

ДОСЛІДЖЕННЯ ОДНОРІДНОСТІ ЗМІШУВАННЯ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ У ВІДЦЕНТРОВОМУ ДОЗАТОРІ-ЗМІШУВАЧІ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ АНАЛІЗУ ЗОБРАЖЕНЬ

Забезпечення високої однорідності змішування багатокомпонентних сипких матеріалів є ключовим завданням у харчовій, фармацевтичній та будівельній галузях. Традиційні методи контролю гомогенності базуються на відборі проб та їх подальшому фізико-хімічному аналізі, що є трудомістким і не завжди об'єктивним процесом. Сучасні підходи все частіше передбачають використання цифрових технологій, зокрема обробки зображень та статистичних методів оцінки.

У працях Н. Berthiaux, V. Mosorov, L. Tomczak та ін. показано можливість використання методів PCA (Principal Component Analysis) для оцінки гомогенності змішування на основі цифрових зображень. Схожі підходи активно впроваджуються у зарубіжних наукових центрах, де використання комп'ютерного зору дозволяє визначати розподіл кольорових маркерів у реальному часі. Вітчизняні дослідження здебільшого зосереджені на удосконаленні конструкцій змішувачів, проте методики оцінки якості змішування потребують подальшого розвитку.

Метою дослідження є встановлення закономірностей впливу конструкційно-технологічних параметрів відцентрового дозатора-змішувача на однорідність змішування сипких матеріалів із застосуванням методів цифрового аналізу зображень.

Експериментальні дослідження проводилися на лабораторній установці відцентрового багатокомпонентного дозатора-змішувача яка показана на рис. 1.

Привід дозатора компоненту що вводиться здійснений двигуном постійного струму та обладнаний ШІМ контролером для визначення та регулювання частоти обертання робочого органу. Для надлишкового тиску в зоні дозування використали пневматичний регулятора тиску повітря.



Рис. 1. Трикомпонентний дозатора-змішувача сипких матеріалів

Планований трифакторний експеримент включав 27 дослідів із варіюванням таких факторів:

- кутова частота обертання диска (ω);
- кут твірної дозуючого диска (α);
- надлишковий тиск у зоні подачі (P).

Фотографування зразків сумішей здійснювалося цифровою камерою 50 МП Samsung ISOCELL GN9 (OIS, f/1.9, PDAF), подальша обробка виконувалася у програмному середовищі Fiji (Fiji Is Just ImageJ). Сегментація зображень за кольором дала змогу визначити частки компонентів у локальних ділянках, після чого обчислювали коефіцієнт варіації та індекс Лейсі як критерії однорідності. Схема визначення онорідності суміші показана на рис. 2.

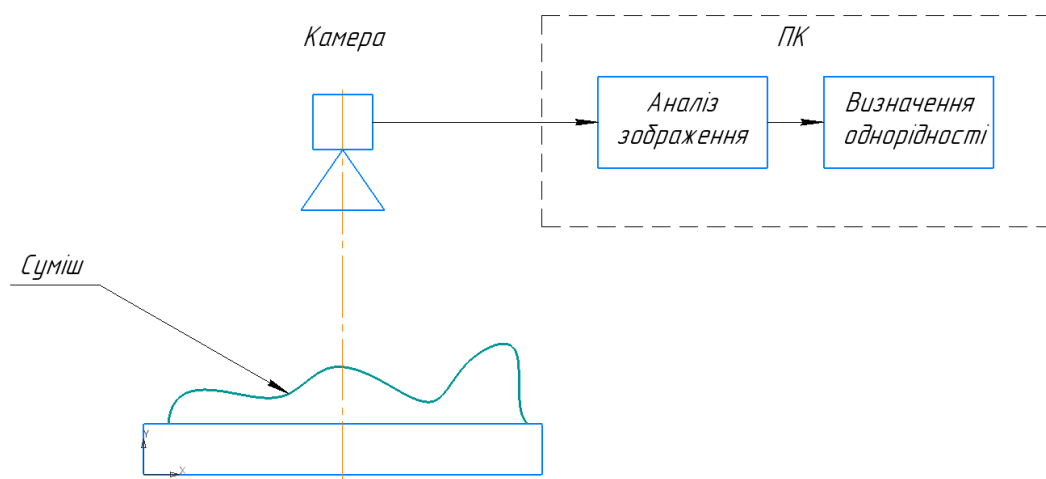


Рис. 2. Принципова схема установки аналізу однорідності суміші.

Побудовані поверхні відгуку засвідчили, що зростання кутової частоти обертання диска та оптимальний вибір кута його твірної дозволяють досягти максимальної однорідності змішування. Виявлено, що підвищення

надлишкового тиску в зоні подачі забезпечує стабільність процесу та сприяє більш рівномірному розподілу частинок. Максимальні значення однорідності перевищували 94 %, що підтверджує ефективність обраної конструкції дозатора.

