

УДК 631.354.25/43

Пустовіт С. В.¹

канд. техн. наук, старший викладач

¹Ладизинський коледж Вінницького національного аграрного університету
Ладизин, Україна**E-mail** : pustovits1976@ukr.net**Котков В. І.²**

канд. техн. наук, доцент

²Житомирський національний агроекологічний університет
Житомир, Україна**E-mail** : kotkov_mmests@ukr.net

ОБҐРУНТУВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ РЕШЕТА ДООБМОЛОЧУВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ

Анотація

Ключовим завданням агропромислового комплексу країни є стійке нарощування виробництва зерна, яке потрібне для формування посівних фондів, забезпечення продуктами харчування населення і тваринництва фуражем, яке досягається завдяки покращенню процесу сепарації зерна на зернозбиральних комбайнах.

Відповідно метою дослідження було проведення обґрунтування режимів роботи решета дообмолочувального пристрою, що впливає на процес виділення зерна з колосового вороху.

На основі проведеного порівняльного аналізу стану механізації збирання зернових культур показав, що найближчим часом домінуючими залишаться комбайнові способи збирання зернових культур. Тому нами досліджено основні режимні параметри очищення, які спрямовані на подальше підвищення пропускної спроможності комбайнів.

За результатами досліджень отримані математичні моделі, які дозволять оцінити ступінь самостійного і спільного впливу основних параметрів процесу розділення колосового вороху на вихідні параметри – повноту виділення із колосового вороху вільного зерна і проходу крізь решето зерна з необмолоченими колосками. Відповідно вирішувалась компромісна задача, у якій необхідно було знайти значення факторів, котрі забезпечують максимальну повноту виділення з колосового вороху вільного зерна за мінімального проходу крізь решето зерна з необмолоченими колосками. Наведений метод планування багатфакторних експериментів для обґрунтування режимів роботи решета дообмолочувального пристрою та подані суттєві вимоги при виборі факторів для проведення досліджень даних процесів.

Побудовані перетини поверхонь відгуку, які характеризують показники повноти виділення з колосового вороху вільного зерна та проходу крізь решето зерна з необмолоченими частинками колосків залежно від відкриття жалюзі решета та частоти його коливань.

Ключові слова: колосовий ворох; математична модель; перетини поверхонь відгуку; аналіз розмірностей; метод планування; роздільне решето; режим роботи; зерно; повнота виділення.

Вступ. Основним завданням агропромислового комплексу країни є стійке нарощування виробництва зерна, яке потрібне для формування посівних фондів, забезпечення продуктами харчування населення і тваринництва фуражем. Отримання високих врожаїв залежить насамперед від кондиційного високоякісного насіння.

Аналіз стану механізації збирання зернових культур показав, що найближчим часом домінуючими залишаться комбайнові способи збирання зернових культур. Тому наукові дослідження і конструкторські розробки спрямовані на подальше підвищення пропускної спроможності комбайнів, яка значною мірою залежить від конструктивних і режимних параметрів очистки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На даний час є велика кількість наукових праць, пов'язаних з дослідженням очистки зерна під час збирання.

У формуванні теорії та проведенні досліджень, з метою покращення сепарації зерна на повітряно - решітній очистці, значний внесок зробили: В. П. Мартіросова, А.Н. Пугачова.

Дослідженнями В. П. Мартіросова, А. Н. Пугачова встановлено, що маса циркулюючого вороху знаходиться в межах 7-15% від хлібної маси, що поступає в молотарку комбайна. Вміст вільно обмолоченого зерна в вороху циркулюючого навантаження досягає 50%, а при збиранні на горбистих полях з похилістю схилу вище 8° в камеру колосового шнека поступає від 40 до 90% усього обмолоченого зерна.

В дослідженнях Воцого З. І. зауважується, що навіть за правильного налаштування очистки в камеру колосового шнека потрапляє до 10 % обмолоченого зерна, а наявність циркулюючого навантаження в його молотарці призводить до збільшення втрат від 20 до 50 % і до підвищення його дроблення з 30 до 50 %.

Якість роботи очистки залежить від співвідношення зерна й соломистих домішок у воросі. Зокрема, у роботі В. Ф. Федорова зазначено, що збільшення соломистих домішок у воросі на 20 – 50 % збільшує вихід зерна в колосовий шнек з 0,75 до 2,34 %.

