

ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ДРОБАРКИ НА ПРОЦЕС ПОДРІБНЕННЯ ЗЕРНА М. ПОЛТАВИ

Владислав Рибальченко

аспірант кафедри механічної та електричної інженерії

Полтавський державний аграрний університет, вул. Сковороди, 1/3, Полтава, Україна, 36003, vladyslav.rybalchenko@pdau.edu.ua

ORCID: 0009-0008-8972-9426

Олена Костенко

доктор технічних наук, професор, професор кафедри механічної та електричної інженерії

Полтавський державний аграрний університет, вул. Сковороди, 1/3, Полтава, Україна, 36003, kostenko@pdaa.edu.ua

ORCID: 0000-0001-5997-342X

Одним із чинників успішного розвитку галузі тваринництва є кормовиробництво, завдання якого полягає у забезпеченні якісними кормами тваринництва, яке, своєю чергою, є основним джерелом білка в харчуванні людини.

Проблема виробництва кормів повинна вирішуватися на основі застосування прогресивних машинних технологій, багатофункціональної техніки та сучасного обладнання для виробництва високоякісних, екологічно безпечних кормів, підвищення їхньої протеїнової та енергетичної поживності. Установлено, що використання комбікормів, які піддаються термообробці, доповнюючи раціони по дефіцитних поживних речовинах, сприяє підвищенню продуктивності тварин.

Найбільш енергоємним процесом у виготовленні комбікормів є подрібнення. Основним обладнанням для подрібнення зерна в господарствах є молоткові дробарки, які знайшли широке застосування та поширення завдяки простоті конструкції, зручності експлуатації та обслуговування. Головними їхніми недоліками є висока енергоємність і неоднорідність продукту, у якому міститься велика кількість пилоподібних фракцій, що підвищує енергоємність. Суттєвий вплив на процес подрібнення матеріалу мають конструктивні параметри робочих органів дробарки.

Метою роботи є підвищення ефективності процесу подрібнення концентрованих кормів після термообробки.

У роботі розглянуто основні конструктивні та технологічні параметри, що впливають на ступінь подрібнення зерна та на питому енергоємність. Зниження енергоємності можливе завдяки оптимізації розмірів і форм молотка.

Роботу присвячено теоретичному та експериментальному дослідженню конструктивних параметрів робочих органів дробарки, що впливають на ступінь подрібнення зерна та на питому енергоємність. Згідно з дослідженнями, основними конструктивними, технологічними та кінематичними чинниками, що впливають на процес подрібнення, є висота, кількість та довжина робочої зони подрібнювальних елементів, величина подачі матеріалу в зону подрібнювача.

У роботі досліджено залежність параметрів дробарки від величини їх завантаження та заданого ступеня подрібнення, у результаті чого виявлено взаємозалежність між параметрами подрібнювальних елементів першого ступеня та z-го за заданого ступеня подрібнення. На підставі цього розроблено схему подрібнювача з оптимальним варіантом конструкції дробарки. Досліджено вплив подрібнювальних елементів на режим завантаження.

Розроблена молоткова дробарка оснащена молотками з двома ріжучими кромками, що дає змогу задовольнити вимоги стандартів і зоотехнічні вимоги до якості подрібненого продукту й знизити питому енергоємність процесу подрібнення.

Ключові слова: молоткова дробарка, молотки, подрібнювальні елементи, конструкція, корми, розгінна пластина, ріжучі кромки.

Актуальність роботи. Сьогодні ефективність технологічного обладнання не завжди задовольняє вимоги виробництва. Підвищення рівня комплексної механізації, застосування прогресивних технологій та нової техніки повинні забезпечити значне скорочення витрат праці та коштів на виробництво продукції.

Аналіз існуючих раціонів показав, що дефіцит фосфору, кальцію, міді, цинку, марганцю, кобальту, йоду можна компенсувати за рахунок використання комбікормів, схильних до термообробки. Установлено, що використання комбікормів, які доповнюють раціони дефіцитними поживними речовинами, сприяє підвищенню

продуктивності тварин на 10–20%, збільшенню поїдання кормів, зниженню витрат кормів на одиницю продукції – на 5–15% та експлуатаційних – на 40–50%. За будь-якої крупності розмелу якість комбікорму тим вище, чим менше в ньому борошністого пилоподібного продукту [1; 2].

Подрібнення характеризується великою витратою енергії – від 3 до 100 кВт·год. на тонну готової продукції, причому лише частина її витрачається безпосередньо на подрібнення [3–6; 19].

Основним обладнанням для подрібнення зерна в комбікормовій промисловості є молоткові дробарки, які знайшли широке застосування та поширення завдяки простоті конструкції та зручності під час експлуатації й обслуговування. Їхнім головним недоліком є висока енергоємність і неоднорідність одержуваного продукту, у якому міститься велика кількість пилоподібної фракції [7–11].

