

Іванюк М.А., Пискунов С.О.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна

Контролер тиску для пневматичного гальма на основі «фільтра Калмана»

Пневматичні механізми знайшли широке застосування у техніці через свою безпеку, надійність, економічність, технологічність, та екологічність. Пневматичні системи використовуються зокрема в залізничному транспорті. Системи що працюють на стисненому повітрі забезпечують роботу систем гальмування, закриття/відкриття дверей та рух інших елементів обладнання потягів. Зважаючи на важливість питань безпеки та надійності актуальним є удосконалення засобів управління пневматичними системами. Метою даної роботи є розробка цифрового пристрою, призначеного для оптимального регулювання тиску в гальмівному циліндрі пневматичного гальма.

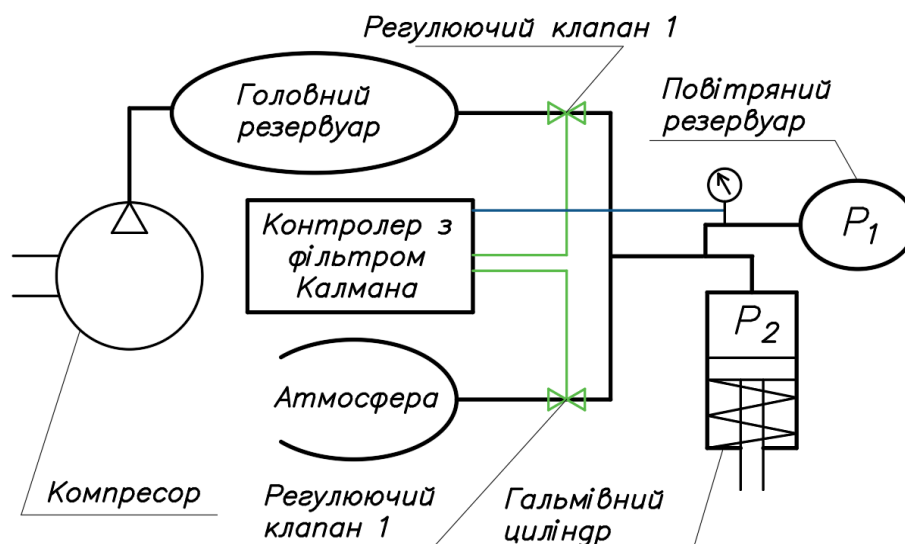


Рис.1. Схема пневматичної системи, P_1 – тиск у резервуарі, в який поступає повітря після відчинення клапана 1. P_2 – тиск у гальмівному циліндрі

Вирішення цієї задачі насамперед потребує інформації про фактичний тиск у гальмівному циліндрі, але його величина не може бути виміряна безпосередньо за декількох причин. Перша і найголовніша причина - важкі умови роботи датчика вимірювання тиску при його розміщенні безпосередньо у циліндрі. Недосконалість вентилів між резервуарами з повітрям та лініями постачання повітря, втрати тиску під час проходження повітря через напірні лінії та виникнення хвиль тиску також ведуть до змін величини фактичного тиску. Крім того, наявний вплив навколишнього середовища додає неточність у показання наявних датчиків та прогнозовану поведінку системи.

Математична модель фізичної системи (1), наведеної на рис.1, пов'язує масові витрати $m_{\text{вент}}^{\cdot}$ на вентиляцію (збільшення тиску), $m_{\text{випуск}}^{\cdot}$ на випуск (зниження тиску) та $m_{\text{врівн}}^{\cdot}$ на врівноваження тиску між резервуарами з тисками P_1 та P_2 .

$$\begin{bmatrix} \frac{V_1}{RT} & 0 \\ 0 & \frac{V_2}{RT} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \dot{P}_1 \\ \dot{P}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{\text{вент}}^{\cdot} - m_{\text{випуск}}^{\cdot} - m_{\text{врівн}}^{\cdot} \\ m_{\text{врівн}}^{\cdot} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

де V_1 та V_2 – об'єми повітряного резервуару та гальмівного циліндру відповідно, R – газова константа, T – температура робочого середовища.

Для розв'язання задачі необхідно провести дискретизацію процесу змінення тиску у системі за часом сукупністю кроків за часом Δt . Вектор параметрів тиску в системі з моделі (1) визначається на кожному часовому кроці k на основі даних з попереднього кроку $k-1$ наступним чином:

$$x_k = \begin{bmatrix} P_{1k} \\ P_{2k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{V_1}{RT} & 0 \\ 0 & \frac{V_2}{RT} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} m_{\text{вент}}^{\cdot} - m_{\text{випуск}}^{\cdot} - m_{\text{врівн}}^{\cdot} \\ m_{\text{врівн}}^{\cdot} \end{bmatrix} * \Delta t + \begin{bmatrix} P_{1(k-1)} \\ P_{2(k-1)} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

Особливістю задачі є також умовна відсутність даних про стан системи, а саме довжини трубопроводів та технічних характеристик гальмівної системи. Відсутність цих даних вносить в систему невизначені за величиною перешкоди, вплив яких має бути взятий до уваги. За цих припущень треба розробити автоматичний регулятор тиску в гальмівному циліндрі (контролер), який дозволить досягати бажаного тиску за найменшого числа циклів відкривань/закривань клапанів.