Мета. Метою є дослідження процесу сепарації дрібного вороху на дообмолочувальному пристрої і виділення з колосового вороху вільного зерна із використанням математичного та фізичного моделювання.

Методологія дослідження. У процесі досліджень використовувався метод планування багатofакторних експериментів технологічного процесу сепарації дрібного вороху на дообмолочувальному пристрої.

Результати. На основі проведеного порівняльного аналізу стану механізації збирання зернових культур показав, що найближчим часом домінуючими залишаться комбайнові способи збирання зернових культур. Тому нами досліджено основні режимні параметри очищення, які спрямовані на подальше підвищення пропускної спроможності комбайнів.

Відповідно було проведено обґрунтування раціональних режимів роботи решета дообмолочувального пристрою, що здійснювалися з використанням методу планування багатofакторних експериментів.

Досліди проводилися на штучно створеному колосовому вороху озимої пшениці "Поліська 90", який включав 30 % обмолоченого зерна, 10 % необмолочених уламків і цілих колосків, 60 % полови.

При виборі факторів для дослідження процесу, виходили із наступних вимог [1]:

- фактори не повинні залежати один від одного;
- не повинно виникати протиріч між факторами під час проведення досліджень;
- фактори мають характеризуватися точністю виміру та стабільністю на певному

рівні.

На процес виділення зерна з колосового вороху впливають такі фактори:

- величина відкриття жалюзів роздільного решета H , мм;
- кут нахилу решета α_3 , град;
- кут напрямку коливань решета β_3 , град;
- амплітуда коливань решета A , мм;
- частота коливань решета ϑ , хв^{-1} ;
- подавання колосового вороху на решето g , кг/с.

Для оптимізації процесу було вибрано дві оцінки якості роботи решета дообмолочувального пристрою – повнота виділення з колосового вороху вільного зерна C та прохід крізь решето зерна з необмолоченими частинками колосків C_1 .

Повнота виділення із колосового вороху вільного зерна та прохід крізь решето зерна з необмолоченими частинками колосків визначали за формулами:

$$C = 100 \frac{m_1}{m}, \quad (1)$$

$$C_1 = 100 \frac{m_2}{m_1 + m_2}, \quad (2)$$

де m_1 – маса виділеного вільного зерна, кг;

m_2 – маса зерна, яке проходить крізь решето з необмолоченими колосками, кг;

m – маса вільного зерна, поданого на решето для розділення, кг;

C – повнота виділення з колосового вороху вільного зерна, %;

C_1 – прохід крізь решето зерна з необмолоченими частинками колосків, %.

При виборі рівнів варіювання зазначених факторів виходили з наступного. Проведеними дослідженням, з очистки зерна озимої пшениці, які викладені в [4] було встановлено, що оптимальне значення кута нахилу решета α_3 та кута напрямку коливань решета β_3 становить 6 град, а тому було вирішено кут напрямку коливань решета β_3 зафіксувати на рівні 6 град, а цей фактор виключити з плану проведення експериментів. За нульовий рівень фактора кута нахилу решета β_3 було прийнято рівень 6 град з інтервалом варіювання 2 град.

Значний вплив на якість розділення зернових сумішей чинить частота коливань решета ϑ . Згідно даних [4] межі варіювання цього фактору прийнято такими $\vartheta = 200 \dots 500 \text{ хв}^{-1}$. Амплітуда коливань решета була зафіксована на рівні 7,5 мм.

Подавання вороху змінювалася в межах 0,1...0,4 кг/с, а відкриття жалюзів решета – 8...16 мм.

Таким чином, на основі вищезазначеного було відібрано наступні фактори, які суттєво впливають на повноту виділення з колосового вороху вільного зерна C і проходу крізь решето зерна з необмолоченими колоскам C_1 :

- величина відкриття жалюзів решета $X_1 (H)$, мм;
- частота коливань решета $X_2 (\vartheta)$, хв^{-1} ;
- подавання колосового вороху $X_3 (q)$, кг/с;
- кут нахилу решета $X_4 (\alpha_3)$, град.

З вищевикладеного випливає, що вибрані фактори не мають взаємозв'язку; сумісні під час проведенні експериментальних досліджень; їх можна достатньо точно вимірювати і підтримувати на заданому рівні у процесі виконання повторень дослідів.

