

УДК 620.66.022

**ПРОЕКТУВАННЯ ДВОРОТОРНИХ ВІДЦЕНТРОВИХ ЗМІШУВАЧІВ
БЕЗПЕРЕРВНОЇ ДІЇ**

Т.Я. БІЛА, В.В. СТАЦЕНКО

Київський національний університет технологій та дизайну

У статті розглянуто конструкцію та принцип дії двороторного відцентрового змішувача безперервної дії. Проведено аналіз його переваг та недоліків, запропоновано алгоритм проектування обладнання даного типу

Різноманітні композиційні полімерні матеріали широко використовують на сучасних підприємствах легкої промисловості. У більшості випадків вихідні компоненти для таких матеріалів постачаються у вигляді гранул, які за допомогою спеціального обладнання змішують у відповідності до заданої рецептури. Зазначимо, що якість виготовлення суміші значною мірою визначає фізичні характеристики продукту, отже задача створення технологічного устаткування, яке забезпечує необхідний відсотковий склад її компонентів, є актуальною.

Об'єкти та методи дослідження

Об'єктом дослідження є двороторний відцентровий змішувач безперервної дії із системою незалежного керування кожним з роторів.

Постановка завдання

Метою дослідження є створення алгоритму проектування двороторного відцентрового змішувача безперервної дії та розрахунку параметрів і режимів роботи його робочих органів.

Результати та їх обговорення

Основними параметрами, які визначають якість процесу змішування в цілому, є відсотковий склад суміші та рівномірність розподілу її компонентів. В ідеальному випадку корегування відсоткового складу забезпечується дозаторами, а рівномірність розподілу – змішувачем. Проте, під час роботи реальних дозувальних пристроїв виникають відхилення їх об'ємної продуктивності від заданих параметрів, що призводить до зниження якості суміші. Необхідно враховувати, що причинами таких відхилень можуть бути як недосконалості у конструкції дозаторів, так і локальні зміни стану суміші. У останньому випадку відхилення часто носять тимчасовий характер, що суттєво ускладнює їх корегування. Водночас, одним із основних параметрів змішувача є згладжувальна здатність, яка дозволяє зменшити вплив таких відхилень у роботі дозувального обладнання. Ідея полягає в тому, щоб рівномірно розподілити зайву кількість одного з компонентів всередині всього об'єму суміші, що знаходиться всередині змішувача. Загальна кількість кожного з компонентів лишається незмінною, але максимальне відхилення відсоткового складу від заданого зменшується. Величина цього зменшення визначається кількістю суміші всередині змішувача. Тобто збільшення об'єму зони змішування сприятиме збільшенню згладжувальної здатності. Водночас відомо [1], що для забезпечення якісного перемішування компонентів суміші необхідно уникати виникнення щільних потоків частинок. Вирішити цю задачу можна за рахунок застосування двороторних змішувачів безперервної дії [2] (рис. 1).

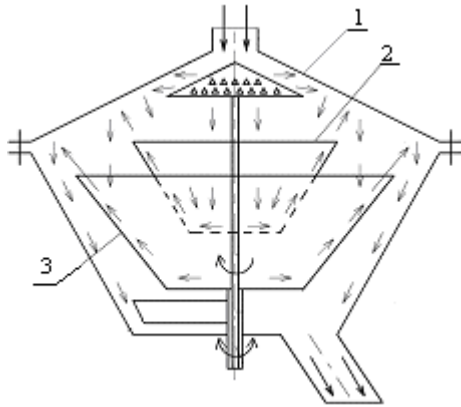


Рис.1. Двороторний відцентровий змішувач безперервної дії

До його складу входять: корпус (1), внутрішній ротор (2), зовнішній ротор (3). Напрямок руху частинок суміші показано стрілками. Кожен з роторів має окремий привід, що дозволяє контролювати перебіг процесу змішування всередині них і змінювати режими їх роботи.

Особливий інтерес з точки зору даного дослідження представляє робота зовнішнього ротора у режимі накопичувача. При цьому з'являється можливість збільшити загальну кількість суміші всередині змішувача, а отже і збільшити його згладжувальну здатність. Перехід ротора у режим накопичувача здійснюється за рахунок зменшення його швидкості обертання. Час роботи у цьому режимі визначається об'ємом ротора та продуктивністю дозаторів. Водночас зрозуміло, що збільшення зовнішнього ротора призведе до збільшення габаритів та маси змішувача. Отже під час проектування обладнання даного типу необхідно визначити мінімально можливі розміри роторів, що забезпечують задані параметри якості.

