

Отзыв

официального оппонента Крылова Алексея Анатольевича 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 ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.11. «Информационно-измерительные и управляющие системы (технические науки)»

Активное развитие современных городов все чаще сталкивается с ограничениями, связанными с невозможностью обеспечения требуемого уровня мобильности служб экстренной помощи, логистических систем и других участников городского трафика. В настоящее время предпринимается множество разнонаправленных подходов, направленных на решение возникающих проблем и ограничений. Среди них можно выделить реализацию и внедрение городской аэромобильности (ГАМ). В рамках концепции ГАМ предполагаются разработка и внедрение нового безопасного и доступного средства мобильности, основанного на использовании беспилотных летательных аппаратов, в частности беспилотных летательных аппаратов вертикального взлёта и посадки (БЛА-ВВП).

Реализация ГАМ и применение в её рамках БЛА-ВВП может быть обосновано рядом достоинств этой концепции. Но для её внедрения необходимо решить ряд проблем, связанных в том числе с обеспечением качества определения координат БЛА-ВВП. Одним из значимых препятствий при решении этой проблемы является подверженность измерений аппаратуры спутниковой навигации – одного из ключевых источников координат БЛА-ВВП, влиянию непреднамеренных и преднамеренных искажений. Дополнительно к этому, решение этой проблемы осложняется ограниченным нормативным и сертификационным базисами для БЛА-ВВП в рамках ГАМ. В связи с вышеизложенным, **очевидна актуальность темы работы**, направленной на обеспечение качества определения координат БЛА-ВВП при реализации ГАМ.

Цель диссертационной работы, направленной на обеспечение качества определения координат БЛА-ВВП при реализации ГАМ с использованием информационно-измерительной системы (ИИС), включающей методические, алгоритмические и

программные средства обеспечения существующих и перспективных требований к точности и целостности определения координат на основе инерциальных и спутниковых измерений, ясна и обоснована.

Сформулированные задачи работы логичны и их решение ведет к выполнению поставленной цели.

Содержание автореферата раскрывает содержание диссертации и в полной мере отражает основные положения, результаты и выводы работы.

Содержание работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и трёх приложений. Общий объем работы составляет 147 страниц, где 120 страниц – основная часть работы, 27 страниц – приложения. В работе приведено 45 рисунков и 25 таблиц. Список литературы содержит 113 ссылок.

Введение работы включает обоснование актуальности диссертационной работы. Рассматриваются особенности текущего состояния развития ГАМ, при этом делается акцент на ограничениях, связанных со слабым нормативным и сертификационным обеспечением БЛА-ВВП в рамках реализации ГАМ. Предлагается ряд терминов, определений в части обеспечения качества определения координат БЛА-ВВП. Также во введении приведено описание факторов, характерных для БЛА-ВВП и влияющих на искажения измерений аппаратуры спутниковой навигации. Рассмотрены существующие подходы к обеспечению качества определения координат и перекрываемые ими факторы.

Во введении приведены цель диссертационной работы, научно-практические задачи, объект, предмет и методы исследования, положения, выносимые на защиту, научная новизна, практическая значимость, сведения о реализации, внедрении, апробации результатов работы.

Первая глава диссертационной работы посвящена описанию структуры и процедуры работы ИИС. Показаны её основные этапы. Вместе с тем в главе приведено описание «перекрытия» разработанной ИИС указанных во введении факторов, влияющих на качество определения координат БЛА-ВВП.

Во второй главе описан информационный базис предлагаемой в этой работе ИИС. В главе приводятся результаты анализа характеристик существующих БЛА-ВВП для формирования обобщенных диапазонов динамических свойств БЛА-ВВП, используемых в исследовании свойств синтезированных алгоритмов. Также в главе приведен анализ существующих и перспективных требований к качеству определения координат БЛА-ВВП. Далее в главе 2 приводится описание обобщенной структурной схемы навигационного комплекса БЛА-ВВП. В рамках выбранной схемы рассматриваются

инерциальная навигационная система и аппаратура спутниковой навигации. Показан способ расширения состава источников измерений параметров движения БЛА-ВВП.

