

УДК 631.22. DOI 10.36910/6775-2313-5352-2022-20-01

Банга В.І., к.т.н.

Львівський національний університет природокористування

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВИМІРЮВАННЯ МАСИ ПОТОКУ КОМБІКОРМІВ

У статті наведено огляд і аналіз вимірювачів потоків мас кормів, схему системи вимірювання та загальний вигляд вимірювача маси потоку комбікорму, передбачено наявність засобів для вимірювання, реєстрації та передачі інформації електричними сигналами біжучих значень маси потоку комбікорму в динамічному режимі, відображення і зберігання інформації та контрольно-вимірювальні прилади.

Подано експериментальну установку та методику експериментальних досліджень вимірювача маси потоку комбікорму з використанням теорії багатofакторного планованого експерименту, наведено рівні варіювання факторів, матрицю плану експерименту, рівняння регресії для визначення вихідної напруги вимірювача маси потоку комбікорму від зміни зусилля згинального моменту тензовимірювальної площини.

Запропонована методика експериментальних досліджень вимірювача маси потоку комбікорму з використанням теорії планованого експерименту дає змогу встановити оптимальні значення досліджуваних факторів (площу поперечного перерізу і довжину тензовимірювальної площини та величину згинального моменту тензовимірювальної площини), підвищити достовірність результатів експерименту.

Ключові слова: вимірювач маси потоку, комбікорм, система вимірювання, експериментальна установка, планований експеримент, вихідна напруга, тензодатчик.

Постановка проблеми. Питання визначення нерівномірності дозування дозуючих механізмів в процесі їх роботи є актуальним, так як дозатори повинні забезпечувати відповідну рівномірність і точність норми видачі [1, 2]. Це вимагає наявності відповідного обладнання. Без розробки та використання сучасних комп'ютеризованих методів вимірювання і обліку потоків мас в динамічному режимі неможливо забезпечити належний рівень точності та швидкодю знімання інформації. Тому розробка і дослідження вимірювача маси потоку сипких кормів є актуальною.

Реалізація вимірювача маси потоку комбікормів на сучасній елементній базі повинно забезпечити високу точність вимірювання з низькою постійною часу вимірювання. Для реалізації такого вимірювача необхідно дослідити залежність зміни вихідного параметру від силових характеристик, що діють на вимірювальний елемент, обґрунтувати конструктивні параметри системи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для вимірювання маси потоку комбікормів існує ряд методів: ваговий із використанням ковшових та стрічкових автоматичних ваг; силовий, тахометричний, флуктуаційний, іонізаційний, кореляційний, оптичний, точковий. Кожен із методів має свої переваги та недоліки і може використовуватися в окремих випадках та при відповідних умовах, крім того, не завжди забезпечується оптимально допустима точність вимірювання. Найбільш оптимальним є ваговий метод, де точність вимірювання досягає 1,5 – 2,0 % [3-5]. Тому за основу прийнято даний метод і запропоновано динамічно-ваговий спосіб вимірювання маси потоку комбікормів.

Постановка завдання. Наше завдання – підвищення точності вимірювання шляхом вдосконалення конструкції та визначення вихідної напруги вимірювача маси потоку комбікорму від зміни зусилля згинального моменту тензовимірювальної площини.

Виклад основного матеріалу. Для дослідження нерівномірності видачі індивідуальним дозатором використовували вимірювач маси потоку комбікормів, схема системи вимірювання, блок-схема і загальний вигляд вимірювача показані на рис. 1, 2, 3 [6,7].

В основу винаходу поставлена задача створення такого вимірювача маси потоку комбікорму, в якому нове виконання вимірювального елемента дозволить спростити конструкцію вимірювача, зменшити металомісткість та підвищити точність вимірювання.

