



УДК 62-83.004.18:631.363

DOI: 10.31388/2220-8674-2020-2-25

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ ЗЕРНА ДЛЯ КОМБІКОРМІВ

Постнікова М.В., к.т.н.

ORCID: 0000-0002-2025-6199

*Таврійський державний агротехнологічний університет**імені Дмитра Моторного*e-mail: marina.postnikova@tsatu.edu.ua

Постановка проблеми. В зв'язку із загостренням енергетичної кризи у світі і нашій країні, що зумовлене інтенсивним вичерпанням паливно-енергетичних ресурсів, надзвичайно актуальними є проблеми енергозбереження.

Обґрунтування раціональних технологічних параметрів технологічного процесу подрібнення зерна для комбікормів та раціональних енергетичних параметрів дробарок, які в сукупності підвищують ефективність приготування комбікормів є актуальною науково-прикладною задачею для розвитку тваринницької галузі.

Як вважають автори: Jiang Sheng-Long, Zhang Long [1], в останні роки, коли росте занепокоєність населення в зв'язку з ростом цін на енергоносії і їх впливом на навколишнє середовище, планування енергозбереження стане ключовим питанням для сталого виробництва комбікормів. При цьому повинно бути енергетично орієнтоване планування з ефективною багатоцільовою оптимізацією технологічного процесу. Це дозволить вирішити проблему енергозбереження в реальних виробничих системах комбікормів.

А. Abdel-Hadi [2] вважає, що для вирішення питання мінімізації енергоспоживання необхідно мати максимум інформації про енергоємність технологічного процесу подрібнення зерна для того, щоб вирішити задачу енергозбереження.

Аналіз останніх досліджень. Аналіз технологічного процесу подрібнення зерна для комбікормів показує, що якість обробки кормів не відповідає сучасним вимогам [3-6]. Енергоємність процесу складає 5,4-8,0 кВт·год/т, яку можна знизити шляхом оптимізації технологічного процесу. Тому підвищення енергоефективності технологічного процесу подрібнення зерна є актуальною проблемою.

В раніше проведених дослідженнях авторами: Л. А. Лопатиним, У. К. Сабиевым, головна увага приділялася технологічним схемам комбікормових агрегатів та інтенсифікації технологічних процесів приготування комбікормів [7, 8].



Denkena B., Bouabid A., Kroedel A. [9] пропонують новий підхід до моделювання взаємодії зерна при подрібненні. Результати для різної орієнтації зерна при подрібненні представлені на діаграмі, яка дає огляд механічних навантажень для різної орієнтації зерна при подрібненні.

Kliuchnikov A. [10] розробив новий універсальний метод ефективного сушіння подрібненого зерна для комбікормів, який дозволяє знизити енергозатрати при видаленні вологи.

Kurchuk I. M., Solona, O. V., Derevenko I. A., Tverdokhlib I. V. [11] провели наукові дослідження, які направлені на мінімізацію споживання електроенергії електроприводом дробарки кормів. Автори розробили і проаналізували математичну модель електроспоживання електропривода вібраційної дробарки кормів, провели теоретичні і експериментальні дослідження з перевірки адекватної математичної моделі.

Як вважає Gembicki J. [12], зменшення електроспоживання приводить до зменшення викидів забруднених речовин в навколишнє середовище при виробництві комбікормів.

Дослідженням впливу параметрів дробарок на процес подрібнення зерна займався В. Н. Нечаев [13], розробкою та обґрунтуванням конструктивних та режимних параметрів малогабаритної дробарки фуражного зерна А. В. Акименко [14], Куценко Ю. М. [15] приділив увагу режимам роботи дробарок.

