

УДК 621.87

*С.В. Токарчук, канд. техн. наук,
О.М. Гавва, д-р техн. наук,
О.В. Клімова, канд. філол. наук
Національний університет
харчових технологій*

НАУКОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРИСТРОЇВ ДОЗУВАННЯ І ФАСУВАННЯ ПЛАСТИЧНИХ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

Проектування як технологічного, так і пакувального обладнання для харчових виробництв передбачає врахування всіх факторів які в тій чи іншій мірі впливають на його функціонування та обслуговування. Представлено методiku науково обґрунтованого визначення параметрів функціонального модуля дозування і фасування пластичних продуктів у споживчу тару з врахуванням реологічних характеристик продукції, структури пристрою та режимів дозування і фасування. Отримані результати можуть будуть використані для розробки нових високоефективних дозаторів поршневого типу для пластичних харчових продуктів, а також під час модернізації існуючих.

Ключові слова: *пластична продукція, дозатор поршневого типу, фасування, об'ємний спосіб дозування, мірний циліндр.*

Пластична продукція, залежно від фізико-хімічних і біологічних властивостей, а також запиту ринку, пакується в різні види пакувального матеріалу і типи споживчої тари. За способом пакування машини можна умовно поділити на: пакування методом обгортання окремих порцій, здебільшого правильної геометричної форми; пакування у попередньо виготовлену споживчу тару; пакування в упаковку, що виготовляється одночасно із дозуванням і фасуванням продукції методом термозварювання або склеювання. Поряд із цим пакування може здійснюватись в атмосферному, моди-фікованому газовому середовищі та у вакуумі. Вищеназвані фактори суттєво впливають на конструктивні особливості дозувально-фасувальних пристроїв. Підвищення ефективності роботи дозувальних пристроїв, а також забезпечення тривалого зберігання пластичної продукції передбачає виконання додаткових операцій з відповідної підготовки продукції [1].

Для пластичної продукції найбільш характерним способом дозування є об'ємний (потоківий і порційний) [2]. За потоковим способом формується джгут або здійснюється розвальцювання продукції до вигляду стрічки однакового поперечного перерізу і однакової питомої маси, від якої відділяють однакові порції продукції. Такий спосіб дозування застосовують для твердоподібної пружно-пластичної продукції (дріжджі, кондитерські вироби), точність дозування забезпечується однорідністю консистенції продукції (залежно від якості роботи підпресовуючих елементів) та сталістю швидкості переміщення продукції [3]. За порційним способом дозування доза продукції формується в мірній ємності, а потім, залежно від технології пакування, подається в споживчу тару або в проміжну камеру, де і формується задана геометрична форма продукції. За першим способом може фасуватися будь-яка пластична продукція, за другим — пружно-пластична, яка після надання їй форми тривалий час її зберігає.

При проектуванні як технологічних, так і пакувальних машин, необхідно враховувати найважливіші фізичні властивості харчових продуктів. Для науково обґрунтованого врахування цих властивостей в різних областях техніки і технології

харчових виробництв необхідна систематизація даних про фізико-механічні характеристики продуктів.

Основні фізико-механічні властивості можна класифікувати за характером прикладання до продукту зовнішніх сил і спричинених ними деформаціях: зсувні властивості проявляються при впливі дотичних зусиль, компресійні — при впливі нормальних зусиль і поверхневі — при зсуві або відриві продукту від твердої поверхні.

За класифікацією дисперсних харчових систем пластична продукція відноситься до емульсій оскільки в них дисперсійне середовище та дисперсна фаза — рідина (вершкове масло) та суспензій (м'ясний фарш) [4].

Структурно-механічні властивості характеризують поведінку продукту в умовах напруженого стану і дають можливість зв'язати між собою напруги, деформації або швидкості деформації в процесі докладання зусиль. Вони не є «чистими» константами матеріалу і істотно залежать від форми і розмірів тіла, швидкості навантаження, стану контактуючої поверхні, впливу навколишнього середовища, температури, структури і інших чинників.

При відомих характеристиках можна обчислити значення напруг або деформацій і в результаті отримати необхідні параметри процесу та апарата або машини, тобто виконати міцнісні та технологічні розрахунки. Крім того, властивість продукту як об'єктивна реальність дозволяє охарактеризувати його якість. Особливого значення в дослідженнях має вигляд рівняння, яке пов'язує між собою за допомогою постійних величин — властивостей — напругу і деформацію для кожного конкретного продукту.

