

УДК 658.011.56

ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ ПОСІВНОГО ЗЕРНА НА ПОТОКОВИХ ЛІНІЯХ ЗЕРНОПУНКТІВ

Постнікова М.В., к.т.н., <https://orcid.org/0000-0002-2025-6199>
Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра
Моторного
e-mail: marina.postnikova@tsatu.edu.ua

Анотація – одним з найактуальніших завдань ХХІ століття є енергозбереження. Тому питання оптимізації технологічного процесу очищення посівного зерна на потокових лініях зерноочисних пунктів є актуальними.

Вперше при проведенні експериментів досліджувався вплив основних факторів на питому витрату електроенергії за допомогою багатофакторного експерименту з використанням методу планування математичного експерименту.

Вперше в результаті досліджень отримані залежності у вигляді рівнянь регресії питомої витрати електроенергії у функції продуктивності потокової лінії, вологості зерна і його засміченості, які дозволяють оптимізувати режим очищення посівного зерна.

Результати проведених експериментальних досліджень використані при розробці науково-обґрунтованих норм питомої витрати електроенергії на очищення посівного зерна. Це дозволило розробити рекомендації щодо реалізації енергозберігаючих режимів роботи електромеханічних систем зернопунктів, що дозволяє економити 8-10 % електроенергії.

Ключові слова - енергозбереження, раціональне використання електроенергії, економія електроенергії, зерноочисні агрегати, багатофакторний експеримент.

Постановка проблеми. Збільшення цін на електроенергію і обмежені можливості використання енергоресурсів обумовили проблему енергозбереження, яка останнім часом набула особливої актуальності. Тому питання оптимізації технологічного процесу очищення посівного зерна на потокових лініях зернопунктів є актуальними [1].

Аналіз останніх досліджень. Кінцевою мірою ефективності роботи будь-якої потокової лінії є енергоємність технологічного процесу, тобто критерій оптимальності – питома витрата електроенергії [2].

Комплексних досліджень по цьому питанню на зернопунктах не проводилось [1].

За допомогою критерія оптимальності можна визначити енергозберігаючі режими роботи на процеси очищення і переробки продукції рослинництва [3].

Формулювання цілей статті. Метою статті є обґрунтування мінімальної питомої витрати електроенергії на процес очищення посівного зерна на поточкових лініях зерноочисного агрегату ЗАВ-20.

Основні матеріали дослідження. Досліджувались технологічні процеси очищення посівного зерна на поточкових лініях, які виконуються з трієрами. Трієра застосовуються для очищення попередньо очищеного на повітряно-решітних машинах посівного зерна від довгих та коротких домішок.

Типовою трієрною машиною є трієрний блок ЗАВ-10.90000. Машина за продуктивністю, матеріалоємністю, енергоємністю знаходиться на рівні кращих закордонних аналогів, але поступається за технологічним обслуговуванням. Заміна робочих поверхонь при переналаджуванні при обробці нової культури супроводжується з операцією демонтажу трієрних циліндрів, в той час, як в кращих закордонних зразках трієрні циліндри складаються з секцій, які мають роз'єм по циліндру. Однак, наші сучасні трієра мають перевагу по енергоємності перед закордонними. Закордонні фірми використовують мотор-редуктори, які мають низький ККД. В сучасних поточкових лініях використовують трієра з відкритими клинопасовими і ланцюговими передачами [4].

При проведенні експериментів був досліджений вплив основних факторів на питоми витрати електроенергії за допомогою багатофакторного експерименту з використанням методу планування математичного експерименту. Для отримання рівняння регресії для ЗАВ-20 були використані плани другого порядку. Вибір факторів, інтервалів варіювання, рівнів (таблиця 1) проведений на основі аналізу апріорної інформації [1] при $n = 3$.

Таблиця 1

Рівні факторів і інтервали варіювання для ЗАВ-20
(одна потокова лінія з трієром)

Рівні	Нормована величина	Реальний масштаб		
		x_1 , т/год.	x_2 , %	x_3 , %
Базовий рівень	0	5,0	13,5	3,5
Ступінь варіювання Δx_i	± 1	1,0	1,5	0,5
Нижній рівень ПФЕ	-1	4,0	12,0	3,0
Верхній рівень ПФЕ	+1	6,0	15,0	4,0
Нижня зіркова точка ОЦКП	-1,215	3,8	11,7	2,9
Верхня зіркова точка ОЦКП	+1,215	6,2	15,3	4,1

В якості змінних факторів обрані: x_1 – продуктивність агрегату, т/год.; x_2 – вологість зерна, %; x_3 – засміченість зерна, %. В якості відгуку \tilde{y} обрана питома витрата електроенергії.

Проводилась статистична обробка даних.