Питанням подрібнення зерна в дробарках присвячено багато робіт. А.А. Бернс довів, що найбільш ефективно подрібнення зерна з використанням ударного навантаження. С.В. Мельников та Ф.Г. Плохов підтвердили це положення експериментально та довели, що коефіцієнт динамічності для фуражного зерна становить $\kappa_d = 1,6–2,0$.

Дослідженню та вдосконаленню дробарок присвячено роботи В.В. Сердюка, В.А. Руденка, В.А. Шеремета, В.Я. Осьмака, О.В. Гвоздева, О.В. Ялпанчика, В.В. Буртака, О.С. Дев'ятка, С.В. Хоменко, А.В. Новицького, Ю.Г. Сухенко, В.Ю. Сухенко, Н.І. Болтянської, М.І. Денисенка, Р.Б. Шеремета та ін., які досліджували параметри і режими роботи зернових дробарок [7; 11; 12; 14–18].

Для досягнення мети досліджень необхідно обґрунтувати вплив конструктивних параметрів робочих органів дробарки на ступінь подрібнення зернового матеріалу.

Матеріал і результати досліджень. У роботі проведено дослідження впливу основних конструктивних та технологічних параметрів на ступінь подрібнення зерна.

Основними конструктивними, технологічними і кінематичними чинниками, що впливають на процес подрібнення, є висота, кількість і довжина робочої зони подрібнювальних елементів, величина подачі матеріалу в зону подрібнювача [9; 16; 20–22].

За результатами досліджень у сфері ударного подрібнення та особливостей конструкцій ударних подрібнювачів з обертовими двогранними молотками розподільна функція має вигляд [23]:

$$\omega(x) = t(\vartheta_{num}, \sigma_{cm}, \tau_{зр}, \rho, q), \quad (1)$$

де ϑ_{num} – швидкість прямого ударного навантаження, м/с;

σ_{cm} – межа матеріалу міцності на стиск, Па;

$\tau_{зр}$ – межа міцності матеріалу на зріз, Па;

ρ – щільність подрібнювального матеріалу, кг/м³;

q – питома завантаження подрібнювальної поверхні, м²/с.

Такі фактори, як межа міцності подрібнювального матеріалу на зріз і питома завантаження подрібнювальної поверхні, уведено додатково.

Питома завантаження подрібнювальної поверхні робочих органів є характеристикою взаємодії подрібнювального матеріалу і подрібнювальної поверхні:

$$q = \frac{S_{под.м.}}{S_{под.ел}}, \quad (2)$$

де $S_{под.м.}$ – площа поверхні подрібнювального матеріалу, який подається на поверхню подрібнювальних елементів в одиницю часу, м²/с;

$$S_{под.м.} = PS_{num}, \quad (3)$$

де S_{num} – масова питома площа поверхні подрібнювального матеріалу, м²/кг [24];

P – подача подрібнювального матеріалу, кг/с;

$S_{под.ел}$ – загальна площа подрібнювальних елементів, м²;

$$S_{под.ел} = Khl_{роб.}, \quad (4)$$

де K – кількість подрібнювальних елементів у камері дробарки на певному ступені подрібнення;

h – робоча висота подрібнювальних елементів, м;

$l_{роб.}$ – довжина робочої зони подрібнювальних елементів, м.

Завантаження q визначається не лише подачею матеріалу, його питомою поверхнею, площею подрібнювальних елементів, а й активністю робочої поверхні елементів [23]:

$$q = t(P, S_{num}, S_{под.ел}, A), \quad (5)$$

де A – активність поверхні подрібнювальних елементів.

Уведення такої характеристики, як активність поверхні подрібнювальних елементів, зумовлено тим, що в різних конструкціях дробарок незалежно від площі подрібнювальної поверхні, подачі матеріалу та його питомої поверхні на якість подрібнення суттєво впливає здатність подрібнювальної поверхні своєчасно відводити

подрібнений матеріал із зони подрібнення. Відведення подрібненого матеріалу здійснюється за допомогою повітряного потоку. З усіх існуючих конструкцій дробарок вищу активність подрібнювальної поверхні мають дробарки з двома ріжучими кромками молотків. Пояснюється це тим, що частинка піддається двом ударам замість одного і дає змогу практично миттєво (протягом $10^{-3} \dots 10^{-4}$ с) очистити поверхню від продукту руйнування. Окрім того, питоме навантаження на поверхню руйнування набагато вище через меншу площу контакту.

