

## ОТЗЫВ

официального оппонента Голована Андрея Андреевича на диссертационную работу Колганова Леонида Александровича на тему «Информационно-измерительная система обеспечения качества определения координат для беспилотного летательного аппарата при реализации городской аэромобильности», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.11. «Информационно-измерительные и управляющие системы (технические науки)»

Диссертационная работа Колганова Леонида Александровича посвящена разработке и обоснованию основных программно-математических решений для информационно-измерительной системы (ИИС), предназначенной для обеспечения высокого качества и надежности определения координат беспилотного летательного аппарата (БЛА) при реализации городской аэромобильности (ГАМ). Приводимое исследование задачи включает в себя методические, алгоритмические и программные средства для обеспечения существующих требований к точности определения координат, и, кроме того, эти же вопросы исследуются для соответствующих перспективных требований. Исходными данными или входной информацией в этой задаче служат данные, предоставляемые инерциальными-измерительными блоками или БИНС, а также приемниками сигналов глобальных спутниковых навигационных систем.

Следует сразу отметить, что одним из перспективных направлений развития воздушного транспорта является как раз реализация городской аэромобильности, которая предусматривает создание и внедрение нового безопасного, доступного воздушного транспорта, в том числе беспилотных летательных аппаратов. В навигации и, в частности, в авиационных приложениях одним из основных инструментов для определения координат является аппаратура спутниковой навигации (АПСН). Не смотря на все преимущества АПСН (потенциальная точность, не накапливающиеся ошибки навигационных определений при «комфортных» условиях работы) на качество определения координат могут влиять различные факторы, вызывающие искажения в измерениях АПСН, и, как следствие, недопустимые ошибки в навигационных определениях. Причем эти искажения могут быть естественными (эффект многолучевости, возмущенная ионосфера, тропосфера), так и специально создаваемые, наводящимися. С связи с этим **актуальность выбранной темы достаточно** очевидна. Любые работы по этой тематике востребованы, особенно в настоящее время.

**Главная цель** диссертационной работы заключается в обоснованной разработке соответствующего программно-математического обеспечения, которое призвано повысить качества определения координат подвижного объекта при реализации ГАМ с использованием ИИС. Здесь же следует отметить, что представляемые материалы могут в главном быть применены не только для авиационных приложений.

Поставленные в работе **задачи**, их предметное описание логично структурировано, что позволяет читателю понять пути достижения целей диссертационной работы.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, трех приложений, изложенных на 147 страницах, в том числе 120 страницах — основной части, 3 приложениях на 27 страницах. Работа содержит 45 рисунков и 25 таблиц. Список литературы содержит 113 наименований. Анализ содержания диссертации показывает, что она **соответствует специальности 2.2.11. «Информационно-измерительные и управляющие системы (технические науки)»**. **Автореферат** диссертации достаточно полно **отражает содержание диссертационной работы**.

Во **введении**, как и положено, сформулирована основная цель работы и ее обоснование, обозначены основные направления исследований и соответствующие задачи работы, выделены пункты, характеризующие научную новизну работы, ее практическую значимость, а также пункты, вынесенные на защиту.

Также во введении рассматриваются особенности применения БЛА в рамках реализации ГАМ. Ввиду неполного «покрытия» ГАМ терминами и определениями, включая аспекты качества определения координат, в диссертационной работе предложен вариант терминов и определений в части решаемой проблемы. Следует отметить, что этот раздел работы имеет самостоятельную методическую ценность. Рассмотрены основные факторы, влияющие на качество определения координат, и степень их охвата методами и средствами обеспечения качества определения координат.

В **первой главе** предложена структура ИИС, представлена процедура ее работы, цель которой - обеспечение качества определения координат для БЛА при реализации ГАМ. Здесь также следует отметить, что в работе есть приложение А, содержание которого перекликается и дополняет содержание Главы 1. В приложении А представлен обзор работ по задачам детектирования и компенсации сбоев при работе АПСН. В Главе 1 предложено использовать технологию решения основной задачи диссертации на основе т.н. ААИМ (airborne autonomous integrity monitoring или (не совсем дословно) контроль целостности навигационных определений при комплексной обработке информации навигационного комплекса воздушного судна). В главе 1 также представлено описание логической структуры этапов реализации ИИС, этапов подготовки, синтеза, исследования

предлагаемых алгоритмов контроля целостности. Ядром ИИС является этап разработки алгоритма контроля целостности.

