

УДК 621.87

EXPERIMENTAL STUDIES OF STATIC HYDRAULIC HYSTERESIS PHENOMENON IN METERING MECHATRONIC MODULE

S. Tokarchuk, L. Krivoplas-Volodina, G. Valiulin*National University of Food Technologies***Key words:**

packaging,
dosage,
functional mechatronics
module,
viscous products,
machine

Article history:

Received 14.04.2021

Received in revised form
12.05.2021

Accepted 01.06.2021

Corresponding author:

tmpt_xp@ukr.net

ABSTRACT

The task of improving and developing machines and their elements are relevant at any stage of their life cycle. Along with ensuring the value of the specified productivity, one of the main tasks that they are trying to solve when synthesizing the structural and structural schemes of machines is to minimize the costs of their production and operation. The cost of the equipment is proportional to its metal consumption and energy supply. In addition, taking into account the realities of today and the constant increase in the cost of energy carriers, one of the main components of operating costs is the consumption of electricity by equipment.

The paper presents a study of the operating parameters of the functional mechatronics module for dosing viscous products. The operation of the module is based on the erlift volumetric method of dosing and the use of an electro-pneumatic automatic control system. This involves connecting a control device (multi-channel proportional pressure regulator ER Camozzi) to the object and introducing it into the feedback system. The task of the regulator is to control the actuator so that the inconsistency signal is reduced to zero in the presence of disturbances.

A laboratory plant was developed and constructed to carry out a set of experimental studies. Based on the obtained results of experimental studies, characteristics of the process of processing a viscous food product in the proposed FMM system are obtained. Repeat ability was maintained when the dosage time interval was changed. This indicates that it is possible to dosing the same volume of product over a predetermined processing time.

Proposed design of functional mechatronics module in comparison with “classical” scheme of piston volume dosage has several advantages. The product jet supply is implemented for a wide range of viscous food products with ensuring high quality indicators of the dosing process and ease of installation and operation. Also, there is a decrease in material consumption and power consumption due to the absence of a pneumatic drive system and shutoff valves.

DOI: 10.24263/2225-2916-2021-29-15

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЯВИЩА СТАТИЧНОГО ГІДРАВЛІЧНОГО ГІСТЕРЕЗИСА В ДОЗУВАЛЬНОМУ МЕХАТРОННОМУ МОДУЛІ

С. В. Токарчук, канд. техн. наук

Л. О. Кривопляс-Володіна, д-р техн. наук

Г. Р. Валіулін, канд. техн. наук

Національний університет харчових технологій

Завдання вдосконалення та розвитку машин та їх елементів є актуальним на будь-якому етапі їх життєвого циклу. У статті представлено дослідження параметрів роботи функціонального мехатронного модуля дозування в'язкої продукції, роботу якого засновано на основі ерліфтного об'ємного способу формування дози та використання електропневматичної системи автоматичного керування. Запропоноване виконання функціонального мехатронного модуля може застосовуватись для широкого асортименту в'язких харчових продуктів із забезпеченням високих показників якості процесу дозування.

Ключові слова: пакування, дозування, функціональний мехатронний модуль, в'язкі продукти, машина.

Постановка проблеми. Сегмент пакувального обладнання, призначеного для дозування та пакування в'язких харчових продуктів, доволі широкий. Це зумовлено як різницею реологічних властивостей пакованих продуктів, так і використанням різних видів і типів пакувань [1]. При цьому існує доволі велика кількість конструктивних схем фасувальних машин, складові елементи яких вже застаріли як фізично, так і морально.

Питанням, пов'язаним з дослідженням процесу пакування в'язких продуктів й особливостям виконання функціональних модулів пакувальних машин цієї групи в тій чи іншій мірі присвячені наукові праці В. Н. Шувалова, Д. В. Аристова, В. А. Благодарського, Б. Е. Бройдо, С. В. Харламова, А. І. Соколенка, О. М. Гавви, В. М. Мусійчука та інших. Аналіз цих досліджень дав змогу стверджувати, що повсючасно актуальною є проблема розробки нового обладнання, яке б не лише гарантувало високі показники продуктивності праці, але й було б надійним і довговічним, дало змогу зменшити собівартість продукції.

