

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д212.125.11 НА БАЗЕ  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА  
ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

аттестационной дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 20.04.2015 № 8

О присуждении Антонову Дмитрию Александровичу, гражданину РФ, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Бортовой навигационный комплекс повышенной помехозащищённости с переменной структурой для БПЛА» по специальности 05.11.03 - «Приборы навигации» принята к защите 17.02.2015, протокол №7 диссертационным советом Д 212.125.11 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства образования и науки Российской Федерации, 125993, Волоколамское шоссе, д.4, г. Москва, А-80, ГСП-3. Приказ о создании диссертационного совета №714/нк от 02.11.2012 г. Приказ о внесении изменений в состав совета №420/нк от 15.07.2014 г.

Соискатель Антонов Дмитрий Александрович 1980 года рождения, окончил с отличием государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (государственный технический университет)» в 2003 году по специальности «Управляющие, пилотажно-навигационные и электроэнергетические комплексы летательных аппаратов», с 2003 по 2006 год обучался в очной аспирантуре государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования Московский авиационный институт (государственный технический университет) и с июля 2006 года по настоящее время работает в должности старшего преподавателя на кафедре «Автоматизированные комплексы систем

ориентации и навигации» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московского авиационного института (национального исследовательского университета)» Министерства образования и науки Российской Федерации.

Диссертация выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» Министерства образования и науки Российской Федерации на кафедре «Автоматизированные комплексы систем ориентации и навигации».

Научный руководитель – кандидат технических наук, доцент Веремеенко Константин Константинович, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», факультет «Системы управления, информатика и электроэнергетика», заместитель декана по научной работе.

#### **Официальные оппоненты:**

Соловьев Юрий Арсеньевич – доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский институт Военно-воздушных сил» Министерства обороны Российской Федерации, г. Щелково, Московская область, ведущий научный сотрудник,

Фещенко Сергей Владимирович – кандидат технических наук, акционерное общество «Российская самолётостроительная корпорация «МиГ», г.Москва, ведущий конструктор, **дали положительные отзывы на диссертацию.**

Ведущая организация – открытое акционерное общество «Московский институт электромеханики и автоматики» (ОАО «МИЭА»), г.Москва, **в своем положительном заключении, утвержденном Кузнецовым Алексеем Григорьевичем, доктором технических наук, генеральным директором ОАО «МИЭА», подписанном Грошевым Виктором Владимировичем, кандидатом технических наук, заместителем Главного конструктора, начальником направления 900 ОАО «МИЭА», Зайцевой Натальей Александровной, доктором технических наук, профессором, заместителем начальника отдела ОАО «МИЭА»**



**указала, что** диссертация представляет законченную научно-квалификационную работу, выполненную на высоком уровне, отвечающую требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатской диссертации, и автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата наук по специальности 05.11.03 – «Приборы навигации». Отзыв обсуждён и одобрен НТС ОАО «МИЭА» (Протокол № 2 от 24.03.2015 г.)

Соискатель имеет **14** опубликованных работ, в том числе по теме диссертации **14** работ, из них **3** – опубликованы в рецензируемых научных изданиях (**входящих в перечень рекомендованных ВАК**):

1. Антонов Д.А., Савельев В.М. Выставка бесплатформенной инерциальной навигационной системы беспилотного летательного аппарата на подвижном основании [Электронный ресурс] // «Труды МАИ» № 45.– Электрон, текстовые дан. – Москва, 2011. – общ. объем 19 страниц. – Режим доступа: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=25497> – 21.10.2014.

2. Антонов Д.А., Алешин Б.С., Веремеенко К.К., Жарков М.В., Зимин Р.Ю., Кузнецов И.М., Пронькин А.Н. Малогабаритный интегрированный навигационно-посадочный комплекс [Электронный ресурс] // «Труды МАИ» № 54.– Электрон, текстовые дан. – Москва, 2012. – общ. объем 20 страниц. – Режим доступа: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=29692> – 21.10.2014.

3. Антонов Д.А., Алешин Б.С., Веремеенко К.К., Жарков М.В. Сильносвязанная многоантенная интегрированная инерциально-спутниковая навигационная система [Электронный ресурс] // «Труды МАИ» № 54.– Электрон, текстовые дан. – Москва, 2012. – общ. объем 14 страниц. – Режим доступа: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=29823> – 21.10.2014.

#### **На диссертацию и автореферат поступили отзывы:**

Отзыв на диссертационную работу из **ведущей организации Открытого акционерного общества «Московский институт электромеханики и автоматики»**, **отзыв положительный.**

Отзыв на диссертационную работу от **официального оппонента Соловьева Юрия Арсеньевича**, доктора технических наук, профессора, ведущего научного сотрудника федерального государственного бюджетного учреждения «Центральный научно-исследовательский институт Военно-воздушных сил»

Министерства обороны Российской Федерации, Московская область, г.Щелково, **отзыв положительный.**

Отзыв на диссертационную работу от **официального оппонента Фещенко Сергея Владимировича**, кандидата технических наук, ведущего конструктора акционерного общества «Российская самолётостроительная корпорация «МиГ», г.Москва, **отзыв положительный.**

Отзыв на автореферат из **федерального государственного унитарного предприятия «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем»**. Отзыв подписан начальником подразделения 1900, кандидатом технических наук Э.Я. Фальковым, **отзыв положительный.**

Замечания. В автореферате дано неполное описание алгоритма перестройки оптимального фильтра. Использование одного сценария имитационного моделирования при исследовании свойств разработанных автором алгоритмов комплексной обработки информации.

