

Розділ 2
МАШИНИ ТА РОБОЧІ ПРОЦЕСИ
АГРОПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА

УДК 631.22.014:636.084.74

**РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕНЕРГОЄМНОСТІ
ПРОЦЕСУ ДОЗУВАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНИМ ДОЗАТОРОМ КОМБІКОРМІВ
ІЗ ДИСКОВИМ РОБОЧИМ ОРГАНОМ**

Василь Банга¹, к. т. н., Михайло Мазурак²

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

² *Львівська філія УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого,
вул. Л. Мартовича, 15, смт Магерів, Жовківський р-н,
Львівська обл., Україна,
e-mail: lfilia@ukr.net*

<https://doi.org/10.31734/agroengineering2020.24.027>

Банга В., Мазурак М. Результати експериментальних досліджень енергоємності процесу дозування індивідуальним дозатором комбікормів із дисковим робочим органом

У статті наведено огляд і аналіз існуючих дозаторів комбікормів, запропоновано блок-схему експериментальної установки для дослідження енергоємності процесу дозування індивідуальним дозатором комбікормів із дисковим робочим органом, передбачено наявність засобів для вимірювання, реєстрації та передачі інформації електричними сигналами біжучих значень маси потоку в динамічному режимі, відображення і зберігання інформації та контрольно-вимірювальні прилади, а також пристрої для вимірювання потужності процесу дозування та нерівномірності видачі комбікорму, маси комбікорму в бункері індивідуального дозатора, зміни напрямку руху потоку комбікорму.

Наведено експериментальні дослідження індивідуального дозатора комбікормів із використанням планованого багатофакторного експерименту, фактори, рівні їх варіювання, які впливають на критерій оптимізації, матрицю плану та результати експерименту, фізико-механічні властивості комбікормів.

У результаті проведення планованого багатофакторного експерименту одержано рівняння регресії для визначення енергоємності індивідуального дозатора комбікормів із дисковим робочим органом конусного типу, яке дає змогу обґрунтувати конструктивно-технологічні і режимні параметри дозатора.

Встановлено, що енергоємність процесу дозування залежить від частоти обертання дозувального робочого органа, кута твірної конуса при його основі та кільцевого зазору між випускною горловиною бункера і дозувальним робочим органом.

Аналіз експериментальних даних показав, що процес дозування комбікормів запропонованою конструкцією робочого органа дозатора здійснюється з енергоємністю $E = (0,87...5,15)$ Дж/кг. У діапазоні регулювання частоти обертання дискового дозувального робочого органа $n = 0,28...1,39$ с⁻¹ спостерігається прямувальне зростання енергоємності. Для забезпечення максимальної продуктивності дискового робочого органа дозатора з мінімальною енергоємністю процесу дозування пропонується кут твірної конуса при його основі $\alpha = 20^\circ$, кільцевий зазор між випускною горловиною бункера і робочим органом $h = 0,008$ м.

Ключові слова: індивідуальний дозатор, дисковий робочий орган, експериментальна установка, комбікорм.

Banha V., Mazurak M. Results of the experimental researches of energy consumption of the process of dosing by the individual batcher of compound feeds with a disk working body

The article provides an overview and analysis of existing feed dispensers, offers a block diagram of an experimental setup to study the energy consumption of the dosing process by the individual feed dispenser with a disk working body, provides means for measuring, recording and transmitting information by electric signals, information storage and control and measuring devices, as well as devices for measuring the power of the dosing process and the unevenness of the feed, the weight of the feed in the hopper of the individual dispenser, changes in the direction of feed flow.

The work provides results of the experimental researches of the individual feeder of compound feeds with use of the planned multifactor experiment, factors of levels of their variation which influence criterion of optimization, a matrix of the plan and results of experiment, physical and mechanical properties of compound feeds.

As a result of the planned multifactor experiment, a regression equation was obtained to determine the energy consumption of an individual feed dispenser with a cone-type disk working body, which allows substantiating the design-technological and mode parameters of the dispenser.

It is established that the energy consumption of the dosing process depends on the frequency of rotation of the dosing working body, the angle of the cone at its base and the annular gap between the outlet of the hopper and the dosing working body.

