

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ  
ЗАЛЕЖНОСТІ ПРОДУКТИВНОСТІ ШНЕКОВОГО ТРАНСПОРТЕРУ  
В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ЗНАЧЕННЯ ЧАСТОТИ ПЕРЕТВОРЮВАЧА  
ALTIVAR 32 ТА КУТА НАХИЛУ ШНЕКУ**

Хандола Ю. М., Сорокін М. С., Сухін В. В., Назаренко О. Ю.

*Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка*

*В статті представлено функціональну залежність продуктивності шнекового транспортера в залежності від значення частоти перетворювача Altivar 32 і кута нахилу шнеку, отриману на основі повнофакторного дослідження та рівняння множинної степеневої регресії.*

**Постановка проблеми.** Сучасний стан розвитку виробництва характеризується широким застосуванням електрифікованих машин і агрегатів. Агропромисловий комплекс України є потужним споживачем електроенергії на виробничі потреби. Найбільшу кількість електроенергії в агропромисловому виробництві – біля 70 % – споживає електропривод. Всі стаціонарні робочі машини та значна кількість мобільних приводяться електродвигунами [1].

З кожним роком, вартість електричної енергії постійно збільшується.

Виходячи з цього, постає завдання пошуку шляхів підвищення ефективності функціонування та зменшення енергоспоживання електроприводів робочих машин АПК.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Виходячи з аналізу літературних джерел, можна визначити наступні шляхи енергозбереження в електроприводі:

- енергозбереження на стадії проектування, що передбачає удосконалення алгоритмів вибору електричних двигунів для конкретних установок;
- перехід на енергозберігаючі електродвигуни, в яких за рахунок збільшення маси активних матеріалів підвищені номінальні значення коефіцієнта корисної дії  $\cos\varphi$ ;
- забезпечення раціональних режимів роботи електродвигуну, при яких створюються спеціальні додаткові технічні засоби, що забезпечують у нерегульованому електроприводі мінімізацію шкідливого впливу відхилення навантаження від номінального на енергетичні показники;
- виключення необґрунтованих режимів холостого ходу;
- перехід від нерегульованого електроприводу до регульованого [2].

На сучасному етапі з приведених шляхів досить широкого розповсюдження набув перехід від нерегульованого до регульованого керування електродвигуном. Даний варіант дає можливість використання математичних методів, які дозволяють визначити найліпші значення режимів роботи в системі регульованого електроприводу. Тому, проведення досліджень в даному напрямку є актуальним завданням.

**Мета статті.** Експериментальне визначення функціональної залежності продуктивності шнекового транспортера від частоти перетворювача Altivar 32 та кута нахилу шнеку відносно землі.

**Основні матеріали дослідження.** Розглядаючи процес перенесення зернової суміші в кожусі шнекового транспортера, проведемо експериментальне дослідження по визначенню функціональної залежності продуктивності шнеку в залежності від частоти напруги живлення електричного двигуна приводу і кута нахилу шнеку відносно землі  $Q(f, \varphi)$ . Перед початком планування дослідження, визначимо технічні параметри приладів та обладнання, що буде використовуватись в досліді. Шнековий транспортер: діаметр гвинта шнека  $d_1 = 0,08$  м, діаметр вала  $d_2 = 0,03$  м, довжина шнека  $l = 1,32$  м і крок шнека  $s = 0,08$  м. Електричний двигун приводу: тип АОЛ 21-4, номінальна потужність  $P_H = 270$  Вт, схеми з'єднання обмоток статора  $\Delta/Y$  220/380 В, синхронна частота  $n_1 = 1500$  об/хв, номінальний коефіцієнт потужності  $\cos\varphi_H = 0,75$ , номінальний коефіцієнт корисної дії  $\eta_H = 66\%$ , струм статора в залежності від схеми з'єднання  $\Delta/Y$  1,43/0,83, А та діаметр вала  $d_{BAL} = 14$  мм. Ватметр: клас точності 0,5, номінальний струм  $I_H = 10$  А, номінальна напруга  $U_H = 300$  В. Частотний перетворювач Altivar 32: тип ATV32HU22M2, потужність і кількість фаз 2,2, kW – 3HP, вхідний параметр напруги  $U(\sim)220-240$  Ф1, вхідна частота напруги  $F(Hz)50/60$ , вхідний струм  $I(A)23,9$ max, вихідний параметр напруги  $U(\sim)0\dots220-240$  Ф3, вихідна частота напруги  $F(Hz)0\dots599$  та вихідний струм  $I(A)11$ . Далі встановимо, що в якості зернової суміші будемо використовувати пшеницю з об'ємною густиною  $\rho = 0,8$  т/м<sup>3</sup>. Після цього, проводимо планування експериментального дослідження з якого виходить, що параметром оптимізації виступає продуктивність шнеку  $Q$  т/год, а незалежними факторами є частота напруги живлення  $f$ , Гц і кут нахилу шнека  $\varphi^0$ . Визначаємо кількість дослідів, які потрібно провести за наступним виразом:

$$N = p^k, \quad (1)$$

де  $p$  – число рівнів факторів;  
 $k$  – число факторів.

