

УДК 651.92:001.817

ТЕРНАРНЕ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ПОВЕРХНІ ВІДКЛИКУ ТРИФАКТОРНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ

Мілько Д.О., к.т.н.,²⁰

Бакарджиєв Р.О., к.т.н.

Таврійський державний агротехнологічний університет

Комарова І. Б., к.с.-г.н.

Інститут олійних культур НААН

Тел. (619) 42-05-70

Анотація – роботу присвячено заміні графічного представлення трьох тривимірних поверхонь функції відклику парних взаємодій досліджуваних факторів, отримуваних при проведенні трифакторного регресійного аналізу одним чотиривімірним тернарним графіком.

Ключові слова – трифакторний регресійний аналіз, функції відклику, парна взаємодія, тернарний графік.

Постановка проблеми. У практиці регресійного аналізу найбільше зустрічаються проведення трифакторного експерименту. Особливо часто це властиво технічним наукам, бо зазвичай одним фактором є конструктивний параметр, другим — технологічний режим, третім — властивість оброблюваного матеріалу.

Візуалізацію отриманого рівняння функції відгуку, як правило, проводять тривимірними поверхнями парних взаємодій досліджуваних факторів, причому при трьох факторах будується три поверхні [1].

Аналіз останніх досліджень. Широке впровадження електронно-обчислюваної техніки із спеціальними програмами статистичної обробки експериментальних даних, зокрема пакету прикладних програм (ППП) Statistica [2], дає змогу не лише отримувати при регресійному аналізі функції відгуку другого порядку, а й виконувати графічне представлення тривимірних поверхонь парних взаємодій факторів з урахуванням значущості коефіцієнтів рівняння регресії.

Також можлива побудова за допомогою PPP Statistica і чотиривімірного тернарного графіку, що дає змогу представляти дані трифакторного експерименту одним рисунком.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). З метою скорочення кількості поверхонь відгуку пропонується використати

тернарний графік, де фактори подано сторонами правильного трикутника (симплекса), рівними одиниці (трикутниками Гіббса–Розебома), а висота прямокутної призми, побудованої на ньому, є значенням функції відгуку [3].

Як відомо, тернарні графіки використовуються для аналізу трикомпонентних сумішей, виходячи з умови, що сума їх часток у ній дорівнює одиниці. Для одержання коефіцієнтів рівняння регресії використовуються плани, що забезпечують рівномірний розкид експериментальних точок. Ними є вузли сімлексних решіток ділення трикутника, що утворюють насичений симплекс-гратчастий план (рис. 1). Тут вершини відповідають факторам, точки на сторонах — їх подвійним сполученням, а точки усередині трикутника — потрійним.

Представлені на рис. 1 трикутники називаються трикутниками Гіббса–Розебома. Тут вершини відповідають чистим компонентам, точки на сторонах — сполукам подвійних (бінарних) систем; точки усередині трикутника характеризують потрійні суміші [3].

Отримані таким чином апроксимуючі моделі різних порядків можуть бути використані для передбачення відгуків у будь-якій точці симплекса. Точність передбачення відгуку якої-небудь фіксованої моделлю різна в різних точках симплекса і, крім координат точки, залежить також від експериментальної ситуації (дисперсії досліду, кількості паралельних спостережень в вузлах симплексної решітки).