Отзыв на автореферат из **акционерного общества «Научно-технический Центр современных навигационных технологий «Интернавигация»**. Отзыв подписан советником генерального директора (по инновационному развитию), кандидатом технических наук В.Н. Фроловым, **отзыв положительный.**

Замечание. Дано недостаточно полное описание способа выбора величин порогов принятия решений о взятии на сопровождение и исключения измерений от навигационных космических аппаратов ГНСС.

Отзыв на автореферат из **государственного научного центра Российской Федерации открытого акционерного общества «Летно-исследовательский институт имени М.М. Громова»**. Отзыв подписан начальником отделения, доктором технических наук, профессором Е.Г. Хариным и старшим научным сотрудником, доктором технических наук И.А. Копыловым, **отзыв положительный.**

Замечания. Нечетко дано описание "волновой структуры" возмущений. В результатах лётных испытаний присутствуют погрешности определения углов крена и тангажа до 2 градусов при требованиях в 1 градус.

Отзыв на автореферат из **акционерного общества «Научно-исследовательский институт авиационного оборудования»**. Отзыв подписан



генеральным директором - генеральным конструктором, доктором технических наук А.В. Воробьевым и заместителем генерального директора по научной работе, доктором технических наук, профессором А.Л. Аникиным, **отзыв положительный.**

Замечание. К недостаткам работы можно отнести сокращенное описание методик полунатурных и лётных испытаний БНК.

Отзыв на автореферат из **открытого акционерного общества «ОАК – Центр комплексирования»**. Отзыв подписан генеральным директором, кандидатом технических наук В.Б. Поляковым, **отзыв положительный.**

Замечание. Дано краткое описание предложенной методики имитационного моделирования, что не снижает ценности диссертационной работы в целом.

Отзыв на автореферат из **государственного научного центра Российской Федерации акционерного общества «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»**. Отзыв подписан старшим научным сотрудником, кандидатом технических наук А.П. Степановым, **отзыв положительный.**

Замечания: Отсутствуют требования по точности выработки БНК параметров движения рассматриваемых БПЛА. Недостаточно подробно раскрыты вопросы, касающиеся аппаратной структуры БНК. Из описания Гл.3 не ясно, как это отражено в модели погрешностей КОИ и как связаны времена  $T_i$  (стр.12) и  $t_i$  (стр.16). Не приведены результаты, касающиеся повышения уровня помехозащищённости БНК и результаты моделирования и испытаний БНК. Следует также обратить внимание на ряд замечаний редакционного характера.

Отзыв на автореферат из **Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»**. Отзыв утверждён заместителем начальника по учебной и научной работе, генерал-майором А.В. Нагалиным. Отзыв подписан начальником научно-исследовательского центра, полковником, кандидатом военных наук, доцентом Е.В. Ильиновым, начальником лаборатории научно-исследовательского отдела, майором, кандидатом технических наук А.Н. Катрушей, старшим научным сотрудником научно-исследовательского отдела,

доктором технических наук, профессором А.А. Головковым, **отзыв положительный.**

Замечания. В явном виде не указана степень повышения помехозащищённости и точности определения ориентации БПЛА. Материалы автореферата оформлены небрежно.

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается** тем, что официальные оппоненты являются высокопрофессиональными специалистами в данной области, имеют публикации в соответствующей сфере исследования, а ведущая организация является одной из передовых организаций в области разработки и производства бортового оборудования летательных аппаратов.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**разработана концепция** построения и обоснована структура алгоритмического обеспечения бортового навигационного комплекса (БНК) беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) малого и среднего классов, что позволило *повысить точность измерений* параметров ориентации и навигации за счёт реализации разработанного алгоритма комплексной обработки информации (КОИ) повышенной помехозащищённости с переменной структурой, а также *расширить границы применения* БПЛА таких классов; **разработаны** специальная методика имитационного моделирования алгоритмов КОИ и экспериментальные методики полунатурных и лётных испытаний БНК, *позволившие выявить качественно новые закономерности* и исследовать характеристики алгоритмов КОИ с целью подтверждения достоверности результатов диссертационной работы;

**предложен** *подход* к построению алгоритма работы оценителя вектора состояния БНК, который учитывает стохастическое и волновое представление возмущений, и использует алгоритм контроля измерений глобальных спутниковых навигационных систем (ГНСС);

**доказана перспективность** использования разработанного алгоритма оценителя с переменной структурой *в практике* реализации БНК БПЛА малого и среднего класса повышенной помехозащищённости, что подтверждается результатами



имитационного моделирования, натурных и лётных испытаний созданных образцов;

