

УДК 004.415.3

Пех П.А.к.т.н. доц., Христинець Н.А., Прокопчук О.П.
Луцький національний технічний університет

C++BUILDER ПРОЕКТ АНАЛІЗУ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ ЗА СИМЕТРИЧНИМ КОМПОЗИЦІЙНИМ РОТАТАБЕЛЬНИМ УНІФОРМ ПЛАНОМ ДРУГОГО ПОРЯДКУ

Пех П.А., Христинець Н.А., Прокопчук О.П. C++Builder проект аналізу експериментальних даних, отриманих за симетричним композиційним ротатабельним уніформ планом другого порядку. В статті запропоновано C++Builder проект для побудови регресійної моделі другого порядку шляхом оброблення експериментальних даних, отриманих за симетричним композиційним ротатабельним уніформ планом.

Ключові слова: C++Builder проект, теорія планування експерименту, симетричний композиційний ротатабельний уніформ план.

Пех П.А., Христинець Н.А., Прокопчук А.П. C++Builder проект аналізу експериментальних даних, отриманих по симетричному композиційному ротатабельному уніформ плану другого порядку. В статті запропоновано C++Builder проект для побудови регресійної моделі другого порядку шляхом оброблення експериментальних даних, отриманих по симетричному композиційному ротатабельному уніформ плану.

Ключевые слова: C++Builder проект, теория планирования эксперимента, симметричный композиционный ротатабельный уніформ план.

Pekh Petro, Christinec Natalija, Prokopchuk Aleksandr. C++Builder project for analysis of experimental data obtained by symmetrical compositional rotatable uniform plan of the second order. In this article is designed the C++Builder project to build a second order regression model by processing experimental data obtained by symmetrical compositional rotatable uniform plan.

Keywords: C + + Builder project, the theory of experiment planning, symmetrical compositional rotatable uniform plan.

Постановка задачі. Нехай в процесі проведення експерименту досліджується вплив множини факторів x_1, x_2, x_3, L, x_k на невідому функцію $y = f(x_1, x_2, x_3, L, x_k)$. Метою такого дослідження є отримання математичної моделі у вигляді рівняння регресії певного, наприклад, другого порядку:

$$y = b_0 + \sum_{1 \leq i \leq k} b_i x_i + \sum_{1 \leq i < j \leq k} b_{ij} x_i x_j + \sum_{1 \leq i \leq k} b_{ii} x_i^2 \quad (1)$$

де x_1, x_2, x_3, L, x_k — кодовані значення факторів, а b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} - коефіцієнти, значення яких розраховуються за результатами експериментів. Число членів такої моделі можна визначити з формули:

$$C_{k+2}^k = \frac{(k+1)(k+2)}{2}, \quad (2)$$

де k - число факторів. Для трьохфакторного експерименту, наприклад, число членів моделі дорівнює десяти. Крім того, кожен фактор має варіюватися мінімум на трьох рівнях - найнижчому, найвищому та в центрі експерименту.

Шукана модель повинна адекватно відображати досліджуваний процес або явище, тобто при одних і тих же значеннях факторів експериментальні значення функції не повинні істотно відрізнятися від розрахованих за математичною моделлю. Задача аналізу експериментальних даних передбачає визначення коефіцієнтів моделі, їх дисперсій, коваріацій та довірчих інтервалів, а також перевірку значимості розрахованих коефіцієнтів.

Для побудови математичної моделі вченими запропоновано багато різних планів. Об'єктом даного дослідження є симетричний композиційний ротатабельний уніформ план другого порядку. Симетричним називається такий план, у якому всі дослідні точки проводяться у точках, що розташовані симетрично від центру експерименту. Композиційним називається такий план, який можна отримати шляхом побудови відповідного лінійного плану. Це досягається за рахунок введення в схему плану так званих зіркових точок. Нарешті, ротатабельність плану забезпечує однакову дисперсію функції відгуку у різних напрямках плану. Забезпечується вона реалізацією відповідної кількості дослідів у центрі експерименту. Якщо ж ця дисперсія практично незмінна на інтервалі $[-1; +1]$, то план буде одночасно і уніформним. Для подальшого дослідження ми скористалися результатами експерименту [1] за схемою симетричного композиційного ротатабельного

