



УДК 621.82

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ШНЕКОВОГО РОБОЧОГО ОРГАНА ЕКСТРУДЕРА

Дмитренко Віктор Петрович, асистент
Вінницький національний аграрний університет,

V. Dmitrenko, Assistant
Vinnytsia National Agrarian University,

Створення нового конкурентоспроможного обладнання для виготовлення вискоефективних комбікормів для тваринництва є одним з важливих завдань народного господарства України. Представлено установку, яка має малі енерговитрати і підвищення продуктивності праці з розширеними технологічними можливостями для виготовлення кормової суміші тварин.

Ключові слова: кормові брикети, екструдери, переробка фуражного зерна, робочий орган, математичне моделювання.

Ф. 13. Табл. 2. Рис. 2. Літ. 16.

1. Постановка проблеми

Створення нового конкурентоспроможного обладнання для виготовлення вискоефективних комбікормів для тваринництва є одним з важливих завдань народного господарства України [1-3]. Прогресивним напрямком у виготовленні вискоефективних кормів для тваринництва є переробка фуражного зерна екструдванням. Цей метод полягає в барометричній переробці зерна методом додавання мінералів при підвищеній температурі до 160°C і тиску до 10МПа [4].

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідженням конструктивних і технологічних параметрів транспортно-технологічних систем сипких матеріалів присвячені роботи: Х. Германа, Р.Л. Зенкова, І.Б. Гевка та багатьох інших. Розробкою нових конструкцій, їх робочих органів, а також малогабаритних комбікормових агрегатів, комбікормових установок, мінікомбікормових заводів та виробничих ліній для приготування інгредієнтів комбікормів займалися видатні вчені: Г.М. Кукта, В.І. Дешко, В.А. Макаров, Ю.І. Ревенко [8], П.В. Василенко, Н.П. Черняєв [6], Є.В. Штефан [14-15].

Не зважаючи на значну кількість наукових праць, які присвячено розробці і дослідженню рівня технологічного забезпечення залишається недостатнім, а наукова база для їх створення і дослідження не завжди відповідає сучасним вимогам.

3. Метою дослідження

Метою роботи є розробка спеціального стендового оснащення й проведення досліджень з визначення продуктивності гвинтових пружних робочих органів екструдерів.

4. Основна частина

Питанням ефективності використання малогабаритних комбікормових установок та агрегатів на тваринницьких підприємствах приділяють і нині значну увагу. Так, наприклад, ряд авторів, розглядаючи різні технологічно-конструктивні рішення та умови використання в господарствах різних марок цієї техніки вважають, що для найефективнішого її використання треба обґрунтувати раціональний типорозмірний ряд малогабаритних комбікормових установок за їхньою продуктивністю в залежності від виробничих потреб тваринницьких підприємств [3, 11-13].

Перевагами цих установок є те, що для їхнього розміщення не потрібно великих приміщень і їх можна швидко демонтувати й переміщувати в інше місце їхньої експлуатації [8]. Проведений аналіз свідчить, що комбікормові агрегати, установки нового покоління є досконалішими як у конструктивному рішенні, так і щодо організації технологічного процесу виготовлення кормових сумішей [10].

Для проведення експериментальних досліджень було розроблено та виготовлено дослідну установку, робота якої здійснювалось наступним чином. Кормову суміш засипали у бункер і запускали установку. Секційний шнек переміщав її осьовому напрямку до вихідної головки. В результаті чого отримують кормову суміш з необхідним складом компонентів.

Секційний шнек являє собою конструкцію у якій на зовнішньому діаметрі шліцьового вала з можливістю осьового переміщення встановлено окремі секції, на яких по зовнішньому діаметру нарізано по 3-4 витки різних кроків. Наприклад на першій по ходу руху матеріалу секції з кроком 24-20 мм, другий з кроком 20-18 мм і третій – 18-16 мм з однаковими внутрішніми і зовнішніми діаметрами. Загальний вигляд експериментальної установки зображено на рис. 1.

В процесі роботи, кінематично з'єднані приводний вал через шків та вал електродвигуна забезпечують обертання робочих спіралей шнека. При подачі сипкого матеріалу спіраль переміщує його у кожуху в сторону головки екструдера.