436

Для вирішення поставленої задачі було використано рекурсивний алгоритм фільтрації даних, відомий як “Розширений Фільтр Калмана” [1]. Даний алгоритм дозволяє рекурсивно визначити стан динамічної системи в умовах не визначеності вихідних даних. На етапі прогнозування «фільтр Калмана» екстраполює значення змінних стану системи, а також їх невизначеності. На другому етапі за даними вимірювання (отриманого з деякою погрішністю) результат екстраполяції уточнюється. Завдяки покроковій побудові алгоритму, він дозволяє в реальному часі відстежувати стан об'єкта (без екстраполяції параметрів стану системи, використовуючи тільки поточні виміри і інформацію про попередній стані та його невизначеності). Вихідна концепція побудови і застосування «Фільтра Калмана» викладена в роботі [2]. Він широко використовується у розв'язанні сьогоденних інженерних задач, а також у інших застосуваннях від алгоритмізації роботи радарів і систем технічного зору до оцінок параметрів макроекономічних моделей [3].

В даному випадку на основі цього алгоритму здійснюється визначення стану пневматичного гальма попри відсутність прямого доступу до гальмівного циліндру та шуми у наявних сенсорах [4]. «Фільтр Калмана» було налаштовано для визначення часу відкриття клапанів для досягання необхідного тиску у гальмівному циліндрі.

$$\text{Модель:} \quad x_{k+1} = f(x_k, u_k) + w_k \quad (3) \quad \text{- Рівняння стану}$$

$$y_k = h(x_k) + v_k \quad (4) \quad \text{- Спостереження стану}$$

$$\text{Передбачення:} \quad U_{k+1} = A_k * U_k * A_k^T \quad (5) \quad \text{- Коваріаційна матриця}$$

$$\text{Корегування:} \quad K_k = U_k * C_k^T * (C_k * U_k * C_k^T + R)^{-1} \quad (6) \quad \text{- Коефіцієнт Калмана}$$

$$\hat{x}_{k+1} = f(\hat{x}_k, u_k) + K_k [y_k - h(\hat{x}_k)] \quad (7) \quad \text{- Оцінка стану}$$

$$U_{k+1} = A_k * [I - C_k * K_k] * U_k * A_k^T + Q \quad (8) \quad \text{- Оновлення } U_k$$

Мовою програмування для розробки програмного забезпечення контролера було обрано С. Після фази розробки програмного забезпечення, для тестування можливостей програми був проведений ряд дослідів процесів зміни тиску повітря у гальмівному циліндрі під час циклу гальмування. Результати віртуальних дослідів можна побачити на рис. 2, 3, де наведені графіки порівняння тиску та сигналу під час моделювання за різних умов перешкод у сенсорах. Сигнал 1 означає вентиляцію, 2 - випуск, та 3 - холостий хід (вирівнювання між резервуарами)

437

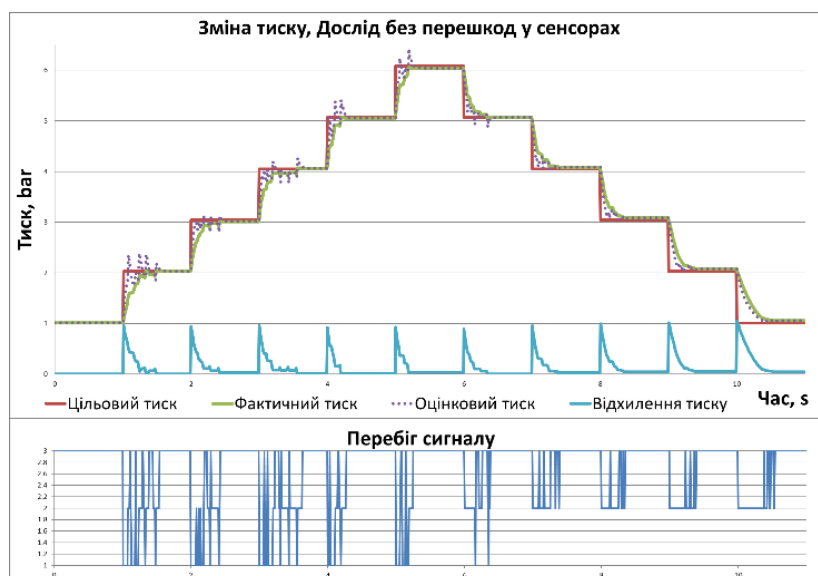


Рис.2



Рис.3

Проведене порівняння величин цільового тиску, фактичного тиску і тиску отриманий за допомогою контролера з «фільтром Калмана», які добре узгоджуються. При цьому відхилення тиску лежить в межах мінімальних значень, що свідчить про досягнення задовільності точності розв'язання поставленої задачі.

438

Висновки:

1. Незважаючи на неточність вимірювань тиску, контролер доволі точно визначає час для відкриття та закриття вентилів, отриманий графік фактичного тиску майже збігається з цільовим.
2. Точність визначення часу фільтром залежить від межі допуску зміни тиску в системі, а правильно підібрані геометричні параметри трубопроводів та клапанів підвищують точність оцінки.

Список використаних джерел

- [1] Welch Greg B. G. An Introduction to the Kalman Filter, Course 8. University of North Carolina at Chapel Hill, Department of Computer Science., 2001.
- [2] Kalman, R.E. A new approach to linear filtering and prediction problems». Journal of Basic Engineering 82 (1) - 1960. - PP. 35—45
- [3] Strid I., Walentin K. Block Kalman Filtering for Large-Scale DSGE Models, Computational Economics (Springer) . — Т. 33 (3), 2009. – PP. 277–304
- [4] Dan S., «Optimal State Estimation: Kalman, H Infinity, and Nonlinear Approaches,» John Wiley & Sons., 2006.