

УДК 621.798

Б.О.Пальчевський, Д.В.Бондарчук

Луцький національний технічний університет

АНАЛІЗ ТОЧНОСТІ РОЗДІЛЬНО-ПОРЦІЙНОГО ОБ'ЄМНОГО ДОЗУВАННЯ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ

В роботі проаналізована точність і можливість часткової компенсації випадкових похибок дозування сипких матеріалів.

Ключові слова: дозатор, дозування, допуск, маса, похибка, точність.

Вступ

Однією із найбільш складних і відповідальних операцій технологічного процесу пакування сипких матеріалів є дозування, яке може здійснюватись повільним ваговим або швидкісним об'ємним способом.

Основним недоліком об'ємного дозування є низька точність відмірювання дози матеріалу, зумовлена впливом різних факторів, які вносять систематичні і випадкові похибки у відмірювання дози. Найбільш істотно впливає на точність об'ємного дозування коливання значення насипної густини дозованого матеріалу в мірці дозатора за рахунок випадкового розташування частинок матеріалу.

Існуючі способи підвищення точності об'ємного дозування сипких матеріалів передбачають застосування механічного, вібраційного або аераційного впливу на матеріал, що дозується, із метою стабілізації його реологічних характеристик [1,2]. Однак, такий підхід до підвищення точності об'ємного дозування призводить до ускладнення конструкції дозатора, збільшення його метало- і енергоємності, а відповідно і вартості.

1. Принцип роздільно-порційного дозування

Для підвищення точності об'ємного дозування сипких матеріалів авторами розроблений роздільно-порційний спосіб дозування [3,4], при якому підвищення точності досягається не за рахунок спроб стабілізації величини насипної густини сипкого продукту додатковим енергетичним впливом, а за рахунок часткової взаємної компенсації випадкових похибок дозування. Основна суть роздільно-порційного дозування полягає в тому, що потрібна доза матеріалу відмірюється декількома мірками окремими порціями із подальшим їх об'єднанням у потрібну дозу (рис.1,а).

При цьому частина порцій буде відміряна із недобором до номінальної маси, а інша частина – із перевищенням маси за номінальне значення. При об'єднанні в потрібну дозу неточність відмірювання окремих порцій частково взаємно компенсується і поле розсіяння $\omega_{\delta-i}$ зменшується порівняно із полем ω_{i-it} розсіяння при одно порційному дозуванні (рис.1,б).

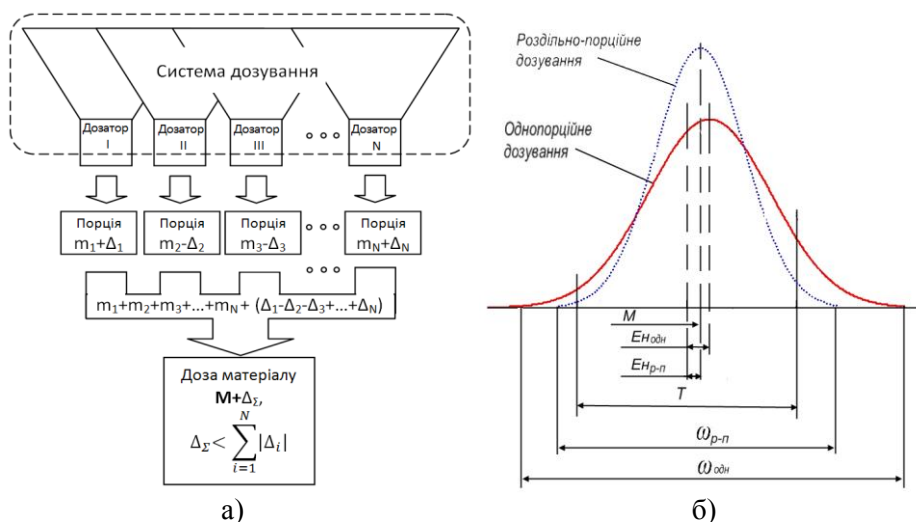


Рис. 1. Роздільно-порційний дозатор: а – принципова схема дозатора, б – криві нормального розподілу при однопорційному і роздільно-порційному способах дозування

Метою даної роботи є аналіз точності роздільно-порційного способів дозування.

2. Методика оцінювання похибки дозування

Точність відмірювання маси дози задається величиною встановленого на неї допуску, який узагальнено можна представити загальновідомою в машинобудуванні залежністю:

$$T = a \cdot i,$$

де a – кількість одиниць допуску, яка не залежить від номінального розміру, а залежить від методів досягнення точності;

i – одиниця допуску, яка виражає залежність допуску від номінальної величини (розмір, маса тощо).

