

УДК 631.332

В.М. Булгаков , академік НААНУ, д-р техн. наук, **А.М. Борис** , інж.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

В.І. Василюк , канд. техн. наук

Відокремлений підрозділ “Ніжинський агротехнічний інститут” Національного університету біоресурсів і природокористування

М.В. Усенко , канд. техн. наук

Луцький національний технічний університет

Експериментальне дослідження руху мотоблока з садильною машиною на схилах

Обґрунтовано застосування розсадосадильної машини з механізмом поперечного переміщення садильних секцій. На основі багатофакторного експерименту визначено оптимальні значення факторів, при яких відхилення агрегату від заданого напрямку руху є мінімальним.

розсадосадильна машина, курсова стійкість, крутизна схилів

Постановка проблеми. Однією з основних операцій з вирощування розсадних культур є їх садіння, якісне механізоване виконання якої вирішено в рівнинних умовах з застосуванням великогабаритної техніки. Механізація даної операції викликає певні труднощі в умовах схилів (до 12°), оскільки спостерігаються процеси порушення курсової стійкості агрегатів. Отже розробка агрегату для садіння розсади в умовах схилів є актуальною і важливою задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розсадосадильні машини СКН-6А, СРНМ-4 [5] призначені для роботи на рівнини. Застосування їх схилах призводить до відхилення від заданого напрямку руху і, відповідно, до неякісного виконання операції садіння розсади.

Найбільш перспективним є використання малогабаритної розсадосадильної машини з садильним апаратом дискового типу, яка агрегується з мотоблоком. Переваги даного агрегату, який обладнаний розробленим нами механізмом для пересування садильних секцій, описані в працях [2, 3, 4].

Постановка завдання. Визначення оптимальних значень факторів, при яких відхилення мотоблока з садильною машиною від заданого напрямку руху є мінімальним.

Виклад основного матеріалу дослідження. При плануванні і проведенні багатофакторного експерименту користувались рекомендаціями Ю.П. Адлера [1].

Прийняли вихідним параметром відхилення (см) від заданого напрямку руху (нульової лінії) агрегату на поперечному схилі крутизною 12° (максимально для умов роботи даного агрегату), а вхідними факторами – вологість ґрунту (W , %) швидкість руху агрегату (V , м/с), глибину ходу сошника (h , см). Метою даних досліджень є визначення оптимальних значень вказаних факторів (в сфері збереження заданого напрямку руху агрегату на поперечному схилі і, відповідно, зберігання прямолінійності рядків рослин чи прямолінійного руху в міжрядді культур) при роботі на схилі крутизною до 12°.

Таким чином, маємо три кількісних фактори. Проведення повнофакторного експерименту при трьох факторах з трьома рівнями дослідження вимагає проведення 27 дослідів. Планування з застосуванням симетричних некомпозитивних планів Бокса-Бенкена дозволило зменшити кількість дослідів до 15.

Планування експериментального дослідження включало такі етапи:

- кодування факторів;
- складання таблиці факторів і рівнів варіювання;
- складання матриці планування;
- реалізація плану експерименту згідно з матрицею планування;
- складання рівняння регресії для визначення коефіцієнтів;
- оцінка значущості коефіцієнтів регресії;
- перевірка адекватності отриманої математичної моделі.

Спочатку закодували фактори для переведення натуральних значень у безрозмірні величини з метою побудови плану-матриці експерименту.

Таблиця 1 – Результати кодування факторів

Фактор	Натуральне позначення	Кодове позначення	Інтервал варіювання	Рівні варіювання					
				Натуральні			Кодові		
				Верхній	Нижній	Нульовий	Верхній	Нижній	Нульовий
Вологість ґрунту W , %	X1	x1	4	26	18	22	+1	-1	0
Швидкість руху агрегата V , м/с	X2	x2	0,05	0,35	0,25	0,30	+1	-1	0
Глибина ходу сошника h , см	X3	x3	2	10	6	8	+1	-1	0

Зв'язок між кодovими і натуральними значеннями факторів встановлюється залежністю:

$$x_i = \frac{X_i - X_{i0}}{\Delta X_i}, \quad (1)$$

де x_i , X_i - відповідно кодове та натуральне значення i -го фактора;

X_{i0} - натуральне значення i -го фактора на нульовому рівні;

ΔX_i - інтервал варіювання i -го фактора.