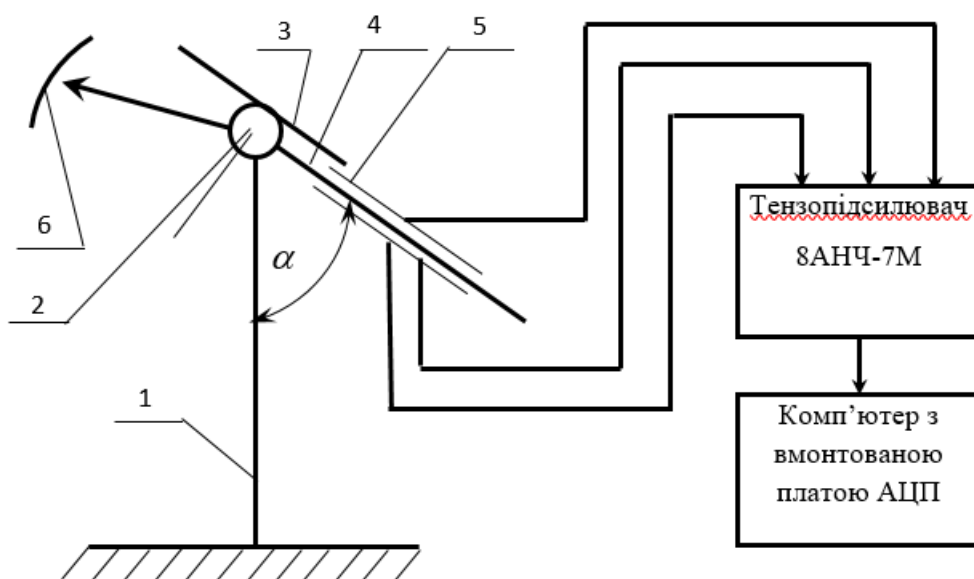


Рисунок 1. Схема системи вимірювання маси потоку комбікормів:
 1 – опора; 2 – поздовжня балка; 3 – компенсатор динамічних зусиль; 4 – тензовимірювальна площина; 5 – тензодавачі; 6 – механізм зміни кута нахилу тензовимірювальної площини.

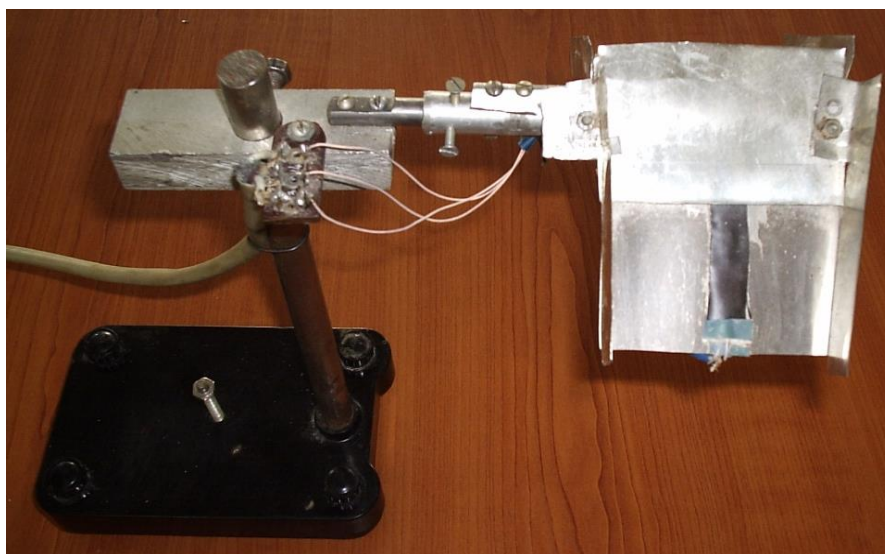


Рисунок 2. Загальний вигляд вимірювача маси потоку комбікорму

Дослідження проводили таким чином. Потік сипкого комбікорму подавався на площинний компенсатор динамічних зусиль 3 де поглиналась кінетична енергія частинок сипучого корму. З площинного компенсатора 3, корм під дією сили тяжіння зсувався по тензовимірювальній площині 4. При проходженні частинок корму через тензовимірювальну площину 4 під дією сили тяжіння площина прогиналася. Прогин фіксувався тензодавачами 5, рівномірний зсув частинок корму по тензовимірювальній площині 4 залежно від фізико-механічних характеристик ікорму забезпечувався зміною кута нахилу α вимірювальної площини 4 та компенсатора динамічних зусиль 3. Сигнал, який надходив від вимірювальної площини 4, як це показано на рис. 1, підсилювався тензопідсилювачем 8АНЧ-7М. Результуючі сигнали сприймав блок аналогово-цифрового перетворення L-154, який встановлений в ПЕОМ.