В дополнение к этому во второй главе приведено описание видов и источников искажений измерений аппаратуры спутниковой навигации, которыми, в рамках предложенной ИИС, являются измерения псевдодальности до навигационных космических аппаратов (НКА). Приводится способ описания совокупного воздействия этих искажений в виде волновой функции скачкообразного и медленно нарастающего вида.

Третья глава содержит описание унифицированной структуры алгоритмов контроля целостности измерений. Узлами этой структуры являются, в том числе оценщик, алгоритмы обнаружения скачкообразных и медленно нарастающих искажений измерений псевдодальностей до НКА и совокупность измерителей, входящих в состав навигационного комплекса БЛА-ВВП. В главе приводится описание алгоритмов обнаружения искажений в вариантах для аппаратуры спутниковой навигации обладающей и не обладающей обратной связью по оценкам ошибок ухода местного генератора. Показан способ формирования входных измерений алгоритмов контроля целостности и стохастических моделей представления областей их неопределённости. По результатам работы алгоритмов обнаружения, входящих в состав алгоритмов контроля целостности, НКА рабочего созвездия распределяются на группы «рабочие», «сопровождаемые» и «проблемные». Первые две группы используются при формировании навигационного решения АПСН. Для НКА группы «сопровождаемые» показан способ расширения вектора состояния оценщика параметрами волнового представления искажений измерений.

В четвертой главе предвидены методики настройки и исследования качества определения координат БЛА-ВВП, с применением ИИС, алгоритмов контроля целостности. Приводятся способы формирования опорных траекторий движения БЛА-ВВП и измерений его подсистем. Следует отметить, что для настройки алгоритмов контроля целостности используется вид траектории, описанной в нормативных документах, применяемых при сертификации аппаратуры спутниковой навигации гражданских воздушных судов. При этом для исследования качества определения координат БЛА-ВВП используется профиль движения, приближенный к виду возможной траектории реального полёта БЛА-ВВП в рамках реализации ГАМ.

Пятая глава содержит описание результатов настройки и исследования качества определения координат БЛА-ВВП, включая синтезированные с применением разработанной ИИС алгоритмы контроля целостности. Показаны результаты настройки алгоритмов контроля целостности и способа обобщения информации о результатах

настройки для её включения в информационный базис ИИС при её последующих применениях. Также приводится результат исследования влияния характеристик инерциальной навигационной системы на результат настройки. Выявлено, что высокоточная инерциальная навигационная система позволяет произвести настройку под более строгие требования к качеству обеспечения координат, а грубая система не позволяет обеспечить заданные требования. Полученный результат логичен и соответствует ожидаемому, что дополнительно подтверждает принципиальную работоспособность предложенных методик.

Результаты исследования качества определения координат БЛА-ВВП, приведённые в главе пять, демонстрируют принципиальную способность синтезированных алгоритмов контроля целостности обеспечивать качество определения координат БЛА-ВВП при реализации ГАМ как существующих требований, приведенных в нормативных сертификационных документах гражданской авиации, так и перспективных. В частности, при проявлении уводящих искажений измерений псевдодальностей до НКА.

Заключение работы обобщает выводы и результаты, сформулированные и полученные в процессе выполнения диссертационной работы.

Научная новизна диссертационной работы заключается в:

1. Разработанной стохастической модели представления областей неопределённости входных измерений алгоритмов контроля целостности ИИС;
2. Предложенной методике исследования качества определения координат БЛА-ВВП в условиях возможного действия искажений измерений псевдодальностей до НКА рабочего созвездия аппаратуры спутниковой навигации, возникающих из-за естественных и искусственных причин;
3. Разработанных правил и критериях обнаружения скачкообразных и медленно нарастающих искажений в измерениях псевдодальностей для разработанного алгоритма контроля целостности координат БЛА-ВВП.

