СТАБИЛИЗАЦИЯ КВАДРОКОПТЕРА ПРИ НАЛИЧИИ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ВОЗМУЩЕНИЙ

Хмыров Алексей Константинович

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: s02240581@gse.cs.msu.ru

Научный руководитель — Атамась Евгений Иванович

Стабилизация нелинейной динамической системы направлена на изучение свойств элементов системы и их взаимодействия, а также разработку алгоритма управления, обеспечивающего прогнозируемое или желаемое поведение объекта управления и его контролируемый переход на нужный динамический режим.

В рамках данной работы разработаны математическая модель квадрокоптера, прошедшая тестирования в различных режимах полёта, и система управления, обеспечивающая автономный полет по подготовленной траектории и доставку груза в заданные координаты.

$$\begin{cases} \ddot{x} = \frac{P}{m} (\sin(\varphi) \sin(\psi) - \cos(\varphi) \sin(\theta) \cos(\psi)) \\ \ddot{y} = \frac{P}{m} \cos(\varphi) \cos(\theta) - g \\ \ddot{z} = \frac{P}{m} (\sin(\varphi) \cos(\psi) + \cos(\varphi) \sin(\theta) \sin(\psi)) \\ \ddot{\varphi} = \frac{M_x}{J_x} - \frac{J_z - J_y}{J_x} \dot{\psi} \dot{\theta} \\ \ddot{\psi} = \frac{M_y}{J_y} - \frac{J_x - J_z}{J_y} \dot{\varphi} \dot{\theta} \\ \ddot{\theta} = \frac{M_z}{J_z} - \frac{J_y - J_x}{J_z} \dot{\varphi} \dot{\psi} \end{cases}$$

Сложность нелинейных систем связана с зависимостью выходной величины от нелинейных функций, что обуславливает сложное поведение системы. Для анализа и синтеза таких систем используются разные методы, включая линеаризацию. Она важна при разработке систем управления, так как упрощает анализ и проектирование контура управления. Локальная линеаризация позволяет оценить устойчивость модели, что помогает определить границы применимости алгоритмов управления.

В качестве метода стабилизации ориентации системы был выбран алгоритм синтеза линейного регулятора с квадратичным функционалом качества. Задача синтеза заключается в нахождении оптимального управления для линейной динамической системы, которое минимизирует заданный квадратичный функционал затрат:

$$J(u) = \int_0^\infty (\Delta x(t)^T Q \Delta x(t) + \Delta u(t)^T R \Delta u(t)) dt$$

Матрица коэффициентов обратной связи (регулятора) находится из соотношения: $K = R^{-1} B^T S$, где S является решением нелинейного матричного уравнения Риккати:

$$A^T S + SA - SBR^{-1}B^T S + Q = 0$$

Ограничения связаны с воздействием внешних факторов на летательный аппарат. Существенную роль играют исполнительные механизмы, представленные бесколлекторными двигателями постоянного тока.

$$\begin{cases} \dot{\omega} = \frac{1}{J_r} K_t I - b_m \omega \\ \dot{I} = \frac{1}{L} (\omega_{cmd} - \omega) - R_m I - K_{emf} \omega \end{cases}$$

Для согласования математических моделей объекта управления и исполнительных механизмов проводились испытания системы в разных режимах полёта. Исследование устойчивости системы выявило определённые ограничения на управляющие воздействия, вследствие чего был выбран подход разделения контура управления на отдельные части для стабилизации системы в определённых режимах полёта.

Наличие параметрических возмущений значительно усложняет работу системы управления, когда модель становится более сложной и реалистичной. Применение линейного регулятора с квадратичным функционалом качества обеспечивает достаточную стабилизацию системы при использовании квадрокоптера для доставки грузов в заданные координаты.

Литература

1. Ким Д. П. Теория автоматического управления. Т.1. Линейные системы. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003.
2. Лебедев А. А., Чернобровкин Л. С. Динамика полета беспилотных летательных аппаратов. М.: Машиностроение, 1973г.
3. Лемешонок Т. Ю., Сизова А. А., Баранов Н. Е., Санников В. А. Математические модели динамики движения летательных аппаратов. 2020г.