УДК 536.24 DOI 10.31548/energiya2022.04.074

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ПРИГОТУВАННЯ РІДКИХ ЗЕРНОВИХ КОРМІВ В РОТОРНО-ПУЛЬСАЦІЙНОМУ АПАРАТІ

В. Г. Горобець, доктор технічних наук, професор

А. О. Сердюк, аспірант

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E–mail: gorobetsv@ukr.net

Анотація. *Використання роторно-пульсаційного апарата дає можливість здійснювати процеси змішування, подрібнення, розчинення компонентів корму з одночасним нагріванням рідкої маси та ряд інших технологічних процесів.*

Метою роботи було проведення експериментального дослідження основних характеристик процесу приготування рідких зернових кормів у роторно-пульсаційному апараті з метою отримання їх оптимальних властивостей для споживання свійською худобою.

Представлені результати експериментальних досліджень процесів приготування рідких зернових кормів в апараті з використанням роторно-пульсаційних технологій. Розглянуто принцип роботи і склад експериментальної установки для приготування зернокормових сумішей з використанням принципів дискретно-імпульсного вводу енергії. Досліджені процеси приготування кормових сумішей з використанням різних зернових компонент при різній їх концентрації в кормах. Визначені такі параметри кормової суміші як дисперсність твердих зернових частинок, температура суміші та енергетичні витрати в залежності від часу приготування корму. Встановлено, що при обробці кормової суміші відбувається дисипація кінетичної енергії обертання ротора і її нагрівання, що зменшує енергетичні витрати на приготування корму в холодний період року. Визначений час приготування і кількість циклів обробки рідкої зернової суміші, при яких споживчі якості корму будуть оптимальними. Показано, що нова конструкція апарату для приготування рідких зернових кормів має переваги порівняно з відомими апаратами за якісними та енергетичними показниками.

Ключові слова: ***роторно-пульсаційний апарат, гранулометричний склад, споживана потужність, температура***

Актуальність. Широко вживані технології приготування кормів при вирощуванні свійських тварин в агрохолдінгах та фермерських господарствах базуються на використанні сухих зернових кормів. Основними апаратами для приготування таких кормів є молоткові дробарки різних конструкцій [1, 2]. Принцип отримання сухого корму в таких пристроях полягає у використанні технології

ударного механізму, який подрібнює зернові компоненти кормової суміші (молоткові дробарки, шнекові механізми, тощо). Основною метою в процесі виготовлення якісних кормів є отримання оптимальних розмірів кормових частинок для засвоєння в процесі годівлі тварин при мінімальних енергетичних витратах на одиницю кормової маси [3, 4]. Разом з тим, в молоткових дробарках отриманий сухий корм містить як великі фракції, так і пилоподібні фракції, які не відповідають відповідним стандартам, прийнятим при годівлі худоби. Це погіршує споживаність корму і призводить до перевитрат зернового матеріалу. Крім того, для молоткових дробарок характерним є значні питомі енергетичні витрати для приготування одиниці маси сухої кормової суміші.

Як показують дослідження і практичний досвід годівлі худоби вживання сухих кормів не є оптимальним для певних видів сільськогосподарських тварин (свиней, молодняка великої рогатої худоби, кіз, овець та інших тварин) [5, 6]. Для цих видів худоби найкращим за споживаністю та якістю виготовлення кормової продукції є рідкий корм. Приготування рідкого корму шляхом розведення сухого корму рідиною крім вказаних вище недоліків потребує додаткових витрат енергії на підігрівання рідких кормових сумішей у холодний період року .

Тому актуальним напрямком є розробка нових конструкцій апаратів для приготування якісних рідких кормів на основі зернових сумішей, принцип роботи яких заснований на використанні технологій з меншими енерговитратами для отримання одиниці кормового продукту. До таких апаратів можна віднести роторно-пульсаційні, принцип роботи яких заснований на методі дискретно-імпульсного введення енергії (ДІВЕ). Використання таких технологій дає можливість здійснювати процеси змішування, подрібнення, розчинення компонентів корму з одночасним нагріванням рідкої маси та ряд інших технологічних процесів. При приготуванні рідких кормів за допомогою цих агрегатів реалізуються основні механізми ДІВЕ, а саме: вплив турбулентності, пульсацій тиску, кавітації, зміни швидкості потоку рідини та інших гідродинамічних та термічних ефектів. За рахунок таких впливів досягаються більші значення щільності гідродинамічної та

