

На правах рукописи

**Кузнецов Андрей Григорьевич**

**ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОЦЕНКИ КООРДИНАТ  
МАЛОГАБАРИТНОГО БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО  
АППАРАТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМЫ  
ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ**

Специальность 05.13.01

Системный анализ, управление и обработка информации  
(Авиационная и ракетно-космическая техника),

Специальность 05.07.09

Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва 2011 г.

Работа выполнена на кафедре «Информационно-управляющие комплексы летательных аппаратов» Московского авиационного института (государственного технического университета, МАИ).

Научный руководитель: кандидат технических наук, профессор  
Ким Николай Владимирович

Научный консультант: доктор технических наук  
Обносов Борис Викторович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Брусов Владимир Сергеевич

кандидат технических наук  
Таргамадзе Реваз Чолаевич

Ведущая организация: Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-исследовательский и экспериментальный институт автомобильной электроники и электрооборудования», г. Москва.

Защита состоится “ 21 ” апреля 2011 г. в 15:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.125.12 в Московском авиационном институте (государственном техническом университете, МАИ) по адресу: 125993, г.Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, д.4.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского авиационного института (государственного технического университета, МАИ).

Автореферат разослан “ 18 ” марта 2011 г.

Отзывы, заверенные печатью, просьба направлять по адресу: 125993, г.Москва, А-80, ГСП-3, Волоколамское шоссе, д.4, Ученый совет МАИ.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 212.125.12,  
к.т.н., доц.

В.В.Дарных

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** В последние годы все более широкое распространение получают малогабаритные (мини) беспилотные летательные аппараты (МБЛА) весом 3-10 кг, предназначенные для мониторинга земной или водной поверхности, разведки и т.д. Расширение области применения МБЛА, количества и качества решаемых ими задач требует повышения надежности их эксплуатации. Повышение надежности использования МБЛА может быть получено за счет повышения эффективности используемых навигационных систем, выражаемой, в частности, в обеспечиваемых точностях оценки координат, а также за счет автоматизации процедур посадки, целеуказания, наведения на цель. Существующие в настоящее время системы автоматического управления (MicroPilot, ТекНол и др.) в условиях отсутствия сигналов спутниковых навигационных систем (СНС) не обеспечивают точностей позиционирования, сопоставимых с точностями СНС. Это вызвано высокой скоростью накопления ошибки в системах счисления пути из-за высокой составляющей ошибки в используемых микромеханических акселерометрах. В данной работе рассматривается применение бортовой системы наблюдения (СН) для оценки относительных координат МБЛА по наблюдаемым в поле зрения СН контрастным ориентирам. С целью снижения аварийности посадки МБЛА в работе рассматривается задача организации автоматизированной посадки с участием человека-оператора при использовании в качестве источника навигационной информации разработанных алгоритмов оценки координат МБЛА. Скрытность и невидимость МБЛА для современных средств обнаружения ЛА позволяют использовать МБЛА в комплексе с другими средствами вооружения (танки, истребители, управляемые ракеты и пр.) для решения задач целеуказания и наведения средств поражения на цель, а также в качестве самостоятельного средства поражения. Практическая важность вопросов повышения эффективности эксплуатации МБЛА (в том числе и в условиях особых ситуаций (ОС)) и недостаточная проработка перечисленных задач определили вы-

бор темы диссертации и направление исследований. Таким образом, вопросы, рассматриваемые в диссертации, являются **актуальными** и практически важными.

**Целью работы** является расширение области и условий применения МБЛА. Это требует разработки метода высокоточной оценки координат МБЛА и проработки вариантов его использования в задачах автоматизированной посадки и высокоточного наведения. Для этого необходимо сформировать структуры комплексного алгоритма обработки видовой информации и системы помощи оператору; определить методику организации помощи оператору МБЛА на этапе вынужденной посадки при воздействии опасных факторов особой ситуации; определить методику автономного высокоточного наведения МБЛА, за счет использования разработанных методов оценки ориентации на основе обработки видовой информации. Предлагаемая методика оценки координат должна отличаться меньшим количеством используемой априорной информации и большей вычислительной экономичностью.

