

**Купчук І.М.**

к.т.н., старший викладач

**Вінницький національний
аграрний університет****Kupchuk I.****Vinnytsia National Agrarian
University****УДК 621.926.2****DOI: 10.37128/2306-8744-2019-3-9**

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ ФУРАЖНОГО ЗЕРНА ВІБРАЦІЙНОЮ ДИСКОВОЮ ДРОБАРКОЮ

Корми складають більшу частину собівартості продукції тваринництва і визначають її якість, а однією із найбільших важливих та енергетично затратних операцій, можна відзначити подрібнення фуражного зерна (пшениці, ячменю, гороху, кукурудзи тощо). Тому дослідження спрямовані на розроблення високоефективних технологій та енергоощадного обладнання для реалізації даного технологічного процесу є актуальними та мають практичну цінність.

З метою підвищення рівня технічного забезпечення галузі тваринництва в лабораторії теорії механізмів і машин кафедри загально технічних дисциплін та охорони праці Вінницького національного аграрного університету було спроектовано вібраційну дискову дробарку, яка характеризується використанням більш ефективного способу подрібнення некондиційного (фуражного) зерна на комбікорм – комбінування удару та різання (рис. 1, к), в порівнянні з існуючими молотковими дробарками, які базуються на застосуванні вільного удару (рис. 1, і) по матеріалу шарнірно підвішених пластин – молотків.

В статті висвітлені результати досліджень процесу подрібнення зерна кукурудзи на корм вібраційною дисковою дробаркою. У якості об'єкта досліджень використовувався експериментально-дослідний зразок розробленої машини. Для реєстрації вхідних і вихідних параметрів процесу подрібнення користувалися матеріально-технічною базою лабораторій кафедри технологічних процесів та обладнання переробних і харчових виробництв. З метою дотримання зоотехнічних вимог до ступеню подрібнення зерна на корм контролювалася також дисперсність отриманого продукту. Розміри фракцій визначались методом механічного розділення на ситовому аналізаторі. Обробку даних здійснювали в програмному пакеті Microsoft Excel.

Таким чином було отримано графічні залежності та обґрунтовано раціональні режими роботи вібраційної дискової дробарки, шляхом оцінки продуктивності обладнання в залежності від кутової швидкості ротора, діаметра перфорації сита та вологовмісту об'єкта обробки.

Ключові слова: фуражне зерно, подрібнення, вібрація, продуктивність, кутова швидкість, вологовміст.

Постановка проблеми. Високий рівень витрат енергоресурсів вітчизняними товаровиробниками не дозволяє забезпечити належний рівень конкурентоспроможності продукції тваринництва на внутрішньому та

зовнішньому ринках. Тому ефективне функціонування фермських господарств у сучасних умовах потребує розробки та впровадження у виробництво технологій, які відповідають світовим стандартам та дозволяють



зменшити неперенесені втрати енергоресурсів [1]. При подрібненні зерна із показником вологовмісту вище базисної кондиції спостерігається низька ефективність способу подрібнення ударом, що зумовлено підвищеною пластичністю матеріалу та збільшенням значення граничної деформації, яку зерно може сприймати до руйнування [2, 3]. Також суттєвою проблемою є несвоєчасне виведення готового матеріалу із зони подрібнення внаслідок його налипання на ситі, що призводить до зменшення пропускної здатності дробарки [3]. Тому виникає потреба в розробці та впровадженні більш ефективного та енергоощадного технологічного обладнання для реалізації даного технологічного процесу,

базуючись на застосуванні принципово нових механізмів обробки матеріалу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На основі проведеного аналізу технологічних процесів [2 - 8] і конструктивних схем існуючого обладнання [4, 9 - 13] для реалізації процесу подрібнення сипучих мас був запропонований більш ефективний спосіб подрібнення фуражного зерна, сутність якого полягає в поєднанні ударного і ріжучого впливу робочих елементів на матеріал [14] (рис. 1 к), що є більш ефективним з точки зору механіко-технологічних властивостей зерна [15, 16, 17].