Нульовим вважається рівень, що займає центр інтервалу (середнє значення фактора). Результати кодування факторів наведені в таблиці 1.

Таким чином, програмою експериментальних досліджень передбачається вивчення даного питання у відповідності з планом в натуральних величинах факторів.

Для дослідження роботи експериментальної садильної машини на схилах до 12° (максимальний в даних дослідженнях і, відповідно, являє собою найбільший інтерес) застосували планування багатфакторного експерименту.

На основі таблиці 1 склали таблицю 2, в якій наведена план-матриця дослідів, значення вихідного параметру (відхилення від нульової лінії).

Таблиця 2 - План-матриця дослідів

№ дослідів	Значення кодованих факторів			Вихідний параметр y , %/год.			Середнє арифметичне значення вихідного параметра, \bar{y}_u
	x_1	x_2	x_3	y_{u_1}	y_{u_2}	y_{u_3}	
1	1	1	0	4	4	4.5	4.167
2	-1	1	0	4	4.5	4	4.167
3	1	-1	0	7	6.5	6.5	6.667
4	-1	-1	0	5.5	5	5.5	5.333
5	1	0	1	8	7.5	7	7.5
6	-1	0	1	7	7	7.5	7.167
7	1	0	-1	4	3.5	4	3.833
8	-1	0	-1	3	3	3.5	3.167
9	0	1	1	7.5	7.5	7	7.333
10	0	-1	1	8	8.5	8.5	8.333
11	0	1	-1	3	3.5	3	3.167
12	0	-1	-1	4	4.5	4.5	4.333
13	0	0	0	3	3.5	3	3.167
14	0	0	0	3	3	3	3
15	0	0	0	3.5	2.5	3	3

Відхилення $\Delta\bar{y}$ рахували від нульової лінії, яка була намічена безпосередньо перед початком руху (роботи) садильної машини на відстані 5 см від крайньої точки даної машини в нижню сторону схилу. Відстань 5 см була прийнята у відповідності з попередніми експериментами, згідно з якими це максимальна величина відхилення в найгірших умовах роботи садильного агрегату вниз по схилу.

Перевірка відтворюваності дослідів при однаковому числі повторюваностей для кожної точки плану проводиться за критерієм Кохрена, табличне значення якого позначимо $G_{\text{табл}}(0,05; n; f_u)$, де 0,05 означає 5 %-й рівень значущості (дорівнює $1-\alpha$, де α – довірча ймовірність); n – число незалежних оцінок дисперсії (число дослідів); $f_u = m_0 - 1$ – число ступенів вільності кожної оцінки, тут m_0 – число повторюваностей.

Процес відтворюваний за умови:

$$G \leq G_{\text{табл.}}(0,05; n; f_u), \quad (2)$$

де

$$G = \frac{S_{u\max}^2}{\sum_{u=1}^n S_u^2}$$

Нелінійний характер очікування функцій відгуку в області факторного простору поданий у вигляді рівняння регресії:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2. \quad (3)$$

Коефіцієнти регресії після реалізації плану експерименту визначено за такими формулами:

$$b_0 = 0,33333 \sum_{j=1}^n y_j - 0,16667 \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n x_{ij}^2 y_j ; \quad (4)$$

$$b_i = 0,08333 \sum_{j=1}^n x_{ij} y_j ; \quad (5)$$

$$b_{ii} = 0,125 \sum_{j=1}^n x_{ij}^2 y_j + 0,0625 \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n x_{ij}^2 y_j - 0,16667 \sum_{j=1}^n y_j ; \quad (6)$$

$$b_{ir} = 0,25 \sum_{j=1}^n x_{ij} x_{rj} y_j ; \quad (7)$$

де j – номер дослідів в матриці планування;
 n – кількість дослідів в матриці планування;
 y_j – значення функції відгуку в j -му досліді;
 k – кількість факторів;
 x_{ij}, x_{rj} – кодовані значення i -го чи r -го фактору в j -му досліді;
 i, r – номери факторів.