Для можливості використання стандартних матриць планування експерименту відібрано фактори й межі їх варіювання було подано в кодованому виді. Кодування значень факторів проводили за залежністю [1]:

$$X_j = \frac{X_i - X_{i0}}{\Delta X_i}, \quad (3)$$

де X_j – кодоване значення i -го фактора (1; 0;-1);

X_i – натуральне значення i -го фактора;

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

ΔX_i – інтервал варіювання i -го фактора.

Згідно з планом проведення експериментів установлювали визначені значення факторів. Підготовлений колосовий ворох ретельно перемішували і завантажували на лабораторну установку. Одночасно вмикали привод решета й подавального транспортера. Після п'яти секунд роботи під решето й вихідний транспортер підставляли пробовідбірники. Відбір проб здійснювали протягом 10 с. Потім пробовідбірники

забирали, їх уміст зважували та розбирали для визначення вмісту вільного зерна, що просіялось через решето й зійшло з нього. Крім того, із суміші, котра пройшла через решето відбирали необмолочені частинки колосків і виділяли з них зерно, яке зважували з точністю до 0,02 г.

Під час плануванні досліджень визначали послідовність проведення дослідів таким чином, щоб не було ніякої очевидної моделі чи системи. Для цього використали таблицю випадкових чисел [1].

Умови, необхідні для проведення експерименту, наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Вихідні дані для планування експерименту

Умови дослідів	Позначення	Фактори			
		$X_1 (H)$, мм	$X_2 (\vartheta)$, хв ⁻¹	$X_3 (q)$, кг/с	$X_4 (\alpha_3)$, град
Нульовий рівень	X_{i0}	12	350	0,25	6
Інтервал варіювання	ΔX_i	4	150	0,15	2
Верхній рівень $X_{iв} = +1$	$X_{iв}$	16	500	0,40	8
Нижній рівень $X_{iн} = -1$	$X_{iн}$	8	200	0,10	4

Перед відшуканням рівнянь регресії проводилась перевірка виконання основних передумов регресійного аналізу. Здійснювали це відповідно до вимог [1; 2]. Однорідність дисперсій перевірялася за критерієм Кохрена.

Визначене значення дисперсії порівнювалося з табличним. Якщо $\sigma_p < \sigma_{табл}$, то дисперсії однорідні.

Статистичну значимість коефіцієнтів рівняння регресії проводили за критерієм Стьюдента.

За математичну модель повноти виділення із колосового вороху вільного зерна C та прохід крізь решето зерна з необмолоченими колосками C_1 були обрані поліноми другого порядку [2]:

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

де b_0 – загальний ефект експерименту;

b_{ij} – ефект взаємодій;

b_{ii} – ефект при квадратичних членах;

x_i, x_j – значення кодованих факторів.

Перевірка адекватності математичної моделі експериментальними даними проводилася за допомогою F – критерію Фішера [2].

Установлення оптимальних режимів роботи решета здійснювали шляхом побудови двомірних перетинів поверхонь відгуку.

Після реалізації плану багатофакторних експериментів, розрахунків коефіцієнтів рівнянь регресії та статистичного аналізу отримано такі рівняння:

$$C = 79,94 + 16,63X_1 + 3,62X_2 - 1,81X_3 + 5,63X_4 - 7,38X_1X_4 - 1,04X_2X_4 - 10,99X_1^2 - 5,49X_2^2 - 0,89X_3^2 - 9,54X_4^2; \quad (5)$$

– для проходу крізь решето зерна з частинками необмолочених колосків C_1 :

$$C_1 = 1,95 + 2,83X_1 + 1,37X_2 + 0,22X_3 + 0,48X_4 - 0,36X_1X_2 + 2,89X_1^2 + 0,64X_2^2 + 0,44X_3^2 + 0,54X_4^2. \quad (6)$$

Перевірка адекватності одержаних рівнянь регресії експериментальним даним дала наступні результати, зокрема: для повноти виділення з колосового вороху вільного

зерна C розрахункове значення критерію Фішера $F_p = 10,24$.

Розрахункове значення критерію Фішера для проходу крізь решето зерна з необмолоченими колосками $C_1 - F_p = 0,38$.

Отже, перевірка засвідчила, що гіпотезу про адекватність описування нами одержаних експериментальних даних можна вважати достовірною.

