

THE THEORETICAL AND PRACTICAL ASPECTS OF IMPROVING THE DOSE ACCURACY OF GRANULAR FOOD PRODUCTS IN LINEAR GRAVIMETRIC FEEDERS

O. Gavva, A. Derenivska, L. Krivoplyas-Volodina
National University of Food Technologies

Key words:

Granular products
Linear gravimetric feeder
Exactness of dosage
Dynamic error of dosage
Weighing container

ABSTRACT

The research results of linear gravimetric feeder operation are presented in this article, providing the moving intensity of products through the hopper final channel and lessening the dynamic error of granular products dosage with the help of rational location of weighing container.

Article history:

Received 20.04.2013
Received in revised form
17.05.2013
Accepted 25.05.2013

Corresponding author:

E-mail:
npnuht@ukr.net

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ДОЗУВАННЯ СИПКОЇ ХАРЧОВОЇ ПРОДУКЦІЇ В ЛІНІЙНИХ ВАГОВИХ ДОЗАТОРАХ

О.М. Гавва, А.В. Деренівська, Л.О. Кривопляс-Володіна
Національний університет харчових технологій

У статті наведені результати дослідження роботи лінійного вагового дозатора, при забезпеченні заданої інтенсивності переміщення продукції через випускний канал бункера і зменшення динамічної складової похибки дозування сипкої продукції за рахунок раціонального розташування зважувальної місткості.

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

Сипка продукція складає значну частину від загального обсягу харчової продукції. Вона різноманітна за структурно — механічними властивостями і підлягає пакуванню в різні види і типи споживчої тари. Ці фактори визначають структуру машини для пакування сипкої продукції у споживчу тару.

Сьогодні, на ринку України, домінують пакувальні машини з лінійними ваговими дозаторами. Це пояснюється тим, що такі дозатори мають оптимальне співвідношення між вартістю, точністю дозування і продуктивністю. Безумовно, існують більш продуктивні дозувальні системи, що забезпечують значно вищу точність дозування. Але вони не набули широкого застосування для значної гами сипкої продукції через порівняно високу вартість. Тому пріоритетним напрямком розвитку пакувального обладнання є розробка нових вдосконалених зразків лінійних вагових дозаторів.

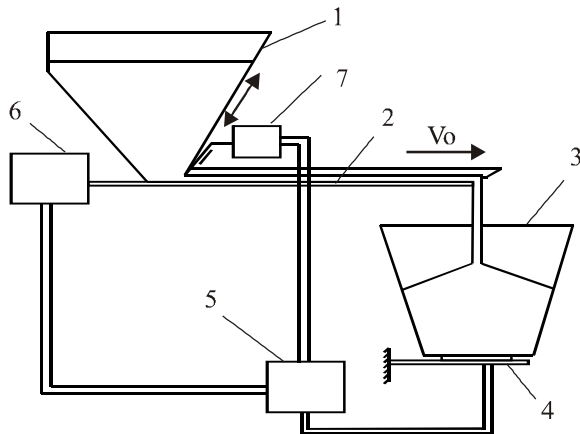


Рис. 1. Структурна схема вагового дозатора для сипкої продукції

У загальному вигляді структуру сучасного лінійного вагового дозатора для сипкої продукції можна навести сукупністю елементів, кожний з яких виконує окремі функції операції дозування (рис. 1). Сипка продукція безперервно або періодично подається у приймальний бункер 1, звідки живильником 2 відбирається і переміщується 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 аналого-цифровий перетворювач.

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

Вдосконалення дозаторів передбачає дослідження їх характеристик на основі комплексного підходу до проектування, а також проводиться оцінювання їх метрологічних характеристик і шляхів підвищення точності функціонування та продуктивності для конкретних видів сипкої продукції. Основним критерієм дослідження є точність дозування. Важливо знати фактори що впливають на точність дозування та їх взаємозв'язок.