**Объект исследования** – метод оценки координат МБЛА, способ организации помощи оператору.

**Предмет исследования** – разработка методики, математических моделей и алгоритмов систем оценки координат МБЛА, помощи оператору, целеуказания/наведения.

В работе **использованы методы** математического моделирования, теории вероятностей, математической статистики, компьютерного зрения.

**Научная новизна работы** состоит в следующем:

1. Предложена и разработана структура комплексного алгоритма обработки видовой информации (КАОВИ), позволяющая выделять на принимаемом изображении линии разметки посадочной полосы, и методика оценки координат МБЛА относительно этих линий;

2. Предложено решение задачи оценки положения и ориентации МБЛА относительно различных типов ориентиров (линейных, точечных);

3. Предложена и разработана структура комплексного алгоритма поддержки действий оператора, основанная на анализе текущего и прогнозируемого положения МБЛА за счет использования информации от СН;

4. Предложена методика решения задачи высокоточного наведения МБЛА на цель, включающая грубую оценку координат МБЛА на траектории по изображениям подстилающей поверхности и высокоточную оценку координат МБЛА относительно цели.

**Достоверность результатов**, полученных в работе, подтверждается результатами математического и полунатурного моделирования процесса оценки положения МБЛА относительно посадочной полосы на основе обработки изображений шоссейных дорог, а также результатами моделирования процесса формирования вспомогательной информации оператору МБЛА.

**Практическая значимость** заключается в том, что разработанный КАО-ВИ, позволяет выделять на принимаемом изображении границы посадочной полосы, а предложенный метод оценки координат и ориентации МБЛА позволяет оценить высоту, смещение и угол курса МБЛА относительно трех точечных или двух линейных ориентиров. Реализация методов позволяет повысить эффективность использования МБЛА, в том числе для решения боевых задач. Определены требования к системе организации помощи оператору. Созданная в процессе выполнения работы методика помощи оператору позволяет существенно увеличить сохранность МБЛА в результате выполнения посадки при воздействии особых факторов.

Результаты диссертационной работы используются в учебном процессе кафедры «Информационно-управляющие комплексы летательных аппаратов» МАИ и рабочей деятельности Федерального государственного унитарного предприятия «Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина» (ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина»). Имеются соответствующие акты внедрения от кафедры 704 МАИ и ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина».

**Апробация работы** прошла на четырех конференциях: Всероссийской

конференции с элементами научной школы для молодежи «Проведение научных исследований в области обработки, хранения, передачи и защиты информации», г. Ульяновск, 2009 г., 18-ом международном научно-техническом семинаре, г. Алушта, Украина, 2009 г., Четвертой Всероссийской научно-практической конференции «Перспективные системы и задачи управления», г. Домбай, 2009 г., на VIII всероссийской юбилейной научно-технической конференции «Проблемы совершенствования робототехнических и интеллектуальных систем летательных аппаратов», г. Москва, 2010 г.. Результаты работы **опубликованы** в 10 статьях, в том числе в трех журналах, входящих в перечень ВАК.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы. Работа изложена на 152 страницах машинописного текста, содержит 75 рисунков, 14 таблиц и 65 наименований литературных источников.

**К защите представляются следующие основные положения работы:**

1. Комплексный алгоритм обработки видовой информации, обеспечивающий решение задач внешней ориентации на основе обработки изображений посадочной полосы;
2. Алгоритм оценки внешней ориентации МБЛА на основе обработки и анализа изображений посадочной полосы;
3. Методика повышения безопасности посадки МБЛА;
4. Алгоритм формирования вспомогательной информации оператору МБЛА;
5. Методика применения МБЛА для решения боевых задач;
6. Результаты экспериментальных исследований, подтверждающие работоспособность предложенного КАОВИ для решения задачи оценки внешней ориентации МБЛА, а также эффективность использования формируемой оператору МБЛА вспомогательной информации.

**СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обосновывается актуальность темы, проводится анализ ли-

температуры, дается общая характеристика работы.

**Первая глава** посвящена алгоритмам обработки видовой информации для выделения на принимаемом изображении линейных ориентиров (границы посадочной полосы) и решению задачи оценки координат МБЛА относительно них.

