Московский государственный технический университет  
имени Н. Э. Баумана

(Национальный исследовательский университет)

На правах рукописи

ЧЖАН СИНЬКЭ

**МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ОЦЕНИВАНИЯ ДЛЯ  
ПОСАДКИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ НА**

**БЕСПИЛОТНУЮ МАШИНУ**

Специальность 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации,

статистика

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель: к. т. н., доцент Селезнева Мария Сергеевна

Москва - 2023 г.

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

Стр.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ 4

[ВВЕДЕНИЕ 5](#bookmark3)

[ГЛАВА 1. БЕСПИЛОТНЫЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ И БЕСПИЛОТНАЯ МАШИНА 12](#bookmark6)

1. Задача совместного функционирования беспилотного летательного

аппарата и беспилотной машины 12

1. Обзор беспилотного летательного аппарата, которые могут

применяться совместно с беспилотной машиной 16

1. Обзор беспилотных машин, которые могут совместно использоваться с

беспилотным летательным аппаратом 36

1. [Постановка задачи 43](#bookmark11)

[Выводы по главе 1 45](#bookmark12)

[ГЛАВА 2. ТЕХНОЛОГИИ РЕАЛИЗАЦИИ ПОСАДКИ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА 46](#bookmark13)

1. Способ реализации процесса сближения беспилотного летательного

аппарата при посадке на движущуюся беспилотную машину 46

1. Посадка беспилотного летательного аппарата по навигационным

определениям 58

1. [Инерциальная навигационная система 63](#bookmark26)
2. [Спутниковая навигационная система 70](#bookmark45)
3. Система сверхширокополосного ориентирования

Выводы по главе 2 80

[ГЛАВА 3. АЛГОРИТМЫ ПОСАДКИ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА 81](#bookmark47)

1. [Разработка алгоритма адаптивного фильтра 81](#bookmark48)
2. Разработка алгоритма фильтрации на основе федеративной структуры . 90
3. [Алгоритм фильтра на основе модуля выбора 94](#bookmark68)
4. Адаптивный навигационный комплекс беспилотного летательного

аппарата с коррекцией от радиомаяков ближнего действия 100

1. Система посадки беспилотного летательного аппарата на подвижное

основание с использованием радиомаяков ближнего действия 107

Выводы по главе 3 114

[ГЛАВА 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ 116](#bookmark79)

1. [Параметры математического моделирования 116](#bookmark80)
2. [Результаты математического моделирования 118](#bookmark81)

Выводы по Главе 4 125

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 127

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

128

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ

1. Разработана система посадки БЛА на подвижное основание с использованием радиомаяков, отличающаяся от известных простотой реализации.
2. Разработана Функциональная схема НК БЛА с коррекцией от радиомаяков ближнего радиуса действия, обеспечивающей помехозащищенность работы БЛА и БМ.
3. Разработан метод коррекции НК на основе адаптивного фильтра Калмана, с фактором забывания и распределенной структурой. По сравнению с аналогом точность алгоритма увеличена в среднем на 5-8%.
4. Разработан алгоритм коррекции НК с интеллектуальной компонентой в составе ИНС/ГНСС/СШП на основе федеративного фильтра Калмана. По сравнению с прототипом точность коррекции повышается в среднем на 9-12%.
5. Разработан алгоритм спуска БЛА на подвижную БМ, основанный на взвешенном методе наименьших квадратов. Отличающийся простотой реализации на борту БЛА.