

УДК 621.798.3

О.М. ГАВВА,
А.В. ДЕРЕНІВСЬКА,
Л.О. КРИВОПЛЯС-ВОЛОДИНА
Національний університет харчових технологій

ШЛЯХИ ЗМЕНШЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ СКЛАДОВОЇ ПОХИБКИ ДОЗУВАННЯ СИПКОЇ ПРОДУКЦІЇ

В даній статті запропоновано зменшити динамічну складову похибки дозування пiд час визначення раціонального розташування зважувальної місткості у лінійних вагових дозаторах. Суттєве зменшення динамічної складової похибки дозування дає можливість підвищити продуктивність дозатора для сипкої продукції.

Ключові слова: сипка продукція, лінійний ваговий дозатор, точність дозування, похибка дозування, зважувальна місткість.

Сипка продукція займає значну частку від загального обсягу продукції, що підлягає пакуванню в споживчу тару. Зважаючи на велику її різноманітність за структурно-механічними властивостями для дозування застосовують як об'ємні, так і вагові способи формування дози [1, 2].

Сьогодні, на вітчизняному ринку, серед обладнання для пакування сипкої продукції у споживчу тару домінують лінійні вагові дозатори. Цей факт викликаний тим, що для таких дозаторів є оптимальним співвідношення між вартістю, точністю дозування і продуктивністю. Безумовно, існують більш продуктивні дозувальні системи, що забезпечують значно вищу точність дозування. Поряд із цим вартість композиційних дозаторів на порядок більша, а тому їх застосування має дещо обмежений характер. Таким чином, прогнозовано у ближчі роки є розробка новітніх зразків лінійних вагових дозаторів.

Вдосконаленням дозаторів передбачається скорочення часу на розроблення конструкції та дослідження їх характеристик на основі комплексного підходу до проектування. За основний критерій ефективності дозаторів доречно приймати точність дозування. За значенням точності дозування, розробник декларує метрологічні характеристики дозатора для конкретних видів сипкої продукції.

У загальному вигляді структуру сучасного вагового дозатора для сипкої продукції можна навести сукупністю окремих елементів, кожний з яких виконує окремі функції операції дозування (рис. 1). Сипка продукція безперервно або періодично подається у приймальний бункер 1, звідки живильником 2 (транспортна система) відбирається і переміщається до місткості 3, де формується доза. Вага продукції, що набирається у місткості 3, вимірюється датчиком ваги 4 і контролюється системою керування 5. В сучасних зразках пакувального обладнання система керування 5 включає контролер та аналогово-цифровий перетворювач.

При наблизненні маси продукції, яка знаходиться у зважувальній місткості до величини заданої дози, система керування 6 переводить транспортну систему 2 і регульовану заслінку 7 у бункері 1 у режим повільної контрольованої подачі. При досягненні заданої дози зупиняє транспортну систему.

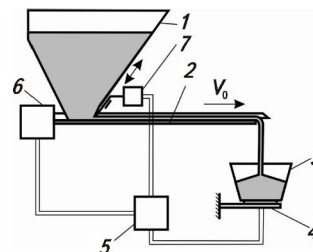


Рис. 1. Структурна схема вагового дозатора для сипкої продукції

© О.М. Гавва, А.В. Деренівська, Л.О. Кривопляс Володіна, 2013

Конструювання і дослідження лінійних вагових дозаторів для сипкої продукції передбачає оцінювання їх метрологічних характеристик і шляхів підвищення точності і продуктивності. Важливо визначити технологічні фактори, що впливають на точність дозування, та їх взаємозв'язок. Похибка дозування є важливим параметром по відношенню до продуктивності дозатора, його структури, компоновочної схеми, конструкційних виконань окремих елементів.

У науковій праці [3] виділено три типи похибок і відповідно три джерела похибок дозування. Перший тип похибок — дрейфовий, який характеризується пусковими режимами дозатора. Зменшують до мінімуму цей вид похибок за рахунок введення затримок між вмиканням і початком дозування. Другий тип похибок — статичний, який обумовлюється похибкою датчиків, неточністю виконання конструктивних елементів зважувальної системи, тощо. Цей тип похибок складає десять частки відсотка від величини дози. Третій вид похибок — динамічний, який викликаний перехідними процесами в тензодатчиках під час падіння продукції в зважувальну місткість. Для її зменшення потрібні додаткові часові витрати (встановлення фільтрів запрограмованих для визначення середнього значення ваги), що в свою чергу зменшує продуктивність дозатора.