Поряд із забезпеченням величини заданої продуктивності одним з головних завдань, яке намагаються розв'язати під час синтезу структурних і конструктивних схем машин, є мінімізація витрат на їх виробництво та експлуатацію. Вартість обладнання пропорційна його металомісткості та енергозабезпеченості. Крім того, з урахуванням реалій сьогодення і постійним зростанням вартості енергоносіїв, однією з головних складових експлуатаційних затрат є споживання обладнанням електроенергії. Отже, мінімізація енерговитрат — один з основних критеріїв, що характеризує вибір раціональних параметрів машини.

Саме тому нагальною є потреба в розробленні окремих фасувальних мехатронних модулів (ФММ) машин для пакування в'язких продуктів, які б не лише забезпечували задані вимоги виробництва із функціональності, продуктивності і якості для пакованої продукції, але й забезпечували можливість мінімізації виробничих та експлуатаційних витрат.

Мета статті: дослідження параметрів ФММ дозування в'язких харчових продуктів на основі ерліфтного об'ємного способу формування дози.

Матеріали і методи. Об'єктом дослідження обрано ФММ, призначений для дозування в'язких харчових продуктів на основі ерліфтного об'ємного способу формування дози, та процеси, які відбуваються в елементах фасувального мехатронного модуля під час відокремлення та переміщення дози в'язкої харчової продукції. В ході обробки теоретичних та експериментальних результатів застосовано декілька методів обробки: аналітичний, математичного моделювання, порівняльний, теоретико-емпіричний.

Результати дослідження. Використання «класичного» дозатора на основі поршневої системи є виправданим для продуктів середньої та високої в'язкості (згущене молоко, сметана, мед, йогурт тощо) [2]. У той же час для таких продуктів, як кефір, питний йогурт без наповнювачів, олія тощо (продукти відносно невисокої в'язкості) доречною є розробка новітніх дозувальних пристроїв. Можливим вирішенням цієї проблеми, на нашу думку, є використання систем, у яких як робочий орган, необхідний для примусової подачі продукції, буде виступати стиснене повітря. Це дасть змогу як зменшити масу функціонального модуля дозування, так і підвищити його продуктивність за рахунок усунення холостого ходу.

З метою вирішення поставленого завдання розроблено ФММ дозування, спрощену схему якого наведено на рис. 1 [3]. У запропонованому конструктивному виконанні реалізована система автоматичного регулювання та контролю параметрів технологічного процесу: тиск, об'ємні витрати; час дозування; швидкість підведення потоку продукту в системі продуктопроводу. Ефект оптимального регулювання дозами в'язкого харчового продукту досягається за допомогою введення в систему керування пропорційної техніки.

ФММ дозування в'язкого продукту (рис. 1) складається із: живильника подачі 1, який включає ємність в'язким продуктом 15 та ежектор 14, мехатронний блок керування 2 із системою зворотного зв'язку, дозувально-фасувального модуля 3, до складу якого входять корпус 4, шток 5, сідло 6, клапан 7, втулка 8, пружина 9, манжета 10, електропневматичний привод 11, автоматичний запірний клапан 12, фасувальний патрубок (насадка) 13.

Модуль працює таким чином: в'язкий продукт надходить із ємності 15 живильника подачі 1 за рахунок подачі стисненого повітря через ежектор 14, що призводить до захоплення продукту та формування на виході струменя. Продукт через автоматичний запірний клапан 12 подається до дозувально-фасувального модуля 3. Під час подачі стисненого повітря до електропневматичного приводу 11 шток 5 піднімається і клапан 7 відходить від сідла 6, відкриваючи таким чином канал виходу продукту крізь фасувальний патрубок 13. Після припинення подачі стисненого повітря шток 5 та клапан 7 повертаються у початкове положення за допомогою пружини 9, яка перемішує втулку 8 донизу відносно корпуса 4.

