

**Клименко В.А.**

**(НТТУ "КПІ" ім. І.Сікорського, м. Київ)**

**ДОСВІД ЗАСТОСУВАННЯ СТАТИСТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ПРИ  
ДОСЛІДЖЕННІ СУМІШЕВИХ СИСТЕМ у ЛИВАРНОМУ  
ВИРОБНИЦТВІ І ВЕЛИКІЙ МЕТАЛУРГІЇ**

**E-mail: [vaklym@i.ua](mailto:vaklym@i.ua)**

Дослідження даних сумішевих систем, до яких можна віднести формувальні суміші в ливарному виробництві і деякі шихтові матеріали у великій металургії, має ряд особливостей. До них можна віднести [1]:

1. чинники технологічних об'єктів можуть бути пов'язані між собою залежністю, досить близькою лінійною;
2. досить складно, іноді, витримати рівні чинників при здійсненні плану експерименту;
3. необхідність використати деякі якісні чинники через неможливість їх чисельної фіксації;
4. часто, особливо у виробничих умовах, доводиться застосовувати пасивний (спеціально не спланований) експеримент.

Окрім цього, оскільки реальний світ у переважній більшості випадків об'єктивно нелінійний, складність даних систем утрудняє вибір регресійного рівняння оптимальної складності, виходячи з того, що одному і тому ж кінцевому результату може відповідати значна кількість варіантів розрахункових формул.

Нереально описувати елементарними функціями процеси, що мають різкі максимуми і мінімуми, круті перегини і тому подібне. В цьому випадку виникає недовизначеність моделі, тобто складність апроксимуючої функції недостатня для відображення процесу, що вивчається.

Зворотною стороною є надмірне ускладнення моделі. Виходячи з того, що через множину експериментальних точок можна провести нескінченну безліч кривих з нульовим відхиленням, іноді намагаються використати для опису процесу деяку функцію на підставі того, що вона найближче

розташована до отриманих точок. В результаті виходить перевизначена модель, далека від реального опису процесу, що вивчається.

Зважаючи на це, оптимізацію опису досліджуваного процесу можна звести до наступних етапів:

1. побудова лінійної регресійної моделі і оцінка її адекватності, оскільки найбільш проста модель завжди прийнятніше;
2. у разі неадекватності лінійної моделі слід розглянути сімейство простих алгебраїчних функцій;
3. для складніших випадків слід застосувати апроксимацію за допомогою поліномів, сплайнів, методу групового обліку елементів [2, 3];
4. при неможливості отримати адекватний результат в розглянутих випадках, слід скоротити область варіювання чинників шляхом розбиття її на окремі ділянки, з метою отримання деякого набору адекватних моделей.

На перший погляд доцільним є використання насичених планів експерименту, що містять мінімальну кількість дослідів, де кількість дослідів дорівнює кількості коефіцієнтів рівняння регресії. Поширеним способом побудови насичених планів є використання симплекс-планування. Симплекс є опукла фігура у багатовимірному просторі, кількість вершин якої на одиницю перевищує розмірність цього простору.

Послідовність симплекс-методу можна звести до двох фаз:

1. визначення початкової вершини серед множини допустимих значень;
2. послідовний перехід до наступної вершини, що має кращі властивості.

Перевагою таких планів є мінімальна кількість дослідів. Недолік цих планів у тому, що якщо усі коефіцієнти рівняння регресії виявляються значимими, не залишається ступенів свободи для перевірки адекватності моделі. Одночасно, при вивченні сумішевих систем, оскільки область оптимуму, як правило, вже обмежена технологічними і фізичними чинниками, тобто заздалегідь визначена, можуть спостерігатися певні труднощі при виборі початкової вершини і величини інтервалу варіювання в межах цієї області. Тут можливе " зациклення" або вихід за межі технологічних або фізичних можливостей процесу.

Раціональним в цьому випадку є проведення експерименту в деякому факторному просторі багатовимірною паралелепіпеда (куба) або сфери. Суть полягає в розбитті усього факторного простору на ряд точок з бажано рівномірним кроком, побудова моделі з подальшою перевіркою її адекватності. У разі неадекватності, робиться добудовування потрібних точок, побудова нової моделі і так далі, до отримання адекватного результату опису усієї поверхні відгуку.

Досвід побудови моделей зміни властивостей формувальних і стержневих сумішей у ливарному виробництві, агломераційної шихти і залізрудних окатишів у великій металургії дозволяє зробити висновок, що для дослідження подібних сумішевих систем раціонально використати плани на основі ЛП-тау послідовностей. Такі плани мають найкращі характеристики рівномірності серед усіх відомих нині рівномірно розподілених послідовностей. Метод добре підлягає автоматизації за допомогою сучасних комп'ютерів. Точність методу прямо пропорційна кількості точок, що дозволяє у разі складного процесу добудовувати необхідні точки для отримання адекватного результату без необхідності проводити повністю новий експеримент. Отримані адекватні регресійні залежності дозволяють добре описувати динаміку зміни властивостей досліджуваних об'єктів. Наприклад, добре відображається оптимальна за набутими властивостями область при вивченні зміни щільності формувальної суміші за різного гранулометричного складу наповнювача (рис. 1 та рис. 2).

Таким чином, для отримання детального опису процесів, що відбуваються, та вивчення динаміки їх розвитку при дослідженні сумішевих систем у галузі ливарного виробництва та великої металургії доцільно використовувати статистичні моделі, побудовані на підставі рівномірно розподілених послідовностей. Ці моделі дають найбільш інформативну картину та зрозумілу картину процесів, що вивчаються. Планування експерименту, обробка даних та математичне моделювання може здійснюється за допомогою комп'ютерних програм Mathcad, Statistica, Axum7, Statgraphics Plus, Simulink та ін.

