

УДК 519.254.255

МОДЕЛІ РЕГРЕСІЇ ОЧОСУЮЧОГО МОДУЛЮ ДЛЯ ЗБИРАННЯ РИЦИНИ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРУЖНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Головін С.В., інж.*

Таврійський державний агротехнологічний університет

Тел. (0619) 42-14-38

Анотація – Робота присвячена побудові математичної моделі у вигляді рівняння регресії та статистичному аналізу отриманої моделі.

Ключові слова – моделювання, рівняння регресії, очосуючий модуль, рицина, пружні робочі елементи.

Постановка проблеми. Рицина – цінна технічна культура. Але, на сьогоднішній день виробництво даної культури стримується внаслідок відсутності технічних засобів її збирання. Рішенням даної проблеми може бути розробка навісного очосуючого модулю та технологічного обладнання для доробки очосаного вороху.

Аналіз публікацій. Розробкою технічних засобів збирання рицини займалися Черепухін В.Д. [1], Рой О.А. [2], Квач В.Г. [3] та інші. Але, дані дослідження присвячені, головним чином, комбайновій технології збирання рицини. Дослідження засобів для роздільного збирання рицини приведені в роботах [4, 5]. Будова робочого органу для очоса рицини приведена в [6].

Постановка завдання. З метою обґрунтування параметрів і режимів роботи очосуючого модулю потрібно вирішити наступні задачі:

- провести дослідження технологічного процесу збирального модулю в польових умовах;
- на основі отриманих результатів розробити математичну модель у вигляді рівняння регресії;
- провести статистичний аналіз отриманої моделі.

Основний матеріал.

В збиральний сезон 2009 року на полях ДП СП «Лазурне» Мелітопольського району Запорізької області були проведені польові випробування навісного очосуючого органу з пружними елементами для збирання рицини [4, 5]. Вивчення процесів збирання рицини у сполученні з кібернетичними методами досліджень (моделювання)

являє собою основу системного підходу до вирішення поставленого завдання.

Метод системного аналізу досліджуваних процесів включає оптимальне планування експерименту, розробку математичної моделі з метою інтенсифікації процесу збирання рицини, шляхом вибору раціональних умов його протікання.

Для побудови математичної моделі був використаний некомпозиційний, ротатабельний трьохрівневий план Боксу-Бенкіна [7, 8]. Відмінною рисою цих планів є те, що у всіх рядках плану деякі фактори перебувають на нульових рівнях [9, 10].

Математична модель досліджуваного процесу має вигляд [11, 12]:

$$y = b_0 + \sum_{1 \leq i \leq k} b_i x_i + \sum_{1 \leq i < \ell \leq k} b_{i\ell} x_i x_\ell + \sum_{1 \leq i \leq k} b_{ii} x_i^2 + \dots, \quad (1)$$

де y - вибіркова оцінка функції відгуку;

$b_0, b_i, b_{i\ell}, b_{ii}$ - коефіцієнти регресії, які є оцінками теоретичних коефіцієнтів;

x_1, \dots - незалежні змінні (фактори).

В результаті проведених попередніх досліджень були виявлені основні фактори, що впливають на процес збирання рицини - частота обертання очосуючого барабану, глибина занурення барабану в масу, зазор між очосуючими пальцями, довжина очосуючих пальців і швидкість руху очосуючого агрегату.

Таким чином, у загальному вигляді математична модель збирання рицини може бути представлена у вигляді:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4 + b_5 x_5 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + \\ + b_{14} x_1 x_4 + b_{15} x_1 x_5 + b_{23} x_2 x_3 + b_{24} x_2 x_4 + b_{25} x_2 x_5 + b_{34} x_3 x_4 + \\ + b_{35} x_3 x_5 + b_{45} x_4 x_5 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{33} x_3^2 + b_{44} x_4^2 + b_{55} x_5^2 \quad (2)$$

де x_1 - частота обертання очосуючого барабана, n , хв^{-1} ;

x_2 - глибина занурення барабану в масу, H , м ;

x_3 - зазор між очосуючими пальцями, a , м ;

x_4 - довжина очосуючих пальців, ℓ , м ;

x_5 - швидкість руху очосуючого агрегату, v , м/с .