Функционально используемые алгоритмы обработки изображений можно разделить на две группы: алгоритмы предварительной обработки изображений, реализующие процедуры и функции, используемые для выделения на изображении отрезков прямых линий; алгоритмы выделения границ ориентиров, реализующие процедуры выделения границ посадочной полосы.

Для формирования алгоритмов 1-й группы проведен анализ методов выделения краев на изображении по ряду критериев (быстродействие, наличие фильтрации и пр.). Выбор метода цепного кода для выделения границ ориентиров обусловлен проведенными исследованиями, которые показали, что использование альтернативного ему метода Хаффа обеспечивает меньшую точность и требует больших вычислительных ресурсов.

Результаты обработки изображения для выделения линейных ориентиров показаны на рис.1.



Рис.1. Выделение границ посадочной полосы

Параметры найденных ориентиров позволяют решить задачу внешней ориентации СН. При этом предполагается, что в горизонтальной плоскости расположены параллельные прямые, выделенные с помощью описанных выше методов обработки видовой информации. Расстояние между прямыми линиями  $W_0$  известно.

Формулы для расчета параметров ориентации имеют следующий вид:

$$k = \frac{tg(\varphi_{A1}) \sin(\mu_{A1}) - tg(\varphi_{A2}) \sin(\mu_{A1})}{tg(\varphi_{A1}) \cos(\mu_{A1}) - tg(\varphi_{A2}) \cos(\mu_{A1})}$$

$$H = \frac{W_0}{\cos(arctg(k))(tg(\varphi_{B1}) \sin(\mu_{B1}) - tg(\varphi_{A1}) \sin(\mu_{A1}) - k[tg(\varphi_{B1}) \cos(\mu_{B1}) - tg(\varphi_{A1}) \cos(\mu_{A1})])}$$

$$\Psi = arctg(k) \tag{1}$$

$$\Delta L = (Htg(\varphi_1) \sin(\mu_{A1}) - kHtg(\varphi_1) \cos(\mu_{A1})) \cos(\Psi)$$

где  $\mu$  и  $\varphi$  – углы визирования точек линии в горизонтальной и вертикальной плоскостях соответственно. Индексы при углах  $\mu$  и  $\varphi$  обозначают прямую и взятую на ней произвольную точку. Например,  $\varphi_{A1}$  – угол визирования точки 1 на прямой  $A$ .

Общая структура алгоритма оценки ориентации включает следующие процедуры: получение изображений, выделение границ посадочной полосы, выделение точек на прямых линиях, преобразование координат точек в соответствии с углами поворота камеры, расчет  $k$ ,  $H$ ,  $\Delta L$ .

Предложенный подход позволяет оценить положение МБЛА относительно трех точечных ориентиров, источником которых могут служить, в частности, линии разметки посадочной полосы.

Проведены исследования точности предложенного метода оценки координат. По результатам исследований можно сделать вывод о том, что предлагаемый метод оценки координат МБЛА удовлетворяет предъявляемым требованиям к точности при условии прямолинейности полета МБЛА.

**Во второй главе** диссертации рассматриваются особенности выполнения посадки МБЛА в особой ситуации, определяются требования к точности выполнения процедуры посадки, проводится анализ контуров управления МБЛА в продольном и боковом каналах, обосновывается необходимость включения оператора в контур управления МБЛА, предлагается методика построения системы помощи оператору.



Примем, что для рассматриваемого класса МБЛА ошибки, характеризующие требуемую точность навигационного оборудования, должны быть ограничены значениями, приведенными в табл. 1.

Табл. 1. Требуемые точности посадки

| Категория посадки | Высота [м] | Требуемая точность по отклонению [м] |                                      |
|-------------------|------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
|                   |            | Боковому ( $2\sigma_{L_{гр}}$ )      | Вертикальному ( $2\sigma_{H_{гр}}$ ) |
| I                 | 10         | $\pm 2.6$                            | $\pm 0.8$                            |
| II                | 5          | $\pm 1.3$                            | $\pm 0.45$                           |
| III               | 2          | $\pm 0.4$                            | $\pm 0.2$                            |

Представленные данные были подтверждены экспериментальными исследованиями.

Значения требуемой точности по отклонению вдоль всей дистанции посадки формируют область допустимых отклонений от глиссады посадки (ОДОГП).