гідроакустичної енергії, а також локалізується значна частка потужності в потоці оброблюваної суміші.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Роторно-пульсаційні апарати (РПА) знайшли широке застосування в харчовій, фармацевтичній, хімічній та інших галузях народного господарства [7]. Проведені теоретичні і експериментальні дослідження процесів гідродинаміки і масопереносу в апаратах з використанням технології ДІВЕ [8]. Разом з тим, такі технології недостатньо розроблені і впроваджені при розробці апаратів для приготування кормів для свійських тварин і в сільськогосподарській галузі. Як приклад розвитку такого напрямку досліджень можна навести роботи проведені в [9]. У них розроблений РПА для приготування рідких зернових кормів з робочою камерою, складовими якої є ротор і статор з циліндричними отворами для проходження кормової суміші. У цих роботах наведені результати чисельного моделювання і експериментального дослідження процесів приготування кормової продукції. Разом з тим, конструкції робочих камер в РПА не обмежуються розглянутими в роботах [7, 9], оскільки актуальним є виконання досліджень нових конструкцій робочих камер та проведення їх оптимізації з метою отримання найбільш якісних кормів з мінімальними витратами енергії на одиницю виробленої кормової продукції.

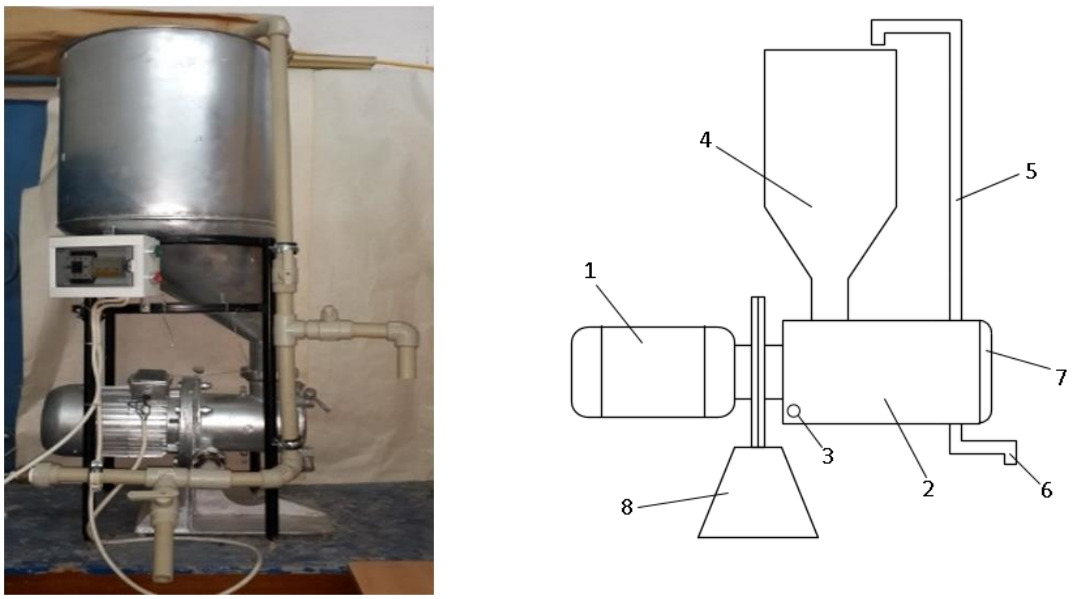
У роботі [10] розроблена математична модель та проведений чисельний розрахунок гідродинаміки, процесів тепло- і масопереносу при приготуванні рідких зернових кормів у робочих камерах з ротором і статором, що мають отвори прямокутного профілю. При цьому була вибрана оптимальна конструкція такої робочої камери з точки зору отримання оптимальних характеристик корму та мінімальних витрат енергії на його приготування. На базі проведених досліджень був спроектований і виготовлений експериментальний зразок роторно-пульсаційного апарату для приготування рідких кормових сумішей з використанням різного типу зернових.