Було отримано рівняння регресії для розрахунку питомої витрати електроенергії в залежності від продуктивності, вологості і засміченості зерна у безрозмірному вигляді (одна потокова лінія з трієром)

$$\tilde{y} = 3,7047 - 0,6702 x_1 + 0,1899 x_2 + 0,0977 x_3 + 0,0813 x_2 x_3 + 0,2246 x_1^2 \quad (1)$$

Так як фактори мають різну фізичну природу, різні одиниці виміру і різний порядок значень, для зручності від дійсних значень факторів переходимо к так званим, нормованим. Нормалізацію факторів проводимо за формулою

$$x_i = \frac{x_i - x_{i0}}{\Delta x_i}, \quad (2)$$

де x_i і x_{i0} – натуральне і нульове значення факторів.

Значення факторів на верхньому і нижньому рівнях буде визначатися

$$x_{iH} = x_{i0} - \Delta x_i, \quad x_{iB} = x_{i0} + \Delta x_i.$$

У відповідності з рівнянням (2) нормовані значення факторів визначаються

$$x_{i0} = \frac{X_{i0} - X_{i0}}{\Delta x_i} = 0 \text{ - базовий;}$$

$$x_{iВ} = \frac{X_{iВ} - X_{i0}}{\Delta x_i} = +1 \text{ - верхній;}$$

$$x_{iН} = \frac{X_{iН} - X_{i0}}{\Delta x_i} = -1 \text{ - нижній.}$$

За допомогою формули (2) переходимо до натуральних значень факторів. Тоді рівняння питомої витрати електроенергії прийме вигляд

$$W_{\text{пит.}} = 15,4 - 2,9 \cdot Q - 0,25 \cdot \text{Вл} - 1,26 \cdot \text{Зс} + 0,11 \cdot \text{Вл} \cdot \text{Зс} + 0,22 \cdot Q^2. \quad (3)$$

Аналогічні дослідження були проведені при роботі зерноочисного агрегату ЗАВ-20 на двох потокових лініях з трієрами (таблиця 2).

Таблиця 2

Рівні факторів і інтервали варіювання для ЗАВ-20
(дві потокові лінії з трієрами)

Рівні	Нормована величина	Реальний масштаб		
		x_1 , т/год.	x_2 , %	x_3 , %
Базовий рівень	0	10,5	13,5	3,5
Ступінь варіювання Δx_i	± 1	2,5	1,5	0,5
Нижній рівень ПФЕ	-1	8,0	12,0	3,0
Верхній рівень ПФЕ	+1	13,0	15,0	4,0
Нижня зіркова точка ОЦКП	-1,215	7,5	11,7	2,9
Верхня зіркова точка ОЦКП	+1,215	13,5	15,3	4,1

Було отримано рівняння регресії для розрахунку питомої витрати електроенергії в залежності від продуктивності, вологості і засміченості зерна для двох потокових ліній з трієрами для зерноочисного агрегату ЗАВ-20 у безрозмірному вигляді:

$$\tilde{y} = 1,9984 - 0,3817 x_1 + 0,095 x_2 + 0,0292 x_3 + 0,0025 x_1 x_3 + 0,1244 x_1^2 + 0,0336 x_2^2 + 0,0134 x_3^2 \quad (4)$$

і в натуральних значеннях факторів

$$W_{\text{пит.}} = 8,14 - 0,568 \cdot Q - 0,34 \cdot \text{Вл} - 0,338 \cdot \text{Зс} + 0,002 \cdot Q \cdot \text{Зс} + 0,0194 \cdot Q^2 + 0,015 \cdot \text{Вл}^2 + 0,0536 \cdot \text{Зс}^2. \quad (5)$$

Після отримання адекватної математичної моделі другого порядку були визначені координати оптимуму.

Для визначення мінімальної питомої витрати електроенергії для зерноочисного агрегату ЗАВ-20 - дві потокові лінії з трієрами - рівняння регресії другого порядку (4) диференційовано по кожному фактору і прирівняне до нуля.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \hat{y}}{\partial x_1} &= -0,3817 + 0,2428 x_1 + 0,0025 x_3 = 0; \\ \frac{\partial \hat{y}}{\partial x_2} &= 0,095 + 0,0672 x_2 = 0; \\ \frac{\partial \hat{y}}{\partial x_3} &= 0,0292 + 0,0025 x_1 + 0,0268 x_3 = 0. \end{aligned}$$

Вирішивши систему рівнянь, одержали координати центра в кодованих одиницях

$$x_{1S} = 1,58; \quad x_{2S} = -1,41; \quad x_{3S} = -1,24; \quad y_S = 1,61,$$

яким відповідають наступні значення факторів і функції цілі в фізичних одиницях

$$Q = 14,5 \text{ т/год.}; \quad \text{Вол.} = 11,4 \% ; \quad \text{Зас.} = 2,9 \% ; \quad W_{\text{пит.}} = 1,61 \text{ кВт}\cdot\text{год./т.}$$