The analysis of experimental data shows that the process of the compound feeds dosing, proposed by the design of the working body of the dispenser, is carried out with energy $E = (0.87 \dots 5.15) \text{ J/kg}$. In the range of speed control of the disk dosing working $n = 0.28 \dots 1.39 \text{ s}^{-1}$, a rectilinear increase in energy consumption is observed. To ensure the maximum productivity of the disk working body of the dispenser with the minimum energy consumption of the dosing process, The researchers suggest the angle of the generating cone at its $\alpha = 20^\circ$, the annular gap between the outlet of the hopper and the working $h = 0.008 \text{ m}$.

Key words: individual batcher, disk working body, experimental installation, compound feed.

Постановка проблеми. Використання технічних засобів роздавання комбікормів з індивідуальним їх дозуванням зумовлене багатьма чинниками, і зокрема такими, як точність дозування, продуктивність, енергоємність процесу [1; 12].

Досліджувати процес доцільно роздільно, за функціональним використанням окремих елементів. Одним із важливих функціонально закінчених елементів є дозатор, який безпосередньо впливає на процес індивідуального дозування комбікормів [5; 17; 20].

Існуючі дозатори комбікормів є енергоємними і споживають значну кількість електроенергії. Тому дослідження питомої енергоємності індивідуального дозатора комбікормів із дисковим робочим органом конусного типу є актуальним і перспективним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз робочого процесу пристроїв для дозування комбікормів [1; 5; 6; 10; 12; 13-15; 17; 19] показав, що існуючі об'ємні дозатори, такі як ДТК, МТД-ЗА, ДДТ, універсальний дозатор сипких кормів у вигляді спіралі Архімеда з класичною схемою об'ємного дозування, не забезпечують низької енергоємності процесу дозування.

Розглядаються дозатори типу ДТК, МТД-ЗА, ДДТ, універсальний дозатор сипких кормів у вигляді спіралі Архімеда для дозування комбікормів зі значними показниками енергоємності, від 0,18 до 7,48 Дж/кг [5; 10; 12]. Розроблений нами індивідуальний дозатор комбікормів [7] не досліджено на предмет енергозатрат від конструктивно-технологічних параметрів.

Постановка завдання. Наше завдання – дослідити залежність енергетичних витрат від конструктивно-технологічних і режимних параметрів індивідуального дозатора комбікормів із дисковим робочим органом конусного типу.

Виклад основного матеріалу. Дослідження енергетичних показників індивідуального дозатора комбікормів із дисковим робочим органом конусного типу проводили на експериментальній установці, блок-схема якої наведена на рис. 1 [2–4; 7] і складається з бункера індивідуального дозатора

комбікормів 1, приводу робочого органа 2 (кроковий електродвигун). Для вимірювання потужності процесу дозування комбікорму у верхній частині індивідуального дозатора в розрив привідних валів на привід робочого органа та крокового електродвигуна встановлено жорстко вимірювач крутного моменту 3. Для досліджень продуктивності індивідуального дозатора у нижній частині встановлено вимірювач маси потоку сипких матеріалів 5. Керування кроковим електродвигуном 2 здійснювалося розробленим блоком 6, який живиться напругою 12–16 В від блока живлення 7. Зміна частоти обертання дискового робочого органа конусного типу 1 проводилася кроковим електродвигуном 2 з використанням генератора частоти струму 8. Для підсилення сигналів тензодавачів використовували тензопідсилювач 9 типу 8АНЧ-7М або УТ4-1. Необхідну масу комбікорму відбирали за допомогою пристрою зміни напрямку руху потоку 10, а реєстрація сигналів проводилася за допомогою ПЕОМ 11 із вмонтованою платою аналогово-цифрового перетворювача (АЦП) L-154. Для збору маси комбікорму використовували місткість 14.

Дослідження індивідуального дозатора комбікормів проводили за таких конструктивно-технологічних параметрів: густина комбікорму $\rho = 555 \text{ кг/м}^3$, вологість $W = 13\%$, кут природного скосу $\varphi = 34$ град., гранулометричний склад комбікорму $M = 1,85 \text{ мм}$, діаметр випускної горловини бункера $d_z = 110 \text{ мм}$ і діаметр дозувального робочого органа $d_p = 130 \text{ мм}$ [4; 18].

Нами проведено планований повнофакторний експеримент. Факторами, які впливають на процес дозування, були частота обертання дозувального робочого органа n , кут твірної конуса α до його основи, розмір кільцевого зазору h між випускною горловиною бункера і дозувальним робочим органом [3; 4; 15].