Чисельне та експериментальне дослідження процесів приготування рідких зернових кормів за допомогою РПА потребує більш поглибленого вивчення в майбутньому. Актуальною задачею є дослідження впливу механізмів ДІВЕ, що

використовуються в роторно-пульсаційних апаратах, а також розробка та удосконалення конструктивних елементів цього апарату для приготування кормів більш високої якості.

Мета дослідження – проведення експериментального дослідження основних характеристик процесу приготування рідких зернових кормів у роторно-пульсаційному апараті з метою отримання їх оптимальних властивостей для споживання свійською худобою.

Матеріали та методи дослідженнн. Загальна вигляд і схема роторно-пульсаційної установки представлена на рис.1. Дослідна установка містить: електричний двигун (1), переробну камеру (2), патрубок для подачі води (3), бункер (4), трубопровід для повторної подачі оброблюваної сировини в бункер (5), патрубок для виведення готової суміші з установки (6), кришку камери (7) та опорну арматуру (8).



а *б*

Рис. 1. Загальна вигляд (*а*) і схема (*б*) роторно-пульсаційної установки

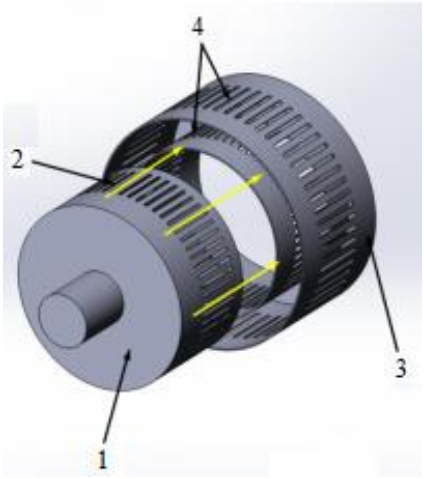


Рис.2. Конструкція системи ротор-статор в робочій камері РПА

Конструкція робочої камери (рис. 2) має два коаксіально з'єднаних циліндри – рухомого ротора (1) та нерухомого статора (3), на бічних стінках яких розміщені радіальні отвори прямокутної форми (2, 4). Процес циркуляції рідкої суміші відбувається за рахунок відцентрових сил, які виникають у процесі обертання ротора установки. Швидкість обертання ротора складала 3000 об/хв.

Експериментально-промислова установка працює так. Через патрубок (3) переробна камера (2) повністю наповнюється водою, а потім до бункера (4) подається необхідна кількість зерна. Після подачі зерна запускається електричний привод (1) апарата і зерно разом з водою надходить до переробної камери (2), де воно подрібнюється між радіальними отворами (пазами) ротора і статора. Далі подрібнена суміш за допомогою патрубка (5) подається в бункер, а після нього знову повертається до переробної камери (2) для подальшого подрібнення і кращого розчинення зернових фракцій в рідинному середовищі. При проходженні рідини з твердими фракціями через пази ротора та статора відбуваються процеси кавітації, турбулентності потоку рідини, подрібнення твердих фракцій зерна, перетворення (дисипації) кінетичної енергії обертання ротора в теплову енергію, що призводить до нагрівання оброблюваної суміші та інші процеси. Кількість необхідних циклів для повної обробки зерна знаходиться в процесі експериментальних досліджень і визначається середнім розміром фракцій зерна, які повинні бути оптимальними для споживання корму свійськими тваринами.

