

Модулі дозування та фасування рідкої продукції пакувальних машин

О.М. Гавва, д.т.н., Б.В. Михайлик, О.О. Кохан, к.т.н., Л.В. Марцинкевич, Національний університет харчових технологій, м. Київ

Однією з тенденцій розвитку пакувальних машин є зростання ступеня їх модульності [1]. Такі функціональні модулі можуть бути виготовлені та вдосконалені поза пакувальною машиною, при цьому їх робота повністю узгоджується з іншими модулями.

Під функціональним модулем розуміють конструктивно закінчену сукупність складальних одиниць та деталей, які об'єднані загальним функціональним призначенням і відповідають вимогам спряження з іншими модулями пакувальної машини, включно до габаритних і встановлювальних розмірів.

У машинах пакування рідини в споживчу тару основним функціональним модулем є модуль формування дози та фасування її в тару. Це підтверджується актуальністю сьогодні в забезпеченні високої продуктивності та точності дозування продукції.

Дозувально-фасувальний модуль — це складна механіко-електронна система, яку в загальному вигляді можна навести сукупністю таких складових:

- пристрої накопичення та живлення продукції;
- пристрої дозування;
- пристрої фасування;
- елементи контролю та керування роботою модуля.

У деяких конструкціях дозувально-фасувальних модулів один пристрій може виконувати декілька операцій. Так, пристрої фасування забезпечують формування дози продукції в тарі за її рівнем або за об'ємом внутрішньої порожнини тари [2].

Структура та конструкція складових елементів дозувально-фасувального модуля здебільшого залежать від виду рідкої продукції, її фізико-механічних властивостей, виду споживчої упаковки, продуктивності, системи керування та розміру дози.

Дозування та фасування супроводжуються деформацією продукції, яка залежить від її фізико-механічних властивостей. Структура та фізичні властивості рідин залежать від хімічної індивідуальності їх складових та від характеру й величини взаємодії між ними. За об'єктом дозування та фасування рідини поділяють на прості та структуровані суміші. Структуровані або дискретні системи складаються із диспергованої фази та дисперсійного середовища (рідина — газ, рідина — тверде тіло, рідина — тверде тіло — газ). Властивість високодисперсійних систем залежить від співвідношення часток складових фаз та їх властивостей. З урахуванням деформаційних властивостей рідку продукцію як об'єкт дозування можна поділити на такі види:

- проста з малою в'язкістю (у наближенні — ньютонівські рідини);
- дисперсна (рідина — газ);
- суміші (з малою та великою в'язкістю);
- ньютонівські рідини (прості та суміші).



Умова забезпечувати постійний потік продукції із швидкістю в межах гравітаційного переміщення твердих частинок накладає ще одні умови на їх поділ. Так, рідини поділяють на рідкі (із малою в'язкістю) та в'язкі (із великою в'язкістю). Мала чи велика в'язкість рідини умовно пов'язана з такими значеннями динамічної в'язкості: мала — від 0,6 мПа·с до 80 мПа·с; велика — від 80 мПа·с до 3000 мПа·с.

Рідини пакують у різні види та типи споживчої тари. Вибір типу залежить від нейтрального стану продукція — пакувальний матеріал та необхідних бар'єрних властивостей пакувального матеріалу. Вид тари обумовлює властивості упаковки за жорсткістю та її просторову конфігурацію. Для конструкції дозувально-фасувальних модулів важливо знати жорсткість тари, стабільність об'єму її внутрішньої порожнини та геометричні параметри горловини.

Умовно, з погляду оброблення в пакувальних машинах, тару поділяють на м'яку, напівжорстку та жорстку.

Пристрої накопичення та живлення продукції є важливою складовою модуля дозування та фасування, тому що від їх конструкції, надійності та роботоздатності залежать продуктивність і точність дозування. До системи накопичення та живлення можуть входити технологічні продуктопроводи та проміжні накопичувальні ємності (бункер, витратні резервуари).