Питаннями дослідження та оптимізації робочого процесу дробарки зерна займалися А. В. Созонтов і Л. А. Лопатин [16], які в результаті обробки експериментальних даних отримали математичні моделі залежності критеріїв оптимізації від дослідних факторів: діаметру отворів решета, кількості лопаток на крильчатці, швидкості крильчаток ротора, а питаннями зниження витрат електроенергії електромеханічних систем та оптимізації режимів роботи електрообладнання при подрібненні зерна дробаркою ДБ-5-1 займалися: М. В. Постнікова, Є. В. Михайлов, Д. М. Нестерчук, О. М. Речина [17].

Однак, досліджень енергетичної ефективності процесів подрібнення зерна для комбікормів проводилось недостатньо.

Формулювання цілей статті. Мета дослідження – енергозбереження в технологічному процесі подрібнення зерна. Для досягнення поставленої мети була вирішена задача: встановити основні фактори, які впливають на енергоефективність технологічного процесу подрібнення зерна для комбікормів.

Основна частина. Для оцінки енергоефективності технологічного процесу подрібнення зерна для комбікормів необхідно вибрати показник (параметр оптимізації). В якості параметра оптимізації можуть бути обрані: економічний показник, що характеризує



технологічний процес або робочу машину, а також продуктивність виробничого обладнання або енерговитрати та т.п. При цьому необхідно прагнути до того, щоб параметр оптимізації був один, мав ясний фізичний зміст і кількісну оцінку, а також був би сукупною та вичерпною характеристикою об'єкта дослідження. Стосовно до поставленої задачі оптимізації енергоємного технологічного процесу зернодробарки, в якості параметра оптимізації доцільно вибрати величину енерговитрат на одиницю готової продукції, що визначається за рівнянням

$$W = \frac{P_{\Sigma} \cdot K_3}{Q \cdot \eta_{\text{пер}} \cdot \lambda_{\text{п}} \cdot K_{\text{вол.}}}, \quad (1)$$

де W – питома енергоємність, кВт·год./т;

$P_{\Sigma} = P$ – сумарна номінальна потужність електродвигунів, кВт;

K_3 – коефіцієнт завантаження електродвигунів;

Q – продуктивність за годину чистої роботи при подрібненні фуражного зерна, т/год.;

$\eta_{\text{пер}}$ – ККД клинопасових передач, в.о.;

$\lambda_{\text{п}}$ – ступінь подрібнення зерна;

$K_{\text{вол.}}$ – коефіцієнт, що враховує вологість зерна, в.о.

Відповідно до технічної характеристики дробарки ДБ-5-1: встановлена потужність електродвигунів $P_{\Sigma} = 32,2$ кВт; продуктивність $Q = 4 - 6$ т/год.; питома енергоємність при подрібненні зерна, кВт·год./т. Приймаємо $W = 5,4 - 8$ кВт·год./т. Надалі приймаємо коефіцієнт корисної дії клинопасових передач $\eta_{\text{пер}} = 0,94 - 0,96$ ($\eta_{\text{персер}} = 0,95$); середню вологість зерна 14 %, тобто $K_{\text{вол.}} = 0,86$.

Ступінь подрібнення зерна $\lambda_{\text{п}}$ є одним з факторів, що істотно впливає на енергоспоживання дробарки. Однак, останнім часом, на дробарках встановлюються так звані дисперсаналізатори з безперервним контролем ступеня подрібнення зерна, що входять в автоматичний регулятор завантаження дробарки. Тому в роботі приймається значення $\lambda_{\text{п}}$ постійним і рівним $\lambda_{\text{п}} = 1$.

Таким чином, в якості контрольованих і керованих факторів, що визначають параметр оптимізації W приймаються: потужність P_{Σ} , продуктивність Q і коефіцієнт завантаження K_3 .

Позначення факторів і рівні їх варіювання при використанні методу планування математичного експерименту наведені в таблиці 1. При цьому рівні варіювання факторів вибиралися з урахуванням даних

технічної характеристики та реальної можливості зміни факторів на практиці.