Похибка дозування залежить від структури дозатора, компоновочної схеми, конструкційних виконань окремих елементів та режимів їх роботи. В науковій праці [1] виділено три типи похибок (три джерела похибок дозування):

- дрейфовий — характеризується пусковими режимами дозатора. Мінімального значення досягає при введенні затримок між вмиканням і початком дозування.

- статичний — обумовлюється неточністю виконання конструктивних елементів зважувальної системи тощо. Цей тип похибок складає десяти частини відсотка.

- динамічний — викликаний перехідними процесами в тензодатчиках під час падіння продукції в зважувальну місткість. Для його зменшення потрібні додаткові часові витрати (встановлення фільтрів запрограмованих для визначення середнього значення ваги). Це зменшує продуктивність дозатора.

Динамічна похибка має дві складові: режимну і власну. Режимна похибка залежить від інтенсивності подачі продукції, площі перерізу пропускного каналу бункера та живильника тощо. Власна похибка обумовлена фізико-механічними властивостями сипкої продукції і її взаємодії з робочими органами дозатора. Зменшити її конструктор практично не може. Тому основною регульованою складовою похибки дозування є режимна похибка.

Нерівномірність подачі сипкої продукції у зважувальну місткість та розташування цієї місткості в лінійних вагових дозаторах — основне джерело режимної складової динамічної похибки дозування. Тобто режимна похибка дозування залежить від швидкості подачі продукції, тиску продукції в бункері на робочий елемент живильника, площі перерізу пропускного каналу живильника, застосування спеціальних засобів стабілізації висоти шару продукції, відносної частки тривалості досипання продукції тощо.

Для мінімізації однієї із складових режимної похибки необхідно забезпечити сталу інтенсивність переміщення сипкої продукції через випускний канал бункера. Для автоматизованого регулювання положення заслінки бункера пропонується використати систему керування позиційним пневмоприводом (рис. 2) з такими складовими елементами: контролер, електропневматичний пропорційний регулятор тиску, мікроконтролер лінійного позиційного пневмоприводу [2]. Відповідно до рівня продукції в бункері, пропускної здатності живильника положення заслінки змінюється за рахунок зміни

величини вхідного (вихідного) тиску позиційного пневмоприводу заслінки. Крім того, для зменшення режимної складової динамічної похибки, необхідно забезпечити раціональне розташування зважувальної місткості відносно робочого органу живильника.

Для визначення раціональних параметрів роботи живильника та розташування зважувальної місткості були прийняті такі припущення: сипка продукція — незв'язна; дрібнофракційна. Розмірами частинок можна знехтувати та розглядати сипку продукцію, як суцільне середовище. Переміщення продукції можна описати законами гідравліки.

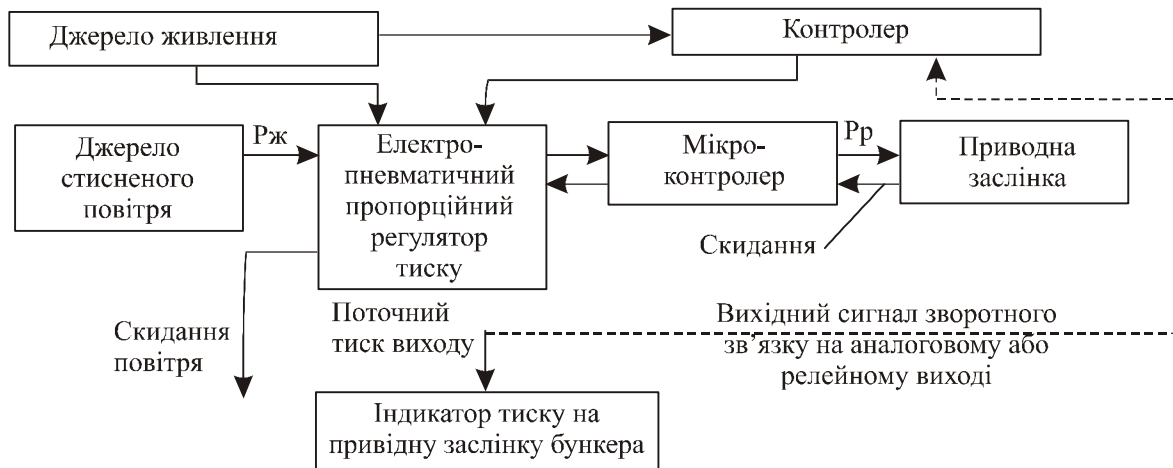


Рис. 2. Структура системи керування позиційним пневмоприводом для регулювання положення приводної заслінки бункера: $p_{ж}$ — тиск живлення; p_p — робочий тиск