За критерій оптимізації прийнято енергоємність, яку оцінювали за формулою

$$E = \frac{N}{Q}, \text{ Дж/кг}, \quad (1)$$

де N – споживана потужність на видачу комбікорму, Вт; Q – подача комбікорму, кг/с.

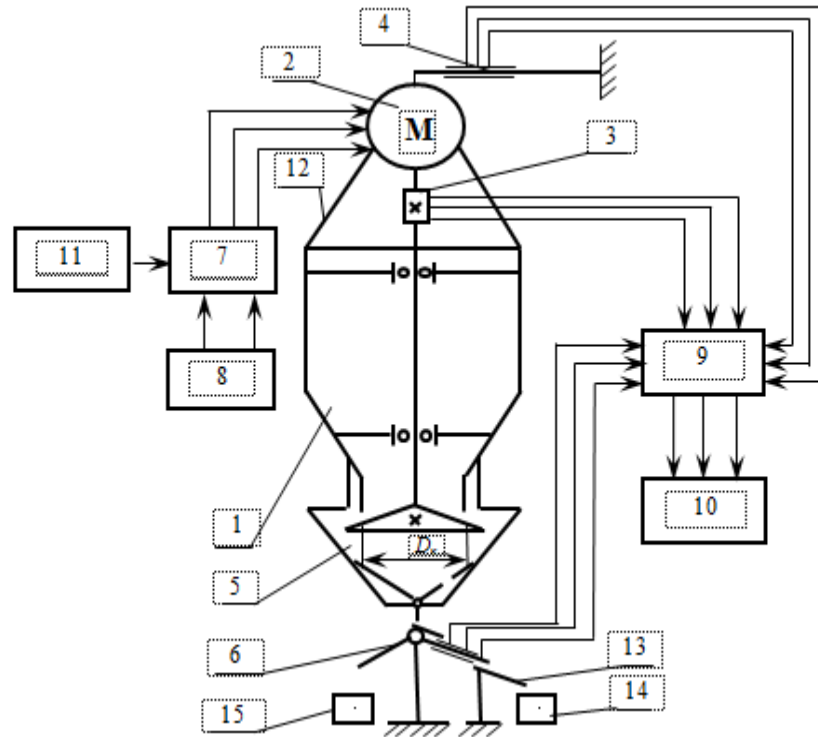


Рис. 1. Блок-схема експериментальної установки

для дослідження індивідуального дозатора комбікормів із дисковим робочим органом:

- 1 – індивідуальний дозатор; 2 – кроковий електродвигун; 3 – вимірювач крутного моменту;
 4 – вимірювач маси комбікорму в бункері дозатора; 5 – пристрій зміни напрямку руху потоку;
 6 – вимірювач потоку сипких матеріалів; 7 – блок керування кроковим двигуном;
 8 – блок живлення VIP-009; 9 – тензопідсилювач 8АНЧ–7М; 10 – ПЕОМ;
 11 – генератор частоти струму ГЗ–111; 12 – рама; 13 – відвідний лоток;
 14, 15 – збірні місткості для необхідних і непотрібних порцій комбікорму

Fig. 1. Block diagram of the experimental installation for the study of an individual feed dispenser with a conical working body:

- 1 – individual dispenser; 2 – step electric motor; 3 – torque meter;
 4 – feed weight meter in the hopper of the dispenser; 5 – device for changing the direction of flow;
 6 – flow meter of bulk materials; 7 – stepper motor control unit; 8 – power supply VIP-009; 9 – strain amplifier 8ANCH-7M; 10 – PC; 11 – current frequency generator GZ-111; 12 – frame; 13 – drainage tray;
 14, 15 – prefabricated containers for necessary and unnecessary portions of feed

Таблиця 1. Інтервали і рівні варіювання факторів

Table 1. Intervals and levels of factors variation

Рівень варіювання факторів	Кодовані значення	Частота обертання робочого органа, $n, \text{с}^{-1}$	Кут твірної конуса при його основі, α , град.	Кільцевий зазор h між випускною горловиною бункера і дозувальним робочим органом, мм
Верхній	+	1,39	20	8
Основний	0	0,835	10	6
Нижній	-	0,28	0	4
Інтервал варіювання	ε	0,555	10	2

