

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ПОЛНОГО ФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПЕРВОГО ПОРЯДКА

Назарова О.П., к.т.н.,

Безменникова Л.Н., к.т.н.

Таврический государственный агротехнологический университет

Тел. (0619) 42-32-63

Аннотация – в статье представлены программные блоки для расчета и анализа модели первого порядка для трех факторов. Факторы модели - энергетические режимы работы вентилятора опрыскивателя и фитометрических параметров обрабатываемого виноградного растения, результирующий признак - качественный показатель опрыскивания.

Ключевые слова – вентиляторный опрыскиватель, качество, энергозатраты, полный факторный эксперимент (ПФЭ), программный блок, критерий.

Постановка проблемы. В условиях современного математического моделирования приобретает особую значимость автоматизация различных методов построения модели.

В работе рассматривается вопрос, связанный с построением модели первого порядка полного факторного эксперимента, который значительно упрощает расчеты обработки данных при проведении эксперимента.

В работе предлагаются алгоритмы и программные блоки для критериев в пакете MathCad, позволяющие получить расчетные и критические величины, необходимые для метода ПФЭ.

Цель статьи. Разработать алгоритмы в виде связанных блоков прикладных программ с удобным для пользователя интерфейсом и обеспечение программных блоков полного факторного эксперимента первого порядка по заданным экспериментальным данным в пакете MathCad. Данные алгоритмы и вычислительные блоки могут быть использованы аспирантами и магистрами в научных исследованиях.

Основная часть. Эксперимент был проведен на специальной установке, которая представляет собой имитационную модель вентиляторного опрыскивателя. К факторам, оказывающим влияние на густоту покрытия поверхности растения, относятся:

- мощность, затрачиваемая на привод вентилятора;
- относительная площадь листьев;
- зона расположения индикатора в кроне куста.

Показателем работы при этом выбрана густота покрытия поверхности растения, которая будет являться параметром оптимизации.

Для отсеивания факторов воспользовались одной восьмой факторного эксперимента. Каждый фактор варьирует на двух уровнях: верхнем (+) и нижнем (-), которые выбираются, исходя из технологических соображений, и заносятся в таблицу 1.

Таблица 1 – Уровни варьирования факторов

Наименование факторов	Ед. изм.	Уровни варьирования факторов				Обозначение
		-1	0	+1	Δ_i	
Мощность, затрачиваемая на привод вентилятора	<i>Bm</i>	692,8	1143,15	1593,5	450,35	X_1
Относительная площадь листьев	-	0,2	1,8	3,4	1,6	X_2
Зона расположения индикатора в кроне куста	<i>см</i>	50	75	100	25	X_3

Необходимо получить и исследовать линейную модель вида:

$$y_i = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + b_{123} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3. \quad (1)$$

Составляется план отсеивающего эксперимента на основе стандартной матрицы и осуществляется его реализация для получения откликов. Опыты проводились дважды для определения ошибки. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Расширенная матрица планирования

Факторы				Факторы взаимодей.				Отклики		Y _i - средн.	S _i - постр.
Z ₀	Z ₁	Z ₂	Z ₃	z ₁₂	z ₁₃	z ₂₃	z ₁₂₃	Y _{i1}	Y _{i2}		
1	1	1	1	1	1	1	1	78	77,5	77,75	0,13
1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	63,5	62,5	63,00	0,50
1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	77,2	74,8	76,00	2,88
1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	59	61	60,00	2,00
1	1	1	-1	1	-1	-1	-1	95,8	94,6	95,20	0,72
1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	87	88	87,50	0,50
1	1	-1	-1	-1	-1	1	1	96,8	98	97,40	0,72
1	-1	-1	-1	1	1	1	-1	92,6	95	93,80	2,88

Таким образом, расширенная матрица факторов X и матрица результирующего признака Y имеют вид:

$$X := \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & -1 \end{pmatrix} \quad Y := \begin{pmatrix} 78 & 77.5 \\ 63.5 & 62.5 \\ 77.2 & 74.8 \\ 59 & 61 \\ 95.8 & 94.6 \\ 87 & 88 \\ 96.8 & 98 \\ 92.6 & 95 \end{pmatrix}$$

Для указанных факторов проверяются и анализируются три критерия:

- а) Критерий Кохрена (проверка воспроизводимости опытов);
- б) Критерий Стьюдента (проверка коэффициентов на значимость);
- в) Критерий Фишера (проверка модели на адекватность).

Расчетные блоки критериев представлены в пакете MathCad.