Во **второй главе** представлены диапазоны технических характеристик БПА-ВВП, описаны типовые этапы полёта, сформулированы требования к качеству определения координат для БЛА. Показан вариант обобщённой структурной схемы инерциально-спутниковой навигационной системы, используемой в этой работе в качестве ядра навигационного комплекса. Рассмотрены варианты источников искажений измерений АПСН. Предложен, используемый далее, вариант волнового описания искажений первичных спутниковых измерений, где предлагается использовать суперпозицию преднамеренной и непреднамеренной компонент искажений измерений.

В **третьей главе** приводится описание основных алгоритмических средств, используемых для обеспечения качества определения координат объекта навигации. Приведено также описание унифицированной структуры алгоритма контроля целостности для обеспечения качества определения координат для БЛА. Выделено, что разработанная структура обладает возможностями разумной модификации, обусловленной возможным расширением состава используемой информации и синтеза вариантов исполнения алгоритма КЦ для разных типов БЛА путем модификации и замены отдельных узлов без изменения структуры и других узлов. Приводится описание и обоснование подхода, используемого для решения задачи обнаружения скачкообразных и медленно нарастающих искажений измерений псевдодальности до навигационных космических аппаратов (НКА) для АПСН с наличием и отсутствием обратной связи по оценке ошибки и оценке скорости изменения ошибки опорного генератора. В качестве базового формального алгоритма оценивания или оценивателя применяется фильтр Калмана. Приводится достаточно подробное описание компонент и матричных параметров этого фильтра. Предложены и обоснованы варианты формирования входных измерений, а также порогов и критериев принятия решения о наличии искажений в измерениях АПСН, основанных на стохастических моделях представления областей неопределённости входных измерений. Выделено, что главу 3 следует считать основным математическим и методическим материалом диссертации, применяемым для решения поставленной задачи диагностики, обхода и возможного парирования искажений первичных спутниковых измерений.

В **четвёртой главе** приведены разработанные методика настройки алгоритма КЦ с уже учётом нормативных документов, регламентирующих сертификацию АПСН для гражданской авиации и методика исследования качества определения координат для БЛА при реализации ГАМ, в том числе, для случая наличия естественных и искусственных искажений в измерениях псевдодальностей до нескольких или всех НКА рабочего

созвездия глобальных навигационных спутниковых систем. Вопросы методики и верификации настройки алгоритма контроля целостности осуществляется на основе математического моделирования задачи с учетом рекомендаций по синтезу опорных траекторий, изложенных в соответствующих нормативных документах. Вводятся понятия «чувствительности», «большей чувствительности», конструктивно применяемых в алгоритмах обнаружения искажений измерений. Следует отметить, что разработка система математического моделирования задачи является отдельной, важной, трудоемкой составляющей диссертационной работы.

В **пятой главе** приведены результаты имитационного моделирования (включающего применение также метода Монте-Карло) и их анализ для оценки качества определения координат, полученных с использованием предложенной ИИС для БЛА. Представлены результаты выполнения методик настройки и исследования алгоритма КЦ. Установлено, что алгоритм КЦ определения координат БЛА для рассмотренного в работе информационного базиса ИИС позволяет обнаруживать и оценивать величину искажений в измерениях АПСН, которые приводят к скорости нарастания погрешности определения координат от 0,48 м/с и более.

В **пятой главе** приведены результаты имитационного моделирования и их анализ для оценки качества определения координат, полученных с использованием предложенной ИИС для БЛА. Показаны результаты выполнения методик настройки и исследования алгоритма КЦ. Установлено, что алгоритм КЦ определения координат БЛА для рассмотренного в работе информационного базиса ИИС позволяет обнаруживать и оценивать величину искажений в измерениях АПСН, которые приводят к скорости нарастания погрешности определения координат от 0,48 м/с и более. Результаты моделирования подтвердили основные положения теоретического анализа по возможности обнаружения искажения псевдодальностей. В итоге показано, что разработанная информационно-измерительная система позволяет обеспечить существующие требования к точности определения координат, что, собственно, и является основным итогом диссертации.

