варианта схем комплексирования информации БИНС, приемника ГНСС и МК: слабосвязанная и жестко связанная схемы комплексирования со стохастическим представлением шумов системы и шумов измерений, а также схема комплексирования переменной структуры на базе стохастического и волнового представления погрешностей измерения псевдодальностей и псевдоскорости ГНСС приемником. Последний вариант построения оптимального фильтра позволяет не только улучшить характеристики КОИ, но и построить на его основе алгоритм контроля целостности навигационного обеспечения БНК и тем самым повысить помехозащищенность БНК.

В **четвертой главе** автором предложена методика имитационного моделирования разработанных алгоритмов оптимальной обработки информации, позволяющая произвести сравнительный анализ характеристик разработанных схем комплексирования БНК. На базе предложенной методики разработан программно-математический комплекс имитационного моделирования. В главе приведены структура и описание основных блоков программно-математического обеспечения (ПМО), представлены результаты имитационного моделирования и дан сравнительный анализ работы следующих вариантов построения комплекса: 1) слабосвязанная схема; 2) жестко связанная схема; 3) жестко связанная схема с переменной структурой.

В главе приведена методика натурных испытаний БНК на автотранспорте с целью проверки его функционирования и характеристик разработанных алгоритмов в условиях, близких к реальным. Приводятся результаты проведенных испытаний двух комплексных навигационных систем БИСНС-1ТМ и МБНПК “Трилистник”, в которых реализована предложенная слабосвязанная схема комплексирования.

Автором разработана методика летных испытаний предлагаемых вариантов комплексов. В четвертой главе представлены результаты экспериментальной проверки характеристик БНК на базе слабосвязанной схемы комплексирования.

В **заключении** проведено обобщение полученных результатов и сформулированы основные выводы по диссертационному исследованию.

Научная новизна диссертационной работы прежде всего состоит в том, что в ней впервые решена задача разработки линейного стохастического оценителя с использованием волнового представления возмущений, повышающая точность оценки погрешностей подсистем БНК, и процедуры контроля измерений ГНСС, улучшающей помехозащищенность комплекса. При этом получены следующие новые результаты:

1. Концепция построения, структура и алгоритмическое обеспечение БНК, повышающие помехозащищенность комплекса за счет обнаружения и исключения искаженных сигналов НКА путем использования алгоритмов КОИ переменной структуры,

2. Математические модели погрешностей навигационного комплекса, учитывающие стохастическую и волновую структуру ошибок определения псевдодальности и псевдоскорости НКА ГНСС.

3. Оценитель переменной структуры, позволяющий производить оценку вектора состояния системы с учетом стохастического и волнового представления погрешностей определения псевдодальностей и псевдоскоростей ГНСС.

4. Методики полунатурных испытаний БНК на специализированном стенде, размещаемом на автотранспорте.

5. Результаты имитационного моделирования предложенных алгоритмов комплексной обработки информации с подтверждением их работоспособности.

Практическая значимость работы для авиационной промышленности определяется разработанными схемами, математическими моделями, алгоритмами и аппаратными решениями, которые могут быть использованы разработчиками и производителями бортовых навигационных комплексов БПЛА малого и среднего классов, что подтверждается соответствующим актом о внедрении.

Степень обоснованности научных положений определяется проведенными экспериментальными исследованиями с использованием разработанных автором методик и программно-математического обеспечения имитационного моделирования предложенных алгоритмов комплексной обработки информации,

Достоверность полученных решений подтверждается результатами проведенных полунатурных и летных испытаний БНК.

Вместе с тем имеется **ряд замечаний**:

1. В работе недостаточно подробно описан способ выбора величин порогов принятия решений о взятии на сопровождение и исключения измерений от навигационных космических аппаратов ГНСС.

2. Из работы не совсем понятна методика синтеза и анализ влияния моделей волновых функций, аппроксимирующих погрешности псевдодальности и псевдоскорости

в зависимости от состава БНК, траектории и динамики движения БПЛА, вероятных внешних и внутренних возмущающих факторов, влияющих на БНК и на сигнал ГНСС.

3. В работе автором приводится сокращенное описание методик и результатов полунатурных и летных испытаний БНК.

Несмотря на указанные недостатки, диссертационная работа Антонова Д. А. является законченной научно-квалификационной работой, содержащей решение важной практической задачи построения БНК БПЛА малого и среднего класса, удовлетворяющих более жестким требованиям к точности работы, что имеет существенное значение для развития методов создания бортового оборудования БПЛА.

Работа выполнена по научной специальности 05.11.03. Результаты работы опубликованы в трех научных журналах, рекомендованных ВАК для защиты диссертации. Полученные автором результаты могут быть рекомендованы для использования в организациях, занимающихся разработкой и производством бортового навигационного оборудования для нужд беспилотной авиации. Автореферат соответствует основному содержанию диссертационной работы.

Отмеченные в отзыве недостатки не снижают положительной оценки работы Антонова Д. А., которая является законченной научной работой, выполненной на высоком уровне, отвечает требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатской диссертации. Автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.03 – «Приборы навигации».

Отзыв обсужден и одобрен НТС ОАО «МИЭА» (Протокол № 2 от 24.03.2015 г.).

Зам. Главного конструктора

Начальник направления 900, к. т. н.

Грошев В. В.

Зам. начальника отдела, д. т. н., проф.

Зайцева Н. А.