Таблиця 2. Матриця плану і результати експерименту
Table 2. The matrix of the plan and results of the experiment

№ експерименту	Варіювання факторами			Критерій оптимізації
	x_1	x_2	x_3	E , Дж/кг
1	+	+	0	4,58
2	-	-	0	1,077
3	+	-	0	5,15
4	-	+	0	0,907
5	+	0	+	4,49
6	-	0	-	1,25
7	-	0	+	0,87
8	+	0	-	5,49
9	0	+	+	2,53
10	0	-	-	3,57
11	0	-	+	2,77
12	0	+	-	3,24
13	0	0	0	2,93
14	0	0	0	2,97
15	0	0	0	2,95

Для пошуку оптимального співвідношення факторів, які б забезпечували мінімальну енергоємність процесу дозування і максимальну продуктивність дозатора комбікормів, була реалізована матриця повного факторного експерименту типу 3^3 плану другого порядку Бокса – Бенкіна з триразовою повторюваністю на трьох рівнях [8; 11]. Інтервали і рівні варіювання факторів наведені в табл. 1, а матриця плану і результати експерименту – у табл. 2.

У результаті обробки експериментальних даних одержали математичну модель енергоємності індивідуального процесу дозування другого порядку, яка наведена в кодованому вигляді:

$$y = 2,95 + 1,9482x_1 - 0,1637x_2 - 0,3586x_3 - 0,0145x_1^2 - 0,007x_2^2 + 0,0845x_3^2 - 0,1x_1x_2 - 0,1498x_1x_3 + 0,0225x_2x_3. \quad (2)$$

Проводили розкодування кодованих значень коефіцієнтів рівняння регресії відповідно до програми обробки результатів планованих експериментів в оболонці редактора Excel.

З розкодованими значеннями коефіцієнтів рівняння регресії математична модель енергоємності процесу дозування дисковим робочим органом конусного типу набуде натурального вигляду:

$$E = 1,22 + 4,5788 \cdot n - 0,00675 \cdot \alpha - 3314,3626 \cdot h - 0,0471 \cdot n^2 - 0,00007 \cdot \alpha^2 + 21125 \cdot h^2 - 0,018 \cdot n \cdot \alpha - 134,95495 \cdot n \cdot h + 1,125 \cdot \alpha \cdot h, \quad (3)$$

де E – енергоємність процесу дозування дисковим робочим органом, Дж/кг; n – частота обертання дискового дозувального робочого органа, с^{-1} ; α –

кут твірної конуса при його основі, град.; h – кільцевий зазор між випускною горловиною бункера і дисковим робочим органом дозатора, м.

За результатами експерименту побудовано графічну залежність (рис. 2) енергоємності E процесу дозування дисковим дозувальним робочим органом конусного типу від частоти його обертання n при змінному кільцевому зазорі h між випускною горловиною бункера дозатора і робочим органом та куті твірної конуса α при його основі.

Аналіз експериментальних даних (див. рис. 2) показав, що процес дозування комбікормів запропонованою конструкцією робочого органа дозатора здійснюється з енергоємністю $E = 0,87 \dots 5,15$ Дж/кг. У діапазоні регулювання частоти обертання дискового дозувального робочого органа $n = 0,28 \dots 1,39 \text{ с}^{-1}$ спостерігається прямолінійне зростання енергоємності. Для забезпечення максимальної продуктивності дискового робочого органа дозатора з мінімальною енергоємністю процесу дозування пропонується кут твірної конуса при його основі $\alpha = 20^\circ$, кільцевий зазор між випускною горловиною бункера і робочим органом $h = 0,008$ м.

Використовуючи методику обробки експериментальних даних [4; 8; 9; 11], дані досліджень було перевірено на відтворення. Для цього визначили розрахункове значення критерію Кохрена $[G_{\text{роз}}] = 0,2048$. Для наших умов допустиме його значення становить $[G] = 0,3346$, тобто умова експерименту забезпечується: $G_{\text{роз}} < [G]$.