Планування експерименту виконувалося на п'яти рівнях (табл.1).

Для проведення експерименту була складена матриця планування експерименту (табл. 2), у якій нижній рівень позначений знаком (-), верхній - знаком (+), основний рівень - (0). Досліди проводилися в п'ятикратній повторності. Для виключення неоднорідностей дискретного й безперервного типів, досліди рандомізувалися.

Формули для підрахунку коефіцієнтів регресії для планів Бокса-Бенкіна, мають вигляд [7]:

$$\left. \begin{aligned} b_0 &= \sum \bar{y}_0; \\ b_i &= A \{iy\}; \\ b_{ii} &= B \{i^2y\} + C_1 \sum \{ijy\} + C_2 \sum \{\ell\ell y\} - \frac{\bar{y}_0}{\rho}; \\ b_{ij} &= D_1 \{ijy\} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

де \bar{y}_0 - середнє значення відгуку в нульових точках;

$$\sum_j^{n_1} \text{ и } \sum_\ell^{n_2} - \text{сума для стовпців плану відповідних елементів } j,$$

ℓ , первинно і повторно пов'язаних с і-тим елементом в схемі побудови плану;

A_1, B_1, C_1, C_2, D_1 - числові константи (їх значення приведені в табл.3) [13].

Рандомізація проведення дослідів забезпечує рівномірне внесення елемента випадковості впливу некерованих і неконтрольованих факторів на відгук. При рандомізації були використані таблиці випадкових чисел.

Таблиця 3 - Числові константи трьохрівневих планів Бокса-Бенкіна.

Число факторів, k	A	B	C ₁	C ₂	D ₁	D ₂	ρ
3	1/8	1/4	-1/16	0	1/4	0	2
4	1/12	1/8	-1/48	0	1/4	0	2
5	1/16	1/12	-1/96	0	1/4	0	2
6	1/24	17/216	10/216	-1/216	1/16	1/8	3
7	1/24	1/16	-1/144	0	1/8	0	3

У виразі (9) прийняті наступні позначення:

$$\{iy\} = \sum_{n=1}^N x_{in} y_n; \quad \{i^2y\} = \sum_{n=1}^N x_{in}^2 y_n; \quad \{ijy\} = \sum_{n=1}^N x_{in} x_{jn} y_n. \quad (4)$$

Так як в дослідженнях був реалізований п'яти факторний експеримент, то формули для визначення коефіцієнтів з урахуванням численних значень констант A_1, B_1, C_1, C_2, ρ приймають вигляд:

$$\begin{aligned} b_0 &= \frac{1}{5} \sum_{n=1}^N y_{0n}; & b_i &= \frac{1}{16} \sum_{j=1}^{46} x_{ij} y_j; & b_{i\ell} &= \frac{1}{12} \sum_{j=1}^{46} x_{ij} x_{\ell j} y_j; \\ b_{ii} &= \frac{1}{4} \sum_{j=1}^{46} x_{ij}^2 y_j - \frac{1}{96} \sum_{i=1}^5 \sum_{j=1}^{46} x_{ij}^2 y_j - \frac{1}{6} \sum y_{0n} \end{aligned} \quad (5)$$

Після підстановки в формули (11) численних значень функції відгуку, отриманих в результаті експерименту були визначені коефіцієнти рівняння регресії:

$$\begin{aligned} b_0 &= 1.9467; & b_1 &= 0.036; & b_2 &= 0.062; & b_3 &= 0.017; & b_4 &= 0.1; \\ b_5 &= -0.136; & b_{12} &= 0.085; & b_{13} &= 0.02; & b_{14} &= -0.148; & b_{15} &= 0.0375; \\ b_{23} &= -0.083; & b_{24} &= 0.09; & b_{25} &= 0.095; & b_{34} &= -0.078; & b_{35} &= 0.0625; \\ b_{45} &= 0.0725; & b_{11} &= 0.146; & b_{22} &= 0.125; & b_{33} &= 0.092; \\ b_{44} &= 0.209; & b_{55} &= 0.100. \end{aligned}$$

