

## СИНТЕЗ ПД-РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ КЕРУВАННЯ МАНІПУЛЯТОРОМ ПРОМИСЛОВОГО РОБОТА

*Барсуков Д.Д., Ярута А.В.*

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків*

На сучасних промислових підприємствах особливу актуальність набуває впровадження нових технологій та безлюдного виробництва. Це приводить до розширення парку промислових роботів. Застосування сучасних промислових роботів збільшує продуктивність роботи, поліпшує якість продукції, заміняє людину на монотонних і важких роботах, допомагає заощаджувати матеріали й енергію. Важливим завданням при використанні промислових роботів є забезпечення руху його ланок за заданими траєкторіями. Одним зі способів вирішення цього завдання є використання традиційного ПД-регулятора, або його варіанту – ПД-регулятора якщо йдеться про керування кутами повороту ланок маніпулятора. Синтезуємо цей регулятор для керування дволанковим маніпулятором в детермінованих умовах.

Відомо [1], що рівняння динаміки маніпулятора промислового робота має наступний вигляд:

$$M = D(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q}) + G(q), \quad (1)$$

де  $D(q)$  – симетрична позитивно визначена  $n \times n$  матриця інерції;

$C(q, \dot{q})$  –  $2 \times 2$  матриця, що включає в себе відцентрові та коріолісові члени;

$G(q)$  –  $2 \times 1$  вектор сил гравітації;

$M$  –  $2 \times 1$  вектор діючих на ланки маніпулятора моментів;

$q$  –  $2 \times 1$  вектор узагальнених координат (кути повороту ланок маніпулятора).

Відповідно до назви ПД-регулятора, його закон управління містить складові, що пропорційні помилці управління і похідній від цієї помилки, тобто її швидкості  $\dot{e}$ :

$$M = K_p e + K_v \dot{e}, \quad (2)$$

де  $K_p$ ,  $K_v$  – симетричні позитивно визначені матриці, що розраховуються проектувальником системи управління роботом.

Структурна схема, що відповідає системі управління маніпулятором з ПД-регулятором, приведена на рисунку 1.

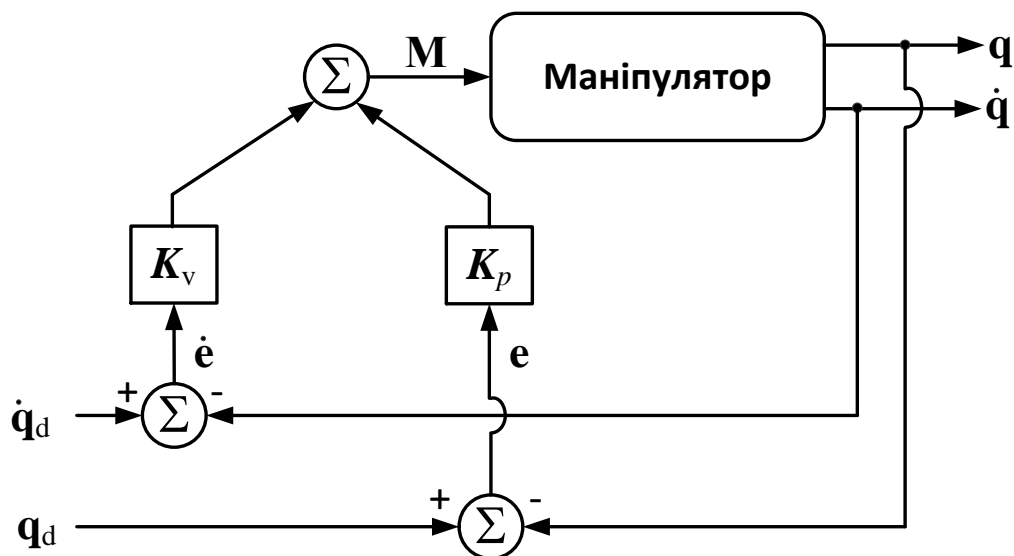


Рисунок 1 – Структурна схема ПД-керування маніпулятором

Збіжність до нуля помилки стеження за траєкторією можна показати за допомогою функції Ляпунова:

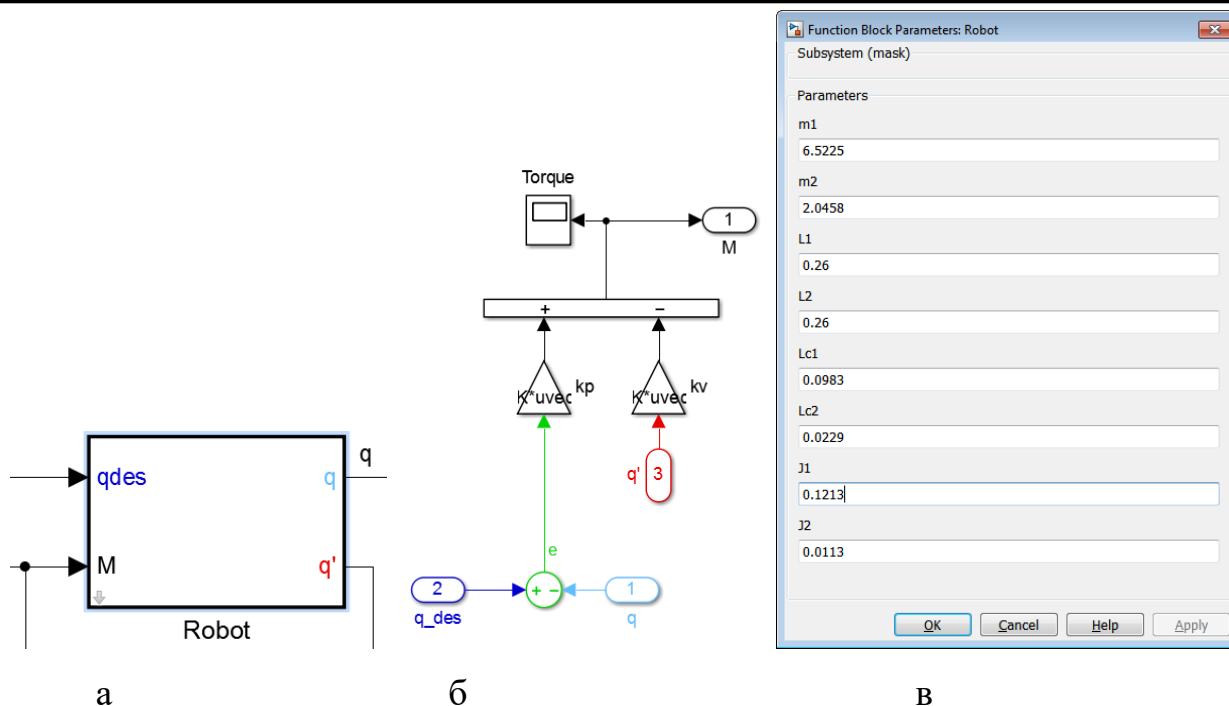
$$V = \frac{1}{2} \dot{e}^T D(q) \dot{e} + \frac{1}{2} \dot{e}^T K_p e, \quad (3)$$

похідна якої має вигляд:

$$\dot{V} = -\dot{e}^T K_v \dot{e}, \quad (4)$$

Як бачимо, (4) має негативний знак, значить розв'язання (2) стійке і помилка в системі наблизатиметься до нуля.

Для дослідження поведінки маніпулятора промислового робота з ПД-регулятором побудовано Simulink-модель дволанкового маніпулятора з параметрами, наведеними у [2]. Матриці рівняння динаміки (1) були виконані у вигляді окремих підсистем. Потім для зручності моделювання, всі ці підсистеми були поміщені в одну підсистему «Robot» (рисунок 2а). На цьому ж рисунку наведені параметри маніпулятора (рисунок 2в). До моделі маніпулятора було додано ПД-регулятор (рисунок 2б) у відповідності до рисунка 1.