Для обеспечения указанных требований к посадке в работе рассматривается автоматизация процесса посадки МБЛА.

Под автоматизацией посадки подразумевается реализация методов и алгоритмов, направленных на поддержку действий оператора МБЛА, в зависимости от конкретных условий полета.

Среди возможных способов организации посадки в работе рассматривается посадка по-самолетному. Выбор этого типа посадки для дальнейших исследований обусловлен тем, что данная посадка обеспечивает более высокую эксплуатационную эффективность по сравнению с другими способами посадки, в частности, за счет управления траекторией снижения МБЛА.

Для выполнения посадки указанного типа оператору необходима информация о положении МБЛА относительно посадочной полосы. В существующих системах управления МБЛА оператору доступна информация о высоте, скорости, угловой ориентации, которая поступает от инерциальной навигационной системы (ИНС) и/или СНС, а также видеoinформация с установленной на борту МБЛА видеокамеры.

Однако, эти данные, в ряде случаев, не обеспечивают условий для принятия оператором обоснованных решений в заданное время. В связи с этим, используется описанный выше алгоритм оценки координат МБЛА с использованием системы технического зрения (СТЗ).

В качестве объектов наблюдения в работе рассматриваются линии разметки посадочной полосы.

Таким образом, требуется оценить положение МБЛА относительно линий разметки, а КАОВИ должен обеспечить выделение линий разметки на принимаемом изображении.

На основе полученной информации о положении МБЛА относительно посадочной полосы оператор реализует управляющие действия с целью приведения в соответствие текущего и требуемого положений МБЛА.

Динамичность рассматриваемого объекта управления и скоротечность этапа посадки требуют от оператора МБЛА высокой скорости реакции и быстроты принятия решений. Для повышения эффективности действий оператора, а также для сохранения устойчивости контура управления «оператор-МБЛА», которая может быть нарушена задержками в действиях оператора, в контур управления вводится система формирования подсказок оператору.

Проведенные исследования показали, что для рассматриваемого типа МБЛА задержка в действиях оператора  $> 0.3$  сек. является критичной с точки зрения обеспечения устойчивости контура управления.

С учетом вышеизложенного предлагается следующая методика построения системы организации помощи оператору:

1. Оценка положения МБЛА относительно линий разметки на посадочной площадке с использованием методов обработки видовой информации;
2. Оценка текущего и прогнозируемого пространственного положения МБЛА относительно границ ОДОГП с учетом степени «опасности»;
3. Формирование рекомендаций оператору по удержанию МБЛА внутри ОДОГП.

В **третьей главе** рассматриваются вопросы организации помощи оператору МБЛА, проводится анализ возможных причин ошибочных действий оператора, рассматриваются различные виды помощи оператору в зависимости от степени опасности прогнозируемого положения МБЛА.

Ошибки, совершаемые оператором, можно разделить на сенсорные (или ошибки восприятия), логические (неправильная интерпретация полученной информации) и моторные ошибки, т.е. ошибки реализации управления. Сенсорные и логические ошибки могут быть уменьшены за счет формирования вспомогательной информации оператору.

В работе рассматривается два класса ОС:

1. Усложнение условий полета.

Пусть МБЛА находится внутри ОДОГП. Его прогнозируемое положение в следующий момент времени также находится внутри ОДОГП. Однако, если из точки прогнозируемого положения МБЛА может выйти за границы ОДОГП за время реакции оператора и время реакции объекта управления (в нашем случае МБЛА), то такая ситуация считается «усложнением условий полета». Время реакции оператора складывается из времени приема информации и времени анализа ситуации оператором, времени принятия решения оператором, времени реализации оператором управляющих действий.

2. Аварийная ситуация. В этом случае прогнозируемое положение МБЛА находится на границе ОДОГП или за ней.

Каждому классу ОС соответствует свой тип подсказок, формируемых оператору. Это могут быть рекомендации, либо команды.

Необходимость разделения подсказок по типу на рекомендации и команды обусловлена различным временем реакции оператора на каждую из них. Так, в отличие от рекомендации, при выполнении команды оператор не тратит время на анализ полученной информации, а сразу переходит к реализации управления.

По своему назначению рекомендации призваны скорректировать движение МБЛА внутри ОДОГП, в то время как команды предполагают кардинальное изменение траектории движения МБЛА, вплоть до ухода на второй круг.

