

ПРИНЦИПЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ МУЛЬТИРОТОРНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Гу Пэнхао, ассистент

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. В докладе рассматриваются особенности построения математических моделей движения мультироторных летательных аппаратов. Проводится анализ сил и моментов, действующих на конструкцию квадрокоптера, а также приводятся основные уравнения кинематики и динамики пространственного движения. Представлена обобщенная схема управления и исследованы особенности траекторного движения при форсированном управлении.

Ключевые слова: квадрокоптер, математическая модель, управление, динамика, траектория, силы, моменты.

Мультироторные летательные аппараты, в частности квадрокоптеры, занимают одну из ключевых позиций в современных задачах автоматизации, мониторинга и робототехники. Их компактность, маневренность и способность к зависанию делают такие летательные аппараты незаменимыми во многих областях применения. Однако высокая динамичность поведения и сложность аэродинамического взаимодействия элементов конструкции требуют построения точных математических моделей [1].

Математическое моделирование является основным инструментом для анализа и синтеза систем управления. В отличие от самолетных и одновинтовых вертолетных схем, мультироторные летательные аппараты управляются исключительно за счет изменения величин тяги нескольких двигателей. Это создает как преимущества, так и дополнительные сложности, связанные с необходимостью точного расчета распределения сил и моментов [1; 2; 3].

На рис. 1 представлена типовая конструктивная схема квадрокоптера.

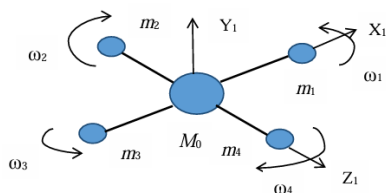


Рисунок 1 – Типовая конструктивная схема квадрокоптера

Для описания положения и ориентации летательных аппаратов вводится несколько систем координат: стартовая, связанная, аэродинамическая и траекторная. Переход между ними осуществляется матрицами направляющих косинусов, которые могут вычисляться различными методами – тригонометрическим, матричным или кватернионным. Использование кватернионов позволяет избежать сингулярностей, присущих углам Эйлера, что особенно важно при моделировании активных маневров.

На летательные аппараты действуют три основные группы сил: гравитационная сила, аэродинамическая составляющая и сила тяги двигателей. Для квадрокоптера равнодействующая тяга формируется суммой сил, создаваемых всеми винтами. Управление ориентацией осуществляется за счет дифференциального изменения скоростей вращения винтов, что приводит к созданию соответствующих моментов относительно продольных и поперечных осей.

Движение квадрокоптера как твердого тела определяется системой уравнений поступательного и вращательного движения. Уравнение поступательного движения описывается вектором ускорения, который формируется суммарным воздействием всех внешних сил. Вращательное движение определяется моментами инерции летательного аппарата и изменением угловых скоростей. Для упрощения анализа модель часто представляется в виде совокупности независимых осей вращения.

Для реализации требуемой траектории используется закон форсированного управления, позволяющий обеспечивать движение с ограничениями по ускорению и скорости. Такой подход применяется при навигации между точками пространства, включая движение по прямолинейной траектории в вертикальной плоскости. При известных параметрах тяги, массы и допускаемых ускорений можно определить

моменты переключения управляющих режимов, обеспечивающих минимальное время движения.

Обобщенная структурная схема управления включает блоки формирования заданной траектории, вычисления необходимого ускорения, преобразования управляющих воздействий в изменения скоростей вращения двигателей и исполнительные элементы. Точность математической модели напрямую влияет на качество управления, поэтому большое значение имеет корректное представление параметров летательного аппарата и учет возмущений.

Проведенные исследования показывают, что модель мультироторного летательного аппарата позволяет описывать его движение с достаточной степенью точности для задач навигации и управления. Однако для повышения точности необходимо учитывать аэродинамическое сопротивление, задержки в системе управления, нелинейности характеристик двигателей и влияние внешних факторов.

Список использованных источников

1. Гу, Пэнхао. Математическое моделирование движения летательных аппаратов мультироторного типа / Гу Пэнхао, А. А. Лобатый // Системный анализ и прикладная информатика. – 2023. – № 1. – С. 10–15.

2. Лобатый, А. А. Аналитический синтез управляющего ускорения беспилотного летательного аппарата / А. А. Лобатый, А. Ю. Бумай, С. С. Прохорович // Наука и техника. – 2021. – Т. 20, № 4. – С. 338–344. – DOI: 10.21122/2227-10312021-20-4-338-344.

3. Бумай, А. Ю. Поэтапный аналитический синтез математической модели автопилота беспилотного летательного аппарата / А. Ю. Бумай, А. А. Лобатый, С. С. Прохорович // Системный анализ и прикладная информатика. – 2021. – № 1. – С. 21–28.