Динамічна похибка має дві складові: режимну і власну. Режимна похибка залежить від швидкості подачі продукції, пропускного каналу живильника тощо. Власна похибка обумовлена особливостями сипкої продукції і її взаємодією з робочими органами дозатора. Зменшити її конструктор практично не може. А тому основною складовою похибки дозування є режимна похибка.

Авторами досліджень [3] встановлено, що основними заходами по зниженню режимної похибки дозування є:

- збільшення відносної частки тривалості досипання;
- зменшення швидкості руху продукції під час швидкого і повільного наповнення зважувальної місткості;
- зменшення прохідного перерізу живильника при різних режимах наповнення зважувальної місткості;
- зменшення зазору між нижньою кромкою бункера і робочою поверхнею живильника;
- застосування спеціальних заходів по стабілізації шару продукції (багатоступеневе віброуцілювання, згладжування щітками, регулювання поперечного перерізу каналу бункера тощо);
- стабілізація тиску продукції в бункері на робочий елемент живильника.

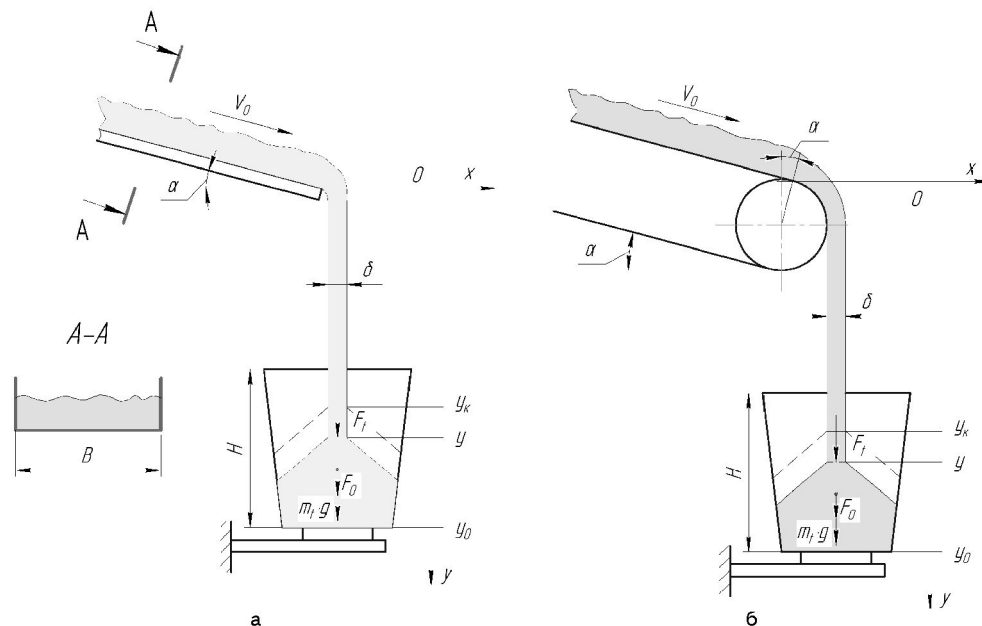


Рис. 2. Схема навантаження датчика вимірювання ваги зважувальної місткості з продукцією для: а — дозатора з вібраційним живильником; б — для дозатора з стрічковим живильником

Поряд із наведеними заходами на погляд авторів цієї статті, важливим компонентом підвищення точності дозування і продуктивності є раціональне розташування зважувальної місткості відносно робочого органу живильника.

А тому метою проведених досліджень було визначення раціонального розташування зважувальної місткості відносно робочого органу живильника при різних конструкційних виконаннях живильника.

Для визначення раціонального розташування зважувальної місткості прийнято такі припущення: сипка продукція — незв'язна, дрібнофракційна, переміщення якої в зважувальну місткість можна розглядати за законами гідравліки; інтенсивність подачі продукції живильником є сталою величиною.

Для більшості лінійних вагових дозаторів застосовують вібраційні та стрічкові конвеєри, які розташовують горизонтально та під кутом до горизонту.

У процесі набору дози продукції датчик вимірювання ваги навантажується як сталими масами, так і змінною масою продукції, яка подається у зважувальну місткість [4].