Для захисту приводних елементів від потоку продукту передбачено манжету 10. Швидкість та величина переміщення клапана 7 відносно сідла 6 регулюється мехатронним блоком керування 2 із системою зворотного зв'язку за значенням зміни тиску, що, у свою чергу, дає змогу забезпечити безступінчасту зміну інтенсивності та характеру потоку продукту на виході із фасувального патрубку 13.

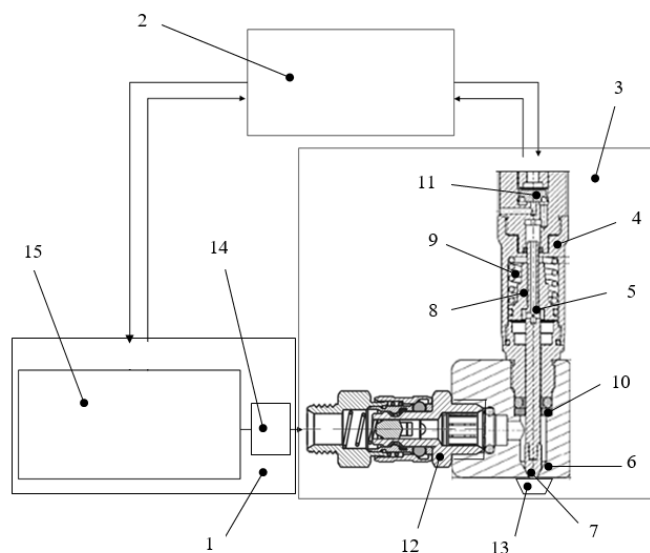


Рис. 1. Спрощена схема функціонального мехатронного модуля дозування

З метою подальшого вдосконалення та спрощення конструктивного виконання розробленого ФММ запропоноване його конструктивне виконання на основі реалізації ерліфтного підведення в'язких харчових продуктів і використання електропневматичної системи автоматичного керування. Це передбачає підключення до об'єкта регулюючого пристрою (багатоканального пропорційного регулятора тиску ER Camozzi) [4] і введення його в систему зворотного зв'язку. Узагальнена блок-схема має вигляд, наведений на рис. 2.

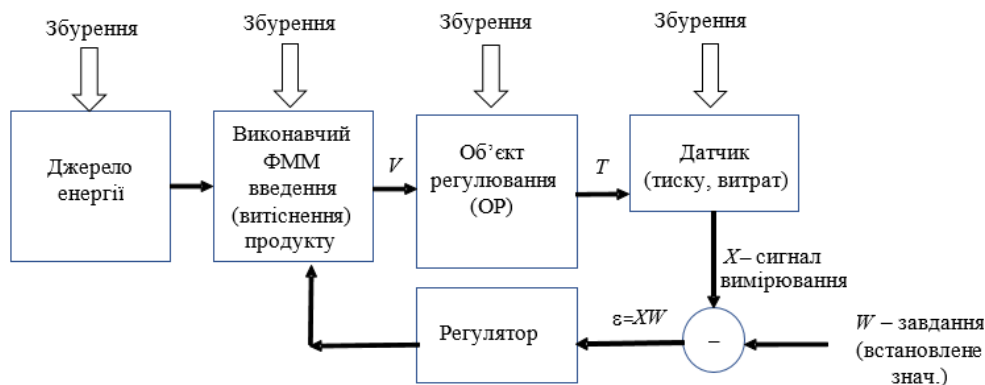


Рис. 2. Структурна схема системи автоматичного регулювання ФММ пакувальної машини для в'язких харчових продуктів

