

Литература

1. Леоненко, Д. В. Свободные колебания круговых трёхслойных пластин на упругом основании / Д. В. Леоненко // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества. – 2008. – Т. 5, № 3. – С. 42–47.
2. Starovoitov, E. I. Vibrations of round three-layer plates under the action of distributed local loads / E. I. Starovoitov, D. V. Leonenko, A. V. Yarovaya // Strength of Materials. – 2002. – Т. 34, № 5. – С. 474–481.
3. Старовойтов, Э. И. Основы теории упругости, пластичности и вязкоупругости : учеб. для студентов строительных спец. вузов / Э. И. Старовойтов. – Гомель : БелГУТ, 2001. – 344 с.
4. Новацкий, В. Теория упругости / В. Новацкий. – Москва : Мир, 1975. – 872 с.

А. О. Николаев
(БГУ, Минск)

Науч. рук. **С. Н. Семенович**, канд. техн. наук

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАХОВИЧНОЙ СИСТЕМЫ ОРИЕНТАЦИИ НАНОСПУТНИКА

Введение. Для выполнения орбитальных задач наноспутнику необходимо обладать системой ориентации и стабилизации (СОС) с заданными характеристиками по точности удержания угла ориентации и скорости стабилизации. В работе представлена математическая модель и результаты исследования натурной модели – электронного макета активной СОС на основе 4-х маховиков для наноспутника в форм-факторе CubeSat.

Описание алгоритма. Исследуемый алгоритм одноосной ориентации и стабилизации представляет из себя PD-регулятор, описываемый следующим уравнением:

$$M = -k_w * \Delta\omega - k_\varphi * \Delta\varphi \quad (1)$$

где M – управляющий момент создаваемый маховиками, $\Delta\omega$ и $\Delta\varphi$ – разность между заданными скоростью и углом ориентации и текущими их значениями, k_w, k_φ – коэффициенты пропорциональности.

В работе [1] приведен анализ динамики подобной линейной системы и показано, что коэффициенты связаны уравнениями:

$$k_w = 2J_s v \xi \quad (2)$$

$$k_\varphi = v^2 J_s \quad (3)$$

где J_s – момент инерции, v – собственная частота системы (находится экспериментально); ξ – безразмерный коэффициент демпфирования. Аналитическое значение $\xi = 2\sqrt{2}$ обеспечивает минимальную длительность переходных процессов.

Динамика и кинематика вращения. Одноосное вращение наноспутника на струнном подвесе можно описать уравнением:

$$M = d(J_s w)/dt \quad (4)$$

где M – действующий на спутник момент сил, J_s – момент инерции относительно заданной оси, w – угловая скорость.

Структура системы ориентации. В данной работе моделируется четырех-маховичная СОС, оси вращения маховиков расположены согласно с ребрами правильной четырехугольной пирамиды, углы наклона боковых ребер 55° (рисунок 1). Структуру СОС можно описать через матрицу расположения:

$$A = [a_1 \ a_2 \ a_3 \ a_4] \quad (5)$$

$$M = A * [M_1 \ M_2 \ M_3 \ M_4]^T \quad (6)$$

где a_i – единичный вектор оси i -го маховика, M_i – момент i -го маховика, M – полный вектор механического момента СОС.

В работе моделируется момент вдоль оси вращения. В силу наличия четырех маховиков, момент может быть создан различными комбинациями вращений, ограничимся режимом с одинаковой скоростью и направлением вращения. Этот режим обеспечит суммирование моментов вдоль оси Z и взаимное гашение момента вдоль других направлений. В модели учитывается ограничение по максимальной скорости вращения маховиков (7000 об/мин).

В качестве обратной связи алгоритма по скорости и направлению в электронном макете использовались микромеханические датчики – гироскоп и магнитометр, которым свойственна погрешность измере-

ний. В работе была проведена оценка распределения измерительных данных для покоящихся магнитометра и гироскопа ($\pm 3\sigma = 8^\circ/\text{с}$ и $\pm 3\sigma = 0,25^\circ/\text{с}$) и погрешность удержание частоты вращения маховиков ($\pm 3\sigma = 220$ об/мин), которая может приводить к колебаниям механического момента. Эти факторы учитываются в модели с помощью случайных функций с равномерным распределением.

Результаты моделирования. Моделирование выполнялось в среде MatLab. На рисунке 2 представлены режимы работы алгоритма с использованием модели и макета СОС на струнном подвесе, с идентичными коэффициентами и моментами инерции.

