

УДК 621.87

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF THE PRESSURE OF LIQUID FOOD PRODUCTS ON THE MOVEMENT LAW OF THE VALVE OF PRECISION DOSING APPARATUS

M. Iakymchuk, O. Horchakova, S. Tokarchuk, G. Valiulin
National University of Food Technologies

Key words:

dosing,
liquid food,
valve,
pressure,
precision dispenser

Article history:

Received 02.10.2018
Received in revised form
29.10.2018
Accepted 22.11.2018

Corresponding author:

HorchakovaOM
@gmail.com

ABSTRACT

The change in pressure of a liquid food product in the dosing channel on the laws of the movement of the valve of the precision dispenser discusses in the article. It has been established that the dosage of a liquid food product is a complex process which is connected with non-stationary modes of opening and closing of the actuating device. The quality of such a process essentially depends on the kinematic and dynamic parameters of the movement of a liquid food product.

The most important part of the dosing system is the locking element at the dosing liquid food product which is in direct contact with the dosed liquid. The conical and cylindrical locking elements are the most common. Traditionally, linear, parabolic and step laws of motion are used to implement the movement of the locking element. The listed laws of motion consist of three main stages: from opening, idle and closing. The most accurate for dosing is the parabolic law of motion of the dispenser valve which ensures the smoothness of that valve in the final stage.

According to the results of analytical researches it was found that there is a sharp increasing in pressure in the dosing channels at the time of closing. This phenomenon is accompanied by a hydraulic shock on the valve which is characterized by a significant excess of the nominal pressure in the hydraulic system. The authors proposed to implement the fourth stage of the movement of the check valve for high-quality work of a control system of the dispenser. This will affect the transient, which is crucial for the accuracy of dosing.

The results can be further used in the design of the new generation precision dispensers control systems, which implement the specified laws of motion of the valve.

DOI: 10.24263/2225-2916-2018-24-18

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТИСКУ РІДКОГО ХАРЧОВОГО ПРОДУКТУ НА ЗАКОН ПЕРЕМІЩЕННЯ КЛАПАНА ПРЕЦЕНЗІЙНОГО ДОЗАТОРА

М.В. Якимчук, д-р техн. наук

О.М. Горчакова, аспірант

С.В. Токарчук, канд. техн. наук

Г.Р. Валіулін, канд. техн. наук

Національний університет харчових технологій

У статті розглядаються впливи змін тиску рідкого харчового продукту в каналі дозування на закони переміщення клапана прецензійного дозатора. В результаті досліджень отримано аналітичну модель зміни тиску в каналах дозувального пристрою для випадку закриття клапану дозатора рідкого харчового продукту. Отримані результати можливо в подальшому використовувати при проектуванні системи керування прецензійних дозаторів нового покоління, які реалізують задані закони руху.

Ключові слова: дозування, рідкий харчовий продукт, клапан, тиск, прецензійний дозатор.

Постановка проблеми. Нині в лініях пакування широкого застосування набули прецензійні дозуючі пристрої, призначені для відмірювання і видачі заданої кількості продукту у вигляді порцій [1]. Основними перевагами таких пристроїв є забезпечення підвищених вимог до точності дозування, надійності, швидкодії експлуатації, а також можливості швидкого переналадження. Пристрої використовуються для різних харчових продуктів, серед яких найбільш розповсюдженими є рідкі.

Дозування рідкого харчового продукту є складним процесом, пов'язаним з нестационарними режимами відкриття і закриття виконавчого пристрою дозатора. Якість такого процесу суттєво залежить від кінематичних і динамічних параметрів руху рідкого харчового продукту, що впливає на реалізацію заданого закону руху запірнього елемента. Для його здійснення необхідною умовою є дослідження впливу тиску на клапан у каналах дозуючого пристрою.

Мета дослідження полягає у дослідженні закономірностей впливу тиску рідкого харчового продукту в каналі дозування на закон переміщення клапана прецензійного дозатора.

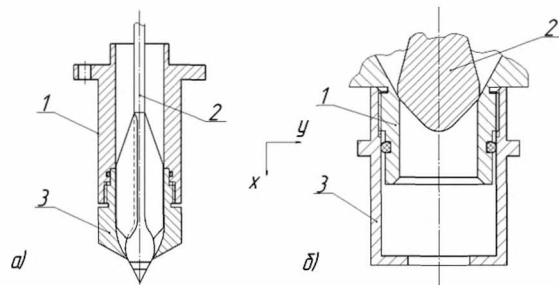


Рис. 1. Конструкції запірних елементів прецензійних дозаторів:

а) конусний; б) циліндричний: 1 — корпус; 2 — клапан; 3 — насадка

Матеріали і методи. При дозуванні рідких харчових продуктів найбільш відповідальною ланкою системи дозування є запірний елемент, що знаходиться в безпосередньому контакті з рідиною, що дозується [2]. Форма запірних елементів у прецензійних дозаторах залежить від продуктивності. Найбільш поширеними є запірні елементи конусної та циліндричної форм (рис. 1). Робота прецензійних дозаторів передбачає переміщення клапанів і складається з двох етапів:

перший етап — швидке формування основної частини дози продукції, другий — реалізація точності дози. Визначено, що найбільш розповсюдженим є запірний клапан конусної форми [3].