$$N = 2^2 = 4$$

Сформуємо матрицю рівнів факторів та їх інтервалів варіювання табл.1.

Таблиця 1 – Матриця рівнів факторів та їх інтервалів варіювання

Найменування і позначення факторів	Рівні факторів			Інтервали варіювання
	-1	0	+1	
Частота напруги живлення – $x_1$ , Гц	15	25	35	10
Кут нахилу шнеку відносно землі – $x_2$ , °	5	10	15	5

Частота напруги живлення  $x_1$ , Гц, змінюється частотним перетворювачем Altivar 32. Кут нахилу шнека  $x_2$ , °, регулюється певною конструкційною установкою шнеку. Для зменшення впливу випадкової похибки, робота виконується в один і той же час доби, одним дослідником. Кількість паралельних дослідів в експерименті  $m = 4$ . Далі, проводимо кодування факторів шляхом лінійного перетворення координат факторного простору, використовуючи наступний вираз:

$$x_i = \frac{c_i - c_{0i}}{\varepsilon}, \quad (2)$$

де  $c_i$  – натуральне значення фактору поточного рівня;

$c_{0i}$  – натуральне значення фактору на нульовому рівні;

$\varepsilon$  – натуральне значення інтервалу варіювання факторів.

Після цього, будемо матрицю планування експерименту, яка матиме наступний вигляд табл. 2.

Таблиця 2 – Матриця планування експерименту  $2^2$

№ дослідів	$x_1$	$x_2$	$y$
1	-1	-1	$y_1$
			$y_2$
			$y_3$
			$y_4$
2	+1	+1	$y_1$
			$y_2$
			$y_3$
			$y_4$
3	-1	+1	$y_1$
			$y_2$
			$y_3$
			$y_4$
4	+1	-1	$y_1$
			$y_2$
			$y_3$
			$y_4$

Після формування плану експерименту проводимо його виконання, застосовуючи технічне оснащення описане в статті вище. Процес дослідів представлений на рис. 1.



Рисунок 1 – Лабораторне дослідження шнекового транспортеру

В результаті виконання дослідів, отримані наступні значення параметру оптимізації занесені до табл. 3.

Таблиця 3 – Матриця планування експерименту з результатами дослідження

№ дослідів	$x_1$	$x_2$	$y$	$y_{cp}$
1	-1	-1	1,52	1,530
			1,55	
			1,51	
			1,54	
2	+1	+1	2,90	2,905
			2,89	
			2,91	
			2,92	
3	-1	+1	1,21	1,228
			1,22	
			1,23	
			1,25	
4	+1	-1	3,70	3,705
			3,69	
			3,71	
			3,72	

Далі, проведемо статистичну обробку отриманих значень. Спочатку визначаємо похибки результатів паралельних дослідів. Для цього, визначимо дисперсії для кожного дослідів:

$$S_i^2 = \frac{\sum_1^N (y_i - \bar{y})^2}{m-1}, \quad (3)$$

де  $y_i$  – значення параметру оптимізації в паралельному досліді;

$\bar{y}$  – середнє арифметичне значення параметру оптимізації в досліді.

Тоді, дисперсії похибок паралельних дослідів будуть наступними:  $S_1^2 = 0,0003$ ,  $S_2^2 = 0,0002$ ,  $S_3^2 = 0,0003$ ,  $S_4^2 = 0,0002$ . Після цього, з отриманих значень визначимо середньоквадратичне відхилення для кожного досліду за наступним виразом:

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_1^N (y_i - \bar{y})^2}{m-1}} \quad (4)$$

Відповідно до цього, середньоквадратичні відхилення по кожному досліді приймуть наступні значення:  $S_1 = 0,0182$ ,  $S_2 = 0,013$ ,  $S_3 = 0,0182$ ,  $S_4 = 0,013$ . Наступним етапом визначимо брак в досліді застосовуючи критерій Стюдента, який має наступний вигляд:

$$\frac{y - \bar{y}}{S_i} \geq t, \quad (5)$$

де  $t$  – критерій Стюдента.

$$t_{PO3} \geq t_{ТАБЛ} \quad (6)$$

де  $t_{PO3}$  – розрахункове значення критерія Стюдента;

$t_{ТАБЛ}$  – табличне значення критерія Стюдента, яке для ймовірності 0,95 та 4 паралельних дослідів складає 3,18.