Продуктивність сучасних пристроїв для дозування пластичних продуктів залежить як від реологічних характеристик продукту, так й від їх конструктивних параметрів та від вдало вибраних режимів дозування.

З цієї точки зору найбільш важливими характеристиками стосовно дозувальних пристроїв та режимів дозування є відповідно значення гідравлічного опору в перерізах трубопроводів та зусилля з яким робочий орган діє на переміщуваний продукт [5]. Це пов'язано з тим, що інші параметри дозувальних пристроїв та режими дозування не зазнають таких суттєвих змін протягом процесу дозування.

За конструкцією пристрої для дозування пластичних продуктів дуже різноманітні, але достатньо повної методики визначення раціональних параметрів подібних дозувальних пристроїв в науково-інформаційних матеріалах не виявлено.

Таким чином можна зробити висновок, що відсутність достатньої інформації стосовно параметрів дозування пластичних продуктів значно ускладнює роботу розробників дозувальних пристроїв, призводить до необхідності перестраховування, тобто прийняття завищених значень деяких параметрів, що негативно впливає на вартість, якість і ефективність розробленої конструкції.

В даній статті наведено результати досліджень роботи пристроїв поршневого типу для дозування пластичних продуктів, з метою розробки методики визначення раціональних значень їх енерговитрат та надійності роботи залежно від сумарного коефіцієнта опору переміщення продукції, значення ефективної площі пропускного перерізу трубопроводу та кінематичних параметрів руху поршня [6].

Для виконання досліджень був обраний програмний комплекс Flow Vision, який призначений для моделювання тривимірних потоків рідини і газу в технічних і природних об'єктах, а також візуалізації цих течій методами комп'ютерної графіки. Течії, що моделюються включають стаціонарні і нестаціонарні, ті що стискаються, ті що слабо стискаються і нестискувані потоки рідини і газу. Використання різних моделей турбулентності і адаптивної розрахункової сітки дозволяє моделювати складні рухи рідини. FlowVision базується на кінцево-об'ємному методі вирішення рівнянь гідродинаміки і використовує прямокутну адаптивну сітку з локальним подібненням. Для апроксимації криволінійної геометрії з підвищеною точністю FlowVision використовує технологію підсіткового подібнення геометрії. Ця техно-

логія дозволяє імпортувати геометрію з систем САПР і обмінюватися інформацією з системами кінцево-елементного аналізу.

Здану задачу було розв'язано за допомогою моделі турбулентної рідини, що не стискається. Дана модель описує течію пластичного продукту при малих і великих (турбулентних) числах Рейнольдса. Допускаються малі зміни об'ємної маси, що дозволяє природним шляхом врахувати під'ємну силу. В модель входять рівняння Нав'є-Стокса, енергії і рівняння конвективно-дифузійного переносу концентрації домішок.

На першому етапі досліджень було створено геометрію робочих органів дозувального пристрою. Для цього в програмі Компас було побудовано моделі дослідної установки та у подальшому розміщено дані зображення в програмному комплексі FlowVision (рис.1).

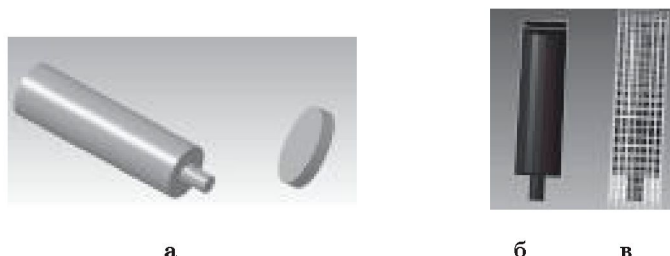


Рис.1. Моделі дослідної установки та її зображення у програмному комплексі FlowVision: а) циліндр з насадкою та поршень; б) завантажена модель з поршнем; в) задана розрахункова сітка.

Під час досліджень розглядались різні конструктивні виконання насадки дозувального пристрою (рис.2).