Традиційно для реалізації руху запірного елемента використовуються лінійний (рис. 2а), параболічний (рис. 2б) та ступневий (рис. 2в) закони руху. Перераховані закони руху складаються з трьох основних етапів: відкриття, виствою та закриття. Час відкриття клапана (t_0) дозатора є найменшим. Час виствою (t_{BC}) дозатора залежить від об'єму упаковки, що наповнюється. Найбільш вагомим є час закриття клапана (t_1) дозатора, який суттєво впливає на точність дозування та на продуктивність дозатора.

На основі аналізу науково-технічної літератури [4] можна стверджувати, що найбільш точним для дозування є параболічний закон руху клапана дозатора (рис. 2б), який забезпечує його плавність на кінцевому етапі дозування (t_1). Схему потоків рідини в дозаторі в момент закриття клапана за параболічним законом руху показано на рис. 3.

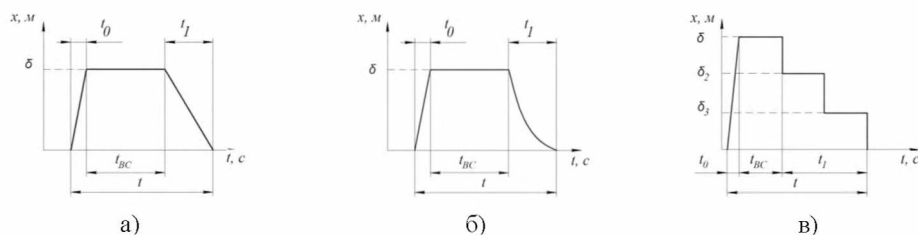


Рис. 2. Типові закони руху клапана прецезійного:

- а — лінійний; б — параболічний; в — ступневий; t_0 — час відкриття клапана дозатора;
 t_1 — час закриття клапана дозатора; t_{BC} — час відкритого стану клапана дозатора;
 t — час дозування одиничної дози; δ_1 — переміщення клапана дозатора

Для математичної моделі були прийняті такі припущення: рідкий харчовий продукт розглядається як нестислива в'язка рідина [5]; густина рідкого харчового продукту залишається незмінною при зміні тиску, тобто $\rho = const$.

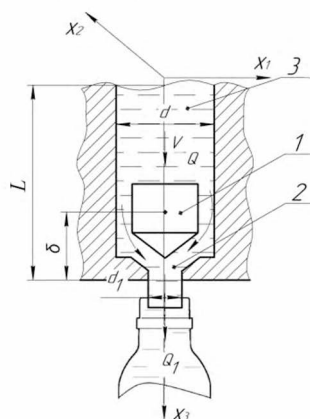


Рис. 3. Схема потоків рідкого харчового продукту в дозаторі в момент закриття клапана:

- 1 — клапан дозатора; 2 — спрощена модель каналу системи подачі рідкого харчового продукту;
 3 — рідкий харчовий продукт; Q — об'єм дозатора; Q_1 — об'єм рідкого харчового продукту, що дозується в упаковку; V — швидкість руху рідини; d — внутрішній діаметр дозатора; d_1 — діаметр вихідного отвору; L — висота дозатора з патрубками; δ — переміщення клапана дозатора

Результати досліджень. Диференціальне рівняння руху рідини між клапаном і конусом дозатора, відповідно до вибраної системи координат, описується рівнянням:

$$\frac{dV}{dt} = -\frac{dp}{dx_3} \frac{1}{\rho} + 2nV, \quad (1)$$

де: ρ — густина рідкого харчового продукту; $2nV$ — сила в'язкого опору, де $n = \frac{2v}{\Delta^2}$, де Δ — висота пограничного шару рідкого харчового продукту; v — кінематичний коефіцієнт в'язкості.

Рух клапана на етапі закривання відбувається за параболічним законом:

$$x = at^2/2 + bt + c. \quad (2)$$

Відповідно, швидкість клапана на цьому етапі:

$$V = \frac{dx}{dt} = at + b. \quad (3)$$

Зміна тиску в циліндричному каналі між клапаном і корпусом дозатора описується рівнянням:

$$\frac{dp}{dx} = 2nV\rho - \frac{dV}{dt}\rho = 2n\rho at + 2n\rho b - \frac{dV}{dt}\rho. \quad (4)$$

Початковими умовами на другому етапі руху є час $t = 0$, координата та швидкість клапана $x=0$; $V = V_0$; $p = p_0$. Кінцевими умовами етапу закриття є $t = t_1$, $x = L$, $V = 0$.

