

МЕТОДИКА І РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕНЕРГООЩАДНОГО ВІБРАЦІЙНОГО ДОЗАТОРА СИПКИХ КОРМІВ

Степан Хімка, к. т. н., Маркіян Гошко, к. т. н., Іван Дробот,
Валерій Сиротюк, к. т. н.

*Львівський національний аграрний університет,
вул. Володимира Великого, 1, м. Дубляни, Жовківський р-н,
Львівська обл., Україна,
e-mail: stepanhimka@gmail.com*

<https://doi.org/10.31734/agroengineering2019.23.026>

Хімка С., Гошко М., Дробот І., Сиротюк В. Методика і результати експериментальних досліджень енергоощадного вібраційного дозатора сипких кормів

Огляд теорій дозування дав змогу запропонувати схему і конструкцію вібраційного дозатора, робочий орган якого виконаний у вигляді конуса, що встановлений у нижній частині живильного бункера, на стрижні. Робочий орган у статичному режимі перекидає вихідну горловину і запобігає вільному витіканню корму. Під час урухомлення робочого органа за допомогою електромагнітного вібратора і постійного магніту подача буде здійснюватися за рахунок зміни фізико-механічних властивостей, а саме за рахунок зменшення коефіцієнта внутрішнього тертя.

Метою досліджень є підтвердження адекватності результатів теоретичних досліджень порівнянням параметрів коливань, отриманих теоретичним способом.

Для проведення досліджень вібраційного дискового дозатора ми розробили експериментальну установку, на якій передбачено наявність засобів регулювання, вимірювання, реєстрації, передачі, обробки та зберігання інформації. Установка охоплює апаратну складову і програмне забезпечення.

Вірогідність результатів теоретичних досліджень, зокрема подачі дозатора, порівнювали з експериментально отриманою подачею зі заданими значеннями параметрів і режимів роботи, відхилення експериментально отриманих значень подачі від теоретичних не перевищують вимог, допустимих на точність дозування.

Визначено вагомості факторів, що впливають на подачу дозатора, з використанням методики відсівного експерименту. З діаграми рівня значущості факторів, виділених методом випадкового балансу за критерієм Стьюдента, видно, що фактори x_1 , x_2 та x_4 (відповідно круговий зазор, утворений горловиною бункера і робочим органом, амплітуда коливань і кут внутрішнього тертя корму) є значущими з 95 %-вою вірогідністю. Вплив решти факторів малозначущий.

Рівняння регресії в розкодованому вигляді дозволяє розрахунковим способом налаштувати подачу дозування комбікормів вібраційним дозатором за вибору значень розглянутих факторів, які лежать в області експерименту.

На основі рівняння регресії побудовано поверхні відгуку залежності, близькі до лінійних, з яких видно, що за збільшення факторів збільшується подача і навпаки.

Ключові слова: вібраційний дозатор, критерії оптимізації, фактор, подача, діаграма розсіювання результатів.

Khimka S., Hoshko M., Drobot I., Sirotiuk V. Methods and results of experimental research on energy saving fluid feeder

Having reviewed the theories of dosage, the authors of the research propose a scheme and design of a vibrating dispenser with the working body, which is made in the form of a cone, mounted in the lower part of the feed hopper, on the rods. In the static mode, the working body closes the output neck and prevents the free flow of feed. During the collapse of the working body with the help of an electromagnetic vibrator and a permanent magnet, the feed will be made by changing the physical and mechanical properties, namely by reducing the coefficient of internal friction.

The purpose of the research is to confirm the adequacy of the results of theoretical studies by comparing the oscillation parameters, obtained in a theoretical way.

For the research of the vibrating disk dispenser, we have developed an experimental facility, which provides for the means of regulation, measurement, registration, transmission, processing and storage of information. The installation covers the hardware component and the software.

The reliability of the results of theoretical studies, in particular the feeder dosage, was compared to the experimentally obtained feed with the set values of parameters and modes of operation. Deviations of the experimentally obtained feed values from the theoretical do not exceed the requirements of the permissible dosage accuracy.

The weights of the factors, influencing the feed of the dispenser, were determined using the screening experiment technique. The chart of significance of the level of the factors, selected by the Student's random balance method, demonstrates that the factors x_1 , x_2 and x_4 (the circular gap formed by the hopper neck and the working body, the oscillation amplitude, and the internal friction angle of the feed respectively) are significant with 95 % probability. The impact of the other factors is insignificant.

The regression equation in its decoded form supplies use of the calculated method to adjust the feed dosage of the compound feed with a vibrating dispenser by selecting the values of the considered factors that lie within the area of the experiment.

Basing on the regression equation, the response surfaces of the dependences are close to linear ones, which show that increase of the factors causes increase of the feed, and vice versa.

Key words: vibration dispenser, optimization criteria, factor, flow, scatterplot.

Постановка проблеми. Огляд теорій дозування [1–5; 7; 8; 16–18], проведений нами, дав змогу запропонувати схему і конструкцію вібраційного дозатора, робочий орган якого виконаний у вигляді конуса, що встановлений у нижній частині живильного бункера, на стрижні. Робочий орган у статичному режимі перекриває вихідну горловину і запобігає вільному витіканню корму [11]. Під час урухомлення робочого органа за допомогою електромагнітного вібратора і постійного магніту подача здійснюватиметься за рахунок зміни фізико-механічних властивостей, а саме за рахунок зменшення коефіцієнта внутрішнього тертя [14].