На вхід регулятора надходить сигнал неузгодженості ε — різниця між вимірним сигналом X і заданим рівнем W (встановленим значенням). Завдання регулятора полягає в керуванні виконавчим пристроєм так, щоб сигнал неузгодженості звести до нуля при наявності збурень. Вважаємо, що регулятор відділений від об'єкта регулювання виконавчим пристроєм і датчиком. Незважаючи на те, що вони входять до

складу системи управління, регулятор «не задає» сигнали V і T , безпосередньо пов'язані з об'єктом. Завдання регулятора керувати не тільки одним об'єктом, а цілою системою з трьох елементів: виконавчим пристроєм, об'єктом, датчиком. Це ускладнює управління і знижує його якість. Для пневматичних ерліфтних систем, робота яких безпосередньо пов'язана із витратами стисненого повітря і робочого технологічного середовища, система точного керування напряму пов'язана із продуктивністю окремого ФММ, контролюванням дози продукту та роботи всієї пакувальної машини. Регулятори характеризуються залежністю сигналу керування $U(t)$ від неузгодженості (t):

$$U(t) = F\{\varepsilon(t)\}. \quad (1)$$

У загальному випадку функція $F\{\varepsilon(t)\}$ нелінійна інтегро-диференціальна, тобто досить складна. Цільова функція регулятора — звести неузгодженість ε до нуля при наявності факторів збурення. В разі використання керуючою системою ФММ позиційного регулятора функція керування буде ступінчастою (рис. 3).

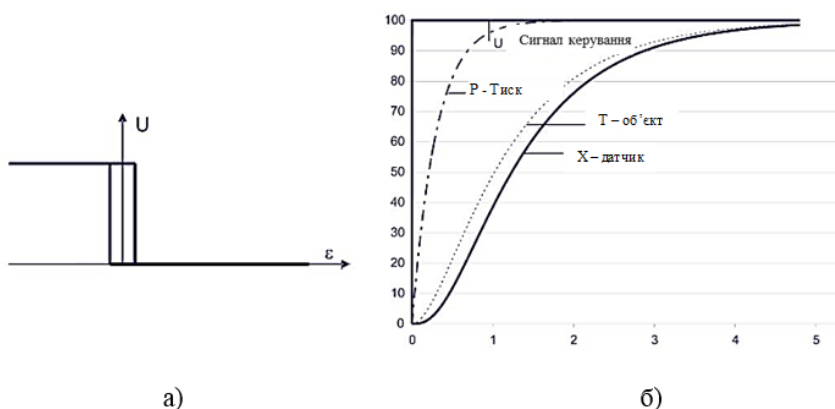


Рис. 3. Загальний вид керуючого впливу на об'єкт керування ФММ пакувальної машини: а) ступінчаста функція;
б) приклад керуючого впливу регулятора на технологічний параметр

Узагальнена характеристика роботи ФММ, досліджена експериментально за синусоїдальним законом подачі продукту, наведена на рис. 4.

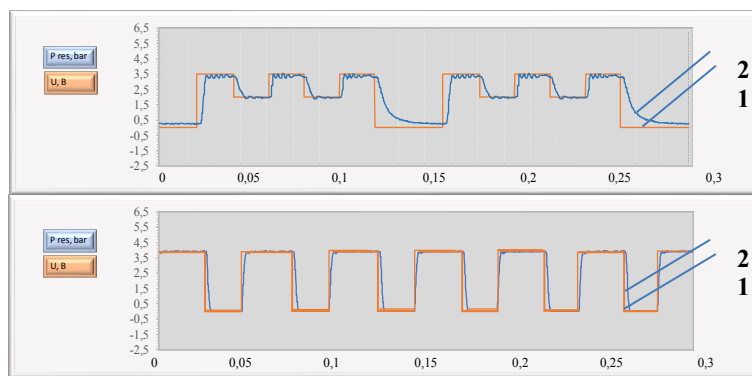


Рис. 4. Узагальнена характеристика роботи ФММ (діаметр трубопроводу — 0,006 м, робочий тиск — 4 бари, амплітуда коливань тиску — 4 бари; частота змінюється у межах 18...21Гц): 1 — керуючий сигнал від пропорційного регулятора тиску; 2 — зміна тиску в ємкості-живильнику

Для здійснення комплексу експериментальних досліджень було розроблено та сконструйовано лабораторну установку (рис. 5). Безпосередньо під час проведення досліджень виконано ряд експериментів щодо дослідження параметрів динаміки руху в'язких харчових продуктів у системі з'єднаних ресиверів.

