**Дудін В. Ю.**

к.т.н., доцент

Білоус І.М.здобувач освітнього ступеня
доктора філософії**Дніпровський державний
аграрно-економічний
університет****Dudin V.**

Ph.D., associate professor

Bilous I.

recipient of the PhD degree

**Dnipro State Agrarian and
Economic University****УДК 631.363****DOI: 10.37128/2306-8744-2025-1-7**

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ДИСКОВОГО ПОДРІБНЮВАЧА ЗЕРНА

У статті досліджено ефективність роботи дискового подрібнювача зерна для концентрованих кормів, з урахуванням його конструктивно-технологічних параметрів та впливу режимних факторів на якість подрібнення. Аналіз існуючих методів подрібнення показав, що традиційні молоткові та вальцеві подрібнювачі мають значні недоліки, такі як висока енергоємність (8–15 кВт·год/т для молоткових) та нерівномірний гранулометричний склад продукту. У зв'язку з цим було проведено експериментальні дослідження роботи дискового подрібнювача, який має потенційно вищу енергоефективність і рівномірніший розподіл часток.

Метою досліджень є визначення впливу конструктивно-технологічних параметрів дискового подрібнювача концентрованих кормів на якість подрібнення та енергоємність процесу.

У процесі досліджень визначено вплив основних факторів, а саме модульного зазору між дисками (0,6–1,6 мм), частоти обертання диска (1500–3000 об/хв) та подачі зерна в камеру подрібнення (450–1350 кг/год) на продуктивність та якість подрібнення. Встановлено, що збільшення модульного зазору призводить до збільшення вмісту великої фракції (наприклад, для пшениці масова частка часток на ситі 2 мм зросла з 13,1% до 79,4%). При цьому продуктивність подрібнювача залежала від виду зерна: для пшениці вона становила 0,1–0,25 т/год при питомій енергоємності 1,7–8,2 кВт·год/т, для ячменю – 0,075–0,18 т/год і 3,8–9,4 кВт·год/т, для кукурудзи – 0,07–0,18 т/год та 2,9–7,2 кВт·год/т.

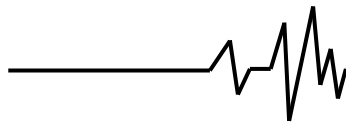
Отримані результати дозволяють рекомендувати дисковий подрібнювач як енергоефективну альтернативу традиційним подрібнювачам у комбікормовому виробництві. Оптимізація конструктивно-технологічних параметрів дозволяє зменшити енерговитрати та покращити однорідність гранулометричного складу отриманого продукту, що сприятиме підвищенню продуктивності тваринницьких господарств.

Ключові слова: дисковий подрібнювач, подрібнення зерна, гранулометричний склад, питома енергоємність, пшениця, ячмінь, кукурудза.

Вступ. Сучасне тваринництво, як споживач, висуває все більш жорсткі вимоги до якості кормів. Витрати на корми в структурі собівартості виробництва сягають 64–72 % у свинарстві [1], 68–75% при виробництві м'яса бройлерів та 75–80% при виробництві харчових яєць [2]. Кормове зерно є одним із найважливіших і найдорожчих видів корму для сільськогосподарських тварин та птахів, його ефективне використання є одним із факторів, що впливають на продуктивність тварин та рівень витрат на їх утримання.

Підготовка кормового зерна до згодовування передбачає його подрібнення з отриманням відповідного для виду тварин або птахів гранулометричного складу. Розмір часток подрібненого зерна, що згодовується сільськогосподарським тваринам та птахам, впливає на засвоєння поживних речовин, продуктивність тварин та їх здоров'я [3].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Більшість підприємств використовує молоткові дробарки для подрібнення кормового



зерна, які, попри численні переваги, мають два значні недоліки. Перший - це висока питома енергоємність на рівні 8...15 кВт·год на 1 тону подрібнення [4]. Другий недолік - нерівномірний фракційний склад подрібненого продукту: вміст пилоподібної фракції сягає 40 % при дрібному помелі та до 20 % неподрібненої фракції при грубому помелі [5].

Поряд з молотковими при виробництві комбікормів використовують вальцеві подрібнювачі, які дозволяють обробляти зерно з вологістю до 30 %, хоча при такому рівні вологості матеріал може налипати на вальці [6]. Щодо енергоспоживання, то якщо молоткові та вальцеві млини налаштовані для отримання схожих характеристик кінцевого продукту, вони використовують приблизно однакову кількість енергії [7], при цьому вміст пилоподібної фракції не перевищує 8-10 % (рис. 1) [8]. З іншого боку, вальцеві подрібнювачі можуть зазнавати серйозних і дорогих пошкоджень, якщо між вальцями потрапляють каміння або металеві предмети, вони є більш металоемними та складними за конструкцією, ніж молоткові подрібнювачі.

