

## ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук Андреева Виктора Павловича на диссертационную работу Бодункова Николая Евгеньевича «Расширение условий функционирования систем визуальной навигации автономных беспилотных летательных аппаратов», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01- «Системный анализ, управление и обработка информации (Авиационная и ракетно-космическая техника)».

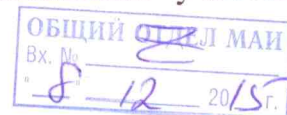
### **1. Актуальность темы исследования и её соответствие требованиям ВАК РФ**

Диссертация Бодункова Н.Е. посвящена решению важной и актуальной проблемы: разработке надёжных методов навигации автономных беспилотных летательных аппаратов (БЛА) без использования спутниковых навигационных систем (СНС).

Актуальность выбранной темы обусловлена тем, что в случае потери связи со спутником из-за технических неисправностей, природных явлений или злонамеренных действий автономный БЛА не сможет решить поставленную задачу, и может быть потерян. Для исключения подобных ситуаций БЛА должен быть снабжён альтернативной навигационной системой, пусть даже менее точной, позволяющей «определиться» на местности и, по крайней мере, вернуться на базу.

Известны и широко распространены системы визуальной навигации. Однако, как справедливо отмечает автор, имеются два основных фактора, ограничивающих условия применения существующих систем визуальной навигации: изменение условий наблюдения в процессе полёта и отсутствие информативных ориентиров в наблюдаемой области.

В диссертационной работе Бодункова Н.Е. рассматриваются вопросы повышения надёжности систем визуальной навигации за счёт формирования эталонных описаний, адаптивных к текущим условиям наблюдения, и создания новых методов навигации по малоинформативным участками



местности. Предлагаемые подходы позволяют обеспечить более надёжное, в отличие от известных, функционирование систем визуальной навигации автономных БЛА в условиях отсутствия информации от СНС.

Таким образом, тему диссертационного исследования следует считать **актуальной**.

Тема работы соответствует отрасли технических наук и паспорту специальности 05.13.01, в том числе в части *«... анализа, моделирования, оптимизации, совершенствования управления и принятия решений, с целью повышения эффективности функционирования объектов исследования»*.

## **2. Основные научные результаты, их новизна и ценность для науки и практики**

Полученные в диссертации основные результаты и новизна работы заключаются в следующем:

**2.1** Предложен подход к обнаружению ориентиров на основе использования эталонных описаний, адаптивных к изменению условий наблюдения.

Значения признаков ориентиров, наблюдаемых в текущих условиях, могут существенно отличаться от эталонных признаков, что делает невозможным их надёжное сопоставление. Это, в свою очередь, снижает вероятность их правильного обнаружения. Решение данной проблемы автор видит в формировании новых описаний (признаков), близких (вероятностно) к текущим условиям наблюдения, на основе известных эталонных. В качестве описаний автором предложено использовать условные плотности распределения наблюдаемых признаков (в частности текстурных). Для формирования текущих описаний используется интерполяция условных плотностей для некоторого текущего набора условий наблюдений на основе эталонных описаний, полученных для других условий.

**2.2** Разработан алгоритм формирования и использования адаптивных описаний ориентиров на основе нейронечётких систем.

В работе предложен способ интерполяции, основанный на использовании нечётких систем. Предложена методика построения нечёткой системы, алгоритм формирования адаптивных описаний, а также приведены рекомендации по выбору функций принадлежности, способа представления эталонных описаний и обучению системы.

**2.3** Предложен подход к решению задачи визуальной навигации БЛА при полёте над малоинформативными участками местности, основанный на предварительном формировании гипотез положения БЛА, планировании и реализации полёта с учётом информативности выбранного направления.

Малоинформативными могут быть подстилающие поверхности с однородными текстурами, например такие, как лес, поле, водная поверхность и пр. Существующие подходы визуальной навигации не используют ориентиры, позволяющие хотя бы частично решать задачу навигации по малоинформативным участкам, т.е. определять положение с недостаточной точностью, что ограничивает условия их применения. Поэтому крайне интересной представляется предложенный автором подход, основанный на временном изменении траектории полёта БЛА и выборе такого направления, которое может с наибольшей вероятностью привести к нахождению достаточно информативного ориентира.

**2.4** Разработан формат иерархического описания сцены для формирования гипотез положения БЛА при полёте над малоинформативными участками.

Автором предложены методика и алгоритм формирования гипотез положения БЛА на основе анализа наблюдаемой сцены. Под анализом подразумевается описание наблюдаемой сцены (её объектов и отношений между ними), а также сравнение полученного описания с аналогичными описаниями фрагментов цифровой карты местности (ЦКМ). В результате такого анализа по участкам со схожими описаниями формируется набор

гипотез положения. Автором предложен формат описания на основе языков ситуационного управления, а также механизм сравнения описаний.

**2.5** Разработан алгоритм определения информативного направления полёта для уточнения положения БЛА при полёте над малоинформативными участками местности.

Для повышения точности навигации при полёте над малоинформативными участками предложен алгоритм выбора направления полета БЛА, основанный на оценке информативности фрагментов ЦКМ.