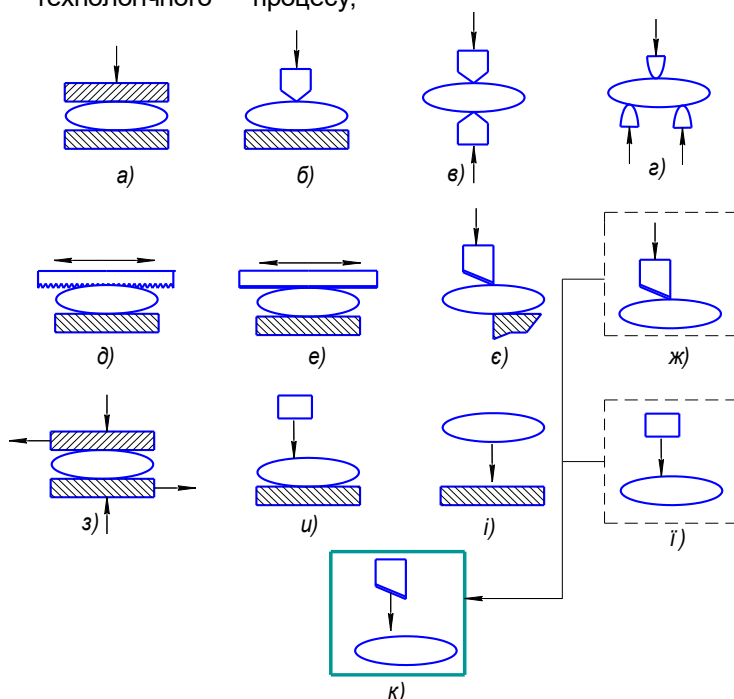


Рис. 1. Способи подрібнення: а) роздавлювання; б) розколювання одностороннє; в) розколювання двостороннє; г) розламування; д) розпилювання обмежене; е) різання обмежене; є) різання опорне; ж) різання безопорне; з) стирання; и) удар обмежений; і) удар об поверхню (зіткнення); ї) вільний удар; к) ударне різання вільне

Також шляхом забезпечення вимушених коливань робочого органу машини та робочої камери разом із сепараційною поверхнею створюються умови для своєчасного виведення продукту із зони подрібнення, що сприяє зменшенню надмірної циркуляції повітряно-продуктового шару та часу технологічної дії, відведенню готового продукту із зони подрібнення, та як наслідок обумовлює потенціал для зменшення питомих енергетичних витрат на зазначену обробку [18, 19].

Однак, для досягнення високих показників енергоефективності виробництва, необхідно обґрунтувати раціональні режими роботи запропонованого обладнання.

Метою даної роботи є обґрунтування енергоефективних та ресурсощадних режимів роботи вібраційної дискової дробарки при подрібненні фуражного зерна, шляхом експериментальної оцінки процесу за продуктивністю розробленого обладнання.

Матеріали та методи.

Експериментальну частину роботи виконано на базі лабораторій кафедри технологічних процесів та обладнання переробних і харчових виробництв Вінницького національного аграрного університету з використанням розробленого стенда (рис. 2) та експериментально-дослідного зразка вібраційної дискової дробарки [18, 20] (рис. 3).



Рис. 2. Експериментальний стенд для дослідження розробленого обладнання: 1 – експериментально-дослідний зразок вібраційної дискової дробарки; 2 – персональний комп'ютер з програмним забезпеченням; 3 – вмикач; 4 – електронний ватметр EMF-1; 5 – дублюючий електромеханічний ватметр; 6 – лабораторний трансформатор АОСН-20-220-75.