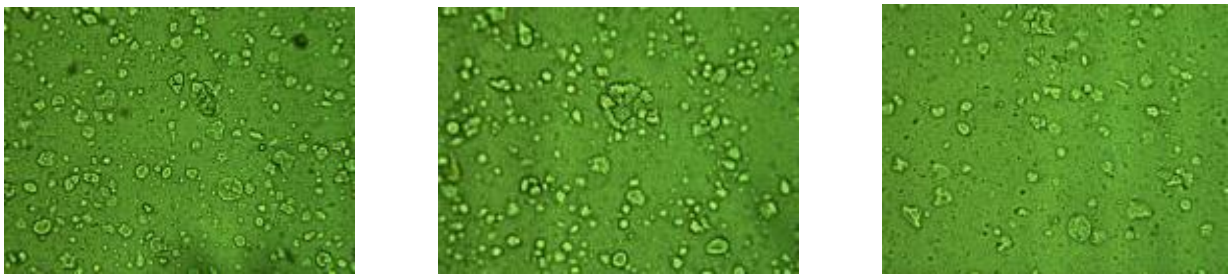
Були проведені експериментальні дослідження процесів виготовлення рідких зернових кормів і аналіз отриманих експериментальних даних. Як зернові компоненти кормової суміші використовували пшеницю, ячмінь, кукурудзу. Досліджувалися кормові суміші з різним складом води і зернової маси, процентний склад якої становив 10 %, 20 % і 30 %. У ході експериментальних досліджень проводилися вимірювання таких показників: витрат оброблюваної рідинної суміші, що проходить через переробну камеру; температури кормової суміші; кількості енергії, яка витрачається на приготування одиниці корму; середнього розміру частинок зерна в кормовій суміші для різних моментів часу при її обробці.

Швидкість потоку кормової суміші в РПА та її витрату за одиницю часу вимірювалась за допомогою витратоміра TUF2000M. Температура суміші визначалась за показниками термопари UT320A, що входить до комплекту мультиметра UNI-T з діапазоном вимірювань від -50 до +1300 °С. Витрати електроенергії, яку споживає двигун, визначали за допомогою електролічильника СТКЗ–10А 1Н6РВ. Для визначення розмірів частинок зерен кормової суміші використовували електронний оптичний мікроскоп SIGETA MB-202 з бінокулярною насадкою та цифровою камерою MDC - 560 (рис. 3).

Рис. 3. Електронний оптичний мікроскоп SIGETA MB-202

Результати досліджень та їх обговорення. Деякі результати досліджень приведені на рис. 4-7. Проведені дослідження гранулометричного складу кормової суміші з використанням електронного мікроскопа. На рис. 4 наведені фотографії

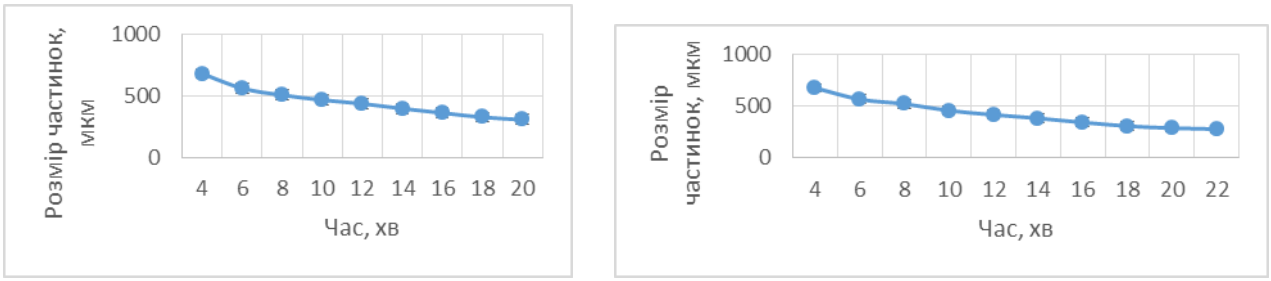
зразків кормової суміші в різні моменти часу під час обробки зернової суміші, які вказують на зменшення середніх розмірів часток зерна при збільшенні часу обробки суміші. Аналіз гранулометричного складу зернової суміші свідчить про рівномірний гранулометричний склад подрібненого зерна, в якій фракції зерна дуже дрібного розміру, які погіршують споживчі властивості корму, практично відсутні.



а *б* *в*

Рис. 4. Фотографії зразків рідкої зернової суміші в різні моменти часу:
а – 9 хв, *б* – 15 хв, *в* – 24 хв

На рис. 5 представлені графічні залежності середнього розміру частинок зерен кукурудзи від часу обробки суміші при концентрації кукурудзи в ній 10 % і 30 % від загального об'єму водозернової суміші.