Отриманні математичні моделі (5) та (6) дозволяють оцінити ступінь самостійного і спільного впливу основних параметрів процесу розділення колосового вороху на вихідні параметри – повноту виділення із колосового вороху вільного зерна C і проходу крізь решето зерна з необмолоченими колосками C_1 .

У рівняннях (5) та (6) змінні подано в закодованій формі. Для одержання рівняння регресії в натуральному масштабі можна використати наступні співвідношення:

$$X_1 = (H - 12)/4; \quad (7)$$

$$X_2 = (\vartheta - 350)/150; \quad (8)$$

$$X_3 = (q - 0,25)/0,15; \quad (9)$$

$$X_4 = (\alpha_3 - 6)/2. \quad (10)$$

Для дослідження рівнянь (5) та (6) на екстремум визначимо їх стаціонарні точки поверхні відгуку із системи рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dC}{dX_1} &= 16,631 - 7,38X_4 - 21,98X_1 = 0; \\ \frac{dC}{dX_2} &= 3,62 - 1,04X_4 - 10,98X_2 = 0; \\ \frac{dC}{dX_3} &= -1,81 - 1,78X_3 = 0; \\ \frac{dC}{dX_4} &= 5,63 - 7,38X_1 - 1,04X_2 - 19,08X_4 = 0. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

$$\left. \begin{aligned} \frac{dC_1}{dX_1} &= 2,83 - 0,36X_2 + 5,78X_1 = 0; \\ \frac{dC_1}{dX_2} &= 1,37 - 0,36X_1 + 1,26X_2 = 0; \\ \frac{dC_1}{dX_3} &= 0,22 + 0,88X_3 = 0; \\ \frac{dC_1}{dX_4} &= 0,48 + 1,08X_4 = 0. \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Розв'язавши системи рівнянь (11) та (12), отримали наступні значення факторів у закодованому вигляді, за яких математичні моделі (5) та (6) мають екстремальні значення:

для повноти виділення з колосового вороху вільного зерна:

$$X_{s_1} = 0,76; X_{s_2} = 0,33; X_{s_3} = -1,01; X_{s_4} = -0,01,$$

для проходу крізь решето зерна з необмолоченими колосками:

$$X_{s'_1} = -0,56; X_{s'_2} = -1,20; X_{s'_3} = -0,25; X_{s'_4} = -0,44.$$

Підставивши отриманні значення факторів в (5) та (6), виявили, що максимальна повнота виділення з колосового вороху вільного зерна становить 77,7 % під час проходу крізь решето зерна з необмолоченими колосками – 0,18 %.

Установлення оптимальних режимів роботи решета здійснювали шляхом

побудови двомірних перетинів поверхонь відгуку. Водночас вирішувалася компромісна задача, у якій необхідно було знайти значення факторів, котрі забезпечують максимальну повноту виділення з колосового вороху вільного зерна за мінімального проходу крізь решето зерна з необмолоченими колосками.

Підставивши значення факторів $X_{s3} = -1,01$ і $X_{s4} = -0,01$ в (4.1) та $X_{s'3} = -0,25$ і $X_{s'4} = -0,44$ в (5) та (6), одержимо:

$$C = 80,08 + 16,7X_1 + 3,63X_2 - 10,99X_1^2 - 5,49X_2^2; \quad (13)$$

$$C_1 = 1,94 + 2,83X_1 + 1,37X_2 - 0,36X_1X_2 + 2,89X_1^2 + 0,64X_2^2. \quad (14)$$

Координати центрів поверхонь визначимо шляхом диференціювання рівнянь (13) та (14) і рішення систем рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{dC}{dX_1} = 2,83 - 0,36X_2 + 5,78X_1 = 0; \\ \frac{dC}{dX_2} = 1,37 - 0,36X_1 + 1,28X_2 = 0. \end{cases} \quad \begin{cases} \frac{dC}{dX_1} = 16,7 - 21,98X_1 = 0; \\ \frac{dC}{dX_2} = 3,63 - 10,98X_2 = 0. \end{cases}$$

Координати центрів поверхонь становлять: для повноти виділення з колосового вороху вільного зерна $X_{1S} = 0,76$; $X_{2S} = 0,33$; для проходу крізь решето зерна з необмолоченими колосками $X_{1S} = -0,56$; $X_{2S} = -1,2$.

