

# Управление комбинированным сферороботом с обратной связью

## 1 Введение

На сегодняшний день существует большое количество работ, посвященных сферическим роботам. Подробные обзоры конструкций и принципов приведения в движение можно найти в работах [1]. Наиболее популярными способами реализации движения сферических роботов являются изменение положения центра масс и изменение внутреннего гиросtatического момента.

Теоретические исследования динамики сфероробота комбинированного типа, использующего для движения как смещение центра масс, так и изменение гиросtatического момента, катящегося без проскальзывания по горизонтальной плоскости, проведены в работе [3]. В работе [2] были проведены экспериментальные исследования, была доказана возможность управления сферическим роботом комбинированного типа. При проведении экспериментов было отмечено, что введение в систему управления обратных связей позволит повысить эффективность управления и устойчивость движения. Теоретическое исследование модели управления сфероробота комбинированного типа с обратной связью, рассмотрена в работе [], также было проведено компьютерное моделирование движения, которое показало эффективность предложенной модели. В предлагаемом подходе обратная связь зависит от фазовых переменных (текущего положения, скоростей) и не зависит от конкретного вида траектории. В данной работе мы проведем экспериментальные исследования, на основе теоретических данных введем в систему управления обратные связи и покажем как это влияет на движение сфероробота.

## 2 Экспериментальное исследование движения сфероробота с обратными связями

Рассмотрим уравнения определяющие обратную связь в виде управляющих моментов  $K_\vartheta$  и  $K_\varphi$

$$K_\vartheta = \tilde{k}_\vartheta(\dot{\vartheta} + \frac{v^*}{R_s}), \quad K_\varphi = \tilde{k}_\varphi(\Omega, e_2 + e_3). \quad (1)$$

где  $\tilde{k}_\vartheta, \tilde{k}_\varphi$  – постоянные коэффициенты,  $\vartheta$  – угол поворота маятника вокруг оси  $e_1$  в подвижной системе координат,  $R_s$  – радиус сферической оболочки,  $v^*$  – заданное значение линейной скорости качения сфероробота после стабилизации движения,  $\Omega$  – угловая скорость вращения оболочки.

Данные уравнения предполагают линейную зависимость необходимых моментов от отклонения фазовых переменных. В действительности же мы ограничены максимальным моментом двигателя, приводящего в движения тот или иной компонент сфероробота. Поэтому перепишем уравнения (1) в следующем виде

$$K_\vartheta = \frac{2K_{max}}{\pi} \arctg((\dot{\vartheta} + \frac{v^*}{R_s})\zeta_\vartheta), \quad K_\varphi = \frac{2K_{max}}{\pi} \arctg((\Omega, e_2 + e_3)\zeta_\varphi). \quad (2)$$

где  $\zeta_\vartheta, \zeta_\varphi$  – коэффициенты наклона графика,  $K_{max}$  – максимальный момент, обеспечиваемый двигателем.

### 2.1 Движение по прямой

Рассмотрим движение сфероробота по прямолинейной траектории с небольшим препятствием, преодолевая которое, сфероробот начинает раскачиваться. Препятствие представляет собой ступеньку высотой в 5 мм и длиной 600 мм. В данных экспериментах рассмотрено только уравнение момента  $K_\vartheta$ , так как раскачивание сфероробота происходит по ходу движения. Проведены 3 эксперимента для движения с обратной связью и 3 эксперимента для движения без обратной связи. Радиус сферы  $R_s = 0.15$  м. В первой серии экспериментов задавались следующие параметры:  $\zeta_\vartheta = 1, \zeta_\varphi = 0, v^* = 0.3$  м/с. Во второй серии экспериментов:  $\zeta_\vartheta = 0, \zeta_\varphi = 0, v^* = 0.3$  м/с.

Анализ экспериментов проводился по проекции вектора  $\gamma$  на ось  $Z$  в неподвижной системе координат. Графики, отображающие проекции вектора  $\gamma$  на ось  $Z$  в неподвижной системе координат для трех экспериментов движения сфероробота с обратной связью показаны на рисунке 1. Аналогичные графики для экспериментов без обратной связи – на рисунке 2.

Среднее отклонение проекции вектора  $\gamma$  от 1 для трех экспериментов с обратной связью составило  $\langle \sigma \rangle_{av} = 0.039$ , а для экспериментов без обратной связи  $\langle \sigma \rangle_{av} = 0.078$ . Это показывает, что движение с обратной связью более устойчивое, чем без нее.