Потрібно провести експериментальне дослідження, яке є критерієм істинності, перевірити працездатність і межі стійкості роботи системи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У статті [14] наведено спосіб теоретичного визначення подачі вібраційного дозатора з крутильними коливаннями робочого органа. У працях [12; 13] наведено методику й апаратні засоби для експериментальних досліджень режимів роботи енергоощадного вібраційного дозатора сипких кормів. Але в літературі ми не знаходимо результатів експериментальних досліджень вібраційних дозаторів із крутильними коливаннями робочих органів.

Постановка завдання. Показати методику і результати досліджень та визначити вагомість факторів методом відсівного експерименту і їх вплив на подачу дозатора на підставі багатфакторного планованого експерименту.

Виклад основного матеріалу. Для проведення досліджень вібраційного дискового дозатора зроблено експериментальну установку, на якій передбачено наявність засобів регулювання, вимірювання, реєстрації, передачі, обробки та зберігання інформації (рис. 1). Установка охоплює апаратну складову частину і програмне забезпечення.

Апаратна частина (рис. 2, 3) експериментальної установки виконана таким чином, що забезпечує керовану зміну жорсткості стрижня-торсіона, моменту інерції рухомої частини, зазору між робочим органом і горловиною бункера, амплітуду й частоту вимушених коливань.

Жорсткість стрижня регулюємо зміною його довжини. Момент інерції рухомої частини змінюємо за допомогою заміни диска або заміною основи диска різної товщини [13].

Кріплення бункера дозволяє регулювати зазор між робочим органом, який жорстко закріплений на нижньому кінці стрижня, і вихідною горловиною бункера.

Рис. 1. Схема дослідної установки:

- 1 – бункер; 2 – стрижень;
- 3 – кругова телескопічна заслінка; 4 – робочий орган;
- 5 – циліндрична частина робочого органа;
- 6 – генератор сигналів; 7 – підсилювач потужності вихідного сигналу;
- 8 – пристрій для збудження (електромагніт); 9 – плата входу/виходу USB 6008;
- 10 – ЕОМ; 11 – показчик амплітуди (лазерна указка і лінійка); 12 – давач витрати (місток із тензодавачів на гнучкій ресорі); 13 – електронна вага

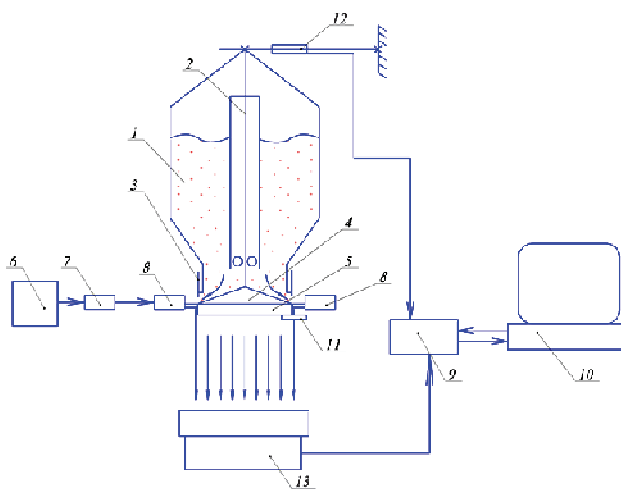


Fig. 1. Scheme of the experimental setup: 1 – bunker; 2 – rod; 3 – circular telescopic shutter; 4 – working body; 5 – cylinder part of the working body; 6 – signal generator; 7 – power amplifier of the output signal; 8 – device for excitation (electromagnet); 9 – board I/O USB 6008; 10 – computer; 11 – amplitude pointer (laser pointer and ruler); 12 – flow gauge (bridge of strain gages on flexible spring); 13 – electronic weight