Для визначення раціональних кінематичних і динамічних параметрів переміщення заслінки за допомогою позиційного пневмоприводу, залежно від інтенсивності переміщення продукції з бункера, розроблена математична модель руху заслінки за допомогою пневмопривода. Загальне силове навантаження на приводну заслінку представлене на рис. 3.

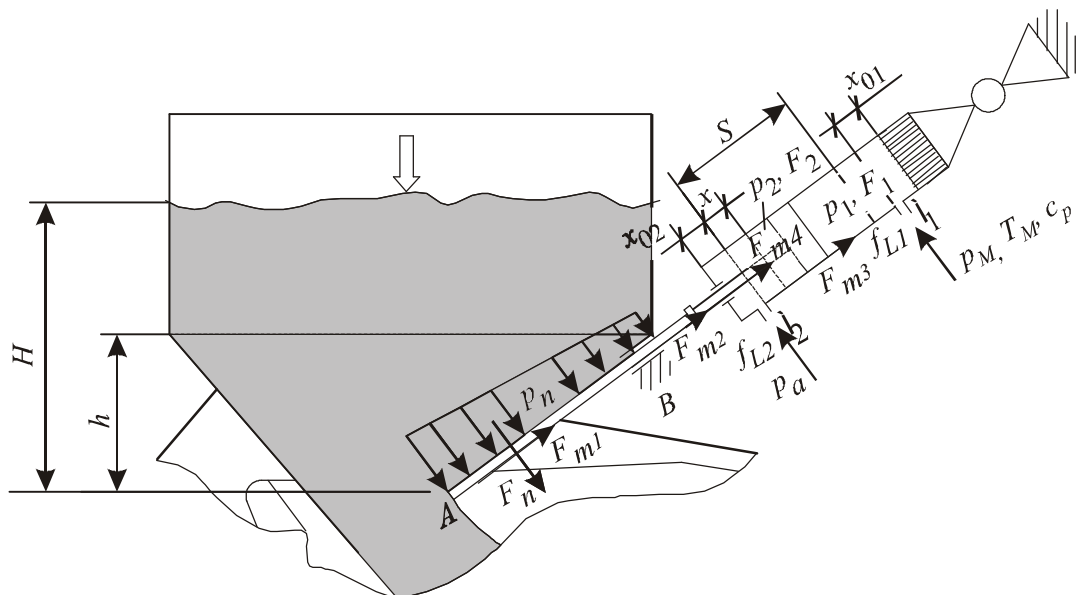


Рис. 3. Узагальнена розрахункова схема навантаження заслінки від дії продукції в бункері

Рівняння руху приводної заслінки можна навести у вигляді [3,4]:

$$M \cdot (d^2x) / (dt^2) = p_1 \cdot F_1 - p_2 \cdot F_2 - p_a \cdot (F_1 - F_2) - F_{m1} - F_{m2} - F_{m3} - F_{m4} \quad (1)$$

