Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
«Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр  
Российской академии наук»

На правах рукописи



Нгуен Ван Винь

**МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ  
БОРТОВОГО МАНИПУЛЯТОРА С СОХРАНЕНИЕМ  
УСТОЙЧИВОСТИ МУЛЬТИРОТОРА В РЕЖИМЕ ЗАВИСАНИЯ**

Специальность 05.13.01 - Системный анализ, управление и обработка  
информации (в технике и технологиях)

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель

доктор технических наук , профессор

Ронжин Андрей Леонидович

Санкт-Петербург - 2020

**Содержание**

[Введение 4](#bookmark0)

[Глава 1. Анализ подходов к управлению воздушными манипуляционными системами 11](#bookmark2)

1. Анализ систем управления манипуляторами беспилотных летательных

[аппаратов 12](#bookmark4)

1. [Анализ существующих беспилотных летательных манипуляторов 16](#bookmark5)
2. Анализ сельскохозяйственных задач, решаемых беспилотными

[летательными аппаратами 25](#bookmark7)

1. [Разработанная классификация воздушных манипуляционных систем 32](#bookmark8)
2. [Выводы по первой главе 42](#bookmark9)

Глава 2. Концептуальная и алгоритмические модели манипулятора беспилотного летательного аппарата 43

1. Концептуальная модель и формальная постановка задачи управления

[манипулятором беспилотного летательного аппарата 43](#bookmark11)

1. Новые задачи, возникающие при исследовании систем управления

воздушными манипуляционными системами 48

1. Алгоритмическая модель проектирования манипулятора беспилотного

[летательного аппарата 53](#bookmark15)

1. Алгоритм расчёта углов сочленений манипулятора с сохранением центра

[масс на вертикальной оси 60](#bookmark17)

1. [Выводы по второй главе 69](#bookmark18)

[Глава 3. Математическое моделирование управления движением манипулятора беспилотного летательного аппарата и его стабилизации 71](#bookmark21)

1. Синтез кинематической и динамической моделей манипулятора

беспилотного летательного аппарата 71

1. Моделирование числа звеньев манипулятора беспилотного летательного

[аппарата 77](#bookmark25)

1. Система управления манипулятором беспилотного летательного аппарата на

основе нечеткого ПИД-регулятора 86

1. Программная система UAVMampulatorModeling для моделирования управления и стабилизации движения манипулятора беспилотного летательного

[аппарата 92](#bookmark31)

1. [Выводы по третьей главе 97](#bookmark29)

Глава 4. Экспериментальные результаты моделирования системы управления

движением манипулятора беспилотного летательного аппарата 99

[4.1. Моделирование управления движением манипулятора при отсутствии внешних возмущений 99](#bookmark32) 4.2. Моделирование управления манипулятором при перемещении рабочего концевого механизма непосредственно из начальной точки в заданную

точку 103

1. Моделирование управления манипулятором при перемещении рабочего

концевого механизма по заданной последовательности точек 105

1. Моделирование управления манипулятором при перемещении рабочего

концевого механизма по заданной траектории 108

1. [Выводы по четвертой главе 121](#bookmark38)

[Заключение 122](#bookmark39)

[Список использованных источников 124](#bookmark40)

Приложение А. Перечень публикаций соискателя по теме исследования

138

**Заключение**

**Совокупность предложенных моделей, алгоритмов, программных средств управления и стабилизации движения манипулятора беспилотного летательного аппарата, а также их практическая реализация представляют собой решение актуальной научно-технической задачи обеспечения устойчивости воздушной манипуляционной системы при физическом взаимодействии с наземным объектом, имеющей важное значение для роботизации транспортной и сельскохозяйственной отрасли, в том числе были получены следующие научные результаты:**

1. **Концептуальная и теоретико-множественная модели воздушной манипуляционной системы, отличающиеся описанием взаимосвязанных сущностей: беспилотный летательный аппарат, манипулятор, наземный объект и факторы окружающей среды, обеспечивающие формулировку задачи разработки модельно-алгоритмического обеспечения управления движением манипулятора беспилотного летального аппарата при физическом взаимодействии с наземным объектом в окружающей среде с различными возмущениями и препятствиями, влияющими на геометрическую проходимость.**
2. **Алгоритм определения допустимой конфигурации манипулятора для беспилотного летательного аппарата, отличающийся анализом типовых траекторий движения концевого рабочего механизма и расчетом наборов диапазонов углов между звеньями манипулятора, обеспечивающих их движение по заданным траекториям с сохранением центра масс манипулятора на вертикальной оси воздушной манипуляционной системы.**
3. **Алгоритм вычисления координат ключевых точек всех звеньев манипулятора в зависимости от углов их сочленений на основе решения задач прямой и обратной кинематики, отличающийся ограничением смещения центров масс манипулятора, его звеньев и концевого рабочего механизма по горизонтальной и вертикальной осям и обеспечивающий при движении концевого механизма по расчетной траектории минимальное смещение центра масс манипулятора по горизонтали.**
4. **Система управления движением и стабилизацией манипулятора беспилотного летательного аппарата, отличающаяся применением нечеткого ПИД- регулятора в сочетании с входными расчетными данными на основе полиномиальных траекторных уравнений, обеспечивающая допустимую точность позиционирования концевого механизма на заданной траектории.**
5. **Структура программной системы UAVMampulatorModelmg,**

**отличающаяся применением модулей расчета полиномиальных уравнений траекторий звеньев манипулятора, параметров нечеткого ПИД-регулятора, обеспечивающих моделирование и визуализацию влияния возмущающих воздействий на возникновение вибрации манипулятора и способность воздушной манипуляционной системы сохранять стабильное состояние за счет минимизации смещения центра масс манипулятора по горизонтали.**

**Дальнейшее исследование будет ориентировано на реализацию разработанных моделей, алгоритмов и программных средств при проектировании воздушных манипуляционных систем, в том числе в сельскохозяйственном производстве и при решении логистических задач транспортировки наземных объектов в сложно доступные местности.**

**Полученные результаты соответствуют п. 2 «Формализация и постановка задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации», п.5 «Разработка специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации», п.12 «Визуализация, трансформация и анализ информации на основе компьютерных методов обработки информации» паспорта специальности 05.13.01 - Системный анализ, управление и обработка информации (в технике и технологиях).**