Після визначення коефіцієнтів регресії проводилась перевірка їх значимості. Для цього, по-перше, була визначена за результатами дослідів в центрі плану дисперсія $S^2\{y\}$ відтворюваності:

$$S^2\{y\} = \frac{S_E}{n_0 - 1}, \quad (6)$$

де S_E - дисперсія, яка характеризує похибку дослідів;
 n_0 - число дослідів в центрі плану.

Дисперсія, яка характеризує похибку дослідів визначається з співвідношення:

$$S_E = \sum (y_{0n} - \bar{y}_{0n}). \quad (7)$$

Дисперсії, які характеризують похибки в визначенні коефіцієнтів рівняння регресії для y , розраховувались за наступними формулами [7]:

$$\begin{aligned} S^2\{b_0\} &= \frac{1}{3} \cdot S^2\{y\}; & S^2\{b_i\} &= \frac{1}{8} \cdot S^2\{y\}; \\ S^2\{b_{ie}\} &= \frac{1}{4} \cdot S^2\{y\}; & S^2\{b_{ii}\} &= \frac{13}{48} \cdot S^2\{y\} \end{aligned} \quad (8)$$

Довірчий інтервал Δb_0 знаходимо з виразу:

$$\Delta b_0 = \pm t_T \cdot S\{b_0\}, \quad (9)$$

де t_T - критерій Стьюдента.

Критерій Стьюдента визначається за таблицею, в залежності від рівня значимості і числа ступенів свободи. При числі ступенів рівному 23 і 5% рівні значимості $t = 2,086$.

Аналогічно визначаємо довірчі інтервали коефіцієнтів b_i, b_{ie}, b_{ii} :

$$\begin{aligned} \Delta b_i &= \pm t_T \cdot S\{b_i\}; \\ \Delta b_{ie} &= \pm t_T \cdot S\{b_{ie}\}; \\ \Delta b_{ii} &= \pm t_T \cdot S\{b_{ii}\}. \end{aligned} \quad (10)$$

В результаті розрахунків були отримані наступні значення довірчих інтервалів:

$$\Delta b_0 = \pm 0.0039; \Delta b_i = \pm 0.0015; \Delta b_{ie} = \pm 0.0029; \Delta b_{ii} = \pm 0.0032.$$

Таблиця 4 - Параметри математичної моделі втрат насіння річчини при очошуванні на корені при роботі барабана з пружними робочими елементами.

№	Найменування параметрів моделі	Розрахункові значення
1	Коефіцієнти регресії	$b_0 = 1.9467; b_1 = 0.036; b_2 = 0.062; b_3 = 0.017;$ $b_4 = 0.1; b_5 = -0.136; b_{12} = 0.085; b_{13} = 0.02;$ $b_{14} = -0.148; b_{15} = 0.0375; b_{23} = -0.083; b_{24} = 0.09;$ $b_{25} = 0.095; b_{34} = -0.078; b_{35} = 0.0625; b_{45} = 0.0725;$ $b_{11} = 0.146; b_{22} = 0.125; b_{33} = 0.092; b_{44} = 0.209;$ $b_{55} = 0.100.$
2	Довірчі інтервали коефіцієнтів регресії	$\Delta b_0 = \pm 0.0039;$ $\Delta b_i = \pm 0.0015; \Delta b_{ie} = \pm 0.0029; \Delta b_{ii} = \pm 0.0032.$
3	Дисперсія відтворюваності	$S^2\{y\} = 0,02791$
4	Дисперсія адекватності	$S_{ад}^2 = 0.05782$
5	Розраховане значення критерію Фішера	$F_p = 2,072$
6	Табличне значення критерію Фішера	$F_T = 2,71$ модель адекватна

Численні значення коефіцієнтів регресії виявилися більше їх довірчих інтервалів, з цього слід висновок, що всі коефіцієнти регресії значимі.

