

УДК 621.87

RESEARCH OF THE PNEUMATIC HOSE SHUTTER IN MECHATRONIC SYSTEMS OF THE DOSAGE OF LIQUID FOODSTUFFS

O. Gorchakova, M. Iakymchuk
National University of Food Technologies

Key words:

dosing system,
pneumatic hose shutter,
mechatronic module,
effective area

Article history:

Received 21.02.2018
Received in revised form
12.04.2018
Accepted 31.05.2018

Corresponding author:

HorchakovaOM
@gmail.com

ABSTRACT

The creation of a new packaging equipment for the packaging of liquid products is universal at the changing the dose or packaging material is the main task of the present days which has a flexible structure. Its solution requires a systematic approach, which is starting with the development of the concept of designing dosing devices and finishing with the designs of actuators. Such a concept of the present days may be the concept of using the mechatronic principle of designing dosing equipment with using of a pneumatic hose shutter. The authors proposed the using of pneumatic hose gates in the structure of the mechatronic module for solving this problem. These article presents the analysis of constructions of hose gates and proposes the structural scheme of the mechatronic module for the dispensing of liquid food products. The paper presents a mathematical model of the calculation of the effective area of the passage section of the pneumatic hose shutter. The effective area of the passage section of the pneumatic hose shutter from the change in the inlet pressure has been experimentally investigated. The check of received analytical results by experimental researches is the advantage of the given material. Experimental installation was designed and manufactured for this purpose. The conducted experimental researches allowed to determination the dependence of the change in the effective area of the cross-section of normally open and normally closed pneumatic hose gates from the value of the input control pressure. It was found that this dependence has a nonlinear characteristic and is characterized by a small range of changing of the control pressure.

The obtained results may be further used in the design of new dosage devices on the mechatronic modules for liquid foods.

DOI: 10.24263/2225-2916-2018-23-18

ДОСЛІДЖЕННЯ ПНЕВМАТИЧНИХ ШЛАНГОВИХ ЗАТВОРІВ У МЕХАТРОНИЧНИХ СИСТЕМАХ ДОЗУВАННЯ РІДКИХ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

О.М. Горчакова, аспірант
М.В. Якимчук, д-р техн. наук
Національний університет харчових технологій

Створення нового пакувального обладнання для фасування рідких продуктів, яке має гнучку структуру та є універсальним при зміні дози чи матеріалу упа-

ковки, є важливим технічним завданням. Його вирішення потребує системного підходу, починаючи з розробки концепції проектування дозуючих пристроїв і закінчуючи конструкціями виконавчих механізмів. Такою концепцією може бути використання мехатронного принципу проектування дозувального обладнання з використанням пневматичного шлангового затвору. У статті наведено математичну модель розрахунку зміни ефективної площі прохідного перерізу пневматичного шлангового затвору. Експериментально досліджено цю площу залежно від зміни вхідного тиску. Отримані результати можливо в подальшому використовувати при проектуванні нових дозувальних пристроїв для рідин.

Ключові слова: система дозування, пневматичний шланговий затвор, мехатронний модуль, ефективна площа.

Постановка проблеми. Розвиток способів дозування рідкої харчової продукції безпосередньо пов'язаний з удосконаленням технології виробництва, підвищенням вимог до точності дозування, надійності та швидкодії дозаторів. Основними вимогами до нових зразків дозаторів є забезпечення як традиційних показників продуктивності, економічності (мінімальної вартості), надійності, так і технологічних показників: стабілізації миттєвих або середніх витрат при заданому їх значенні; зміна витрат за заданим законом (програмно) залежно від зміни параметрів технологічного процесу або об'єкта дозування.

На основі проведеного аналізу існуючих конструктивних схем обладнання для дозування рідкої продукції розроблено класифікацію пристроїв дозування та фасування рідкої продукції, яку наведено на рис. 1 [1].