Підставляючи відповідні значення координат центрів поверхонь в (13) та (14), матимемо значення повноти виділення з колосового вороху вільного зерна в центрі поверхні $C_S = 87,0\%$ та проходу крізь решето зерна з частинками необмолочених колосків $C_{1S} = 0,3\%$.

Виконаємо канонічне перетворення рівнянь (13) та (14), для цього вирішимо характеристичні рівняння:

$$f(C) = B^2 + 16,48B + 60,34 = 0,$$

$$f(C_1) = B^2 - 3,53B + 1,82 = 0.$$

Розв'язками цих квадратичних рівнянь є коефіцієнти $B_{C1} = -5,49$;

$B_{C2} = -10,99$ і $B_{C11} = 2,89$; $B_{C12} = 0,63$. Тоді рівняння (11) та (12) у канонічній формі приймуть вигляд:

$$C - 87,02 = -5,49X_1^2 - 10,99X_2^2, \quad (15)$$

$$C_1 - 0,3 = 2,89X_1^2 + 0,63X_2^2. \quad (16)$$

Кут суміщення нових осей координат з головними осями поверхні відгуку для проходження крізь решето зерна з необмолоченими колосками:

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{b_{ij}}{b_{ii} - b_{jj}} = \frac{-0,36}{2,89 + 0,64} = -0,179.$$

Отже, $\alpha_3 = -5,09^\circ$.

Підставляючи різні значення C та C_1 в (15) і (16) одержимо сімейство еліпсів, які характеризують рівень повноти виділення з колосового вороху вільного зерна та проходу крізь решето зерна з необмолоченими колосками від відкриття жалюзів решета H та частоти коливань решета ϑ . Результати розрахунків графічно зображено на рис. 1, з якого видно, що максимальне значення повноти виділення з колосового вороху вільного зерна $C = 87\%$ буде за $H = 14,1$ мм та частоті коливань решета $\vartheta = 400$ хв⁻¹, а мінімальне проходження крізь решето зерна з необмолоченими колосками $C_1 = 0,3\%$ при $H = 10,3$ мм.

Розгляд двомірних перетинів, зображених на рис. 1, показує, що при спільній дії відкриття жалюзів решета H (мм) та частоти його коливань ϑ (хв⁻¹) може бути досягнута повнота виділення з колосового вороху вільного зерна не менше 77% під час проходу

крізь решето зерна з необмолоченими колосками не більше 2 %, якщо відкриття жалюзів решета становитиме 10...11 мм, а частота коливань решета буде знаходитиметься в межах від 300 до 350 хв⁻¹.

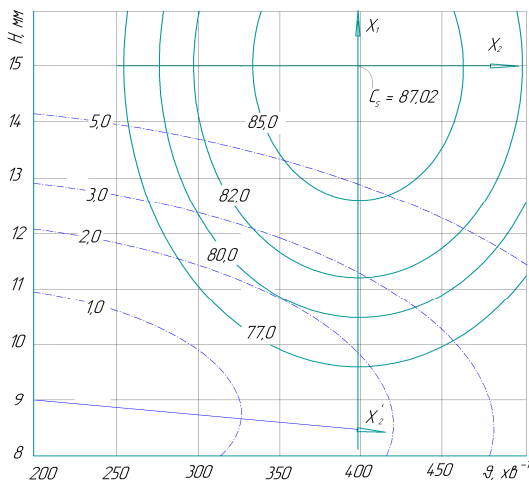


Рис. 1. Перетини поверхонь відгуку, які характеризують показники повноти виділення з колосового вороху вільного зерна та проходу крізь решето зерна з необмолоченими частинками колосками залежно від відкриття жалюзів решета $H(X_1)$, мм та частоти його коливань $\nu(X_2)$, хв.⁻¹

Підставивши значення факторів $X_2 = 0,33$ і $X_4 = -0,01$ в (4.1) та $X_2 = -1,2$ і $X_4 = -0,44$ одержимо:

$$C = 80,47 + 16,70X_1 - 1,81X_3 - 10,99X_1^2 - 0,89X_3^2, \quad (17)$$

$$C_1 = 1,12 + 3,26X_1 + 0,22X_3 + 2,89X_1^2 + 0,44X_3^2. \quad (18)$$

Координати центрів поверхонь визначимо шляхом диференціювання (17) та (18) і розв'язку систем рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{dC}{dX_1} = 16,70 - 21,98X_1 = 0, \\ \frac{dC}{dX_3} = -1,81 - 1,78X_3 = 0. \end{cases}$$

$$\begin{cases} \frac{dC_1}{dX_1} = 3,26 + 5,78X_1 = 0, \\ \frac{dC_1}{dX_3} = 0,22 + 0,88X_3 = 0. \end{cases}$$