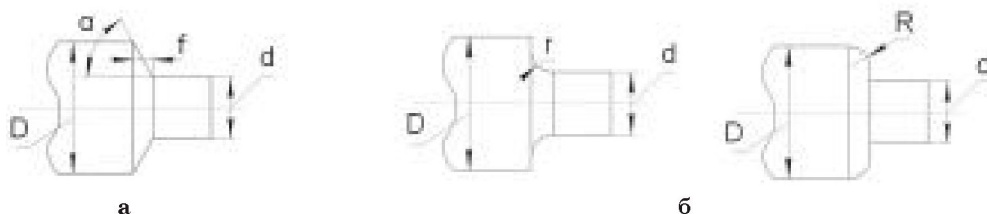


Рис.2. Конструктивні виконання насадок дозувального пристрою: а) із фаскою різної величини при основі насадки; б) із заокругленням при основі насадки

На наступному етапі досліджень було обрано розрахункову модель, яка відповідає процесу дозування, створено граничні умови та задано вхідні реологічні параметри — температуру, щільність та ефективну в'язкість пластичного продукту у вигляді функціональної залежності від швидкості його переміщення. Для визначення величини ефективної в'язкості досліджуваних продуктів використано ротаційний віскозиметр РЕОТЕСТ 2 та отримано ряд залежностей представлених у вигляді графіків та аналітичних залежностей (рис.3).

Результати досліджень переміщення пластичних продуктів поршневим дозатором покроково записано у файлі та з отриманих значень будуються графіки залежностей тиску від часу.

За допомогою встановленого шару «Графік з тиску» в повздовжньому перерізі дозатора (рис. 4) досліджено розподілення тиску вздовж дозатора, а також тиск на поршні, необхідний для витискання продукту при постійній швидкості руху поршня.

Під час проведення експерименту варіювались такі геометричні параметри дозувального пристрою, як: D — діаметр дозувального циліндра, d — діаметр насад-

ки, r — радіус заокруглення при вершині насадки, f — величина фаски, δ — кут при вершині фаски. Отримані результати експерименту зберігались та оброблялись за розробленою методикою математико-статистичних методів дослідження [7] з отриманням емпіричної залежності — математичної моделі, залежність, що виражає як саме і в якій мірі впливатимуть на швидкість дозування геометричні параметри, в'язкість продукту.

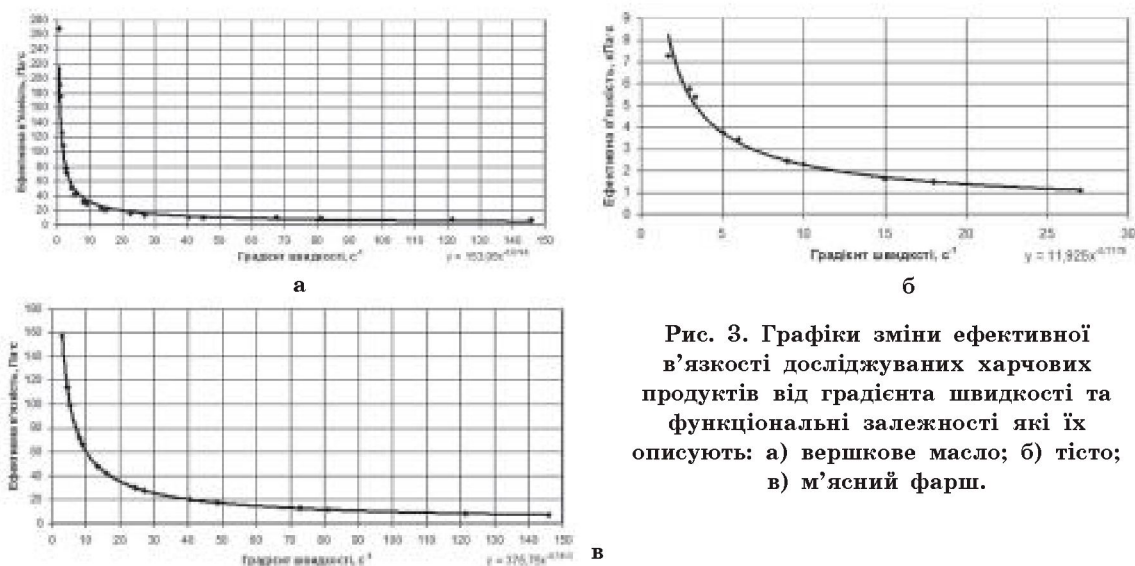


Рис. 3. Графіки зміни ефективної в'язкості досліджуваних харчових продуктів від градієнта швидкості та функціональні залежності які їх описують: а) вершкове масло; б) тісто; в) м'ясний фарш.