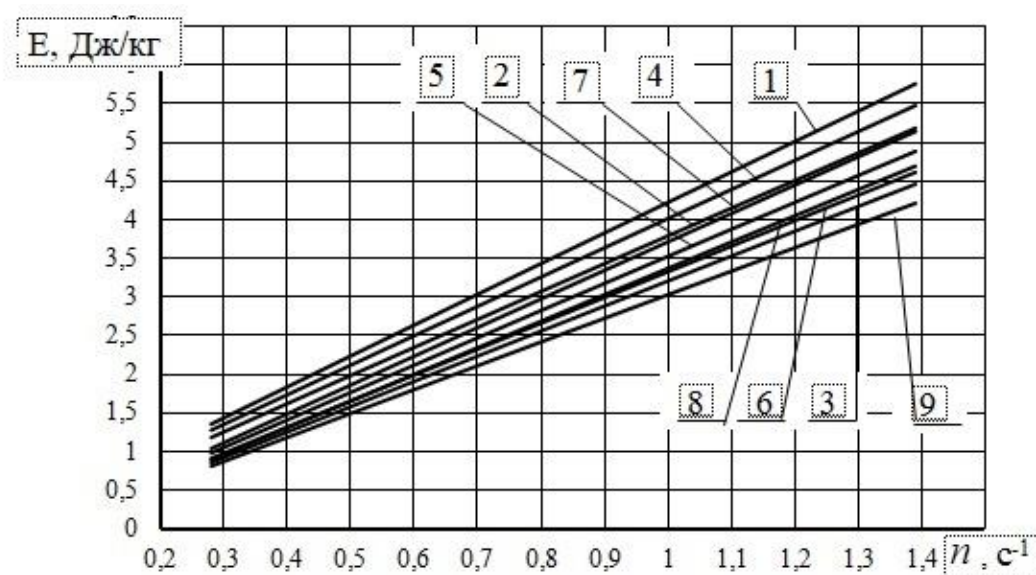


Рис. 2. Залежність енергоємності E процесу дозування дисковим дозувальним робочим органом від частоти його обертання n при змінному кільцевому зазорі h між випускною горловиною бункера дозатора і робочим органом та куті твірної конуса α при його основі:

- 1– $\alpha = 0^\circ$, $h = 0,004$ м; 2– $\alpha = 0^\circ$, $h = 0,006$ м; 3– $\alpha = 0^\circ$, $h = 0,008$ м; 4– $\alpha = 10^\circ$, $h = 0,004$ м; 5– $\alpha = 10^\circ$, $h = 0,006$ м; 6– $\alpha = 10^\circ$, $h = 0,008$ м; 7– $\alpha = 20^\circ$, $h = 0,004$ м; 8– $\alpha = 20^\circ$, $h = 0,006$ м; 9– $\alpha = 20^\circ$, $h = 0,008$ м.

Fig. 2. Dependence of energy consumption of the dosing process by the conical dosing working body on the frequency of its rotation at a variable annular gap between the outlet mouth of the hopper of the dispenser and the working body and the angle of the cone at its base:

- 1– $\alpha = 0^\circ$, $h = 0,004$ m; 2– $\alpha = 0^\circ$, $h = 0,006$ m; 3– $\alpha = 0^\circ$, $h = 0,008$ m; 4– $\alpha = 10^\circ$, $h = 0,004$ m; 5– $\alpha = 10^\circ$, $h = 0,006$ m; 6– $\alpha = 10^\circ$, $h = 0,008$ m; 7– $\alpha = 20^\circ$, $h = 0,004$ m; 8– $\alpha = 20^\circ$, $h = 0,006$ m; 9– $\alpha = 20^\circ$, $h = 0,008$ m.

На адекватність одержане рівняння регресії було перевірено за допомогою критерію Фішера для п'ятивідсоткового рівня значущості. Розрахункове значення цього критерію становить $F_{роз} = 0,97$, а допустиме – $[F] = 2,04$ з числом степеня вільності чисельника $f_1 = 11$ і знаменника $f_2 = 30$, тобто виконується умова адекватності моделі $F_{роз} < [F]$ [7; 8].

Висновки

Експериментально досліджено конструктивно-технологічні та режимні параметри дискового конусного робочого органа дозатора та встановлено їх вплив на енергоємність процесу дозування комбікормів.

Одержане рівняння регресії енергоємності процесу дозування дає змогу обґрунтувати кут твірної конуса α при його основі, який становить $\alpha = 20^\circ$, і кільцевий зазор h між випускною горловиною бункера та робочим органом $h = 0,008$ м.