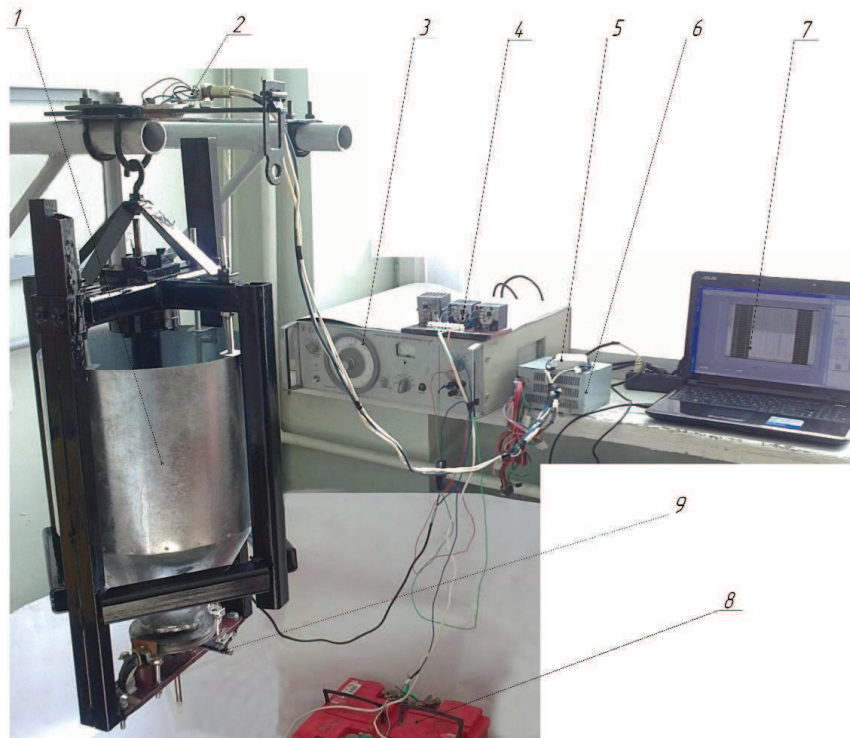


Рис. 2. Дослідна установка: 1 – дозатор; 2 – тензометричний давач подачі;
3 – генератор сигналів; 4 – плата підсилення сигналу; 5 – блок вводу/виводу інформації USB 6008;
6 – блок живлення; 7 – ПК; 8 – акумуляторна батарея;
9 – лазерний пристрій відображення амплітуди коливань

Fig. 2. Experimental installation: 1 – dispenser; 2 – strain gauge feeder;
3 – signal generator; 4 – signal amplification board; 5 – I / O circuit board USB 6008;
6 – power supply; 7 – PC; 8 – the rechargeable battery;
9 – laser device for displaying the amplitude of oscillations

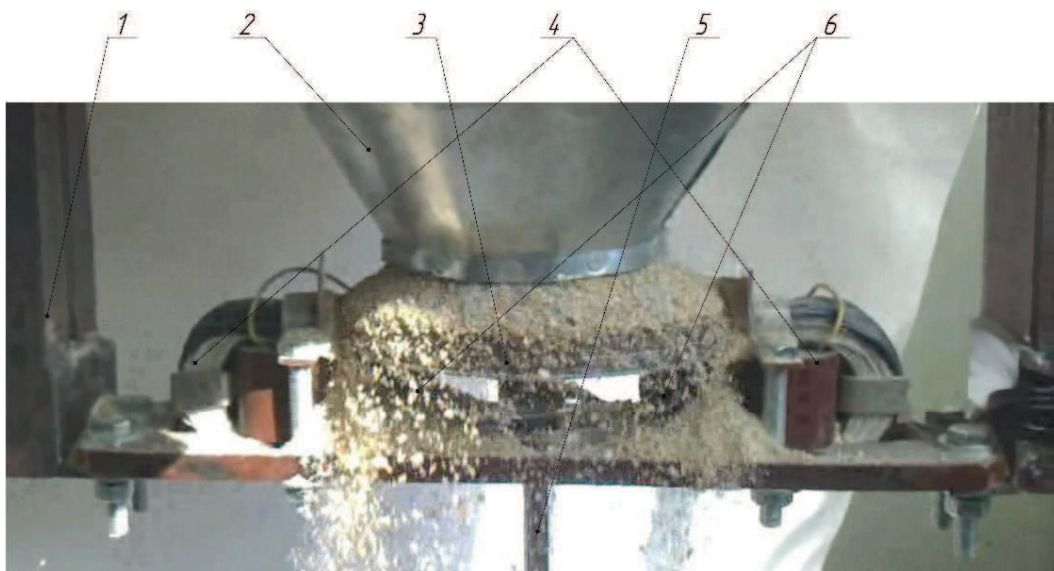


Рис. 3. Елементи робочої частини дозатора:
1 – рама; 2 – бункер; 3 – робочий орган; 4 – електромагніти; 5 – стрижень; 6 – постійні магніти

Fig. 3. Elements of the working part of the dispenser: 1 – frame; 2 – hopper;
3 – working body; 4 – electromagnets; 5 – core; 6 – permanent magnets.

