

«УТВЕРЖДАЮ»

Заместитель управляющего директора-  
Главный конструктор ОАО МНПК «Авионика»  
к.т.н. Абдулин Р.Р.

«27» 03



## Отзыв ведущей организации

Открытое акционерное общество Московский научно-производственный комплекс  
«Авионика» им. О.В. Успенского  
(ОАО МНПК «Авионика»)

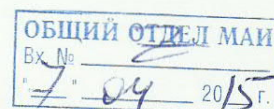
на диссертационную работу Ивашовой Наталии Дмитриевны «Система автоматического управления посадочным маневром беспилотного летательного аппарата при действии бокового ветра», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (информатика, управление и вычислительная техника)»

**Актуальность работы.** Одной из проблем обеспечения безопасности посадки самолетов является задача успешного управления полетом в процессе снижения по глиссаде и выравнивания при действии сильного бокового ветра непосредственно перед касанием шасси взлётно-посадочной полосы (ВПП). При ручном управлении посадкой может произойти приземление сначала на одно колесо шасси, если применяется управление по крену, либо оказывается значительной боковая скорость, опасная при недостаточной прочности стоек шасси. Особенно остро стоит проблема безопасности посадки у легких беспилотных летательных аппаратов (БЛА) из-за отсутствия пилота на борту. Поэтому тема данной диссертационной работы, посвященной задаче автоматической посадки БЛА при сильном боковом ветре, является **актуальной**.

**Целью диссертационной работы** является повышение безопасности посадки БЛА при расширенном диапазоне ветровых возмущений, а **объектом исследований** – система автоматического управления посадкой при снижении по глиссаде и выравнивании. Предложен новый способ маневрирования БЛА путем многорежимного управления сначала по крену, а потом – с помощью руля направления, при одновременном обнулении углов курса, пути и крена в точке приземления.

**На защиту выдвинуты следующие основные положения:**

1. Многорежимный способ выполнения посадочного маневра с управлением сначала по крену при снижении по глиссаде, а затем – только рулем направления на участке выравнивания при автоматическом переключении режимов на основе формул расчета моментов их переключения.
2. Алгоритмы координации работы каналов бокового и продольного движения для одновременного устранения траекторных и угловых отклонений в точке приземления.



3. Представление единого параметрического критерия качества приземления в виде свертки критериев и определение границ области приемлемых отклонений в моменты начала выравнивания и приземления.

**Научная новизна полученных результатов**, прежде всего, состоит в новом способе маневрирования, во время которого БЛА движется не вдоль заданной линии пути, совпадающей с осью взлетно-посадочной полосы (ВПП), а осуществляет отход от нее в попутную ветру сторону с последующим возвращением. При этом в конце маневра движение БЛА происходит навстречу ветру, что создает принципиальную возможность добиться одновременного обнуления путевого и курсового углов в точке приземления при отсутствии крена. Сформированный для этой цели автомат переключения режимов посадки позволяет в реальном масштабе времени переназначать уставки для регуляторов управления элеронами и рулем направления в алгебраической зависимости от скорости БЛА и силы бокового ветра.

Кроме того, при синтезе алгоритма координации в работе удалось получить не линейную, а квазилинейную структуру регуляторов, позволяющую в зависимости от отставания или опережения одного канала по отношению к другому увеличивать передаточные числа в одном регуляторе при одновременном их уменьшении в другом.

Полученные результаты изложены во введении, шести главах и заключении диссертации, которая по существу состоит из трех частей.

В первой части, включающей **первую, вторую и третью главы**, сформулирована общая постановка задачи, в которой в качестве основных параметров управления приняты следующие угловые и траекторные отклонения в момент приземления, определяющие качество посадки – линейное отклонение от середины ВПП, боковая скорость, отклонения по курсу, углу пути и крену. Чтобы достичь одновременного обнуления этих отклонений в терминальной точке, используется метод динамического программирования для синтеза координированного управления боковым и продольным движением БЛА. Для различных участков многорежимного маневра получены законы управления рулем высоты, рулем направления и элеронами. Определена логика автоматического переключения режимов в зависимости от силы бокового ветра и скорости полета для заданных углов наклона траектории при снижении. Получены формулы вычисления в реальном времени контрольных значений высоты, при достижении которых осуществляется переход на новый режим полета.

Во второй части диссертации в **главе 4** представлены результаты синтеза регуляторов координированного управления боковым и продольным движением, одним из которых является обоснование целесообразности синхронного изменения в разные стороны передаточных чисел регуляторов в двух каналах, с учетом отставания или опережения действий в каждом из них. Минимизируя выбранный интегральный функционал ошибок в точке приземления, в работе удалось с помощью уравнения Беллмана получить в приближенном виде законы квазилинейного управления элеронами и рулем высоты, в которых одновременно присутствуют координаты движения в «своем» и «чужом» каналах. На основе полученного теоретического результата предложена трехканальная система координированного управления посадкой при сильном боковом ветре.