Графічне представлення залежності наведено на рис. 3.

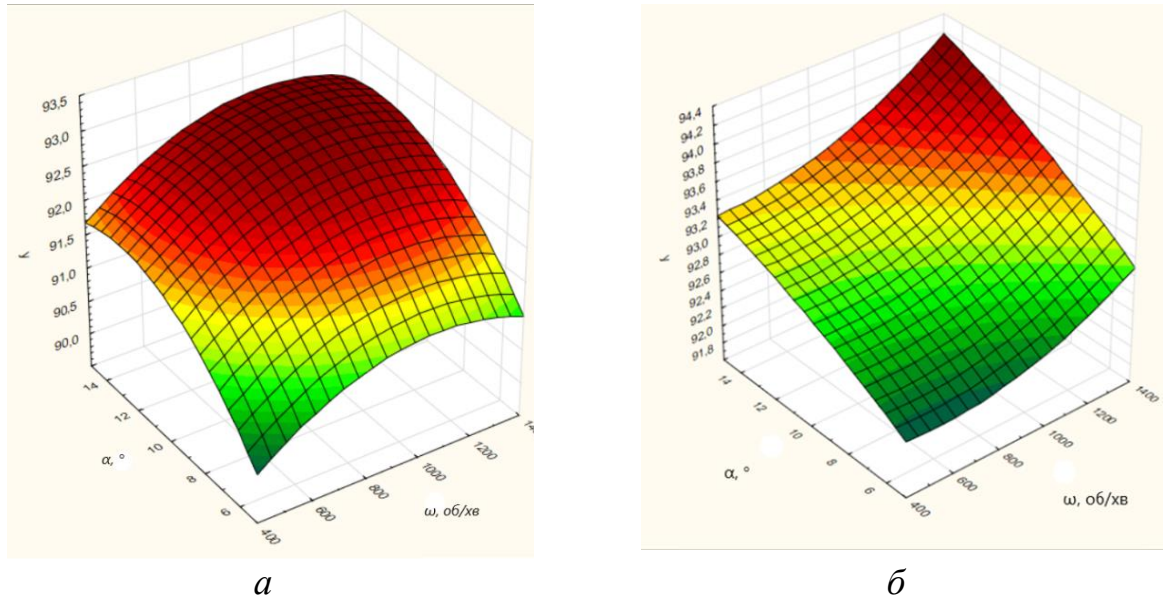


Рис. 3. Залежність однорідності змішування сипких матеріалів у відцентрового дозатора-змішувача від кутової частоти обертання диска ω і кута твірної дозуючого диска α° , а- за надлишкового тиску 100 кПа; б- за надлишкового тиску 500 кПа

Запропонована методика на основі фотоаналізу та сегментації кольорових компонентів є ефективним інструментом для оцінки гомогенності сипких сумішей. Найбільший вплив на показники однорідності має кутова частота обертання дозуючого диска, а додатковий ефект забезпечує оптимальний вибір кута твірної та надлишковий тиск. Розроблений відцентровий дозатор-змішувач здатний забезпечити стабільно високу якість змішування, що підтверджено результатами планованого експерименту.

Література

1. Berthiaux H., Mosorov V., Tomczak L., Gatumel C., Demeyre J.-F. Principal component analysis for characterising homogeneity in powder mixing using image processing techniques // *Powder Technology*. – 2019. – Vol. 342. – P. 168–177. doi:10.1016/j.powtec.2018.09.030.
2. Elbadawi M., Mwesigwa E., Roberts M., Wang J., Basit A., Gaisford S. Design and Manufacture of 3D Printed Tablets for Intra-Gastric Floating Delivery of a Triple Combination of Drugs // *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*. – 2020. – Vol. 153. – P. 43–55. doi:10.1016/j.ejpb.2020.05.017.

3. Remondino F., Fraser C. Digital camera calibration methods: considerations and comparisons // *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. – 2006. – Vol. 36(5). – P. 266–272.
4. Дмитрів В.Т., Бурак О.М., Якимець В.Є. Теоретичні та експериментальні дослідження процесів змішування сипких матеріалів у відцентрових дозаторах // *Науковий вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. Серія: *Машинобудування*. – 2017. – № 862. – С. 112–119.
5. Дмитрів В.Т. Дозатори та змішувачі сипких матеріалів: монографія. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2015. – 240 с.
6. Mosorov V., Tomczak L., Gajewski J., Berthiaux H. Image processing techniques for characterizing mixture homogeneity of bulk solids // *Journal of Food Engineering*. – 2018. – Vol. 231. – P. 10–17. doi:10.1016/j.jfoodeng.2018.03.021.
7. Poux M., Fayolle P., Bertrand J., Bridoux D., Bousquet J. Powder mixing: Some practical rules applied to agitated systems // *Powder Technology*. – 1991. – Vol. 68(3). – P. 213–234. doi:10.1016/0032-5910(91)80123-O.