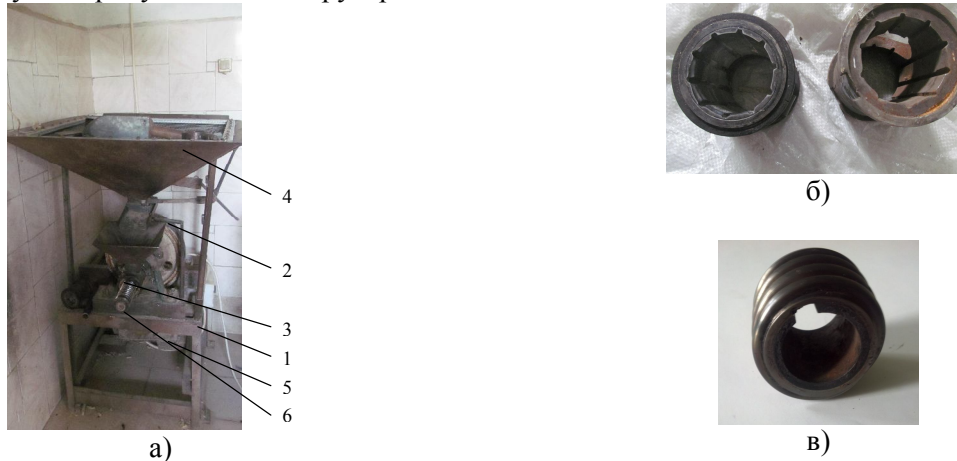


Рис. 1. Загальний вигляд експериментальної установки: а) секція циліндра в) робчі органи; 1 – рама; 2 – підшипниковий вузол; 3 – механізм пресування кормової суміші; 4 – бункер 5 – електродвигун; 6 – вихідна головка

Для покращення точності та зручності проведення дослідів у кінематичний ланцюг стенда вмонтовано автоматизований електропривід [5], який включає трьохфазний асинхронний електродвигун, що керується перетворювачем частоти (Altinar-71) (ПЧ) з ПК за допомогою програмного забезпечення Power Suite версії 2.5.0. Завдяки цій програмі здійснюється вибір необхідної частоти обертання вала двигуна і проводився його запуск. При керуванні роботи двигуна є можливість плавного нарощування та зменшення його частоти обертання в межах від 0 до 1460 об/хв., що дозволяє виконувати дослідження статичних і динамічних процесів. Дані про витрати енергії і величину обертального моменту електропривода, в залежності від навантаження, в установлені терміни часу у вигляді табличних даних та графічних залежностей відображаються на моніторі дисплея комп'ютера у відсотках від номінальних величин. Для побудови графічних залежностей використовуються максимальні значення дослідних даних.

Оброблення експериментальних даних здійснювали з використанням загальновідомих методик кореляційного та регресійного аналізу [7]. Для отримання регресійних моделей параметрів оптимізації, вибирали відповідний план повнофакторного експерименту, реалізацію якого проводили у наступній послідовності.

Оскільки, під час проведення експериментів змінні незалежні фактори неоднорідні та мають різні одиниці вимірювання, а числа, що виражають значення цих факторів – різні порядки, то їх приводили до єдиної системи обрахунків шляхом переходу від дійсних значень до кодованих [9,10]. Зміну продуктивності можна представити емпіричною математичною залежністю (1):

$$Q = C \cdot h^p \cdot t^q \cdot h_b^l \cdot n^k, \quad (1)$$

де C – константа; h – глибина гвинтового каналу робочого органу, м; t – крок робочого органу, м; h_b – ширина гребня пружного елемента робочого органу, м; n – частота обертання робочого органу, об/хв; p, q, l, k – показники ступеня при відповідних параметрах.