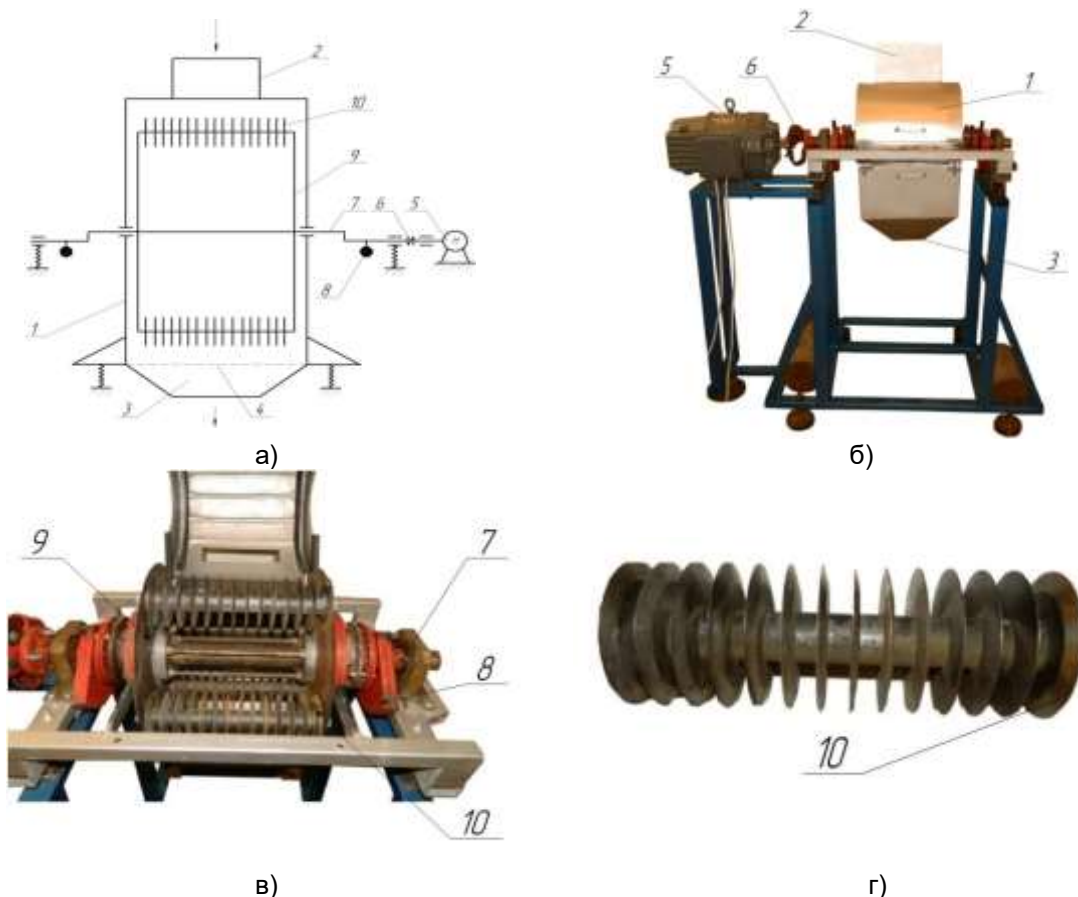
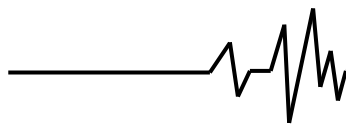


Рис. 3. Вібраційна дискова дробарка [18]: а) – принципова схема; б) – загальний вигляд; в) – виконавчий орган; г) – дискові била; 1 – корпус; 2, 3 – завантажувальна та розвантажувальна горловина; 4 – сито; 5 – електродвигун; 6 – муфта еластична; 7 – вал кінематичний; 8 – протизваги; 9 – ротор; 10 – била дискові.

У дослідженні технологічних характеристик процесу подрібнення розробленим обладнанням, здійснено низку експериментів зі зміни дисперсних властивостей оброблюваного матеріалу (кукурудзи) під дією ударно-різального впливу робочих органів у «вібраційному полі».

Оцінку продуктивності виконували шляхом зважування подрібненого матеріалу, що пройшов через дробарку за годину часу. Для визначення маси застосовувалися електронні лабораторні технічні ваги ВТА-60/30-5-Т.



Для реєстрації частоти обертання приводного вала було використано безпроводний тахометр UNI-T UT372 принцип роботи та правила експлуатації якого описано в технічній документації.

Для керування та зміни частоти обертання вала електродвигуна використовувався автотрансформатор АОСН-20-220-75, який призначений для роботи зі змінним струмом. Він містить рухомий струмознімальний контакт у вигляді графітового ролика, що дозволяє плавно змінювати напругу від нуля до максимуму. Також обмотка згаданого автотрансформатора має декілька

клем, завдяки яким можна отримувати різні характеристики струму на виході.

Експлуатаційні характеристики лабораторного автотрансформатора АОСН-20-220-75 дають змогу в режимі реального часу знімати показники та аналізувати споживану потужність та кількість обертів електродвигуна.

Для визначення вологовмісту матеріалу використовували вологомір Wile 55, який може використовуватись для вимірювання відносної вологості різноманітних типів зерна та насіння, які заносяться в пам'ять приладу. Технічна характеристика даного приладу наведена в табл. 1, принцип роботи та правила експлуатації – в технічній документації [21].