В третьей части диссертации в **главах 5 и 6** приведены результаты моделирования на ЭВМ предложенной системы управления посадкой БЛА при действии ветра для различных условий – рассматривалось только боковое движение при действии

постоянного ветра, затем – пространственное движение, в том числе с дополнительным учетом действия встречного ветра. Показано, что во всех перечисленных случаях возможно совершение точной и безопасной посадки при скорости бокового ветра до 8 м/с, или при величине обеих составляющих бокового и встречного ветра до 6 м/с, в то время как при обычном способе посадки линейные и угловые отклонения в точке приземления возрастают не менее, чем в 5 раз.

Особый интерес представляет промоделированный случай воздействия ветра, имеющего порывы и турбулентную составляющую. В этой же части работы представлена структура идентификатора бокового ветра и также подтверждается эффективность предложенного подхода.

На основании полученных результатов моделирования в работе удалось найти границы области приемлемых отклонений, возникающих как в точке приземления, так и в предшествующий ему момент выравнивания при снижении БЛА. Получены формулы оценки приемлемого качества посадки для этих моментов, и с их помощью определено условие ухода БЛА на второй круг в случае, если это качество ниже заданного порога.

**Практическая ценность** работы состоит в следующем:

- предложенный способ снижения по глиссаде позволяет снизить ошибки в точке приземления и тем самым уменьшить опасные нагрузки на шасси;
- найдены необходимые размеры участков многорежимного управления и определен механизм автоматического переключения режимов в зависимости от скорости бокового ветра;
- определена область приемлемого качества посадки в начале выравнивания, при выходе из которой формируется вынужденная команда ухода на повторный круг, что повышает безопасность посадки в целом.

**Достоверность полученных результатов** подтверждается, прежде всего, компьютерным моделированием процессов посадки с учетом воздействия ветра различного направления. При этом показано, что предложенный подход сохраняет свою эффективность не только при действии постоянного ветра, но и при наличии случайных составляющих у всех проекций ветрового возмущения.

Наряду с отмеченными достоинствами в работе имеются следующие недостатки:

1. Наряду с относительной сложностью многорежимного бокового маневра при его выполнении возможен выход БЛА из поля зрения наземной радиоаппаратуры, выполняющей функции пеленгатора и определяющей линейные отклонения от глиссады и линии пути. В работе взаимодействие наземного и бортового оборудования не проанализировано.
2. Неясно, каковы конкретные аэродинамические характеристики используемой модели движения БЛА, и какое влияние они оказывают на результативность нового способа посадки для БЛА других типов.
3. Желательно было бы оценить последствия ошибок приземления на процесс управления пробегом БЛА после приземления.
4. В тексте диссертации не рассмотрено получение формулы (3.6).
5. Формула для бокового отклонения на стр. 37 дана без пояснений.
6. В формуле (3.2) выбор значения коэффициента  $C$  не объясняется.

Указанные недостатки не снижают ценность полученных результатов, достигнутых за счет принципиально нового подхода к выполнению посадочного

маневра. В целом диссертационная работа является законченным научным исследованием, посвященным решению важной практической задачи автоматического управления посадкой беспилотных летательных аппаратов в сложных погодных условиях.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации, относящемуся к научной специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (информатика, управление и вычислительная техника)». Полученные результаты можно рекомендовать к использованию в ОАО МНПК «Авионика», ОАО «МИЭА», ФГУП «ГосНИИАС», ГосНИИГА, ОАСК «МиГ» и в других организациях, занимающихся проектированием и эксплуатацией бортового и наземного оборудования, предназначенного для обеспечения посадки летательных аппаратов.

По теме диссертации опубликовано 3 статьи в рецензируемых научных изданиях, включенных в Перечень ВАК. В целом считаем, что диссертационная работа удовлетворяет основным требованиям и заслуживает положительной оценки, а ее автор Ивашова Наталия Дмитриевна – присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01.

Отзыв обсужден и утвержден на НТС предприятия «17» февраля 2015г., протокол № 3.

Результаты голосования – за 15, против – нет, воздержалось – нет.

Главный специалист ТН-17  
(инновационные наукоёмкие разработки)  
ОАО МНПК «Авионика»,  
д.т.н., профессор



Качанов Б.О.

Ученый секретарь НТС



Локтионова Г.А.

Качанов Борис Олегович

127055, г. Москва, ул. Образцова, д. 7  
Телефон: 8 (499) 951-09-19 доб. 12-86