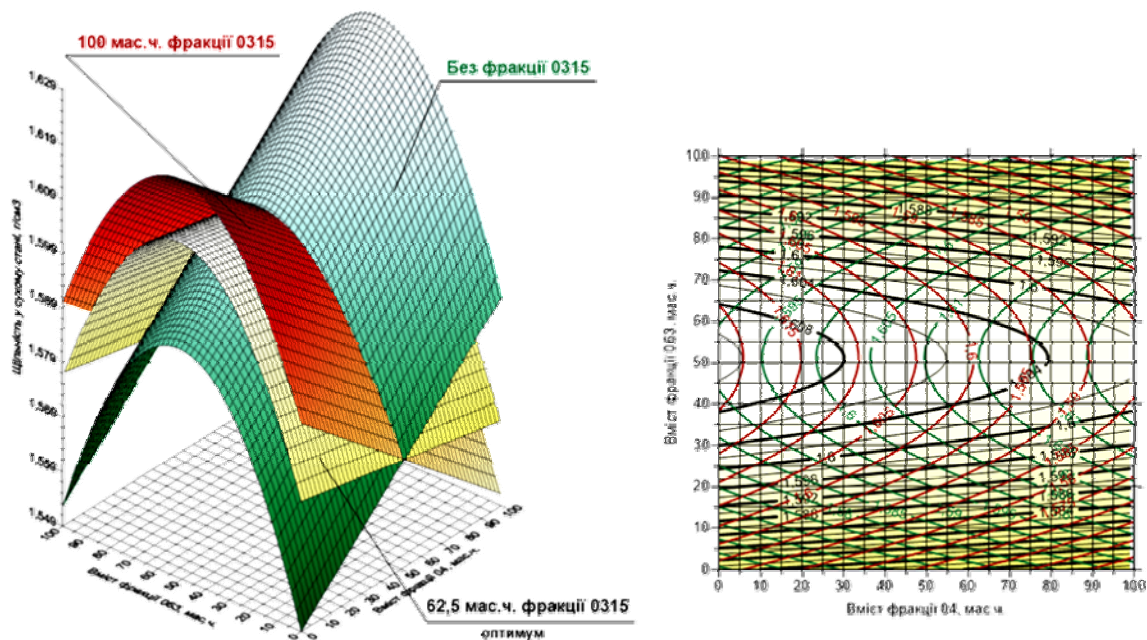


Рис. 1 –Вплив фракцій 04 та 063 на щільність зразків формувальної суміші у сухому стані.

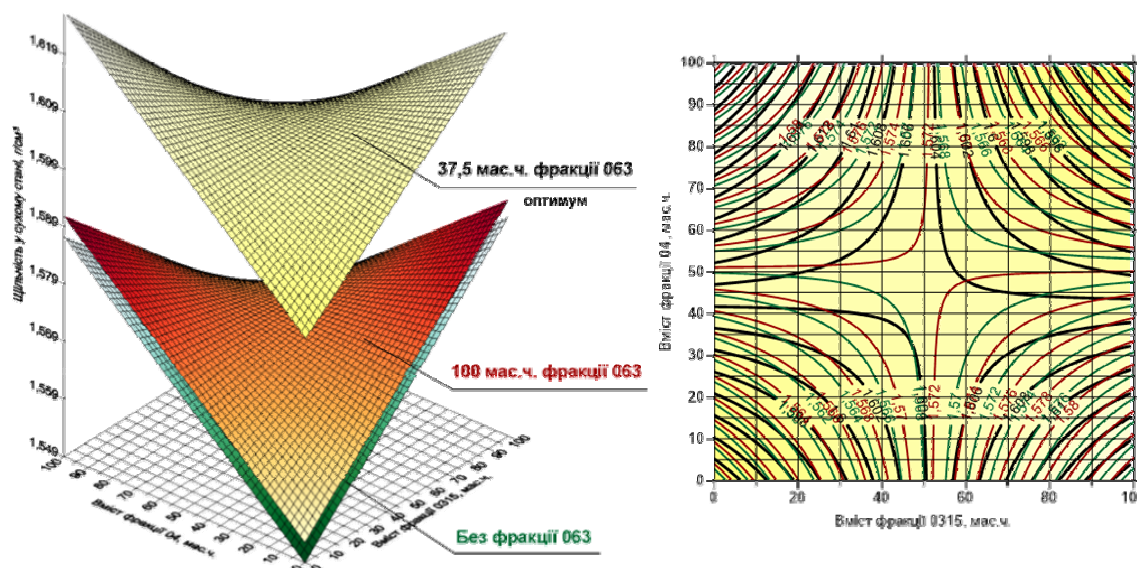


Рис.2 – Вплив фракцій 0315 та 04 на щільність зразків формувальної суміші у сухому стані.

## Література

1. Радченко С.Г. Планирование эксперимента в нестандартных областях факторного пространства // Международная конференция «Компьютерная математика в образовании и научных исследованиях» (КМ'2007). – Вестник ХНТУ. – 2007. – № 2(28). – С. 281–285.

2. Степашко В.С. Теоретические аспекты МГУА как метода индуктивного моделирования. – Труды I Международной конференции по индуктивному моделированию, Львов, 20-25 мая 2002 г.
3. Пидошва Е.А., Иващенко А.Б. Основные принципы метода группового учёта аргументов и его перспективы. Донецкий национальный технический университет кафедра компьютерных систем мониторинга. Электрон. аналог друк. вид.: <http://aaecs.org/markuta-ov-misak-vf-programmnaya-realizaciya-i-issledovanie-osobennostei-metoda-gruppovogo-ucheta-argumentov.html>