

Динамічний синтез закону переміщення клапана дозатора для рідких харчових продуктів

О.М. Горчакова, М.В. Якимчук, д.т.н., НУХТ, м. Київ

Вступ. Для структури відомих систем автоматичного дозування, що охоплює основні сфери застосування дозаторів напірного й безнапірного принципів переміщення рідини, характерна тісна взаємодія модуля дозування та електронного модуля керування виробничим процесом [1]. Традиційно дозувальні пристрої для рідких харчових продуктів складаються з трьох основних елементів: сідла 1, клапана 2 та корпусу 3 (рис. 1) [2]. Найбільш відповідальною ланкою дозатора є робочий орган – запірний клапан, що знаходиться в безпосередньому контакті з рідиною, яку дозують, та сідлом.

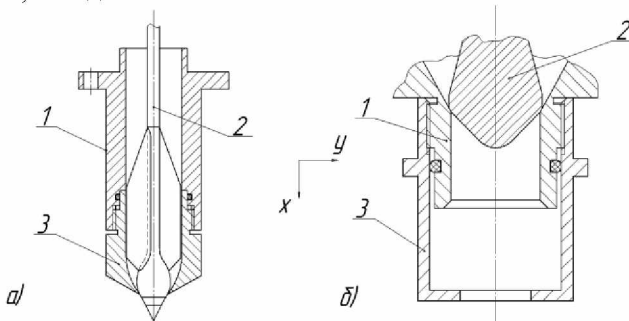


Рис. 1. Конструкція робочого органу конічного (а) та циліндричного (б) дозаторів для рідких харчових продуктів: 1 – сідло; 2 – клапан; 3 – корпус

Дозування рідкого харчового продукту є складним процесом, пов'язаним з нестационарними режимами відкривання й закривання виконавчого пристрою дозатора – клапана [3]. Необхідною умовою для якісної реалізації таких режимів роботи в сучасних дозувальних пристроях є реалізація заданого закону переміщення клапана.

Метою роботи є динамічний синтез закону переміщення клапана прецизійного дозатора з метою оптимізації точності дозування рідких харчових продуктів.

Традиційно переміщення клапана здійснюється пневматичним або електромагнітним приводом, що характеризується робочим ходом δ . Заданий закон руху клапана традиційно складається з трьох етапів (рис. 2).

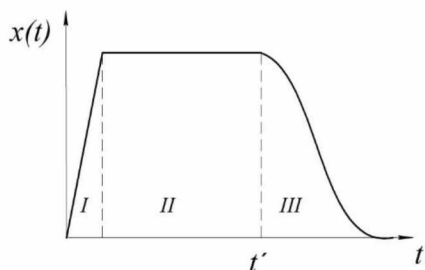


Рис. 2. Етапи руху клапана дозатора з прецизійним способом керування: I – відкриття каналу дозування; II – вистій клапана у відкритому положенні; III – закривання каналу дозування

Саме якісна реалізація III етапу руху суттєво впливає на точність дозування. Початковими умовами III етапу руху є:

$$x(0) = \delta; \quad \dot{x}(0) = 0; \quad \ddot{x}(0) = 0. \quad (1)$$

Кінцевими умовами III етапу руху є:

$$x(T) = 0; \quad \dot{x}(T) = 0; \quad \ddot{x}(T) = 0. \quad (2)$$

Закон руху клапана дозатора, що задовольняє вимогу плавного його притискання до сідла, прийемо у вигляді:

$$x(t) = x(0) - [x(0) - x(T)] \cdot \left(\frac{t}{T} - \left(\frac{1}{2\pi} \right) \sin\left(\frac{2\pi t}{T} \right) \right) \quad (3)$$

Для реалізації заданого закону руху необхідно до клапана прикласти керуюче зусилля $F(t)$. Для визначення керуючого зусилля на III етапі руху двічі продиференціюємо рівняння (3). Відповідно швидкість та прискорення клапана \dot{x} і \ddot{x} дорівнюють:

$$\dot{x} = [x(0) - x(T)] \cdot \frac{(1 - \cos(2\pi t/T))}{T}; \quad (4)$$

$$\ddot{x} = 2\pi [x(0) - x(T)] \cdot \frac{\sin(2\pi t/T)}{T^2}. \quad (5)$$

У момент початку гальмування клапана прискорення \ddot{x} буде дорівнювати нулю, звідси

$$\frac{2\pi[\varphi(0) - \varphi(T)]}{T^2} \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right) = 0, \quad (6)$$

$$\frac{2\pi}{T}t = \pi, \quad \text{тобто } t = T/2. \quad (7)$$

Таким чином, гальмування клапана починається в момент часу $t=T/2$, під час якого:

$$x\left(\frac{T}{2}\right) = \frac{[x(0) - x(T)]}{2}; \quad \dot{x}\left(\frac{T}{2}\right) = \frac{2\pi[x(0) - x(T)]}{T}; \quad \ddot{x}\left(\frac{T}{2}\right) = 0. \quad (8)$$