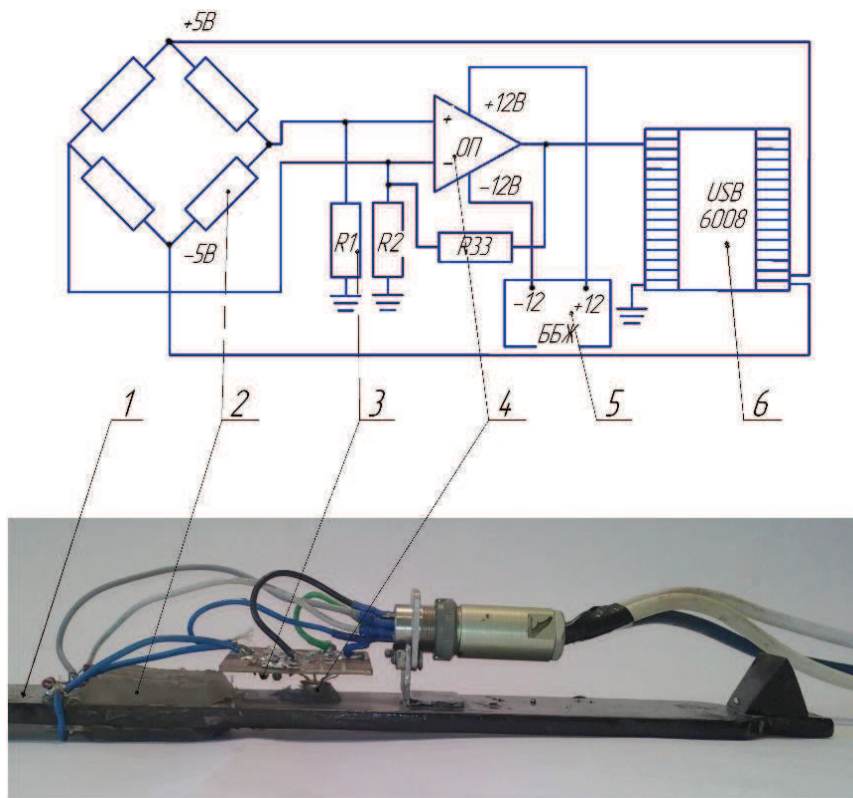


Рис. 4. Елементи давача подачі: 1 – пружний елемент; 2 – тензометричний давач; 3 – резистори зворотного зв’язку; 4 – операційний підсилювач; 5 – джерело живлення; 6 – блок вводу/виводу USB 6008

Fig. 4. Elements of sensor supply: 1 – elastic element; 2 – strain gauge; 3 – feedback resistors; 4 – operational amplifier; 5 – power supply; 6 – board I / O USB 6008

Також на робочому диску встановлений «давач амплітуди», який складається з лазерної указки та лінійки. Подачу дозатора і рівномірність вимірювали за допомогою давача витрати, який складається з тензодавачів, що закріплені на гнучкій ресорі за мостовою схемою з обох боків ресори (зверху і знизу), і зі збільшенням витрати деформація ресори зменшується, зменшується й деформація тензодавачів, які через підсилювач подають сигнал на плату вводу/виводу USB 6008 [15; 19]. Контрольні заміри подачі проводили за допомогою електронної ваги.

Рівномірність і подачу дозатора вимірюємо за допомогою давача витрати (рис. 4), який являє собою місток з тензодавачів, наклеєний на гнучкій ресорі [6; 9; 10; 20].

Подача дозатора виражається у вигляді [14]:

$$Q = \frac{1}{2} g (\sin \varphi_i - \cos \varphi_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_1) \cdot \sqrt{\frac{2(R_p - R_c)}{g (\sin \varphi_i - \cos \varphi_i \cdot \operatorname{tg} \varphi_1) \cdot \cos \varphi_i}} \times 2\pi R_c \cdot (R_p - R_c) \cdot (\operatorname{tg} \varphi_0 - \operatorname{tg} \varphi_1) \cdot \rho \cdot \cos \varphi_i \quad (1)$$

де R_p – радіус основи, м; φ_0 – статичний кут природного відкосу сипкого корму, рад; φ_i – біжуче значення кута площини зсуву, рад; h_3 – висота кільцевого зазору, м; φ_1 – кут внутрішнього тертя корму, псевдорозрідженого вібрацією, рад; ρ – густина сипкого матеріалу, кг/м³.

Вірогідність результатів теоретичних досліджень, зокрема подачі дозатора, визначеної за формулою (1), порівнювали з експериментально отриманою подачею зі заданими значеннями параметрів і режимів роботи на рис. 5 [17].

Першим етапом експериментальних досліджень було визначення вагомості факторів, що впливають на подачу дозатора, з використанням методики відсівного експерименту [17]. Перед тим як побудувати матрицю відсівного експерименту, здійснено вибір факторів та їх рівнів варіювання і проведено кодування знаками (+) і (-) (див. табл. 1), а критерій оптимізації – подача дозатора.

Значення критерію оптимізації, одержане на основі усереднення результатів триразової повторності проведених досліджень, наведено у табл. 2 згідно з розробленою матрицею відсівного експерименту (рис. 6).

На рис. 7 зображена діаграма ефектів, виділених методом випадкового балансу за визначення впливу факторів на процес дозування. Ця діаграма дає наглядне уявлення про ступінь впливу кожного з п'яти факторів та дозволяє виділити з них найвпливовіші.

Значущість виділених факторів за t -критерієм подано у вигляді діаграми на рис. 8.

З діаграми рівня значущості факторів, виділених методом випадкового балансу за критерієм Стюдента, видно, що фактори x_1 , x_2 та x_4 (відповідно круговий зазор, утворений горловиною бункера і робочим органом, амплітуда коливань і кут внутрішнього тертя корму) є значущими з 95 %-вою вірогідністю. Вплив решти факторів є малозначущим.

Для визначення взаємозв'язку між факторами та критерієм оптимізації проведено повний трифакторний планований експеримент на трьох рівнях типу 3^k . Результати кодування занесено в табл. 3.

