

УДК 004.42(07)

Н.А. Христинець, К.А.Свиридюк  
Луцький національний технічний університет

## **ВИБІР НЕЗАЛЕЖНИХ ЗМІННИХ ТА РІВНІ ВАРІЮВАННЯ ФАКТОРІВ У ПЛАНУВАННІ ЕКСПЕРИМЕНТУ ДЛЯ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ ГРАДІЄНТНОГО МАТЕРІАЛУ**

**Н.А. Христинець, К.А.Свиридюк. Вибір незалежних змінних та рівні варіювання факторів у плануванні експерименту для процесу формування градієнтного матеріалу.** Проведено аналіз параметрів вібраційного формування суміші порошків шихти ШХ15 та міді для отримання градієнтного матеріалу з урахуванням характеристик вібраційного стенду з дебалансним приводом.

**Ключові слова:** планування експерименту, градієнтна структура, порошкова суміш, дисперсне середовище, фактори експерименту, варіювання факторів.

**Н.А. Христинець, К.А.Свиридюк. Выбор независимых переменных и уровни варьирования факторов в планировании эксперимента для процесса формирования градиентного материала.** Проведен анализ параметров вибрационного формирования смеси порошков шихты ШХ15 и меди для получения градиентного материала с учетом характеристик вибрационного стенда с дебалансным приводом.

**Ключевые слова:** планирование эксперимента, градиентная структура, порошковая смесь, дисперсная среда, факторы эксперимента, варьирование факторов.

**N. Hrystynets, K. Svyrydiuk. Selection of independent variables and varying levels factors in planning experiment for the formation of gradient material.** The analysis of parameters of vibrating forming a mixture of powders of charge ШХ15 and copper to produce a gradient material, taking into account the characteristics of the vibration stand with unbalanced drive.

**Keywords:** design of experiments, graded structure, the powder mixture, dispersion medium, the factors of the experiment, the variation factors.

**Постановка проблеми у загальному вигляді і її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями.** Розвиток сучасної техніки нерозривно пов'язаний із створенням і постійним вдосконаленням існуючих технологічних процесів. Основою їх розробки та оптимізації є експеримент. Підвищення ефективності експериментальних досліджень у галузі порошкової металургії стосовно вирішення задач металознавства, технологічних процесів обробки матеріалів успішно вирішуються методами математичного планування.

**Аналіз останніх досліджень, у яких започатковано вирішення проблеми.** Розв'язання багатьох технічних та технологічних завдань ускладнюється або неможливе відомими стандартними методами. Дослідники робіт у галузі статистичних методів змушені розробляти та пропонувати такі методи розв'язання, які не повною мірою або не зовсім теоретично обґрунтовані. Такі методи відносять до методів прикладної статистики. Кількість статистичних методів обмежена, а прикладних завдань багато. Деякі вчені вирішують завдання своїми методами.

Моделювання оптичної градієнтної структури було зроблене фізиком-оптиком Р.Вудом ще на початку тридцятих років минулого століття в системі желатин-гліцерин і відродилося через багато років в ідеї іонного обміну між серцевиною і оболонкою заготовки оптичного волокна. Фізиками-оптиками і радіофізиками було теоретично показано перевагу середовищ з градієнтом показника переломлення перед звичайними оптичними системами з дзеркальним відображенням світла або переломленням на межі двох середовищ. В оптичних волокнах, де показник переломлення міняється поступово від осі до поверхні волокна, різко зменшується втрата енергії та спотворення сигналу, що дозволяє в багато разів збільшити об'єм переданої інформації. Розроблені технологічні прийоми отримання волоконних і градієнтних оптичних елементів відображені в більш ніж 25 тисячах патентів і, ймовірно, не меншій кількості публікацій.

На сьогодні питання експериментальних досліджень методами планування експерименту висвітлені у працях багатьох вітчизняних та зарубіжних вчених: Я.Б.Арсова, М.Д.Кендала, Б.М.Мойсюка, Ф.С.Новика, В.І.Шведа та ін. Термін «передпланування» як основоположний елемент теорії планування експерименту при постановці завдання був запропонований Ю.П.Адлером, який зазначив, що розв'язок завдання буде найефективніший у випадку чітко визначених початкових параметрів.

**Цілі статті.** Метою статті є визначення залежних та незалежних змінних, формування факторів та рівнів їх варіювання для побудови моделі планування експерименту процесу сегрегації порошкової суміші в процесі вібраційного навантаження.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для того, щоб встановити залежності між режимами отримання порошкового матеріалу з двокомпонентної суміші металевих порошоків і експлуатаційними характеристиками цього матеріалу, проведемо математичне планування експерименту.