Математична модель (1) не описує систему в цілому, а лише окремі фактори, які нас цікавлять. Рівняння (1) можна представити в логарифмічній формі наступним чином:

$$\ln Q = \ln C + p \ln h + q \ln t + l \ln h_b + k \ln n, \quad (2)$$

або, враховуючи похибку експерименту ε :



$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4 + \varepsilon \quad (3)$$

Експеримент планували на основі багатфакторного аналізу, тобто одночасним варіюванням усіх змінних факторів, $x_1(h)$, $x_2(t)$, $x_3(h_b)$, $x_4(n)$ [11]. Щоб знайти залежність $Q=f(h, T, B, n)$ використовували повний факторний експеримент типу 2^k , де k – кількість змінних незалежних факторів ($k=4$), що потребує реалізації 16 основних дослідів. Враховуючи те, що дисперсії в кожній точці факторного простору однорідні, було вирішено скористатись схемою реалізації експерименту з дублюванням в одній точці (у центрі плану) чотири рази.

Експериментальні дослідження показали, що ефекти взаємодії між досліджуваними факторами (h, t, h_b, n) є незначущими, що підтверджує достовірність шуканої моделі регресії (1). Вибір режимів транспортування проводився таким чином, щоб спростити кодування із врахуванням можливостей обладнання і граничних режимів, як це показано в табл. 1.

Таблиця 1

Результати кодування факторів та рівні їх варіювання

Рівні варіювання	Досліджувані фактори							
	глибина гвинтового каналу робочого органу		крок робочого органу		ширина гребня пружного елемента робочого органу		частота обертання робочого органу	
	$h, \text{м}$	x_1	$t, \text{м}$	x_2	$h_b, \text{м}$	x_3	$n, \text{об/хв}$	x_4
Верхній	0,006	+1	0,025	+1	0,012	+1	20	+1
Нульовий	0,004	0	0,020	0	0,008	0	15	0
Нижній	0,002	-1	0,015	-1	0,004	-1	10	-1

Зв'язок між кодованими x_i і натуральними факторами встановили за залежностями:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= \frac{2(\ln h - \ln 0,006)}{(\ln 0,006 - \ln 0,002)} + 1; \\ x_2 &= \frac{2(\ln T - \ln 0,025)}{(\ln 0,025 - \ln 0,015)} + 1; \\ x_3 &= \frac{2(\ln B - \ln 0,012)}{(\ln 0,012 - \ln 0,004)} + 1; \\ x_4 &= \frac{2(\ln(n) - \ln 20)}{(\ln 20 - \ln 10)} + 1. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Дисперсія помилок спостереження визначена за результатами паралельних дослідів в центрі плану:

$$S_{n_0}^2 = \frac{\sum_{l=1}^{n_0} (y_{0l} - \bar{y}_0)^2}{n_0 - 1}, \quad (5)$$

де $\bar{y}_0$ – середнє значення експериментальних даних у центрі плану; y_{0l} – значення експериментальних даних у центрі плану; n_0 – кількість паралельних дослідів у центрі плану.

Вільний член b_0 і коефіцієнти b_i i -го фактору шуканої моделі обчислюємо за формулами (5), (6).

$$b_0 = \frac{\sum_{u=1}^N \bar{y}_u}{N}; \quad (6)$$

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu} \bar{y}_u}{N}, \quad (7)$$

де x_{iu} – значення кодової змінної у відповідному стовпці плану експерименту; $\bar{y}_u$ – середній результат u – го дослідів; u – порядковий номер дослідів; i – номер фактору; N – кількість проведених основних дослідів.

Також визначаємо надійний інтервал коефіцієнтів за залежністю:



$$\Delta b = \frac{t_T \cdot S_{n0}}{\sqrt{n_0}}, \quad (8)$$

де t_T – значення t – критерію Стюдента, вибране при заданому рівні значущості α і числі ступенів волі f_n .

Якщо виконується умова $|b_i| \geq \Delta b$, то коефіцієнти регресії вважаються значущими, тобто їх вплив на функцію відгуку перевищує похибки вимірювання.

Гіпотезу про адекватність отриманої математичної моделі перевіряли за допомогою F-критерію Фішера:

$$F = \frac{S_H^2}{S_{n0}^2}, \quad (9)$$

де S_H^2 – дисперсія неадекватності.