Продуктивність Q дробарки загалом розраховується за формулою [23]:

$$Q = P_{opt1} \frac{S_{nod.ел1}}{S_{num}}, \quad (6)$$

де P_{opt1} – оптимальне завантаження поверхні подрібнювальних елементів ступеню, за якого подача не впливає на ступінь подрібнення матеріалу, m^2/c .

Визначивши оптимальну величину завантаження, продуктивність дробарки і питому поверхню подрібнювального матеріалу за формулами (3) і (6), можна розрахувати площу подрібнювальних елементів на наступних ступенях. Розглянемо загальний випадок подрібнення зерна в z -ступінчастій дробарці.

Подрібнювальний матеріал, проходячи через ступені подрібнення, піддається ударним впливам, у результаті чого збільшується його питома поверхня. Зростає і загальна поверхня матеріалу, який подається в одиницю часу на подрібнювальну поверхню ($P = const$ на всіх ступенях через відсутність проміжної сепарації).

Процес збільшення поверхні подрібнювального матеріалу можна показати у вигляді нерівностей:

$$S_{nod.м.z} \gg S_{nod.м.(z-1)} \gg \dots \gg S_{nod.м.z.0}, \quad (7)$$

де $S_{nod.м.z.0}$ – вихідна площа поверхні подрібнювального матеріалу;

$S_{nod.м.z}$ – площа поверхні подрібнювального матеріалу після z -ої ступені подрібнення, m^2 .

Для певного матеріалу і конкретної подрібнювальної поверхні завантаження повинно бути оптимальним. Припускаючи, що активність подрібнювальної поверхні (у межах 2...4 ступенів) однакова, можна записати:

$$P_{opt.1} = P_{opt.2} = \dots = P_{opt.z} \quad (8)$$

З урахуванням формули (2) вираз (7) матиме вигляд:

$$\frac{S_{nod.м.z.0}}{S_{nod.ел1}} = \frac{S_{nod.м.1}}{S_{nod.ел2}} = \dots = \frac{S_{nod.м.(z-1)}}{S_{nod.елz}}. \quad (9)$$

Прийнявши до уваги формули (3) та (4), можна записати:

$$\frac{P \cdot S_{num.0}}{l_1 n_1 k_1} = \frac{P \cdot S_{num.1}}{P_2 n_2 k_2} = \frac{P \cdot S_{num.(z-1)}}{l_z n_z k_z}. \quad (10)$$

Після перетворення вираз (10) матиме вигляд:

$$\frac{l_z n_z k_z}{l_{z-1} n_{z-1} k_{z-1}} = \frac{P \cdot S_{num.n}}{P \cdot S_{num.(z-1)}} = k_z \lambda_{(z-1)z} \text{ і т.д.} \quad (11)$$

$$\frac{l_2 n_2 k_2}{l_1 n_1 k_1} = \frac{P \cdot S_{num.2}}{P \cdot S_{num.1}} = k_z \lambda_{12}, \quad (12)$$

де k_z – коефіцієнт перерахунку величини поверхні подрібнення через середній еквівалентний діаметр частинок.

Перетворивши формули (11) та (12), маємо:

$$\lambda_{(n-1)n} = \frac{l_z n_z k_z}{l_{z-1} n_{z-1} k_{z-1}} \cdot \frac{1}{k_z} \text{ і т.д.}$$

$$\lambda_{12} = \frac{l_2 n_2 k_2}{l_1 n_1 k_1} \cdot \frac{1}{k_z} \quad (13)$$

Загальний ступінь подрібнення в дробарці після z -го ступеня:

$$\lambda = \lambda_{12} \lambda_{23} \lambda_{34} \dots \lambda_{(z-1)z}. \quad (14)$$

Підставивши у формулу (14) значення λ згідно з виразом (13), отримаємо:

$$\lambda = \frac{l_2 n_2 k_2}{l_1 n_1 k_1} \cdot \frac{1}{k_z} = \frac{l_3 n_3 k_3}{l_2 n_2 k_2} \cdot \frac{1}{k_z} = \dots = \frac{l_z n_z k_z}{l_{z-1} n_{z-1} k_{z-1}} \cdot \frac{1}{k_z}$$

$$\lambda = \frac{n_z l_z k_z}{n_1 l_1 k_1} \cdot \frac{1}{k_n^z} \quad (15)$$

$$l_z n_z \cdot k_z = \lambda \cdot k_n^z \cdot L_1 \cdot H_1 \cdot K_1. \quad (16)$$

Отже, встановлено взаємозв'язок між параметрами подрібнювальних елементів першого ступеня і z -го за заданого ступеню подрібнення.

На підставі вищевикладених теоретичних досліджень розроблено схему подрібнювача з оптимальними варіантами конструкцій дробарки.