уніформплану другого порядку для випадку $k = 3$ факторів. Рівні варіювання факторів наведені у таблиці 1

Таблиця 1 – Рівні варіювання факторів

Фактори	Амплітуда, $A(\text{мм})$	Співвідношення мас порошків C_1/C_2 Sp	час сегрегації, $t (\text{хв})$
Основний рівень (X_{i0})	3,76	0,15	4
Інтервали варіювання (ΔX_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 $+\alpha (x_i = +1.682)$	6,56	0,24	7,4
Зіркова точка $-\alpha (x_i = -1.682)$	0,2	0,06	0,6

Експеримент реалізовано в області матеріалознавства. Метою проведення експерименту було дослідження залежності величини y - інтенсивності концентрації порошку C_1 в двокомпонентній порошковій суміші від амплітуди коливання x_1 , співвідношення мас порошків $C_1/C_2 - x_2$ та часу сегрегації x_3 .

Зв'язок між натуральними та кодованими значеннями факторів задається формулами:

$$x_1 = \frac{X_1 - 3,76}{1,18}; \quad x_2 = \frac{X_2 - 0,15}{0,05}; \quad x_3 = \frac{X_3 - 4}{2}. \quad (3)$$

Метою даного дослідження є розроблення програмного комплексу, який дозволяє автоматизувати процес побудови та аналізу математичної моделі на базі експериментальних даних.

Основна частина. Нехай результати експерименту за схемою симетричного композиційного ротатбельного уніформ плану другого порядку наведені у табл. 2. Виходячи з цих результатів, послідовно розраховуємо коефіцієнти моделі, їх дисперсії, коваріації та довірчі інтервали, а також перевіряємо значимість розрахованих коефіцієнтів.

Коефіцієнти моделі розраховуємо за такими формулами:

$$y = b_0 + \sum_{i \in I} b_i x_i + \sum_{i < j \in J} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i \in I} b_{ii} x_i^2 \quad (4)$$

$$b_0 = c_1 \sum_{u=1}^N y_u - c_2 \sum_{i=1}^k \sum_{u=1}^N x_{iu}^2 y_u; \quad b_i = c_3 \sum_{u=1}^N x_{iu} y_u; \quad b_{ij} = c_4 \sum_{u=1}^N (x_i x_j)_u y_u; \quad (5)$$

$$b_{ii} = c_5 \sum_{u=1}^N x_{iu}^2 y_u + c_6 \sum_{i=1}^k \sum_{u=1}^N x_{iu}^2 y_u - c_2 \sum_{u=1}^N y_u \quad (6)$$

Для вирішення всіх вище зазначених завдань стосовно такого роду емпіричних даних нами розроблено C++Builder проект. Він складається з головної та восьми підлеглих форм (табл. 3), кожна з яких вирішує ту чи іншу частину задачі. Кількість форм за потреби може бути збільшена.

Таблиця 2 – Результати експерименту за схемою симетричного композиційного ротатабельного уніформ плану другого порядку

№ до сліду	x_0	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	x_1x_1	x_2x_2	x_3x_3	y
1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	30.2
2	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	20.2
3	+1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	7.0
4	+1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	14.1
5	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	43.0
6	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	5.8
7	+1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	27.9
8	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	8.0
9	+1	+1.682	0	0	0	0	0	+2.83	0	0	36.0
10	+1	-1.682	0	0	0	0	0	-2.83	0	0	12.1
11	+1	0	+1.682	0	0	0	0	0	+2.83	0	25.3
12	+1	0	-1.682	0	0	0	0	0	-2.83	0	10.4
13	+1	0	0	+1.682	0	0	0	0	0	+2.83	18.0
14	+1	0	0	-1.682	0	0	0	0	0	-2.83	20.0
15	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29.0
16	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28.4
17	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28.6
18	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28.8
19	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28.7
20	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30.5

Вигляд головної форми показаний на рис.2. У ній використано компонент MainMenu, кожна команда якого (пункт меню) забезпечує перехід на відповідну підлеглу форму, а з кожної підлеглої форми можна повернутись лише на головну.

