

## ОТЗЫВ

официального оппонента, кандидата технических наук Фещенко Сергея Владимировича на диссертационную работу Антонова Дмитрия Александровича «Бортовой навигационный комплекс повышенной помехозащищённости с переменной структурой для БПЛА», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.03 – «Приборы навигации»

В диссертационной работе Антонова Дмитрия Александровича решена актуальная и практически важная задача обоснования состава и структуры аппаратного и программно-алгоритмического обеспечения (ПМО) бортовых навигационных комплексов (БНК) беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) гражданского применения малого и среднего классов. **Актуальность** задачи определяется ростом общего числа таких БПЛА и расширением области их применения, необходимостью интеграции БПЛА в общее с пилотируемой авиацией воздушное пространство, а также спецификой применения БПЛА при отсутствии наземных навигационных средств поддержки. Последнюю задачу необходимо решать применительно к условиям маловысотного маневренного полёта при переотражении сигналов навигационных космических аппаратов (НКА) глобальных спутниковых навигационных систем (ГНСС), что усложняет обеспечение точности и помехозащищенности определения БНК параметров ориентации и навигации.

**Основные результаты** диссертационной работы соискателя, имеющие **научную новизну, теоретическую и практическую значимость**, состоят в следующем:

- разработаны состав и структура аппаратного и программно-математического обеспечения БНК, включающие синтезированные автором алгоритмы комплексной обработки информации (КОИ), в том числе сильносвязанную схему комплексирования оценителя переменной структуры с использованием волнового и стохастического представления ошибок измерения псевдодальностей и псевдоскоростей ГНСС;

- разработаны алгоритмы КОИ, позволившие повысить точность и помехозащищённость БНК БПЛА;

- предложены методики имитационного моделирования алгоритмов КОИ, натурных и лётных испытаний БНК, позволившие подтвердить эффективность предложенных автором алгоритмических и аппаратных решений;

- проведены имитационное моделирование, натурные и лётные испытания, анализ результатов которых позволил подтвердить **обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.**

**Практическая значимость** диссертационной работы заключается в реализации разработанных математических моделей и алгоритмов КОИ в форме программного обеспечения и аппаратных средств БНК БПЛА «Дозор-100», что подтверждено актом о внедрении. Полученные результаты могут быть использованы предприятиями-разработчиками бортового оборудования для БПЛА, а также в учебных процессах высших учебных заведений соответствующего профиля.

**Достоверность и обоснованность** полученных автором результатов подтверждаются корректным применением современного математического



аппарата в рамках поставленной задачи, результатами имитационного моделирования, натурных и лётных испытаний.

При этом в работе отмечены некоторые **недостатки**, а именно:

1. В тексте работы представлено недостаточно подробное описание режимов работы БНК (прежде всего, вспомогательных режимов и подрежима "Гировертикаль"), а также логики переключения между режимами (стр.23).

2. Предлагаемые автором структуры алгоритмического (стр.20, рис.8) и аппаратного (стр.22, рис.9) обеспечения БНК в части информационных связей и интерфейсов взаимодействия в тексте работы описаны фрагментарно.

3. В разделе 2.3.1 (соотношение (19)) приводится связь между измеренными значениями проекций напряженности магнитного поля на оси чувствительности датчика и параметрами модели погрешностей датчика, а не сама модель погрешностей, как указал автор. При формировании математической модели погрешностей автору необходимо было дать ссылку на литературный источник, а также соотнести между собой величины параметров при упрощении принятой модели погрешностей.

4. Автору необходимо было бы чётче дать зависимость формы принятой модели волновой составляющей погрешностей определения псевдодальностей и псевдоскоростей (стр. 60, соотношение (70)) от состава БНК, траектории и динамики движения БПЛА, вероятных внешних и внутренних возмущающих факторов, влияющих на БНК и на сигнал ГНСС.