Таблиця 1

Технічна характеристика вологоміра Wile-55 [21]

Діапазон вимірювань:	Значення
- зерно та насіння, %	8...35
- насіння олійних культур, %	5...25
Діапазон робочих температур, °C	0...40
Точність, %	± 0,1 %
Живлення, В	9 (IEC 6F22)
Довжина, мм	120
Ширина, мм	80
Висота, мм	210
Маса, кг	0,8

Дисперсність матеріалу визначалась методом механічного розділення частин – ситовим аналізом. Матеріал завантажували на сито з отворами відомих розмірів і за допомогою коливного руху розділяли на дві частини: залишок і сепарат. Використовували сита з розміром отворів: 1; 0,8; 0,6; 0,4; 0,2 мм. Дослідний матеріал просіювали на лабораторному ситовому аналізаторі А-20.

Результати досліджень. В результаті проведених експериментальних досліджень були отримані дані, обробку і графічну інтерпретацію яких виконано в програмному середовищі Microsoft Excel. На рис. 4 показано зміну продуктивності машини залежно від частоти обертання ротора розробленого обладнання та діаметра отворів сепараційної поверхні.

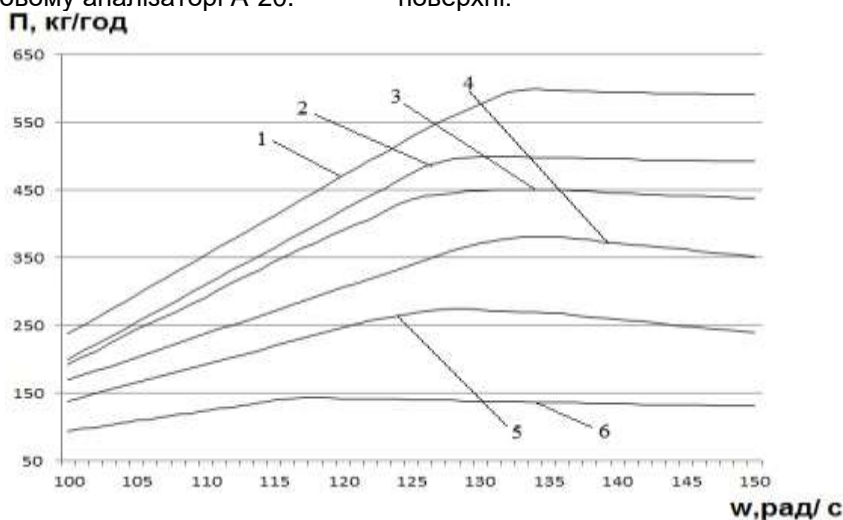
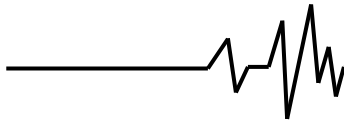


Рис. 4. Залежність продуктивності обладнання від кутової швидкості приводного вала: 1 – при $d=2$ мм; 2 – при $d=1,8$ мм; 3 – при $d=1,6$ мм; 4 – при $d=1,4$ мм; 5 – при $d=1,25$ мм; 6 – при $d=1$ мм.



Аналізуючи отриману залежність, можна дійти висновку, що продуктивність Π зростає зі збільшенням частоти обертання, проте, при досягненні частоти обертання 125-135 рад/с і більше, спостерігається зменшення приросту продуктивності, що свідчить про надмірну рециркуляцію переподрібненого матеріалу.

Результати експериментальних досліджень зміни продуктивності обладнання, в залежності від частоти обертання приводного

валу та відносної вологості матеріалу, відображені на рис. 5, звідки можна зробити висновок, що значною мірою на продуктивність впливає вологість матеріалу, зокрема при однаковій частоті ($\omega = 130$ рад/с) продуктивність зменшилась більш як на 25 %, а саме із 450 кг/год. до 325 кг/год при подрібненні матеріалу із вологістю 13-14% та 25-26% відповідно.