Подача продукту була організована за допомогою ерліфтної системи, тобто під дією стисненого повітря. Контроль величини дози здійснювався за допомогою витратоміра 3. За його ж показами контролювався процес недопускання краплеформування за рахунок створення протитиску в трубопроводі подачі продукту.

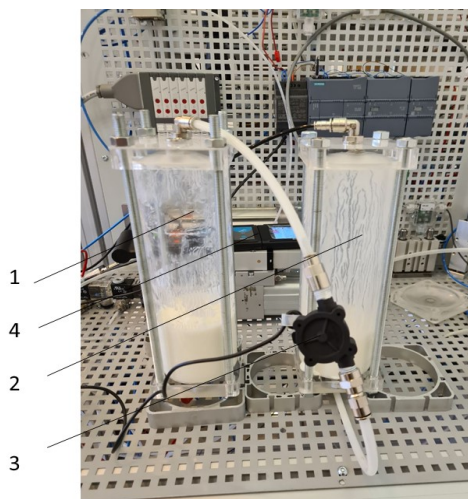


Рис. 5. Загальний вид експериментальної установки для дозування кефіру: 1 — ресивер подачі продукту; 2 — ресивер контролю дози; 3 — витратомір; 4 — контрольно-вимірювальний блок із датчиками тиску

На основі отриманих результатів експериментальних досліджень одержано характеристики процесу обробки в'язкого харчового продукту у запропонованій системі ФММ (рис. 6—8).

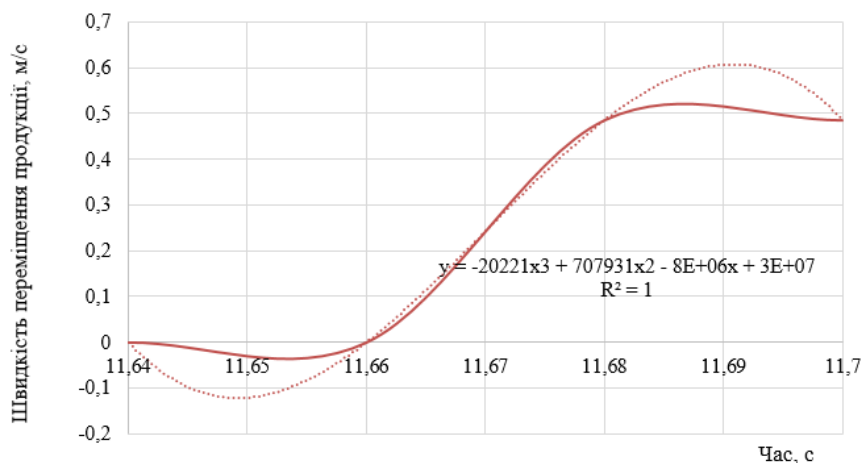


Рис. 6. Характер зміни швидкості переміщення продукції у фасувальному патрубку в процесі дозування