Научные положения в диссертационной работе, а также следующие из них **выводы и рекомендации** обоснованны и четко продемонстрированы.

Практическая ценность работы характеризуется разработанными структурой и процедурой работы ИИС обеспечения качества определения координат БЛА-ВВП, методиками настройки и исследования качества определения координат, обобщающими сертификационные требования и условия предполагаемой эксплуатации.

Достоверность полученных результатов диссертационной работы подтверждается использованием в основе методик настройки и исследования требований и рекомендаций к процедуре сертификации аппаратуры спутниковой навигации.

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

Замечания к диссертационной работе:

1. Вид модели погрешности инерциальных датчиков, используемый в работе имеет линейный вид. Для динамичного объекта, которым ожидаемо является БЛА-ВВП, целесообразно использовать модели более высокого порядка.

2. Не показан результат оценки элементов вектора состояния оценивателя, соответствующих параметрам выбранной математической модели погрешности инерциальных датчиков для выбранных траекторий движения.

3. В качестве оценивателя в работе использован фильтр Калмана. Для динамичного объекта имеет смысл применять альтернативные нелинейные оцениватели. Также следует рассмотреть возможность применения оценивателей, основанных на нейросетевых технологиях.

4. В рамках исследования приводится результат настройки алгоритмов контроля целостности с применением одного варианта микроэлектромеханических систем в качестве инерциальной навигационной системы. Ввиду их широкого распространения и характерных для таких систем значительных вариаций по точности инерциальных измерений, следует провести более детальное исследование качества определения координат БЛА-ВВП, в зависимости от характеристик инерциальной навигационной системы.

5. При настройке алгоритмов КЦ было получено два варианта комбинаций параметров алгоритма контроля целостности. В работе показан и обоснован способ выбора комбинации параметров настройки алгоритмов контроля целостности. При этом результаты исследования качества определения координат для отброшенного варианта параметров и сравнительный анализ двух вариантов может представлять интерес.

6. В разделе 3.3 описаны два варианта построения алгоритма обнаружения скачкообразных искажений для различных видов аппаратуры спутниковой навигации. Но в работе не показан результат исследования варианта «без обратной связи». Эти результаты могут быть важны, особенно учитывая ограничения на характеристики шумов системы, шумов измерений и начальное значение вектора состояния, накладываемые фильтром Калмана (выражения 14-16).

7. В рамках исследования качества определения координат, выбран линейный одномерный профиль уводящего искажения. Значительную ценность может нести

исследование, проведенное для сложного пространственного профиля уводящего искажения.

Указанные замечания не затрагивают основных положений работы и не снижают общей положительной оценки диссертационной работы

Заключение оппонента о соответствии работы требованиям ВАК.

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», утвержденном постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а её 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

Крылов Алексей Анатольевич

к.т.н. по специальности 2.2.11. «Информационно-измерительные и управляющие системы (технические науки)»

Акционерное общество «Государственный научно-исследовательский институт приборостроения» отдел 130, начальник сектора 133 отдела 130.

129226, г. Москва, проспект Мира, 125

Тел. + 7 (495) 981-56-30

e-mail: corund@gosniip.ru

« 27 » октября 2025 г.

 А.А. Крылов

Подпись официального оппонента Крылова Алексея Анатольевича, к.т.н., начальника сектора 133 отдела 130 акционерного общества «Государственный научно-исследовательский институт приборостроения» «подтверждаю».



(подпись) (Фамилия И.О.)
**НАЧАЛЬНИК УПРАВЛЕНИЯ
ПО РАБОТЕ С ПЕРСОНАЛОМ
«ГосНИИП»**

 Абакумов А.А.

С отзывом ознакомлен Колганов Л.А. 31.10.2025