Аналізуючи залежність (16), можна стверджувати, що зі збільшенням числа ступенів подрібнення в камері подрібнення двома ріжучими кромками молотка рівність порушується, тобто при $z > 1$:

$$l_z n_z \cdot k_z \leq \lambda \cdot k_n^z \cdot L_1 \cdot H_1 \cdot K_1. \quad (17)$$

Збереження рівності у цьому разі і тим самим забезпечення оптимального завантаження на

кожному з наступних ступенів можна досягти збільшення площі подрібнювальних елементів z -го ступеня. Збільшення площі подрібнювальних елементів наступних ступенів забезпечується за рахунок збільшення їхньої висоти.

На рис. 1 представлено схему подрібнення зі збільшенням висоти подрібнювальних елементів.

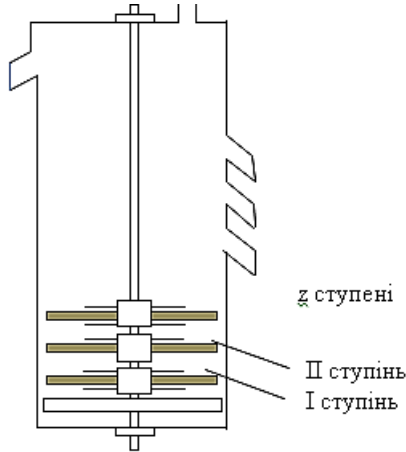


Рис. 1. Схема подрібнення зі збільшенням висоти подрібнювальних елементів

Під час переходу матеріалу з одного ступеня на інший і збільшення ступеня подрібнення (площі загальної поверхні подрібнювального матеріалу) збільшується площа в подрібнювальних елементах, що забезпечує оптимальне завантаження на кожному ступені подрібнення.

Розглянемо вплив подрібнювальних елементів на режим завантаження. Середнє значення подачі матеріалу на подрібнення в дробарку у взаємодії з подрібнювальними елементами визначається за формулою:

$$P'_{cep} = \frac{n}{k_{z+1}}, \quad (18)$$

де P'_{cep} – середнє значення подачі матеріалу, кг/с;

n – кількість подрібнювальних елементів.

У дійсності завантаження подрібнювальних елементів молотків відбувається періодично, і середнє значення подачі q'_{cep} є сумарним для періоду t (с):

$$t = \frac{2\pi}{\Phi_{n+1} + \Phi_n}. \quad (19)$$

За період t подрібнювальний елемент може бути завантажений із подачею $q > q'_{cep}$, інша частина часу не завантажується («відпочиває»), це залежить від кількості подрібнювальних елементів.

Із метою з'ясування впливу кількості подрібнювальних елементів на режим завантаження подрібнювальної поверхні розглянемо схему (рис. 2).

Розгінна пластина з кількістю молотків k_z постійно подає матеріал для подрібнення. Частинки матеріалу, як показано на схемі, стикаються з молотком у показаному порядку. Таким чином, буде відбуватися подрібнення матеріалу одним подрібнювальним елементом і його рівномірний розподіл на k_{z+1} подрібнювальних елементів молотка. Середнє значення подачі матеріалу за період можна розрахувати за формулою (19).

Подача, що відбувається на протязі деякого проміжку часу за період, визначається за формулою:

$$P'_{cep} = \frac{n}{k_z} \quad (20)$$

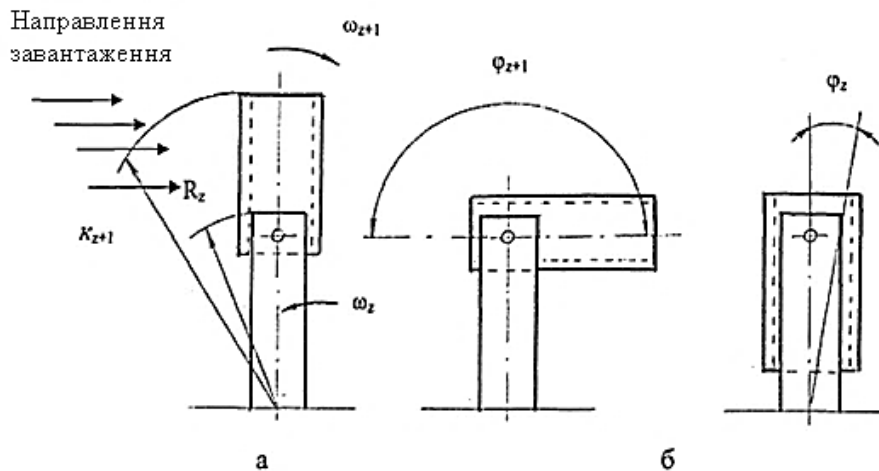


Рис. 2. Схема завантаження молотка: а – $k_z > k_{z+1}$; б – $k_z < k_{z+1}$

Коли $\varphi_z < \varphi_{z+1}$, то подрібнювальний елемент молотка на протязі часу $t = \frac{\varphi_{z+1} - \varphi_z}{\omega_{z+1} + \omega_z}$ буде переважаний.