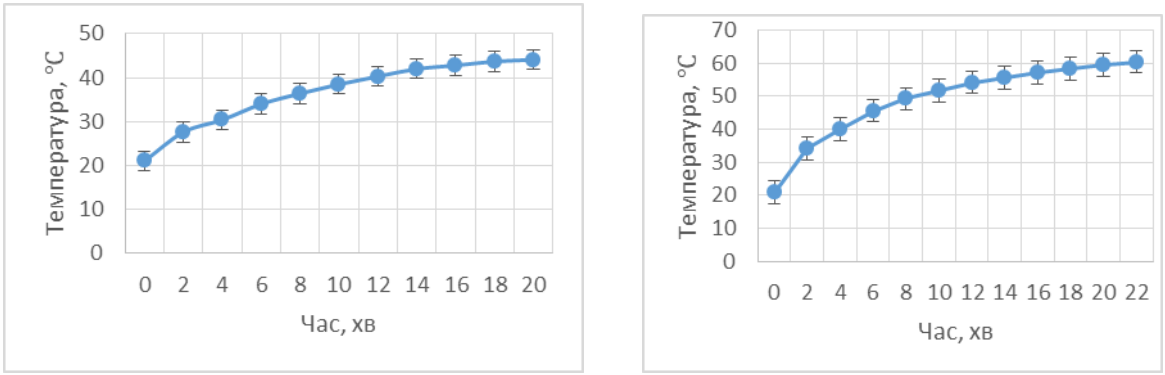
а *б*

Рис.5. Графіки залежності середнього розміру частинок кукурудзи від часу обробки суміші при концентрації зернової маси 10 % (*а*) і 30 % (*б*)

Експериментальні дані показали, що для отримання рідкої кормової суміші, в якій середній розмір частинок зерна кукурудзи становить 250-350 мкм, яка є оптимальною для споживання свійською худобою, необхідно оброблювати суміш в РПА протягом 16-20 хв. При цьому, за даними вимірювань, кормова суміш

проходить через робочу камеру 22-24 рази, тобто має 22-24 цикли обробки. При збільшенні концентрації зерен кукурудзи в кормовій суміші термін обробки корму зменшується.

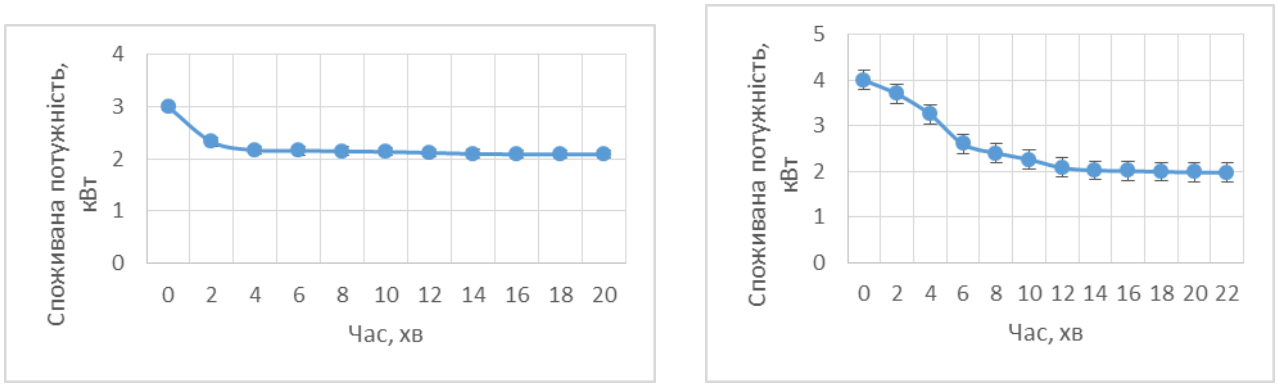
На рис.. 6 представлені залежність температури рідкої кукурудзяної суміші від часу обробки при концентрації кукурудзяної маси 10 % і 30 % від загального об'єму суміші. Температурні характеристики рідких зернових кормів під час їх приготування відіграють досить важливу роль, оскільки при традиційній технології приготування рідкого корму в холодний період року для його підігрівання необхідно додатково витрачати енергетичні і економічні ресурси. Аналіз отриманих залежностей показує, що температура суміші підвищується по мірі її обробки, проте максимальне зростання температури суміші спостерігається в початковий період обробки. Це пов'язано з більш інтенсивними процесами тертя та подрібнення зерен в пазах ротора і статора, що супроводжується виділенням значної кількості теплової енергії. При збільшенні концентрації зерен у водозерновій суміші приріст температури буде вищий, що обумовлено більшими витратами енергії на її приготування. Як випливає з рис.6,*б* температура кормосуміші може перевищувати 50 ^{0}C, що дозволяє не витрачати енергію на підігрівання корму в холодний період року.