Запис реалізації випадкового процесу нерівномірності видачі відображався на моніторі ПЕОМ. Інформація в цифровому вигляді записувалася у файл досліджень, а за необхідності

виводилася на принтер. Блок-схема для дослідження нерівномірності дозування робочих органів дозатора вимірювачем маси потоку сипучих матеріалів наведена на рис. 3.

Основними перевагами запропонованої методики порівняно з існуючими є синхронна з роботою індивідуального дозатора обробка результатів досліджень і відображення на моніторі ПЕОМ або створення твердих копій реалізацій випадкового процесу у вольтах (В). Завдяки високій швидкодії застосовуваного аналогово-цифрового перетворювача у випадку необхідності можна забезпечити таку дискретизацію неперервного випадкового процесу дозування дозатором, що дозволяє одержати до 100 значень і більше за секунду і, як наслідок, високу інформативність досліджень.

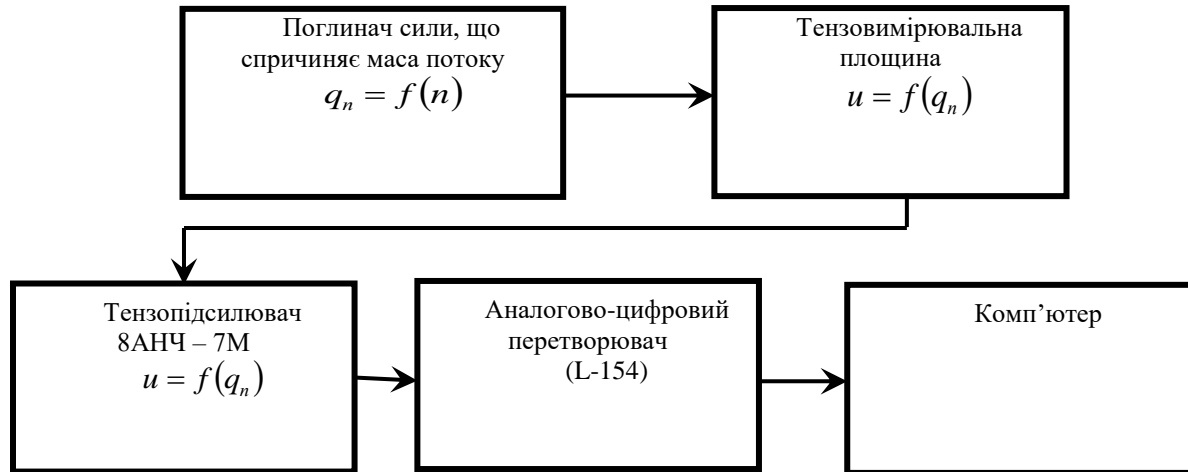


Рисунок 3. Блок-схема вимірювання маси потоку комбікорму

Для обґрунтування конструктивно-технологічних розмірів тензовимірювальної площини необхідно провести повний трифакторний планований експеримент на трьох рівнях типу 3^k , (k – число факторів) плану другого порядку Бокса-Бенкіна за відомою методикою [8-10]. Інтервали і рівні варіювання факторів наведені в табл. 1, а матриця плану у табл. 2.

Таблиця 1

Інтервали і рівні варіювання факторів

Рівень варіювання факторів	Кодовані значення	Площа поперечного перерізу S , м ²	Довжина тензовимірювальної площини L , м	Згинальний момент тензовимірювальної площини M , Н·м
Верхній	+	0,152	0,152	0,22
Основний	0	0,111	0,111	0,16
Нижній	–	0,07	0,070	0,10
Інтервал варіювання	ε	0,041	0,041	0,06

За критерій оптимізації прийнято вихідну напругу тензодатчиків U вимірювача маси потоку. Факторами, які впливають на вихідну напругу тензодатчиків U , були площа поперечного перерізу S , довжина тензовимірювальної площини L , згинальний момент тензовимірювальної площини M .

Перед початком експерименту вибирали межі зміни факторів та провели їх кодування.

Кодування факторів проводили за формулою [8, 9]:

$$x_i = \frac{X_i - X_{0i}}{\varepsilon}, \quad (1)$$

де x_i – кодоване значення фактору (безрозмірна величина), верхній рівень

позначається +1, нижній -1 (в центрі експерименту нульовий рівень); X_i – натуральне значення фактору; X_{i0} – натуральне значення фактору на нульовому рівні; ε – інтервал варіювання.