Дисперсію неадекватності визначали за формулою:

$$S_H^2 = \frac{\sum_{u=1}^N n \cdot (\bar{y}_u - \hat{y}_u)^2}{N - k'}, \quad (10)$$

де $\hat{y}_u$ – значення функції в u -му рядку, обчислене за знайденою математичною моделлю; k' – кількість значущих коефіцієнтів рівняння регресії; n – кількість дублювань дослідів в одному рядку.

Якщо $F \leq F_T$, вибраного при знайденому значенні надійної ймовірності α і числа ступенів волі f_H, f_n , то отримана модель вважається адекватною, її можна використовувати для опису досліджуваного процесу. Результати розрахунків представлено у табл. 2.

Таблиця 2

Результати розрахунків коефіцієнтів моделі

b_0	b_1	b_2	b_3	b_4
-1,441	0,18	-0,073	-0,025	0,201

Загальний вигляд рівняння регресії у кодованих величинах представлено у вигляді:

$$\ln Q = -1,441 + 0,18x_1 - 0,073x_2 - 0,025x_3 + 0,201x_4. \quad (11)$$

Відповідно у натуральних величинах (координатах) рівняння регресії після перетворення та спрощення виразів прийнято в кінцевому вигляді:

$$\ln Q = -2,759 + 0,328 \ln h - 0,285 \ln t - 0,046 \ln h_b + 0,579 \ln n. \quad (12)$$

Отже, кінцева формула для визначення продуктивності:

$$Q = \frac{0,063 \cdot h^{0,328} \cdot n^{0,579}}{t^{0,285} \cdot h_b^{0,046}}. \quad (13)$$

Дослідження із визначенням продуктивності екструдера проводилися при транспортуванні таких матеріалів з відповідною об'ємною масою: ячмінь – 700 кг/м³; пшениця – 760 кг/м³; кукурудза – 800 кг/м³; вологістю, яка становить $W = 10-18\%$, що дозволило побудувати відповідні аналітичні регресійні залежності [12-13]. Вологість заміряли вологоміром марки Grain Moisture Meter MD 7822.

Для здійснення можливості пресування матеріалів кормової суміші при різних режимах в прес-екструдері використовували шнеки з різними кроками робочого органу t і ширини гребня пружинного елемента h_b , глибини гвинтового каналу робочого органу h , змінювали частоту обертання робочого органу (10, 12, 15, 20 об/с) [14, 15].



На рис. 2 зображено поверхні відгуку зміни величини Q від одночасної зміни двох факторів для кормової суміші: а – $Q = f(h, t)$; б) – $Q = f(h, h_b)$; в) – $Q = f(n, h)$; г) – $Q = f(h_b, t)$; д) – $Q = f(n, t)$; е) – $Q = f(h_b, n)$ від геометричних та конструктивних параметрів при виконанні процесу виготовлення кормової суміші з використання пружинного робочого органу при частоті обертання робочого органу (10, 12, 15, 20 об/с), глибини гвинтового каналу робочого органу в межах $h = 0,002 \div 0,006$ м та з різними кроками робочого органу $t = 0,025 \div 0,015$ м та ширина гребня пружного елемента $h_b = 0,004 \div 0,012$ м.

