

RESEARCH OF THE WORK EFFICIENCY OF THE PNEUMATIC DRIVE WITH THE FUNCTION OF ENERGY RECOVERY IN THE DEVICES OF THE PACKING EQUIPMENT

O. Gorchakova, M. Yakymchuk, L. Ivanova, V. Yakymchuk
National University of Food Technologies

Key words:	ABSTRACT
pneumatic drive, energy recovery, mechatronic module, packing equipment, structural synthesis	Modern constructions of dosing devices are quite complex physical and mechanical systems that are under control of electronic and microprocessor control units and drives of different types among which the significant place is taken by the pneumatic drive. A pneumatic control circuit of the dosing device with the function of energy recovery was offered in the work and a mathematical model of astatic processes that run during braking of output link of the pneumatic drive in dosing and packaging devices of packing equipment with the help of pressing air into the additional capacity (receiver) was developed. Checking of the work of the offered pneumatic circuit, its further optimization and improvement were carried out on the basis of analysis of received experimental results of multi-factor experiment.
Article history: Received 25.10.2016 Received in revised form 30.10.2016 Accepted 6.11.2016	
Corresponding author: zhurybeda@mail.ua	

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ПНЕВМОПРИВОДА З ФУНКЦІЄЮ РЕКУПЕРАЦІЇ ЕНЕРГІЇ В ПРИСТРОЯХ ПАКУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

О.М. Горчакова,
М.В. Якимчук, д-р техн. Наук,
Л.І. Іванова,
В.М. Якимчук
Національний університет харчових технологій

У статті запропоновано пневматичну схему керування дозувальним пристроєм з функцією рекуперації енергії, розроблено математичну модель астатичних процесів, перебіг яких відбувається при гальмуванні вихідної ланки пневмопривода в дозувально-фасувальних пристроях пакувального обладнання шляхом протиску повітря в додатковий об'єм (ресивер).

Ключові слова: пневмопривід, рекуперація енергії, мехатронний модуль, пакувальне обладнання, дозувальний пристрій.

Постановка проблеми. До типових технологічних операцій пакувального обладнання відносяться операції дозування та фасування [1]. Більшість існуючих

конструкцій дозувальних пристроїв — це достатньо складні фізико-механічні системи, що знаходяться під контролем електронних і мікропроцесорних блоків керування та різного виду приводів. До основних видів приводів відносяться: електро-, гідро та пневмопривід.

Застосування електроприводу в дозувально-фасувальних механізмах обумовлено простотою перетворення електроенергії в механічну і, як наслідок, високим коефіцієнтом корисної дії, єдиним енергоносієм для силового і керуючого контуру. До основних переваг використання електропривода можна віднести технологічну гнучкість, гігієнічність і простоту керування. До недоліків — захист контактів вимикачів і виконавчих елементів у випадку регулярного дезінфікування пакувального обладнання миючими розчинами.

Поряд з електроприводом використовується гідропривід. Порівняно з електроприводом, гідравлічний привід малоінерційний, має можливість безступінчастого регулювання швидкості вихідної ланки для поступальних переміщень робочих органів в діапазоні до 1,5 м/с, забезпечує високу точність виконання операцій. Здебільшого гідравлічні приводи застосовуються в додаткових пристроях дозування, змішування, подачі сировини тощо. Застосування гідравлічного приводу в дозуючих пристроях обмежене гігієнічними вимогами (уникненням контактування енергоносія (мастила) з харчовим продуктом).

Найбільш широко в дозувальних пристроях застосовуються пневмоприводи (рис. 1). Порівняно з іншими типами приводів пневмопривід відрізняється простотою конструкції, низькою вартістю, доступністю енергоносія, надійністю, довговічністю, можливістю роботи в агресивних середовищах, пожежною безпекою, гігієнічністю тощо.