У випадку використання пневматичного привода для руху клапана за заданим законом руху з кінематичними характеристиками (3), (4) та (5), їх відтворення потребує миттєвої зміни керуючої сили та тисків повітря в порожнинах пневмоциліндра [4]. Відповідно математична модель реалізації заданого закону руху клапана дозுவального пристрою з пневматичним керуванням має вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} x(t) = x(0) - [x(0) - x(T)] \cdot \left(\frac{t}{T} - \left(\frac{1}{2\pi} \right) \sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right) \right) \\ \dot{x} = [x(0) - x(T)] \cdot \frac{(1 - \cos\left(\frac{2\pi}{T}t\right))}{T} \\ \ddot{x} = 2\pi[x(0) - x(T)] \cdot \frac{\sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right)}{T^2} \\ m_n \cdot \frac{d^2x}{dt^2} = p_p \cdot F_n - P_0 - p_e \cdot F_u \\ \frac{dp_p}{dt} = \frac{n \cdot \mu_1 \cdot f_1 \cdot p_m \sqrt{\frac{2 \cdot n}{(n-1)} \cdot R \cdot T_m \cdot 0.2588}}{F_n \cdot (x_{01} + x)} + \frac{n \cdot p_e}{(x_{01} + x)} \frac{dx}{dt} \\ \frac{dp_e}{dt} = \frac{n \cdot \mu_2 \cdot f_2 \cdot p_e^{2-n} \times \sqrt{\frac{2 \cdot n}{(n-1)} \cdot R \cdot T_m \cdot 0.2588}}{F_u \cdot (s + x_{02} - x) \cdot p_a^{\frac{n-1}{2-n}}} + \frac{n \cdot p_p}{(s + x_{02} - x)} \frac{dx}{dt} \end{array} \right. \quad (9)$$

де m_n – приведена маса дозувального пристрою; x – поточне переміщення поршня пневмоциліндра; s – робочий хід поршня пневмоциліндра; $F_n, F_{ш}$ – корисна площа поршня робочої й вихлопної порожнин пневмоциліндра відповідно; x_{01}, x_{02} – відношення початкових («пасивних») об'ємів V_{01}, V_{02} пневмопривода до корисної площі поршня поршневої та штокової порожнини пневмоциліндра відповідно; n – показник політропи; p_p, p_e – абсолютні тиски в робочій та вихлопній порожнинах пневмоциліндра відповідно; p_p, p_m – абсолютний атмосферний і магістральний тиски; T_m – абсолютна температура стисненого повітря в магістралі; μ_1, μ_2 – коефіцієнти витрати пневмоліній нагнітання й вихлопу відповідно; f_1, f_2 – еквівалентні площі пневмоліній нагнітання й вихлопу відповідно; R – питома газова стала; t – час переміщення.

Результати аналітичних досліджень переміщення, швидкості та прискорення клапана дозатора від часу показано на графіку (рис. 3).

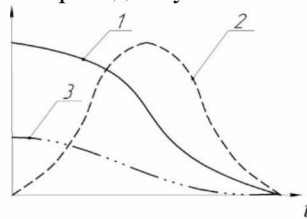


Рис. 3. Графік зміни переміщення (1), швидкості (2) і прискорення (3) клапана під час закривання каналу дозування

Висновки. На основі проведеного динамічного синтезу переміщення клапана дозатора для рідких харчових продуктів було розроблено математичну модель реалізації заданого закону руху клапана за допомогою пневматичного привода. Встановлено залежність зміни переміщення, швидкості та прискорення від часу на етапі закривання каналу дозування рідкого харчового продукту дозатора з прецизійним способом керування.

Література

1. Пакувальне обладнання : підручник / О.М. Гавва, А.П. Беспалько, А.І. Волчко, О.О. Кохан. Київ : ІАЦ «Упаковка», 2010. 746 с.
2. Гвоздев О.В., Ялоха І.М. Обґрунтування конструкції запорного клапану дозатора – наповнювача рідких продуктів // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. 2001. Вип. 1. Т. 23. С. 40–44.
3. Gorchakova O., Iakymchuk M., Gavva O., Mykhailyk B. Research of mechatronic modules of dosing weighing devices for liquid products // Journal of Food and Packaging Science, Technique and Technologies. 2017. № 12. P. 27–32.
4. Герц Е.В. Динамика пневматических систем машин. М. : Машиностроение, 1985. 255 с.