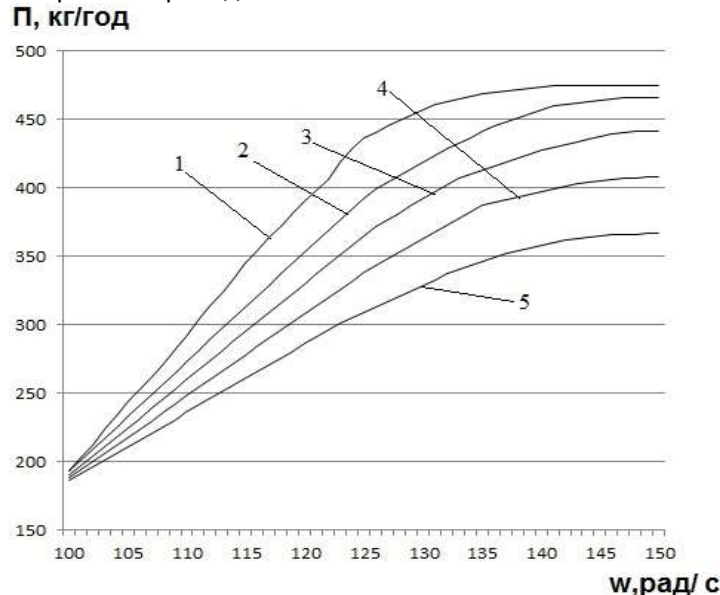


Рис. 5. Залежність продуктивності обладнання від кутової швидкості приводного валу: 1 – при $V=13-14\%$; 2 – при $V=16-17\%$; 3 – при $V=19-20\%$; 4 – при $V=22-23\%$; 5 – при $V=25-26\%$.

Висновки. В результаті досліджень обґрунтовано раціональні режимні параметри роботи вібраційної дискової дробарки при обробці зерна з різними показниками вологовмісту та в залежності від необхідної дисперсності готового продукту, що задається розмірами перфорації сепараційної поверхні. Встановлено, що для енергоефективного подрібнення фуражного зерна до розміру частинок $d=1,6...1,8$ мм при значенні показника вологовмісту $V=19-20\%$ кутова швидкість ротора машини має становити $\omega=125-128$ рад/с. При цьому продуктивність дробарки буде знаходитись в межах $Q=400...420$ кг/год за споживаних енергетичних затрат $N=1,2...1,5$ кВт на привод.

Список використаних джерел

1. Калетнік Г.М., Кулик М.Ф., Глушко Я.Т. Енергоощадні технології кормів – основа конкурентоздатності тваринництва: Монографія. Вінниця: Теза, 2006. 340 с.
2. Кудінов Є.С., Бойко І.Г. Аналіз способів подрібнення зернових кормів стосовно їх енергоемності. *Вісник Харківського національного технічного університету*

сільського господарства імені Петра Василенка. Серія: Технічні науки, 2010. № 95. С. 5.

3. Нанка О.В., Бойко І.Г. Шляхи зниження енергоемності подрібнення зернових кормів та підвищення якості подрібнення. *Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва. Збірник наукових праць БНАУ*, 2012. Вип. 7. С. 55-58.

4. Гвоздєв О.В., Шпиганович Т.О., Ялпачик О.В. Вдосконалення процесу подрібнення зерна. *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки*, 2011. № 11. С. 143-150.

5. Булгаков В.М., Адамчук В.В., Калетнік Г.М., Черниш О.М. Теоретичне дослідження збурених гармонійних коливань у вібраційних приводах машин. *Вібрації в техніці та технологіях*, 2016. №2 (82). С. 5-9.

6. Гончаревич І. Ф., Фролов К. В. Теория вибратионной техники и технологи. Москва: Наука, 1981. 320 с.

7. Глебов Л.А. Интенсификация процессов измельчения сырья при производстве кормов : автореф. дис. ...д-ра техн. наук.



Москва. 1990. 35 с.

8. Нанка О.В. Напрямки підвищення ефективності процесу подрібнення зернових кормів. *Конструювання, виробництво, експлуатація сільськогосподарських машин*, 2015. Вип.45, ч.II. С. 152-157.

9. Абрамов А.А. Обоснование параметров и режимов работы измельчителя зерна скалывающего типа : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Ростов-на-Дону. 2006. 20 с.

10. Янович В.П., Калетник Г.М. Обґрунтування режимних та конструктивних параметрів гіраційного млина для виробництва високоактивних преміксів. *Вібрації в техніці та технологіях*, 2017. №1 (84). С.15 – 21.

11. Bulgakov V., Pascuzzi S., Ivanovs S., Kaletnik G., Yanovich V. Angular oscillation model to predict the performance of a vibratory ball mill for the fine grinding of grain. *Biosystems Engineering*, 2018. vol. 171. P. 155-164.

12. Toneva P., Epple P., Breuer M. Grinding in an air classifier mill – Part I: Characterisation of the one-phase flow. *Powder Technology*, 2011. № 211. P. 19–27.

13. Islam M. N., Matzen R. Size distribution analysis of ground wheat by hammer mill. *Powder Technology*, 1988. № 54. P. 235–241.

