

УДК 519.677

## 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	$\Delta_i$	
Мощность, затрачиваемая на привод вентилятора	<i>Вт</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 <sub>i</sub> - средн.	S <sub>i</sub> - постр.
Z <sub>0</sub>	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>	z <sub>12</sub>	z <sub>13</sub>	z <sub>23</sub>	z <sub>123</sub>	Y <sub>i1</sub>	Y <sub>i2</sub>		
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:

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

Расчетные блоки критериев представлены в пакете MathCad.

### Критерий Кохрена

построчная дисперсия

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

расчетное значение

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

табличное значение

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

$$k1 = 1$$

$$k2 = 8$$

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

$$\sum Y1 = 10.325$$

$$\max(Y1) = 2.88$$

$$Gr = 0.279$$

$$p_{cauchy}(0.95, k1, k2) = 0.498$$

Ошибка опыта:

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

$$so = 1.291$$

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

Критерий Стьюдента

Кoeffициенты 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

$$Y_t := X \cdot B$$

$$k := 1$$

$$l := 3$$

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

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

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

$$Fr = 3.2$$

$$Fr < F,$$

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.