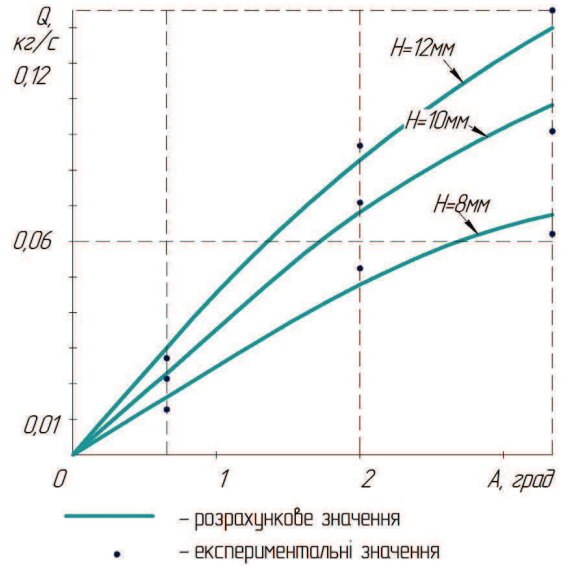


Рис. 5. Графік порівняння розрахункової та експериментальної подачі залежно від амплітуди коливань: H – круговий зазор між горловиною і робочим органом

Fig. 5. Graph of the comparison of calculated and experimental feed, depending on the amplitude of oscillations: H – circular gap between the neck and the working body

Таблиця 1. Фактори, що впливають на критерій оптимізації дозатора

Table 1. Factors that affect the optimization criterion of the doser

Фактор та його позначення	Рівень факторів	
	-1	+1
x_1 – круговий зазор h , м	0,008	0,012
x_2 – амплітуда коливань A , град	$0^{\circ}40'$	$3^{\circ}22'$
x_3 – кут нахилу диска, град	10	20
x_4 – кут природного відкосу α , град	51	49
x_5 – висота корму в бункері, м	0,2	0,6

Таблиця 2. Матриця відсівного експерименту зі значенням критерію оптимізації

Table 2. Matrix of sifting out experiment with the value of the optimization criterion

№ досліджу	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	Значення критерію оптимізації y , кг/с	Значення критерію оптимізації після коректування y' , кг/с
1	-	-	-	-	+	0,0125	0,0125
2	+	+	-	+	-	0,1182	0,0192
3	+	-	+	+	-	0,0240	-0,008
4	-	+	+	-	-	0,0602	-0,0068
5	-	-	-	+	-	0,0145	0,0145
6	+	-	+	-	+	0,0260	-0,006
7	+	+	-	-	+	0,1080	0,009

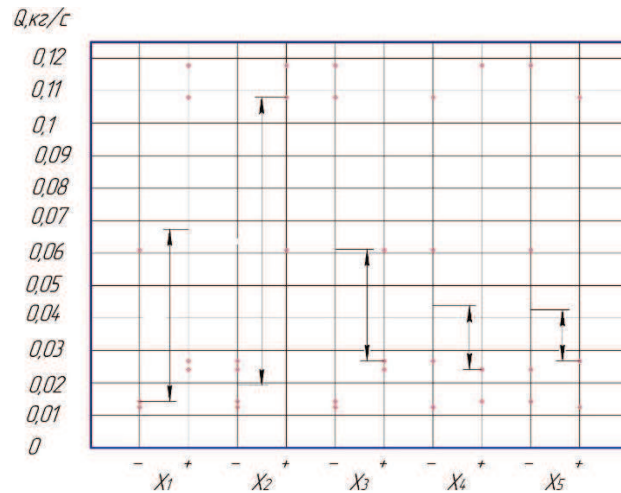


Рис. 6. Діаграма розсіяння результатів спостережень за рівнями факторів

Fig. 6. Diagram of dispersion of the results of observations of the levels of factors

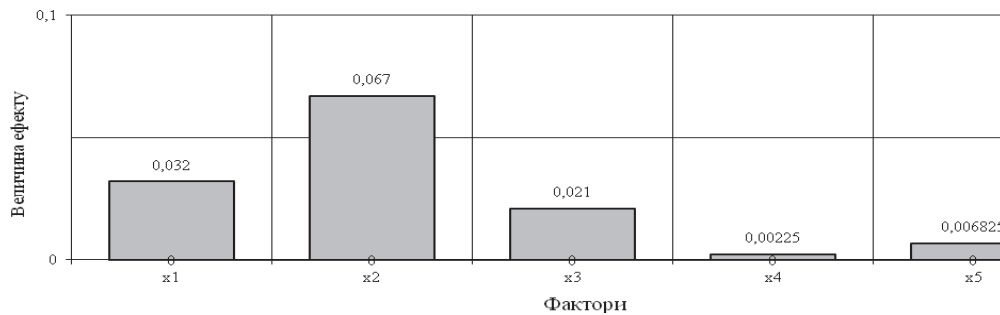


Рис. 7. Діаграма ефектів, виділених методом випадкового балансу під час визначення впливу факторів

Fig. 7. Diagram of effects of randomly selected balance while determining the factors' impact

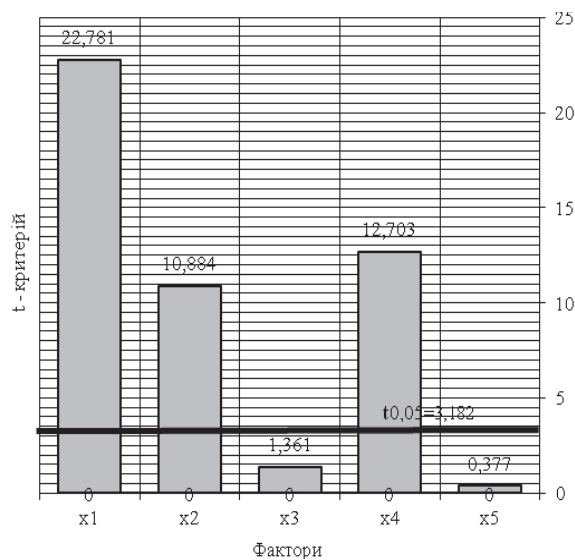


Рис. 8. Діаграма рівня значущості факторів, виділених методом випадкового балансу за критерієм Стьюдента