Кроме описанных выше типов подсказок – рекомендаций и команд, в работе используется еще один тип подсказок – напоминание. Напоминания призваны исправить ошибки, вызванные забыванием выполнения типовых действий, например операций переключения.

Для разделения ОС на классы требуется ввести определенный критерий оценки опасности ситуации. В работе используется время  $T_{пр-д.о}$  от момента получения прогноза до попадания в т.н. точку невозврата. Точка невозврата характеризуется такими положением и вектором скорости, при которых МБЛА неизбежно выйдет из ОДОГП, за пределами которой выполнить посадку невозможно.

Как отмечалось выше, существует два типа команд – это команды, направленные на поддержку посадки в штатном режиме, и команда «уйти на второй круг» при прогнозировании возникновения аварийной ситуации.

Таким образом, принятие решения, уходить или не уходить на второй круг, связано с решением задачи распознавания 2-х возможных ситуаций:  $x_1$  - «штатная посадка»,  $x_2$  - «аварийная посадка».

Важным моментом при формировании команды является выбор критерия распознавания, по которому определяется выбор команды. В качестве такого критерия может быть использован один из статистических критериев обнаружения (двухальтернативного распознавания).

В ходе выполнения работы проведено сравнение различных статистических критериев обнаружения рассматриваемых классов ситуаций. В результате проведенных исследований был выбран критерий Неймана-Пирсона.

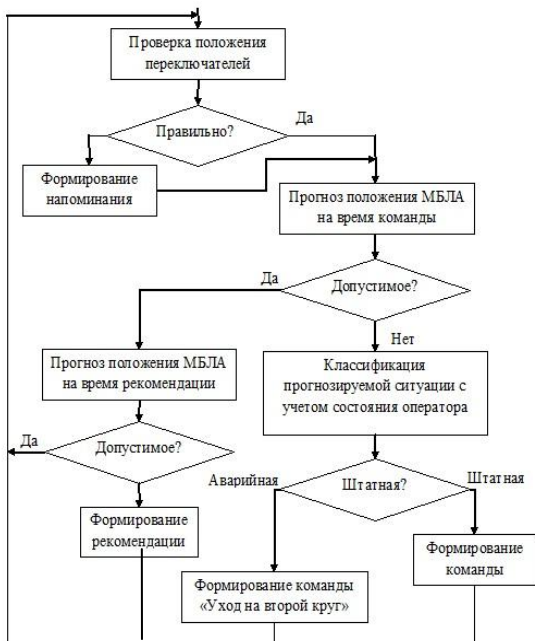


Рис.2. Алгоритм помощи оператору



Рис.3. Представление помощи оператору

Предложенный в итоге алгоритм формирования рекомендаций оператору показан на рис.2.

С точки зрения удобства восприятия оператором, наиболее эффективный способ предоставления информации о текущем и потребном положении МБЛА – отображать на мониторе оператора проекции сечений ОДОГП (рис.3). Таким образом, оператор наглядно может оценить положение МБЛА

относительно глассады посадки и принять необходимые действия для коррекции его положения.

При приближении к границе ОДОГП оператору подается подсказка типа «рекомендация» в виде, зеленой стрелки, указывающей требуемое смещение.

При повышении уровня текущей опасности подсказка типа «команда» выражается в виде красной стрелки с сопутствующим звуковым сигналом. В этом случае оператор обязан выполнить рекомендуемые действия, чтобы обеспечить успешное выполнение посадки и/или сохранить МБЛА.

Напоминания оператору реализуются в виде информационных сообщений на мониторе пульта управления.

Приведенная выше методика организации помощи оператору должна обеспечить удержание МБЛА внутри ОДОГП на этапе посадки и сделать траекторию посадки максимально близкой к опорной глиссаде посадки.

Экспериментально подтверждено, что при использовании подсказок оператору траектория посадки должна становится более гладкой и близкой к математическому ожиданию ОДОГП, определяющему глиссаду посадки.

**В четвертой главе** рассматривается возможность использования ударных МБЛА с учетом предложенных в главе 1 алгоритмов оценки ориентации. Проводится анализ методов выделения точечных ориентиров, рассматривается метод коррекции МБЛА на траектории за счет использования эталонных изображений, сформированных по топографическим картам, проводится анализ точности оценки координат с использованием топографических карт.