За приведеними нерівностями для кожного з дослідів перевіримо дані за критерієм Стюдента. Для цього, з певного досліді обираємо міні тах значення з паралельних даних та значення середньоквадратичного відхилення з цього ж досліді, тоді маємо наступне: перший дослід  $-1,1 \geq 3,18$ ,  $1,1 \geq 3,18$  – критерій не виконується, відповідно результат паралельних дослідів не є помилковим, другий дослід  $-1,2 \geq 3,18$ ,  $1,2 \geq 3,18$  – критерій не виконується, результат паралельних дослідів не є помилковим, третій дослід  $-1 \geq 3,18$ ,  $1,21 \geq 3,18$  – критерій не виконується, результати паралельних дослідів не помилкові та четвертий дослід  $-1,2 \geq 3,18$ ,  $1,2 \geq 3,18$  – критерій не виконується, як і у попередніх, результат паралельних дослідів не помилковий. Наступним проведемо визначення дисперсії відтворюваності за наступною формулою:

$$s_{\{y\}}^2 = \frac{\sum_1^N S_i^2}{N}, \quad (7)$$

де  $N$  – кількість дослідів в експерименті.

$$s_{\{y\}}^2 = 3 \cdot 10^{-8}$$

Далі, проводимо перевірку однорідності дисперсій за критерієм Фішера та Кохрена. Однорідність за Фішером перевіряється наступним чином:

$$F_{PO3} = \frac{S_{\max}^2}{S_{\min}^2}, \quad (8)$$

$$F_{PO3} < F_{ТАБЛ}, \quad (9)$$

де  $F_{ТАБЛ}$  – табличне значення критерія Фішера, яке для ймовірності 0,95 і числу степенів свободи меншої та більшої дисперсії  $f = 3$  складає 9,28.

Виходячи з цього,  $1,5 < 9,28$ , таким чином критерій виконується і дисперсії однорідні. Однорідність за Кохреном перевіряється наступним чином:

$$G = \frac{S_{\max}^2}{\sum_1^N S_i^2}, \quad (10)$$

$$G < G_{ТАБЛ}, \quad (11)$$

де  $G_{ТАБЛ}$  – табличне значення критерія Кохрена, яке при числу степенів свободи  $f = 3$  та числу дисперсій  $N = 4$ , складатиме 0,3.

Таким чином,  $0,3 < 0,68$ , критерій Кохрена виконується, дисперсії однорідні. Наступним кроком є формування математичної моделі процесу. Для цього використаємо рівняння множинної степеневої регресії, яке прийме наступний вигляд:

$$y = b_0 \cdot x_1^{b_1} \cdot x_2^{b_2} \quad (12)$$

де  $b_0$  – вільний коефіцієнт;  
 $b_1, b_2$  – лінійні коефіцієнти.

Далі, перетворимо рівняння степеневої регресії на лінійне за рахунок логарифмування та заміни змінних.

Використовуючи метод найменших квадратів, визначаємо коефіцієнти рівняння, які приймуть наступні значення:  $b_0 = 1,133$ ,  $b_1 = 1,030$ ,  $b_2 = -0,211$ . З урахуванням дисперсії відтворюваності  $s_{\{y\}}^2 = 3 \cdot 10^{-8}$  з довірчою ймовірністю 0,95, знаходимо границі довірливих інтервалів для коефіцієнтів регресії:

$$\Delta b_i = \pm \frac{t \cdot s_{\{y\}}}{\sqrt{N}}, \quad (13)$$

$$\Delta b_i = \pm \frac{3,18 \cdot 0,0002}{\sqrt{4}} = \pm 0,00032 \quad (14)$$

Порівнявши значення коефіцієнтів регресії з границями довірливих інтервалів, всі коефіцієнти є значимими, і рівняння прийме наступний вигляд:

$$y = 0,133 \cdot x_1^{1,030} \cdot x_2^{0,211} \quad (15)$$

Отримане рівняння перевіримо на адекватність. Для цього, визначивши середньоквадратичне значення похибки між середнім значенням експерименту і теоретичним значенням моделі, визначимо дисперсію адекватності та критерій Фішера, тоді будемо мати наступне:  $S_{Ад}^2 = 0,001$  і  $1,183 < 9,28$ . На основі цих даних модель є адекватною[3]. Графічна функціональна залежність за цим рівнянням представлена на рис. 2.