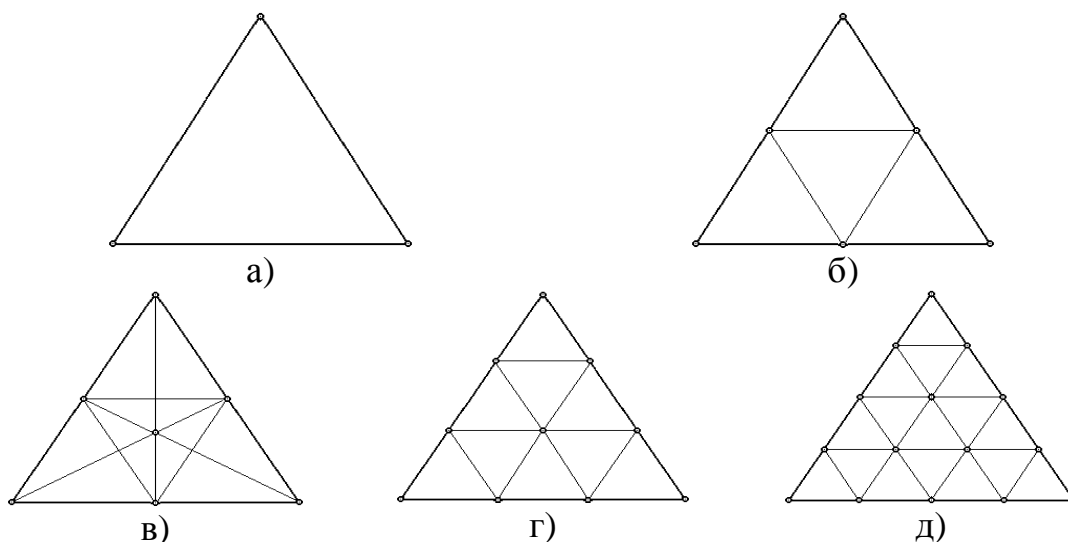


Рис. 1. Типи симплексних решіток ділення трикутника: а – лінійна; б – квадратична; в – неповна кубічна; г – кубічна; д - кватертична (четвертого ступеня)

Основна частина. Для ілюстрації тернарного представлення поверхні відклику трифакторного експерименту нами взятий приклад залежності щільності ρ (кг/м³) паливних брикетів від довжини часток

соломи l (20–40 мм), вмісту δ (0–9 %) зв'язуючої речовини і кута α (2–6 град) конусності матриці (табл. 1), отриманої за трирівневою матрицею повнофакторного плану другого порядку для трьох факторів [4].

Сторони основи трикутника представляють в масштабі діапазони зміни, тобто розмах досліджуваних факторів. Їх поточне значення розраховується за виразом

$$x_i = x_{i_{\min}} + (x_{i_{\max}} - x_{i_{\min}})k, \quad (1)$$

де $x_{i_{\min}}, x_{i_{\max}}$ – відповідно мінімальне та максимальне значення i -го фактора;

k – частка довжини одиничної сторони симплекса за рис. 1.

Для прикладу розглянемо побудову тернарного графіка поверхні у вигляді функції відгуку другого порядку [3] — математичної моделі, яка за умови статистичної значущості її коефіцієнтів має вигляд

$$\rho = 898,2750 - 11,25\lambda - 8,8667\delta - 23,5\alpha + 0,0278\lambda\delta + 0,0375\lambda\alpha + 0,1162\lambda^2 + 0,2284\delta^2 + 2,9063\alpha^2. \quad (2)$$

Застосовуючи кватричне (четвертого ступеня) ділення трикутника (згідно до рис. 1, д), за виразом (1) отримаємо матрицю з натуральними значеннями факторів і симплексними координатами (табл. 1), за якими з використанням формули (2) отримуємо відповідні розрахункові значення щільності брикету.

Далі в ППП **Statistica** створюється файл (рис. 2), у колонки **v1–v7** якого заносяться дані табл. 1.

Потім по чергово слід, виконавши дії з колонками **v4–v7** (рис. 2): в меню **Graphs/Графіка** (1) задіяти модуль **3D XYZ Graphs/3D XYZ графіки**

(2) і далі опцію **Ternary Plots.../Тернарные графики**

(3).

Виникає панель **Ternary Graphs/Тернарные графики**, де в якій у вкладці **Advanced/Дополнительно** вибирається вид графічного представлення **Surface/Поверхность** (4), задається квадратичний тип поверхні **Quadratic/Квадратичная** (5) і натискається **Variables/Переменные** (6).

Таблиця 1 - Тернарні координати у натуральних значеннях і частках сторін трикутника

№ п.п.	Фактори			Частки факторів			ρ
	l	δ	α	l'	δ'	α'	
1	40	0.00	2.0	1	0	0	601.8
2	35	2.25	2.0	0.75	0.25	0	597.5
3	30	4.50	2.0	0.50	0.50	0	600.7
4	25	6.75	2.0	0.25	0.75	0	611.4
5	20	9.00	2.0	0	1	0	629.6
6	35	0.0	3.0	0.75	0	0.25	606.5
7	30	2.3	3.0	0.50	0.25	0.25	607.5
8	25	4.5	3.0	0.25	0.50	0.25	616.0
9	20	6.8	3.0	0	0.75	0.25	632.0
10	30	0.0	4.0	0.50	0	0.50	622.4
11	25	2.3	4.0	0.25	0.25	0.50	628.7
12	25	2.3	4.0	0.25	0.25	0.50	628.7
13	20	4.5	4.0	0	0.50	0.50	642.5
14	25	0.0	5.0	0.25	0	0.75	649.5
15	20	2.3	5.0	0	0.25	0.75	661.1
16	20	0.0	6.0	0	0	1	687.9

Цими діями виводиться панель **Select Variables for Ternary Graph**/ **Выберите переменные для Тернарного графика**, на якій вибираються необхідні аргументи і фактор (7) і натискається **ОК** (8), потім **ОК** (9).