Повне зусилля на датчик ваги F_y визначається сумою сталого статичного і змінного динамічного навантаження (рис. 2).

$$F_y = F_c + F_a, \quad (1)$$

де F_c — статичне навантаження на датчик від ваги зважувальної місткості; F_a — повне змінне навантаження від продукції, що подається у зважувальну місткість.

Контроль процесу формування дози продукції у зважувальній місткості зводиться до вимірювання повного змінного навантаження F_a , яке визначається сумою миттєвої ваги продукції, що знаходиться у зважувальній місткості, і динамічного тиску від продукції, що подається у місткість:

$$F_a = m_t \cdot g + F_t \quad (2)$$

де m_t — поточне значення маси продукції у зважувальній місткості, $0 \leq m_t \leq M_d$; M_d — задана маса дози; g — прискорення вільного падіння; F_t — динамічний тиск потоку продукції на зважувальну місткість.

Поточне значення величини маси продукції у зважувальній місткості визначається:

$$m_t = P \cdot t = B \cdot \partial \cdot c \cdot V_0 \cdot t, \quad (3)$$

де P — інтенсивність подачі продукції живильником; t — тривалість операції дозування, $0 \leq t \leq t_k$; t_k — час формування заданої дози M_d ; B — ширина потоку продукції, що подається живильником; ∂ — висота шару продукції на живильнику; c — насипна питома маса продукції; V_0 — швидкість робочого органу живильника.

Значення $m_t \cdot g$ визначає наявну кількість продукції у зважувальній місткості. І тому після припинення подачі продукції живильником датчик ваги буде сприймати навантаження:

$$F_y = F_c + m_t \cdot g, \quad (4)$$

де F_0 — навантаження від дії кількості продукції, що знаходиться в стані переміщення у зважувальну місткість після зупинки живильника.

Формування і зважування дози здійснюється в часі, а тому основною складовою загального навантаження на датчик ваги, що буде впливати на точність зважування, є динамічний тиск потоку продукції на зважувальну місткість.

Величину динамічного тиску від потоку продукції на зважувальну місткість можна визначити за формулою:

$$F_t = P \cdot V_y = B \cdot \partial \cdot c \cdot V_0 \cdot V_y, \quad (5)$$

де V_y — швидкість переміщення потоку продукції в момент її контакту з продукцією, яка вже знаходиться в зважувальній місткості.

Значення F_t відображає зовнішнє навантаження на датчик ваги, але воно не відображає реальну кількість продукції, що переміститься у зважувальну місткість, після зупинки живильника. Для забезпечення відповідності цих навантажень потрібно щоб:

$$F_t = F_c = m_0 \cdot g, \quad (6)$$

де m_0 — маса продукції, що знаходиться у стані переміщення після зупинки живильника.

Якщо допустити, що зважувальна місткість заповнюється сипкою продукцією на $(2/3) H$, то:

$$y_0 = y_k + (2/3) H, \quad (7)$$

де y_0 — рівень розташування зважувальної місткості відносно робочої поверхні живильника; y_k — кінцеве значення рівня шару заданої дози продукції в мірній місткості, відносно робочої поверхні живильника; H — висота зважувальної місткості.

Для компоновки дозатора з вібраційним живильником (рис. 2, а) та з врахуванням прийнятих припущень швидкість переміщення потоку продукції в момент її контакту з продукцією, яка вже знаходиться в зважувальній місткості становить:

$$V_y = \lambda \cdot ((V_0 \cdot \sin \alpha)^2 + 2 \cdot g \cdot (y + 0,5 \cdot \delta))^{0,5}, \quad (8)$$

де λ — аеродинамічний коефіцієнт опору повітря потоку продукції; α — кут нахилу живильника до горизонту; y — поточне значення рівня шару продукції, що перемістилась в мірну місткість, відносно робочої поверхні живильника.