Координати центрів поверхонь становлять:

для повноти виділення із колосового вороху вільного зерна:

$$X_{1S} = 0,76; X_{3S} = -1,01;$$

для проходження крізь решето зерна з необмолоченими колосками:

$$X_{1S} = -0,56; X_{3S} = -0,25.$$

Підставляючи відповідні значення координат центрів поверхонь у рівняння (17) та

в (18), отримаємо значення повноти виділення з колосового вороху вільного зерна $C_S = 87,72\%$ та проходження крізь решето зерна з частинками необмолочених колосків $C_{1S} = 0,2\%$.

Висновки і перспективи. За результатами досліджень проведено обґрунтування раціональних режимів роботи решета дообмолочувального пристрою, які здійснювали з використанням методу планування багатofакторних експериментів.

Побудовані перетини поверхонь відгуку, які характеризують показники повноти виділення з колосового вороху вільного зерна та проходу крізь решето зерна з необмолоченими частинками колосків залежно від відкриття жалюзів решета та частоти його коливань.

З проведених розрахунків видно, що при спільній дії відкриття жалюзів решета та частоти його коливань може бути досягнута повнота виділення з колосового вороху вільного зерна не менше 87 % під час проходу крізь решето зерна з необмолоченими колосками не більше 2 %, якщо відкриття жалюзів решета становитиме 10...11 мм, а частота коливань решета буде знаходитиметься в межах від 300 до 350 хв⁻¹.

Список використаних джерел

1. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. Москва : Наука, 1976. 280 с.
2. Мельников С. В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. Москва : Колос, 1980. 168 с.
3. Урайкин В. М. Влияние расположения колосового шнека на качественные показатели ветро-решотной очистки зерноуборочного комбайна. Москва : Наука, 1975. 268 с.
4. Ямпиров С. С. Технологические и технические решение проблемы очистки зерна решетками. Улан-Удэ : Издательство ВСГУТУ, 2004. 165 с.
5. Тарасенко А. П. Влияние внешних нагрузок и физико-механических свойств на их травмирование и посевные качества. Воронеж : ФГОУ ВПО ВГАУ, 1983. 250 с.
6. Наумов И. А. Совершенствование кондиционирования и измельчения пшеницы и ржи. Москва : Колос, 1975. 168 с.
7. Тарасенко А. П. Снижение травмирования семян при уборке и послеуборочной обработке. Воронеж : ФГОУ ВПО ВГАУ, 2003. 301 с.
8. Пустовіт С. В. Підвищення ефективності роботи зернозбирального комбайна : дис. ... кандидата техн. наук : 05.05.11 / ВНАУ. Вінниця : ВНАУ, 2013. 171 с.
9. Романенко В. Н. Высокопроизводительная очистка зерноуборочного комбайна с активатором сепарации зернового вороха. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 2007. № 9. С. 31–33.
10. Алферов С. А. Воздушно-решетные очистки зерноуборочных комбайнов. Москва : Агропромиздат, 1987. 159 с.

Дата надходження статті до редакції: 04.09.2019
Рецензування 11.10.2019 Прийняття в друк: 27.12.2019

Pustovit S. V.¹

Ph.D. (Engineering), Senior Lecturer

E-mail : pustovits1976@ukr.net

Kotkov V. I.²

Ph.D., (Engineering), Associate Professor

E-mail : kotkov_mmests@ukr.net

¹*Ladyzhyn College of Vinnytsia National Agrarian University*

Ladyzhyn, Ukraine

²*Zhytomyr National Agroecological University*

Zhytomyr, Ukraine

JUSTIFICATION OF THE MODES OF THE WORKING SOCKET OF THE REINFORCEMENT DEVICE

Abstract

The key task of the agroindustrial complex of the country is the steady increase of grain production, which is necessary for the formation of sowing funds, the provision of foodstuffs for the population and animal husbandry with feed, which is achieved due to the improvement of the process of grain separation on combine harvesters.