Основними недоліками пневмоприводу є низький коефіцієнт його корисної дії, суттєве зниження швидкодії робочих органів при великих довжинах пневматичних ліній і, як наслідок, велика собівартість виконання операції за рахунок відсутності рекуперації енергії.



а)



б)

Рис. 1. Механізми і пристрої пакувального обладнання з пневмоприводом: а) дозатори для в'язких харчових продуктів; б) дозатори для пастоподібних харчових продуктів

Метою дослідження є розробка методик і нових пневматичних схем керування пневмоциліндрів у пристроях дозування пакувального обладнання. Об'єкт

дослідження — робочий процес пневмопривода фасувальної платформи з рекуперациєю енергії в додатковий об'єм.

Виклад основних результатів дослідження. Традиційно вважається, що розподілення енергетичних витрат у пакувальному обладнанні з пневмоприводом доцільно класифікувати за трьома основними ознаками. Перша ознака — споживання енергії на виконання технологічних операцій пакування. Друга — споживання енергії на виконання допоміжних операцій пакування. Третя, найбільш розгалужена ознака, — споживання енергії при забезпеченні комутативних систем живлення обладнання. Кроки з енергозбереження стисненого повітря передбачають проведення комплексу заходів на кожній з перерахованих ознак і поділяються на проведення оптимізації технологічного процесу та зменшення витрат стисненого повітря з системи живлення. Першу частину витрат повітря можна зменшити, наприклад, за рахунок оптимізації кількості операцій, порядку їх виконання в процесі пакування продукції, кінематичних і силових параметрів тощо. Друга частина витрат стисненого повітря є найбільш вагомою, оскільки саме в системах живлення спостерігаються найбільші втрати енергії. Цю частку пропонується зменшити за рахунок оснащення робочих органів механізмами для акумулювання енергії.

Для реалізації рекуперативної енергії запропоновано нову схему керування пневматичним приводом дозувального пристрою, що приводить у рух робочий орган через передавально-перетворювальний механізм. У запропонованій схемі передбачається, що під час відкриття дозувального пристрою етап гальмування пневматичного привода відбувається протитиском, який утворюється в акумуляторі (ресивері), величина якого задається приводом акумулятора та керованою системою управління залежно від заданої координати позиціонування робочого органу. Додатковою функцією схеми є можливість використовувати накопичену енергію акумулятора для закриття дозувального пристрою. За результатами аналізу способів зниження енерговитрат у пневматичних приводах пакувального обладнання розроблена та запропонована математична модель астатичних процесів, що відбуваються при гальмуванні вихідної ланки пневмопривода в дозувально-фасувальних пристроях пакувального обладнання шляхом протиску повітря в додатковий об'єм (ресивер) (рис. 2).

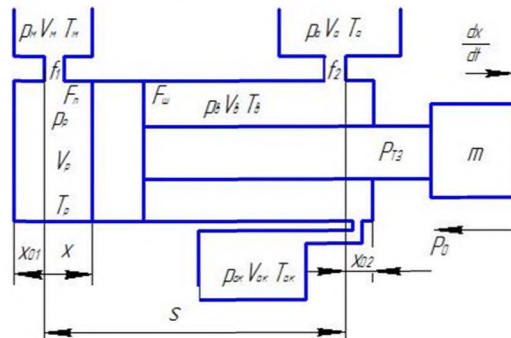


Рис. 2. Модель пневмопривода фасувальної платформи

Вважатимемо, що процес наповнення і витікання стисненого повітря з порожнин пневмоциліндра до етапу гальмування є термодинамічним процесом зі змінним показником політропи. Етапи гальмування починаються після перемикавання керуючого пристрою (розподільника) в нейтральне положення. За такою умовою площі його прохідних каналів не змінюються ($f_1, f_2 = 0$), а сам процес перемикавання є миттєвим, тобто канали нагнітання і вихлопу перекриваються одночасно. Після перемикавання розподільників передбачається, що в порожнинах пневмоциліндра знаходиться постійна кількість газу, яка досить швидко змінює характеристики при переміщенні. Наприклад, теплообмін з навколишнім середовищем буде незначним, тому показник політропи в такому випадку можна прийняти постійним і рівним 1,4. Динамічні процеси, що відбуваються в порожнинах пневмоциліндра на етапі гальмування описуються системою рівнянь:

$$\left\{ \begin{aligned} m_n \cdot \frac{d^2x}{dt^2} &= p_p \cdot F_n - P_0 - p_e \cdot F_u; \\ \frac{dp_p}{dt} &= \frac{n \cdot \mu_1 \cdot f_1 \cdot p_m \sqrt{\frac{2 \cdot n}{(n-1)} \cdot R \cdot T_m \cdot 0.2588}}{F_n \cdot (x_{01} + x)} + \frac{n \cdot p_e}{(x_{01} + x)} \frac{dx}{dt}; \\ \frac{dp_e}{dt} &= \frac{n \cdot \mu_2 \cdot f_2 \cdot p_e^{2-n} \times \sqrt{\frac{2 \cdot n}{(n-1)} \cdot R \cdot T_m \cdot 0.2588}}{F_u \cdot (s + x_{02} - x) \cdot p_a^{\frac{n-1}{n}}} + \frac{n \cdot p_p}{(s + x_{02} - x)} \frac{dx}{dt}; \\ T_e &= \frac{p_e^n \cdot T_{0e}}{p_{0e}^n}; \\ \frac{dT_p}{dt} &= (n \cdot T_m - T_p) \frac{R \cdot T_p \cdot \mu_1 \cdot f_1 \cdot p_m \sqrt{\frac{2 \cdot n}{(n-1)} \cdot \frac{1}{R \cdot T_m} \cdot 0.2588}}{p_p \cdot F_n \cdot (x_{01} + x)} - (n-1) \cdot \frac{T_p}{x_{01} + x} \frac{dx}{dt}. \end{aligned} \right. \quad (1)$$

Система враховує, що на даному етапі об'єми пневмоциліндра замкнуті і маса повітря в них постійна, тому запропоновано, що процес зміни стану при постійній кількості повітря в порожнинах пневмоциліндра можна описати законами політропічного процесу. У порожнині нагнітання пневмоциліндра тиск повітря можна представити в такому вигляді:

$$p_p = (v_{pnn} / v_p)^n p_{pnn}, \quad (2)$$

де p_p, p_{pnn} — поточний і початковий тиск в порожнині нагнітання; v_p, v_{pnn} — поточний і початковий питомий об'єм в порожнині нагнітання; n — показник політропи.

Розкриємо значення початкового і поточного тиску в рівнянні (2), скоротивши дріб на значення площі поршня:

$$p_p = ((x_{01} + x_{nn}) / (x_{01} + x))^n \cdot p_{pnn}, \quad (3)$$

де x_{01} , x_{mn} , x — початкова координата, координата точки перемикання та поточна координата переміщення поршня в порожнині вихлопу відповідно.

Тиск у вихлопній порожнині пневмоциліндра буде змінюватися за більш складною формулою через приєднання до неї на початковому етапі гальмування додаткового об'єму (ресиверу). Припустимо, що при об'єднанні додаткового об'єму і вихлопної порожнини пневмоциліндра, повітря з цих порожнин не перемішується, тоді відповідно до політропного закону зміни стану газу зміна тиску описується системою рівнянь (4):

$$\begin{cases} p_e \cdot v_e^n = p \cdot v_1^n; \\ p_{ak} \cdot v_{ak}^n = p \cdot v_2^n, \end{cases} \quad (4)$$

де v_e , v_{ak} — питомий об'єм повітря вихлопної порожнини пневмоциліндра і додаткового обсягу; v_1, v_2 — питомі об'єми повітря вихлопної порожнини пневмоциліндра і додатковий об'єм, з'єднані в єдиний об'єм з параметром p ; p_e , p_{ak} , p — тиск у вихлопній порожнині пневмоциліндра, додатковому і в об'єднаному об'ємах відповідно [2].