За незначних значень δ формулу (8) можна навести у вигляді:

$$V_y = \lambda \cdot ((V_0 \cdot \sin \alpha)^2 + 2 \cdot g \cdot y)^{0,5}. \quad (9)$$

Підставивши формулу (9) у вираз (5) одержимо:

$$F_t = P \cdot V_y = B \cdot \delta \cdot \rho \cdot V_0 \cdot \lambda \cdot ((V_0 \cdot \sin \alpha)^2 + 2 \cdot g \cdot y)^{0,5}. \quad (10)$$

Маса продукції, що знаходиться у стані переміщення після зупинки вібраційного живильника визначається формулою:

$$m_0 = B \cdot \delta \cdot \rho \cdot y. \quad (11)$$

З використанням рівнянь (6), (10) та (11) після спрощення отримаємо:

$$y = \lambda \cdot V_0^2 \cdot \{\lambda + [(\lambda^2 + \sin^2(\alpha))^{0,5}]/g\}. \quad (12)$$

На завершальному етапі формування дози (досипання) можна вважати, що $y = y_k$, тоді:

$$y_k = \lambda \cdot V_0^2 \cdot \{\lambda + [(\lambda^2 + \sin^2(\alpha))^{0,5}]/g\}. \quad (13)$$

Рівень розташування зважувальної місткості відносно робочої поверхні переміщення продукції вібраційним живильником знаходиться з використанням формули (7):

$$y_0 = \lambda \cdot V_0^2 \cdot \{\lambda + [(\lambda^2 + \sin^2(\alpha))^{0,5}]/g\} + (2/3)H. \quad (14)$$

Порядок проведення математичного моделювання для визначення раціонального розташування зважувальної місткості в дозаторі з стрічковим живильником (рис. 2, б) аналогічний.

Швидкість переміщення потоку продукції в момент її контакту з продукцією, яка вже знаходиться в зважувальній місткості знаходиться за формулою:

$$V_y = \lambda \cdot (V_0^2 - 2 \cdot g \cdot (R \cdot \cos \alpha - y - 0,5 \cdot \delta))^{0,5}, \quad (15)$$

де R — радіус приводного барабану стрічкового живильника.

За незначних значень δ формулу (15) приведено до вигляду:

$$V_y = \lambda \cdot (V_0^2 - 2 \cdot g \cdot (R \cdot \cos \alpha - y))^{0,5}. \quad (16)$$

Підставивши формулу (16) у вираз (5) одержимо:

$$F_t = P \cdot V_y = B \cdot \delta \cdot \rho \cdot V_0 \cdot \lambda \cdot (V_0^2 - 2 \cdot g \cdot (R \cdot \cos \alpha - y))^{0,5}, \quad (17)$$

Маса продукції, що знаходиться у стані переміщення після зупинки вібраційного живильника визначається формулою:

$$m_0 = B \cdot \rho \cdot \delta \cdot (y - R + 0,25 \cdot (\pi - 2 \cdot \alpha) \cdot (2 \cdot R + \delta)). \quad (18)$$

З використанням рівнянь (6), (17) та (18) на завершальному етапі формування дози (досипання) після спрощення отримаємо:

$$y = y_k = (\lambda \cdot V_0)^2 / g + R - \pi \cdot (0,5\pi - \alpha) / (2\pi) \cdot (\delta + 2R) + \dots \\ \dots + \lambda \cdot V_0 \cdot [V_0^2 \cdot (1 + \lambda^2) - 2 \cdot g \cdot (0,5\pi - \alpha) / (2\pi) \cdot (\delta + 2R) + \dots \\ \dots + 4g \cdot R \cdot \sin^2(0,5\alpha)]^{0,5} / g. \quad (19)$$

Рівень розташування зважувальної місткості відносно робочої поверхні переміщення продукції стрічковим живильником знаходиться з використанням формули (7):

$$y_0 = (\lambda \cdot V_0)^2 / g + R - \pi \cdot (0,5\pi - \alpha) / (2\pi) \cdot (\delta + 2R) + \dots \\ \dots + \lambda \cdot V_0 \cdot [V_0^2 \cdot (1 + \lambda^2) - 2 \cdot g \cdot (0,5\pi - \alpha) / (2\pi) \cdot (\delta + 2R) + \dots \\ \dots + 4g \cdot R \cdot \sin^2(0,5\alpha)]^{0,5} / g + (2 / 3) \cdot H. \quad (20)$$

