

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДУ ВІБРАЦІЙНОЇ СЕГРЕГАЦІЇ У ФОРМУВАННІ ГРАДІЄНТНОЇ СТРУКТУРИ ПОРОШКОВИХ МАТЕРІАЛІВ

В роботі розглянуто аналітичну модель формування градієнтного матеріалу в процесі віброегеграції з урахуванням динамічних та енергетичних характеристик на вібростенді з двома дебалансними збудниками. Розрахунки основних параметрів, коефіцієнтів моделі та оцінювання точності чисельних розрахунків виконані за допомогою технології C++Builder.

Ключові слова: градієнтний матеріал, вібраційне формування, вібростенд, моделювання

V.D. RUD, N.A. KHRISTINETS
Lutsk National Technical University

METHOD VIBRATORY SEGREGATION RESEARCH IN THE FORMATION OF GRADIENT POWDER MATERIALS

The goal is to create an analytical model of gradient material during vibration segregation. The modelling was based on the dynamic characteristics of vibration and energy with two debalance pathogens. For mathematical behaviours mixture used experimental design theory and stochastic methods. Powered symmetrical composition rotatable uniformplan second order. Evaluation formulated a set system parameters, which, in turn, factors experiment. The main factor is selected, characterizing the powder mixture before the formation of vibration; function stand characteristics affecting the process and function of vibration parameters the operating mode of the system. This calculation of basic parameters and coefficients. Studied and experimentally confirmed effect parameters and characteristics of powder mixtures of vibration machines for separation process powder materials. The accuracy of verified numerical calculations using computer technologies C ++ Builder.

Keywords: vibration segregation, powder mixture, vibration machines, mathematical behaviours mixture.

Вступ

Виробництво матеріалів на основі металевих порошків та гранул є одним із важливих напрямків розвитку порошкової металургії. Особливої уваги заслуговують матеріали з неоднорідними фізико-хімічними та технологічними характеристиками по об'єму виробів, тобто, матеріали градієнтної структури. Вони мають широке практичне призначення і застосовуються при виготовленні фільтрувальних, фрикційних, інструментальних, композиційних та інших матеріалів. Досягнення їх неоднорідних, а інколи і унікальних експлуатаційних характеристик відбувається завдяки економічно-вигідним, енерго- та матеріало-ощадним технологічним процесам. Методи вібраційного формування таких градієнтних матеріалів заслуговують детального теоретичного і експериментального дослідження. Важливим практичним завданням формування градієнтного матеріалу є побудова моделі поведінки суміші під дією вібрації. Процес сегрегації порошкових сумішей дозволяє вирішити цю проблему засобами вібраційної техніки та отримати нові підходи до створення високоякісних матеріалів.

Експериментальна частина

З аналізу останніх досліджень у галузі матеріалознавства, на поведінку часток сипкого середовища мають вплив ряд факторів. З точки зору гранулометричного складу і фізико-хімічних характеристик порошків, найпершим важливим аспектом поведінки є маса і густина матеріалу [1]. Тому, саме ці характеристики були використані у аналітичних дослідженнях і плануванні експериментальної частини. Відомо, що при розташуванні тіла з масою M і густиною ρ в сипкому середовищі (m, ρ), під дією вібрації тіло переміщується. Характер руху тіла обумовлюється фізико-механічними, геометричними параметрами твердого тіла і параметрами коливаль: частотою, амплітудою, напрямком коливаль. Сила тертя не перешкоджає руху тіла вниз під дією сили тяжіння. У працях багатьох вітчизняних та зарубіжних авторів, таких як Б.М. Радовский, О.Ф. Іткін, Д.В. Савелов, І.І. Блехман, згадані приклади руху тіла масою M описані як «занурення металевої гайки», «рух сталюї кулі», «ефект бразильського горіха» тощо. Закономірності поведінки часток під дією вібрації досліджені в основному теоретично. Значна частина цих досліджень спрямована на подолання ефекту сегрегації в сипких середовищах [2]. Проте, дослідження і експериментальне підтвердження впливу сегрегації на процес формування багатошарових градієнтних проникливих матеріалів має не менш важливе значення. Такий метод формування заготовок, що мають у своїй структурі градієнт фізико-механічних властивостей є актуальним при створенні високоєфективних композиційних матеріалів.

Серед методів аналітичного дослідження вібраційного формування порошкових сумішей виділяють переважно три напрями: комп'ютерне моделювання, математичний апарат (у якому зазвичай використано стохастичні методи моделювання) та теорія планування експерименту.