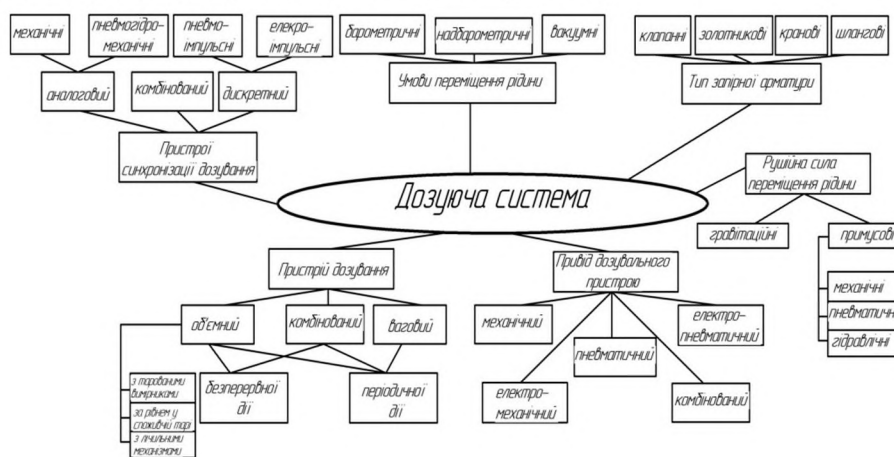


Рис. 1. Класифікація дозуючих систем

На основі аналізу встановлено, що для задоволення вимог виробників і споживачів, які виникають на споживчому ринку пакованої рідкої продукції, новітні дозатори повинні відповідати певній уніфікації, мати можливість швидкого переналагодження на різні величини дози залежно від зміни виду рідкої продукції та типу тари [2; 3].

Одним із перспективних напрямів розробки конструкцій нових дозаторів, які відповідають вищезазначеним вимогам, є використання пневматичних шлангових затворів. Характерною рисою керування шланговим затвором є змінний переріз, який можна регулювати за допомогою зміни тиску повітря.

На основі проведеного аналізу конструкцій шлангових затворів запропонована структурна схема мехатронного модуля для дозування рідких харчових продуктів (рис. 2).

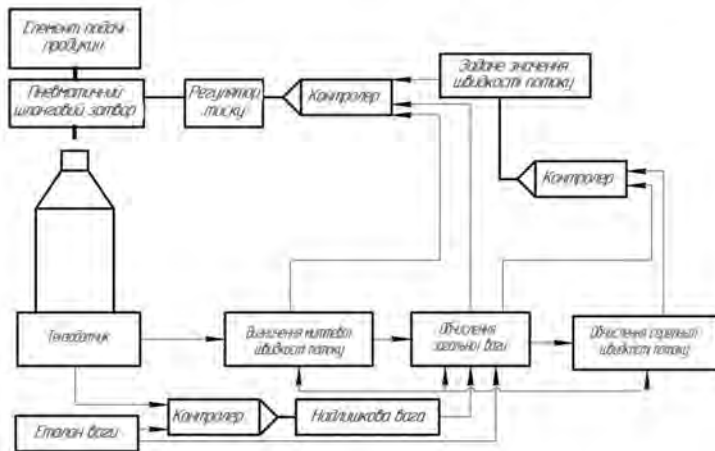


Рис. 2. Структурна схема мехатронного модуля для дозування рідких продуктів за допомогою пневматичного шлангового затвору

Процес наповнення упаковки рідкими харчовими продуктами в запропонованій структурній системі керування здійснює контролер, який аналізує миттєву та відносну швидкості потоку рідкої продукції та її вагу [4; 5]. На базі отриманих даних контролер за допомогою регулятора тиску контролює площу прохідного перерізу пневматичного шлангового затвору, через який подається потік рідкого харчового продукту і за рахунок чого відбувається суттєве підвищення точності дозування.

Мета дослідження полягає в розробленні математичної моделі розрахунку зміни ефективної площі прохідного перерізу пневматичного шлангового затвора як функції зміни тиску керування в системі дозування рідин.

Матеріали і методи. Для виконання досліджень було проаналізовано конструкції пневматичних шлангових затворів (рис. 3) та встановлено, що існує два типи пневматичних шлангових затворів, а саме: нормально відкритий (рис. 3а) та нормально закритий (рис. 3б) [6; 7].