Дослідження показали, що зі збільшенням кількості ступенів подрібнення в камері подрібнення двома ріжучими кромками молотка рівність порушується. Збереження рівності у цьому разі і тим самим забезпечення оптимального завантаження на кожному з наступних ступенів можна досягти збільшенням площі подрібнювальних елементів z-го ступеня. Збільшення площі подрібнювальних елементів наступних ступенів забезпечується за рахунок збільшення їхньої висоти.

Висновки. Активність подрібнювальної поверхні молотка з двома ріжучими кромками значно вище, що дає змогу збільшити продуктивність дробарки.

Згідно з дослідженнями, зі збільшенням кількості ступенів подрібнення в камері подрібнення двома ріжучими кромками молотка оптимальне завантаження на кожному з наступних ступенів досягається збільшенням площі подрібнювальних елементів за рахунок збільшення їхньої висоти.

ЛІТЕРАТУРА

1. Хомик Н.І., Ткаченко І.Г., Довбуш А.Д. *Машини та обладнання для тваринництва : навчальний посібник*. Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2022. 100 с.
2. Ялпачик Ф.Ю., Фучаджи Н.О., Мілаєва В.О. *Значення подрібнення у приготуванні корму для тварин. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Технічні науки*. 2010. № 10. С. 43–47.
3. Ревенко І.І., Брагінець М.В., Ревенко В.І. *Машини та обладнання для тваринництва : підручник*. Київ : Кондор, 2009. 731 с.
4. Ревенко І.І. *Машини та обладнання для тваринництва : навчальний посібник*. Київ : Кондор, 2011. 396 с.
5. *Машини, обладнання та їх використання в тваринництві : підручник / Р.В. Скляр та ін.* Київ : Кондор, 2019. 608 с.
6. Соломка О.В. *Аналіз процесу подрібнення зернових матеріалів. Вісник Харківського національного технічного університету ім. Петра Василенка*. 2009. № 78. С. 132–140.
7. Буртак В.В., Кохана Т.М., Гуменюк Р.В., Шеремет Р.Б. *Модернізація та аналіз роботи дробарок зернових продуктів. Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження*. 2017. № 21. С. 124–128.
8. Дацишин О.В., Ткачук А.І., Чубов Д.С. *Машини та обладнання переробних виробництв : навчальний посібник*. Київ : Вища освіта, 2005. 159 с.
9. Коротов Ю.Ю., Брагінець М.В. *Аналіз конструкцій подрібнювачів зернових кормів і напрямки їх удосконалення. Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка*. 2017. № 181. С. 62–70.
10. Кравчук В.І., Мельник Ю.Ф. *Машини для заготівлі та приготування кормів : навчальний посібник*. Дослідницьке : УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого, 2010. 136 с.
11. Осьмак В.Я. *Сучасний стан та перспективи розвитку машин для кормовиробництва. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*. 2009. № 13. С. 259–261.
12. Болтянська Н.І. *Дослідження довговічності та безвідмовності підсистем молоткових дробарок у процесі їх експлуатації. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2015. № 15. Т. 3. С. 296–302.
13. Гвоздев О.В., Шпиғанович Т.О., Ялпачик О.В. *Удосконалення процесу подрібнення зерна. Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія «Технічні науки»*. 2011. № 9. С. 143–150.
14. Денисенко М.І., Дев'ятко О.С. *Підвищення ресурсу ударних робочих органів машини для приготування кормів. Тези доповідей XII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих науковців «Підвищення надійності машин та обладнання», 18–20 квітня 2018 р.* Кропивницький : ЦНТУ, 2018. С. 125–127.
15. Новицький А.В. *Оцінка надійності засобів для приготування і роздавання кормів залежно від умов і режимів експлуатації. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2015. № 253. С. 141–148.
16. Сердюк В.В., Руденко В.А. *Дослідження процесу подрібнення зерна ударно-сепараційним подрібнювачем. Вісник СНАУ*. 2013. № 10(25). С. 117–121.
17. Сухенко Ю.Г., Сухенко В.Ю., Хоменко С.В. *Підвищення довговічності робочих органів дробарок для зерна. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2010. № 144. Ч. 5. С. 260–267.
18. Шеремет Р.Б. *Обґрунтування параметрів та режимів роботи малогабаритної зернової дробарки : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11.* Львів, 2021. 40 с.
19. Шпиғанович Т.О., Ялпачик О.В. *Дробарка прямого удару з системою сепарування зерна та продуктів подрібнення. Техніка і технологія АПК*. 2011. № 12(27). С. 7–10.
20. Рибальченко В.Д., Костенко О.М. *Залежність параметрів дробарки від величини її завантаження та заданого ступеня подрібнення. Техніка та технології в агропромисловому виробництві : матеріали міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 55-й річниці заснування інженерно-технологічного факультету Полтавського державного аграрного університету, м. Полтава, 07–08 жовтня 2021 р.* Полтава, 2021. С. 248–151.
21. Рибальченко В.Д., Костенко О.М. *Обґрунтування конструктивно-технологічних особливостей молоткової дробарки при термовструдуванні. Матеріали сту-*