Fig. 8. Diagram of significance of the factors, selected by random balance by the Student's criterion

Таблиця 3. Межі зміни факторів та їх значення**Table 3.** Limits of change of the factors and their values

Фактор	Рівень факторів			Інтервал E
	нижній	нульовий	верхній	
	-	0	+	
x_1 – круговий зазор h , м	0,08	0,1	0,12	0,02
x_2 – амплітуда коливань A , град	0°40'	2°00'	3°20'	1°20'
x_3 – кут природного відкосу α , град	51	50	49	1

Провівши експеримент і отримавши дослідні дані, перевірили їх на відтворюваність. У результаті отримали рівняння

$$Y = 0,067 + 0,0169x_1 + 0,3466x_2 + 0,00063x_3 + 0,0185x_1x_2 + 0,00046x_1x_3 + 0,0003x_2x_3 - 0,00003x_1^2 - 0,0126x_2^2 - 0,004x_3^2. \quad (2)$$

Аналіз рівняння (2) дає підстави стверджувати, що на продуктивність найбільший вплив мають круговий зазор та амплітуда коливань. Нами було здійснено перевірку на адекватність рівнянь регресії за критерієм Фішера.

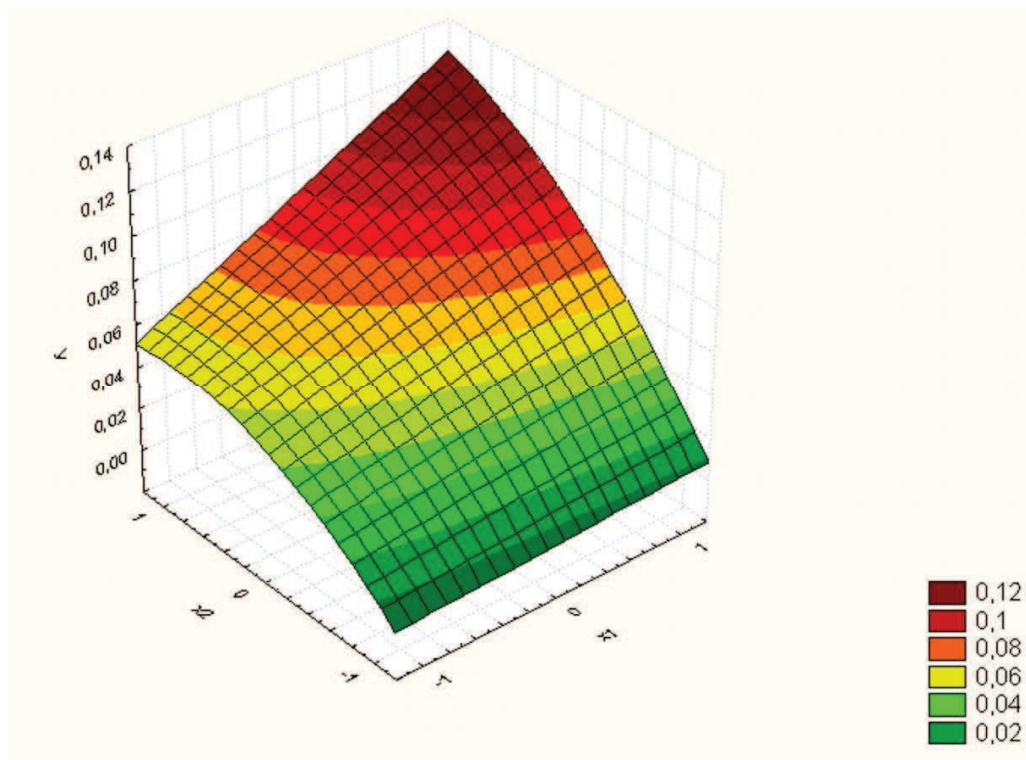
Згідно з рівнянням регресії половина коефіцієнтів є значущими, а решта малозначущими. У такому разі можна перейти від кодованих значень факторів x_1, x_2 і x_3 до їх натуральних значень:

$$Y = -4,96 - 1,24x_1 + 0,19x_2 + 0,66x_1x_2 - 0,0064x_2^2. \quad (3)$$

На основі рівняння (2) побудовано поверхні відгуку. Під час побудови поверхонь відгуку змінювались тільки два фактори, а третій залишався рівним нулю. Для цього нами використано програмне забезпечення Statistica 10.0.

Висновки. Як свідчать результати, наведені на рис. 5 відхилення експериментально отриманих значень подачі від теоретичних не перевищують вимог, допустимих на точність дозування.

Як видно з рис. 9 – 11, залежності близькі до лінійних, за збільшення факторів збільшується подача і навпаки.

