

монтажного отверстия. Выполним геометрическое построение в эскизной среде Autodesk Inventor 2023 (рисунок 2). Минимальная необходимая площадь ответной поверхности составила (42,5 x 42,5) мм.

Таким образом, установлено, что минимальная необходимая площадь для установки бортовой электроники требует учета монтажных характеристик платы для обеспечения надежности конструкции.

Дальнейшим развитием работы является экспорт эскиза и проработка окончательного варианта конструкции.

Список использованных источников

1. Черняев А. А. Проектирование авиационных конструкций по технологии точного попадания // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2016. №12. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/proektirovanie-aviatsionnyh-konstruktsiy-po-tehnologii-tochnogo-poradaniya> (дата обращения: 08.02.2026).

2. Главная // NumPy — python библиотека Русскоязычный сайт: справочные материалы и документация URL: <https://numpy.ru/> (дата обращения: 08.02.2026).

3. Полётный контроллер MATEKSYS H743-SLIM V3 // MYDRONE URL: <https://mydrone.ru/poletnyy-kontroller-mateksys-h743-slim-v3/> (дата обращения: 08.02.2026).

Шмаков Даниил Андреевич, асп. гр. А1_01.03.02, daniilshmakov16@gmail.com
Зеленский Владимир Анатольевич, д.т.н., доцент, зав. каф. РЭС, zelenskiy.va@ssau.ru

УДК 681.518.2

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ КВАДРОКОПТЕРА

В.С. Кириллов, В.А. Зеленский

«Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва», г. Самара

Ключевые слова: математическая модель, беспилотное воздушное судно, квадрокоптер, метод Ньютона-Эйлера.

Целью работы является разработка математической модели движения беспилотного воздушного судна (БВС) для дальнейшего синтеза PID-регулятора, позволяющего стабилизировать угловые положения, а также выявления зависимости PID-коэффициентов от физических параметров БВС.

Основными свойствами математических моделей являются адекватность, простота и универсальность, указывающие на степень соответствия модели изучаемому объекту [1]. В данной работе рассматривается БВС типа «квадрокоптер», однако, полученную математическую модель возможно масштабировать и для других типов БВС, таких как гексакоптер и октокоптер, имеющих такие же принципы создания подъемной силы и стабилизации углового положения.

Наиболее предпочтительным методом для описания движения робототехнических систем является метод Ньютона-Эйлера, имеющий

следующие особенности:

- оперирует понятиями баланса сил и моментов в системе [2];
- модель выписывается в рекурсивной форме, наиболее подходящей для численной реализации [2];
- наиболее подходит для задач синтеза алгоритмов управления и их реализации в программном обеспечении систем управления [2].

Квадрокоптер имеет 6 степеней свободы, его трехмерная схема представлена на рисунке 1, где F_i – компонент вектора подъемной силы i -й винтомоторной группы, ω_i – скорость вращения i -й винтомоторной группы. Также введем следующие обозначения: J_1, J_2, J_3 – моменты инерции, m – масса квадрокоптера. Все винтомоторные группы вращаются в одной плоскости, оси вращения перпендикулярны плоскости x_{b0}, y_{b0} и пересекают ее в точках $(l, -l, 0)$, $(l, l, 0)$, $(-l, l, 0)$, $(-l, -l, 0)$.

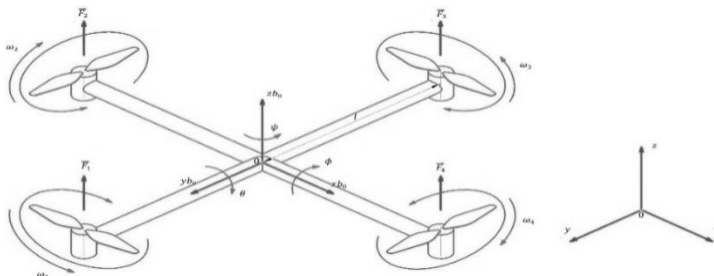


Рисунок 1 – Схема движения квадрокоптера

Согласно рисунку 1, динамическую модель движения квадрокоптера можно представить в виде следующей системы уравнений:

$$\begin{aligned}\ddot{x}m &= (\sum F_i)(\cos \varphi \sin \theta \cos \psi + \sin \varphi \sin \psi), \\ \ddot{y}m &= (\sum F_i)(\sin \varphi \sin \theta \cos \psi + \cos \varphi \sin \psi), \\ \ddot{z}m &= (\sum F_i)(\cos \theta \cos \psi) - mg, \\ \ddot{\theta}J_1 &= l(-F_1 - F_2 + F_3 + F_4), \\ \ddot{\psi}J_2 &= l(-F_1 + F_2 + F_3 - F_4), \\ \ddot{\varphi}J_3 &= C(F_1 - F_2 + F_3 - F_4),\end{aligned}$$

При этом угловые ускорения $\ddot{\theta}, \ddot{\psi}, \ddot{\varphi}$ зависят от скорости вращения винтомоторных групп и задаются управляющими воздействиями, кроме того, силы тяги винтомоторных групп также задаются управляющими воздействиями. Данные параметры изменяются в зависимости от характеристик используемых электродвигателей и воздушных винтов.

Описанная модель позволяет синтезировать PID-регулятор, удерживающий угловые положения БВС в пространстве и служит для реализации механизма управления квадрокоптером.

Список использованных источников

1. Звонарев С.В. Основы математического моделирования: учебное пособие

[Текст] / С.В. Звонарев. – Екатеринбург: Изд-во Урал. Ун-та, 2019. – 112 с.

2. Колюбин С.А. Динамика робототехнических систем. Учебное пособие [Текст] / С.А. Колюбин. – СПб.: Университет ИТМО, 2017. – 117 с.

Зеленский Владимир Анатольевич, д.т.н., доцент, профессор каф. РЭС, zelenskiy.va@ssau.ru
Кириллов Владимир Сергеевич, ассистент каф. РЭС, kirillov.vs.1@ssau.ru

УДК 621.3

МОДЕЛЬ РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕДАЧИ ДЛЯ ДАТЧИКА МИКРОМЕТЕОРОИДОВ НА ОСНОВЕ МИКРОПОЛОСКОВОЙ ЛИНИИ

А.М. Телегин

«Самарский национальный исследовательский университет имени
академика С.П. Королёва», г. Самара

Ключевые слова: микрометеороид, датчик, космический мусор, коэффициент передачи.

В литературных источниках описаны различные конструкции датчиков высокоскоростных микрочастиц на основе металлических пленок [1-4]. Принцип действия этих датчиков основан на измерении сопротивления линии передач, контроле обрыва металлического полоска, измерения коэффициента передачи и использовании рефлектометрического подхода. В данной работе рассмотрена модель расчета коэффициента передачи микрополосковой линии при ее частичном разрушении высокоскоростной микрочастицей (рисунок 1).

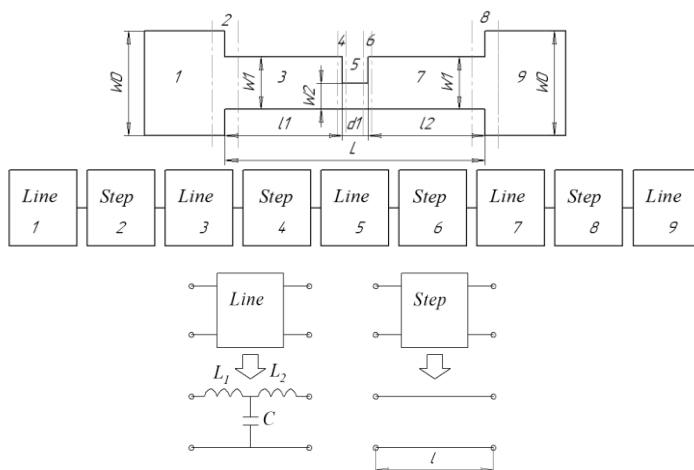


Рисунок 1 – Модель частичного разрушения микрополосковой линии передач