Рівняння зміни тиску в нагнітальній камері:

$$dp_1 / dt = \{k \cdot f_{L1} \cdot (R_g \cdot T_M \cdot (p_M^2 - p_1^2)^{0.5} / [F_1 \cdot (x + x_{01}) \cdot (\xi_1)^{0.5}]\} - \dots \quad (2)$$

$$\dots - \{k \cdot p_1 \cdot dx / [(x + x_{01})dt]\}.$$

Рівняння зміни тиску в штоковій камері:

$$dp_2 / dt = \{k \cdot f_{L2} \cdot (R_g \cdot T_2 \cdot (p_2^2 - p_a^2)^{0.5} / [F_2 \cdot (S - x + x_{02}) \cdot (\xi_2)^{0.5}]\} - \dots \quad (3)$$

$$\dots - \{k \cdot p_2 \cdot dx / [(S - x + x_{02}) \cdot dt]\},$$

де M — приведена маса рухомих частин шиберної заслінки та позиційного пневмоприводу; x — поточне значення переміщення штока позиційного пневмоприводу; t — тривалість переміщення штока позиційного пневмоприводу; p_1, p_2 — тиск в поршневій та штоковій камерах; p_a — атмосферний тиск; F_1 — площа поперечного перерізу поршня, F_2 — корисна торцева площа поршня; k — коефіцієнт переміщення сипкої продукції; f_{L1} — площа перерізу вхідної пневмомагістралі; f_{L2} — площа перерізу вихідного трубопроводу; T_2 — температура повітря, що відводиться із пневмоциліндра; T_M — температура повітря в магістралі; $R_g = 287$ — питома газова стала, Дж / (кг · К); S — робочий хід штоку; x_{01}, x_{02} — приведена початкова (кінцева) координата положення поршня; ξ_1, ξ_2 — коефіцієнт опору вхідного (вихідного) трубопроводу; $F_{m1} \dots F_{m4}$ — сили тертя ковзання.

Сили тертя ковзання становлять:

продукції по заслінці:

$$F_{m1} = f_1 \cdot F_n; \quad (4)$$

заслінки по напрямній:

$$F_{m2} = f_2 \cdot (F_n + m \cdot g); \quad (5)$$

де поршня позиційного пневмоприводу в циліндрі:

$$F_{m3} = f_3 \cdot F_n; \quad (6)$$

штока позиційного пневмоприводу в ущільненнях:

$$F_{m4} = f_4 \cdot F_n; \quad (7)$$

де m — маса шиберної заслінки; f_1, f_2, f_3, f_4 — коефіцієнти тертя ковзання відповідно продукції по заслінці, заслінки по напрямній, поршня по циліндру позиційного пневмоприводу; штока по ущільненню позиційного пневмоприводу; F_n — рівнодіюче нормальне навантаження від дії сипкої продукції на приводну заслінку, яке можна визначити із виразу:

$$F_n = 0,5 \cdot (\cos^2 \alpha + k \cdot \sin^2 \alpha) \cdot \gamma \cdot S \cdot l \cdot b \cdot (H + h), \quad (8)$$

де k — коефіцієнт переміщення сипкої продукції; α — кут нахилу до горизонту приводної заслінки бункера; γ — питома вага продукції; l — довжина робочої ділянки заслінки; b — ширина заслінки; H, h — висота рівня продукції над заслінкою відповідно в точках А та В.

Результати числових розрахунків математичних залежностей (1..8), що описують переміщення заслінки в бункері за допомогою позиційного пневмоприводу, представлені у вигляді графіків на рис.4 за таких вихідних даних: продукція — пшоно; $\gamma = 800 \text{ кг/м}^3$; $b = 0,1 \text{ м}$; $S = 0,05 \text{ м}$; $h = 0,380 \text{ м}$; $H = 0,790 \text{ м}$; $M = 1 \text{ кг}$; $p_a = 1 \text{ бар}$; $p_m = 6 \text{ бар}$; $F_1 = 2,011 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$; $F_2 = 1,728 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$; $T_M = 290 \text{ К}$; $S = 0,050 \text{ м}$; $x_{01} = x_{02} = 0,05 \text{ м}$.

Для реалізації будь-якого безперервного закону руху заслінки (рис. 4), потрібно за відповідною функціональною залежністю змінювати площу перерізу вхідного отвору порожнини наповнення f_{L1} . Таке технічне рішення дає змогу регулювати інтенсивність видачі продукції з бункера.

Визначення раціонального розташування зважувальної місткості виконаємо за умови, що живильники виконані у вигляді вібраційного або стрічкового конвеєрів (рис. 5).