а *б*

Рис.6. Графіки залежності температури рідкої зернової суміші від часу її обробки при концентрації зерна 10 % (*а*) та 30 % (*б*)

На рис. 7. представлені графіки зміни споживаної потужності в залежності від часу обробки суміші кукурудзи з водою при концентрації кукурудзи 10 % (рис. 7, *а*) та 30 % (рис. 7, *б*) від загального об'єму водозернової суміші.



а *б*

Рис.7. Графіки залежності споживаної потужності від часу обробки суміші при концентрації зерна 10 % (*а*) та 30 % (*б*)

Аналіз отриманих даних показує, що в початковий момент часу споживана потужність максимальна і поступово зменшується при обробці водозернового середовища. Зі збільшенням концентрації зернової фракції енергетичні витрати також збільшуються. Це пояснюється тим, що зі збільшенням твердої фракції в оброблюваному середовищі збільшується сила тертя в робочих органах установки, як наслідок, потрібно витрачати більшу кількість енергії на подолання опору тертя. Також зі збільшенням тривалості обробки суміші підвищується її температура. Ріст температури призводить до збільшення в'язкості рідинного середовища, що також обумовлює збільшення споживаної потужності, необхідної для обробки кормової суміші. Підвищення в'язкості пояснюється початком клейстеризації крохмалю в зерновій суміші. Разом з тим, як витікає з графіків рис. 7, при обробці водозернової суміші споживана потужність не підвищується на кінцевих етапах приготування корму, оскільки процес клейстеризації крохмалю зерен кукурудзи ще не розпочався. Виходячи з цього, споживана потужність РПА при диспергуванні водозернових сумішей залежить від кількості твердої фази в ній, в'язкості і температури. Отримані результати дають можливість провести оцінку енергетичних витрат, які необхідні

для приготування одиниці кормової продукції в РПА. Порівняння витрат енергії для отримання одиниці кормової продукції в РПА і молоткових дробарках показує на суттєве зниження енерговитрат до 40-70 % на одиницю продукції при підвищенні споживчої якості корму.

Висновки і перспективи.

1. Проведені експериментальні дослідження процесів приготування рідкої зернової кормової суміші в роторно-пульсаційному апараті. Знайдені основні характеристики досліджуваного процесу в залежності від часу обробки кормової суміші, у якій в якості зернових складових використано пшеницю, ячмінь, кукурудзу при різній концентрації твердих компонент.

2. Показано, що для отримання оптимального для споживання худоби складу водозернової суміші необхідно 20-24 цикли її обробки, причому склад кормової суміші є рівномірним без наявності дрібних часток зерна, що покращує її споживчі якості.

3. Встановлено, що під час обробки рідкої зернової суміші її температура підвищується за рахунок дисипації кінетичної енергії обертання ротора, яка може досягати 40-50 ^{0}C, що дає можливість не витрачати додаткову енергію на її підігрівання в холодний період року.

4. Отримано залежності споживаної потужності від часу обробки рідкої кормової суміші при різній концентрації зернових фракцій. Показано, що використання роторно-пульсаційних технологій зменшує витрати енергії для отримання одиниці кормової продукції та покращує її споживчі якості.

5.

References

1. Khokhryn, S. N. (2004). Kormlyeniye selskohozyaistvennih zhivotnih [Feeding farm animals]. Moscow: Kolos, 692.

2. Glebov, L. A., Demsky, A. B. , Vedenyev, V. F. , Temirov, M. M. , Ogurtsov, Yu. M. (2006). Tehnologicheskoye oborudovaniye predpriyatiy (zernopererabativayushchiye predpriyatiya) [Technological equipment of enterprises of industry (grain processing enterprises)]. Textbook; Parts I and III according to Ed. L.A. Glebov, part II under the editorship. A .B. Demsky. Moscow: DeLi print, 816.

