

рений. Коэффициенты управления и системы оценивания определены решением соответствующих линейно-квадратичных задач [5]. Получены графики переходных процессов в замкнутой найденным управлением полной нелинейной системе.

### **Библиографические ссылки**

1. *Малкин И.Г.* Теория устойчивости движения. М.: Наука, 1966.
2. *Красинский А.Я.* Модуль по автоматизации исследования устойчивости нелинейных систем. Главное государственное патентное агентство республики Узбекистан. Решение о государственной регистрации компьютерной программы DGU 20050097.
3. *Красинский А.Я., Иофе В.В., Каюмова Д.Р., Халиков А.А.* Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ №2011615362. Российская Федерация. Программное составление уравнений движения и исследование стабилизации механических движений.
4. *Румянцев В.В.* К динамике твердого тела, подвешенного на струне // Изв. АН СССР. МТТ. 1983. №4. С. 5-15.
5. *Красовский Н.Н.* Проблемы стабилизации управляемых движений // Малкин И.Г. Теория устойчивости движения. М.: Наука, 1966. С. 475–514.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ДЕЛЬТА-РОБОТА ПРИ НЕПОЛНОЙ ИНФОРМАЦИИ О СОСТОЯНИИ**

**А.Я. Красинский<sup>1,2</sup> А.С. Рукавишников<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Московский государственный университет пищевых производств МГУПП,  
Волоколамское шоссе 11, 125080 Москва, Россия

<sup>2</sup> МАИ, Волоколамское шоссе 4, 125993 Москва, Россия  
krasinsk@mail.ru

<sup>3</sup> ООО «САУНО», Москва, Россия  
nasty.ruka@mail.ru.com

Для автоматизации тяжелых, вредных, утомительных и монотонных работ в различных отраслях промышленности широко используются роботы-манипуляторы с различными типами исполнительных приводов. Современный уровень развития электроники и программного обеспечения создают возможности использования для формирования алгоритмов управления последних достижений математической теории управления при неполной информации. Наиболее развитыми системами обработки информации в контуре управления обладают манипуляторы, в которых применяются электроприводы. В таких исполнительных приводах достаточно просто может быть реализован алгоритм формирования управления практически любой сложности. Но

массогабаритные характеристики электропривода делают невыгодным его применение в подвижных звеньях манипуляторов.

Конструкция дельта-робота – параллельного манипулятора, изобретенного в начале 1980-х годов Reymond Clavel [1, 2], позволила не только использовать преимущества электропривода, но одновременно освободила от его основного недостатка, поскольку в этом манипуляторе исполнительные приводы неподвижны. Дельта-робот состоит из трех рычагов, прикрепленных посредством шарниров к основанию. Ключевой особенностью является использование параллелограммов в конструкции манипулятора, что позволяет сохранять пространственную ориентацию исполнительного устройства робота. Такая конструкция обеспечила достаточно хорошую точность при приемлемых скорости и грузоподъемности и обширной рабочей зоне.

Целью данной работы является создание математической модели дельта-робота для решения задачи позиционирования центра нижнего основания как задачи стабилизации заданного положения рабочего органа, закрепленного в этой точке.

При построении математической модели массами рычагов и шаровых шарниров пренебрегаем, так как они малы по сравнению с массой рабочего органа, которая включает в себя массу подвижного основания. Шарнирный параллелограмм заменяем одной шарнирной тягой, верхнее и нижнее основания считаем плоскими равносторонними треугольниками с центрами в точках пересечения медиан. Рычаги и шарнирные тяги прикреплены к центрам сторон верхнего и нижнего основания соответственно.

Координаты центра нижнего основания однозначно определяются через углы поворотов приводов, которые принимаются за обобщенные координаты. Для выражения координат центра подвижного основания через углы поворотов приводов, решается прямая задача кинематики. Составляется математическая модель в виде уравнений Лагранжа II рода и трех уравнений второго закона Кирхгофа [3], описывающих динамику трех исполнительных двигателей – коллекторных двигателей постоянного тока с независимым возбуждением. Далее методом Н.Н. Красовского [4] находится управляющее воздействие для привода – дополнительное напряжение на якорной обмотке каждого двигателя.

Необходимые расчеты проведены в системе MATLAB и получены графики переходных процессов по возмущениям координат центра подвижного основания.

## Библиографические ссылки

1. *Clavel R.* Conception d'un robot parallele rapide 'a 4degres de liberte. Ph.D. Thesis, EPFL, Lausanne, 1991. n 925.
2. *Подзоров П. В.* Синтез механизмов параллельной кинематики на основе структурного анализа. М.: Материалы XII конф. молодых ученых, аспирантов и студентов., 2000. 17 с.
3. *Зенкевич С.Л., Ющенко А.С.* Основы управления манипуляционными роботами. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 480
4. *Красовский Н.Н.* Проблемы стабилизации управляемых движений // Малкин И.Г. Теория устойчивости движения. М.: Наука, 1966. С. 475-515.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ УПРАВЛЯЕМАЯ МОДЕЛЬ ПОЛЕТА ДРОНА-КВАДРОКОПТЕРА ДО ЦЕЛИ И ОБРАТНО

А.Н. Красовский, О.А. Суслова

Уральский федеральный университет имени первого Президента России  
Б.Н.Ельцина, ул. Мира 19, 620002 Екатеринбург, Россия  
ankrasovskii@gmail.com, o.a.suslova@urfu.ru

**Введение.** Рассматривается, разработанная авторами [2], математическая управляемая модель полета беспилотного летательного аппарата-квадрокоптера с ограниченным запасом энергии на выработку управляющих воздействий, базирующаяся на идеях из работы [5]. В качестве управляющих воздействий выбираются подъемные силы винтов аппарата. Для составления математической модели используются обыкновенные дифференциальные уравнения в форме Ньютона-Эйлера. Конструируется программное управление [1] на заданном фиксированном отрезке времени, обеспечивающее полет квадрокоптера из так называемого “гнезда” [2] до заданной цели, зависания его над целью для видеосъемки и возвращения квадрокоптера в “гнездо”. При этом отрезок времени процесса управления определяется ресурсами аккумулятора, включенного в конструкцию квадрокоптера. Устанавливается, что так построенное управление является оптимальным по критерию качества затрат энергии [1, 4]. Приводятся результаты численной симуляции процесса на ПК.

**Основные результаты.** Предложено новая математическая модель движения дрона-квадрокоптера на базе дифференциальных уравнений Ньютона-Эйлера. Движение описывается обыкновенным дифференциальным уравнением шестого порядка [2]. Фазовый вектор объ-