**3. Достоверность и обоснованность основных выводов и результатов диссертации** подтверждена результатами математического и полунатурного моделирования процесса обнаружения ориентиров при изменении условий наблюдения и моделированием процесса навигации по малоинформативным ориентирам. При этом:

- показано, что использование предложенного автором алгоритма формирования адаптивных эталонных описаний ориентиров позволяет уменьшить вероятности ошибок обнаружения при изменённых условиях наблюдения;
- показано, что предлагаемые методики предварительного формирования гипотез положения БЛА и планирования полёта позволяют проводить визуальную навигацию на малоинформативных участках местности.

#### **4. Достоинства диссертации**

Несомненное достоинство диссертации – решение практически значимой задачи повышения эффективности применения автономных БЛА за счёт повышения надёжности навигационной системы и расширения условий применения алгоритмов визуальной навигации.

Диссертационная работа обладает внутренней целостностью и завершённостью, поскольку теоретические выкладки и предлагаемые методы

реализованы в виде алгоритмов, работоспособность которых подтверждена методами полунатурного моделирования.

Диссертация написана хорошим научным языком. Автор в равной мере владеет аппаратом математического моделирования, технологией компьютерного зрения, успешно использует методы теории информации, статистические методы распознавания и методы нечёткой логики.

## **5. Направление дальнейших исследований и рекомендации к применению**

Дальнейшее развитие работ представляется целесообразным по следующим направлениям:

- проверка эффективности предложенных методов и алгоритмов на значимых (количественно и качественно) выборках;
- исследование возможности работы предложенных алгоритмов в реальном масштабе времени при их реализации на существующих бортовых вычислителях;
- разработка методов формирования описаний, адаптивных к изменению таких условий наблюдения, как появление теней от облаков, снижение качества изображений из-за тумана и т.п.

## **6. Замечания по диссертации**

По содержанию представленной на отзыв диссертации имеются следующие замечания.

**6.1** Во введении при обзоре опубликованных работ слабо обоснована их критика с точки зрения недостатков известных методов, что, в сущности, является предметом данной исследовательской работы. Эти недостатки указаны в следующих разделах, но для обоснования актуальности основные недостатки известных систем желательно указывать во введении.

**6.2** В заключении вывод 1 сомнителен, поскольку возможно существование иных решений.

- 6.3** В разделе 2.2 (стр.50) изменение времени суток моделировалось изменением общей яркости и контрастности. Нет обоснованности использования данного приёма (если учитывать изменение положения Солнца, то будет наблюдаться изменение ориентации теней).
- 6.4** Использование энтропии по Шеннону для определения начальной неопределенности положения и информативности ориентира или направления полёта не корректно, т.к. в данном случае нельзя говорить о вероятностях. Более точным будет использование понятия достоверности.
- 6.5** На стр.16 в тексте используется параметр  $\delta_{тр}$ , определение которому не приводится.
- 6.6** На стр.17 используется аббревиатура БИНС, определения которой нет.
- 6.7** На рис.1.2(а, б), рис.4.7 (стр.119), и рис.4.17 обозначения осей координат приведены в тексте, но должны быть и на графиках.
- 6.8** Рис.1.1а (стр.26) и рис.1.1б (стр.27), а также рис.4.8-4.10 (стр.121, 122) выглядели бы более наглядно, если сравниваемые изображения поместить на странице рядом, а не на разных страницах.

Указанные замечания носят частный характер и не снижают общего уровня полученных в диссертации результатов.

## **7. Опубликованность и апробированность результатов диссертации**

Основные положения диссертации и результаты научных исследований по теме диссертации полностью отражены в 12 публикациях, в том числе в 3 статьях в журналах по перечню ВАК РФ и 2 - в зарубежных изданиях.

**8. Содержание автореферата** соответствует основным идеям, результатам, выводам и положениям диссертации.

## **9. Оценка диссертации в целом**

Совокупность полученных теоретических и практических результатов позволяет сделать вывод о том, что в представленной работе решена научно-техническая задача, имеющая существенное значение для использования беспилотных летательных аппаратов. При этом в работе содержится

совокупность новых научных результатов и положений, выдвигаемых автором для публичной защиты. Следует отметить её высокий научный уровень, большой объём выполненных исследований и реальную возможность практической реализации предложенных решений.

Представленная работа полностью соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям ВАК при Министерстве образования и науки РФ по актуальности, новизне, теоретической и практической ценности, достоверности, опубликованности и апробированности основных результатов, а её автор Бодунков Николай Евгеньевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (Авиационная и ракетно-космическая техника)».

Официальный оппонент,  
доктор технических наук,  
профессор ФГБОУ ВО  
МГТУ «СТАНКИН»,

В.П. Андреев

Место работы: МГТУ «СТАНКИН».  
Рабочий адрес: 127055, Москва, Вадковский пер.  
Рабочий телефон: +7(495)250-63-12  
Адрес электронной почты: andreevvp@yandex.ru



Подпись и реквизиты доктора технических наук, профессора МГТУ «СТАНКИН» Андреева Виктора Павловича заверяю.