Зв'язування головної та всіх підлеглих форм досягається тим, що у файлі головної форми MainFormUnit1.cpp включені директиви з іменами файлів усіх підлеглих форм:

```
#include "MainFormUnit1.h"
#include "TabCoefModUnit2.h"
#include "CoefModUnit3.h"
#include "DispCoefModUnit4.h"
#include "CovCoefModUnit5.h"
#include "DovIntCoefModUnit6.h"
#include "TabTeorZnachUnit7.h"
#include "ZnachCoefUnit8.h"
#include "GraphFuncUnit9.h"
#include "AdecvatModUnit10.h"
#include "ProectContUnit11.h",
```

а у всіх файлах підлеглих формах включена директива з іменем MainFormUnit1.h головної форми. Наприклад, для форми Form2 це виглядає так:

```
#include "TabCoefModUnit2.h"
#include "MainFormUnit1.h"
```

На рис.2 наведено форму Form2, з результатами обчислень матриці планування, а на рис.3 наведено форму Form3, з результатами обчислень коефіцієнтів регресійної моделі.

Таблиця 3. Найменування та призначення форм і відповідних їм файлів.

№ з/п	Форма	Найменування файла	Призначення форми
1	2	3	4
1	Form1	MainFormUnit1	Головна форма проекту
2	Form2	TabCoefModUnit2	Формування матриці планування
3	Form3	CoefModUnit3	Розрахунок коефіцієнтів моделі
4	Form4	DispCoefModUnit4	Розрахунок дисперсій коефіцієнтів моделі
5	Form5	CovCoefModUnit5	Розрахунок коваріацій коефіцієнтів моделі
6	Form6	DovIntCoefModUnit6	Визначення довірчих інтервалів коефіцієнтів моделі
7	Form7	TabTeorZnachUnit7	Розрахунок теоретичних значень функції відгуку
8	Form8	ZnachCoefUnit88	Визначення значимості коефіцієнтів моделі
9	Form9	GraphFuncUnit9	Побудова графіків функції відгуку
10	Form10	AdecvatModUnit100	Визначення адекватності моделі
11	Form11	ProectContUnit11	Зміст задач проекту