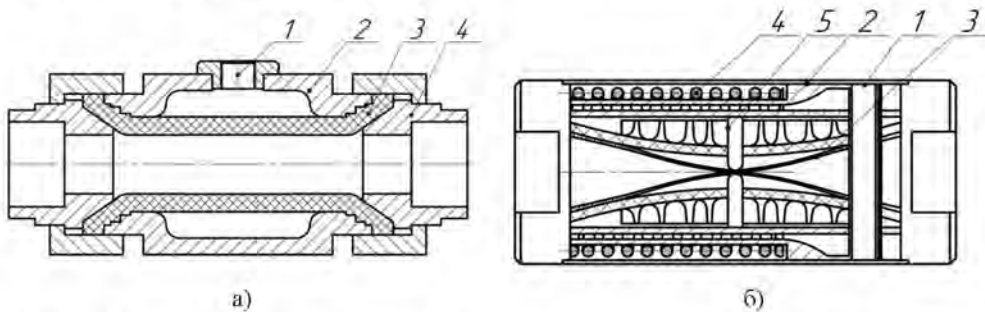


Рис. 3. Конструкція пневматичного шлангового затвору: а) нормально відкритий:

1 — патрубок подачі стисненого повітря; 2 — корпус; 3 — патрубок з еластичного матеріалу; 4 — фланець; б) нормально закритий: 1 — патрубок подачі стисненого повітря; 2 — корпус; 3 — патрубок з еластичного матеріалу; 4 — пружина; 5 — поршень

На першому етапі проектуванні мехатронного модуля для дозування рідких харчових продуктів було визначено залежності зміни ефективної площі перерізу прохідного патрубку шлангового затвору від тиску керування [8; 9].

Для розрахунку було розроблено розрахункову схему (рис. 4).

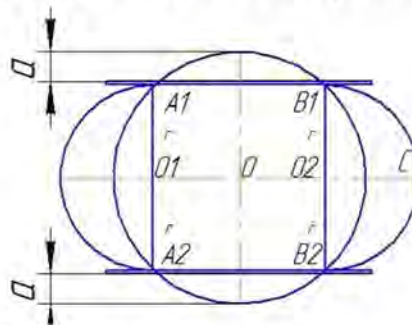


Рис. 4. Розрахункова схема роботи шлангового затвору

Якщо на затворі дозатора відсутнє стиснене повітря, то ефективна площа перерізу прохідного патрубку визначається за формулою:

$$f_0 = \pi R^2, \quad (1)$$

де R — внутрішній радіус патрубку.

При подачі стисненого повітря відбувається зміна форми ефективної площі на величину a від вихідного положення. Патрубок приймає форму, що складається з прямокутника $A_1A_2B_2B_1$ і двох півкіл з радіусом r .

Вважаючи, що периметр у середині патрубку в площині перетину не змінюється, то можна записати співвідношення:

$$2\pi R = 2A_1B_1 + 2\pi r. \quad (2)$$

З рис. 4 видно, що $r = R - a$ і відрізок

$$A_1B_1 = \pi a. \quad (3)$$

Тоді площа перетину частково перетисненого патрубку визначається за формулою:

$$f = 4A_1B_1 r + \pi r^2. \quad (4)$$

У результаті підстановки рівняння (3) та (4) в рівняння (2) було отримано величину зміни ефективної площі f як функцію від величини переміщення a :

$$f(a) = \pi(R^2 - a^2). \quad (5)$$

Змінювати площі прохідного перерізу затвору можливо регулюванням тиску в корпусі (рис. 3). При цьому прохідний переріз f може встановлюватися за рівнянням (5). Витрата рідини Q ($\text{м}^3/\text{год}$) через перетин затвору f (см^2) визначається як:

$$Q = 5,04 \cdot f \cdot \zeta^{-0,5} \left(\frac{\Delta P}{\rho} \right)^{1/2}, \quad (6)$$

де ζ — безрозмірний коефіцієнт опору; ΔP — перепад тиску на перерізі f .

Для перевірки адекватності результатів аналітичних досліджень було зроблено експериментальну установку (рис. 5) [10]. Для виконання експериментальних досліджень було обрано нормально відкритий шланговий затвор компанії АКО та нормально закритий шланговий затвор компанії FESTO з внутрішніми діаметрами 15 мм кожний. Зміна тиску в затворі виконувалась за допомогою регулятора тиску VPPX з аналоговим вихідним сигналом компанії FESTO.

