

## ОТЗЫВ

официального оппонента кандидата технических наук, Овчинникова Александра Викторовича, на диссертацию Бодункова Николая Евгеньевича на тему «Расширение условий функционирования систем визуальной навигации автономных беспилотных летательных аппаратов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 - «Системный анализ, управление и обработка информации (Авиационная и ракетно-космическая техника)».

В последнее время широкое распространение получили разработки автономных беспилотных летательных аппаратов (БЛА), способных длительное время функционировать без участия оператора. При этом одной из важных задач является разработка навигационных систем, обеспечивающих определение координат БЛА при потере работоспособности систем спутниковой навигации (СНС).

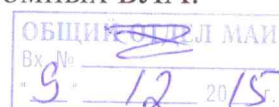
Одной из альтернатив СНС для автономных БЛА можно считать системы визуальной навигации. Однако их использование связано с рядом проблем.

В работе рассматривается 2 фактора способных ограничить условия применения существующих систем визуальной навигации: изменение условий наблюдения и отсутствие информативных ориентиров в наблюдаемой области.

Первый фактор связан с изменением видимых признаков ориентиров при изменении условий наблюдения (например, времени суток или погодных условий), что может привести к увеличению вероятности ошибок обнаружения ориентиров.

Второй фактор обусловлен отсутствием информативного ориентира в наблюдаемой области (полет над малоинформативной местностью). Под информативным понимается ориентир, позволяющий, при его обнаружении, с требуемой точностью определить положение БЛА. Так как для автономного БЛА при выполнении целевой задачи (ЦЗ) допустимо отклонение от проложенного штатного маршрута, то возможен его полет над малоинформативными участками местности. Отсутствие информативного ориентира приводит к неработоспособности существующих подходов визуальной навигации.

В своей работе Бодунков Н.Е. предложил методики и алгоритмы визуальной навигации ориентированные на решение поставленных задач. Таким образом, тему диссертации и её научные задачи следует считать актуальными, поскольку они направлены на расширение условий функционирования систем визуальной навигации автономных БЛА.



## Содержание работы

Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения, изложенных на 155 страницах, содержит 60 рисунков, 15 таблиц, список литературы из 59 наименований. Диссертация обладает внутренним единством, логичностью и последовательностью изложения. Автореферат соответствует содержанию и структуре диссертации. Опубликованные научные работы достаточно полно отражают основное содержание диссертационной работы.

*Во введении* приводится обзор существующих навигационных систем и систем визуальной навигации БЛА, дается обоснование актуальности темы диссертации, а также формулируются цель работы, решаемые задачи и положения, выносимые на защиту.

*В первой главе* рассматриваются решения задачи визуальной навигации. Показано, что при работе алгоритмов визуальной навигации в реальных условиях возникают проблемы: изменение условий наблюдения при длительном полете БЛА и полет над малоинформативными участками местности (областями, не содержащими информативных ориентиров). В результате возникновения первой проблемы происходит изменение видимых признаков ориентира и его эталонных изображений. Использование эталонов, полученных в других условиях, приводит к ошибкам обнаружения ориентиров. Вторая проблема связана с ситуацией «необнаружения» информативного ориентира в наблюдаемой области. Существующие системы визуальной навигации в таких условиях не функционируют. В диссертации ставятся задачи разработки алгоритмов адаптации эталонов ориентиров к изменению условий наблюдения и алгоритмов навигации по малоинформативным ориентирам.

*Вторая глава* посвящена адаптации эталонов ориентиров к изменению условий наблюдения. Под изменением условий в работе понимается смена времени суток, времени года, изменение погодных условий. Для адаптации эталонов предлагается подход на основе использования нечетких систем, включающий методику формирования нечеткой системы, выбора функции принадлежности и обучения. При этом в систему закладывается база нечетких правил, ставящих в соответствие определенным условиям конкретные эталонные описания. Во время работы система производит интерполяцию описаний для текущих условий на основе эталонных описаний для ближайших условий. Нелинейность интерполяции определяется формой соответствующих функций принадлежности. Предполагается, что функции принадлежности задаются экспертом, однако в дальнейшем они могут быть скорректированы за счет процедуры обучения.