Кроме того, в диссертации есть три приложения (А, Б, В) приложение А выше упоминалось. В приложениях Б, В для полноты картины представлены обзоры существующих образцов БПА вертикального взлета и посадки, существующие и перспективные требования к качеству определения координат БПА-ВВП.

В **заклучении** представлены основные научные результаты диссертационной работы.

**Научна новизна** диссертационной работы:

1. Разработаны критерии и правила обнаружения скачкообразных и медленно нарастающих искажений в измерениях псевдодальностей на основе проверки гипотез об отсутствии в измерениях АПСН искажений, приводящих к невозможности обеспечения качества определения координат.

2. Предложена стохастическая модель представления областей неопределённости входных измерений для предложенного способа формирования входных измерений алгоритма КЦ.

3. Разработана методика исследования качества определения координат для БЛА при реализации ГАМ для случая наличия искажений в измерениях псевдодальностей до нескольких или всех НКА рабочего созвездия АПСН.

**Практическая ценность** работы состоит в разработке ИИС обеспечения качества определения координат, включающей этапы синтеза и исследования алгоритмов КЦ, которая может быть применена при обеспечении безопасного использования воздушного пространства БЛА.

**Достоверность** полученных результатов подтверждается применением современного математического аппарата, результатами имитационного моделирования, полученных с учётом требований и рекомендаций к процедурам сертификации АПСН для гражданской авиации.

**Апробация работы** проведена на российских и международных конференциях, где обсуждались её основные результаты.

**Соответствие паспорту специальности.**

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 2.2.11. «Информационно-измерительные и управляющие системы (технические науки)» по пунктам 1 и 6.

К диссертационной работе Колганова Леонида Александровича имеются следующие **замечания**:

1. Раздел 3.3 содержит описание двух модификаций алгоритма обнаружения скачкообразных искажений в измерениях псевдодальностей до НКА, однако, результаты исследования предлагаемых алгоритмов представлены только для одного из них.
2. В разделе 5.1 приводятся результаты аппроксимации оценок коэффициентов настройки алгоритма КЦ, но способ применения этих результатов представлен не в полном объёме.
3. Не рассмотрено влияние на свойства алгоритма КЦ возможного включения в состав ИИС дополнительных измерителей, таких как магнитометры и высотомеры.

4. Рекомендую провести сравнение результатов работы синтезированных алгоритмов КЦ с другими средствами обнаружения и компенсации искажений в измерениях АПСН, например, алгоритмами семейства «РАИМ»;
5. Искажения измерений АПСН (выражение 62) представлены как случайная величина с заданным среднеквадратическим отклонением. Однако, следовало бы учесть, что отдельные компоненты искажений могут изменяться с разной периодичностью и интенсивностью.
6. Рекомендую провести сравнение полученных результатов работы алгоритмов КЦ с результатами исследования качества определения координат получаемых с помощью аппаратных средств.
7. Формула (38) справедлива только для малых по уровню значений углов крена и тангажа, а в формуле (49) пропущен учет переносной скорости от вращения Земли и моделировании радиальной скорости.

**Заключение оппонента о соответствии диссертационной работы требованиям ВАК.**

Указанные замечания не являются критическими и не снижают общей положительной оценки диссертационной работы.

Диссертационная работа «Информационно-измерительная система обеспечения качества определения координат для беспилотного летательного аппарата при реализации городской аэромобильности» соответствует требованиям, указанным в «Положении о присуждении ученых степеней», утверждённом постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук. Автор, Колганов Леонид Александрович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.2.11. «Информационно-измерительные и управляющие системы (технические науки)»

**Официальный оппонент**

Голован Андрей Андреевич

д.ф.-м.н. по специальности 01.02.01. «Теоретическая механика»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» заведующий лабораторией управления и навигации механико-математического факультета 119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, МГУ, д.1, Главное здание, механико-математический факультет.

тел. +7 (495) 939-10-00

info@rector.msu.ru

« 2 » 12 2024 г.

Голован

А.А. Голован

Подпись официального оппонента Голована Андрея Андреевича, д.ф.-м.н., заведующего лабораторией управления и навигации механико-математического факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова» заверяю

\_\_\_\_\_  
Декан

механико-математического факультета

МГУ им. М.В.Ломоносова

Чл.-корр. РАН

М.П.



\_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(Шафаревич А.И.)