Accordingly, the purpose of the study was to substantiate the operating modes of the sieve prethreshing device, which affects the process of separation of grain from spiked pile.

On the basis of a comparative analysis of the mechanization of grain harvesting, it has been shown that combine harvesting methods for grain crops will remain dominant in the near future. Therefore, we investigated the basic mode parameters of cleaning, which are aimed at further increasing the capacity of the combines.

According to the results of the research, mathematical models were obtained, which will allow to estimate the degree of independent and joint influence of the basic parameters of the process of separation of spikelets on the initial parameters - the completeness of separation from the spiked heap of free grain and the passage through the sieve of grain with uncoated spikelets. Accordingly, a compromise problem was solved, in which it was necessary to find the values of the factors that ensure the maximum completeness of separation from the spiked heap of free grain with minimal passage through the sieve of grain with uncoated spikelets. The method of planning of multifactor experiments for the substantiation of the modes of operation of the sieve of the prethreshing device is presented, and the essential requirements in the selection of factors for carrying out studies of these processes are presented.

Cross sections of the response surfaces are constructed, which characterize the indicators of the completeness of discharge of free grain from a colossal heap and the passage through the sieve of grain with uncoated spikelets depending on the opening of the sieve lowers and the frequency of its oscillations.

Keywords: colossal heap; mathematical model; the intersections of the response surfaces; dimensional analysis; planning method; separate sieve; mode of operation; grain; completeness of selection.

References

1. Adler, Y. P. (1976). *Planirovaniye eksperimenta pri poiske optimal'nykh usloviy* [Planning an experiment to find optimal conditions]. Moscow : Nauka. [in Russian]
2. Melnikov, S. V. (1985). *Planirovaniye eksperimenta v issledovaniyakh sel'skokhozyaystvennykh protsessov* [Planning an experiment in agricultural research]. Moscow : Kolos. [in Russian]
3. Uraikin, V. M. (1975). *Vliyaniye raspolozheniya kolosovogo shneka na kachestvennyye pokazateli vetro-reshotnoy ochistki zernouborochnogo kombayna* [The influence of the location of the spike auger on the quality indicators of windandgrain cleaning of the combine harvester]. Moscow : Nauka. [in Russian]
4. Yampilov, S. S. (2004). *Tekhnologicheskkiye i tekhnicheskkiye resheniye problemy ochistki zerna reshetami* [Technological and technical solution to the problem of grain cleaning with sieves]. Ulan-Ude : VSGTU. [in Russian]
5. Tarasenko, A. P. (1983). *Vliyaniye vneshnikh nagruzok i fiziko-mekhanicheskikh svoystv na ikh travmirovaniye i posevnyye kachestva* [Influence of external loads and physical and mechanical properties on their injury and sowing qualities]. Voronezh : FGOU VPO VGPU. [in Russian]
6. Naumov, A. A. (1975). *Sovershenstvovaniye konditsionirovaniya i izmel'cheniya pshenitsy i rzhi* [Improving conditioning and grinding wheat and rye]. Moscow : Kolos. [in Russian]
7. Tarasenko, A. P. (2003). *Snizheniye travmirovaniya semyan pri uborke i posleuborochnoy obrabotke* [Reducing seed injuries during harvesting and postharvest processing]. Voronezh : FGOU VPO VGPU. [in Russian]
8. Pustovit, S. V. (2013). *Pidvyshchennya efektyvnosti roboty zernozbyral'noho kombayna*. Candidate's thesis. VNAU, Vinnytsya. [in Ukrainian]
9. Romanenko, V. N. (2007). *Vysokoproizvoditel'naya ochistka zernouborochnogo kombayna s aktivatorom separatsii zernovogo vorokha* [High-performance cleaning of a combine harvester with an activator of separation of grain heaps]. *Traktory i sel'skokhozyaystvennyye mashyny* [Tractors and agricultural machinery], 9, 31-33. [in Russian]
10. Alferov, S. A. (1987). *Vozdushno-reshetnyye ochistki zernouborochnykh kombaynov*. [Air-sieve cleaning of combine harvesters]. Moscow : Agropromizdat. [in Russian]

Received 09/04/2019

Revision 10/11/2019 Accepted 12/27/2019