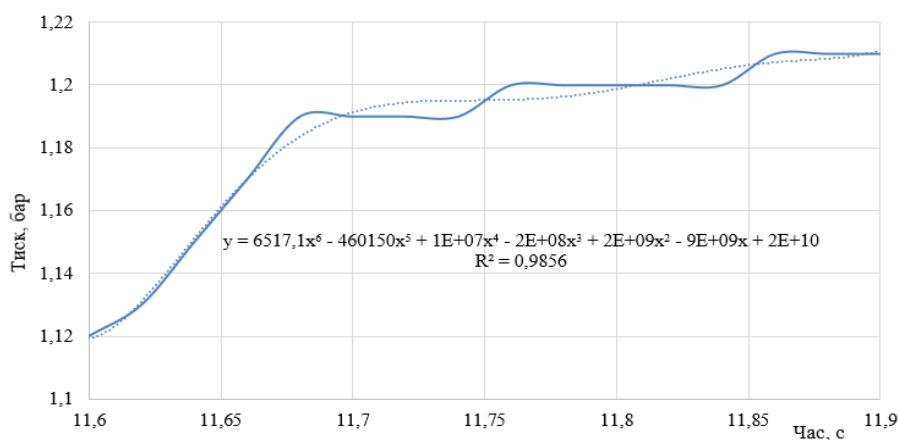


Рис. 7. Характер зміни тиску в ресивері-живильнику в процесі дозування

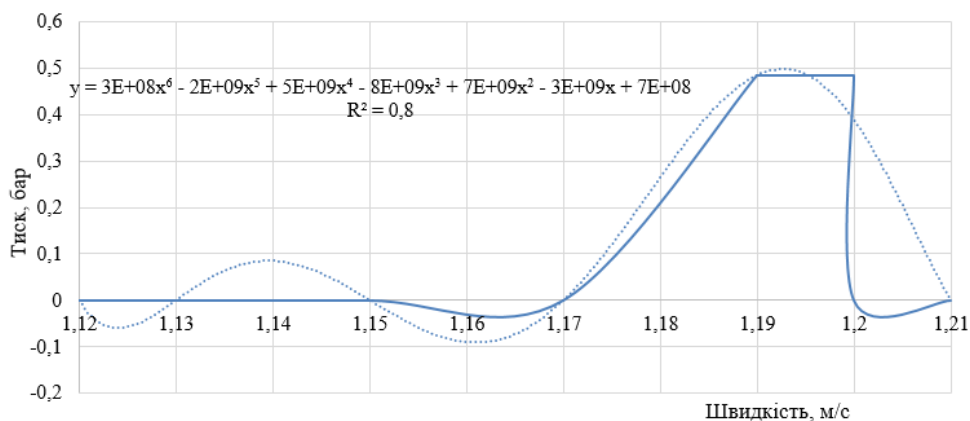


Рис. 8. Характер залежності швидкості потоку продукту від зміни тиску під час процесу дозування

Повторюваність під час зміни часового проміжку дозування зберігалась, що свідчить про можливість формування однакового об'єму дози протягом заданого часу технологічної операції (рис. 9).

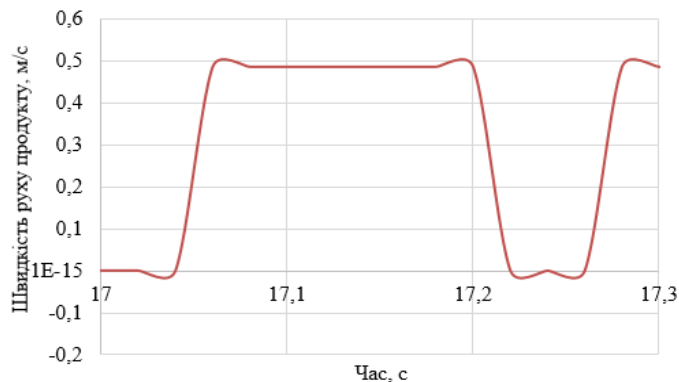


Рис. 9. Характер зміни швидкості продукції у мережі подачі в процесі дозування

Наявність на рис. 9 ділянок, на яких крива знаходиться нижче нульової лінії, характеризує моменти, коли процес дозування закінчився і за рахунок створення протитиску (розрідження) в мережі подачі продукту не допускається виникнення явища прокапування продукції. Рух продукту продовжуватиметься при дотриманні умови:

$$\rho gH > P + (\rho v^2)/2 \cong 2P, \quad (2)$$

де ρ — густина продукції, кг/м^3 ;

H — плинне положення рівня продукту в живильнику, яке контролюється датчиком рівня (м).