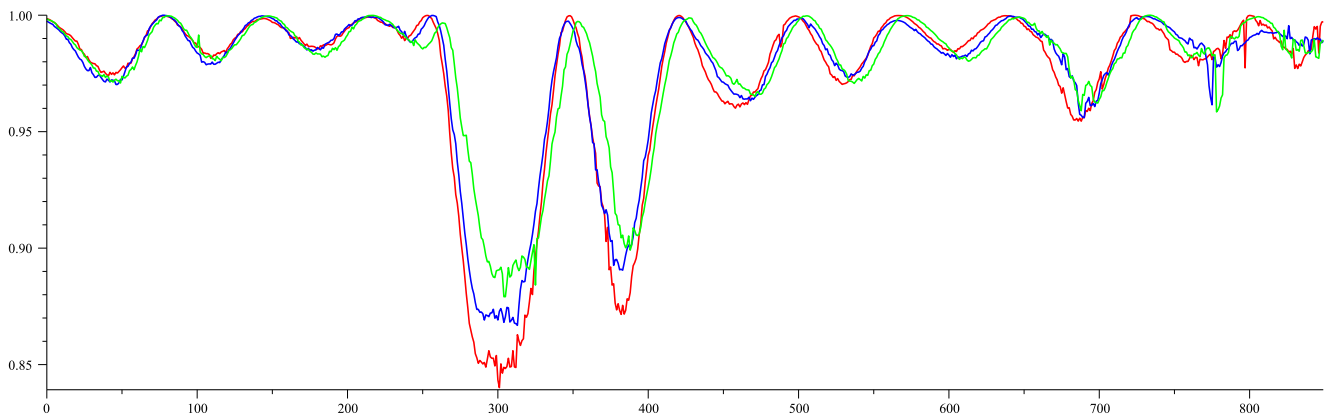


Рис. 1: Проекция вектора  $\gamma$  на ось  $Z$ . Эксперименты с обратной связью.

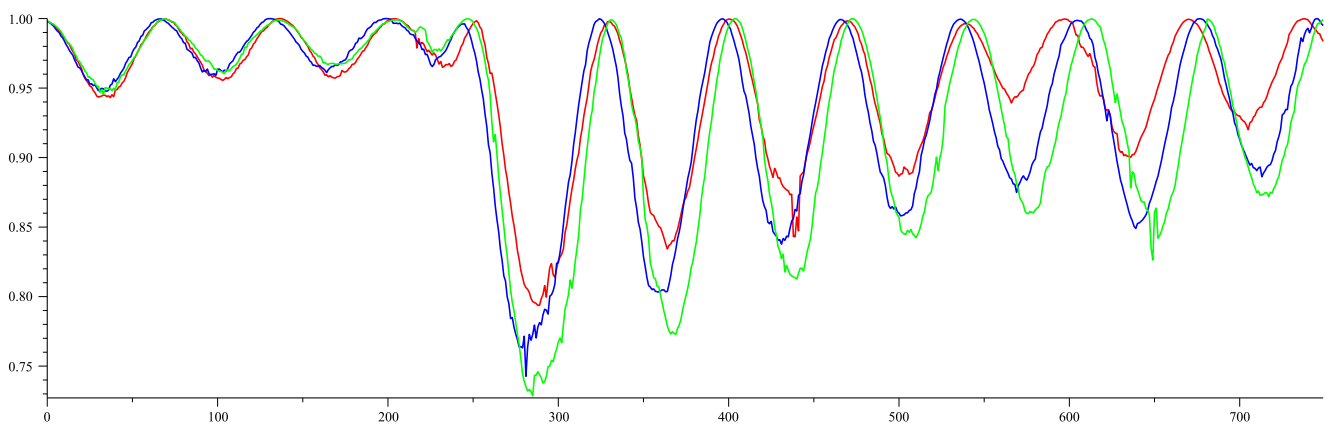


Рис. 2: Проекция вектора  $\gamma$  на ось  $Z$ . Эксперименты без обратной связи.

## Список литературы

- [1] Karavaev Y. L., Kilin A. A., The Dynamics and Control of a Spherical Robot with an Internal Omniwheel Platform, Regular and Chaotic Dynamics, 2015, vol. 20, no. 2, pp. 134-152
- [2] Килин А. А., Караваев Ю. Л., Экспериментальные исследования динамики сферического робота комбинированного типа, Нелинейная динамика, 2015, т. 11, №4, с. 721Ц734
- [3] Kilin A.A., Pivovarova E.N., Ivanova T.B. Spherical robot of combined type: Dynamics and control // Regul. Chaotic Dyn., 2015, vol.20, no.6, pp.716Ц728.