Схема алгоритму проектування двороторного змішувача безперервної дії показана на рис. 2. Сам алгоритм складається з трьох основних етапів: завдання вихідних параметрів, розрахунку внутрішнього ротора та розрахунку зовнішнього ротора. Розглянемо кожен з цих етапів.

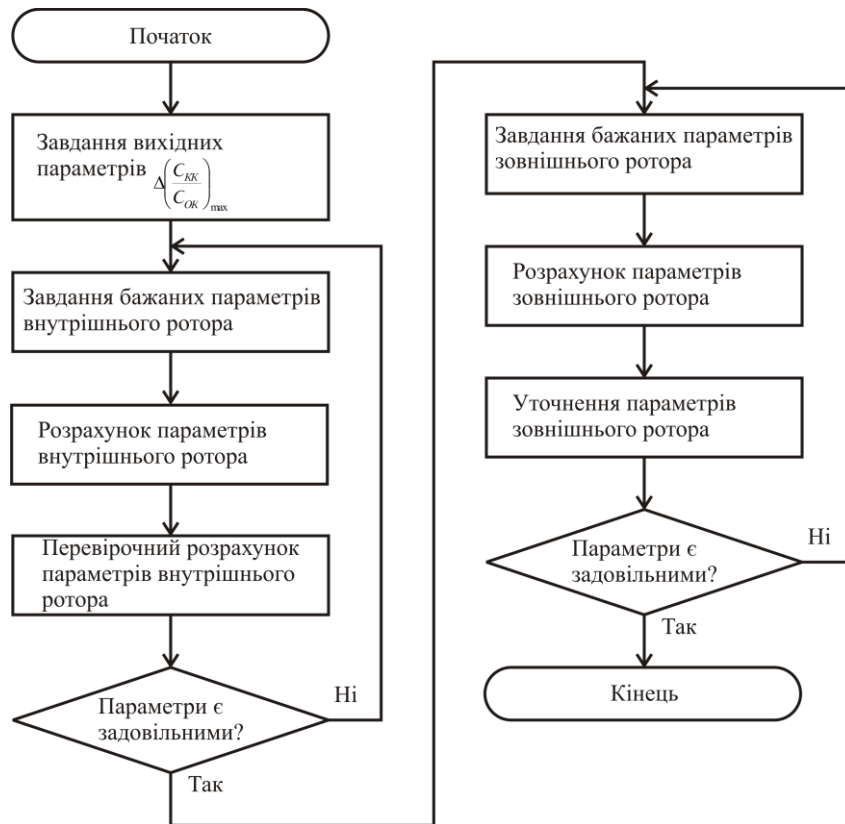


Рис. 2. Схема алгоритму проектування двороторного змішувача безперервної дії

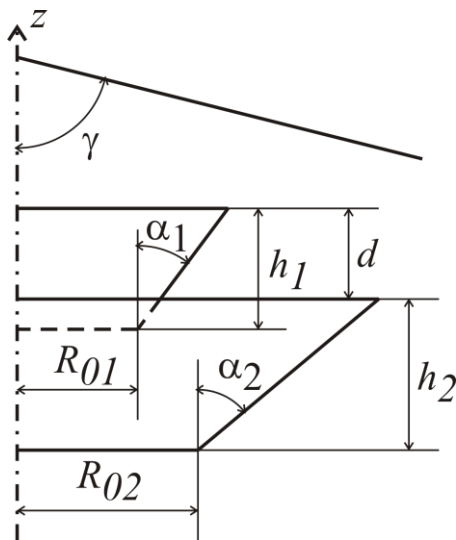


Рис. 3. Взаємне розташування робочих органів відцентрового змішувача безперервної дії

Вихідним параметром, що визначає мінімальне значення згладжувальної здатності змішувача, є максимально допустиме відхилення відношення концентрації ключового компонента до концентрації основного:

$$\Delta \left(\frac{C_{KK}}{C_{OK}} \right)_{\max} = \left| \left(\frac{C_{KK}}{C_{OK}} \right)_{\max} - \left(\frac{C_{KK}}{C_{OK}} \right)_{\text{зад}} \right| \quad (1)$$

де C_{KK} , C_{OK} – концентрації ключового та основного компонентів.

Наступний крок – завдання раціональних параметрів внутрішнього ротора. Виходячи з допустимих габаритів змішувача задаємо: об'єм ротора V_1 ; радіус основи R_{01} (рис. 3), враховуючи, що рекомендовані значення кута розтрубу

ротора знаходяться у діапазоні від 30^0 до 55^0 [3]; швидкість обертання ω_1 .