Забезпечення надійності дозуючої системи за параметром точності можливе згідно з ГОСТ 27.202-83 тільки при виконанні таких умов:

1) коефіцієнт точності $\hat{E}_\delta < 1$.

$$\hat{E}_\delta = \frac{\omega}{T},$$

де ω – поле розсіювання мас доз сипкого матеріалу,

\dot{O} – поле допуску на масу дози матеріалу.

2) Значення коефіцієнта зміщення налагодження \hat{E}_i менше його допустимого значення $[\hat{E}_i]$:

$$\hat{E}_i = \frac{\dot{A}_i}{T} = \frac{|\bar{y} - y_0|}{2 \cdot T} < [\hat{E}_i],$$

де \dot{A}_i – похибка налагодження, тобто відхилення центру розсіювання \bar{y} від середини поля допуску y_0 (рис.2).

Можна також використати комплексний показник точності, який враховує розсіювання дози і відхилення центру групування значень маси дози від середини поля розсіювання [9]:

$$\hat{E}_N = \max \left| \frac{\omega}{T - 2E_i}; \frac{\omega}{T + 2E_i} \right|$$

Величина ω розсіювання мас доз сипкого матеріалу залежить від точності системи дозування. Точність системи дозування кількісно характеризується допустимою похибкою. Допустимі похибки вагового дозувального обладнання регламентуються стандартами [5,6], згідно із якими для вагових дозаторів встановлені такі основні класи точності: 0,2; 0,5; 1,0.

3. Визначення коефіцієнта точності роздільно-порційного дозування

Допустимі похибки об'ємних дозаторів стандартами на сьогоднішній час не регламентуються, а кількісно оцінюються відносною похибкою δ_i відмірювання у відсотках від заданого значення маси дози:

$$\delta_i = \frac{\Delta m_i}{m_i},$$

де Δm_i – абсолютна похибка дозування, виражена в одиницях маси, m_i – маса дози.

Відносна похибка системи дозування залежить виключно від особливостей перебігу технологічного процесу дозування і конструкції дозатора і характеризує якість дозувальної системи незалежно від величини дози.

Абсолютна сумарна похибка $\Delta M_{\Sigma \delta-i}$ роздільно-порційного дозування окремої порції матеріалу складається із похибки $\Delta M_{\delta-i}$ роздільно-порційного відмірювання потрібної дози і похибки налагодження \dot{A}_i дозатора на потрібну величину дози:

$$\Delta M_{\Sigma \delta-i} = \Delta M_{\delta-i} + \dot{A}_i.$$

Для оцінки похибки $\Delta M_{\delta-i}$ роздільно-порційного дозування потрібно визначити найменше $M_{\min \delta-i}$ і найбільше $M_{\max \delta-i}$ значення миси результуючої дози, при умові, що маси складових порцій набувають мінімальних або максимальних значень.

Найменше значення результуючої дози:

$$M_{\min \delta-i} = \sum_{s=1}^n m_s - \sum_{s=1}^n \Delta m_s,$$

Найбільше значення результуючої дози:

$$M_{\max \delta-i} = \sum_{s=1}^n m_s + \sum_{s=1}^n \Delta m_s.$$

Похибка роздільно-порційного дозування [7]:

$$\Delta M_{\delta-i} \approx \Delta m_1 + \Delta m_2 + \dots + \Delta m_n = \sum_{s=1}^n \Delta m_s.$$

Очевидно, що такий підхід дає завищене значення результуючої похибки роздільно-порційного дозування, оскільки малоімовірно, що всі порції набудуть мінімального або максимального значення.

Похибки дозування окремих порцій при роздільно-порційному дозуванні можна розглядати, як незалежні величини, розподіл яких підпорядковується нормальному закону.

Прийнявши, що в загальному випадку маса $\Delta M_{\delta-i}$ результуючої дози при роздільно-порційному дозуванні пов'язана із масами окремих порцій залежністю

$$\Delta M_{\delta-i} = f(m_1, m_2, m_3, \dots, m_n),$$

отримаємо узагальнений вираз для похибки роздільно-порційного дозування [7]:

$$\Delta M_{\delta-i} = \sqrt{\left(\frac{\partial M_{\delta-i}}{\partial m_1} \Delta m_1\right)^2 + \left(\frac{\partial M_{\delta-i}}{\partial m_2} \Delta m_2\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial M_{\delta-i}}{\partial m_n} \Delta m_n\right)^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial M_{\delta-i}}{\partial m_i} \Delta m_i\right)^2},$$

де $\frac{\partial M_{\delta-i}}{\partial m_1}$, $\frac{\partial M_{\delta-i}}{\partial m_2}$, ..., $\frac{\partial M_{\delta-i}}{\partial m_n}$ – часткові похідні функції $\Delta M_{\delta-i} = f(m_1, m_2, m_3, \dots, m_n)$ по окремих змінних.