14. Паламарчук І. П., Янович В. П., Купчук І. М. Обґрунтування технології та обладнання для попередньої обробки крохмалевмісної сировини при виробництві спирту. *Вібрації в техніці та технологіях*, 2013. № 4 (72). С. 112–116.

15. Зверьев С. В., Зверьева Н. С. Физические свойства зерна и продуктов его переработки. Москва : ДеЛи принт, 2007. 176 с.

16. Овчинников П. Ф. Структурно-механические характеристики пищевых продуктов. Москва: Лёгкая и пищевая промышленность, 1982. 296 с.

17. Паламарчук І.П., Янович В.П., Купчук І.М. Дослідження фізико-механічних властивостей зернової крохмаловмісної сировини як об'єкта технологічної дії спиртового виробництва. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*, 2016. №3(95). С. 126-129.

18. Паламарчук І.П., Янович В.П., Купчук І.М., Соломко І.В. Розробка конструктивно-технологічної схеми віброторної дробарки. *Вібрації в техніці та технологіях*, 2013. № 1 (69). С. 125-129

19. Yanovich V.P., Kupchuk I.M., Kovalchuk O.S. Theoretical studies of energy parameters of vibration-disk crusher starch containing substance. *SWorld journal: Technical sciences*, 2016. Vol.11. P. 17-25.

20. Пат. КМ 85270 Україна. Віброторна дробарка. Опубл. 11.11.2013.

21. Сайт «Влагомеры зерна. Влагомер зерна Wile 55» [Електронний ресурс]. URL :

<https://vlagomery.in.ua/vlagomery-zerna/8-vlagomer-zerna-wile-55.html> (дата звернення: 22.09.2019).

Список джерел у транслітерації

1. Kaletnik, G.M., Kulyk, M.F. & Glushko, Ya.T. et al. (2006). *Enerhooshchadni tekhnolohii kormiv – osnova konkurentozdatnosti tvarynnystva [Energy-saving feed technology - the foundation of livestock competitiveness]*. Vinnytsia: Teza [In Ukrainian].

2. Kudinov, Ye.S. & Boiko, I.H. (2010). Analiz sposobiv podribnennia zernovykh kormiv stosovno yikh enerhoiemnosti [Analysis of methods for grinding grain feed in accordance with their energy intensity]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka. Serii: Tekhnichni nauky. – Bulletin of the Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Peter Vasilenko. Series: Technical Sciences*, 95, 5-12 [In Ukrainian].

3. Nanka, O.V. & Boiko, I.H. (2012). Shliakhy znyzhennia enerhoiemnosti podribnennia zernovykh kormiv ta pidvyshchennia yakosti podribnennia [Ways to reduce the energy intensity of grinding grain feed and improve the quality of grinding]. *Tekhnolohiia vyrobnystva i pererobky produktsii tvarynnystva. Zbirnyk naukovykh prats BNAU – Technology of production and processing of livestock products. Collection of scientific works of BNAU*, 7, 55-58 [In Ukrainian].

4. Hvozdiev, O.V., Shpyhanovych, T.O. & Yalpachyk, O.V. (2011). Vdoskonalennia protsesu podribnennia zerna [Improvement of grain grinding process]. *Zbirnyk naukovykh prats Vinnytskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Serii: Tekhnichni nauky – Collection of scientific works of Vinnytsia National Agrarian University. Series: Technical Sciences*, 11, 143-150 [In Ukrainian].

5. Bulhakov, V.M., Adamchuk, V.V., Kaletnik, G.M. & Chernysh, O.M. (2016). Teoretychne doslidzhennia zburynykh harmoniinykh kolyvan u vibratsiinykh pryvodakh mashyn [Theoretical study of forced harmonic vibrations in vibration drives of machines]. *Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh – Vibrations in engineering and technology*, 2 (82), 5-9 [In Ukrainian].

6. Honcharevych, Y.F. & Frolov, K.V. (1981). *Teoriya vybratsyonnoi tekhniky y tekhnolohyy [Theory of vibration technique and technology]*. Moscow: Nauka [In Russian].

7. Glebov, L.A. (1990). Intensifikatsiya protsessov izmelcheniya syrya pri proizvodstve kormov [Intensification of grinding processes in feed production]. *Extended abstract of Doctor's thesis*. Moscow: Moscow Technological Institute of



Food Industry [In Russian].