дентської наукової конференції Полтавської державної аграрної академії, м. Полтава, 13 травня 2021 р. : у 2-х т. Полтава, 2021. С. 165–168.

22. Скляр О.Г., Болтянська Н.І. Механізація технологічних процесів у тваринництві : навчальний посібник. Київ : Колор Принт, 2012. 720 с.

23. Черевко О.І., Поперечний А.М. Процеси і апарати харчових виробництв : підручник. 2-е вид. Харків : Світ Книг, 2014. 495 с.

24. Сироватко К.М., Зотько М.О. Технологія кормів та кормових добавок : навчальний посібник. Вінниця : ВНАУ, 2020. 263 с.

THE IMPACT OF CRUSHER WORKING UNITS' CONSTRUCTIVE PARAMETERS ON THE PROCESS OF GRAIN GRINDING

Vladyslav Rybalchenko

Ph) Student at the Chair of Mechanical and Electrical Engineering

Poltava State Agrarian University, 1/3 Skovorody str., Poltava, Ukraine, 36003, vladyslav.rybalchenko@pdau.edu.ua

ORCID: 0009-0008-8972-9426

Olena Kostenko

Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor at the Chair of Mechanical and Electrical Engineering

Poltava State Agrarian University, 1/3 Skovorody str., Poltava, Ukraine, 36003, kostenko@pdaa.edu.ua

ORCID: 0000-0001-5997-342X

Feed production is one of the factors for livestock farming successful development; the task of the former is providing high-quality feeds for livestock farming, which, in its turn, is the main source of protein in human nutrition.

The problem of feed production has to be solved on the basis of applying progressive machine technologies, multi-functional machinery and modern equipment for producing high-quality, environmentally safe feeds, raising their protein and energy nutritive value. It has been established that the use of heat treated combined feeds supplementing the rations on deficient nutritive substances help to increase animals' productivity.

Grinding is the most power-consuming process in manufacturing combined feeds. Hammer crushers that are widely used and spread owing to their simple construction, convenience in operation and maintenance are the main equipment for grinding grain on farms. The main disadvantage of this equipment is high power consumption and heterogeneity of the product containing a large amount of dust-like fractions raising energy consumption. Constructive parameters of the crusher working unit considerably affect the process of grinding the material.

The purpose of the work is raising the effectiveness of concentrated feeds' grinding process after thermal treatment.

The main constructive and technological parameters affecting the degree of grain breaking and specific power consumption were considered in the paper. Decreasing energy consumption is possible by the optimization of hammer sizes and forms.

The work is devoted to theoretical and experimental study of the crusher working units' constructive parameters affecting the degree of grain breaking and specific power consumption. According to the research results, the height, amount, and length of the grinding elements' working zone as well as the amount of material delivery to the crusher's zone are the main constructive, technological, and kinematic factors influencing the grinding process.

In the paper, the crusher parameters' dependence on the value of its loading and the necessary degree of grinding was studied. As a result, the interdependence between the parameters of the first degree breaking elements and z under the given grinding degree was found. Based on the obtained results, the scheme of the crusher having the optimum crusher construction variant was worked out. The impact of breaking elements on loading regime was studied.

The developed hammer crusher is equipped with hammers having two cutting edges, which allow satisfy standards' and zoo-technical requirements as to the quality of grinded product and decrease the specific power consumption of grinding process.

Key words: hammer crusher, hammers, breaking elements, construction, feeds, accelerating plate, cutting edges.

REFERENCES

1. Khomyk, N.I., Tkachenko, I.G., & Dovbush, A.D. (2022). *Mashyny ta obladnannia dlia tvarynystva [Machinery and equipment for animal husbandry]*. Ternopil: FOP Palianytsia V.A. [in Ukrainian]

2. Yalpachyk, F.Yu., Fuchadzy, N.O., & Milaieva, V.O. (2010). *Znachennia podribnennia u pryhotuvanni kormu dlia tvaryn [The value of grinding in the preparation of animal feed]*.