Враховуючи, що $M_{\delta-i} = m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_n = \sum_{i=1}^n m_i$ отримаємо вираз для похибки роздільно-порційного дозування:

$$\Delta M_{\delta-i} = \sqrt{(\Delta m_1)^2 + (\Delta m_2)^2 + \dots + (\Delta m_n)^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\Delta m_i)^2}.$$

де $\Delta m_1, \Delta m_2, \dots, \Delta m_n$ – похибки дозування окремих порцій.

Виразивши абсолютні похибки окремих порцій через відносні отримаємо:

$$\Delta M_{\delta-i} = \sqrt{(\delta_1 \cdot m_1)^2 + (\delta_2 \cdot m_2)^2 + \dots + (\delta_n \cdot m_n)^2}.$$

Прийнявши, що для однієї системи дозування відносна похибка $\delta_1 = \delta_2 = \dots = \delta_i$, а маса окремих порцій $m_1 = m_2 = \dots = m_i = \frac{M}{n}$, отримаємо:

$$\Delta M_{\delta-i} = \sqrt{n(\delta_i \cdot m_i)^2} = \sqrt{n \left(\delta_i \cdot \frac{M}{n}\right)^2} = \sqrt{\frac{(\delta_i \cdot M)^2}{n}} = \frac{\delta_i \cdot M}{\sqrt{n}} = \frac{\Delta M}{\sqrt{n}},$$

де ΔM – похибка однопорційного дозування.

Коефіцієнт точності роздільно-порційного дозування:

$$\hat{E}_\delta = \frac{\omega}{\dot{O}} = \frac{2 \cdot \Delta M_{\delta-i}}{\dot{O}} = \frac{2 \cdot \Delta M}{\sqrt{n} \cdot \dot{O}}$$

4. Визначення впливу похибки налагодження на точність дозування

Розглядаючи вплив систематичної похибки налагодження на точність роздільно-порційного дозування, слід виділити такі можливі випадки:

1) систематичні похибки налагодження порційних дозаторів є взаємопов'язаними, що має місце, наприклад, при використанні в конструкції системи дозування механізму для одночасного налагодження всіх порційних дозаторів.

В такому разі всі систематичні похибки налагодження отримують однаковий знак і не можуть бути компенсовані, а вираз для визначення сумарної похибки роздільно-порційного дозування набуває вигляду:

$$\Delta M_{\Sigma \delta-i} = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^n (\Delta m_i)^2} + \dot{A}_{i \delta \ddot{e}}$$

де $\dot{A}_{i \delta \ddot{e}}$ – систематична похибка налагодження порційного дозатора на потрібну величину порції.

2) систематичні похибки налагодження окремих порційних дозаторів є незалежними і появу окремої систематичної похибки із певним знаком можна вважати випадковим фактором. В такому випадку також можливою є часткова взаємна компенсація систематичних похибок налагодження порційних дозаторів. Вираз для визначення похибки роздільно-порційного дозування має вигляд:

$$\Delta M_{\Sigma \delta-i} = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^n (\Delta m_i)^2} \pm \sqrt{\sum_{i=1}^n (\Delta_{i i \delta \ddot{e}})^2}$$

де $\Delta_{i i \delta \ddot{e}}$ – похибка налагодження окремого порційного дозатора.

Шляхом комп'ютерного моделювання роботи роздільно-порційного дозатора отримані графіки (рис.2) залежності похибок дозування і налагодження, а також сумарної похибки роздільно-порційного дозування від кількості порцій, якими відмірюється доза сипкого матеріалу, для випадків відсутності і наявності часткової компенсації похибок налагодження порційних дозаторів.

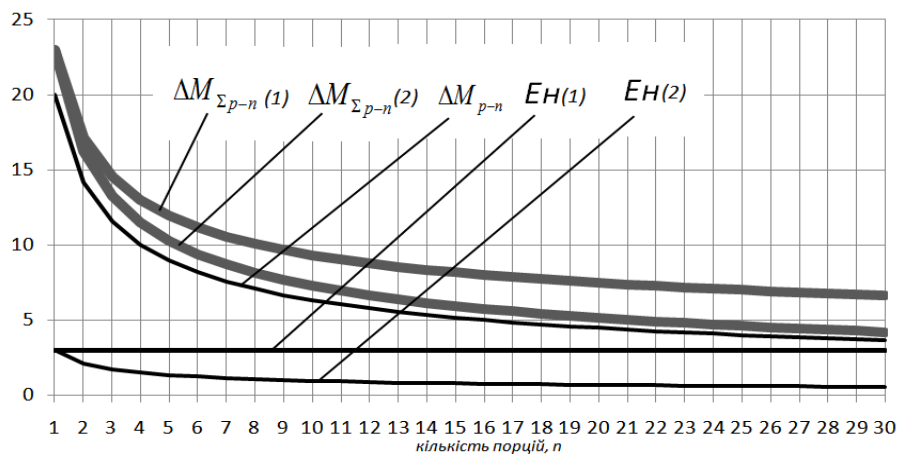


Рис.2. Залежність від кількості порцій n величини похибки дозування $\Delta \dot{I}_{\delta-i}$, налагодження $\dot{A}_{i \delta \ddot{e}}$, сумарної похибки роздільно-порційного дозування $\Delta M_{\Sigma \delta-i}$ при відсутності (1) і наявності (2) часткової компенсації похибок налагодження