Теоретичне дослідження поведінки суміші порошків, що знаходиться в циліндричному контейнері-змішувачі, в загальному випадку подано за диференціальними рівняннями Колмогорова [3]. Досліджуючи дискретні стани S_1, S_2, S_3 , враховано те, що трансформація системи з одного стану в інший може бути реалізована в будь-який час і може бути представлена, як імовірність $p_i(t)$ того, що в проміжок часу t

система S буде знаходитися у стані S_i ($i=1,2,3$). Ці дослідження наближено описують процес поведінки часток під дією вібрації і тому можуть бути використані лише у якості прогнозування їх стану.

В роботі [4] для математичної моделі поведінки суміші використано теорію планування експерименту. Побудовано симетричний композиційний ротатбельний уніформплан другого порядку. Сформульована множина оцінювальних параметрів системи, яка є, в свою чергу, факторами експерименту (табл. 1):

Таблиця 1

Множина оцінюваних параметрів поведінки системи		
Фактори експерименту		Оцінювальні параметри системи
X_{11}	Y_{11}	насіпна щільність, ρ
	Y_{12}	співвідношення мас дисперсних сумішей у загальній масі, S_p
	Y_{13}	фактор форми часток, F
	Y_{14}	гранулометричний склад порошку, h
X_{21}	Y_{21}	амплітуда коливань, A
	Y_{22}	частота коливань, ω
	Y_{23}	загальна маса несучого тіла, M
	Y_{24}	маса i -го ротора збудника, m_i
	Y_{25}	ексцентриситет i -го ротора збудника, ε_i
X_{31}	Y_{31}	час роботи машини, t

Фактор X_{11} – функція, що характеризує порошкову суміш до початку вібраційного формування. Вхідні параметри даної функції: насіпна щільність порошку; співвідношення мас дисперсних сумішей; фактор форми часток та гранулометричний склад порошку.

Фактор X_{21} – функція характеристик стенду, що впливають на процес. Вхідні параметри даної функції зумовлені особливістю вібраційного стенду і тому, в якості вхідних параметрів вибрані: амплітуда та частота коливань, загальна маса несучого тіла та, відповідно, маса i -го ротора збудника і його ексцентриситет.

Фактор X_{31} – функція часу роботи системи.

Дослідження проводились на вібраційному стенді (рис. 1) з плоским характером руху робочого органа та бігармонічними збудниками:

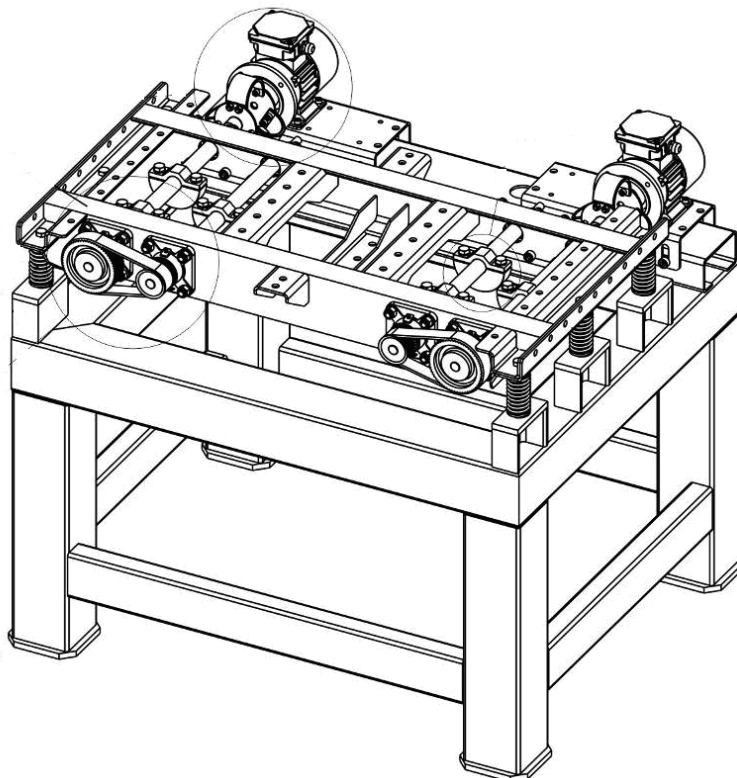


Рис. 1. Експериментальна установка для вібраційного формування порошкових сумішей

Вихідними параметрами для отримання заготовки є порошки титану, заліза, порошоків сталі, а також

мінеральних порошків сапоніту фракцій 0,1...+0,063 мм. У якості пробного експерименту було вибрано саме сапоніт з різним гранулометричним складом. Сапоніт являє собою мінерал з підкласу шаруватих силікатів, групи монтморилоніту, хімічний склад – $\text{NaMg}_3[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, середня густина 3,1 г/см³. Він володіє високими адсорбційними іонообмінними, каталітичними та фільтраційними властивостями. Сапоніт є перспективним природним сорбентом і широко використовується для виготовлення різного роду фільтруючих матеріалів. У роботі розглядали сапонітову глину Ташківського родовища (Аграрне товариство з обмеженою відповідальністю «ВЕЛЕС» 30014, Україна, Хмельницька область, Славутський район, с. Ташки).