3. Ibatullin, I. I., Melnychuk, D. O., Bohdanov G. O. et al. (2006). Godivlya silskogospodarskih tvarin [Feeding of agricultural animals]. Kyiv, 444.

4. Ibatullin, I. I. Melnyk, Y. F., Otchenashko, V. V. and others. (2014). Praktikum z godivli silskogospodarskih tvarin / navchalniy posibnik [Workshop on feeding agricultural animals / study guide], Kyiv, 422.

5. Perednia, V. I. , Romanovych, A. I. (2021). Eksperimentalniye issledovaniya oborudovaniya dlya proizvodstva legkousvoyayemogo zhidkogo korma dlya sviniey [Experimental studies of equipment for the production of digestible liquid feed for pigs]. Equipment and technology in animal husbandry, 3(43), 54-61.

6. Nechmilov, V. M., Povod, M. G. (2018). Vidgodivelna produktivnist sviney za terminiv doroshchuvannya ta vikoristannya suhogo I ridkogo tipov godivli [Pig feeding productivity at different periods of rearing and use of dry and liquid types of feed]. Reason - Bulletin of the Sumy National University of Science and Technology. 7 (35). 122-134.

7. Dolinsky, A. A., Basok, B. I. , Guly, I. S., Nakorchevsky, A. I., Shurchkova, Yu. A. (1996). Diskretno-impulsniy vvod energii v teknologiyah [Discrete-pulse input of energy in technologies]. Kyiv: Institute engineering thermophysics NAS Ukraine, 208.

8. Dolinsky. A. A,, Ivanytskyi, G. K. (2008). Teplomassoobmyen i gidrodinamika v parozhidkostnih sredah. Teplofizicheskiye osnovi diskretno-impulsnogo vvoda energii [Heat-mass exchange and hydrodynamics in vapor-liquid dispersed media. Thermophysical principles of discrete-pulse energy input]. Kyiv: Naukova dumka, 381.

9. Obodovych A. N., Draganov, B. Kh., Lymar, A. Yu. (2013). Isslyedovaniye protsesa dispergirovaniya zernovih smyesyei s primyenyeniyem myetoda diskretno-impulsnogo vvoda energii (DIVE) dlya poluchyeniya zhidkih kormov [Investigations of the process of dispersion of grain mixtures using the method of discrete-pulse energy input (DPEI) for obtaining liquid fodder]. Industrial heat engineering, 35, 5, 9–18.

10. Gorobets, V. G., Trokhaniak, V. I., Serdyuk, A. M. (2019). Numerical simulation of hydrodynamics and heat transfer processes in rotor-pulsing apparatus for preparation of liquid feed. Energy and automation, 5, 22–29.

EXPERIMENTAL STUDY OF LIQUID GRAIN FEED PREPARATION PROCESSES IN A ROTOR-PULSATION APPARATUS

V. Gorobets, A. Serdyuk

Abstract. *The use of a rotary-pulsation device makes it possible to carry out the processes of mixing, grinding, dissolving feed components with simultaneous heating of the liquid mass and a number of other technological processes.*

The purpose of the work was to conduct an experimental study of the main characteristics of the process of preparing liquid grain fodder in a rotary-pulsation apparatus in order to obtain their optimal properties for consumption by livestock.

The article presents the results of experimental studies of the processes of preparation of liquid grain feed in the apparatus using rotary-pulsation technologies. The principle of operation and the composition of the experimental installation for the preparation of grain feed mixtures using the principles of discrete-pulse energy input are considered. Processes of preparation of feed mixtures using different grain components at different concentrations in feed were investigated. Such parameters of the feed mixture as dispersion of solid grain particles, temperature of the mixture and energy consumption depending on the time of preparation of the feed were determined. It was found that during the processing of the feed mixture, the kinetic energy of the rotor rotation and its heating

is dissipated, which reduces the energy costs for the preparation of feed in the year cold period. The preparation time and the number of processing cycles of the liquid grain mixture, at which the consumer quality of the feed will be optimal, are determined. It is shown that the new design of the apparatus for the preparation of liquid grain feed has advantages in comparison with known devices in terms of quality and energy indicators.

Key words: ***rotary-pulsation apparatus, granulometric composition, power consumption, temperature***