Підставимо початкові умови $b = V_0$, $a = -\frac{b}{t_1} = -\frac{V_0}{t_1}$ в рівняння (3) та отримаємо зміну швидкості:

$$V = -\frac{V_0 t}{t_1} + V_0 = V_0 \left(1 - \frac{t}{t_1}\right). \quad (5)$$

Підставимо вираз (5) в рівняння (4) та отримаємо зміну тиску:

$$\frac{dp}{dx} = 2n\rho V_0 \left(1 - \frac{t}{t_1}\right) + \rho \frac{V_0}{t_1}. \quad (6)$$

Проінтегруємо рівняння (6) та визначимо тиск:

$$p = \int \left[\rho \frac{V_0}{t_1} + 2n\rho V_0 \left(1 - \frac{t}{t_1}\right) \right] dx, \quad (7)$$

з урахуванням форми каналу:

$$p = \rho \frac{V_0}{t_1} x + 2n\rho V_0 \left(1 - \frac{t}{t_1}\right) x + C. \quad (8)$$

У рівнянні (8) визначимо постійну інтегрування C підставимо початкові умови та отримаємо:

$$C = p_0. \quad (9)$$

Підставимо рівняння (9) в рівняння (8) та отримаємо зміну тиску:

$$p = \rho \frac{V_0}{t_1} x + 2n\rho V_0 \left(1 - \frac{t}{t_1}\right) x + p_0. \quad (10)$$

Визначимо величину тиску в момент закриття клапану, що відповідає кінцевим умовам: $x = L$ та $t = t_1$:

$$\Delta p = p - p_0 = \rho \frac{V_0}{t_1} L. \quad (11)$$

Аналітичні розрахунки досліджень за запропонованою методикою представимо у вигляді графіка зміни тиску в каналі дозування від часу переміщення клапана дозатора.

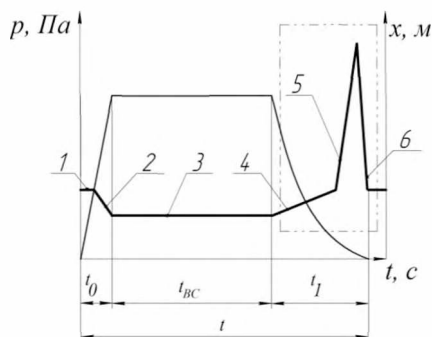


Рис. 4. Графік залежності зміни величини тиску в каналі дозування як функція від часу та переміщення клапана дозатора:

1 — тиск рідкого харчового продукту на закритий клапан;

2 — падіння тиску під час відкриття клапану;

3 — тиск рідкого харчового продукту на відкритий клапан;

4 — тиск, на початковому етапі закриття клапану;

5 — різке збільшення тиску в момент закриття клапану (гідроудар);

6 — зниження тиску після гідроудару та його нормалізація;

t_0 — час відкриття клапана дозатора; t_1 — час закриття клапана дозатора;

$t_{вс}$ — час відкритого стану клапана дозатора; t — час дозування одиничної дози

Висновки. За результатами аналітичних досліджень було встановлено, що в момент закриття клапана дозатора відбувається різке збільшення тиску в каналах дозування. Таке явище супроводжується гідроударом рідини об клапан, що характеризується перехідними процесами, які призводять до значного перевищення номінального тиску в гідросистемі, і, як наслідок, збільшення похибки точності дозування. Для якісної роботи системи керування дозатором запропоновано реалізувати четвертий етап руху запірного клапана, що буде реагувати на перехідний процес, який є визначальним для точності дозування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пакувальне обладнання: підручник / О.М. Гавва, А.П. Беспалько, А.І. Волчко, О.О. Кохан. — К. : ІАЦ Упаковка, 2010. — 746 с.
2. Гвоздев О.В. Обгрунтування конструкції запорного клапану дозатора — наповнювача рідких продуктів / О.В. Гвоздев, І.М. Ялоха // Праці Таврійської державної агротехнічної академії — Мелітополь: ТДАТА. — 2001. — Вип. 1. — Т.23. — С. 40—44.
3. Gorchakova O. Research of mechatronic modules of dosing weighing devices for liquid products / O. Gorchakova, M. Iakymchuk, O.Gavva, B. Mykhailiyk // Journal of Food and Packaging Science, Technique and Technologies. — 2017. — № 12. — P. 27—32.
4. Зайчик Ц.Р. Упаковывание тихих напитков в бутылки / Ц.Р. Зайчик, В.А. Трунов — М. : ДеЛи, 2000. — 206 с.
5. 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.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДАВЛЕНИЯ ЖИДКИХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ НА ЗАКОН ПЕРЕМЕЩЕНИЯ КЛАПАНА ПРЕЦЕНЗИОННОГО ДОЗАТОРА

Н.В. Якимчук, О.Н. Горчакова, С.В. Токарчук, Г.Р. Валиулин
Национальный университет пищевых технологий

В статье рассматривается изменение давления жидкого пищевого продукта в канале дозирования на законы перемещения клапана прецизионные дозатора. В результате исследований была получена аналитическая модель изменения давления в каналах дозирующего устройства в случае закрытия клапана дозатора жидкого пищевого продукта.

Полученные результаты можно в дальнейшем использовать при проектировании системы управления прецизионных дозаторов нового поколения, которые реализуют заданные законы движения клапана.

Ключевые слова: дозирования, жидкий пищевой продукт, клапан, давление, прецизионный дозатор.