Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования«Национальный исследовательский университет»  
«Московский институт электронной техники»

На правах рукописи



Хтет Сое Паинг

МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ УГЛОВОЙ СТАБИЛИЗАЦИЕЙ  
БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Специальность: 2.3.1 — «Системный анализ, управление и обработка

информации, статистика»

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель Доктор технических наук, Профессор А. В. Щагин

Москва - 2024 г.

Содержание

[Введение 5](#bookmark0)

Глава 1. Исследование беспилотных летательных аппаратов и различные методы управления для решения соответствующих задач 14

1. [Анализ и изучение технических параметров беспилотных аппаратов .20](#bookmark4)
2. Программные методы управленияБПЛА 21
3. Аппаратные средства для осуществления систем управления 22
4. [Обоснование использования нечётких автопилотов для беспилотных](#bookmark9)

летательных аппаратов 24

1. Выводы по главе 1 28

[Глава 2. Создание моделей для управления дронами 30](#bookmark12)

1. Определение системы координат и независимых переменных 30
2. Исследование кинематики движения 32
3. Исследование кинематики вращательного движения 33
4. Динамика движения двигателя квадрокоптера 34
5. Анализ динамики поступательного движения 37
6. Анализ динамики вращательного движения 38
7. [Уравнения, описывающие движение квадрокоптерадля моделирования и](#bookmark21)

управления этим летательным аппаратом 39

2.8. Выводы по главе 2 40

[Глава 3. Разработка физической модели 42](#bookmark26)

1. Характеристики физической модели 42
2. Момент инерции корпуса квадрокоптера 42
3. Момент инерции пропеллера 43
4. [Моделирование и анализ движения гироскопа](#bookmark31)
5. Симуляция акселерометра 46
6. Параметры двигательной системы 48
7. Расчет динамики двигателя 49
8. Коэффициент мощности 54
9. Наивысшая скорость работы двигателя 54
10. Упрощенные формулы, описывающие движение 61
11. [Программирование структурной схемы, содержащей вложенные](#bookmark41)

циклы 65

1. Управление позицией квадрокоптера 66
2. Изменение местоположения и высоты квадрокоптера 67
3. Регулирование угловой скорости квадрокоптера 68
4. Метод управления двигателем 69
5. Выводы по главе 3 71

[Глава 4. Моделирование системы автоматического управления квадрокоптером на основе интеллектуального управления 72](#bookmark52)

1. Управление на основе нейронных сетей 72
2. Облегченное управление ПИД-контроллером 73
3. [Моделирование системы управления ПИД-контроллером](#bookmark54)

квадрокоптера 75

1. Настройка ПИД-регулятора с применением нечётких методов контроля 86
2. Управление на основе гибридного регулятора 89
3. Выводы по главе 4 96

[ЗАКЛЮЧЕНИЕ](#bookmark60)

СписокЛитературы 99

97

Приложение 1 107

Приложение 2 109

Приложение 3 126

Приложение 4 129

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

**В заключении подводятся выводы по проделанной работе. С учетом поставленных целей и задач диссертации были достигнуты следующие результаты:**

* **Разработана полная математическая модель управления квадрокоптером, которая учитывает важные нелинейные факторы и динамику вращения пропеллеров .**
* **Предложена модель системы управления квадрокоптером с использованием нечеткой логики и ПИД регулятора, направленная на повышение качества в системах автоматического управления, что способствует более точному и стабильному управлению процессом квадрокоптера.**
* **Разработаны новые методы управления плохо формализованными техническими объектами на примере БПЛА на основе аппарата нечёткой логики, что обеспечивает инновации эффективного управления полётом.Повышение эффективности работы беспилотных летательных аппаратов путем нахождения сбалансированного решения в отношении желаемого уровня точности оценки характеристик движения и аэродинамики.**
* **Разработанный в диссертации метод управления может использоваться для создания новых и модернизации существующих систем управления БПЛА различного назначения, динамика которых описывается как линейной, так и нелинейной системой дифференциальных уравнений, при действии случайных или детерминированных возмущений. При этом вычисление управления по предложенным алгоритмам может быть осуществлено в режиме реального времени.**
* Сравнительный анализ регуляторов PID и нечеткого PID с использованием MATLAB/Simulink показывает, что нечеткий PID- регулятор обеспечивает более быстрое время реакции, устойчивость, надежность и минимальное перерегулирование, повышая точность, и долговечность при управленииквадркоптером.