Основною функцією цієї системи є забезпечення стабільного потоку рідкої продукції із заданою інтенсивністю. Для рідин із малою в'язкістю використовують переважно гравітаційну подачу з бункера, а для дозування з великою в'язкістю застосовують примусову подачу — роторні, шнекові, поршневі насоси тощо [3].

У деяких випадках у бункерах-накопичувачах здійснюють теплове оброблення продукції (нагрівання, охолодження), перемішування (стабілізація густини по об'єму бункера), насичення газами та вакуумування. Залежно від виконуваних функцій конструкції пристроїв накопичення та живлення можуть бути різноманітними. Здебільшого застосовують накопичувальні ємності циліндричного, циліндроконічного та кільце-колекторного типів. Усі ємності забезпечені системою контролю рівня продукції, від якої залежить і точність дозування.

Пристрої дозування та фасування в більшості конструкцій машин поєднані в єдиний моноблок, який виконує дві функції.

На основі аналізу наявних технологій пакування рідкої продукції в споживчу тару та конструкцій дозувально-фасувальних пристроїв розроблено їх класифікацію (рис. 1).

Дозувально-фасувальні пристрої в пакувальній машині можуть компонуватися за лінійною або роторною схемами. Вважають, що роторна схема компонування дає можливість одержати більшу продуктивність з одиниці площі. Однак це твердження не є конкретним, тому що при багатопотоковій схемі фасування та лінійному компонуванні можна досягти значної продуктивності. Продуктивність значною мірою залежить від способу формування дози та конструктивного виконання робочих органів. Так, об'ємний спосіб дозування залежно від умов формування дози поділяють на той, що формується безпосередньо в тарі, та той, що формується в тарованих ємностях чи визначається лічильниками (потокowymi або часовими).

До першого виду належать дозування за рівнем у споживчій тарі або формування дози геометричними розмірами упаковки, що виготовляється під час фасування (метод витискання). У першому та другому випадках точність дозування залежить від стабільності внутрішніх розмірів упаковки й динаміки руху