Нормалізація або кодування факторів проводиться за співвідношенням

$$x_i = \frac{X_i - X_{i,0}}{\Delta X_i}. \quad (2)$$

Таблиця 1

Рівні факторів та інтервали варіювання для дробарки ДБ-5-1

Рівні варіювання факторів	Фактори в нормованих одиницях	Фактори в фізичних одиницях		
		P , кВт	Q , т/год.	K_3 , в.о.
		X_1	X_2	X_3
Верхній $X_{i,B}$	$x_{i,B} = +1$	30,0	7,0	0,8
Нижній $X_{i,H}$	$x_{i,H} = -1$	20,0	3,0	0,4
Базовий $X_{i,0}$	$x_{i,0} = 0$	25,0	5,0	0,6
Інтервали варіювання ΔX_i	$\Delta x_i = \pm 1$	5,0	2,0	0,2
Розміри зіркового плеча				
+ α	+1,682			
- α	-1,682			

Відповідно до (2) нормовані значення факторів на різних рівнях будуть дорівнювати

$$x_{i,0} = \frac{X_{i,0} - X_{i,0}}{\Delta X_i} = 0; \quad x_{i,B} = \frac{X_{i,B} - X_{i,0}}{\Delta X_i} = +1; \quad x_{i,H} = \frac{X_{i,H} - X_{i,0}}{\Delta X_i} = -1. \quad (3)$$

Згідно (1) між параметром оптимізації W та факторами P , Q і K_3 функціональна залежність нелінійна, тому область оптимуму об'єкта дослідження, якщо вона є, може бути достовірно (адекватно) описана поліномом або рівнянням регресії другого порядку виду [18]

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i \cdot x_i + \sum_{i,j=1}^n b_{i,j} \cdot x_i \cdot x_j + \sum_{i=1}^n b_{ii} \cdot x_{ii}^2, \quad (4)$$

де y – функція цілі або параметр оптимізації;

b_0 , b_i , $b_{i,j}$, b_{ii} – коефіцієнти рівняння регресії;

x_i , x_{ij} , x_{ii} – нормовані значення факторів.

Така математична модель може бути отримана на основі планів другого порядку, наприклад, ортогонального центрального композиційного плану (ОЦКП) або ротатабельного центрального



композиційного плану (РЦКП) [18]. Скористаємося РЦКП другого порядку для рішення задачі оптимізації технологічного процесу дробарки зерна по мінімуму енергоспоживання.

В ротатбельному ЦКП передбачається проведення експерименту в точках N_{ϕ} повного факторного експерименту (ПФЕ) або дробового факторного експерименту (ДФЕ), в зіркових точках N_{α} і точках центру плану N_0 .

Число точок факторного простору та величини плеча α зіркових точок при РЦКП для різного числа факторів “ n ” приведені в [18].

Після визначення загального числа точок експерименту будується робоча матриця планування математичного експерименту. В [18] представлена матриця РЦКП для трьох факторів.

При перебудові вихідної математичної моделі об’єкта дослідження методом ПМЕ, замість натурних дослідів, передбачених в матриці планування експерименту, проводиться аналітичний розрахунок функції цілі y по вихідній моделі (1) для кожного рядка матриці плану з урахуванням рівнів факторів (+1; -1; 0) [18] і значень факторів у фізичних одиницях, що відповідають цим рівням. При розрахунках за рівнянням (1) в якості постійних величин приймаються $\eta_{\text{пер}} = 0,95$; $K_{\text{вол.}} = 0,86$ і $\lambda_{\text{п}} = 1$ [18].

Далі проводиться розрахунок коефіцієнтів рівняння регресії b_0 , b_i , $b_{i,j}$, b_{ii} . При цьому варто замітити, що розрахунок коефіцієнтів регресії РЦКП відрізняється більшою складністю та передбачає розрахункове визначення ряду коефіцієнтів A , C , λ_4 і ін.