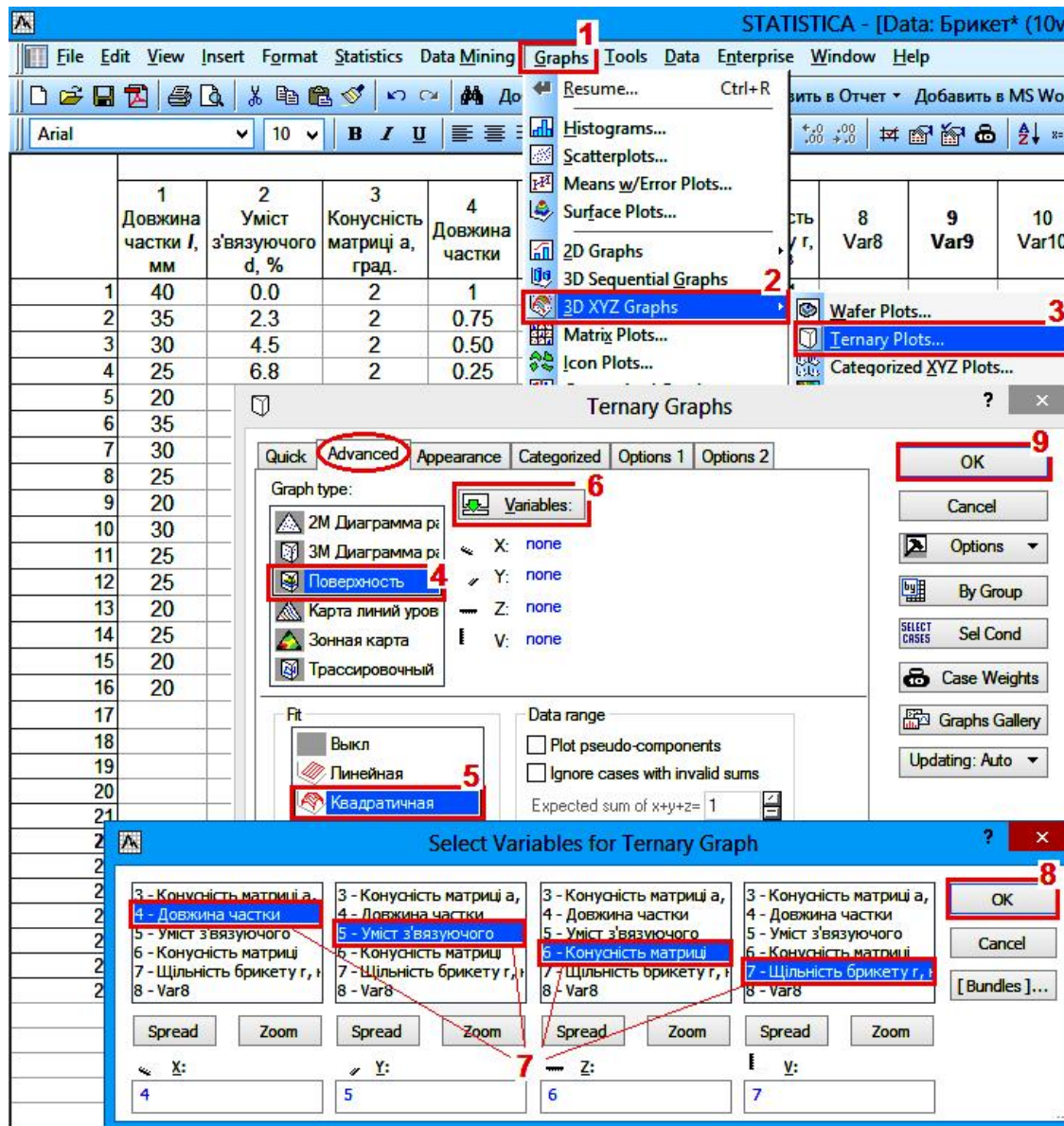


Рис. 2. Вибір варійованих факторів тернарного графіка

У результаті одержуємо тернарну тримірну поверхню (рис. 3, а). Для отримання карти ліній (рис. 3, б) після повернення на панель **Ternary Graphs**/ **Тернарные графики** (рис. 2) і у вкладці **Advanced**/ **Дополнительно** на кроці (4) замість **Surface**/ **Поверхность** слід вибрати **Contour/Lines**/ **Карта линей уровня** і натиснути **ОК** (9).

На цих рисунках для більшої наочності вони наведені графічно редагованими і з натуральними, а не нормованими значеннями аргументів.