Критерий Кохрена

построчная дисперсия

$$Y1 := \frac{(Y \langle 0 \rangle - Y_s)^2 + (Y \langle 1 \rangle - Y_s)^2}{m - 1}$$

расчетное значение

$$Gr := \frac{\max(Y1)}{\sum Y1}$$

табличное значение

$$k1 := m - 1 \quad k2 := n$$

$$k1 = 1$$

$$k2 = 8$$

$$Y1 = \begin{pmatrix} 0.125 \\ 0.5 \\ 2.88 \\ 2 \\ 0.72 \\ 0.5 \\ 0.72 \\ 2.88 \end{pmatrix}$$

$$\sum Y1 = 10.325$$

$$\max(Y1) = 2.88$$

$$Gr = 0.279$$

$$pcauchy(0.95, k1, k2) = 0.498$$

Ошибка опыта:

$$so := \frac{\sum Y1}{n}$$

$$so = 1.291$$

Воспроизводимость опытов хорошая, т.к. $0,279 < 0,498$.

Критерий Стьюдента

Коэффициенты модели

$$B := (X^T \cdot X)^{-1} \cdot X^T \cdot Y_s$$

$$S_b := \sqrt{\frac{so}{n}}$$

$$t_b := \frac{B}{S_b}$$

$$t := qt[0.95, n \cdot (m - 1)]$$

$$|t_b| > t$$

$$B = \begin{pmatrix} 81.331 \\ 5.256 \\ -0.469 \\ -12.144 \\ 0.356 \\ 2.431 \\ 1.656 \\ -0.669 \end{pmatrix} \quad S_b = 0.402$$

$$t_b = \begin{pmatrix} 2.025 \times 10^2 \\ 13.086 \\ -1.167 \\ -30.234 \\ 0.887 \\ 6.053 \\ 4.124 \\ -1.665 \end{pmatrix} \quad t = 1.86$$

Критерий Фишера

$$Y_t := X \cdot B$$

$$k := 1$$

$$l := 3$$

$$Fr := \frac{m \cdot \sum \left[(Y^{(0)} - Y_t)^2 + (Y^{(1)} - Y_t)^2 \right]}{(n - m - 1) \cdot so}$$

$$Y_t = \begin{pmatrix} 77.75 \\ 63 \\ 76 \\ 60 \\ 95.2 \\ 87.5 \\ 97.4 \\ 93.8 \end{pmatrix}$$

$$qF[0.95, n - m - 1, n \cdot (m - 1)] = 3.687$$

$$Fr = 3.2$$

$$Fr < F,$$

Таким образом, уравнение линейной регрессии имеет вид:

$$y_i = 81,331 + 5,256 \cdot z_1 - 0,469 \cdot z_2 - 12,144 \cdot z_3 + 0,356 \cdot z_1 \cdot z_2 + 2,431 \cdot z_1 \cdot z_3 + 1,656 \cdot z_2 \cdot z_3 - 0,669 \cdot z_1 \cdot z_2 \cdot z_3. \quad (2)$$

Так как коэффициенты b_1 , b_{12} , b_{123} незначимы, уравнение модели:

$$y_i = 81,331 - 0,469 \cdot z_2 - 12,144 \cdot z_3 + 2,431 \cdot z_1 \cdot z_3 + 1,656 \cdot z_2 \cdot z_3. \quad (3)$$

Для определения адекватности модели, сравним критическое и расчетное значения критерия Фишера.

Раскодированная линейная модель для густоты покрытия растения имеет вид:

$$y_i = 142,39 - 0,016 \cdot x_1 - 3,398 \cdot x_2 - 0,807 \cdot x_3 + 0,00022 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,041 \cdot x_2 \cdot x_3. \quad (4)$$

Выводы. Таким образом, разработаны расчетные программные блоки для ПФЭ первого порядка, что значительно упрощает расчетную часть исследований. Аналогично можно представить программные блоки для моделей второго порядка, с указанием области оптимума.

Литература

1. Доспехов В.А. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных / В.А. Доспехов, Г.В. Веденяпин. – М.: Колос, 1973. – 199 с.
2. Хемди А. Введение в исследование операций / А. Хемди, Таха. – М.: Колос, 2005. – 901 с.
3. Бондарь А.Г. Планирование эксперимента в химической технологии / А.Г. Бондарь, Г.А. Статюха. – К.: Вища школа, 1976. – С. 180.

ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПОВНОГО ФАКТОРНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ ПЕРШОГО ПОРЯДКУ

Назарова О.П., Безменнікова Л.М.

Анотація

У статті представлені програмні блоки для розрахунків і аналізу моделі першого порядку для трьох факторів. Фактори моделі – енергетичні режими роботи вентилятора обприскувача й фітометричних параметрів оброблюваної виноградної рослини, результуючий чинник – якісний показник обприскування.

PROGRAM REALIZATION THE FIRST ORDER COMPLETE FACTOR EXPERIMENT

O. Nazarova, L. Bezmennikova

Summary

The program blocks for account and analysis of first order model for three factors are submitted in the article. The model factors - power modes of operations of the fan sprayer and fitometric parameters of grape plant, result - qualitative parameter of spraying.