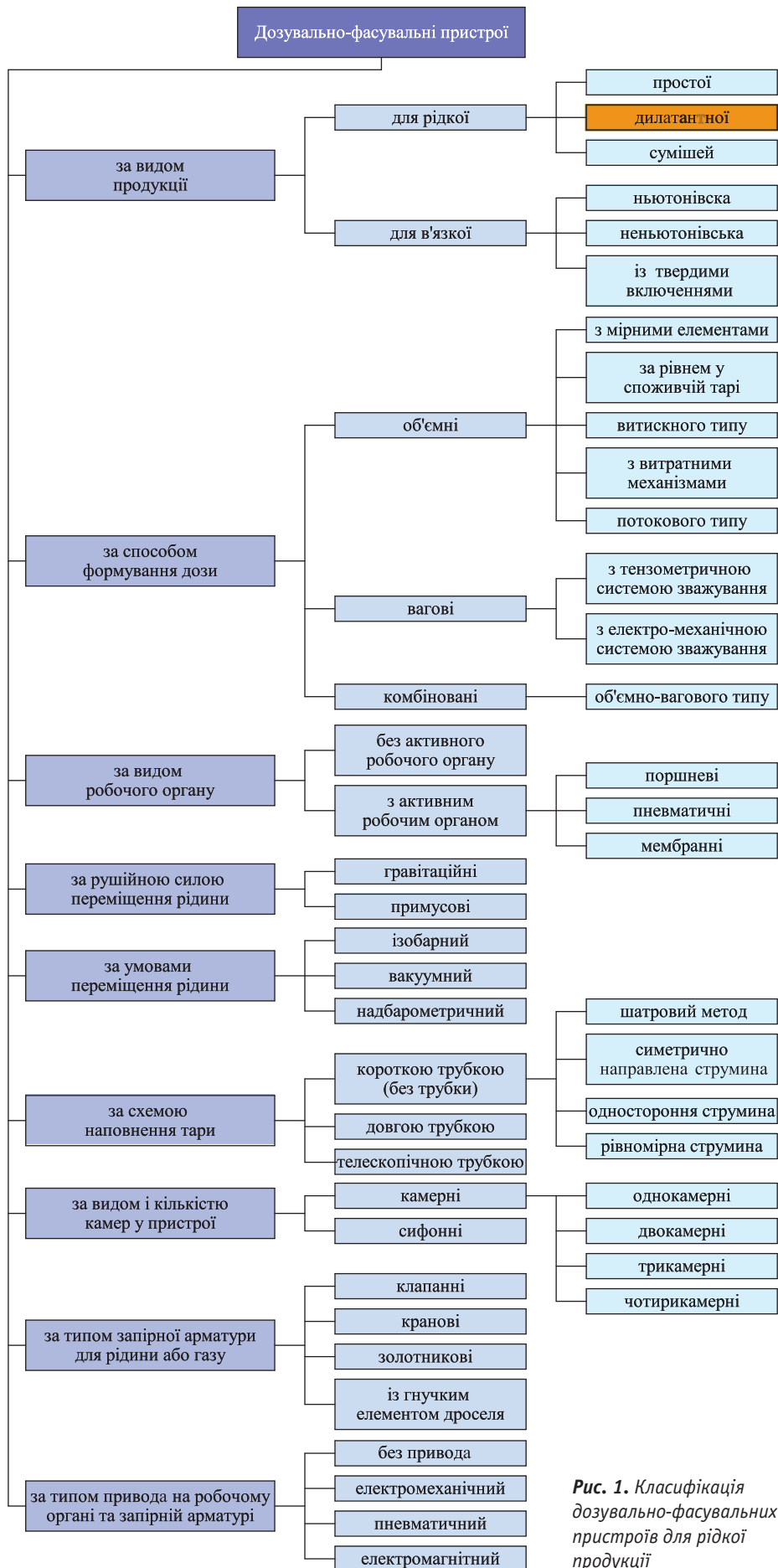


Рис. 1. Класифікація дозувально-фасувальних пристроїв для рідкої продукції

потоків продукції. Дозування за рівнем застосовується тільки для жорсткої та напівжорсткої споживчої тари, виготовленої у вигляді пляшок, банок зі скла, металу, ПЕТФ тощо. Пристрої для формування дози за рівнем складаються з однієї, двох, трьох або чотирьох камер та можуть бути виконані у вигляді сифона. Цей спосіб формування дози може бути застосований для ізобаричного, вакуумного та надбарометричного способів пакування рідкої продукції.

До другого виду об'ємного способу формування дози належать дозування із застосуванням тарованих ємностей, витратних механізмів та лічильників часового типу. Таровані ємності як за конструкцією, так і за станом у процесі дозування поділяють на рухомі, нерухомі та ті, що формуються гнучкими мембранами. Переміщення продукції з мірної ємності в тару здійснюється під дією сил гравітації або під дією робочого органа (поршня) чи тиску повітря. Витратні пристрої часового типу працюють у процесі гравітаційного переміщення рідини за сталим стовпом рівня рідини. У таких пристроях витрати рідини підтримуються з достатньо високою точністю, але за побічними параметрами (наприклад, час відкриття зливного крана).

Не менш різноманітними за конструкцією та принципом дії є пристрої з витратними механізмами. В останні роки на основі високих технологій розроблено нову високоточну лічильну систему – волюметричну. До цієї систе-

ми найчастіше зараховують електромагнітні (індукційні) та ультразвукові витратоміри. В окремих технологічних процесах фасування рідин, особливо таких, що потребують асептичних умов пакування, застосовують комбінований спосіб дозування: формують дозу за рівнем, а контролюють – за об'ємом. Ці системи дозування достатньо складні конструктивно й потребують комп'ютерних технологій керування операціями дозування та фасування, а тому застосовуються для високопродуктивних пакувальних машин.