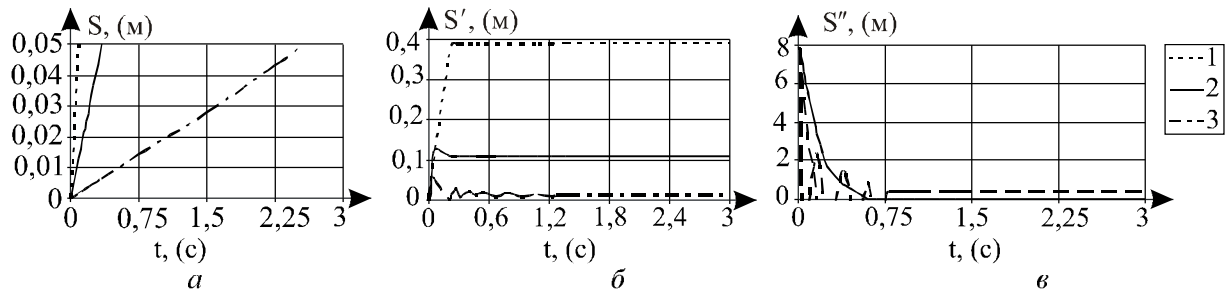


Рис. 4. Графіки зміни:

a — переміщення штоку; *б* — швидкості; *в* — прискорення по часу за умови:

1) $f_{L1} = f_{L2} = 7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$; 2) $f_{L1} = 1,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2, f_{L2} = 7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$; 3) $f_{L1} = 2,8 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2, f_{L2} = 7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$.

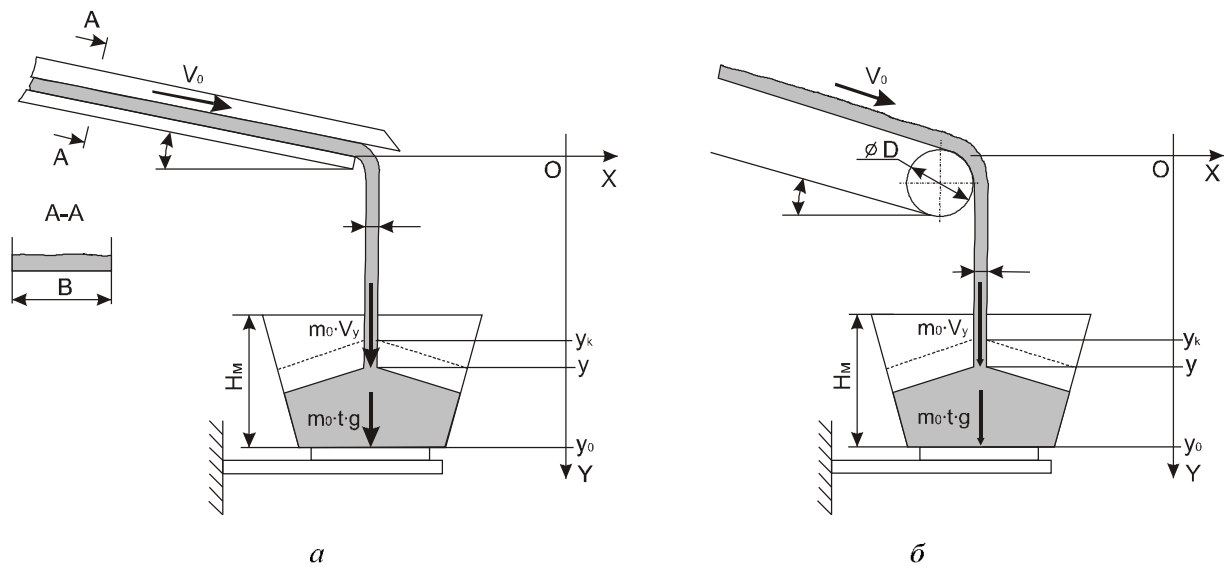


Рис. 5. Схема навантаження датчика вимірювання ваги навантажувальної місткості з продукцією для дозатора:
a — з вібраційним; *б* — із стрічковим живильником

У процесі набору дози продукції датчик вимірювання ваги навантажується як сталими масами, так і змінною масою продукції, яка подається у зважувальну місткість [5].