**Рис. 9.** Поверхні відгуку $Q = f(h, A)$ **Fig. 9.** The response surfaces $Q = f(h, A)$

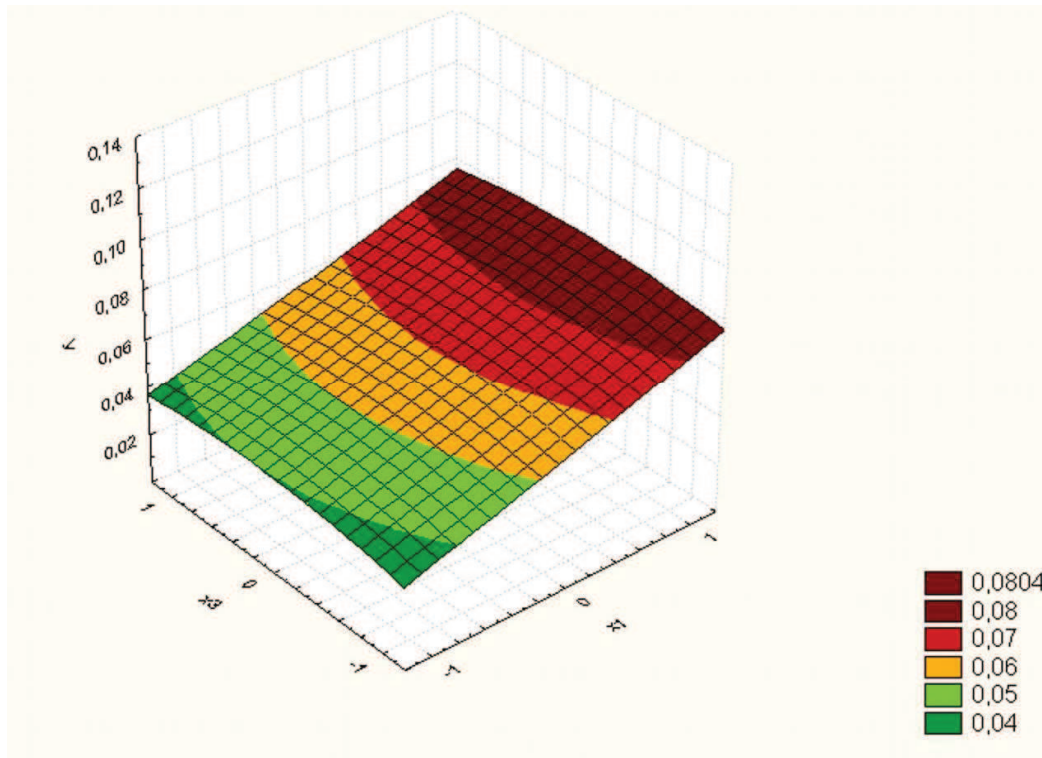


Рис. 10. Поверхні відгуку $Q = f(h, \alpha)$

Fig. 10. The response surfaces $Q = f(h, \alpha)$

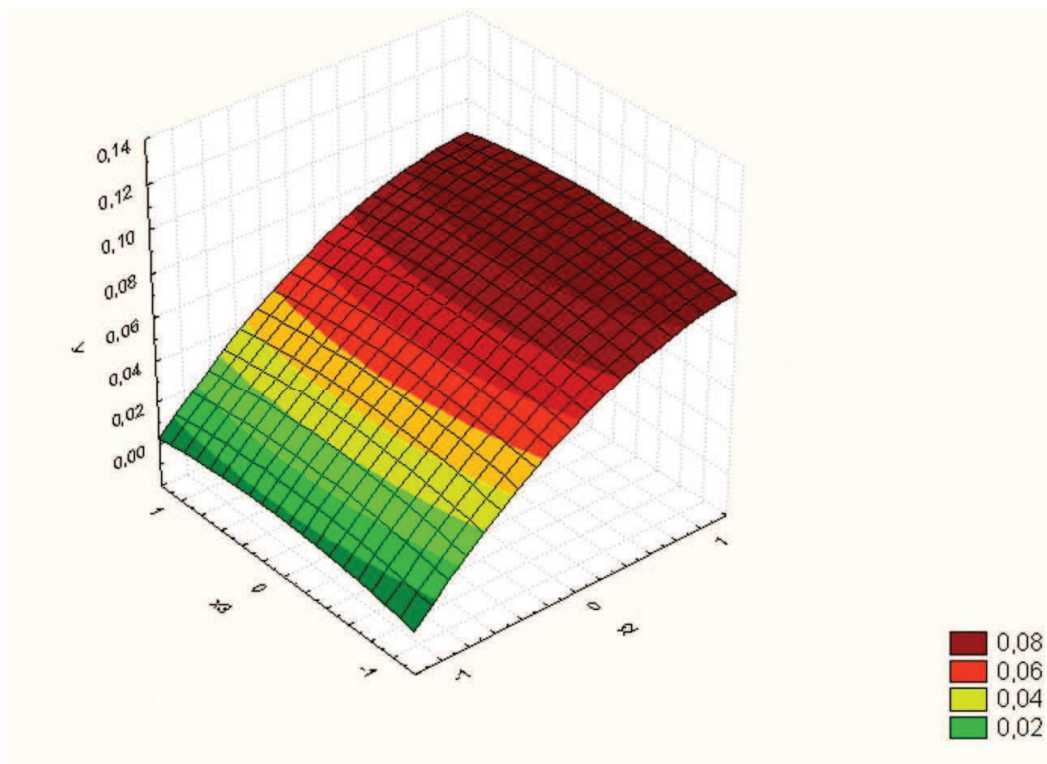


Рис. 11. Поверхні відгуку $Q = f(A, \alpha)$

Fig. 11. The response surfaces $Q = f(A, \alpha)$

Рівняння регресії (2) у розкодованому вигляді дає змогу визначити розрахунковим способом подачу дозування комбікормів вібраційним дозатором при виборі значень розглянутих факторів, які лежать в області експерименту. Область експерименту вибрана на підставі початкових дослідів, з яких визначали, що при зазорі, меншому від 2 мм, і амплітуді, що менша 40°, подача майже припиняється, при круговому зазорі близько 14 мм починається самовитікання корму.

Бібліографічний список

1. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування / О. В. Барало, П. Г. Самойленко, С. Є. Гранат, В. О. Ковальов. Київ: Аграрна освіта, 2010. 557 с.
2. Алешкин В. Р., Роцин П. М. Механизация животноводства. Москва: Агропромиздат, 1985. 334 с.
3. Артюшин А. А., Черкун В. Я. Методика регистрации и оценки расхода материалов при испытании машин. *Новое в методах испытаний тракторов и сельскохозяйственных машин*. Москва: ЦНИИТЭИ, 1976. Вып. 19. С. 137–145.
4. Бойко І. Г., Щур Т. Г. Аналіз конструкції дозаторів сипучих кормів і основний напрямок їх удосконалення. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства*. 2004. Вип. 29. С. 347–350.
5. Бойко І. Г., Щур Т. Г. Обґрунтування напрямків удосконалення конструктивних рішень дозаторів мікроелементів. *Збірник наукових праць УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого*. Дослідницьке, 2005. Вип. 8. С. 138–142.
6. Василега П. О., Муріков Д. В. Электропривод рабочих машин: навч. посіб. Суми: ВТД «Університетська книга», 2006. 228 с.
7. Вібраційний дисковий дозатор сипучих матеріалів: пат. 3957U UA 7A01K 5/02. Україна. № 200404261; заявл. 06.04.2004; опубл. 15.12.2004, Бюл. № 12.
8. Дозатор сипучих кормів: пат. 52059A UA 6A01K 5/02. № 2002010755; заявл. 30.01.02; опубл. 16.12.02, Бюл. № 12.
9. Иванов И. И., Лукин А. Ф., Соловьев Г. И. Электротехника. Основные положения, примеры и задачи. Санкт-Петербург: Лань, 2002. 192 с.