Дисперсії коефіцієнтів регресії та їх коваріації визначено за формулами:

$$S_{b_0}^2 = 0,33333 S_y^2 ; \quad (8)$$

$$S_{b_i}^2 = 0,08333 S_y^2 ; \quad (9)$$

$$S_{b_{ii}}^2 = 0,1875 S_y^2 ; \quad (10)$$

$$S_{b_{ir}}^2 = 0,25 S_y^2 ; \quad (11)$$

$$\text{cov}_{b_0 b_{ii}} = -0,16667 S_y^2 ; \quad (12)$$

$$\text{cov}_{b_{ii} b_{rr}} = 0,0625 S_y^2 . \quad (13)$$

Значимість коефіцієнтів регресії перевіряли шляхом порівнювання абсолютної величини цих коефіцієнтів з їх довірчими інтервалами. Довірчі інтервали розраховували згідно з формулами:

$$\Delta b_0 = t_{0,05;f_1} S_{b_0} ; \quad (14)$$

$$\Delta b_i = t_{0,05;f_1} S_{b_i} ; \quad (15)$$

$$\Delta b_{ir} = t_{0,05;f_1} S_{b_{ir}} ; \quad (16)$$

$$\Delta b_{ii} = t_{0,05;f_1} S_{b_{ii}} , \quad (17)$$

де $t_{0,05;f_1}$ – табличне значення критерію Ст'юдента при 5%-му рівні значущості та $f_1 = n_0 - 1$ – числа ступенів вільності дисперсії відтворюваності (n_0 – кількість дослідів у центрі плану).

Коефіцієнт регресії вважали статистично значущим, коли його абсолютна величина більша довірчого інтервалу або рівна йому. Незначущі коефіцієнти видаляли із моделі.

Перевірку адекватності рівняння проводили за допомогою F_f – критерію Фішера. Адекватність отриманої моделі матиме місце, якщо розрахункове значення критерію $F_{f_2; f_1}^{розр.}$ менше табличного для прийнятого рівня значимості:

$$F_{f_2;f_1}^{\text{розн.}} \leq F_{0,05;f_2;f_1}^{\text{табл.}}, \quad (18)$$

де $F_{0,005;f_2;f_1}^{\text{розн.}}$ – табличне значення критерію Фішера при 5%-му рівні значущості і ступенях вільності дисперсії неадекватності f_2 та дисперсії відтворюваності f_1 .

$f_2 = n - k'$ – число ступенів вільності дисперсії неадекватності з урахуванням числа k' залишених коефіцієнтів регресії (у тому числі і b_0).

Розрахункове значення критерію Фішера становить:

$$F_{f_2;f_1}^{\text{розн.}} = \frac{S_{\text{неад.}}^2}{S_y^2}, \quad (19)$$

де $S_{\text{неад.}}^2$ – дисперсія неадекватності, яка визначена з f_2 - числом ступенів вільності;

S_y^2 – дисперсія відтворюваності експерименту, яка визначена з f_1 - числом ступенів вільності.

Згідно з матрицею планування експерименту, кількість дослідів на нульовому рівні рівна трьом. Це дозволило використати для визначення дисперсії відтворюваності експерименту таку формулу:

$$S_y^2 = \frac{\sum_{u=1}^{n_0} (y_{0u} - \bar{y}_0)^2}{f_1}, \quad (20)$$

де u – номер дослідів в центрі плану;

y_{0u} – значення функції відгуку в u -му досліді в центрі плану;

\bar{y}_0 – середнє арифметичне значення функції відгуку отримане за результатами n_0 дослідів у центрі плану;

Дисперсію неадекватності визначали, користуючись наступною формулою:

$$S_{\text{неад.}}^2 = \frac{SS_{\text{неад.}}}{f_2}. \quad (21)$$

При розрахунку дисперсії $S_{\text{неад.}}^2$ враховували ту обставину, що при проведенні експериментів з усіх дослідів плану повторювався тільки один (дослід в центрі плану). Тому, сума квадратів $SS_{\text{неад.}}$ дорівнює:

$$SS_{\text{неад.}} = n_0 (y'_0 - \bar{y}_0)^2 + \sum_{j=1}^{n-n_0} (y'_j - y_j)^2, \quad (22)$$

де y'_0 – значення функції відгуку в досліді із центру плану, що розраховане за рівнянням регресії;

y'_j – значення функції відгуку в j -му досліді, що розраховане за рівнянням регресії;

y_j – значення функції відгуку в j -му досліді, що визначене експериментально.