Як видно із графіків кількість порцій роздільно-порційного дозатора має певну область оптимуму, яка забезпечує найвищу точність, і подальше збільшення кількості порцій, якими відмірюється потрібна доза матеріалу є недоцільним.

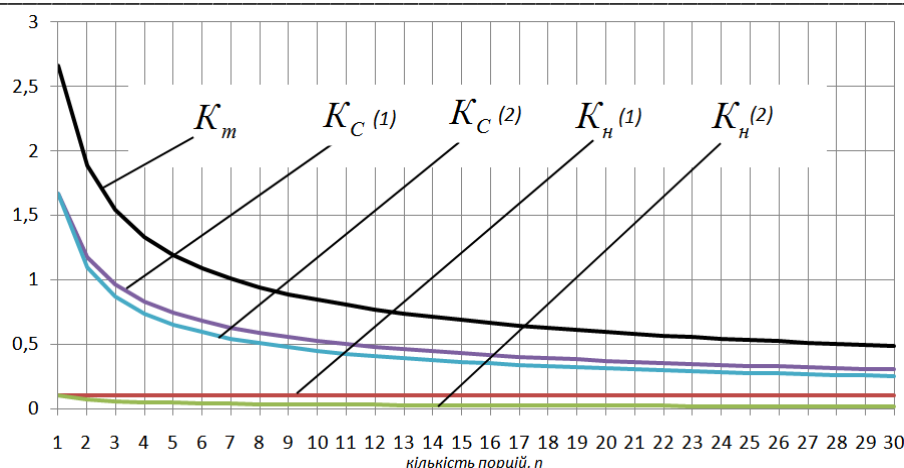


Рис.3. Залежність від кількості порцій n величини коефіцієнта точності \hat{E}_δ , коефіцієнта налагодження і комплексного показника точності \hat{E}_N роздільно-порційного дозування при відсутності (1) і наявності (2) часткової компенсації похибок налагодження

На рис. 3 наведені графіки залежності коефіцієнта точності роздільно-порційного дозатора від кількості порцій для випадків відсутності і наявності часткової компенсації похибок налагодження порційних дозаторів.

Висновки

Застосування роздільно-порційного дозування дає змогу зменшити похибку дозування сипкого матеріалу за рахунок часткової взаємної компенсації випадкових складових похибок дозування окремих порцій. Для забезпечення ефективності застосування роздільно-порційного методу дозування сипких матеріалів потрібно, щоб конструкція роздільно-порційного дозатора забезпечувала рандомізацію похибок налагодження окремих порцій, що може бути реалізовано роздільним налагодженням порційних дозаторів. Кількість порцій роздільно-порційного дозатора має певну область оптимуму по вартості дозатора, яка забезпечує задану точність при мінімальній кількості порцій.

1. Катамылов А.В., Любартович В.А. Дозирование сыпучих и вязких материалов. – Л.: Химия.– 1990.–220с.
2. Рогинский Г.А Дозирование сыпучих материалов. – М.: Химия, 1973, – 160с.
3. Патент на корисну модель №42895. Пристрій дозування сипких матеріалів, МПК(2009) G01G 11/00, опубл. 27.07.2009, Бюл. №14.
4. Патент на корисну модель №42896. Спосіб дозування матеріалів, МПК(2009) G01F 11/00, опубл. 27.07.2009, Бюл. №14.
5. ГОСТ 24619-81 «Весовые дозаторы дискретного действия, весы и весовые дозаторы непрерывного действия. Нормы точности. Метрологические параметры».
6. ГОСТ 10223-97 «Дозаторы весовые дискретного действия. Общие технические требования»
7. Тейлор Дж. Введение в теорию ошибок. Пер. с англ.–М.: Мир, 1985.–272с.,ил.
8. ГОСТ 27.202-83 «Технологические системы. Методы оценки надежности по параметрам качества изготавливаемой продукции».
9. Пальчевський Б.О. Дослідження технологічних систем (моделювання, проектування, оптимізація): Навч. посібник. –Львів: Світ, 2001. – 232с.