10. Мочернюк Ю. П., Голодняк Р. І., Хім-ка С. М. Квазібаланс потужностей в електричному колі із зосередженими параметрами періодичного несинусоїдального струму. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження*. 2011. № 15. С. 442–445.
11. Сиротюк В. М., Дробот І. М., Хім-ка С. М. Обґрунтування параметрів вібраційного конусно-дискового дозатора комбікормів. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Механізація сільського виробництва*. 2010. Вип. 93, т. 1. С. 458–463.
12. Сиротюк В. М., Сиротюк С. В., Хім-ка С. М. Методика і апаратне забезпечення досліджень параметрів вібраційного дозатора сипучих кормів. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження*. 2009. № 13, т. 1. С. 196–202.
13. Сиротюк В. М., Хім-ка С. М. Експериментальне дослідження режимів роботи енергоощадного вібраційного дозатора сипучих кормів. *MOTROL Motoryzacja i energetyka rolnictwa*. 2011. № 13D. S. 62–67.
14. Сиротюк В. М., Хім-ка С. М., Василів К. М. Теоретичне визначення подачі вібраційного енергоощадного дозатора сипучих кормів. *MOTROL Motoryzacja i energetyka rolnictwa*. 2012. № 14. S. 106–109.
15. Сиротюк В. М., Хім-ка С. М., Сиротюк С. В. Віртуальні контрольні-вимірні прилади і системи: навч. посіб. Львів: Магнолія–2006, 2017. 128 с.
16. Тимошенко С. П., Янг Д. Х., Уивер У. Колебания в инженерном деле: пер. с англ. Москва: Машиностроение, 1985. 472 с.
17. Хім-ка С. М. Обґрунтування параметрів вібраційного дозатора сипучих кормів: дис. ... канд. техн. наук. Львів, 2012. 151 с.
18. Щур Т. Г. Теоретичне дослідження рівноваги і руху сипучого матеріалу в бункерах з круглими отворами. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Механізація сільськогосподарського виробництва*. 2007. Вип. 59, т. 1. С. 307–316.
19. Khimka S., Sosnowski S. Control lighting by means of virtual control measurement device. *MOTROL Commission of motorization and energetics in agriculture*. 2016. Vol. 18, No. 8. P. 85–89.
20. Yatsun A. M. Power of consumption and phase displacement between voltage and a current of the covering ring capacitor transducer over a conducting plate. *MOTROL Commission of motorization and energetics in agriculture*. 2013. Vol. 15, No. 4. P. 206–211.

Стаття надійшла 25.09.2019