Повне зусилля на датчик ваги F_{Σ} визначається сумою сталого статичного і змінного динамічного навантаження (рис. 5):

$$F_{\Sigma} = F_c + F_d, \quad (9)$$

де F_c — статичне навантаження на датчик від ваги зважувальної місткості; F_d — 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_d , яке визначається сумою миттєвої ваги продукції, що знаходиться у зважувальній місткості, і динамічного тиску від продукції, що подається у місткість:

$$F_d = m_t \cdot g + F_t, \quad (10)$$

де m_t — поточне значення маси продукції у зважувальній місткості; g — прискорення вільного падіння; F_t — динамічний тиск потоку продукції на зважувальну місткість.

Поточне значення величини маси продукції у зважувальній місткості визначається:

$$m_t = p \cdot t = B \cdot \delta \cdot \rho \cdot V_0 \cdot t, \quad (11)$$

де t — тривалість операції дозування, p — інтенсивність подачі продукції живильником; B — ширина потоку продукції, що подається живильником.

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

$$F_{\Sigma} = F_t + M_d \cdot g, \quad (12)$$

де M_d — задана маса дози.

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

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

$$F_t = p \cdot V_y = B \cdot \delta \cdot \rho \cdot V_0 \cdot V_y, \quad (13)$$

де V_y — швидкість переміщення потоку продукції в момент її контакту з продукцією, яка вже знаходиться в зважувальній місткості, V_0 — швидкість переміщення продукції живильником.

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 виконувалась умова:

$$F_t = m_0 \cdot g, \quad (14)$$

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

$$m_0 = B \cdot \delta \cdot \rho \cdot y_k \quad (15)$$

Після підстановки та спрощення виразів (13, 14, 15) рівняння для визначення кінцевого значення рівня шару продукції, що перемістилась в зважувальну місткість набуде вигляду:

$$y_k = V_0 \cdot V_y / g. \quad (16)$$

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

– вібраційного живильника:

$$V_y = \lambda \cdot ((V_0 \cdot \sin \alpha)^2 + 2 \cdot g \cdot y_k)^{0,5}, \quad (17)$$

– стрічкового живильника:

$$V_y = \lambda \cdot (V_0^2 - 2 \cdot g \cdot (R \cdot \cos \alpha - y_k))^{0,5} \quad (18)$$

Рациональне розташування зважувальної місткості відносно робочої поверхні переміщення продукції можна визначати за формулою:

$$y_0 = y_k + (2/3)H_m, \quad (19)$$

де H_m — висота зважувальної місткості.

Кінцеве значення рівня шару продукції, що перемістилась в зважувальну місткість, відносно робочої поверхні переміщення продукції з врахуванням формули (16, 17, 18) можна визначити для:

– вібраційного живильника: $y_k = \lambda \cdot V_0^2 \cdot \{\lambda + [(\lambda^2 + \sin^2(\alpha))]^{0,5}\} / g$; (20)

– стрічкового живильника:

$$y_k = (\lambda \cdot V_0^2 / g + R - \pi \cdot (0,5\pi - \alpha) / (2\pi) \cdot (\delta + 2R) + \lambda \cdot V_0 \times \dots \dots \times [V_0^2 \cdot (1 + \lambda^2) - 2\pi \cdot g \cdot (0,5\pi - \alpha) / (2\pi) \cdot (\delta + 2R) + 4g \cdot R \cdot \sin^2(0,5\alpha)]^{0,5} / g, \quad (21)$$

де λ — аеродинамічний коефіцієнт опору повітря потоку продукції; V_0 — середня швидкість переміщення продукції робочим органом живильника; α — кут нахилу живильника до горизонту; R — радіус приводного барабану стрічкового живильника; δ — висота шару продукції на живильнику; g — прискорення вільного падіння.