*В третьей главе* рассматривается навигация БЛА по малоинформативным ориентирам. Автором предлагается алгоритм формирования гипотез положения на основе анализа наблюдаемой сцены. Суть подхода заключается в формировании описаний сцены и их сравнении с описаниями фрагментов цифровой карты местности. Фрагменты со схожими описаниями принимаются как гипотезы положения БЛА. Автором предложен формат иерархического описания сцены на основе языков ситуационного управления. Следует отметить, что подобные описания инвариантны к изменению яркости, условий наблюдения, незначительным искажениям формы наблюдаемых малоинформативных ориентиров. Также в главе предлагается алгоритм выбора информативного направления полета. Данный алгоритм необходим для полета к более информативной области при учете гипотез положения.

*В четвертой главе* приведены результаты экспериментов, подтверждающих теоретические предположения о работоспособности и эффективности предлагаемых алгоритмов.

*В заключении* сформулированы основные результаты и выводы, полученные соискателем в результате диссертационного исследования.

### **Степень обоснованности результатов**

Достоверность полученных автором результатов подтверждается математическим моделированием и экспериментальными исследованиями, по результатам которых было сделано 3 научные публикации в рецензируемых изданиях, рекомендуемых перечнем ВАК, и 2 публикации в зарубежных изданиях, входящих в индекс Scopus.

### **Научная новизна**

В результате выполнения диссертационной работы автором получены результаты, имеющие научную новизну. В качестве наиболее значимых результатов можно выделить:

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

2. Разработан алгоритм формирования и использования адаптивных описаний на основе нейронечетких систем.

3. Предложен подход к решению задачи визуальной навигации БЛА над малоинформативными участками местности, основанный на предварительном определении гипотез положения БЛА, планировании и реализации полета с учётом информативности выбранного направления.

4. Разработан алгоритм определения информативного направления полета для уточнения положения БЛА при навигации над малоинформативными участками местности.

Алгоритмы и подходы, разработанные автором, являются новыми или представляют собой модификацию существующих алгоритмов.

### **Практическая значимость**

Практическая значимость проведенных исследований заключается в:

1. Расширении условий применения систем визуальной навигации БЛА за счет адаптации эталонов к изменению условий наблюдения.
2. Сокращении требуемого количества эталонов для формирования адаптивных описаний.
3. Повышении эффективности алгоритмов визуальной навигации за счет использования малоинформативных ориентиров.

### **Замечания**

В целом диссертационная работа Бодункова Н.Е. представляет собой законченное научное исследование, однако, при ознакомлении с диссертационной работой возникает ряд вопросов и замечаний:

1. В диссертации термин «описание» используется для обозначения различных понятий: описаний ориентиров – плотностей распределения и описаний сцены – лингвистических описаний. Для однозначности трактования понятий целесообразно использовать различные термины или дополнить пояснениями существующий термин.
2. В работе недостаточно подробно рассмотрены вопросы формирования цифровой карты местности (ЦКМ), выбора эталонов, форм функций принадлежности и выбора эксперта.
3. Автор ограничивается рассмотрением, хотя и весьма подробным, влиянием на работу системы изменений условий наблюдения связанных с текущей освещенностью объектов, хотя не меньший практический интерес представляет и оценка влияния текущих погодных условий (дождь, снег, туман и т.д.).
4. В работе говорится, что размер фрагментов цифровой карты местности (ЦКМ) зависит от требований к точности системы, но не даётся практических рекомендации по их вычислению.
5. В диссертации присутствуют опечатки и синтаксические неточности, на графиках, показанных на рис. 1.2, рис. 4.7, рис. 4.17, отсутствуют обозначения осей.



Выявленные в работе недостатки не являются существенными и в большей степени указывают на моменты, требующие внимания при планировании и проведении последующих исследований в данном направлении.

### Заключение

Диссертационная работа содержит новые подходы к решению актуальных проблем визуальной навигации, позволяющие расширить условия применения автономных БЛА, и представляет из себя завершённую научно-квалификационную работу, отвечает критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней ВАК, а ее автор, Бодунков Н.Е., заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (Авиационная и ракетно-космическая техника)».

Доцент кафедры радиоэлектроники  
ФГБОУ ВО "Тульский  
государственный университет",  
кандидат технических наук



Овчинников  
Александр Викторович

Место работы: ФГБОУ ВО "Тульский государственный университет".

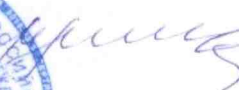
Рабочий адрес: 300012, г. Тула, пр. Ленина, 92.

Рабочий телефон: (4872) 73-44-14

Адрес электронной почты: admin\_telex@mail.ru

Подпись и реквизиты кандидата технических наук, доцента Овчинникова Александра Викторовича заверяю.

Начальник отдела кадров  
ФГБОУ ВО "Тульский  
государственный университет"



Метелищенкова М.В.