

УДК 621.87:681.5

КЕРУВАННЯ КОВШЕМ ФРОНТАЛЬНОГО НАВАНТАЖУВАЧА

Гурко О.Г., Ляшов Р.О., Кучеренко Арт. Ю., Кучеренко Арк. Ю.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Харків

Питання автоматизації та роботизації підйомно-транспортних та вантажно-розвантажувальних машин є доволі актуальним, так як автоматизація підвищує продуктивність та безпеку виконання відповідних робіт. Однією з таких машин є фронтальний навантажувач (ФН). ФН застосовують для переміщення різноманітних матеріалів та завантаження ними іншого виду техніки, наприклад, вантажної, транспортної або переробної. Для безпеки робіт, необхідно уникати зіткнень ковша ФН з технікою, що завантажується. З іншого боку, траєкторії переміщення ковша при виконанні ФН робочих процесів повинні бути такими, щоб на виконання робочих процесів витрачалася мінімум енергії.

Матеріал, з яким працює ФН може бути неоднорідним (гравій, перероблений матеріал, каміння, пісок, ґрунт тощо), отже, при роботі система керування ковшем стикатиметься з невизначеністю як щодо поточної маси ковша з вантажем, так й щодо зовнішніх збурень випадкового характеру. За таких умов використання класичних ПІД-регуляторів для керування рухом ковша ФН є неефективним. Тому, пропонується для керування ковшем ФН використовувати лінійно-квадратичний гаусовський регулятор (ЛКГР).

Передбачається, що модель робочого обладнання ФН лінеаризована [1, 2], а рівняння його руху у просторі станів мають вигляд:

$$\begin{cases} x_{k+1} = Ax_k + Bu_k + w_k, \\ y_k = Cx_k + v_k, \end{cases} \quad (1)$$

де A – матриця стану; B – матриця керуючих входів; C – матриця виходу; y_k – вектор спостереження дійсного стану x_k ; u_k – вектор керуючих впливів; w_k, v_k – шуми робочого процесу ФН вимірювань стану робочого обладнання

відповідно, що є білими гаусовими випадковими послідовностями з ненульовим середнім значенням; k – шаг дискретизації за часом.

Рівняння (1) надані у дискретному часі оскільки керування ковшем ФН здійснюється за допомогою мікропроцесорного пристрою.

Метою закону керування u_k є мінімізація наступного квадратичного функціоналу якості:

$$J = \sum_{k=0}^N [x_k^T Q x_k + u_k^T R u_k], \quad (2)$$

де Q та R – діагональні позитивно визначені матриці.

Значення діагональних елементів матриць Q та R встановлюють співвідношення між якістю системи керування і витратами енергії на реалізацію керування u_k відповідно.

Мінімізацію функціоналу (2) забезпечує наступний закон керування:

$$u_k = -K x_k, \quad (3)$$

де K – вектор коефіцієнтів зворотного зв'язку за станом, який розраховується наступним чином:

$$K = (B^T P B + R)^{-1} B^T P A, \quad (4)$$

де симетрична матриця P визначається з рішення дискретного алгебраїчного рівняння Ріккати:

$$P = Q + A^T P A - A^T P B (B^T P B + R)^{-1} B^T P A. \quad (5)$$

Через наявність невизначеностей w_k і v_k для отримання оцінки \hat{x}_k вектору стану використовується фільтр Калмана (рис. 1):

$$\hat{x}_{k+1} = A \hat{x}_k + B u_k + L (y_k - C \hat{x}_k). \quad (6)$$

Коефіцієнт підсилення L фільтра Калмана у (6) дорівнює:

$$L = S C^T (C S C^T + V)^{-1}, \quad (7)$$

де S – рішення наступного матричного рівняння Ріккати:

$$S = A S A^T - A S C^T (C S C^T + V)^{-1} C S A^T + W, \quad (8)$$

де V та W – коваріаційні матриці v та w .

У роботі одержана спрощена математична модель робочого обладнання ФН, та за допомогою пакету MATLAB синтезовано ЛКГР для керування руху ковша ФН.

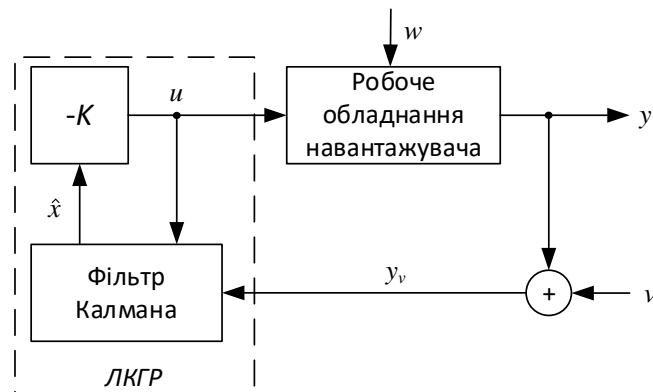


Рисунок 1 – Структурна схема системи керування ковшем ФН із ЛКГР

Попередні результати моделювання показують ефективність використання запропонованого регулятора. Подальша робота авторів спрямована на удосконалення моделі робочого обладнання навантажувача та на порівняння результатів моделювання з результатами експериментальних досліджень.

Література:

- [1] J. Kim, M. Jin, W. Choi, et al, “Discrete time delay control for hydraulic excavator motion control with terminal sliding mode control”, *Mechatronics*, v. 60, pp. 15-25, 2019.
- [2] A. Gurko, I. Kyrychenko, A. Yaryzhko, O. Kononykhin. “Linear Quadratic Gaussian Control for Robotic Excavator”, *Proceedings of the Third International Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems (CMIS-2020)*, v. 2608, pp. 144-155.