Розраховуємо параметри внутрішнього ротора, до яких відносяться:

- 1) мінімальний кут розтрубу ротора α_1 , він визначається як розв'язок диференційного рівняння (2)

$$\ddot{z}_r - z_r \cdot \omega^2 \cdot \sin \alpha \cdot \left(\sin \alpha - f \cdot \cos \alpha \right) = g \cdot \sin \alpha \cdot \left(\sin \alpha - f \cdot \cos \alpha \right) + R_0 \cdot \omega^2 \cos \alpha \cdot \left(\sin \alpha - f \cdot \cos \alpha \right) - g \quad (2)$$

- 2) висоту ротора h_1 :

$$h_1 = \frac{1}{6a_1} \sqrt[3]{A} - \frac{2}{3} \cdot \frac{3a_3 a_1 - a_2^2}{a_1 \sqrt[3]{A}} - \frac{1}{2} \cdot \frac{a_2}{a_1}, \quad (3)$$

де

$$a_1 = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot \text{tg}^2(\alpha_1)$$

$$a_2 = \pi \cdot R_{01}^2 \cdot \text{tg}(\alpha_1)$$

$$a_3 = \pi \cdot R_{01}^2$$

$$A = 36a_1 a_2 a_3 - 108V a_1^2 - 8a_2^3 + 12\sqrt{3} \sqrt{4a_3^3 a_1 - a_3^2 a_2^2 - 18a_3 a_2 a_1 V + 27V^2 a_1^2 + 4Va_2^3 a_1}$$

За розрахованими значеннями обираємо:

- 1) кут розтрубу ротора α_1 (більшим за розраховане мінімальне значення, але не більше 55^0);
- 2) висоту ротора h_1 (якщо дозволяють габарити змішувача – максимально близько до розрахованого значення).

Виконуємо перевірочні розрахунки параметрів ротора:

Перевіряємо об'єм внутрішнього ротора V_1 :

$$V_1 = \pi \cdot R_{01}^2 \cdot h_1 + \pi \cdot R_{01}^2 \cdot \operatorname{tg}(\alpha_1) \cdot h_1^2 + \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot \operatorname{tg}^2(\alpha_1) \cdot h_1^3 \quad (4)$$

час перебування частинки у роторі t_1 .

$$t = \frac{\ln\left(\frac{1}{A1} \cdot \left(2 + 2 \cdot \sqrt{A3}\right)\right)}{\omega \cdot \lambda} \quad (5)$$

де $A1 = 2 \cdot \left(\frac{1}{\lambda} \cdot \lambda^2 - g + R_0 \operatorname{ctg}(\alpha) \cdot \omega^2 \cdot \lambda^2 \right)$;

$A2 = 2R_0 \operatorname{ctg}(\alpha) \cdot \omega^2 \lambda^2 + 2 \cdot h_p \omega^2 \lambda^2 - 2g + 2g \lambda^2$;

$A3 = 2h_p \omega^4 \lambda^4 R_0 \operatorname{ctg}(\alpha) + h_p^2 \omega^4 \lambda^4 - 2h_p \omega^2 \lambda^2 g + 2h_p \omega^2 \lambda^4 g$;

$\lambda = \sqrt{\sin \alpha \cdot \ln \alpha - f \cos \alpha}$.

Якщо визначенні параметри ротора не підходять для конкретних умов необхідно переглянути задані параметри внутрішнього ротора та повторити розрахунок.

Наступним етапом розрахунку є визначення параметрів зовнішнього ротора.

Тут необхідно задати наступні параметри:

1) максимально допустиме відхилення відсоткового складу суміші $\Delta \left(\frac{C_{KK}}{C_{OK}} \right)_{\max}$;

2) радіус основи R_{02} , який має бути більшим за радіус внутрішнього ротора ($R_{02} > R_{01}$);

3) швидкість обертання у нормальному режимі роботи ω_2 ;

4) відстань між верхніми точками роторів d (максимально можливе значення відповідно до заданих габаритів).

Розрахунок починаємо з визначення мінімально необхідного об'єму зовнішнього ротора. Для цього визначаємо мінімально необхідний час роботи у режимі накопичувача $t_{H \min}$ за співвідношенням (6), при якому забезпечується виконання нерівності (1):

$$C_{KK} = \frac{m_{KK}}{m_{OK} + m_{KK}} \cdot 100\%, \quad (6)$$

де $m_{OK} = \gamma_{OK} \int_0^{t_H} Q_{OK} dt$, $m_{KK} = \gamma_{KK} \int_0^{t_H} Q_{KK \text{вих}}(t) dt$ - маси основного та ключового компонентів

суміші, відповідно, Q_{KK} , Q_{OK} - об'ємні продуктивності дозаторів ключового та основного компонентів, відповідно.