В роботі [5] досліджено залежності амплітуди горизонтальних і вертикальних коливань від відстані до роторів збудника. Виявлено, що при зменшенні цієї відстані відбувається пропорційне збільшення амплітуд. Тобто, у якості фактора X_{21} вибрано числову характеристику зміни амплітуди [7-13,8] мм.

Величину X_{31} вибрано з діапазону часової характеристики процесу сегрегації [0-20] сек.

Рівні варіювання кожного з факторів визначені згідно таблиці 2.

Таблиця 2

Параметри розрахункових позицій для моделі планування експерименту

Фактори експерименту
Основний рівень (X_{i0})
Інтервали варіювання (ΔX_i)
Верхній рівень ($x_i = +1$)
Нижній рівень ($x_i = -1$)
Зіркова точка $+\alpha$ ($x_i = +1.682$)
Зіркова точка $-\alpha$ ($x_i = -1.682$)

Метою проведення експерименту було дослідження величини $F(X_1, X_2, X_3)$ – коефіцієнт неоднорідності суміші. Дана величина є критерієм [6] оцінки нерівномірності розподілення фракцій сипкого матеріалу у монокомпонентних і полікомпонентних сумішах.

$$V_c = \frac{100}{c} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^2},$$

де \bar{c} – середнє арифметичне значення концентрації ключового компонента в пробах (%); c_i – значення концентрації ключового компонента в i -тій пробі; n – число проаналізованих проб.

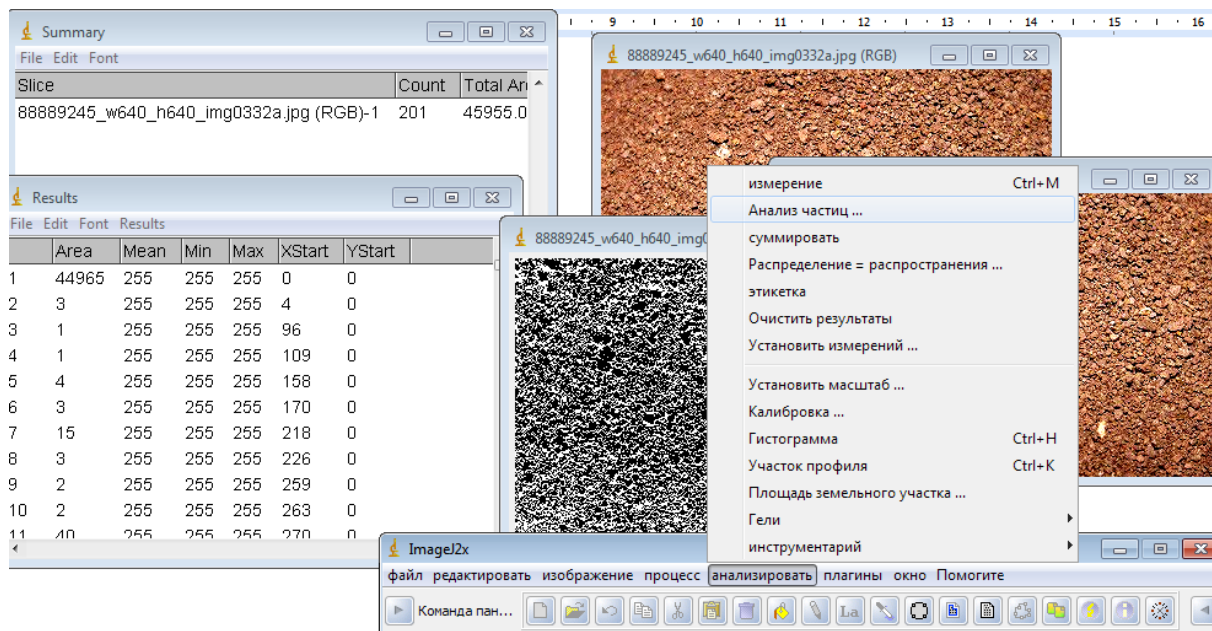


Рис. 2. Використання програмного комплексу ImageJ2x для аналізу часток за растровим зображенням