Градентну структуру пористого порошкового матеріалу визначає інтенсивність концентрації часток одного з порошоків двокомпонентної суміші в зовнішньому шарі. Аналіз літературних джерел в попередніх розділах показав, що при різній густині часток частки з більшою густиною в результаті вібраційних поступальних коливань будуть рухатись угору [1]. Тобто, за результатами аналізу характеристик порошоків ПМС-1 та ШХ-15 [2] у зовнішньому шарі контейнера планується інтенсивність концентрації часток міді. В якості зовнішнього шару будемо вважати верхню частину сформованого матеріалу (рис. 1.1 – А), висотою не більше 1/10 сформованого матеріалу.

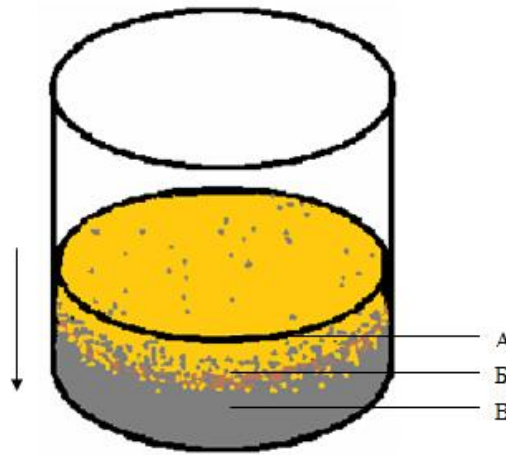


Рис. 1.1 – Схематичне зображення сформованого порошкового матеріалу для дослідження зміни властивостей (вказано стрілкою) з концентрацією міді по висоті шару: А) верхня частина (мідь); Б) середина (суміш міді і сталі); В) нижня частина (сталь).

Для визначення інтенсивності концентрації будемо використовувати методи дисперсійного аналізу. У мікрогетерогенних системах (суспензії, емульсії, дими, тумани, порошки) такий аналіз проводять за допомогою світлової мікроскопії, седиментометрії та фільтруванням крізь спеціальні фільтри з порами певних розмірів.

У світловій мікроскопії використовують лабораторний оптичний мікроскоп будь-якого типу, в окуляр якого вставляється мікрометрична сітка. Вона розбиває поле зору мікроскопа на квадрати, в яких ведеться підрахунок частинок за фракціями. Процентне відношення кількості часток міді до часток сталі будемо вважати інтенсивністю концентрації.

Більшість вібраційного технологічного обладнання реалізовано на інерційному приводі з використанням зарезонансних режимів роботи. Приведення в рух таких систем здійснюється, в основному, від асинхронних двигунів. Прикладом такого обладнання слугують промислові площадочні вібратори – електрообладнання загального призначення високого ресурсу, яке перетворює електричний струм на вібрацію.

Незалежні фактори, які будуть використані в моделюванні експерименту, мають як кількісні, так і якісні характеристики.

Аналізуючи усі параметри, що впливають на модель вібраційного формування градентного матеріалу, можна умовно розділити їх на кілька незалежних груп:

- 1) параметри вібраційного стенду: амплітуда та частота вібрації, швидкість вібраційного прискорення, маса вібраційної плити, маса і розміри контейнера, маса самого вібратора;
- 2) параметри порошкової суміші: кількість компонентів та їх хімічні, фізичні, технологічні властивості, концентрація пороутворювача;

3) час сегрегації.

Крім цих чинників, на параметри вібраційного формування діють ще й зовнішні чинники, які в незначній мірі впливають на процес формування (атмосферний тиск, вологість повітря тощо) і які не були розглянуті в даній роботі.

Для подальшого планування експерименту розділимо ті параметри, які мають істотний вплив на технологічний процес і ті, які виражаються через попередні.

Таким чином, отримаємо найбільш впливові фактори експерименту з власними діапазонами чисельних значень. Усі вони безпосередньо діють на об'єкт дослідження і є незалежними, вимірюваними і керованими. До таких факторів віднесемо амплітуду коливань  $A$ , співвідношення маси порошку міді до маси порошку заліза  $S_p$  та час сегрегації  $t$  (табл. 1.1). Кожен з факторів має область визначення, є представником однієї з незалежних груп, описаних вище і може бути виражений через інші характеристики елементів цієї ж групи.

Таблиця 1.1 – Фактори та межі їх варіювання

Фактор	Min	Max
Амплітуда, $A(мм)$	2,2	4,56
Співвідношення маси порошку міді до маси порошку заліза, $S_p$	0,10	0,20
час сегрегації $t(хв)$	2	6

Варіювання факторів на трьох рівнях згідно з теорією планування експерименту [3] дасть повну квадратичну модель. Так як з числовими межами факторів у вихідному масштабі не працюють, для побудови моделі проведемо попереднє кодування, що являє собою лінійне перетворення факторного простору.