Pratsi Tavriiskoho derzhavnogo ahrotekhnolohichnoho universytetu «Tekhnichni nauky» – Pratsi of Tavriisk State Agro-Technological University «Technical Sciences», 10, 43–47 [in Ukrainian]

3. Revenko, I.I., Brahinets, M.V., & Revenko, V.I. (2009). *Mashyny ta obladnannia dlia tvarynystva [Machinery and equipment for animal husbandry]*. Kyiv: Condor [in Ukrainian]

4. Revenko, I.I. (2011). *Mashyny ta obladnannia dlia tvarynnytstva [Machinery and equipment for animal husbandry]*. Kyiv: Condor [in Ukrainian]
5. Skliar, R.V., Skliar, O.H., Boltianska, N.I., Milko, D.O., & Boltsanskyi, B.V. (2019). *Mashyny, obladnannia ta yikh vykorystannia v tvarynnytstvi [Machines, equipment and their use in animal husbandry]*. Kyiv: Condor [in Ukrainian]
6. Solomka, O.V. (2009). Analiz protsesu podribnennia zernovykh materialiv [Analysis of the grinding process of grain materials]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu im. Petra Vasylenka – Bulletin of the Kharkiv National Technical University named after Peter Vasylenko*, 78, 132–140 [in Ukrainian]
7. Burtak, V.V., Kokhana, T.M., Humeniuk, R.V., & Sheremet, R.B. (2017). Modernizatsiia ta analiz roboty drobarok zernovykh produktiv [Modernization and analysis of the operation of grain crushers]. *Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu: ahroinzhenerni doslidzhennia – Bulletin of the Lviv National Agrarian University: agricultural engineering research*, 21, 124–128 [in Ukrainian]
8. Datsyshyn, O.V., Tkachuk, A.I., & Chubov, D.S. (2005). *Mashyny ta obladnannia pererobnykh vyrobnytstv [Machines and equipment of processing industries]*. Kyiv: Vyscha osvita [in Ukrainian]
9. Korotov, Yu.Yu., & Braginets, M.V. (2017). Analiz konstruktsii podribniuvachiv zernovykh kormiv i napriamky yikh vdoskonalennia [Analysis of structures of grain feed grinders and directions for their improvement]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu imeni Petra Vasylenka – Bulletin of Kharkiv National Technical University named after Petro Vasylenko*, 181, 62–70 [in Ukrainian]
10. Kravchuk, V.I., & Melnyk, Yu.F. (2010). *Mashyny dlia zahotivli ta pryhotuvannia kormiv [Machines for procurement and preparation of fodder]*. Doslidnytske : Ukrainskyi nauko-doslidnyi instytut prohnozuvannia ta vyprovuvannia tekhniki i tekhnolohii dlia silskohospodarskoho vyrobnytstva im. L. Pohoriloho [in Ukrainian]
11. Osmak, V.Ya. (2009). Suchasnyi stan ta perspektyvy rozvytku mashyn dlia kormovyrobnytstva [The current state and prospects for the development of machines for fodder production]. H. Holub (Eds.), *Tekhniko-tekhnolohichni aspekty rozvytku ta vyprovuvannia novoi tekhniki i tekhnolohii dlia silskoho hospodarstva Ukrainy – Tekhniko-tekhnolohichni aspekty rozvytku ta vyprovuvannia novoi tekhniki i tekhnolohii dlia silskoho hospodarstva Ukrainy*: zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoho nauko-doslidnoho instytutu prohnozuvannia ta vyrobnytstva tekhniki ta tekhnolohii dlia silskohospodarskoho vyrobnytstva im. L. Pohoriloho (13), (pp. 259–261). Doslidnytske: UNIPVT im. L. Pohoriloho [in Ukrainian]
12. Boltianska, N.I. (2015). Doslidzhennia dohovichnosti ta bezvidmovnosti pidsystem molotkovykh drobarok v protsesi yikh ekspluatatsii [Study of durability and failure-free subsystems of hammer crushers during their operation]. *Pratsi Tavriiskoho derzhavnogo ahrotekhnolohichnoho universytetu «Tekhnichni nauky» – Pratsi of Tavriisk State Agro-Technological University «Technical Sciences»*, 15(3), 296–302 [in Ukrainian]
13. Hvozdiev, O.V., Shpyhanovych, T.O., & Yalpachyk, O.V. (2011). Vdoskonalennia protsesu podribnennia zerna [Improvement of the grain grinding process]. H. Kaletnik (Eds.), *zbirnyk naukovykh prats Vinnytskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Ser.: Tekhnichni nauky – collection of scientific works of the Vinnytsia National Agrarian University. Series: Technical science*, (9), (pp. 143–150). Vinnytsia: Vinnytskyi natsionalnyi ahrarnyi universytet [in Ukrainian]
14. Denysenko, M.I., Deviatko, O.S., & Denysenk, M.I. (2018). Pidvyshchennia resursu udarnykh robochykh orhaniv mashyny dlia pryhotuvannia kormiv [Increasing the resource of the impact working organs of the machine for preparing fodder]. *Proceedings from MIIM '12: XII Vseukrainska nauko-praktychna konferentsiia studentiv, aspirantiv ta molodykh naukovtsiv «Pidvyshchennia nadiinosti mashyn ta obladnannia» – XII All-Ukrainian scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists «Increasing the reliability of machines and equipment»*. (pp. 125–127). Kropyvnytskyi: Tsentralnoukrainskyi natsionalnyi tekhnichni universytet [in Ukrainian]
15. Novytskyi, A.V. (2015). Otsinka nadiinosti zasobiv dlia pryhotuvannia i rozdavannia kormiv v zalezhnosti vid umov i rezhymiv ekspluatatsii [Assessment of the reliability of means for preparing and distributing feed depending on the conditions and modes of operation shers]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy – Scientific Bulletin of the National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine*, 253, 141–148 [in Ukrainian]
16. Serdiuk, V.V., & Rudenko, V.A. (2013). Doslidzhennia protsesu podribnennia zerna udarno-separatsiynym podribniuvachem [Study of the process of grinding grain with an impact-separation grinder]. *Visnyk Sumskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu – Bulletin of the Sumy National Agrarian University*, 10(25), 117–121 [in Ukrainian]
17. Sukhenko, Yu.H., Sukhenko, V.Yu., & Khomenko, S.V. (2010). Pidvyshchennia dohovichnosti robochykh orhaniv drobarok dlia zerna [Increasing the durability of working bodies of grain crushers]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy – Scientific Bulletin of the National University of Bioresources and Nature Management of Ukraine*, 144, part.5, 260–267 [in Ukrainian]
18. Sheremet, R.B. (2021). Obgruntuvannia parametriv ta rezhymiv roboty malohabarytnoi zernovoi drobaroky [Justification of the parameters and modes of operation of a small-sized grain crusher]: *Extended abstract of candidate's thesis*. Lviv: Lvivskyi natsionalnyi ahrarnyi universytet [in Ukrainian]
19. Shpyhanovych, T.O., & Yalpachyk, O.V. (2011). Drobarka priamoho udaru z systemoiu separuvannia zerna ta produktiv podribnennia [Direct impact crusher with grain and