Основними напрямками вдосконалення пристроїв дозування та фасування рідин, що реалізують об'ємний спосіб формування дози, є [4]:

- централізоване керування дозуванням і фасуванням мікропроцесорною технікою;
- встановлення додаткових зондів на фасувальній трубці;
- керування роботою запірної арматури індивідуальними пневмо- або електромагнітними приводами;
- впровадження новітніх витратомірів, у тому числі й волюметричних;
- універсальність та гнучкість у переналаштуванні на інший тип рідин, вид та типорозмір упаковки.

Важливою тенденцією розвитку пристроїв дозування й фасування рідин є широке застосування вагового способу формування дози. Цей спосіб започаткований ще 100 років тому в механічних пристроях зважування.

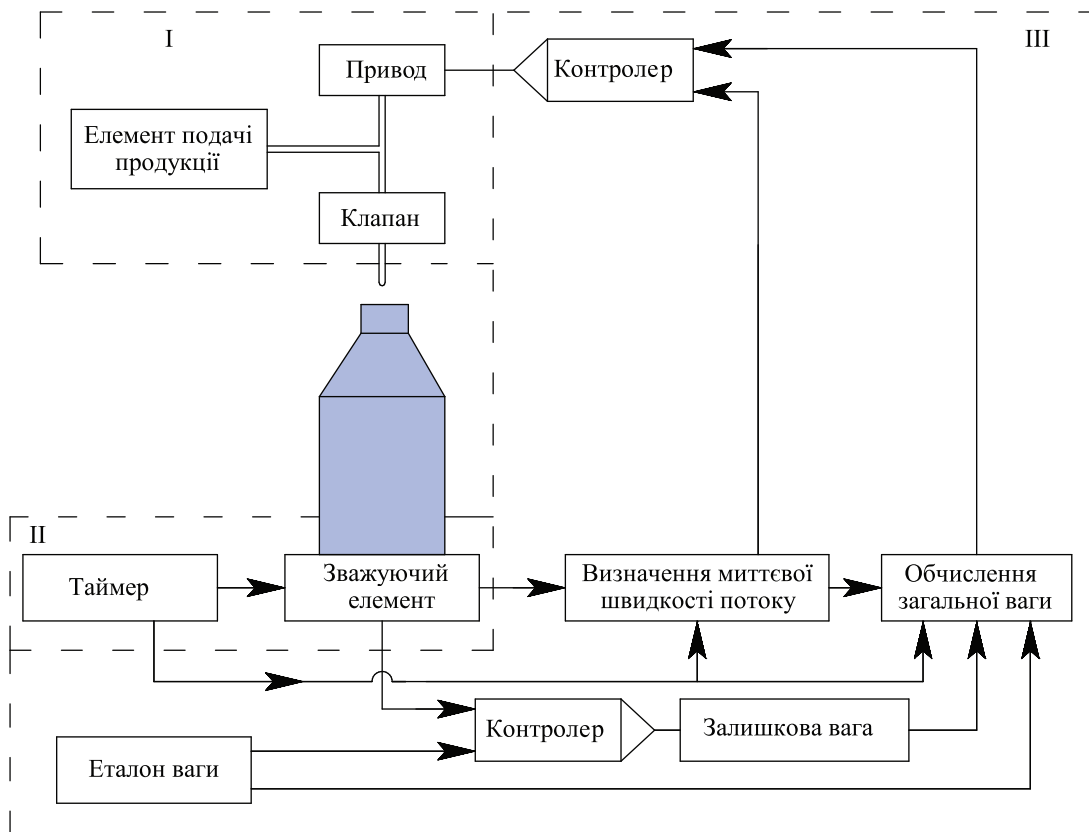


Рис. 2. Структурна схема вагового дозувального пристрою: I – блок елементів подачі продукції; II – блок елементів зворотного зв'язку; III – блок елементів оброблення сигналу

Тривалість операцій дозування та вплив різних факторів на точність дози не сприяли його широкому застосуванню. Відновленню конкурентоздатності вагових дозувальних пристроїв сприяв розвиток комп'ютерних технологій, тензометричних систем зважування та приводів. На сьогодні вагові дозатори мають суттєві переваги над об'ємними:

- висока точність дозування (0,1...0,5 %);
- універсальність (можливість дозування рідин з різними властивостями в тару різних типорозмірів);
- гнучкість до переналаштування на інший розмір дози та вид упаковки.