Таким чином, рівняння регресії має вигляд:

$$y = 1,9467 + 0,036x_1 + 0,062x_2 + 0,017x_3 + 0,1x_4 - 0,136x_5 +$$

$$+ 0,085x_1x_2 + 0,02x_1x_3 - 0,148x_1x_4 + 0,0375x_1x_5 - 0,083x_2x_3 +$$

$$+ 0,09x_2x_4 + 0,095x_2x_5 - 0,078x_3x_4 + 0,0625x_3x_5 + 0,0725x_4x_5 +$$

$$+ 0,146x_1^2 + 0,125x_2^2 + 0,092x_3^2 + 0,209x_4^2 + 0,1x_5^2 \quad (11)$$

Адекватність отриманої моделі перевіряємо за F-критерієм. Для розрахунку дисперсії адекватності $S_{ад}^2$ знаходимо суму квадратів відхилень розрахованих значень \hat{y} від експериментальних у всіх точках плану [7]:

$$S_{ад}^2 = \frac{S_R - S_E}{N - k' - (n_0 - 1)}, \quad (12)$$

де k' - число значимих коефіцієнтів регресії.

Визначаємо розрахункове значення F - критерію:

$$F_P = \frac{S_{ад}^2}{S^2\{y\}}. \quad (13)$$

Таблиця 5 - Параметри математичної моделі фракційного складу очосаного вороху рицини при очосуванні на корені при роботі барабана з пружними робочими елементами.

№	Найменування параметрів моделі	Розрахункові значення
1	Коефіцієнти регресії	$b_0 = 74,49; b_1 = -2,155; b_2 = -3,965; b_3 = 0.6375;$ $b_4 = -2,9825; b_5 = 0,825; b_{12} = -2,76; b_{13} = -1,68;$ $b_{14} = 3,51; b_{15} = 0,54; b_{23} = -0,45; b_{24} = 2,7;$ $b_{25} = 2,39; b_{34} = 2,75; b_{35} = -2,21; b_{45} = -0.72$ $b_{11} = -7,06; b_{22} = -5,96; b_{33} = -5,07; b_{44} = -9,67;$ $b_{55} = -17,9967.$
2	Довірчі інтервали коефіцієнтів регресії	$\Delta b_0 = \pm 0.407; \quad \Delta b_{i\ell} = \pm 0.306;$ $\Delta b_i = \pm 0.153; \quad \Delta b_{ii} = \pm 0.331.$
3	Дисперсія відтворюваності	$S^2\{y\} = 2,9303$
4	Дисперсія адекватності	$S_{\text{аа}}^2 = 5,935$
5	Розраховане значення критерію Фішера	$F_P = 2,026$
6	Табличне значення критерію Фішера	$F_T = 2,64$ модель адекватна

Після підстановки численних значень у вирази (12) та (13) отримаємо: $S_{\text{аа}}^2 = 0.05782; F_P = 2,072.$

В нашому випадку $F_T = 2,71.$ Отже $F_T > F_P$ - модель адекватна при 5% рівні значимості. Результати розрахунків коефіцієнтів регресії та статистичний аналіз рівняння регресії приведені в таблиці 4.