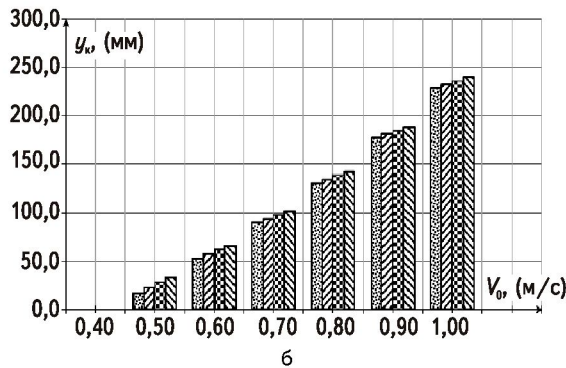
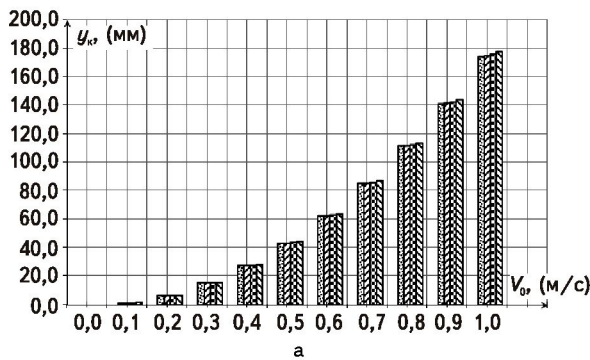


Рис. 3. Зміна значення раціонального розташування зважувальної місткості від швидкості переміщення продукції а) вібраційним, б) стрічковим живильником при різних їх розташуваннях відносно горизонту:

1. $\alpha = 0^\circ$; 2. $\alpha = 5^\circ$; 3. $\alpha = 10^\circ$; 4. $\alpha = 15^\circ$

Відповідно до формули (14, 20) основним параметром, що визначає раціональне розташування зважувальної місткості відносно робочої поверхні переміщення продукції живильником, є швидкість руху продукції в момент її сходження з несучої площини живильника. В свою чергу швидкість руху продукції в момент сходження з робочої поверхні живильника в значній мірі залежить від конструкції та компоновки живильника.

Для вихідних даних, що відповідають реально діючим зразкам лінійно вагових дозаторів, за формулами (14, 20) побудовані графіки зміни значення раціонального розташування зважувальної місткості відносно швидкості переміщення продукції живильником та кута нахилу робочого органу живильника до горизонту.

Висновки. У результаті виконаних досліджень встановлено:

- зменшити до мінімуму вплив однієї із складових динамічної похибки дозування можна за рахунок раціонального розташування зважувальної місткості;
- одним із технічних рішень для регулювання положення зважувальної

місткості відносно поверхні робочого органа живильника може бути встановлення зважувальної системи на приводні рухомі напрямні за допомогою яких здійснюється відповідне керування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гавва О.М. Обладнання для пакування продукції у споживчу тару / Гавва О.М., Беспалько А.П., Волчко А.І. — К.: ІАЦ «Упаковка», 2008. — 436 с.
2. Каталымов А.В. Дозирование сыпучих и вязких материалов / А.В. Каталымов, В.А. Любартович. — Л.: Химия, 1990. — 240 с.
3. Овчаренко А.И. Погрешность дозирования сыпучих продуктов / Овчаренко А.И., Серета А.Д., Шапиро М.В. // Упаковка. — 2007. — № 1. — С. 44 – 47.
4. Масло М.А. Вдосконалення вагових дозаторів / Масло М.А. // Упаковка. — 2003. — № 28. — С. 29.

В данной статье предложено уменьшить динамическую составляющую погрешности дозирования сыпучей продукции путем определения рационального расположения взвешивающей емкости в линейных весовых дозаторах. Существенное уменьшение динамической составляющей погрешности дозирования способствует повышению производительности дозатора для сыпучей продукции.

Ключевые слова: сыпучая продукция; линейный весовой дозатор; точность дозирования; динамическая погрешность дозирования; взвешивающая емкость.

**O.M. Gavva, A.V. Derenivska,
L.O. Krivoplyas-Volodina**

Ways of diminishing dynamic error dosage component for granular products

Linear of gravimetric dosing unit prevail at the equipment domestic market for packing granular products into consumer package today. Improvement of methodology of dosing unit is foresee reduction time for development new dosing unit and research their characteristics on the basis of the comprehensive engineering. For the basic criteria of efficiency metering devices appropriately to accept exactness dosages.

In this article brought the dynamic constituent dosage error for granular products by means of research results of determination rational location of weigher capacity in gravimetric dosing unit. Considerable decrease in dynamic constituent dosage error will assist to increase in dosing unit productivity for granular products.

Key words: granular products; linear gravimetric dosing unit; exactness of dosage; dynamic dosage error; weigher capacity.

Одержана редколегією 13.03.2013 р.