За умови оптимізації формування дози та лінійної схеми компонування пристроїв у пакувальній машині її продуктивність може становити 150–180 тис. упаковок за годину. Сьогодні машини з ваговими дозаторами широко використовують для пакування спиртових розчинів, овочевих пюре, майонезів, йогуртів, джемів, лаків, фарб, рідких мінеральних добрив, кислот тощо.

Із впровадженням у пристроях для вагового дозування індивідуальних приводів зі зворотним зв'язком створено мехатронні модулі. На рис. 2 наведено одну із структурних схем мехатронного пристрою для вагового дозування рідин [5]. Її умовно можна поділити на три частини, кожна з яких виконує певну функцію: блок елементів подачі продукції (регулює надходження продукту до тари); блок елементів зворотного зв'язку (передає в систему поточні дані); блок елементів оброблення сигналу (приймає сигнал від блоку елементів зворотного зв'язку та після опрацювання видає керуючий сигнал на привод клапана).

Основним недоліком вагових дозаторів є складність врахування коливань напору продукції та динамічної складової під час формування дози. Вирішити таку задачу можна двома шляхами:

- встановити відповідне запізнення під час зважування;
- визначити оптимальний закон витратних характеристик дозувально-фасувальних пристроїв та реалізувати його рухом клапана або витратними механізмами.

Перший шлях досить складний в налаштуванні та потребує постійного внесення коректувань. Другий шлях потребує точної інформації про рідину, розмір дози, геометрію тари, конструктивне виконання модуля дозування та фасування.

Авторами статті було проведено відповідні теоретичні дослідження, результати яких дають можливість забезпечити максимальну продуктивність та точність дозування рідкої продукції.

Методика досліджень така. У ході визначення раціонального закону формування дози як споживчу тару прийнято скляну пляшку з геометричними параметрами, що відповідають ДСТУ. З урахуванням геометричних розмірів пляшки складено систему рівнянь, які описують процес формування дози в кожний окремий момент часу. Зроблено припущення, що дозування здійснюється в чотири етапи. Перехід між етапами відбувається тоді, коли номінальне значення загального зусилля, що діє на тензометричну систему, досягає значення, яке відповідає заданій дозі

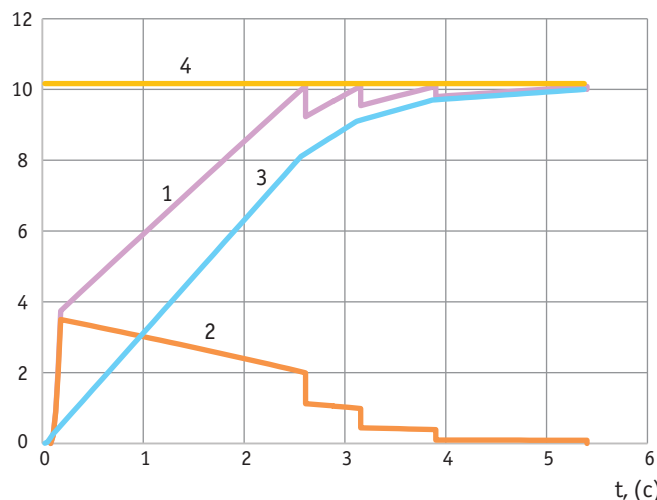


Рис. 3. Зміна зусилля, що сприймається тензометричною системою вагів: 1 – загальне значення сили, що діє на тензометричну систему; 2 – динамічна складова сили, що діє на тензометричну систему; 3 – вага продукції, що пройшла через клапан; 4 – значення сили, що відповідає вазі сформованої дози продукції

продукції. На першому етапі дозувальна система працює з максимальними витратами для конкретної конструкції клапана або витратного механізму. При виконанні кожного наступного етапу зменшується пропускна здатність клапанної системи (рис. 3).