Таблиця 2

Матриця плану експерименту

№ експерименту	Варіювання факторами			Критерій оптимізації
	x_1	x_2	x_3	U, B
1	+	+	0	y_1
2	-	-	0	y_2
3	+	-	0	y_3
4	-	+	0	y_4
5	+	0	+	y_5
6	-	0	-	y_6
7	-	0	+	y_7
8	+	0	-	y_8
9	0	+	+	y_9
10	0	-	-	y_{10}
11	0	-	+	y_{11}
12	0	+	-	y_{12}
13	0	0	0	y_{13}
14	0	0	0	y_{14}
15	0	0	0	y_{15}

Інтервал варіювання визначали за формулою [9]:

$$\varepsilon = \frac{x^B - x^H}{2}, \tag{2}$$

де x^B, x^H – значення i -го фактору на верхньому і нижньому рівнях.

Рівняння регресії для трифакторної моделі доцільно шукати у наступній формі [8-10]:

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{123}x_1x_2x_3. \tag{3}$$

Для використання (3) в розрахунку проводили відповідні перетворення лінійних членів рівняння з кодованих значень в натуральні, які визначили за формулою [8]:

$$b_i x_i = \frac{b_i}{\varepsilon_i} X_i - \frac{b_i}{\varepsilon_i} X_{0i}. \tag{4}$$

Перетворення лінійних членів рівняння, які взаємодіють, проводили за формулою [8]

$$b_{ij} x_i x_j = \frac{b_{ij}}{\varepsilon_i \varepsilon_j} (X_i X_j - X_i X_{0j} - X_j X_{0i} + X_{0i} X_{0j}). \tag{5}$$

Для перетворення квадратних членів використовували формулу:

$$b_{ii} x_i^2 = \frac{b_{ii}}{\varepsilon_i^2} (X_i^2 - 2X_i X_{0i} + X_{0i}^2). \tag{6}$$

Коефіцієнти регресії визначали з використанням ПЕОМ у редакторі Excel.

Перевіряли математичні моделі на однорідність дисперсій або на відтворення дослідів за виконання умови [8; 10]

$$G_{роз} < G_{таб}, \tag{7}$$

де $G_{роз}, G_{таб}$ – розрахункове і табличне значення критерію Кохрена, яке вибирається з таблиці дод. 2 для рівня значущості 0,05 [8].

$G_{роз}$ – критерій Кохрена з числом степенів вільності для чисельника [8]:

$$f_c = c - 1, \quad \text{знаменника } f_3 = N_p, \tag{8}$$

де C – число повторностей досліду;

N_p – число рядків плану.

Розрахункове значення критерію Кохрена $G_{роз}$ визначаємо зі співвідношення [8; 10]:

$$G_{роз} = \frac{S_n^2 \max}{\sum_{n=1}^{N_p} S_n^2}, \quad (9)$$

де $S_n^2 \max$ – максимальне значення рядкової дисперсії;

$\sum_{n=1}^{N_p} S_n^2$ – сумарне значення за рядковими дисперсіями.

Визначали дисперсію S_y^2 , яка характеризує похибки дослідів у матриці плану за формулою [8]:

$$S_y^2 = \frac{\sum_{u=1}^{N_p} \sum_{i=1}^m (y_{iu} - \bar{y})^2}{N_p \cdot (m-1)}, \quad (10)$$

де y_{iu} – значення критерію оптимізації в паралельних дослідах (в u -му рядку);

\bar{y} – середнє значення критерію оптимізації в паралельних дослідах в u -му рядку матриці плану;

m – кількість повторностей одного дослідів (одного рядка матриці плану).

Перевірку на адекватність моделі проводили за критерієм Фішера $F_{роз}$. Модель є адекватною, якщо виконується умова: $F_{роз} < F_{таб}$ [5], де $F_{роз}$, $F_{таб}$ – розрахункове і табличне значення критерію Фішера, яке вибирається з табл. дод. 3 для рівня значущості 0,05 з числом степенів вільності чисельника $f_u = N_p - d$, знаменника $f_z = N_p \cdot (m-1)$ [8, 9].