Результатами числових розрахунків виразів (20) та (21) встановлено що вирішальним параметром який впливає на значення рационального розташування зважувальної

місткості (рис. 6) є швидкість руху продукції в момент її сходження з несучої площини живильника.

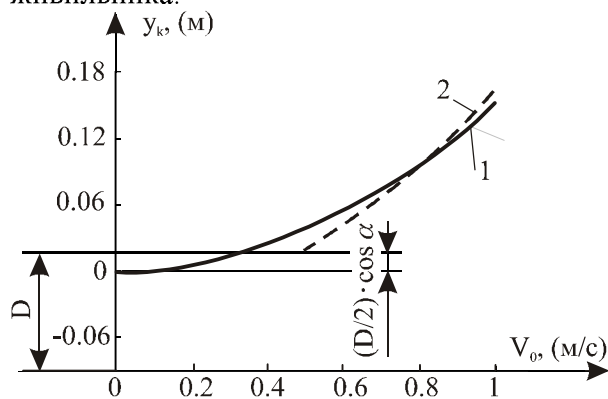


Рис. 6. Зміна раціонального значення розташування зважувальної місткості від швидкості переміщення продукції живильниками:
1 — вібраційним; 2 — стрічковим (кут розташування живильників відносно горизонту прийнято $\alpha = 6^\circ$)

Відхилення від раціонального значення розташування зважувальної місткості відносно робочій поверхні переміщення продукції призводить до зниження точності дозування. За таких умов величина режимної складової динамічної похибки дозування складає для:

– вібраційного живильника:

$$\varepsilon = \gamma \cdot \delta \cdot B \left| y \cdot g - \lambda \cdot V_0 \cdot (V_0^2 \cdot \sin^2 \alpha + 2 \cdot y \cdot g)^{0.5} \right| / (M_0 \cdot g) \cdot 100; \quad (22)$$

– стрічкового живильника:

$$\varepsilon = \gamma \cdot \delta \cdot B \cdot \left| \lambda \cdot V_0 \cdot [V_0^2 + 2 \cdot g \cdot (y - R \cdot \cos \alpha)]^{0.5} - g \cdot (y - R + \dots \dots + (0,5 \cdot \pi) / (2 \cdot \pi) \cdot (2 \cdot \pi \cdot R + \pi \cdot \delta)) \right| / (M_0 \cdot g) \cdot 100. \quad (23)$$

Висновки

Розроблена математична модель руху заслінки дає можливість реалізувати раціональні режими роботи лінійних вагових дозаторів. Крім цього, за рахунок раціонального розташування зважувальної місткості можливо зменшити до мінімуму вплив однієї із складових динамічної похибки дозування. 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. Овчаренко А.И., Середя А.Д., Шапиро М.В. Погрешность дозирования сыпучих продуктов / Упаковка. — 2007. — N 1. — с. 44-47.
2. <http://contravt-metodichka.ru/?id=8640>
3. Герц Е.В. Пневматические устройства и системы в машиностроении. Справочник. — М.: «Машиностроение», 1981. — 408 с.
4. Герц Е.В., Крейнин Г.В. Расчет пневмоприводов. Справочное пособие. — М.: «Машиностроение», 1975. — 272 с.
5. Гавва О.М., Беспалько А.П., Волчко А.І. Обладнання для пакування продукції у споживчу тару / К.: ІАЦ «Упаковка», 2008. — 436 с.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ДОЗИРОВАНИЯ СЫПУЧЕЙ ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ В ЛИНЕЙНЫХ ВЕСОВЫХ ДОЗАТОРАХ

О.М. Гавва, А.В. Дереновская, Л.О. Кривопляс-Володина

Национальный университет пищевых технологий

В статье приведены результаты исследования работы линейного весового дозатора, при обеспечении заданной интенсивности перемещения продукции через выпускной канал бункера и уменьшения динамической составляющей погрешности дозирования сыпучей продукции за счет рационального расположения взвешивающей емкости.

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