На несучому тілі експериментальної установки (рис. 1) передбачено кріплення для робочого органа (форми) у вигляді сталеві плити розмірами 400x500 мм, на якій закріплено скляний контейнер розмірами 200x300x20 мм. Форму наповнили сумішшю порошку сапоніту фракціями 0,1 мм та 0,04 мм у процентному співвідношенні 25/75% відповідно. Для визначення коефіцієнту неоднорідності, заповнений об'єм контейнера умовно розбили (промаркували) на три представницькі елементи (елементарні об'єми), у

кожному з яких фіксувалося значення концентрації ключового компоненту C_i . Фіксування проводилось за допомогою цифрової фотокамери Canon PowerShot SX60 HS, закріпленої на штативі на відстані 1 м від центру скляного контейнера. Обробка експериментальних даних велась за допомогою програмного забезпечення ImageJ2x. Стек у кількості 3-5 почасово-зв'язних зображень підлягали аналізу (рис. 2) з подальшим визначенням величини концентрації ключового компоненту (крупної фракції сапоніту) у загальному об'ємі суміші. Використані значення використані для визначення коефіцієнту неоднорідності суміші для подальшого його використання у формуванні моделі поведінки часток.

Для автоматизації процесу побудови та аналізу математичної моделі було використано комп'ютерне моделювання. На базі експериментальних даних було розроблено C++Builder проект. Користувачський інтерфейс програми (головна форма) і кожен елемент має просту і зручну навігацію (рис. 3), кожна вкладка (пункт меню) забезпечує перехід на відповідну підлеглу форму для визначення.

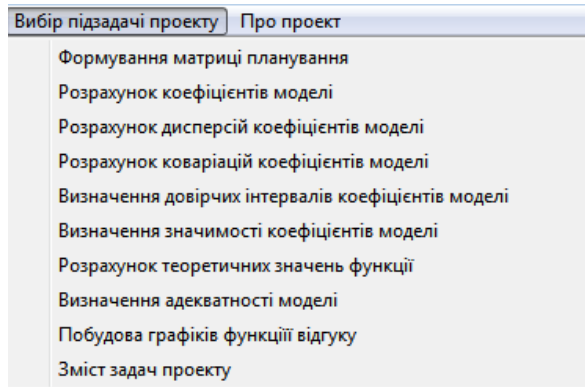


Рис. 3. Навігація C++Builder програми для аналітичного дослідження процесу вібросегрегації

В результаті повного аналізу експериментальних даних було визначено усі характеристики моделі, в тому числі довірчі інтервали та коефіцієнти (рис. 4, рис. 5). Визначивши довірчі інтервали коефіцієнтів моделі, перевірили їх значимість. Отриману модель перевірено на адекватність. Ця перевірка здійснювалась за критерієм Фішера.