8. Nanka, O.V. (2015). Napriamky pidvyshchennia efektyvnosti protsesu podribnennia zernovykh kormiv [Directions for increasing the efficiency of the process of grinding grain feed]. *Konstruiuvannia, vyrobnytstvo, ekspluatatsiia silskohospodarskykh mashyn – Design, production, operation of agricultural machinery, 45 part. II.*, 152-157 [In Ukrainian].

9. Abramov, A.A. (2006). Obosnovanie parametrov i rezhimov raboty izmelchitel'ya zerna skalyivayushchego tipa [Justification of the parameters and operating modes of the grain chopper shearing type]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Rostov-on-Don: Don State Technical University [In Russian].

10. Yanovych, V.P. & Kaletnik, G.M. (2017). Obgruntuvannia parametriv hiratsiinoho mlyna dla vyrobnytstva vysokoaktyvnykh premiksiv [Substantiation of operating and design parameters of a gyration mill for the production of highly active premixes]. *Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh – Vibrations in engineering and technology, 1 (84)*, 15-21 [In Ukrainian].

11. Bulgakov, V., Pascuzzi, S., Ivanovs, S., Kaletnik, G. & Yanovich, V. (2018). Angular oscillation model to predict the performance of a vibratory ball mill for the fine grinding of grain. *Biosystems Engineering, 171*, 155-164 [In English].

12. Toneva, P., Eppele, P. & Breuer, M. (2011). Grinding in an air classifier mill – Part I: Characterisation of the one-phase flow. *Powder Technology, 211*, 19-27 [In English].

13. Islam, M. & Matzen, R. (1988). Size distribution analysis of ground wheat by hammer mill. *Powder Technol, 54*, 235-241 [In English].

14. Palamarchuk, I.P., Yanovych, V.P. & Kupchuk, I. M. (2013). Obgruntuvannia tekhnolohii ta obladnannia dla poperednoi obrobky krokhmalovmisnoi syrovyny pry vyrobnytstvi spyrtu [Justification of technology and equipment for the preliminary processing of starch-containing raw materials in the production of ethanol]. *Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh – Vibrations in engineering and technology, 4 (72)*, 112-116 [In Ukrainian].

15. Zverev, S.V. & Zvereva, N.S. (2007). *Fizicheskie svoystva zerna i produktov ego pererabotki [Physical properties of grain and products of its processing]*. Moscow: DeLi print [In Russian].

16. Ovchinnikov P. F. (1982). *Strukturno-mekhanicheskie harakteristiki pischevykh produktov [Structural and mechanical characteristics of food products]*. Moscow: Light and Food Industry [In Russian].

17. Palamarchuk, I.P., Yanovych, V.P. & Kupchuk, I.M. (2016). Doslidzhennia fizyko-

mekhanichnykh vlastyvostei zernovoi krokhmalovmisnoi syrovyny yak ob'iekta tekhnolohichnoi dii spyrtovoho vyrobnytstva [Investigation of the physico-mechanical properties of grain starch-containing raw materials as an object of the technological action of ethanol production]. *Tekhnika, enerhetyka, transport APK – Technics, energy, transport AIC, 3 (95)*, 126-129 [In Ukrainian].

18. Palamarchuk, I.P., Yanovych, V.P., Kupchuk, I.M. & Solomko, I.V. (2013). Rozrobka konstruktyvno-tekhnolohichnoi skhemy vibratornoi drobarky [Development of the design and technological scheme of the vibratory crusher]. *Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh – Vibrations in engineering and technology, 1 (69)*, 125-129 [In Ukrainian].

19. Yanovich, V.P., Kupchuk, I.M. & Kovalchuk, O.S. (2016). Theoretical studies of energy parameters of vibration-disk crusher starch containing substance. *SWorld journal: Technical sciences, 11*, 17-25 [In English].

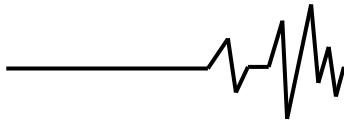
20. Palamarchuk, I.P., Yanovych, V.P. & Kupchuk, I.M. (2013). *Vibratorotorna drobarka [Grinder rotor vibration]*. Patent, 85270, UA [in Ukrainian].