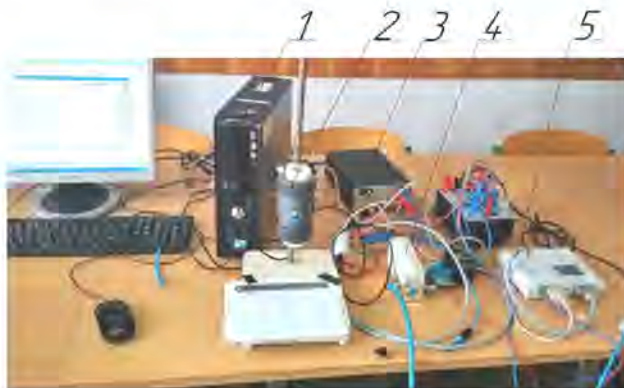


Рис. 5. Експериментальна установка для дослідження шлангових затворів:
1 — комп'ютер; 2 — нормально відкритий шланговий затвор (а); 2 — нормально закритий шланговий затвор (б); 3 — блок живлення; 4 — електронний датчик тиску; 5 — регулятора тиску VPPX

Результати досліджень нормально відкритого шлангового затвору наведені у вигляді графіків (рис. 6).

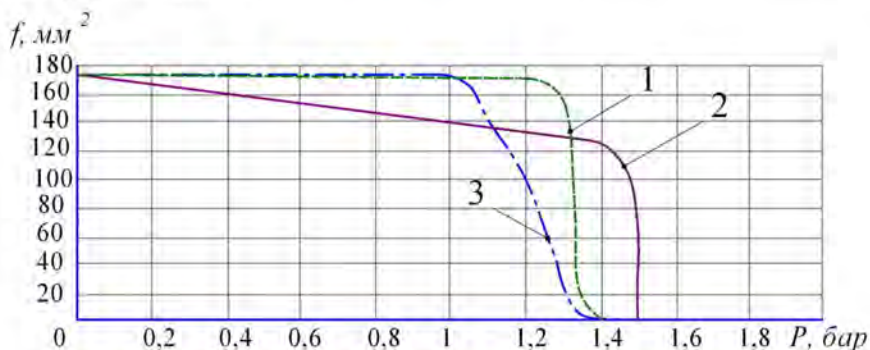


Рис. 6. Графік зміни ефективної площі нормально відкритого шлангового затвору (f) від вхідного керуючого тиску (P):
1 — аналітичні дослідження; 2 — закривання; 3 — відкривання

З графіка 6 випливає, що на етапі закривання шлангового затвору (крива 2) ефективна площа перерізу змінюється лінійно до значення тиску $P = 1,48$ бар, після чого відбувається її різке зменшення за незначної зміни тиску, клапан

закривається. На етапі відкривання шлангового затвору (крива 3) ефективна площа перерізу не змінюється до значення тиску $P = 1$ бар, після чого відбувається плавне зменшення ефективної площі перерізу до тиску $P = 1,36$ бар, клапан повільно відкривається.

Результати досліджень нормально закритого шлангового затвору наведені у вигляді графіків (рис. 7).

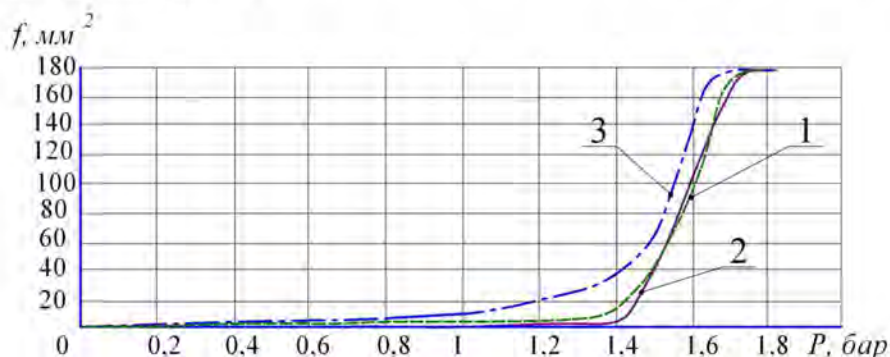


Рис. 7. Графік зміни ефективної площі нормально закритого шлангового затвору (f) від вхідного керуючого тиску (P):
1 — аналітичні дослідження; 2 — відкривання; 3 — закривання

У результаті обробки експериментальних досліджень нормально закритого шлангового затвору (рис. 7) було встановлено, що межі зміни ефективної площі під час відкривання (крива 2) затвору є значними. Однак на етапі закривання шлангового затвору (крива 3) ефективна площа перерізу різко зменшується за незначної зміни тиску до значення тиску $P = 1,3$ бар, після чого процес закривання відбувається повільно.