5. В описании алгоритма оценивания с переменной структурой (стр.63-65) автору необходимо было дать полное описание процедуры выбора величин порогов принятия решений о взятии на сопровождение и исключения измерений (соотношения 77-78) от НКА ГНСС. Кроме того, следовало представить методику выбора этих порогов и провести исследование влияния размера массива данных для расчета скользящего

среднего обновляемой последовательности на характеристики оценителя переменной структуры.

6. При реализации программно-математического обеспечения имитационного моделирования алгоритмов БНК необходимо было учитывать возможность изменения угла тангажа с целью более полного описания динамических свойств БПЛА.

7. При анализе результатов имитационного моделирования было бы полезно дать более полное описание причинно-следственных связей между значениями траекторных и исследуемых параметров на всем диапазоне времени моделирования с учетом выбора масштабируемых участков графиков.

8. При исследовании характеристик оптимального оценителя с переменной структурой в условиях воздействия возмущающих факторов средствами имитационного моделирования для большей наглядности связь принятых параметров математической модели погрешностей псевдодальностей и псевдоскоростей волновой структуры с траекторными параметрами, параметрами погрешностей БИНС и приёмника ГНСС целесообразно было оценивать в явном виде.

9. При анализе результатов испытаний БНК на автотранспорте желательно было бы указать причину возникновения рассогласования между показаниями эталонной и испытуемой систем по углу истинного курса (стр. 121, рис.51). Кроме того, целесообразно было дать более полное графическое представление сравнения значений координат в корректируемом и автономном режимах, углов магнитного и гироманитного курсов с целью более четкой увязки полученных результатов и требований к БНК.

10. В результатах лётных испытаний (рис.62,63,64) приводятся условные обозначения графиков параметров, исследование которых в этих конкретных



полётах не проводилось. Такие обозначения приводить нежелательно. Также на графиках следовало чётче обозначать размерность и оцифровку осей.

11. В работе представлено недостаточно подробное описание связи полученных результатов лётных испытаний и требований к БНК, из которого следует подтверждение только части заявленных характеристик БНК.

Несмотря на отмеченные недостатки, **общая оценка диссертационной работы положительная.**

Диссертационная работа Антонова Д.А. выполнена на достаточно высоком научном уровне и является завершённой научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная задача разработки и исследования свойств алгоритмов КОИ с переменной структурой, имеющая большое практическое значение для повышения точности определения параметров ориентации и навигации, а также улучшения помехозащищённости БНК БПЛА гражданского применения малого и среднего классов.

При решении поставленных задач автор показал умение работать со специальной научно-технической литературой, применять современные методы научных исследований, получать результаты, позволяющие улучшить характеристики бортового оборудования БПЛА.

Основные научные результаты в достаточной степени опубликованы в изданиях, входящих в перечень ВАК, и апробированы на ряде конференций. Автореферат достаточно полно отражает результаты и содержание диссертационной работы.

### **Заключение.**

На основании изучения диссертационной работы, автореферата и опубликованных автором научных работ по теме диссертации можно сделать следующие выводы:

1. Работа Антонова Д.А. соответствует заявленной специальности, отвечает критериям и требованиям ВАК РФ, включая Положение о

присуждении ученых степеней, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук.

2. Автор диссертации Антонов Дмитрий Александрович заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.11.03 – «Приборы навигации».

### Официальный оппонент

Ведущий конструктор Акционерного общества «Российская самолётостроительная корпорация «МиГ» (АО «РСК «МиГ»)),  
кандидат технических наук



Фещенко Сергей Владимирович

« 30 » марта 2015г.

Почтовый адрес организации: 125284, г. Москва, 1-й Боткинский проезд, д. 7

Адрес организации в сети Интернет: <http://www.migavia.ru/index.php/ru/>

Адрес электронной почты организации: [mig@migavia.ru](mailto:mig@migavia.ru)

Контактный телефон организации: +7 495 721-81-00

Подпись ведущего конструктора АО «РСК «МиГ», к.т.н. Фещенко С.В. заверяю.

И.о. Директора ИЦ "ОКБ им. А.И.Микояна"



Терпугов А.В.