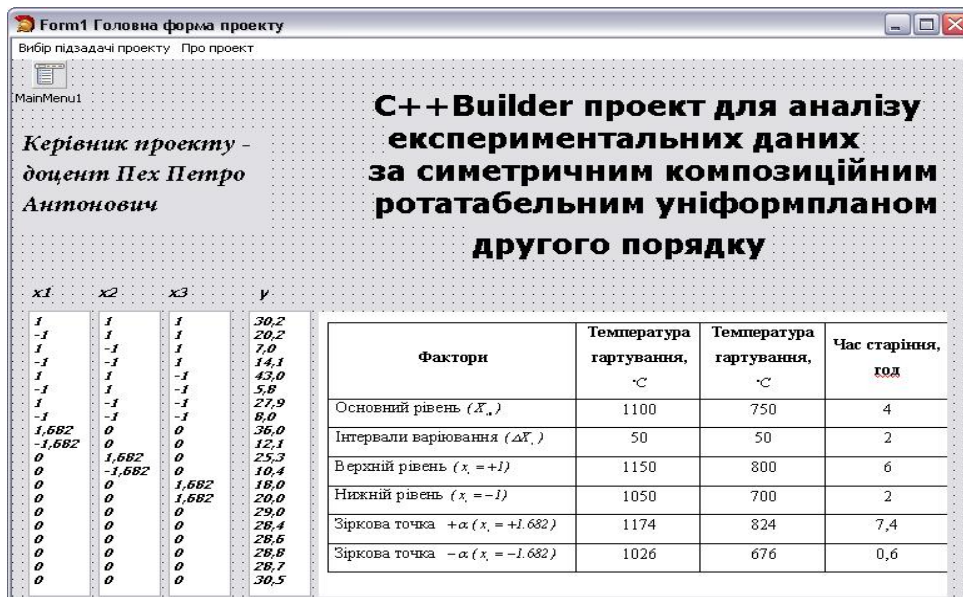


Рис. 1 – Вікно Form1 - головної форми проекту

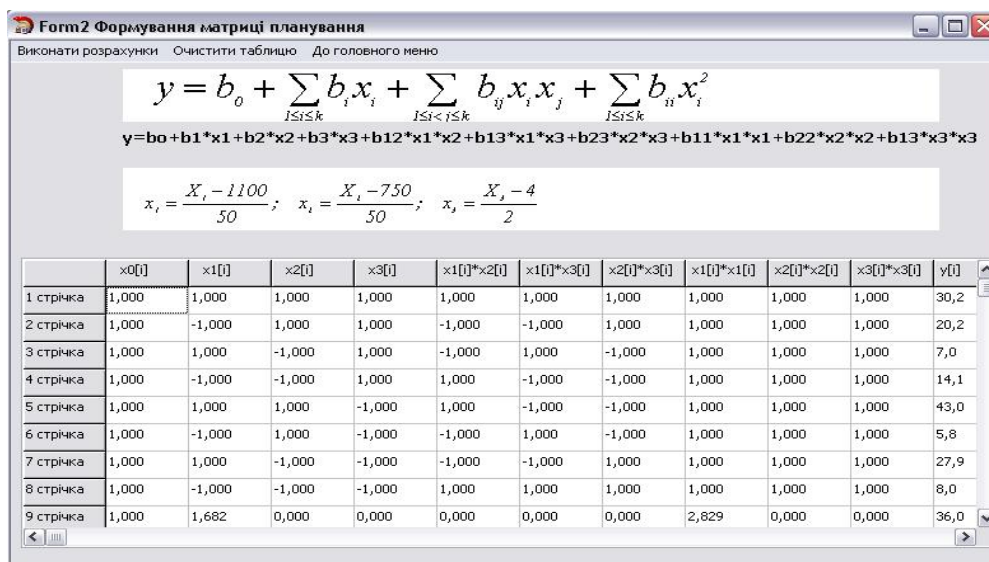


Рис. 2 – Форма Form2 з результатами обчислень матриці планування

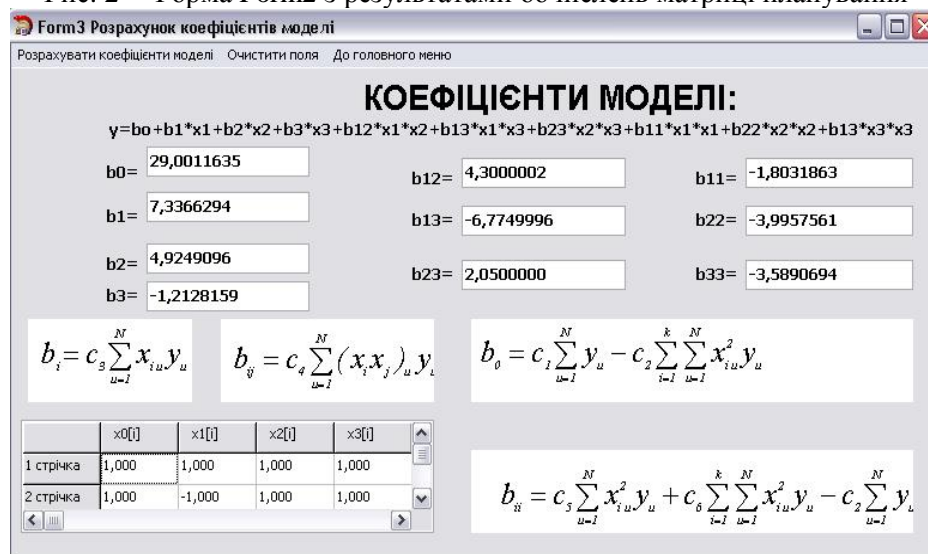


Рис. 3 – Форма Form3 з результатами обчислень коефіцієнтів регресійної моделі

Дисперсії коефіцієнтів моделі розраховуємо за формулами:

$$S_{b_0} = c_7 S_y; \quad S_{b_i} = c_8 S_y; \quad S_{b_{ij}} = c_9 S_y; \quad S_{b_{ii}} = c_{10} S_y, \quad (7)$$

де S_y - дисперсія досліджуваного. Вона визначається у такій послідовності. Спочатку розраховується середнє значення функції відгуку в центрі експерименту:

$$\bar{y}_0 = \frac{\sum_{g=1}^{n_0} y_{0g}}{n_0} \quad (8)$$

де n_0 - число дослідів у центрі експерименту; y_{0g} - значення функції відгуку у g - му досліді в центрі експерименту.

Далі визначаємо величину дисперсії досліджуваного:

$$S_y^2 = \frac{\sum_{g=1}^{n_0} (y_{0g} - \bar{y}_0)^2}{n_0 - 1} \quad (9)$$

Коваріації коефіцієнтів моделі розраховуємо за формулами:

$$\text{cov} b_0 b_{ii} = -c_2 S_y^2 \quad \text{cov} b_{ii} b_{ij} = c_6 S_y^2. \quad (10)$$

Довірчі інтервали коефіцієнтів моделі розраховуємо за формулами:

$$\Delta b_0 = t_{St} S b_0; \quad \Delta b_i = t_{St} S b_i; \quad \Delta b_{ij} = t_{St} S b_{ij}; \quad \Delta b_{ii} = t_{St} S b_{ii} \quad (11)$$

де t_{St} - табличне значення критерію Стюдента. Табличне значення критерію Стюдента вибирають за таблицею залежно від величини прийнятого рівня значимості, який в інженерних розрахунках приймається рівним 0.05, та числа степенів свободи. У нашому випадку t_{St} . Цю константу задаємо у розділі опису глобальних змінних форми.

Визначивши довірчі інтервали коефіцієнтів моделі, перевіряємо їх значимість. Якщо модуль коефіцієнта моделі є меншим від модуля відповідного довірчого інтервалу, то нове значення цього коефіцієнта приймається рівним нулю, в протилежному випадку його значення не змінюємо, тобто, коефіцієнт вважається значимим.

Отриману модель слід перевірити на адекватність. Ця перевірка здійснюється за критерієм Фішера. Вважають, що математична модель адекватно відображає досліджуване явище чи процес, якщо розраховане значення критерію Фішера не перевищує табличного значення цього критерію, яке у нашому випадку дорівнює . Значення критерію Фішера розраховуємо за формулою:

$$F_{f_2; f_1}^{\delta_1; \delta_2} = \frac{S_{\text{іааа}}^2}{S_y^2}; \quad S_{\text{іааа}}^2 = \frac{\sum_{u=1}^N (y_{ut} - y_u)^2}{f_2}, \quad (12)$$

де y_{ut}, y_u - теоретичне та експериментальне значення функції в u -му досліді.

Передбачено також побудову графіків функції відгуку за різних значень вхідних факторів (рис.4).



Рис. 4 – Графіки функції відгуку за різних значень вхідних факторів

Висновки

У роботі розроблено С++Builder проект, за допомогою якого засобами сучасних інформаційних технологій розв'язується актуальна задача автоматизації процесу побудови та аналізу математичної моделі на базі експериментальних даних, отриманих за схемою симетричного композиційного рота табельного уніформ плану другого порядку.

1. Архангельский А.Я. Программирование в С++Builder. –М.:ООО «Бином-Пресс», 2010.-1298 с.
2. Новик Ф.С., Арсов Я.Б. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов. –М.: Машиностроение, София: Техника, 1980.-304 с.