Аналіз фракційного складу проводився по аналогічній методиці. В результаті була отримана математична модель складу очосаного вороху у вигляді рівняння регресії другого порядку

$$y = 74.49 - 2.155x_1 - 3.965x_2 + 0.6375x_3 - 2.9825x_4 + 0.825x_5 - \\ - 2.76x_1x_2 - 1.68x_1x_3 + 3.51x_1x_4 + 2.7x_2x_4 + 2.39x_2x_5 + 2.75x_3x_4 - (14) \\ - 2.21x_3x_5 - 7.06x_1^2 - 5.96x_2^2 - 5.07x_3^2 - 9.67x_4^2 - 17.9967x_5^2$$

Висновок. В результаті проведення польових випробувань на основі матриці планування експерименту були отримані експериментальні дані, обробка яких дозволила отримати рівняння регресії для втрат зерна рицини та фракційного складу очосаного вороху.

Проведений регресійний аналіз дозволив стверджувати, що в результаті отримані адекватні моделі, подальший аналіз яких дозволить визначити раціональні значення конструктивних параметрів і режимів роботи очосуючого модулю.

Література

1. Черепухин В.Д. Физико-механические свойства вороха клещевины в связи с механизацией его очистки / В.Д. Черепухин // Науч.-техн. бюл. ВНИИ масл. культур. - 1974. - №3. - С. 60-65.
2. Рой А.А. Исследование технологического процесса обмолота клещевины / Рой Александр Андреевич: автореф. дис...д.техн. наук. - Волгоград, 1969. - 57 с.
3. Квач В.Г. Двухфазная уборка клещевины / В.Г.Квач, В.Д. Черепухин, В.В. Сайченко // Техника в сельском хозяйстве. - 1979. - №10. - С.16-18.
4. Головін С.В. Розробка конструкції машини для збирання рицини методом очісування на корені / С.В.Головін. - Праці ТДАТУ. - Мелітополь, 2009. - Вип.9., т. 5. - С.208-213.
5. Результати польових досліджень машини для збирання рицини методом очісування на корені / В.А.Дідур, О.М.Леженкін, С.В.Головін. - Праці ТДАТУ. - Мелітополь, 2010. - Вип.9., т. 6.
6. Пат.37775 Україна МКІ⁷ А01D41/08 А01D45/30 Пристрій для збирання рицини / В.А.Дідур, В.Т.Надикто, О.М.Леженкін, С.В.Головін, ТДАТУ // Промислова власність. - 2008. - Бюл.№23.
7. Маркова Е.В., Лисенков А.Н. Планирование эксперимента в условиях неоднородностей / Е.В.Маркова, А.Н.Лисенков. - М.- 1973. - 220 с.
8. Three Level for the Study of Quantitative Variables. / G.E.P.Box, D.W.BehnKen // Home New. - Technometrics, 1960, V.2, №4.
9. Налимов В.В., Чернова Н.А. Статистические методы планирования экспериментальных экспериментов / В.В.Налимов, Н.А.Чернова. - М.: Наука, 1965. - 340 с.
10. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П.Адлер, Е.В.Маркова, Ю.В.Грановский. - 2-е изд., пере раб. и доп. - М.: Наука, 1976. - 279 с.

11. *Спиридонов А.А.* Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А.А.Спиридонов. – М.: Машиностроение, 1981. – 60 с.

12. Планирование эксперимента в технике / В.И.Барабашук, Б.П. Креденцер, В.И. Мирошниченко; Под ред. Б.П. Креденцер. – К.- 1984. – 200 с.

13. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В.Мельников, В.Р.Алешкин, П.М.Роцин. – Л.: Колос, 1980. – 165 с.

МОДЕЛИ РЕГРЕССИИ ОЧЕСУЮЧЕГО МОДУЛЯ ДЛЯ УБОРКИ КЛЕЩЕВИНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ

С.В. Головин

Аннотация - работа посвящена построению математической модели в виде уравнения регрессии и статистическому анализу полученной модели.

MODELS OF REGRESS SCRATCH TO THE MODULE FOR CLEANING OF THE CASTOR-BEAN TREE WITH USE OF ELASTIC ELEMENTS

S. Golovin

Summary

Work is devoted construction of mathematical model in the form of the equation of regress and to the statistical analysis of the received model.