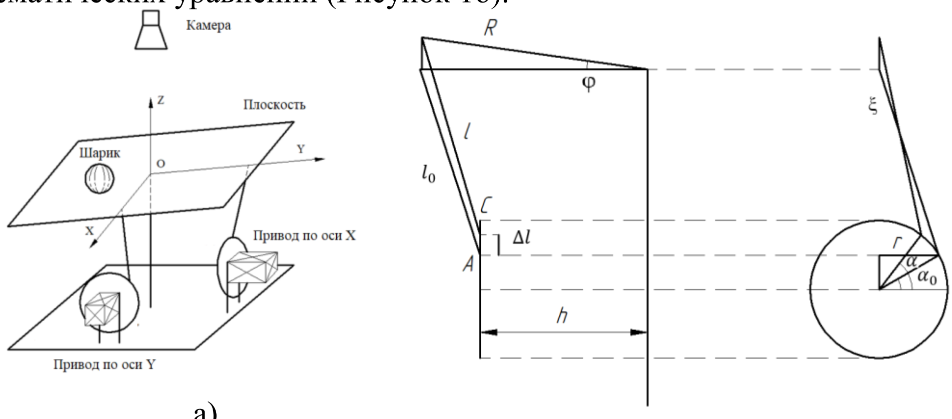
СИНТЕЗ И АПРОБАЦИЯ ЛИНЕЙНО-КВАДРАТИЧНОГО РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ СИСТЕМЫ «BALL-ON-PLATE»

Кургинов Я. О., студент гр. 8ЕМ02, Зарницын А.Ю. ассистент ОАР ИШИТР
Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30,
тел. (913)-807-39-69
E-mail: *yok9@tpu.ru*

Внедрение робототехнических комплексов в ведущие отрасли производства диктует развитие методов анализа кинематических и динамических характеристик роботов. В ходе анализа подобного рода выделяют класс роботов, в которых количество степеней свободы больше количества управляющих воздействий, именуемых в отечественной и зарубежной отрасли неполноприводными, а неуправляемые напрямую степени свободы называют пассивными. Для управления такими роботами часто классические методы теории автоматического регулирования либо не подходят, либо требуют некоторой модификации [1]. В то же время для эффективного управления этими системами подходит линейно-квадратичный регулятор, благодаря которому можно регулировать по полному вектору состояния системы и существует возможность в процессе синтеза неявно учесть пассивность степей свободы. В работе в качестве неполноприводной механической системы используется система «ball-on-plate» с четырьмя степенями свободы, две из которых пассивны. Для данной системы был проведен синтез линейно-квадратичного регулятора и его апробация на реальном объекте управления.

Общий вид системы «ball-on-plate» представлен на рисунке 1.а. Система имеет четыре степени свободы – положение шарика в координатах (x, y) и угловое положение плоскости в координатах (φ_x, φ_y). Математическая модель (1) была получена с помощью уравнений Лагранжа второго рода, апроксимации динамики привода апериодическим звеном первого порядка и кинематических уравнений (Рисунок 1б).



а) б)

Рис. 1. а) Общий вид объекта управления, б) Кинематическая схема объекта управления

На рисунке 1.б α – угол поворота вала двигателя, рад; ; ξ – длина подвижного стержня, соединяющей посредством шарнира плоскость и диск, м; r – радиус диска, надетого на вал двигателя для передачи движения стержню, м; h – расстояние от вала двигателя до центра плоскости, м; l – проекция ξ на фронтальную плоскость, м; φ – угол поворота плоскости, рад; Δl – отрезок на фронтальной проекции, которое проходит точка зацепления при повороте двигателя на угол $\alpha - \alpha_0$, м.

(1)

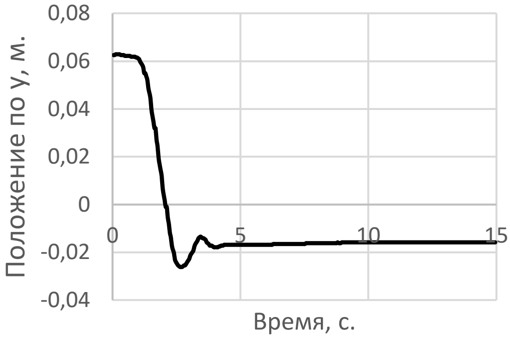
$$\varphi_i = \arcsin\left(\frac{-2S \cdot B + 2\sqrt{S^2 \cdot B^2 - (S^2 + C^2)(B^2 - C^2)}}{2(S^2 + C^2)}\right), \ \ i = x, y$$

$$R^2 + (r \cdot sin\alpha_i - r \cdot sin\alpha_{i_0} + A)^2 - l^2 + h^2 = B, \ \ i = x, y$$

$$-2R \cdot \left(r \cdot sin\alpha_i - r \cdot sin\alpha_{i_0} + A\right) = S, \ \ \ i = x, y$$

$$2R \cdot h = C$$

Основываясь на линеаризации модели (1), был синтезирован линейно-квадратичный регулятор [2]. Переходные процесс в режиме стабилизации нулевого положения представлены на рисунке 2.



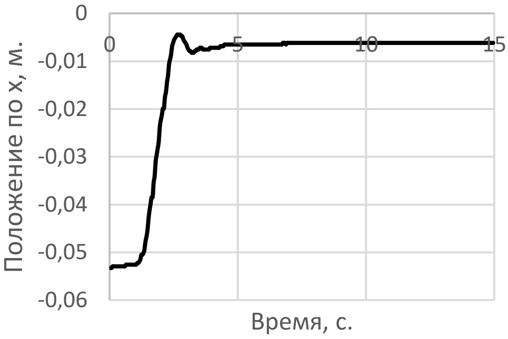


Рис. 2. Переходные процессы в системе при стабилизации нулевого положения

В таблице 1 представлены собственные числа системы, в зависимости от R при Q равном единичной матрице I. Как видно из таблицы, при переходе от опыта 2 к 3 быстродействие системы не меняется.

Таблица 1 – Собственные числа системы при разных R

№ опыта	R	Собственные числа
1	10·I	[-1.17, 0.95±0.99i, -0.98, -1.17, -1.05±1.09i, -0.98]
2	I	[-334.9, -1.01±1.02i, -1, -334.9, -1.11±1.12i, -1]
3	0.1·I	[-1047, -1.01±1.02i, -1, -1047, -1.11±1.12i, -1]

Таким образом, линейно-квадратичный регулятор применим в задачах управления неполноприводными системами, однако есть ограничения на его работу, в частности ограниченное быстродействие и невозможность реализовать траекторию движения в фазовом пространстве, противоречащую динамике системы.

Список литературы:

1. Z. Tian, H. Wu and C. Feng, "Hierarchical adaptive backstepping sliding mode control for underactuated space robot," *2010 2nd International Asia Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (CAR 2010)*, Wuhan, 2010, pp. 500-503, doi: 10.1109/CAR.2010.5456786.,

2. Ким Д. П. Теория автоматического управления. Т.2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы – 2-е изд. Испр. И доп. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2016. – 440 с. – ISBN 948-5-9221-0858-4.