grinding products separation system] *Tekhnika i tekhnolohiia APK – Machinery and technology of agro-industrial complex*, 12 (27), 7–10 [in Ukrainian]

20. Rybalchenko V.D., & Kostenko, O.M. (2021). Zalezhnist parametriv drobarky vid velychyny yii zavanzhennia ta zadanoho stupenia podribnennia [Dependence of the crusher parameters on the size of its load and the given degree of crushing]. *Tekhnika ta tekhnolohii v ahro-promyslovomu vyrobnytstvi – Techniques and technologies in agro-industrial production: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 55th richnytsi zasnuvannia inzhenerno-tekhnolohichnoho fakultetu Poltavskoho derzhavnoho ahrarnoho universytetu*. (pp. 248–151). Poltava: Poltavskyi derzhavnyi ahrarnyi universytet [in Ukrainian]

21. Rybalchenko, V.D., & Kostenko, O.M. 2021. Obgruntuvannia konstruktyvno-tekhnolohichnykh osoblyvostei

molotkovoi drobarky pry termovstruduvann [Justification of the structural and technological features of the hammer crusher during thermoforming]: *Materialy studentskoi naukovoï konferentsii Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii* (Vols. 1), (pp. 165–168). Poltava: Poltavskyi derzhavnyi ahrarnyi universytet [in Ukrainian].

22. Skliar O.H., & Boltianska N.I. (2012). *Mekhanizatsiia tekhnolohichnykh protsesiv u tvarynnytstvi [Mechanization of technological processes in animal husbandry]*. Kyiv: Kolor Prynt [in Ukrainian]

23. Cherevko O.I., & Poperechnyi A.M. (2014). *Protsesy i aparaty kharchovykh vyrobnytstv [Processes and devices of food production]*. Kharkiv: Svit Knyh [in Ukrainian]

24. Syrovatko K.M., & Zotko M.O. (2020). *Tekhnolohiia kormiv ta kormovykh dobavok [Technology of fodder and feed additives]*. Vinnytsia: Vinnytskyi natsionalnyi ahrarnyi universytet [in Ukrainian].

Стаття надійшла 30.08.2023