Отримані дані зусилля, що характеризують наповнення тари, апроксимовано безперервною функцією, у даному випадку тригонометричною (1). Похідна цієї функції характеризує приріст продукції в кожний момент часу:

$$f(t) = a + b \cdot \cos(c \cdot t + d) \quad (1)$$

Подальші дослідження направлено на визначення закономірностей зміни витрат продукції від ходу штоку привода для таких клапанів: конічний; сферичний із насадкою, що не повторює форму клапана; сферичний із насадкою, що повторює форму клапана; циліндричний. У результаті досліджень було отримано функції зміни площі поперечного перерізу клапана від вертикальної координати їх положення, які в свою чергу прив'язані до знайденого раціонального закону миттєвого приросту продукції в тарі: для клапанів конічної (2), сферичної з насадкою, що не повторює форму клапана (3), сферичної з насадкою, що повторює форму клапана (4), та циліндричної (5) форми.

$$\pi \cdot h \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot \left[2 \cdot r_1 - h \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot \sin\left(\frac{\pi - \alpha}{2}\right)\right] \cdot \rho \cdot g \cdot v = -3.5925 \cdot \sin(0.3559 \cdot t - 1.6033) \quad (2)$$

$$\pi \cdot r_1 \cdot r_2 \cdot \left[1 - \left(\frac{\sqrt{r_1^2 - \frac{r_2^2}{4}} - h}{\sqrt{r_1^2 - \frac{r_2^2}{4}}}\right)^2\right] \cdot \rho \cdot g \cdot v = -3.5925 \cdot \sin(0.3559 \cdot t - 1.6033) \quad (3)$$

$$\pi \cdot r_1 \cdot \left(\frac{1}{\sin\left(\frac{\pi - \alpha}{2}\right)} - \sin\left(\frac{\pi - \alpha}{2}\right) \right) \cdot \rho \cdot g \cdot v =$$

$$= -3.5925 \cdot \sin(0.3559 \cdot t - 1.6033) \quad (4)$$

$$2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot h \cdot \rho \cdot g \cdot v = -3.5925 \cdot \sin(0.3559 \cdot t - 1.6033) \quad (5)$$

Розв'язавши отримані рівняння відносно координати вертикального положення клапана 4, визначено функцію положення клапана в кожний момент часу, перша похідна якої характеризує швидкість, а друга – прискорення його переміщення.

Для реалізації отриманих залежностей виконано синтез пневматичного привода, який забезпечує рух клапана. Оскільки закон руху забезпечує поступове зменшення пропускної здатності клапана, дроселювання здійснюється лише на штоковій порожнині. Визначено ефективну площу дроселювання для кожної форми розглянутих клапанів (рис. 4).

Площа поперечного перерізу дроселя

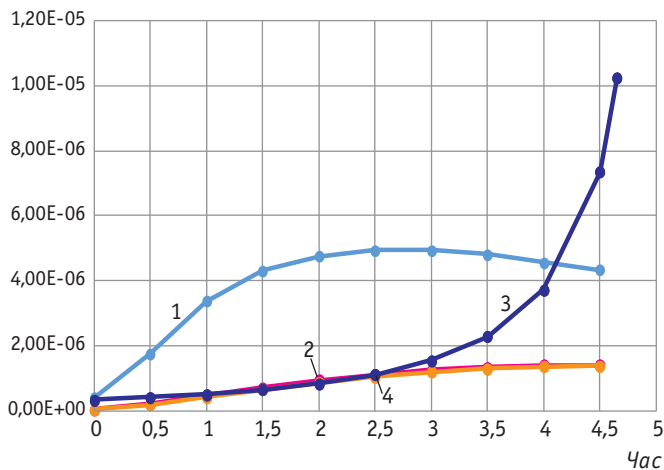


Рис. 4. Порівняння зміни площі поперечного перерізу дроселювання в процесі дозування для різних видів клапанів: 1 – конічний; 2 – сферичний з насадкою, що не повторює форму клапана; 3 – сферичний з насадкою, що повторює форму клапана; 4 – циліндричний

Дослідження проводилися для ізобаричного режиму фасування. Результати теоретичних досліджень реалізовано в пілотний проект мехатронного модуля вагового дозування та фасування рідкої продукції в споживчу тару.