З метою спрощення розрахунків коефіцієнтів рівняння регресії можна використати формули, розрахункові коефіцієнти яких були одержані за допомогою ЦОМ і наведені, наприклад, в [18].

$$b_0 = a_1 \sum_{g=1}^N y - a_2 \sum_1^n \sum_{g=1}^N x_{i,g}^2 \cdot y;$$

$$b_i = a_3 \sum_{g=1}^N x_{ig} \cdot y; \quad b_{ij} = a_4 \sum_{g=1}^N x_{ig} \cdot x_{jg} \cdot y; \quad i \neq j; \quad i, j = 1, 2, \dots, n; \quad (5)$$

$$b_{ii} = a_5 \sum_{g=1}^N x_{ig}^2 \cdot y + a_6 \sum_1^n x_{ig}^2 \cdot y - a_2 \sum_{g=1}^N y.$$

Для числа факторів $n \leq 7$ значення коефіцієнтів a_1, a_2, \dots, a_6 приведені в [18]. В результаті розрахунків коефіцієнтів регресії по (5) [18] з урахуванням даних в матриці плану РЦКП були отримані наступні значення коефіцієнтів



$$\begin{aligned}
 b_0 &= 3,68; & b_1 &= 0,816; & b_2 &= -1,28; & b_3 &= 1,36; \\
 b_{12} &= -0,349; & b_{13} &= 0,292; & b_{23} &= -0,583; & b_{123} &= -0,116; \\
 b_{11} &= 0,738; & b_{22} &= -0,524; & b_{33} &= 0,74.
 \end{aligned} \quad (6)$$

Оскільки при математичному експерименті відсутня дисперсія відтворюваності функції цілі $S_B^2\{y\}$, необхідно для статистичної оцінки значущості коефіцієнтів і перевірки адекватності отриманої моделі об'єкта, значення $S_B^2\{y\}$, вводиться штучно такої величини, щоб забезпечувалася необхідна точність розрахунків. У даній роботі прийнято [18]

$$S_B^2\{y\} = (3\sigma)^2 = (3 \cdot 0,03)^2. \quad (7)$$

де σ – середня квадратична помилка або стандарт приймається рівною 0,03, тобто похибка розрахунків складе 3 %.

Оцінка значущості коефіцієнтів рівнянь регресії (6) визначається по t -критерію Стьюдента за умовою

$$t_{pi} = \frac{|b_i|}{S_B\{y\}} > t_T = t_k, \quad (8)$$

де t_{pi} , t_T – розрахункове та табличне значення критерію, рівне критичному t_k ;

$|b_i|$ – абсолютне значення i -того коефіцієнта;

$S_B\{y\}$ – помилка розрахунків функції цілі.

При цьому, згідно (7)

$$S_B\{y\} = \sqrt{S_B^2\{y\}} = \sqrt{(3 \cdot 0,03)^2} = 0,09. \quad (9)$$

Табличне значення критерію Стьюдента t_T визначається по таблиці t -критерію, наведеній в [17] для рівня значущості $\alpha = 0,05$ і числу ступенів свободи $f_0 = N \cdot (m-1) = 20$ і дорівнює $t_T = 2,086$.

При цьому, якщо $t_{pi} > t_k$, то коефіцієнти регресії b_i признаються значущими і при $t_{pi} < t_k = t_p$ – незначущими. Незначущим виявився коефіцієнт b_{123} і тому рівняння регресії (4) прийме вид

$$\begin{aligned}
 \hat{y} &= 3,68 + 0,816x_1 - 1,28x_2 + 1,36x_3 - 0,349x_1x_2 + 0,292x_1x_3 - 0,583x_2x_3 + \\
 &+ 0,738x_1^2 - 0,524x_2^2 + 0,74x_3^2,
 \end{aligned} \quad (10)$$

де \hat{y} – розрахункове значення функції цілі або параметра оптимізації.

Для оцінки адекватності розрахункового рівняння регресії (10) необхідно зробити розрахунки по (10) значень \hat{y} для кожного рядка матриці плану [18]. Розрахункові дані \hat{y} приводяться в [18].