Рис.4. Графік зміни тиску вздовж осі дозувального циліндру

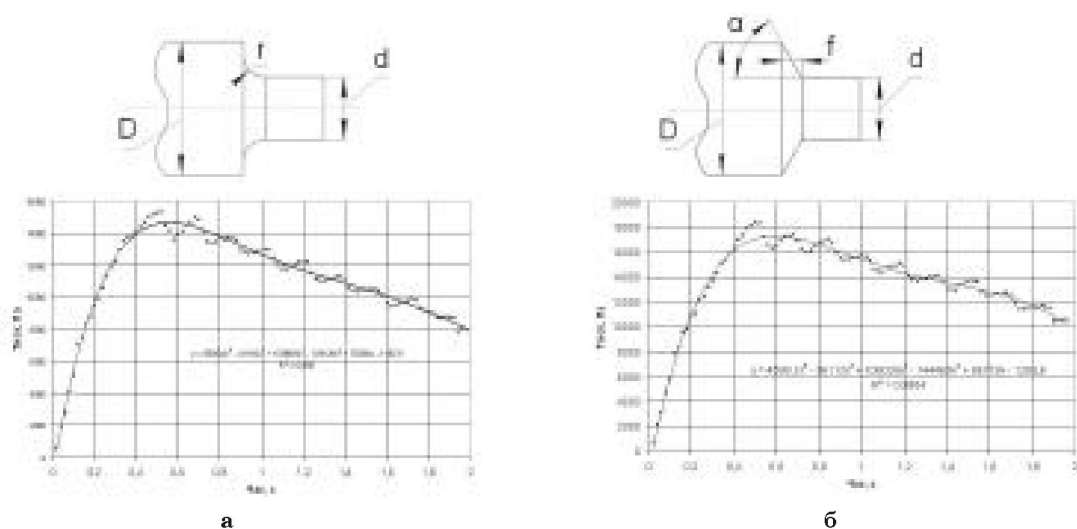


Рис.5.Варіанти виконання дозатора та результати досліджень: а) модель з насадкою із увігнутим заокругленням R20 та графік зміни тиску на осі поршня від часу; б) модель з фаскою 10 мм ($\delta=45^\circ$) та графік зміни тиску на осі поршня від часу.

На основі проведених експериментів з різними варіантами насадок було отримано ряд залежностей зміни тиску, які показали, що найбільш ефективними з точки зору критерію енергоефективності є варіант із фаскою при основі під кутом 45° (рис. 5 б) та варіант із заокругленням при основі насадки (рис. 5 а).

Математична модель процесу випресовування продукту із мірного циліндра, одержана на основі багатофакторного експерименту для насадки у вигляді заокруглення має вигляд:

$$P = 720,6 + 470,5 \cdot r + 3710,04 \cdot (D/d) + 1999,2 \cdot K_{v_{\max}} + 170,82 \cdot r \cdot (D/d) - 695,8 \cdot r \cdot K_{v_{\max}} + 3162,86 \cdot (D/d) \cdot K_{v_{\max}} - 281,14 \cdot r \cdot (D/d) \cdot K_{v_{\max}}, \quad (1)$$

де P — максимальний тиск, необхідний для переміщення поршня, Па; r — радіус заокруглення, мм; D/d — співвідношення діаметрів; $K_{v_{\max}}$ — максимальне значення коефіцієнтів швидкості.

Математична модель процесу випресовування продукту із мірного циліндра, одержана на основі багатофакторного експерименту для насадки у вигляді фаски має вигляд:

$$P = -6173,5 + 1554,6 \cdot f + 8544,8 \cdot (D/d) + 6241,2 \cdot K_{v_{\max}} - 604,3 \cdot f \cdot (D/d) - 1602,7 \cdot f \cdot K_{v_{\max}} - 989,8 \cdot (D/d) \cdot K_{v_{\max}} + 647,7 \cdot f \cdot (D/d) \cdot K_{v_{\max}}, \quad (2)$$

де P — максимальний тиск, необхідний для переміщення поршня, Па; f — величина фаски, мм; D/d — співвідношення діаметрів; $K_{v_{\max}}$ — максимальне значення коефіцієнтів швидкості.