Симплексні координати її точок та інших ізолей показують, які значення незалежних факторів довжини частки l , умісту зв'язуючого δ і кута конусності α матриці слід приймати для одержання брикету заданої щільності.

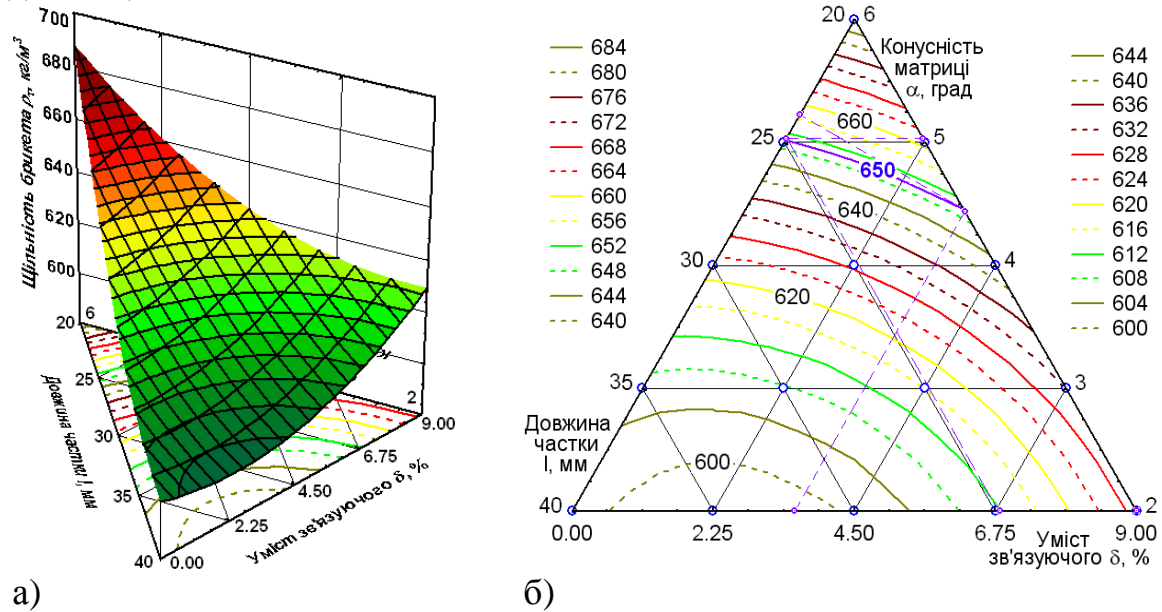


Рис. 3. Тернарні графіки поверхні функції відгуку:
а – тернарна тримірна поверхня; б – тримірна карта ліній

Інтерпретація отриманих результатів не є темою даної роботи, тому не наводиться.

Висновки. На конкретному прикладі проілюстровано метод побудови із застосуванням ППП Statistica чотиривимірного тернарного графіка, який замінює представлення трьох тривимірних поверхонь парних взаємодій досліджуваних факторів функції відклику.

Запропонований метод дає змогу скоротити графічне представлення результатів не погіршуючи візуальної інформативності та умов аналізу характеру взаємозалежності між функції відклику з регресорами.

Література:

1. Корольков В. И. Планирование эксперимента: учеб. пособие / В. И. Корольков, И. С. Попов. – Воронеж: ФГБОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2013. – 80 с.
2. Боровиков В. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: Для профессионалов / В. Боровиков. – [2-е изд.] – СПб.: Питер, 2003. – 688 с.
3. Зедгинидзе И. Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем / И. Г. Зедгинидзе. – М.: Наука, 1976. – 390 с.
4. Бакарджиев Р. А. Обоснование конструктивных параметров и

режимов работы пресс–брикетировщика для утилизации растительных материалов: дисс... канд. техн. наук: спец. 05.20.01 / Р.А. Бакарджиев. – Мелитополь, 1997. – 168 с.

ТЕРНАРНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ОТКЛИКА ТРИФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Милько Д.А., Бакарджиев Р.А., Комарова И.Б.

Аннотация – работа посвящена замене графического представления трех трехмерных поверхностей функции отклика парных взаимодействий исследуемых факторов, получаемых при проведении трёхфакторного регрессионного анализа, одним четырехмерным тернарным графиком.

TERNARY REPRESENTATION OF THE SURFACE OF RE- SPONSE OF THREE FACTORIAL EXPERIMENTAL DESIGN

D. Milko, R. Barkargiev, I. Komarova

Summary

A paper presents the replacement option of three three-dimensional surfaces of the response function of pair factor interactions by a four-dimensional ternary graph.