де d – кількість значущих коефіцієнтів.

Розрахункове значення критерію Фішера $F_{роз}$ визначаємо з відношення [10]:

$$F_{роз} = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2}, \quad (11)$$

де S_{ad}^2 – дисперсія адекватності;

Дисперсія адекватності S_{ad}^2 визначається як [10]:

$$S_{ad}^2 = \frac{\sum_{u=1}^{N_p} (\hat{y}_u - \bar{y})^2}{N_p - d}, \quad (12)$$

де \hat{y}_u – розрахункове (за рівнянням регресії) значення параметра оптимізації.

Висновки. Запропонована методика експериментальних досліджень вимірювача маси потоку комбікорму з використанням теорії планованого експерименту дає змогу встановити оптимальні значення досліджуваних факторів

(площу поперечного перерізу, довжину тензовимірювальної площини, величину згинального моменту тензовимірювальної площини), підвищити достовірність результатів експерименту.

Інформаційні джерела:

1. Банга В. І., Дмитрів В. Т., Сиротюк В. М., Городняк Р. В. Автоматизований роздавач-дозатор комбікормів для індивідуальної нормованої годівлі корів: монографія. Львів: Сполом, 2018. 233 с.
2. Степук Л.Я. Механізація дозирования в кормоприготовленні. Минск: Ураджай, 1986. 152 с.
3. Кукта Г.М. Машины и оборудования для приготовления кормов. Кукта. М.: Агропромиздат, 1987. 150 с.

4. Раннев Г.Г., Тарасенко А.П. Методы и средства измерений : учебник для вузов. 3-е изд., стер. Издательский центр «Академия», 2006. 336 с.
5. Дивин А.Г., Пономарев С.В., Мозгова Г.В. Методы и средства измерений, испытаний и контроля : учебное пособие. В 5 ч. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. Ч. 2. 108 с
6. Пат. 48479А Україна, МКИ G01F1/76. Вимірювач маси потоку сипучих матеріалів. № 2001096131; заявл. 05.09.01; опубл. 15.08.02, Бюл. № 8. 4 с.
7. Дмитрів В.Т., Банга В.І., Сиротюк В.М. Вимірювач потоку сипких матеріалів. *Вчені Львівського національного аграрного університету виробництву: каталог інноваційних розробок ЛНАУ/* За заг. ред. В.В. Снітинського, В.І. Лопушняка. Вип. 11. Львів, 2011. С. 14.
8. Мельников С. В., Алешкин В. Р., Рошин П. М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. Ленинград: Колос, 1980. 163 с.
9. Дмитрів І. В. Теорія та технологія наукових досліджень: механічна інженерія: навч. посіб. Львів: СПОЛОМ, 2017. 212 с.
10. Львович Я. Е., Фролов В. Н. Теоретические основы конструирования, технологии и надежности РЭА. Москва: Радио и связь, 1986. 192 с.

Banha V.I., Ph.D.

Lviv National University nature management

METHODS OF EXPERIMENTAL RESEARCH OF MEASUREMENT OF MASS FEED FLOW

The article presents an overview and analysis of feed mass flow meters, scheme of measurement system and general view of feed flow meter, provides for measuring, recording and transmitting information by electrical signals of running values of feed flow weight in dynamic mode, display and storage of information and control measuring instruments.

The experimental setup and methods of experimental research of feed flow mass meter using the theory of multifactor planned experiment are given, the levels of factor variation, the matrix of the experimental plan, the regression equation to determine the output voltage of the feed flow mass meter from the change in bending moment of the strain gauge.

The proposed method of experimental studies of feed flow mass meter using the theory of the planned experiment allows to establish the optimal values of the studied factors (cross-sectional area and length of strain gauge plane and bending moment of strain gauge plane), increase the reliability of results.

The main advantages of the proposed method in comparison with the existing ones are simultaneous processing of research results and display on a PC monitor or creation of hard copies of random process implementations in volts (В). Due to the high speed of the applied analog-to-digital converter, if necessary, it is possible to ensure such discretization of the continuous random dosing process by the dispenser, which allows to obtain up to 100 values or more per second and, as a result, highly informative research.

Key words: *flow mass meter, compound feed, measuring system, experimental setup, planned experiment, output voltage, strain gauge.*