Зміст такої перевірки складається в необхідності переконатися в тому, що отримане рівняння регресії (10) з достатнім ступенем достовірності, тобто адекватно, описує параметр оптимізації або функції цілі об'єкта дослідження.

Адекватність рівняння регресії (10), отриманого в результаті перебудови вихідної математичної моделі об'єкта дослідження (1), перевіряється по F -критерію Фішера за умовою [18]

$$F_p = \frac{S_{ad}^2\{\hat{y}\}}{S_B^2\{y\}} < F_T = F_K, \quad (11)$$

де F_p, F_T – розрахункове та табличне значення критерію Фішера, рівне критичному F_K ;

$S_B^2\{y\}$ – дисперсія відтворюваності, визначається по (7);

$S_{ad}^2\{\hat{y}\}$ – дисперсія адекватності отриманої моделі (10).

При цьому, якщо $F_p < F_K$ – рівняння регресії признається адекватним, при $F_p > F_K$ – неадекватним. Дисперсія адекватності визначається за рівнянням [17]

$$S_{ad}^2\{\hat{y}\} = \frac{m}{N-d} \sum_{g=1}^N (y - \hat{y})^2, \quad (12)$$

де m – число паралельних дослідів. При математичному експерименті приймається $m = 1$;

d – число значущих коефіцієнтів рівняння регресії (10) з урахуванням вільного члена b_0 .

Так як $N = 20$ і $d = 10$, то $N - d = 10$.

При розрахунках по (12) значення y і \hat{y} беруться по кожному рядку матриці плану [17].

Табличне значення F -критерію Фішера визначається за таблицею критерію, наведеній в [18], для рівня значущості $\alpha = 0,05$ і ступеня свободи адекватності та відтворюваності: $f_{ad} = f_1 = N - d = 10$ – по горизонталі таблиці; $f_B = f_2 = N(m - 1) = 20$ – по вертикалі таблиці.

Значення критерію при цьому дорівнює $F_T = 2,365$. За результатами розрахунків по (12) $S_{ad}^2\{\hat{y}\} = 0,0175$ з урахуванням значення по (7) $S_B^2\{y\} = 0,0081$ умову (11) можна записати у вигляді

$$F_p = \frac{0,0175}{0,0081} = 2,16 < F_T = 2,365. \quad (13)$$

Отже, розрахункове рівняння параметра оптимізації (10) є адекватним.

За допомогою рівняння (10) і даних таблиці 1 можна також одержати рівняння прийнятого параметра оптимізації W в функції факторів у фізичних одиницях

$$W = 16,2 - 1,313P_1 + 2,42Q - 15,41K_3 - 0,035P_1Q + 0,29P_1K_3 - 1,46QK_3 + 0,0295P_1^2 - 0,13Q^2 + 18,5K_3^2. \quad (14)$$

Одержані рівняння дають можливість вирішувати задачі енергозбереження в технологічному процесі молоткової дробарки зерна і розробити норми електроспоживання технологічних процесів подрібнення зерна [19].

Висновки. Встановлені основні фактори, які впливають на енергоефективність технологічного процесу подрібнення зерна: встановлена потужність електродвигунів, продуктивність дробарки, коефіцієнт завантаження електродвигунів, які знаходяться в межах: $P = 20-30$ кВт, $Q = 3-7$ т/год., $K_3 = 0,4-0,8$.

Вперше розроблена методологія перебудови складної математичної моделі об'єкта дослідження методом планування математичного експерименту, що дозволило отримати рівняння регресії для визначення питомих витрат електроенергії в залежності від факторів. Точність розрахунків складає 3 %.

Проведені дослідження мають практичне значення, так як є основою для розробки науково-обґрунтованих норм електроспоживання технологічного процесу подрібнення зерна для комбікормів. Це дозволить економити 8-10 % електроенергії [20].

Список використаних джерел

1. Jiang Sheng-Long, Zhang Long. Energy-Oriented Scheduling for Hybrid Flow Shop with Limited Buffers Through Efficient Multi-Objective Optimization. *IEEE ACCESS*. 2019. Vol. 7. P. 34477-34487. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2904848.