Розкриємо значення питомих об'ємів у системі рівнянь (4) та отримуємо зміну тиску в них:

$$\begin{cases} p_e \cdot v_e^n = p \cdot v_1^n \Rightarrow p_e \cdot \left(\frac{V_e}{m_e}\right)^n = p \cdot \left(\frac{V_1}{m_e}\right) \Rightarrow \\ \Rightarrow V_e (p_e)^{\frac{1}{n}} = V_1 \cdot p^{\frac{1}{n}}; \\ p_{ak} \cdot v_{ak}^n = p \cdot v_2^n \Rightarrow p_{ak} \cdot \left(\frac{V_{ak}}{m_{ak}}\right)^n = p \cdot \left(\frac{V_2}{m_{ak}}\right) \Rightarrow \\ \Rightarrow V_{ak} \cdot (p_{ak})^{\frac{1}{n}} = V_2 \cdot (p)^{\frac{1}{n}}, \end{cases} \quad (5)$$

де V_e , V_{ak} — об'єми вихлопної порожнини пневмоциліндра і додаткового об'єму; V_1, V_2 — об'єми, які займають повітря (не перемішуючи) з вихлопної порожнини пневмоциліндра і додаткового об'єму при їх з'єднанні в єдиний об'єм з параметром p ; m_e , m_{ak} — маса стисненого повітря у вихлопній порожнині пневмоциліндра і додатковому об'ємі відповідно [3].

Приклад застосування отриманих результатів. Для рекуперації енергії стисненого повітря в приводах дозувальних пристроїв була розроблена пневматична схема їх керування (рис. 3), виготовлена експериментальна установка та проведений багатофакторний експеримент (рис. 4).

Експериментальна установка надає можливість фіксувати зміну тисків у порожнинах пневмоциліндра в реальному часі. Для цього було розроблено спеціальне програмне забезпечення та використано блок перетворення сигналів (4). Приклад отриманих результатів зміни тисків для пневмоциліндра діаметром 32 мм показаний на рис. 5.

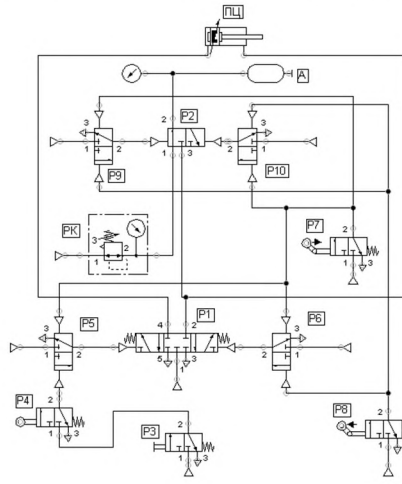


Рис. 3. Принципова пневматична схема з функцією рекуперації енергії для керування дозувальними пристроями пакувального обладнання

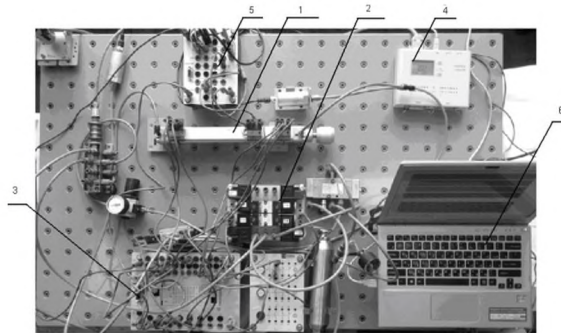


Рис. 4. Загальний вигляд експериментальної установки для дослідження роботи пневмопривода з функцією рекуперації енергії: 1 — пневматичний привід; 2 — розподільники виконавчої системи; 3 — контролер системи керування; 4 — блок аналого-цифрових та цифро-аналогових перетворювань; 5 — датчики тиску; 6 — комп'ютер для знімання показників роботи системи