Обробка даних здійснювалася на ПЕОМ за допомогою розробленої у середовищі програми Mathcad 15 даних результатів трифакторного експерименту, згідно з трирівневим планом другого порядку Бокса-Бенкена, дозволила отримати рівняння регресії, що описує відхилення від заданого напрямку руху (нульової лінії) агрегату на поперечному схилі залежно від вологості ґрунту (W , %), швидкості руху агрегату (V , м/с) і глибини ходу сошника (h , см).

Перевірка відтворюваності дослідів за критерієм Кохрена:

$$G = 0,167 \leq G_{табл}(0,05; n; f_u) = 0,335.$$

Оскільки розглядуваний процес відтворюваний, то вираховуємо коефіцієнти рівняння регресії.

Оцінка значущості коефіцієнтів регресії проводилась за допомогою критерію Стьюдента, в програмі Mathcad 15. Критерій Стьюдента при 5%-му рівні значущості та числі ступенів вільності дисперсії відтворюваності $f_1 = 2$ складає $t(0,05; 2) = 4,3$.

Довірчі інтервали коефіцієнтів регресії становлять:

$$\Delta b_0 = 0,239, \Delta b_j = 0,146, \Delta b_{jr} = 0,207, \Delta b_{jj} = 0,215. \quad (23)$$

В результаті розрахунку на ЕОМ одержано рівняння виду:

$$y = 3,056 + 0,292x_1 - 0,729x_2 + 1,979x_3 - 0,333x_1x_2 + 0,826x_1^2 + 1,201x_2^2 + 1,535x_3^2, \quad (24)$$

де x_1 – кодоване значення вологості ґрунту; x_2 – кодоване значення швидкості руху агрегату; x_3 – кодоване значення глибини ходу сошника.

Перевірку адекватності отриманого рівняння регресії (24) проводили за допомогою критерію Фішера F_p .

Розрахункове значення F_p – критерію Фішера становило: $F_p = 7,141$ при дисперсії неадекватності $S_{неад}^2 = 0,054$ і дисперсії відтворюваності $S_y^2 = 0,0092$.

Табличне значення критерію Фішера при прийнятому 5%-му рівні значущості складало:

$$F_m(0,05; f_2; f_1) = 19,4, \quad (25)$$

де f_2 – число ступенів вільності дисперсії неадекватності ($f_2 = 7$); f_1 – число ступенів вільності дисперсії відтворюваності ($f_1 = 2$).

Оскільки $F_p = 5,85 \leq F_{табл}(0,05; f_2; f_1) = 19,4$, то отримана модель адекватна.

Остаточне рівняння із факторами в натуральному виді набуде вигляду:

$$y(W, V, h) = 79,713 - 1,6996W - 266,25V - 5,149h - 1,667W \cdot V + 0,052W^2 + 480,55V^2 + 0,383h^2. \quad (26)$$

За отриманим рівнянням регресії (26) було побудовано поверхню відгуку (рис.1), яка показує залежність відхилення агрегату $\Delta \bar{y}$ від швидкості руху V і глибини занурення h сошника при сталій вологості ґрунту W .

Аналіз отриманої моделі і дослідні дані показали, що вплив фактору x_1 (вологість ґрунту W) на значення виходу малий і тому його можна стабілізувати на нульовому рівні, який є найбільш розповсюдженим при проведенні експериментів, тобто $W \approx 22\%$. Найбільш прийнятне з експлуатаційної точки зору глибина ходу сошника $h \approx 9$ см.