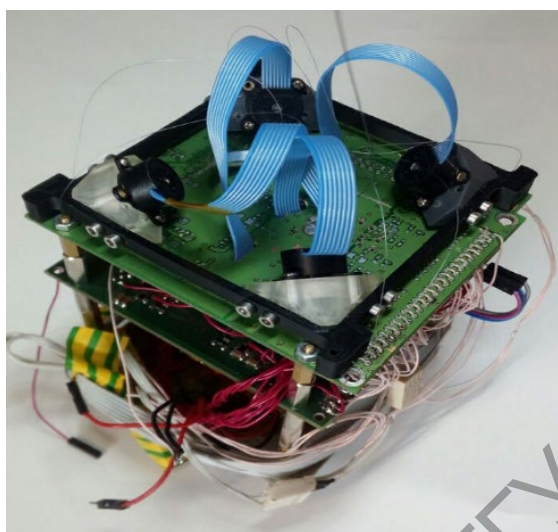


Рисунок 1 – Макет СОС

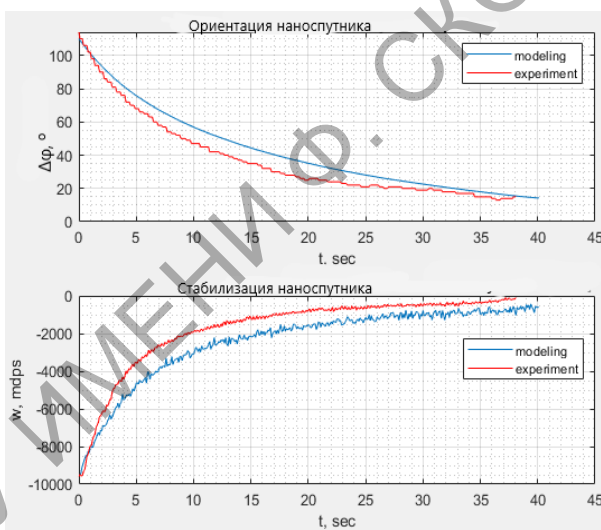


Рисунок 2 – Режимы алгоритма

Коэффициенты выбираются по формулам (2) и (3) с вариацией ν . Для макета спутника с экспериментально определенным собственным моментом инерции $J_s = 6,59 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ и моментом инерции одного маховика $J_w = 1,94 \cdot 10^{-7} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ был выбран коэффициент $\nu = 0,2$. Полученные коэффициенты позволяют выполнить задачу ориентации и стабилизации макета примерно за 40 секунд (рисунок 3). Итоговая погрешность наведения $\pm 0,5^\circ$ при уровне стабилизации $\pm 0,4^\circ/\text{сек}$.

Заключение. Моделирование стабилизации и ориентации наноспутника существенно упрощает выбор коэффициентов для созданного PD-регулятора, наглядно и быстро демонстрирует работу системы с заданными параметрами, а также позволяет оценить качество выполнения поставленной задачи. Натурный эксперимент подтвердил работоспособность созданной модели алгоритма.

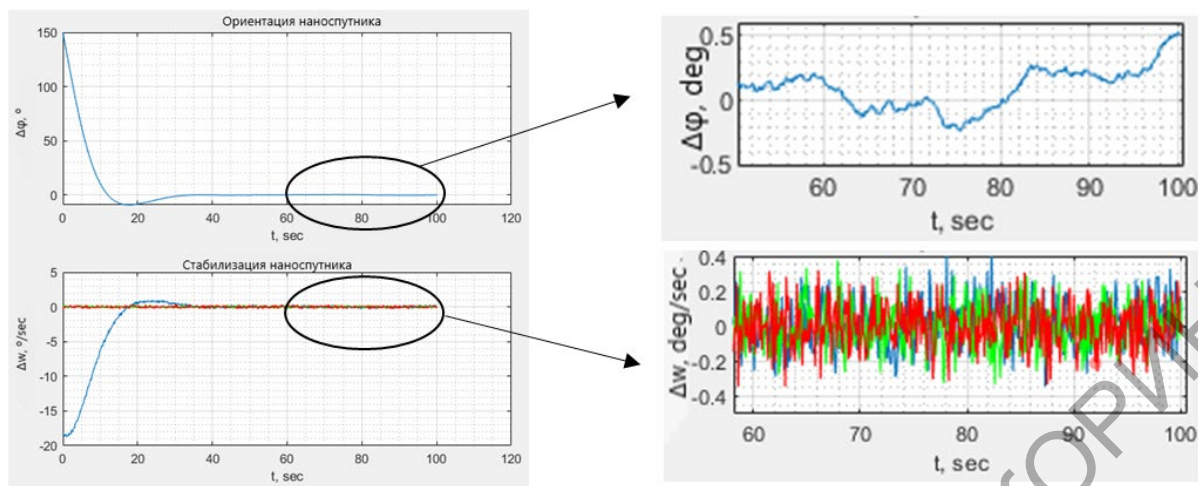


Рисунок 3 – Графики моделирования поворота и стабилизации макета

Литература

1. Васильев В. Н. Системы ориентации космических аппаратов / В. Н. Васильев. – М.: ФГУП «НПП ВНИИЭМ», 2009. – 310 с.
2. Spacecraft Dynamics and Control: The Embedded Model Control Approach/ Enrico Canuto, Carlo Novara, Donato Carlucci, Carlos Perez Montenegro, Luca Massotti. – 1st ed. – Butterworth-Heinemann, 2018. – 790 p.

А. Ю. Никонович

(ГГУ имени Ф. Скорины, Гомель)

Науч. рук. **О. М. Дерюжкова**, канд. физ.-мат. наук, доцент

ЭКРАНИРОВАНИЕ СИМВОЛОВ В JAVA

Строка – это последовательность символов. Эти символы могут быть любыми буквами, цифрами, знаками препинания и так далее. Главное при создании строки – вся последовательность должна быть заключена в кавычки.

Но что делать, если нужно создать строку, которая сама должна содержать кавычки? Например:

```
public class main {
    public static void main(String[] args) {
        String myFavoriteBook = new String ("My favorite book is "Fire and
        blood " by George R.R. Martin");
```