а – загальний вигляд підсистеми «Robot» б – модель ПД-регулятора;  
в – параметри маніпулятора

Рисунок 2 – Підсистема «Robot», що моделює маніпулятор

Тепер, коли створена модель маніпулятора, приступимо до моделювання роботи системи керування ним. Вектор гравітаційних моментів  $G(q)$  в рівнянні (1) має наступні компоненти:

$$g_1(q) = [m_1 l_{c1} + m_2 l_1] g \sin(q_1) + m_2 l_{c2} g \sin(q_1 + q_2), \quad (5)$$

$$g_2(q) = m_2 l_{c2} g \sin(q_1 + q_2). \quad (6)$$

Припустимо, що мета керування полягає в забезпеченні повороту першої ланки на  $q_1 = \pi/10$  рад, а другої ланки – на  $q_2 = \pi/30$  рад. Легко перевірити, що  $G(q_d) \neq 0$ . Тому початок координат  $[e^T \quad \dot{q}^T]^T = 0$  рівняння замкнутої системи з ПД-регулятором не є положенням рівноваги. Це означає, що за допомогою ПД-регулятора мета керування не може бути досягнута. Підтвердимо це положення моделюванням. Приймемо

$$K_p = \begin{bmatrix} 30 & 0 \\ 0 & 30 \end{bmatrix} \text{ Н}\cdot\text{м/рад} \quad \text{і} \quad K_m = \begin{bmatrix} 7 & 0 \\ 0 & 3 \end{bmatrix} \text{ Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с/рад}.$$

В якості початкових умов прийнято  $q(0) = 0$  і  $\dot{q}(0) = 0$ . Результати моделювання наведені на рисунку 4, де штриховою лінією надані бажані значення кутів  $q$  повороту ланок.

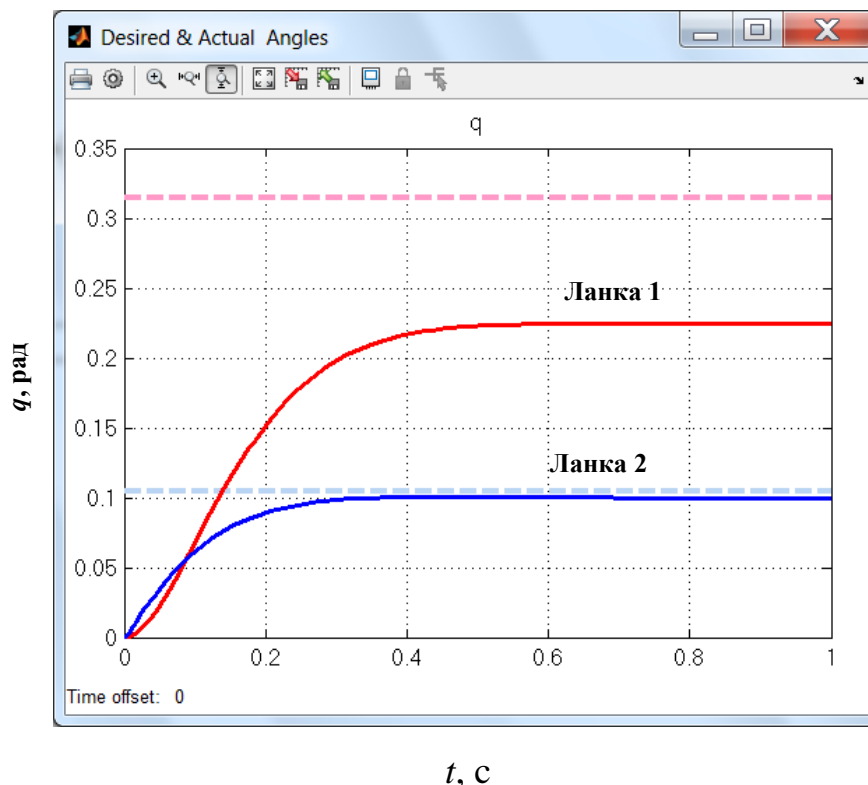


Рисунок 4 – Зміни кутів повороту  $q$  ланок маніпулятора з ПД-регулятором

Як видно з рисунку 4 ланки маніпулятора позиціонуються з помилкою:  $e_1 = 0,1$  рад і  $e_2 = 0,005$  рад, тобто, як ми й очікували, мета керування не досягнута.

Таким чином, необхідно використовувати більш складний регулятор, ніж ПД-регулятор.

### Література:

1. Фу К. Робототехника/ К. Фу, Р. Гонсалес, К. Ли – М.: Мир, 1989. – 624с.
2. Гурко А.Г. Анализ энергоэффективности методов планирования траекторий манипулятора / А.Г. Гурко, М.Н. Кравцов, А.В. Лебединский // Технология приборостроения. – 2016. – № 2. – С. 70-73.