Для однієї потокової лінії з трієром рівняння регресії другого порядку (1) диференційовано по кожному фактору і прирівняне до нуля.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \hat{y}}{\partial x_1} &= -0,6702 + 0,4492 x_1 = 0; \\ \frac{\partial \hat{y}}{\partial x_2} &= 0,1899 + 0,0813 x_3 = 0; \\ \frac{\partial \hat{y}}{\partial x_3} &= 0,0977 + 0,0813 x_2 = 0. \end{aligned}$$

Вирішивши систему рівнянь, одержали координати центра в кодованих одиницях

$$x_{1S} = 1,49; \quad x_{2S} = -1,2; \quad x_{3S} = -2,34; \quad y_S = 2,98,$$

яким відповідають наступні значення факторів і функції цілі в фізичних одиницях

$$Q = 6,5 \text{ т/год.}; \quad \text{Вол.} = 11,7\%; \quad \text{Зас.} = 2,3\%; \quad W_{\text{пит.}} = 2,98 \text{ кВт}\cdot\text{год./т.}$$

Для кожної потокової технологічної лінії очищення зерна агрегату ЗАВ-20 запропоновані номограми електроспоживання (рис. 1) [1], що відрізняються наочністю та зручністю при виборі оптимального завантаження поточкових ліній з отриманням мінімуму питомої витрати електроенергії (квадрант 1) при різних значеннях вологості та засміченості зерна. За відомими значеннями вологості (квадрант 2) та засміченості зерна (квадрант 3) та мінімальній питомій витраті електроенергії визначається оптимальне завантаження потокової лінії.

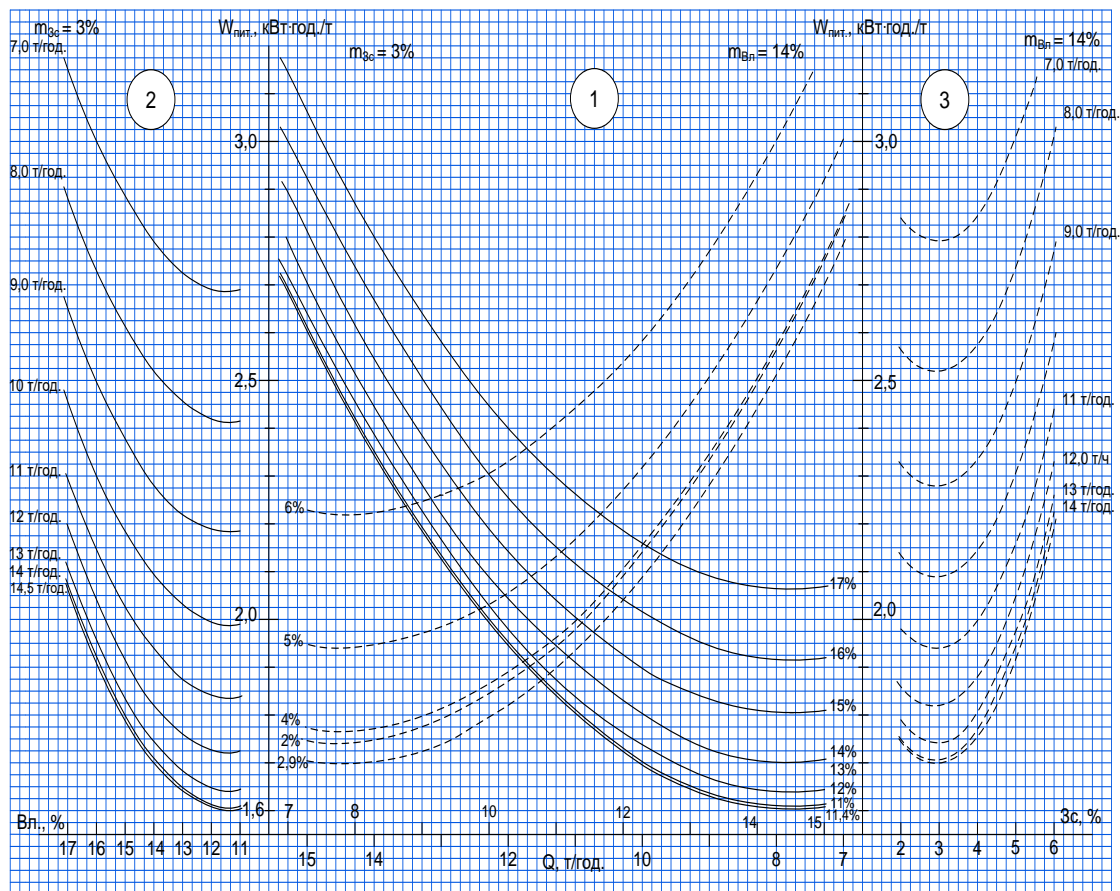


Рис. 1. Номограми електроспоживання для ЗАВ-20 (дві лінії з трієрами)