Використовуючи визначене на попередньому кроці значення $t_{H \min}$, розраховуємо мінімально необхідний об'єм ротора $V_{2 \min} = t_{H \min} \cdot Q$, де Q – загальна об'ємна продуктивність дозаторів.

Розрахунок куту розтрубу зовнішнього ротора α_2 , виконується так само, як і α_1 , але з урахуванням наступних умов $30^\circ \leq \alpha_2 \leq 70^\circ$ та $\alpha_2 > \alpha_1$. Якщо розраховане значення не задовольняє вказаним умовам необхідно змінити бажану швидкість обертання ротора та повторити розрахунок.

Розраховуємо висоту ротора h_2 ($h_2 > h_1 - d$) та визначаємо мінімально можливу відстань між верхніми кромками роторів d_{\min} , як розв'язок рівняння

$$V_{2 \min} = \pi \cdot R_{02}^2 \cdot h_2 + \pi \cdot R_{01}^2 \cdot \operatorname{tg}(\alpha_2) \cdot h_2^2 + \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot \operatorname{tg}^2(\alpha_2) \cdot h_2^3 - \\ - \pi \cdot R_{01}^2 \cdot (h_1 - d_{\min}) + \pi \cdot R_{01}^2 \cdot \operatorname{tg}(\alpha_1) \cdot (h_1 - d_{\min})^2 + \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot \operatorname{tg}^2(\alpha_1) \cdot (h_1 - d_{\min})^3 \quad (7)$$

Визначаємо кут нахилу кришки γ , що забезпечує необхідну траєкторію руху частинок, враховуючи наступне співвідношення:

$$\gamma_{\min} < \gamma < \gamma_{\max}, \text{ де } \gamma_{\min} = 90^\circ - \alpha_1,$$

γ_{\max} визначається за формулою (8).

$$\gamma_{\max} = \operatorname{arccctg} \left[\sqrt[3]{A} - \left(\frac{1}{6p_3} + 1 - \frac{2}{3} \cdot \frac{p_3}{3p_1p_3 - p_2^2} \right) - \frac{1}{3} \frac{p_2}{p_3} \right] \quad (8)$$

де $A = 36p_1p_2p_3 - 108p_0p_3^2 - 8p_2^3 + 12\sqrt{3}\sqrt{4p_1^3p_3 - p_1^2p_2^2 - 18p_1^2p_3p_0 + 27p_0^2p_3^2 + 4p_0p_2^3} \cdot p_3$; $p_3 = (d \cdot R_1) \operatorname{tg} \alpha_1$;

$$p_2 = (R_2 + H) \operatorname{tg} \alpha_1 + d; \quad p_1 = R_2 - R_1 + (H + R_1 - d) \operatorname{tg} \alpha_1; \quad p_0 = H \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 + d.$$

Використовуючи отримані значення уточнюємо наступні параметри: кут розтрубу ротора α_2 (рекомендований діапазон значень $40^\circ \leq \alpha_2 \leq 55^\circ$); висоту ротора h_2 ; відстань між верхніми кромками роторів d ($d_{\min} < d < d_{\max}$). Якщо визначенні параметри ротора не підходять для конкретних умов – змінюємо бажані параметри зовнішнього ротора та повторюємо розрахунок.

Висновки

Запропонований алгоритм розрахунку дозволяє визначити основні геометричні параметри робочих органів двороторного змішувача безперервної дії, які забезпечують задану якість виготовленої суміші та дозволяють створити обладнання даного типу виходячи з параметрів технологічних ліній.

ЛІТЕРАТУРА

1. Оборудование для переработки сыпучих материалов: учебное пособие / Борцов В.Я., Гусев Ю.И., Промтов М.А. и др. – М.: «Издательство Машиностроение-1», 2006. – 208 с.
2. Патент № 82419 Україна, МПК В01F 7/26. Відцентровий змішувач безперервної дії, Біла Т.Я., Ковальов А.П., Стаценко В.В. Заявл.02.06.06; Опубл. 10.04.2008, Бюл. №7, 2008.
3. Стаценко В.В. Розробка автоматизованого відцентрового змішувача безперервної дії з додатковою зоною змішування для сипких матеріалів легкої промисловості. Автореф. дис. к-та техн.наук. – Київ, 2007. – 21с.