На основі аналізу технологій пакування рідкої продукції в споживчу тару, конструкцій дозувально-фасувальних модулів встановлено, що для забезпечення високої точності дозування, гнучкості до перенастроювання створюються мехатронні модулі з комп'ютерними технологіями керування. Такого типу модулі розробляються та впроваджуються провідними машинобудівними компаніями світу.

Література

1. Гавва О.М., Беспалько А.П., Волчко А.І. Пакувальне обладнання : в 3 кн. Кн 1. Обладнання для пакування продукції у споживчу тару / За ред. О.М. Гавви. Київ: ІАЦ «Упаковка», 2008. 436 с.
2. Зайчик Р., Трунов В.А. Упаковывание тихих напитков в бутылки. М. : ДеЛи, 2000. 206 с.
3. Каверин В. Оборудование для разлива спокойных жидкостей // Pakko Graff. 2004. № 2. С. 86–90.
4. Производственная программа фирмы KRONES. 2010. 27 с.
5. Pat. US5515888A. Int. Cl6B65B 1/04. Measuring weight by integrating flow // Andre Graffin – No 5515888; Eing. 25 Sept. 1994; Ver. 14 May. 1996.

Модули дозування и фасования жидкой продукции упаковочных машин

А.Н. Гавва, д.т.н., Б.В. Михайлик, Е.А. Кохан, к.т.н., Л.В. Марцинкевич
Важной тенденцией развития упаковочных машин является модульность их построения. В машинах для упаковки жидкостей в потребительскую тару основным функциональным модулем является модуль дозирования и фасования. Дозировочно-фасовочный модуль – это сложная механико-электронная система, которая приведена совокупностью следующих составляющих: накопление и поставка продукции, дозирование и фасование; контроль и управление работой модуля.

В статье приведен анализ жидкостей и упаковки как объектов обработки в упаковочной машине, классификация дозировочно-фасовочных устройств, сформулированы тенденции совершенствования дозировочно-фасовочных устройств объемного типа, проанализированы этапы развития и тенденции применения весовых дозаторов, выполнен синтез структуры мехатронного модуля для весового дозирования жидкостей; получены аналитические зависимости формирования дозы и управления движением рабочего органа дозатора, сформулирован вывод, что будущее за мехатронными функциональными модулями, в том числе за модулями дозирования и фасования.

Ключевые слова: жидкость; потребительская упаковка; упаковочная машина; дозировочно-фасовочный модуль; мехатронный модуль; математическая модель; рабочий орган.

Dosing and packaging modules of packaging machines for liquid

O.M. Gavva, Dr., B.V. Mykhailik, O.O. Kohan, PhD, L.V. Marcinkiewicz
An important trend in the development of packaging machines is the modularity of their construction. In machines for packaging liquids in consumer packaging, the main functional module is the dosage and packing module. The dosing-packing module is a complex mechanical and electronic system, which is represented by a combination of the following components: accumulation and nutrition of products, dosage and packing; control and operation of the module.

The article analyzes the liquids and packaging as objects of processing in a packing machine, the classification of dosing-packing devices, formulates the tendencies of perfection of dosing-packing devices of bulk type, analyzes the stages of development and trends of the use of weighing dispensers, the synthesis of the structure of the mechatronic module for weight dosing of liquids; the analytical dependence of the dose formation and the control of the movement of the working unit of the dispenser have been obtained, the conclusion is drawn that the future of the mechatronic functional modules, including the modules of dosing and packing.

Key words: liquid; consumer packaging; packing machine; dispensing module; mechatronic module; mathematical module; working body.