Автономные алгоритмы оценки координат позволяют МБЛА решать задачи на дальности более 100 км. Используемые алгоритмы можно разделить на две группы:

1. Алгоритмы высокоточного наведения;
2. Алгоритмы оценки координат МБЛА на траектории.

В основе описанного в главе 1 алгоритма высокоточной оценки ориентации МБЛА лежит анализ положения МБЛА относительно 3-х точек. Источником информации о взаимном расположении точек являются две параллельные прямые линии – границы посадочной полосы.

Другими источниками информации о точках могут служить:

- 3 точечных ориентира с известными пространственными координатами (например, 3 здания);
- 1 точечный ориентир и 1 линейный ориентир (здание и дорога).

Подобные комбинации ориентиров возможно использовать при решении задачи высокоточного наведения ударного МБЛА.

Сформированный выше подход к оценке ориентации позволяют оценить положение МБЛА относительно слабоконтрастной или скрытой цели, положение которой известно относительно заданной группы ориентиров.

Эффективность решения целевой задачи напрямую зависит от точности вывода МБЛА в район нахождения цели. В связи с этим требуется решить задачу коррекции положения МБЛА на траектории полета. В качестве альтернативного автономного метода коррекции на траектории в работе рассматривается применение обзорно-сравнительных методов навигации на основе обработки видовой информации.

Коррекция на траектории осуществляется за счет оценки положения МБЛА относительно уникальных объектов-ориентиров на наблюдаемой сцене. В качестве таких объектов могут использоваться здания, перекрестки, стадионы и т.п. объекты.

Показано, что в качестве эталонных изображений можно использовать контурные изображения фрагментов местности с топографической карты.

Привязка к местности в этом случае осуществляется с использованием парных критериальных функций.

Полная ошибка определения местоположения составит не более  $0.5 \dots 1$  мм, что соответствует  $(5 \dots 10)\%$  от масштаба карты (величину  $25 \dots 50$  м применительно к карте масштаба  $1:50000$ ). Необходимо учитывать, что при отсутствии на карте изображений объектов с точно известными географическими координатами СКО ошибки ( $\sigma$ ) привязки листа карты к местности составит  $50$  м.

Рассматриваются различные виды парных критериальных функций, используемых для обнаружения ориентиров, с помощью которых осуществляется оценка положения на траектории.

В качестве рабочей выбрана функция Дейка.

В зависимости от типа цели рассматриваются различные способы прицеливания по неподвижным целям. Среди них – прицеливание по неподвижной контрастной цели, прицеливание по вынесенной точке прицеливания.

В результате выполнения работ по настоящей главе определена методика решения навигационных задач на борту МБЛА при решении боевых задач, включающая в себя:

1. Выбор эталонных изображений для грубой коррекции на траектории;
2. Оценка координат МБЛА на траектории с использованием методов корреляционно-экстремального поиска;
3. Обнаружение заранее заданных ориентиров в окрестности цели с помощью методов корреляционно-экстремального поиска, методов сегментации, методов выделения отрезков прямых линий. Использование конкретного метода зависит от рассматриваемых типов ориентиров;
4. Оценка координат МБЛА относительно цели.

**Пятая глава** работы содержит результаты экспериментальных исследований алгоритмов обработки видовой информации, оценки ориентации МБЛА, а также эффективности использования сформированных оператору МБЛА рекомендаций.

В ходе выполнения работы были проведены следующие экспериментальные исследования:

- оценка вероятности обнаружения линий разметки посадочной полосы в зависимости от отношения сигнал/шум ( $\beta$ );
- оценка вероятности обнаружения линий разметки в зависимости от контрастности наблюдаемой сцены;
- оценка точности определения ориентации МБЛА относительно линий разметки посадочной полосы;
- оценка быстродействия разработанных алгоритмов в реальных условиях;
- проверка эффективности использования формируемых оператору МБЛА подсказок.

Оценка вероятностей обнаружения линий в зависимости от отношения сигнал/шум и контрастности сцены показала, что алгоритм работает стабильно при отношении сигнал/шум более 25 и при контрастности сцены более 0.35.