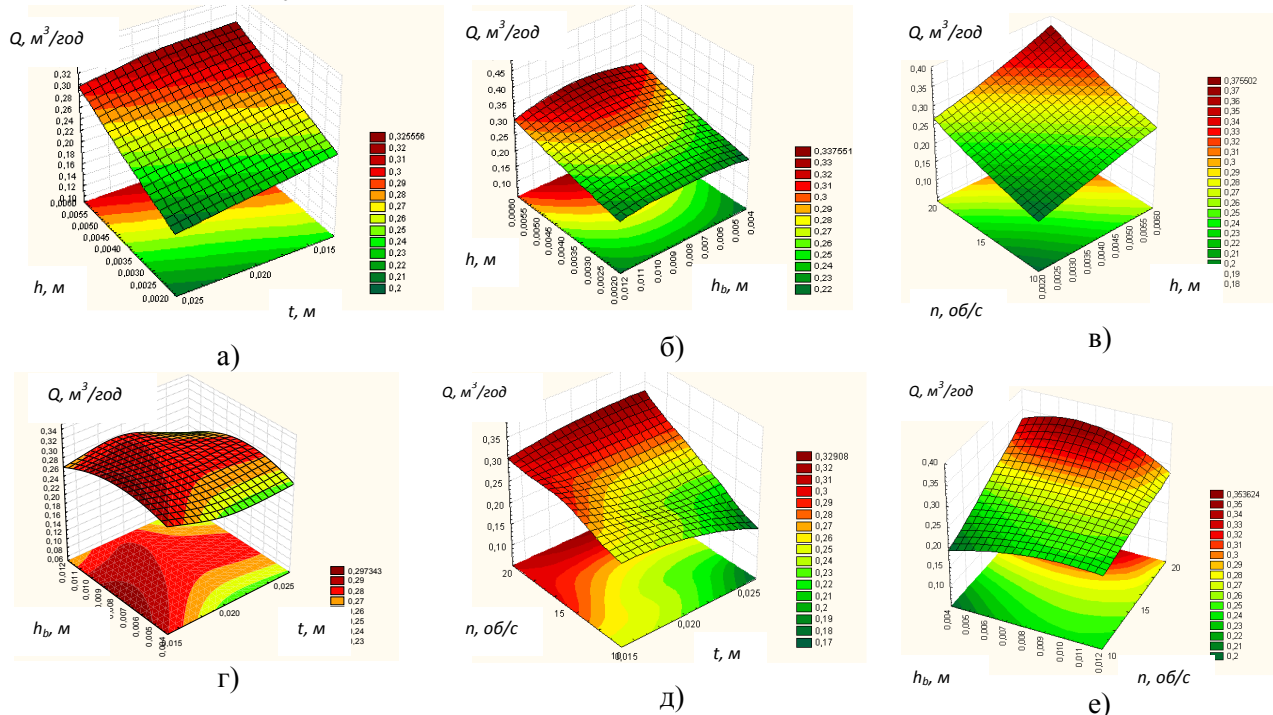


Рис. 2. Поверхні відгуку залежностей: а – $Q = f(h, t)$; б) – $Q = f(h, h_b)$; в) – $Q = f(n, h)$; г) – $Q = f(h_b, t)$; д) – $Q = f(n, t)$; е) – $Q = f(h_b, n)$

5. Висновок

Встановлено, що переважаючими факторами, які впливають на продуктивність є частота обертання робочого органу n , його крок t та ширина гребня пружного елемента h_b і в меншій мірі глибина гвинтового каналу робочого органу h . Для приготування кормової суміші в цілому доцільно застосовувати робочий орган із параметрами: крок робочого органу знаходиться в межах $t = 0,025 \div 0,015$, його глибина $h = 0,006$ м, ширина гребня пружного елемента $h_b = 0,008$ м при швидкості обертання робочого органу від 12 до 18 об/с.

Список використаних джерел

1. Герман Х. Шнековые механизмы в технологии ФРГ / Х. Герман. – Л. : Машиностроение, 1975. – 230 с.
2. Зенков Р. Л. Машины непрерывного транспорта : Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности Подъемно-транспортные машины и оборудование / Р. Л. Зенков, И. И. Ивашков, Л. Н. Колобов // – 2-е изд., перер. и доп. – М.: Машиностроение, 1987. – 432 с.
3. Макаров Ю. И. Аппараты для смешения сыпучих материалов / Ю. И. Макаров. – М. : Машиностроение, 1973. – 216 с.
4. Механізми з гвинтовими пристроями / [Б.М. Гевко, М.Г. Данильченко, Р.М. Рогатинський та ін.]. – Львів : Світ, 1993. – 208 с.
5. Гевко І.Б. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук : спец. 05.02.02 «Машинознавство» / І.Б. Гевко. – Львів, 2013. – 40 с.
6. Черняев Н. П. Производство комбикормов / Н. П. Черняев. – М. : Агропромиздат, 1989. – 224 с.



7. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановський Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных решений / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановський // М.: Наука, – 215с.
8. Ревенко І.І. Машины та обладнання для тваринництва: Підручник / І.І. Ревенко, М.В. Брагінець, В.І. Ребенко // – К.: Кондор, 2011. – 731с
9. Душинський В.В. Основи наукових досліджень. / В.В. Душинський // К.:Вища школа, 2002. – 386 с.
10. Техніка сільськогосподарська. Машины та обладнання для приготування кормів. Методи функціональних випробувань: ГСТУ 46.007–2000 – [Чинний від 2001 – 01 – 01]. – К.: Мінагрополітики України, 2000. – 74 с. – (Галузевий стандарт України).
11. Williams J.C. The mixing and segregation of particulates solids of different particle size / Williams J.C., Khan M.J. – Chem. Eng., January, 1973.
12. Ziegler F, Technische Mechanik der festen und slussigen Korper / F, Ziegler, Springer Verlag, Wien, 1985. 18
13. Классен, Н.П. Гранулирование [Текст] / Н.П.Классен, И.Г.Гришаев, И.П. Шомин –М.: Химия, 1991. – 240 с.
14. Штефан Є.В. Інформаційна технологія проектування техно–логічного обладнання для механічної обробки дисперсних матеріалів [Текст] / Є.В. Штефан // Обробка дисперсних матеріалів і сред. Теорія, дослідження, технології, обладнання. – 2002. – Вип. 12. – С.72–78.
15. Штефан, Є.В. Використання методів математичного моделювання для проектування вузлів преса–гранулятора [Текст] / Є.В.Штефан, Д.В. Риндюк // Механіка та інформатика: III–я Міжнар. конф. молодих вчених.: збірник стат. – Хмельницький, 2005. – С. 172 – 175.
16. Патент на корисну модель № 109801. Україна, В30В 11/00, А23К 40/20 (2016.01). Установка для формування кормових брикетів / Ляшук О. Л.; Гевко Б.М.; Дячун А. Є.; Бадишук В. І.; Дмитренко В.П.. (Україна). – u201601809. Заявл. 25.02.2016.; Опубл. 12.09.2016р., Бюл.№17.– 5с.;

References

- [1] Herman Kh. Shnekovye mekhanyzmy v tekhnolohyy FRH / Kh. Herman. – L. : Mashynostroenye, 1975. – 230 s.
- [2] Zenkov R. L. Mashyny nepreryvnoho transporta : Uchebnyk dlya studentov vuzov, obuchayemykhysya po spetsyal'nosty Pod'emno–transportnye mashyny y oborudovanye / R. L. Zenkov, Y. Y. Yvashkov, L. N. Kolobov // – 2–e yzd., perer. y dop. – М.: Mashynostroenye, 1987. – 432 s.
- [3] Makarov Yu. Y. Apparaty dlya smeshenyya syrchykh materyalov / Yu. Y. Makarov. – М. : Mashynostroenye, 1973. – 216 s.
- [4] Mekhanizmy z hvyntovymy prystroyamy / [B.M. Hevko, M.H. Danyl'chenko, R.M. Rohatyns'kyi ta in.]. – L'viv : Svit, 1993. – 208 s.
- [5] Hevko I.B. Naukovo–prykladni osnovy stvorenniya hvyntovykh transportno–tekhnolohichnykh mekhanizmiv : avtoref. dys. na zdobuttya nauk. stupenya doktora tekhn. nauk : spets. 05.02.02 «Mashynoznavstvo» / I.B. Hevko. – L'viv, 2013. – 40 s.
- [6] Chernyaev N. P. Proyzvodstvo kombykormov / N. P. Chernyaev. – М. : Ahropromyzzdat, 1989. – 224 s.
- [7] Adler Yu.P., Markova E.V., Hranovs'kyi Yu.V. Planirovanye eksperimenta pry poyske optymal'nykh resheniy / Yu.P. Adler, E.V. Markova, Yu.V. Hranovs'kyi // М.: Nauka, – 215s.
- [8] Revenko I.I. Mashyny ta obladnannya dlya tvarynnystva: Pidruchnyk / I.I. Revenko, M.V. Brahynets', V.I. Rebenko // – К.: Kondor, 2011. – 731s
- [9] Dushyns'kyi V.V. Osnovy naukovykh doslidzhen'. / V.V. Dushyns'kyi // К.:Vyshcha shkola, 2002. – 386 s.
- [10] Tekhnika sil'skohospodars'ka. Mashyny ta obladnannya dlya pryhotuvannya kormiv. Metody funktsional'nykh vyprobuvan': HSTU 46.007–2000 – [Chynnyy vid 2001 – 01 – 01]. – К.: Minahropolityky Ukrayiny, 2000. – 74 s. – (Haluzevyi standart Ukrayiny).
- [11] Williams J.C. The mixing and segregation of particulates solids of different particle size / Williams J.C., Khan M.J. – Chem. Eng., January, 1973.
- [12] Ziegler F, Technische Mechanik der festen und slussigen Korper / F, Ziegler, Springer Verlag, Wien, 1985. 18
- [13] Klassen, N.P. Hranulyrovanye [Tekst] / N.P.Klassen, Y.H.Hryshaev, Y.P. Shomyn –М.: Khymyya, 1991. – 240 s.