Зручно, щоб в кодованому масштабі максимальний (верхній) рівень фактора відповідав +1, мінімальний (нижній) відповідав -1, а середній (основний) – 0. Це виконується за формулою зв'язування факторів в кодованому масштабі ( $x_i$ ) з їх значеннями в натуральній формі ( $X_i$ ):

$$\begin{cases} x_i = \frac{X_i - X_0}{\Delta X_i}; \\ X_i = X_{i_0} + \Delta X_i x_i; \end{cases} \quad (1.1)$$

де  $\Delta X_i = \frac{X_{i_{max}} - X_{i_{min}}}{2}$  – інтервал варіювання.

Згідно вибраних факторів та меж варіювання, встановимо рівні варіювання (табл. 1.2).

Маємо таку характеристику плану : число факторів  $k=3$ , ядро плану складає  $2^3=8$  дослідів, кількість зіркових точок буде 6, зіркове плече  $\alpha = \sqrt[4]{8} = 1,682$ . Інтервали варіювання обчислимо за формулами (1.1):

$$\begin{aligned} \Delta X_1 &= \frac{X_{1_{max}} - X_{1_{min}}}{2} = \frac{4,56 - 2,2}{2} = 1,18 \\ \Delta X_2 &= \frac{X_{2_{max}} - X_{2_{min}}}{2} = \frac{0,20 - 0,10}{2} = 0,05 \\ \Delta X_3 &= \frac{X_{3_{max}} - X_{3_{min}}}{2} = \frac{6 - 2}{2} = 2 \end{aligned} \quad (1.2)$$

Значення зіркових точок в кодованому масштабі  $\alpha = \pm 1,68$  вибрано з таблиці симетричних ротатабельних композиційних планів. Для рівнів варіювання обчислення значень зіркових точок провели за формулою:

$$\alpha = x_i \pm (\Delta X_i * 0,68) \quad (1.3)$$

Результати обчислень занесено в таблицю 1.2.

Таблиця 1.2 – Рівні варіювання факторів

Рівні варіювання	Фактори		
	Амплітуда, $A(мм)$	Співвідношення маси порошку міді до маси порошку заліза, $Sp$	час сегрегації $t(хв)$
Основний рівень, $X_{i_0}$	3,76	0,15	4
Інтервали варіювання, $\Delta X_i$	1,18	0,05	2
Верхній рівень, $x_i = +1$	4,56	0,20	6
Нижній рівень, $x_i = -1$	2,2	0,10	2
Зіркова точка $+ \alpha(x_i = +1,68)$	6,56	0,24	7,4
Зіркова точка $- \alpha(x_i = -1,68)$	0,2	0,06	0,6

Загальна кількість дослідів для побудови плану визначається сумою дослідів по основних рівнях, в зіркових точках і в центрі плану. План другого порядку буде рототабельним, умовою його рототабельності стало збільшення числа дослідів в центрі плану – це число було вибрано з урахуванням можливого в подальшому переходу до планування другого порядку для побудови моделі.

**Висновки.** Методи теорії планування експерименту необхідно використовувати у завданнях оптимізації та моделювання. Важливість кожного критерію враховують для об'єктивної оцінки експерименту. В результаті роботи було вибрано незалежні змінні та визначено рівні варіювання факторів для побудови симетричного композиційного рототабельного уніформплану. В подальшому визначені фактори будуть ключовими для побудови математичної моделі формування градієнтного порошкового матеріалу.

#### Список використаних джерел.

1. Хрестинець Н.А., Рудь В.Д. Стохастичні методи моделювання процесів вібраційного змішування в сипучих середовищах// ж-л «Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво». – Луцьк, 2011, Вип. №7, С. 96 -98.
2. Рудь В.Д., Гальчук Т.Н., Повстяной А.Ю. Использование отходов подшипникового производства в порошковой металлургии // Порошковая металлургия.—2005. —№ 1-2. — с.106-112
3. Рудь В.Д. Фізико-механічні засади складних схем обробки тиском та вібраційних процесів в технологіях формування порошкових виробів. Дис....докт. техн. наук. – Київ, 2005. – 504с.
4. Новик Ф.С., Арсов Я.Б. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов. – М.: Машиностроение; София: Техника, 1980. – 304с.
5. Арсентьев В. А., Блехман И. И., Блехман Л. И., Вайсберг Л. А., Иванов К. С., Кривцов А. М. Методы динамики частиц и дискретных элементов как инструмент исследования и оптимизации процессов переработки природных и техногенных материалов. ж-л «Обогащение руд», С-Пб., 2010. № 1. С. 30–35