Оценка точности определения ориентации МБЛА выполнялась с помощью полунатурного моделирования. Выборочные результаты эксперимента показаны в табл.2.

Табл.2. Оценка точности определения координат

| <b>N</b> | <b>L(мм)</b> | <b>H(мм)</b> | <b>Ψ(град.)</b> | <b>L<sub>e</sub>(мм)</b> | <b>H<sub>e</sub>(мм)</b> | <b>Ψ<sub>e</sub>(град.)</b> | <b>L%</b> | <b>H%</b> | <b>ΔΨ</b> |
|----------|--------------|--------------|-----------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------|-----------|-----------|
| 3        | 382          | 845          | 10              | 366                      | 855                      | 9.3                         | 4.188482  | 1.1834    | 0.7       |
| 9        | 757          | 1110         | 15              | 726                      | 1135                     | 14.6                        | 4.095112  | 2.252252  | 0.4       |
| 10       | 1080         | 845          | 0               | 1093                     | 860                      | 0                           | 1.203703  | 1.775147  | 0         |

$L, H, \Psi$  - истинные значения величин бокового смещения, высоты и угла курса;  $L_e, H_e, \Psi_e$  - оценки, вычисленные с использованием разработанных алгоритмов;  $L\%, H\%$  - ошибки оценки в процентах.

Для оценки быстродействия созданных алгоритмов обработки изображений выполнено полунатурное моделирование процесса оценки ориентации.

Видеокамера, установленная на крыше автомобиля, фиксировала наблюдаемую сцену. Полученное от нее изображение обрабатывалось на цифровом сигнальном процессоре BF-561 с использованием описанных выше алгоритмов обработки видовой информации. Время обработки одного кадра видеoinформации фиксировалось в итоговый файл протокола. Часть результатов показана в табл.3.

Табл.3. Оценка времени обработки кадра видеосигнала

| <b>Время (сек)</b> | <b>Время (сек)</b> | <b>Время (сек)</b> | <b>Время (сек)</b> |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 0.056682           | 0.082098           | 0.069602           | 0.055527           |
| 0.056215           | 0.082267           | 0.068506           | 0.055247           |
| 0.061313           | 0.071022           | 0.080182           | 0.055298           |

По результатам проведения эксперимента можно сделать вывод о возможности оценки ориентации на борту МБЛА в режиме реального времени. Таким образом, указанные алгоритмы могут быть использованы в условиях боевого применения МБЛА.

Экспериментальная оценка эффективности формируемых оператору подсказок проводилась с использованием программного авиасимулятора. Во время выполнения процедуры посадки оператору формировались рекомендации

по коррекции траектории посадки.

Часть результатов эксперимента показана на рис.4.

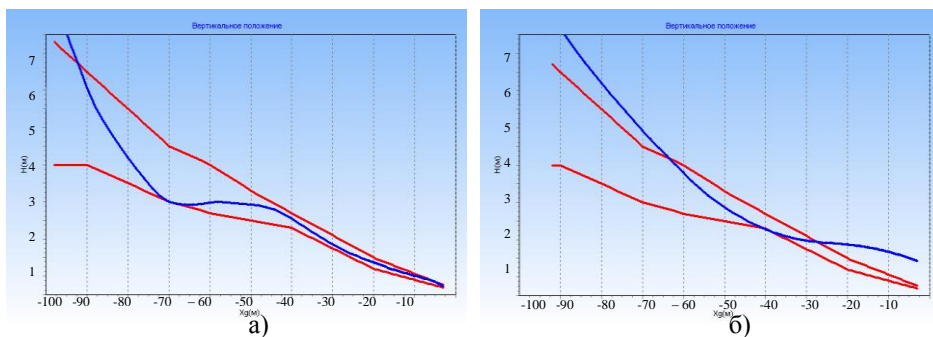


Рис.4. Траектории посадки МБЛА

Рисунок 4а иллюстрирует траекторию посадки с использованием подсказок оператору, рис. 4б – без подсказок.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что формируемые оператору подсказки делают траекторию посадки более близкой к глиссаде посадки и позволяют успешно выполнить посадку МБЛА.

### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В результате проведенных исследований:

1. Представлены результаты анализа методов решения задачи внешней ориентации и предложен вариант решения задачи оценки ориентации МБЛА относительно различных типов внешних ориентиров с использованием СТЗ.
2. Разработан комплексный алгоритм обработки видовой информации, обеспечивающий выделение на принимаемом изображении линейных ориентиров, в качестве которых используются линии разметки посадочной полосы.
3. Определена структура системы автоматизированной посадки МБЛА, основанная на формировании оператору МБЛА вспомогательной информации с учетом текущей ориентации МБЛА относительно посадочной полосы.
4. Разработан комплексный алгоритм формирования оператору МБЛА вспомогательной информации с учетом текущего и требуемого положения МБЛА и степени опасности такого положения.

5. Предложена методика решения задачи высокоточного наведения МБЛА на цель при использовании МБЛА для решения боевых задач, включающая в себя вопросы коррекции на траектории по эталонным изображениям, полученным с топографических карт местности, и прицеливания на терминальном участке траектории с помощью разработанных алгоритмов высокоточной оценки положения МБЛА.

#### **СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:**

1. Ким Н.В., Кузнецов А.Г., Крылов И.Г., Применение систем технического зрения на беспилотных летательных аппаратах в задачах ориентации на местности, Вестник Московского авиационного института, 2010, №3, с. 46-49.
2. Ким Н.В., Кузнецов А.Г., Косоруков С.Ю., Анализ дорожной ситуации с использованием систем технического зрения, Известия ЮФУ. Технические науки, 2010, №3, с. 107-111.
3. Ким Н.В., Кузнецов А.Г., Косоруков С.Ю., Автоматизация посадки малогабаритного беспилотного летательного аппарата (МБЛА) в особых условиях, Вестник компьютерных и информационных технологий, 2011, №4, Принято к публикации.
4. Ким Н.В., Кузнецов А.Г., Оценка координат беспилотного летательного аппарата на этапе автоматической посадки на основе обработки изображений посадочной полосы, Тезисы докладов второй всероссийской научно-технической конференции «Комплексы с беспилотными летательными аппаратами России. Современное состояние и перспективы развития». ак. Им. Н.Е. Жуковского, 2008, с. 49.
5. Ким Н.В., Кузнецов А.Г., Крылов И.Г., Шеваль В.В., Повышение эффективности наблюдения наземных объектов группой беспилотных летательных аппаратов, Тезисы докладов второй всероссийской научно-технической конференции «Комплексы с беспилотными летательными

- аппаратами России. Современное состояние и перспективы развития» ак. Им. Н.Е. Жуковского, 2008, с. 50
6. Ким Н.В., Кузнецов А.Г., Крылов И.Г., Шеваль В.В., Предварительная оценка составляющих ошибки управления полетом малоразмерных БЛА в режиме автоматической посадки, Тезисы докладов второй всероссийской научно-технической конференции «Комплексы с беспилотными летательными аппаратами России. Современное состояние и перспективы развития». ак. Им. Н.Е. Жуковского, 2008, с. 51.
  7. Кузнецов А.Г., Крылов И.Г., Лебедев А.В., Система ориентации мобильного робота относительно внешних ориентиров на основе обработки изображений, Труды 18 международного научно-технического семинара, Алушта, 2009, с. 69.
  8. Кузнецов А.Г. Организация помощи оператору малогабаритного беспилотного летательного аппарата на этапе посадки в особых условиях, Всероссийская конференция с элементами научной школы для молодежи «Проведение научных исследований в области обработки, хранения, передачи и защиты информации». Сборник научных трудов. Ульяновск, 2009, с. 140-147.
  9. Кузнецов А.Г., Исследование возможности посадки малогабаритного беспилотного летательного аппарата с использованием системы технического зрения, Сборник докладов VIII всероссийской юбилейной научно-технической конференции «Проблемы совершенствования робототехнических и интеллектуальных систем летательных аппаратов», Москва, МАИ-принт, 2010, с. 119-122.
  10. Ким Н.В., Кузнецов А.Г., Автоматическая посадка малогабаритного летательного аппарата в особых ситуациях, Труды международной конференции с элементами научной школы для молодежи, Санкт-Петербург, 2010, с.181-188.