- [14] Shtefan Ye.V. Ynformatsyonnaya tekhnolohyya proektyrovanyya tekhnolohycheskoho oborudovanyya dlya mekhanicheskoy obrabotky dyspersnykh materyalov [Tekst] / Ye.V. Shtefan // Obrabotka dyspersnykh materyalov y sred. Teoryya, yssledovanyya, tekhnolohyy, oborudovanye. – 2002. – Выр. 12. – S.72–78.
- [15] Shtefan, Ye.V. Vykorystannya metodiv matematychnoho modelyuvannya dlya proektuvannya vuzliv presa–hranulyatora [Tekst] / Ye.V.Shtefan, D.V. Ryndyuk // Mekhanika ta informatyka: III–ya Mizhnar. konf. molodykh vchenykh.: zbirnyk stat. – Khmel'nyts'kyi, 2005. – S. 172 – 175.
- [16] Patent na korysnu model' # 109801. Ukrayina, B30B 11/00, A23K 40/20 (2016.01). Ustanovka dlya formuvannya kormovykh bryketiv / Lyashuk O. L.; Hevko B.M.; Dyachun A. Ye.; Badyshchuk V. I.; Dmytrenko V.P.. (Ukrayina). – u201601809. Zayavl. 25.02.2016.; Opubl. 12.09.2016r., Byul.#17.– 5s.;

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ШНЕКОВЫХ РАБОЧЕГО ОРГАНА ЭКСТРУДЕРОВ

Создание нового конкурентоспособного оборудования для изготовления высокоэффективных комбикормов для животноводства является одной из важных задач народного хозяйства Украины. Представлены установку, которая имеет малые энергозатраты и повышение производительности труда с расширенными технологическими возможностями для изготовления кормовой смеси животных.

Ключевые слова: кормовые брикеты, экструдеры, переработка фуражного зерна, рабочий орган, математическое моделирование.

Ф. 13. Табл. 2. Рис. 2. Лит. 16.

EXPERIMENTAL EQUIPMENT FOR THE STUDY OF A MULTIPLE WORKING BODY OF EXTRUDER

Creation of new competitive equipment for the production of highly efficient compound feed for livestock production is one of the important tasks of the national economy of Ukraine. The installation, which has low energy consumption and increase of labor productivity with the advanced technological possibilities for production of a forage mixture of animals, is presented.

Keywords: feed briquettes, extruders, processing of fodder grain, working body, mathematical modeling.

F. 13. Tabl. 2. Fig. 2. Ref. 16.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Дмитренко Віктор Петрович – асистент кафедри «Загальнотехнічних дисциплін та охорони праці» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: dmytrenko@vsau.vin.ua).

Дмитренко Виктор Петрович – ассистент кафедры «Общетехнических дисциплин и охраны труда» Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, e-mail: dmytrenko@vsau.vin.ua).

Dmitrenko Victor – assistant of the department General technical disciplines and labor protection of Vinnytsia National Agrarian University (3, Solnyshchaya str., Vinnytsia, 21008, Ukraine, e-mail: dmytrenko@vsau.vin.ua).