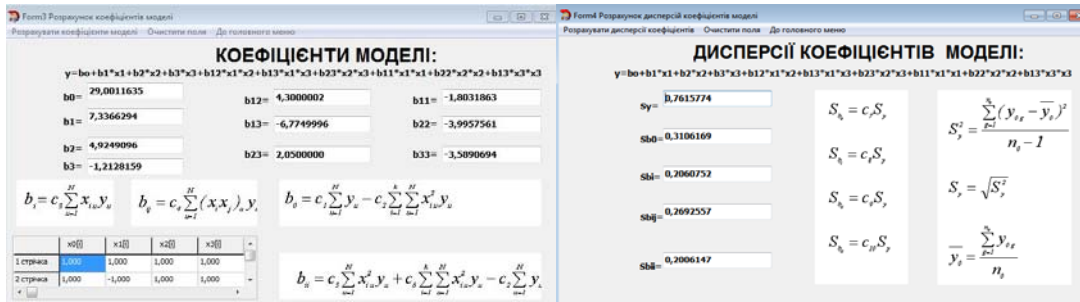


Рис. 4. Визначені коефіцієнти та дисперсії коефіцієнтів моделі

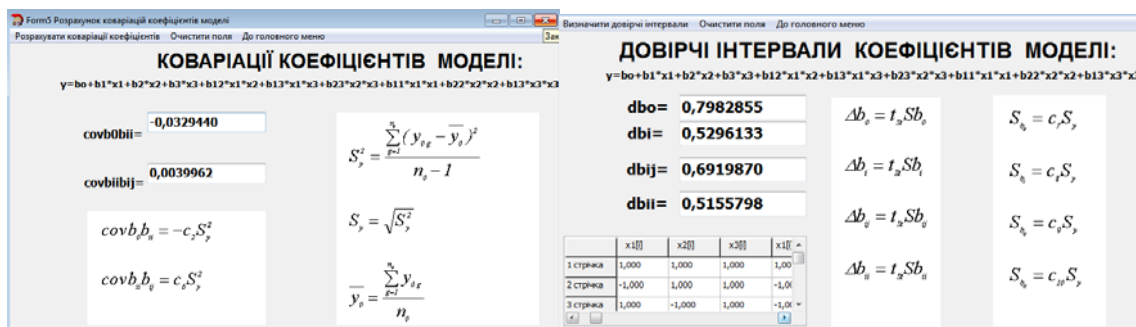


Рис. 5. Визначені коваріації коефіцієнтів та довірчі інтервали коефіцієнтів моделі

У роботі передбачено побудову графіків функції відгуку за різних значень вхідних факторів (рис. 6).

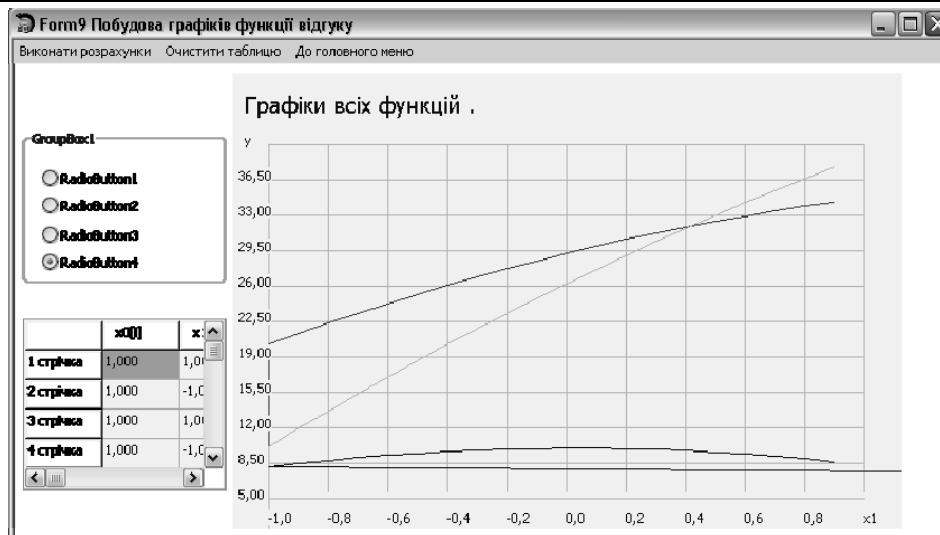


Рис. 6. Графіки функцій відгуку для моделі

Висновки

Підвищення ефективності експериментальних досліджень стосовно вирішення задач матеріалознавства і технологічних процесів обробки порошкових матеріалів успішно вирішуються методами математичного планування. Це дозволяє отримувати унікальні експлуатаційні характеристики заготовок з порошкових матеріалів з використанням оптимальних параметрів вібраційних установок.

Література

1. Вибрації в техніке : справочник : в 6 т. Т.2. Колебание нелинейных механических систем / [сост. Челомей В.Н. ; ред. Блехман И.И.]. – М. : Машиностроение, 1979. – 351 с.
2. Радовский Б.С. Сегрегация асфальтобетонных смесей и методы борьбы с ней в США / Б.С. Радовский // Дорожная техника. – 2007. – № 7. – С. 26–40.
3. Рудь В.Д. Модель поведінки часток сипкого середовища під дією вібраційної сегрегації / В.Д. Рудь, Н.А. Хрестинець, М.І. Колядинський // Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво : міжвузівський збірник. – Луцьк : Видавництво ЛНТУ, 2011. – № 7. – С. 99–103.
4. Хрестинець Н.А. C++ Builder проект аналізу експериментальних даних за симетричним композиційним ротатабельним уніформ планом другого порядку / Н.А. Хрестинець, П.А. Пех, О.П. Прокопчук // Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво : міжвузівський збірник. – Луцьк : Видавництво Луцького НТУ, 2015. – № 18. – С. 77–82.
5. Силивонюк А.В. Експериментальне дослідження перехідних процесів вібраційних машин з дебалансними збудниками, що самосинхронізуються / А.В. Силивонюк // Сільськогосподарські машини : збірник наукових статей. – 2013. – № 25. – С. 122–131.
6. Аппараты для смешения сыпучих материалов : монография / [Ю.И. Макаров]. – Москва : Машиностроение, 1973. – 216 с.

Рецензія/Peer review : 7.5.2016 р. Надрукована/Printed : 7.6.2016 р.
Рецензент: д.т.н., професор Пальчевський Б.О.