**введена** *модифицированная математическая модель* погрешностей навигационного комплекса, учитывающая стохастическую и волновую структуру возмущений.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**доказана** и экспериментально подтверждена возможность построения оценителя с переменной структурой, учитывающего стохастическую и волновую структуру возмущений, который позволяет *расширить границы применения* БПЛА малого и среднего классов и улучшить помехозащищенность его навигационного комплекса;

**применительно к проблематике диссертации результативно использован** комплекс существующих базовых методов исследования, в том числе методов статистической обработки данных, теории оптимального оценивания и комплексной обработки навигационной информации. *Эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов, использованы* разработанные экспериментальные методики имитационного моделирования созданных алгоритмов комплексной обработки информации, включая оценитель с переменной структурой, а также *экспериментальная методика* натурных испытаний (включая лётные испытания изготовленных образцов БНК);

**изложены** *основные пункты* разработанных методик имитационного моделирования и натурных испытаний созданных алгоритмов комплексной обработки информации, включая алгоритм оценителя с переменной структурой, учитывающие накладываемые *ограничения и условия* применения БПЛА; и *принцип* перестройки оценителя с переменной структурой на базе контроля статистических характеристик обновляемой последовательности;

**изучены** *причинно-следственные связи* между видом оценителя, используемыми математическими моделями погрешностей БНК и сигналов ГНСС и характеристиками работы алгоритмов комплексной обработки информации;

**проведена модернизация** *существующей математической модели* погрешностей бесплатформенной инерциальной навигационной системы в части установления связи между малыми углами поворота вычисленного трехгранника

относительного базового и углами ориентации БПЛА; *алгоритма* стохастического фильтра Калмана в части добавления алгоритма контроля и исключения из решения измерений корректора, и *процедуры* расширения вектора состояния за счёт включения параметров волновой модели погрешностей измерения псевдодальностей и псевдоскоростей ГНСС, *обеспечившие* повышение точности и помехозащищенности БНК.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

**разработаны и внедрены** концепция и *технология* построения БНК БПЛА малого и среднего классов повышенной помехозащищённости, созданы опытные образцы БНК с передачей рабочей конструкторской и программной документации предприятию ЗАО «Транзас Авиация» - разработчику бортового оборудования для БПЛА в рамках опытно-конструкторских работ «Разработка бесплатформенной инерциально-спутниковой навигационной системы (БИСНС)» в части создания образцов БНК: БИСНС-1Т, БИСНС-1ТМ, БИСНС-2Т; *математическая модель* погрешностей БНК, *методика* построения алгоритма линейного стохастического оценителя с использованием волнового представления возмущений и алгоритма контроля измерений ГНСС в *образовательные технологии* учебного процесса на кафедре «Автоматизированные комплексы ориентации и навигации» ФГБОУ ВПО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)»;

**определены** *пределы использования* разработанных алгоритмов комплексной обработки информации и *перспективы практического использования* БНК БПЛА малого и среднего классов повышенной помехозащищённости, построенного на базе оценителя с переменной структурой;

**создана** *система практических рекомендаций* в виде методик имитационного моделирования, натурных и лётных испытаний БНК БПЛА малого и среднего классов повышенной помехозащищённости.

**представлены** *методические рекомендации* к проведению имитационного моделирования, натурных и лётных испытаний БНК с целью исследования свойств алгоритмов КОИ; *представлены рекомендации для более высокого уровня*



*организации деятельности* в части концепции и процедур построения БНК для БПЛА малого и среднего классов повышенной помехозащищённости; *предложения по дальнейшему совершенствованию* алгоритмического состава БНК в части создания опытного образца БИСНС-3А.

**Оценка достоверности результатов исследования** выявила:

*для экспериментальных работ результаты* лётных испытаний *получены с использованием сертифицированного* авиационного оборудования; *показана воспроизводимость результатов* натурных испытаний созданных образцов БНК на автотранспорте при *различных условиях* движения;

*теория построена на известных* принципах теории случайных процессов, построения стохастических оптимальных оценивателей и комплексной обработки информации; *проверяемых* (по результатам имитационного моделирования, натурных и лётных испытаний) *фактов* улучшения точности и помехозащищённости БНК БПЛА малого и среднего;

**идея базируется** на анализе практики и обобщения опыта разработки алгоритмов комплексной обработки информации БНК для обеспечения низковысотного и манёвренного полёта БПЛА малого и среднего классов в условиях отсутствия навигационных средств наземной поддержки, *исследовании возможностей* зарубежного и отечественного навигационного оборудования для беспилотной авиации;

**установлено**, что применение полученных в диссертационной работе результатов позволяет обеспечить точность определения углов тангажа и крена не хуже 3 градусов для наиболее неблагоприятных условий полёта;

**использованы** современные методики сбора и обработки исходной информации, в части использования методов статистической обработки данных, теории оптимального оценивания и комплексной обработки навигационной информации, методов имитационного моделирования, натурных и лётных испытаний.

**Личный вклад** соискателя состоит:

- 1) *в проведении модификации* математической модели погрешностей навигационного комплекса, учитывающей стохастическую и волновую структуру возмущений, а также особенности траектории движения БПЛА;