21. Sait «Vlagomeryi zerna. Vlagomer zerna Wile 55» [Sait «Hygrometer of grain. Hygrometer of grain Wile 55»]. *vlagomery.in.ua*. Retrieved from <https://vlagomery.in.ua/vlagomery-zerna/8-vlagomer-zerna-wile-55.html/> [in Ukrainian].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ФУРАЖНОГО ЗЕРНА ВИБРАЦИОННОЙ ДИСКОВОЙ ДРОБИЛКОЙ

Корма составляют большую часть себестоимости продукции животноводства и определяют ее качество, а одной из крупнейших важных и энергетически затратных операций, можно отметить измельчения фуражного зерна (пшеницы, ячменя, гороха, кукурузы и т.д.). Поэтому исследования направлены на разработку высокоэффективных технологий и энергосберегающего оборудования для реализации данного технологического процесса являются актуальными и имеют практическую ценность.

С целью повышения уровня технического обеспечения отрасли животноводства в лаборатории теории механизмов и машин кафедры общетехнических дисциплин и охраны труда Винницкого национального аграрного университета было спроектировано вибрационную дисковую дробилку, которая характеризуется использованием более эффективного способа измельчения некондиционного (фуражного) зерна на комбикорм – комбинирование удара и резания



(рис. 1, к), по сравнению с существующими молотковыми дробилками, принцип работы которых основан на применении свободного удара (рис. 1, и) по материалу шарнирно подвешенных пластин – молотков.

В статье изложены результаты исследований процесса измельчения зерна кукурузы на корм вибрационной дисковой дробилкой. В качестве объекта исследований использовался экспериментально-опытный образец разработанной машины. Для регистрации входных и выходных параметров процесса измельчения пользовались материально-технической базой лабораторий кафедры технологических процессов и оборудования перерабатывающих и пищевых производств. С целью соблюдения зоотехнических требований к степени измельчения зерна на корм контролировалась также дисперсность полученного продукта. Размеры фракций определялись методом механического разделения на ситовом анализаторе. Обработку данных осуществляли в программном пакете Microsoft Excel.

Таким образом были получены графические зависимости и обоснованно рациональные режимы работы вибрационной дисковой дробилки, путем оценки производительности оборудования в зависимости от угловой скорости ротора, диаметра перфорации сита и влагосодержания объекта обработки.

Ключевые слова: фуражное зерно, измельчение, вибрация, производительность, угловая скорость, влагосодержание.

EXPERIMENTAL RESEARCH PROCESS OF GRINDING FODDER GRAIN USING THE VIBRATION DISC-TYPE CRUSHER

Feed make up a large part of the cost for livestock production and determine its quality. A

very important technological operation with high energy costs is the grinding of feed grain (wheat, barley, peas, corn, etc.). Therefore, research on the development of effective technologies and cost-effective equipment for grinding is relevant and of practical value.

In the laboratory of the theory of mechanisms and machines of the department of general technical disciplines and labor protection of Vinnitsa National Agrarian University, a vibratory disk crusher was designed to increase the level of technical support for the livestock industry. The crusher uses a more efficient method of grinding feed grain - a combination of impact and cutting, in contrast to a hammer mill that grinds with a free impact of hammers.

The research results of grinding corn grain into feed by a vibratory disk crusher are presented in the article. An experimental prototype of the developed machine was used as an object of research. To register the input and output parameters of grinding, we used the material and technical base of the department of technological processes and equipment of processing and food industries. In order to comply with the zootechnical requirements for the degree of grinding of grain into feed, the dispersion of the obtained product was also controlled. The sizes of the fractions were determined by mechanical separation on a sieve analyzer. Data processing was carried out in the Microsoft Excel software package.

Thus, graphs were obtained and rational parameters of the vibratory disk crusher were determined. This was done by analyzing the performance for the crusher depending on the rotor angular velocity, the sieve perforation diameter and the grain moisture content.

Key words: feed grain, grinding, vibration, productivity, angular velocity, moisture content.

Відомості про авторів

Купчук Ігор Миколайович – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри «Загальнотехнічних дисциплін та охорони праці» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008, e-mail: kupchuk.igor@i.ua).

Купчук Игорь Николаевич – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Общетехнических дисциплин и охраны труда» Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, Украина, 21008, e-mail: kupchuk.igor@i.ua).

Kupchuk Igor – candidate of technical sciences (Ph.D in Engeneering), senior lecturer of the «Department of General Technical Disciplines and Occupational Safety» of Vinnitsa National Agrarian University (Sonyachna St., 3, Vinnitsa, Ukraine, 21008, e-mail: kupchuk.igor@i.ua).