2. Study of energy saving analysis for different industries / A. Abdel-Hadi [et al.]. *Journal of Energy Resources Technology, Transactions of the ASME*. 2021. 143 (5). DOI: 10.1115 / 1.4048249.

3. Zabolotko O.O. Performance indicators of farm equipment. *Proceedings of the IV International Scientific and Technical Conference «Kramar Readings»*. 2017. P. 155–158.

4. ДСТУ 3768:2019. Пшениця. Технічні умови. [Чинний від 2019-06-10]. Київ: УкрНДНЦ, 2019. 19 с.

5. ДСТУ 8066:2015. Корми для сільськогосподарських тварин. Методи визначення енергоємності і поживності. [Чинний від 2017-01-01]. Київ : УкрНДНЦ, 2018. 15 с.



6. ДСТУ 8011:2015. Кормовиробництво. Терміни та визначення понять. [Чинний від 2017-01-01]. Київ : УкрНДНЦ, 2018. 28 с.
7. Лопатин Л. А. Малогабаритные комбикормовые агрегаты и их конструктивно-технологические схемы. *Основные направления развития техники и технологии в АПК: материалы и доклады VII Всероссийской науч.-практ. конф.* Княгино: НГИЭУ, 2016. С. 273-276.
8. Сабиев У. К. Интенсификация технологических процессов приготовления комбикормов в условиях сельскохозяйственных предприятий: *автореф. дис. ... д-ра техн. наук*: 05.20.01. Барнаул, 2012. 43 с.
9. Denkena B., Bouabid A., Kroedel A. Single grain grinding: a novel approach to model the interactions at the grain/bond interface during grinding. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2020. Vol. 107, № 11-12. P. 4811-4822. DOI: 10.1007/s00170-020-05219-8.
10. Kliuchnikov A. Development of new method of drying at energy-saving universal dryer to improve quality of crops used in fodder production. *18th International Scientific Conference Engineering for Rural Development*. 2019. DOI: 10.22616/ERDev2019.18.N125.
10. Kupchuk I. M., Solona, O. V., Derevenko I. A., Tverdokhlib I. V. Verification of the mathematical model of the energy consumption drive for vibrating disc crusher. *Inmateh-Agricultural Engineering*. 2018. Vol. 55(2). P. 113-120.
11. Gembicki J. Energy efficiency in the agricultural and food industry illustrated with the example of the feed production plant. *1st International Conference on the Sustainable Energy and Environment Development (Seed 2016)*. 2016. Vol. 10. № 00138. DOI: 10.1051/e3sconf/20161000138.
12. Нечаев В. Н. Влияние некоторых параметров на рабочий процесс дробилок зерна. *Вестник НГИЭИ*. 2015. №6 (49). С. 67-73.
13. Акименко А. В. Разработка и обоснование конструктивных и режимных параметров малогабаритной дробилки фуражного зерна: *автореф. дис. ... канд. техн. наук*: 05.20.01. Воронеж, 2011. 19 с.
14. Куценко Ю. М. Вибір та обґрунтування роботи молоткової дробарки А1-ДМ2Р-55. *Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України*. Харків : ХНТУСГ, 2014. Вип. 153. С. 98-100.
15. Созонтов А. В., Лопатин Л. А. Исследование и оптимизация рабочего процесса дробилки зерна ударного действия. *Вестник НГИЭИ*. 2018. № 6 (85). С. 27-36.
16. 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.



17. Назарьян Г. Н., Постникова М. В., Карпова А. П. Решение задач оптимизации объектов исследования методом планирования математического эксперимента. Мелитополь : Люкс, 2012. 68 с.

18. Постнікова М. В. Розробка науково-обґрунтованих норм енергоємності при обробці зерна на зернопунктах. *Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут"*. Тематичний збірник наукових праць «Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика». Харків, 2008. № 30. С. 511-512.