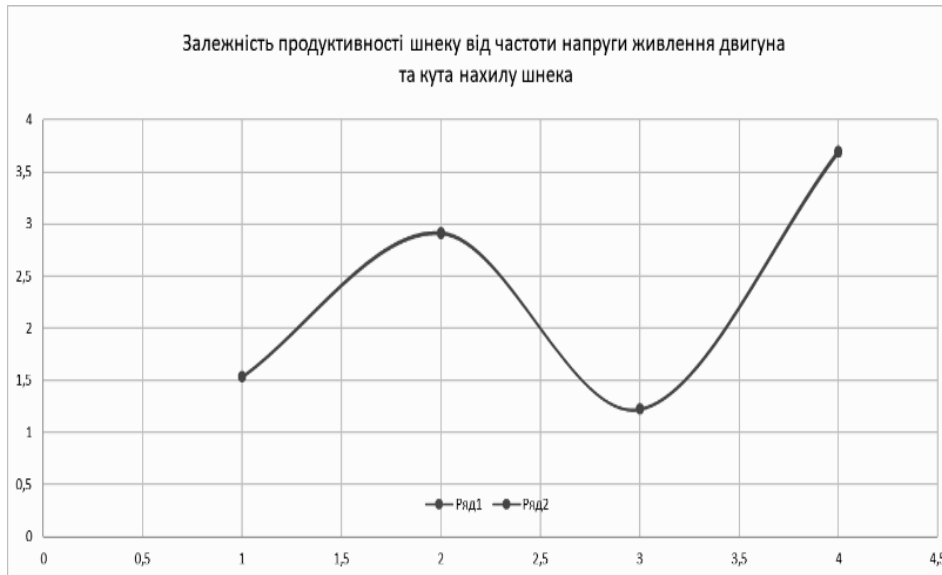


Рисунок 2 – Графічна форма рівняння регресії

**Висновок.** В результаті виконання дослідження було отримано функціональну залежність  $Q(f, \varphi)$  при якій найбільше значення продуктивності складатиме  $Q = 3,705$  т/год, а значення факторів  $x_1 = 35$  Гц, і  $x_2 = 5^\circ$ . При даних параметрах, електрична потужність споживана двигуном складатиме  $P = 180$  Вт, що на 33 % менше його номінального споживання.

#### Список використаних джерел

1. Лаврінченко Ю. М. Основи електроприводу / Лаврінченко Ю. М., Синявський В. В., Савченко В. В.; за редакцією Ю. М. Лаврінченка. – К.: 2010. – 409 с.
2. Електропривод / [Лаврінченко Ю. М., Марченко О. С., Савченко П. І., Синявський О. Ю. та ін.]; під ред. Ю. М. Лаврінченка. – К.: Видавництво "Ліра-К", 2009. – 504 с.
3. Румшицкий Л. З. Математическая обработка результатов экспериментов / Румшицкий Л. З.; Справочное пособие. – М.: Наука, 1971. – 192 с.

#### Аннотация

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ШНЕКОВОГО ТРАНСПОРТЕРА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЗНАЧЕНИЯ ЧАСТОТЫ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ALTIVAR 32 И УГЛА НАКЛОНА ШНЕКА**

Хандола Ю. Н., Сорокин М. С., Сухин В. В., Назаренко О. Ю.

*В статье представлено функциональную зависимость производительности шнекового транспортера в зависимости от значения частоты преобразователя Altivar 32 и угла наклона шнека, полученную на основе полно факторного опыта и уравнения множественной степенной регрессии.*

#### Abstract

**EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE FUNCTIONAL DEPENDENCE OF PERFORMANCE OF THE MASS TRANSPORTOR IN DEPENDENCE FROM VALUE OF FREQUENCY TRANSMITTER ALTIVAR 32 AND KUTTA ATTITUDE SHNEKU**

Y. Khandola, M. Sorokin, V. Sukhin, O. Nazarenko

*The article presents the functional dependence of the performance of the screw conveyor in dependence on the value of the frequency of the converter Altivar 32 and the angle of inclination of the screw, obtained on the basis of a full-factor experiment and the equation of multiple power regression.*