Висновки. На основі проведених аналітичних та експериментальних досліджень роботи нормально відкритого та нормально закритого шлангових затворів було розроблено математичну модель розрахунку зміни їх ефективної площі прохідного перерізу від величини вхідного керуючого тиску та перевірено її адекватність експериментальними дослідженнями. Встановлено, що залежності мають нелінійні характеристики та характеризуються малим діапазоном зміни керуючого тиску. Цей факт суттєво і негативно впливає на алгоритм роботи системи керування мехатронного модуля з пневматичним шланговим затвором та вибір її елементів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пакувальне обладнання : підручник / О.М. Гавва, А.П. Беспалько, А.І. Волчко, О.О. Кохан. — К. : ІАЦ Упаковка, 2010. — 746 с.
2. Методологія проектування пакувальних машин на основі мехатронних модулів / О.М. Горчакова, М.В. Якимчук, А.В. Деренівська, А.П. Беспалько // Харчова промисловість. — 2016. — № 19. — С. 105—112.
3. Якимчук М.В. Шляхи та способи заощадження енергії в пневмоприводах пакувальних машин / М.В. Якимчук, О.М. Гавва, А.П. Беспалько, О.М. Горчакова // V Міжнародна спеціалізована всеукраїнська науково-практична конференція «Ресурсо- та енергоощадні технології виробництва і пакування харчової продукції — основні засади її конкурентоздатності» (НУХТ, Київ, Україна, 14 вересня 2016 р.). — К. : НУХТ, 2016. — С. 18—20.

4. Якимчук М.В. Мехатроніка — шлях розвитку пакувальних машин IV та V поколінь/ М.В. Якимчук, О.М. Гавва // Упаковка. — 2015. — № 5. — С. 38—41.
5. Якимчук М.В. Функціонально модульне проектування машин: моногр. / О.М. Гавва, М.В. Якимчук, Л.О. Кривопляс-Володіна [та ін.]. — К. : Видавництво «Сталь», 2015. — 547 с.
6. Каталог продукции АКО Corporation. Пневматические шланговые задвижки [Электронный ресурс]. — Дата доступа: 03.03.2018. — Режим доступа : <https://www.perezhimnoj-klapan.ru/materialy-dlja-zagruzki.html>.
7. Гуревич Д.Ф. Расчет и конструирование трубопроводной арматуры / Д.Ф. Гуревич. — Москва : ЛКИ, 2008. — 480 с.
8. Жавнер В.Л. Мехатронные принципы проектирования технологического оборудования / В.Л. Жавнер, А. Б. Смирнов // Конструктор-машиностроитель. — 2008. — № 3. — С. 12—15.
9. Яцун С.Ф. Динамические режимы движения клапана прецизионного дозатора жидких сред [Текст] / С.Ф. Яцун, Ж.Т. Жусубалиев, О.В. Емельянова [и др.] // Изв. вузов. Серия «Машиностроение». — 2008. — № 8. — С. 37—48.
10. Проектування пакувального обладнання із мехатронних модулів./ М.В. Якимчук, О.М. Гавва, А.П. Беспалько та ін. — К. : Видавництво «Сталь», 2017. — 515 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ШЛАНГОВЫХ ЗАТВОРОВ В МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМАХ ДОЗИРОВАНИЯ ЖИДКИХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

О.Н. Горчакова, Н.В. Якимчук

Национальный университет пищевых технологий

Создание нового упаковочного оборудования для фасовки жидких продуктов, которое имеет гибкую структуру и является универсальным при изменении дозы или материала упаковки, — основная задачей сегодняшнего дня. Ее решение требует системного подхода, начиная с разработки концепции проектирования дозирующих устройств и заканчивая конструкциями исполнительных механизмов. Такой концепцией в настоящем может быть концепция использования мехатронного принципа проектирования дозирующего оборудования с использованием пневматического шланговой затвора. В работе приведены математическая модель расчета изменения эффективной площади проходного сечения пневматического шлангового затвора. Экспериментально исследовано эффективную площадь проходного сечения пневматического шланговой затвора от изменения входного давления. Полученные результаты можно в дальнейшем использовать при проектировании новых дозирующих устройств для жидкостей.

Ключевые слова: система дозирования, пневматический шланговые затвор, мехатронных модуль, эффективная площадь.