Слід зазначити, що найкраще значення функції відгуку рівне 5 см, що відповідає практично паралельному руху агрегату відносно нульової лінії. Отже оптимальні значення факторів: $W \approx 22\%$, $h \approx 9$ см, $V \approx 0,3$ м/с, при яких відхилення $\Delta \bar{y}$ агрегату від заданого напрямку руху становить 5 см, що і показує наочно поверхня відгуку на рисунку 1

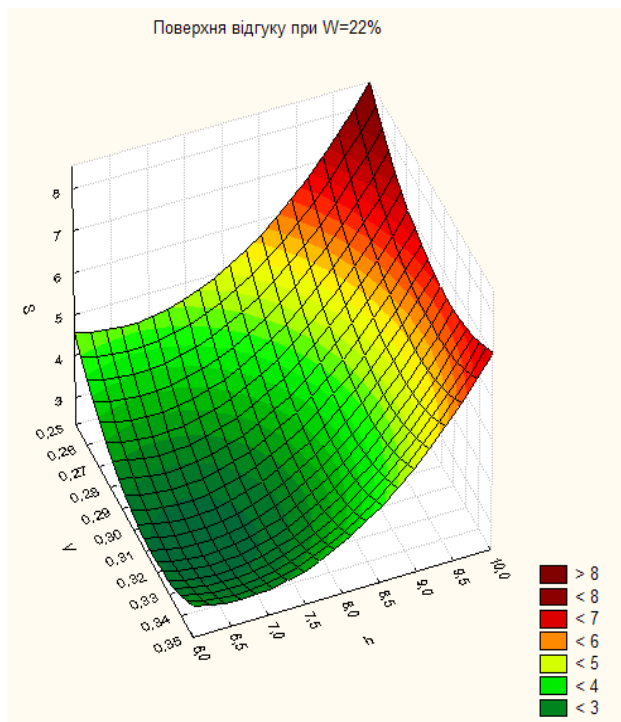


Рисунок 1 – Поверхня відгуку математичної моделі для садильного агрегату

Висновок. Експериментальні дослідження підтверджують, що основні параметри садильної машини забезпечують курсову стійкість експериментального агрегату при роботі на схилах крутістю до 12°.

Список літератури

1. Адлер Ю.П. Теория эксперимента: прошлое, настоящее, будущее / Ю.П. Адлер. – М.: Знание, 1962. – 64 с.
2. Войтович В.В. Визначення сил і зміщень розсадосадильного агрегату при роботі на поперечних схилах / В.В. Войтович, М.В. Усенко // Наук. вісн. Нац. аграр. ун-ту: зб. наук. пр. – 2005. – № 92/2 – С. 41-46.
3. Войтович В.В. Визначення сил, що діють на сошник садильної машини з пересувними секціями / В.В. Войтович, М.В. Усенко // Зб. наук. праць ВДАУ. – 2005. – Вип. 23 - С. 156-162.
4. Пат. 77774 Україна, МКВ А01С 11/02, А01В 15/00. Розсадосадильна машина / Усенко М.В., Войтович В.В., Божидарник В.В.; Луцький державний технічний університет. – № 20041008388; заявл. 15.10.2004; опубл. 15.01.2007, Бюл. № 1.
5. Чубарин М.И. Рассадопосадочные машины / М.И. Чубарин. –М.: Машиностроение, 1972. –209 с.

В.Булгаков, А.Борис, В.Василюк, М.Усенко

Экспериментальное исследование движения мотоблока с посадочной машиной на склонах

Обосновано применение рассадопосадочной машины с механизмом поперечного перемещения посадочных секций. На основе многофакторного эксперимента определены оптимальные значения факторов, при которых отклонения агрегата от заданного направления движения минимальны.

V.Bulgakov, A.Boris, V.Vasiljuk, M, Usenko

Research of process of the deflection of movement direction on slopes of the motor-block with seedlings planting machine

The employment of seedlings planting machine with the mechanism of transverse displacement of planting sections is substantiated. On the basis of multiple-factor experiment optimum values of factors by which the deflections of the unit of the set direction of movement are minimum are defined.

Одержано 12.10.12