Висновок. В результаті проведення експериментальних досліджень отримані залежності у вигляді рівнянь регресії питомих витрат електроенергії в функції продуктивності потокових ліній, вологості зерна та його засміченості, які дозволяють оптимізувати режим обробки зерна. Так, при очищенні посівного зерна мінімум питомої витрати електроенергії буде:

- одна потокова лінія з трієром – 2,98 кВт·год./т при продуктивності 6,5 т/год., вологості 11,7 %, засміченості 2,3 %;
- дві лінії з трієрами - 1,61 кВт·год./т при продуктивності 14,5 т/год., вологості 11,4 %, засміченості 2,9 %.

Література:

1 *Постнікова М.В.* Енергозберігаючі режими роботи електромеханічних систем обробки зерна на зернопунктах : автореф. дис. На здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.09.03. Мелітополь, 2011. 22 с.

2 *Постнікова М. В., Карнова О. П.* Оптимізація технологічних процесів очищення зерна на потокових лініях зернопунктів. *Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України: Вісник Харківського національного університету сільського господарства імені Петра Василенка.* 2006. Вип. 43, т. 1. С. 192-196.

3 *Postnikova M., Mikhailov E., Nesterchuk D., Rechina O.* Energy Saving in the Technological Process of the Grain Grinding. *Modern Development Paths of Agricultural Production. Trends and Innovations. Cham: Springer International Publishing.* 2019. P. 395-403.

4 *Постнікова М. В.* Анализ энергозатрат технологических процессов очистки зерна на триерах. *Вестник аграрной науки Дона.* 2015. №2 (30). С. 18-29.

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ПОСЕВНОГО ЗЕРНА НА ПОТОЧНЫХ ЛИНИЯХ ЗЕРНОПУНКТОВ

Постнікова М. В.

Аннотація

Одной из самых актуальных задач XXI столетия является энергосбережение. Поэтому вопросы оптимизации технологического процесса очистки посевного зерна на поточных линиях зерноочистительных пунктов являются актуальными.

Впервые при проведении экспериментов исследовалось влияние основных факторов на удельный расход электроэнергии при помощи многофакторного эксперимента с использованием метода планирования математического эксперимента.

Впервые в результате исследований получены зависимости в виде уравнений регрессии удельного расхода электроэнергии в функции производительности поточной линии, влажности зерна и

его засоренности, которые позволяют оптимизировать режим очистки посевного зерна.

Результаты проведенных экспериментальных исследований использованы при разработке научно-обоснованных норм удельного расхода электроэнергии на очистку посевного зерна. Это позволило разработать рекомендации по реализации энергосберегающих режимов работы электромеханических систем зернопунктов, что позволяет экономить 8-10 % электроэнергии.

Ключевые слова: энергосбережение, рациональное использование электроэнергии, экономия электроэнергии, зерноочистительные агрегаты, многофакторный эксперимент.

OPTIMIZATION OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF CLEANING SEED GRAIN ON THE FLOW LINES OF GRAIN STATIONS

M. Postnikova

Summary – energy saving is one of the most urgent tasks of the XXI century. Therefore, the issues of optimization of the technological process of cleaning seed grain on the flow lines of grain cleaning stations are relevant. An informative indicator for determining energy-saving operating modes is the specific power consumption for the process of cleaning seed grain.

For the first time in the experiments, the influence of the main factors on the specific power consumption was investigated using a multifactor experiment using the method of planning a mathematical experiment. Second order plans were used. The process of cleaning seed grain on the flow lines of the grain cleaning unit ZAV-20 was investigated.

For each production line of grain cleaning of the ZAV-20 unit, nomograms of power consumption are proposed, which are distinguished by their clarity and convenience in choosing the optimal load of production lines with obtaining a minimum specific power at various values of moisture and contamination of grain. According to the known values of humidity, contamination and the minimum specific power consumption, the optimal load of the production line is determined.

The results of the experimental studies were used in the development of scientifically grounded norms of specific energy consumption for cleaning seed grain. This made it possible to develop recommendations for the implementation of energy-saving modes of operation of electromechanical systems of grain stations, which allows saving 8-10% of electricity.

Keywords: energy saving, rational use of electricity, energy saving, grain cleaning units, multi-factor experiment.