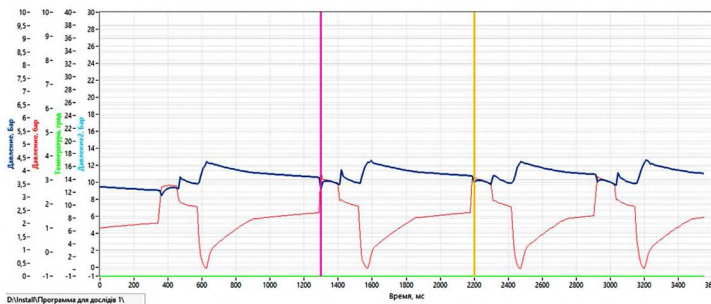


Рис. 5. Результати експериментальних досліджень зміни тисків для пневмоциліндра діаметром 32 мм

Поряд з експериментальними дослідженнями були проведені аналітичні дослідження та визначено залежність величини рекуперації енергії від часу роботи, оцінено ступінь впливу факторів на швидкість переміщення фасувальною платформи (рис. 6). За результатами аналітичних досліджень отримано критеріальне рівняння для визначення часу циклу роботи пневмопривода з функцією рекуперації енергії (6):

$$t = 14.378 - 0.1059 \cdot F - 3.242 \cdot P_p + 0.0259 \cdot F \cdot P_p + 0.9555 \cdot P_m \cdot P_p - 0.0076 \cdot P_m \cdot P_p \cdot F, \quad (6)$$

де t — час циклу роботи пневмопривода, с; F — сила опору, Н; P_m — тиск магістралі, бар; P_p — тиск в ресивері, бар.



Рис. 6. Результати аналітичних досліджень рекуперації енергії від часу роботи за допомогою програми FluidSIM-P

Висновки. Аналіз результатів аналітичних та експериментальних досліджень дозволив перевірити ефективність запропонованої схеми керування для функції рекуперації енергії та визначити оптимальне початкове значення тиску в додатковому об'ємі (ресивері). Встановлено, що при початковому тиску стисненого повітря в додатковому об'ємі більше 0,4 МПа його величина не впливає на якість роботи пневматичної системи. Зменшення початкового тиску стисненого повітря призводить до суттєво впливу на кінематичні характеристики руху пневмопривода, а час виконання технологічної операції залежить від величини додаткового об'єму.

ЛІТЕРАТУРА

1. Gavva, O. Scientific bases of method of synthesis for the structure of machines that provide packing process by foodstuffs / O. Gavva, L. Kryvoplyas-Volodina, M. Maslo // Ukrainian Journal of Food Science. — 2014. — №2 — P. 89—96.
2. Пашков, Е.В. Промышленные механотронные системы на основе пневмопривода: учебн. / Е.В. Пашков, Ю.А. Осинский. — Сев.: СевНТУ, 2007. — 401 с.
3. Кривошляк-Володіна, Л.О. Оцінка витратних характеристик пневмосопла для технологічного процесу / Л.О. Кривошляк-Володіна, Г.Р. Валіулін, В.М. Любімов // Харчова промисловість. — 2015. — № 18. — С. 137—141.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПНЕВМОПРИВОДА С ФУНКЦИЕЙ РЕКУПЕРАЦИИ ЭНЕРГИИ В УСТРОЙСТВАХ УПАКОВОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

О.Н. Горчакова, Н.В. Якимчук, Л.И. Иванова, В.Н. Якимчук
Национальный университет пищевых технологий

В статье предложена пневматическая схема управления дозировочным устройством с функцией рекуперации энергии, разработана математическая модель астатических процессов, протекающих при торможении выходного звена пневмопривода в полутвердых фасовочных устройствах упаковки путем движения воздуха в дополнительный объем (ресивер).

Ключевые слова: пневмопривод, рекуперация энергии, мехатронный модуль, упаковочное оборудование, дозирующее устройство.