Бібліографічний список

1. Банга В. І. Огляд і аналіз існуючих конструкцій дозаторів сипких кормів. *Теорія і практика*

розвитку агропромислового комплексу та сільських територій: матеріали XVI Міжнар. наук.-практ. форуму. Львів, 2019. С. 329–322.

2. Банга В. І., Дмитрів В. Т., Сиротюк В. М., Гордняк Р. В. Автоматизований роздавач-дозатор комбікормів для індивідуальної нормованої годівлі корів: монографія. Львів: Сполом, 2018. 233 с.

3. Банга В. І. Експериментальний стенд для дослідження конусного робочого органу індивідуального дозатора комбікормів. *Science, society, education: topical issues and development prospects*: V Міжнародн. науч.-практ. конф. Харків, 2020. С. 215–219.

4. Банга В. І. Методика експериментальних досліджень індивідуального дозатора комбікормів з конусним робочим органом. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка*. 2015. Вип. 156. С. 453–458.

5. Брагінець Н. В., Вольвак С. Ф., Лангазов В. В. К обоснованию значимости дозирования кормов. *Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету*. Луганськ: Вид-во ЛНАУ, 2002. № 17. С. 29–35.

6. Бойко І. Г., Щур Т. Г. Обґрунтування напрямків удосконалення конструктивних рішень дозаторів мікроелементів. *Збірник наукових праць УкрНДПВТ ім. Л. Погорлого*. Дослідницьке, 2005. Вип. 8. С. 138–142.

7. Дозатор сипучих кормів: пат. 40997 Україна: МПК А01К 5/02. № 2000127505; заяв. 26.12.2000; опубл. 15.08.2001, Бюл № 7. 3 с.
8. Дмитрів І. В. Теорія та технологія наукових досліджень: механічна інженерія: навч. посіб. Львів: СПОЛЮМ, 2017. 212 с.
9. Дрогомирецька Х. Т., Рибицька О. М., Слюсарчук О. З. Теорія ймовірності та математична статистика: навч. посіб. Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2012. 396 с.
10. Лобанов В. И. Анализ дозаторов сыпучих кормов. *Механизация производственных процессов в животноводстве*. Новосибирск, 1985. № 2. С. 39–44.
11. Мельников С. В., Алешкин В. Р., Роцин П. М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. Ленинград: Колос, 1980. 163 с.
12. Степук Л. Я. Механизация дозирования в кормоприготовлении. Минск: Ураджай, 1986. 152 с.
13. Семенцов В. В., Бойко І. Г., Нанка О. В. Розробка енергозберігаючої конструкції дозатора сипучих кормів. *Вісник Таврійського державного аграрного університету*. 2011. № 1, 3. С. 102–109.
14. Семенцов В. В., Бойко І. Г. Розробка енергозберігаючої конструкції гравітаційного дозатора сипучих кормів *Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture. An international journal on operation of farm and agri-food industry machinery*. 2013. Vol. 15, No. 7. P. 10–13.
15. Семенцов В. В., Бойко І. Г. Результаты экспериментальных исследований по определению оптимальных параметров гравитационного дозатора. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка: технічні системи і технології тваринництва*. 2015. № 157. С. 67–73.
16. Семенцов В. В., Бойко І. Г. Экспериментальная установка і методика дослідження процесу дозування концентрованих кормів гравітаційним дозатором. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка: технічні системи і технології тваринництва*. 2014. № 144. С. 7–11.
17. Фролов Н. В., Мальцев В. С. Результаты экспериментальных исследований дозатора-смесителя концентрированных кормов. *Вестник Ульяновской ГСХА*. 2011. № 2. С. 119–123.
18. Banha V. Experimental investigations of operating devices of an individual meter of mixed fodder. *TEKA. A Quarterly Journal of Agrj-food Industry*. 2019, Vol. 19, No. 10. P. 25–36.
19. Blodedov V., Nosko P., Boyko G. et al. Parameter optimization of dosator for technique cultures on the quantity intervals, close by to calculation. *TEKA. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2013, Vol. 13, No. 4. P. 18–24.
20. Bodrova E. M., Izdebski W., Sinielnikov V. M. et al. State and Perspectives of Milk Production in the Republic of Belarus in Comparison with the Condition of the Polish Dairy. *TEKA. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2015. Vol. 15, No. 1. P. 3–8.

Стаття надійшла 19.10.2020