19. Постникова М. В., Дидур В. А., Масюткин Е. П., Масловский В. А. Научное обоснование удельных расходов электроэнергии при очистке зерна методом математического планирования эксперимента. *Праці інституту електродинаміки НАН України*. Київ, 2008. Вип. 19. С. 94-98.

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ ЗЕРНА ДЛЯ КОМБІКОРМІВ

Постнікова М.В.

Анотація

У статті досліджувався технологічний процес подрібнення зерна для комбікормів молотковою дробаркою ДБ-5-1. При дослідженні вперше встановлені основні фактори, які впливають на величину питомих витрат електроенергії при подрібненні зерна для комбікормів, які є найбільш інформативним показником енергоефективності технологічного процесу подрібнення зерна.

Вперше розроблений теоретичний метод перебудови математичної моделі молоткової дробарки, який оснований на використанні математичного апарату і методики класичної теорії планування експерименту.

Теоретичні розрахунки підтвердили адекватність математичної моделі і ефективність використання методу багатофакторного математичного експерименту. Дослідження мають теоретичне і практичне значення і є основою для розробки науково-обґрунтованих норм електроспоживання технологічного процесу подрібнення зерна.

Ключові слова: електропривод, економія електроенергії, енергоємність, багатофакторний експеримент, оптимізація питомих витрат електроенергії.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЗЕРНА ДЛЯ КОМБИКОРМОВ

Постникова М.В.

Аннотация

В статье исследовался технологический процесс измельчения зерна для комбикормов молотковой дробилкой ДБ-5-1. При исследовании впервые установлены основные факторы, влияющие на величину удельных затрат электроэнергии при измельчении зерна для комбикормов, которые являются наиболее информативным показателем энергоэффективности технологического процесса измельчения зерна.



Впервые разработан теоретический метод перестройки математической модели молотковой дробилки, основанный на использовании математического аппарата и методики классической теории планирования эксперимента.

Теоретические расчеты подтвердили адекватность математической модели и эффективность использования метода многофакторного математического эксперимента. Исследования имеют как теоретическое, так и практическое значение, и являются основой для разработки научно-обоснованных норм электропотребления технологического процесса измельчения зерна.

Ключевые слова: электропривод, экономия электроэнергии, энергоемкость, многофакторный эксперимент, оптимизация удельных расходов электроэнергии.

ENERGY EFFICIENCY OF TECHNOLOGICAL PROCESS OF GRINDING GRAIN FOR COMPOUND FEED

M. Postnikova

Summary

With the increase in energy tariffs, measures to improve the energy efficiency of agricultural facilities is becoming a priority for many owners of livestock farms.

The economic situation in Ukraine is becoming a real stimulus for the introduction of modern technologies aimed at reducing the use of energy resources by agricultural enterprises.

Substantiation of rational technological parameters of the technological process of grain grinding for compound feeds and rational energy parameters of crushers, which together increase the efficiency of compound feed preparation is an urgent scientific and applied task for the development of the livestock industry.

The technological process of grain grinding for compound feeds with the hammer crusher DB-5-1 was investigated. The study identified the main factors that affect the amount of specific electricity consumption during grain grinding for feed, which is the most informative indicator of energy efficiency of the technological process of grain grinding.

The influence of the main factors on the technological process was first established by means of a multifactor mathematical experiment.

For the first time a theoretical method of reconstruction of the mathematical model of the hammer crusher was developed, which is based on the use of the mathematical apparatus and methods of the classical theory of experimental planning. This allowed us to obtain a regression equation to determine the specific consumption of electricity depending on the factors.

Theoretical calculations confirmed the adequacy of the mathematical model and the effectiveness of the method of multifactor mathematical experiment. The accuracy of calculations is 3 %. Research has theoretical and practical significance, as it is the basis for the development of scientifically sound standards of electricity consumption of the technological process of grain grinding.

Key words: electric drive, energy saving, energy consumption, multifactor experiment, optimization of specific electricity consumption.