Як видно з отриманих залежностей форма насадки є найменш впливовим фактором із досліджуваних, проте зі збільшенням швидкості фасування її роль значно зростає. Найістотніше впливає на опір переміщенню пластичної продукції співвідношення діаметрів мірного циліндра та вихідного каналу. Застосування закону руху поршня з постійною швидкістю дає можливість зменшити енерговитрати під час дозування, в той же час синусоїдальний закон руху дозволяє забезпечити безударний режим руху.

Висновки. Проведені дослідження дали змогу розробити математичну модель процесу випресовування пластичного продукту із мірного циліндра та методику вибору параметрів функціонального модуля дозування пластичних продуктів у споживчу тару з врахуванням реологічних характеристик продукції, конструктивних параметрів та режимів дозування. Встановлено, що із збільшенням швидкості фасування вплив форми насадки дозувального пристрою значно зростає та потребує відповідних розрахунків за вихідними даними.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Инженерная реология биотехнологических сред* / Косой В.Д., Виноградов Я.И., Малышев А.Д.. — СПб.: ГИОРД, 2005. — 648 с.
2. *Гавва О.М.* Пристрої для фасування пластичних харчових продуктів / Гавва О.М., Волотківський О.М., Дембровський Л.О. // *Упаковка*. — 2003. — №3; 4. — С. 33—35; 32—34.
3. *Фриденберг Г.* Инструменты для сырка / Фриденберг Г. // *PakkoGraff*. — 2000. — № 3. — С. 24—27.
4. *Гавва О.М.* Пакувальне обладнання: підручник / Гавва О.М., Беспалько А.П., Волчко А.І., Кохан О.О. — Київ: ІАЦ «Упаковка», 2010. — 744 с.
5. *Гуськов К.П.* Течение пищевых масс в каналах различной формы / К.П. Гуськов, Г.К. Берман // *Изв. вузов. пищ. технология*, 1968. — №6. — С. 138 — 142.

6. Гуць В.С. Енергетика механічних процесів пакування / В.С. Гуць, О.М. Гавва // Упаковка. — 2002. — №1 — С. 22 — 25.

7. Грачев Ю.П. Математические методы планирования эксперимента: учеб. пособие / Ю.П. Грачев, Ю.М. Плаксин. — М.: ДеЛи, 2008. — 325 с.

**С.В. Токарчук, О.М. Гавва,
О.В. Климова,**

**Научное обоснование параметров устройств дозирования
и фасовки пластических пищевых продуктов**

Проектирование как технологического, так и упаковочного оборудования для пищевых производств предполагает учет всех факторов, которые в той или иной степени влияют на его функционирование и обслуживание. Представлена методика научно обоснованного определения параметров функционального модуля дозирования и фасовки пластических продуктов в потребительскую тару с учетом реологических характеристик продукции, структуры устройства, режимов дозирования и фасовки. Полученные результаты могут быть использованы для разработки новых высокопроизводительных дозаторов поршневого типа для пластических пищевых продуктов, а также во время модернизации существующих.

Ключевые слова: пластичная продукция, дозатор поршневого типа, фасовка, объемный способ дозирования, мерный цилиндр.

**S. Tokarchuk, O. Gavva,
O. Klimova**

**Scientific substantiation parameters of devices for dosage
and packaging plastic food products**

Planning technological and packing equipment for food productions foresees the account of all factors which here or other measure, influence on his functioning and service.

Method of the scientifically grounded determination of parameters of the functional module of dosage and packing of plastic products in a consumer container taking into account rheological products, structure of device and methods of dosage, and packing was presented. The got results will be used for development of new highly productive metering devices of piston type for plastic food products, and also during modernization of existing.

Key words: pasty products, metering piston type, pre-packing, volumetric dosing method, measuring cylinder.

e-mail: tmipt_xp@ukr.net

Надійшла до редколегії 16.01.2012