P — величина тиску в ресивері-живильнику, Па;

v — швидкість переміщення продукції, м/с , $v = \int_0^t Q(t)dt$.

Процес дозування реалізується без використання запірної арматури та приводних систем і забезпечується електропневматичною системою автоматичного керування.

Авторами статті досліджувалась можливість реалізації двопозиційного або пропорційного закону регулювання за відповідним алгоритмом і передбачалась можливість автоматичної стабілізації тиску P , відповідно, на заданому постійному рівні із гістерезисом $\Delta P = |P_1 - P_2|$, де P_1, P_2 — значення заданого та реального тиску в живильнику, Па.

Отримана нерівність (2) описує умову достовірності величини гідростатичного напору ρgH , що діє в системі, та впливає із рівняння Бернуллі для перерізу, який збігається із поверхнею рідини в живильнику та вихідним перерізом насадки фасування. Нерівність підтверджує, що розроблена система автоматичного дозування за пропорційним законом можлива лише для невеликих значень відхилення $\Delta P < \rho gH/2$. За умови, коли ΔP має більші значення, запірний елемент на виході патрубка фасувального модуля повністю відкрито, дозатор працює в режимі безперервного дозування із максимальною (для гідростатичного напору, що діє в системі) продуктивністю.

Висновки. Запропоноване конструктивне виконання ФММ дозування в'язких продуктів, якщо порівняти із «класичною» схемою поршневого об'ємного дозування, надає можливість реалізувати струменеву подачу продукту, гарантує високу точність дозування та забезпечує ряд переваг, таких як зручність монтажу дозувально-фасувального модуля та присєднання трубопроводів за рахунок системи цангових втулок, можливість зміни компоновки в разі введення додаткових контрольно-вимірювальних елементів; зменшення матеріаломісткості та енергоспоживання за рахунок відсутності пневмоприводної системи та запірної арматури.

ЛІТЕРАТУРА

1. Функціонально-модульне компонування пакувальних машин: монографія / О. М. Гавва, Л. О. Кривопляс-Володіна, С. В. Токарчук та ін. — К.: Сталь, 2015. — 547 с.
2. Пакувальне обладнання: підруч. / О. М. Гавва, А. П. Беспалько, А. І. Волчко, О. О. Кохан. — Київ: ІАЦ «Упаковка», 2010. — 744 с.
3. Патент 139487, МПК В65В 1/06 (2006.01) Мехатронний функціональний модуль дозування / Гавва О. М., Токарчук С. В., Кривопляс-Володіна Л. О.; Деренівська А. В., Гнатів Т. Т.; заявник Національний університет харчових технологій. — № u2019060494; заявл. 31.05.2019; опубл. 10.01.2020; бюл. № 1/2020.
4. Каталог фірми Camozzi. — Електронний ресурс. — Режим доступу: <https://www.camozzi.ua/catalog>.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЯВЛЕНИЯ СТАТИЧЕСКОГО ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ГИСТЕРЕЗИСА В ДОЗОВОЧНОМ МЕХАТРОННОМ МОДУЛЕ

С. В. Токарчук, Л. А. Кривопляс-Володина, Г. Р. Валиулин

Национальный университет пищевых технологий

Задача усовершенствования и развития машин и их элементов является актуальной на любом этапе их жизненного цикла. В статье представлено исследование параметров работы функционального мехатронного модуля дозирования вязкой продукции, работа которого основана на основе эрлифтного объемного способа формирования дозы и использования электропневматической системы автоматического управления. Предложенное выполнение функционального мехатронного модуля может быть использовано для широкого ассортимента вязких пищевых продуктов с обеспечением высоких показателей качества процесса дозирования.

Ключевые слова: упаковка, дозировка, функциональный мехатронный модуль, вязкие продукты, машина.