Приведені конструкції подрібнювачів зерна довгий час використовуються в комбікормовій промисловості, постійно удосконалюючись, практично досягли меж подальшого розвитку. У зв'язку з цим подальші дослідження у напрямку підвищення ефективності процесу подрібнення кормових зернових матеріалів доцільно спрямовувати на пошук нових конструкційних рішень подрібнювачів або адаптацію існуючих конструкцій з інших галузей промисловості.

Прикладом такого рішення є розвиток жорнового (дискового) млина для отримання борошна в дисковий подрібнювач зернових матеріалів у комбікормовому виробництві. Так, з 2000 року, датська фірма SKIOLD A/S почала випуск дискових подрібнювачів серії SK з продуктивністю від 2 до 30 т/год при питомій енергоємності 3-6 кВт·год на 1 тону подрібнення (менші значення для меншої продуктивності) [9]. При цьому виробник стверджує, що отриманий продукт має більш рівний гранулометричний склад, ніж інші види подрібнювачів. Економічним недоліком вказаного подрібнювача є недоцільність використання на малих та приватних фермах при невеликих об'ємах споживання корму.

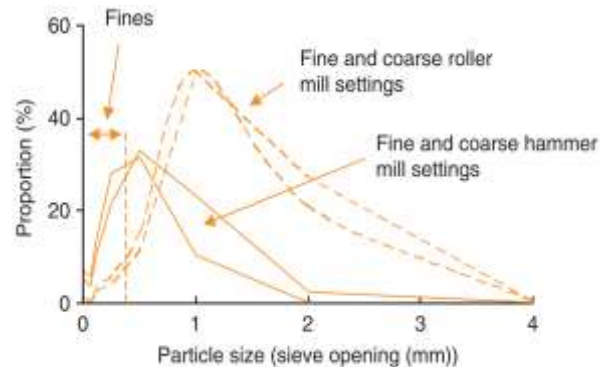


Рис. 1. Розподіл розміру часток ячменю, подрібненого молотковим і вальцевим подрібнювачами [8]

Авторами [10] запропоновано малогабаритний дисковий подрібнювач, експериментальні дослідження якого показали, що при питомих енерговитратах 3,7-4,5 кВт·год/ т вміст пилоподібної фракції сягає 14 %. Тобто, маючи доволі низьку питому енергоємність вказаний дисковий подрібнювач не забезпечує показників якості отриманого продукту на рівні вальцевих машин. В зв'язку з цим подальша оптимізація конструктивно-технологічних параметрів малогабаритного дискового подрібнювача є актуальним питанням.

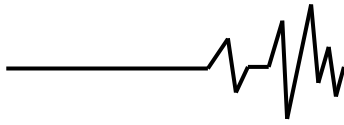
Мета та завдання дослідження. Метою досліджень є визначення впливу конструктивно-технологічних параметрів дискового подрібнювача концентрованих кормів на якість подрібнення та енергоємність процесу.

Викладення основного матеріалу. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів дискового подрібнювача зерна проводили шляхом експериментальних досліджень його роботи з використанням теорії планування експерименту. Змінними факторами були обрані модульний зазор між дисками δ , частота обертання диска n та подача зерна в камеру подрібнення Q (табл.1). Критерії оптимізації – якість та питома енергоємність процесу подрібнення. В якості матеріалів для подрібнення було використано зерно пшениці сорту «Патрас», кукурудзи сорту П8816 та ячменю сорту «Снігова Королева» вологістю.

Таблиця 1

Матриця плану експерименту та рівні варіацій факторів

Рівні варіацій факторів, матриця дослідів	Фактори		
	Модульний зазор між дисками δ (x_1), мм	Частота обертання диска n (x_2), хв ⁻¹	Подача зерна в камеру подрібнення Q (x_3), кг/год
Верхній рівень (+)	1,6	3000	1350
Основний рівень (0)	1,1	2250	900
Нижній рівень (-)	0,6	1500	450
Інтервал варіацій факторів	0,5	750	450



Експериментального дисковий подрібнювач зерна (рис. 2) складається з корпусу 1 з його верхньою кришкою 2, в якому, на відповідних тримачах 5 та 3, співвісно встановлені верхній нерухомий диск 6 та нижній обертовий диск 4, з'єднаний з електродвигуном.

У тримачеві верхнього диска 6 є отвір для подачі продукту, надходження якого регулюється заслінкою каліброваною втулкою 8, що встановлена на виході матеріалу після шиберної засувки 10, до якої матеріал надходить із завантажувального патрубку 9. Величину модульного зазору регулюють за допомогою осьового переміщення тримача верхнього диска

5, шляхом його обертання в різьбовому з'єднанні з верхньою кришкою корпусу 2 з подальшою фіксацією контр-гайкою 7. Контроль модульного зазору здійснюють за допомогою відповідних щупів через отвір 11, який має нарізку, і в робочому положенні закривається болтом. Тримач нижнього диска обладнано лопатями 12 для відводу отриманого продукту через відповідний патрубок 13.

Для калібрування подачі для різних видів зерна на встановлених (табл. 2) рівнях було розроблено та реалізовано систему зважування у поточному часі (рис. 3).

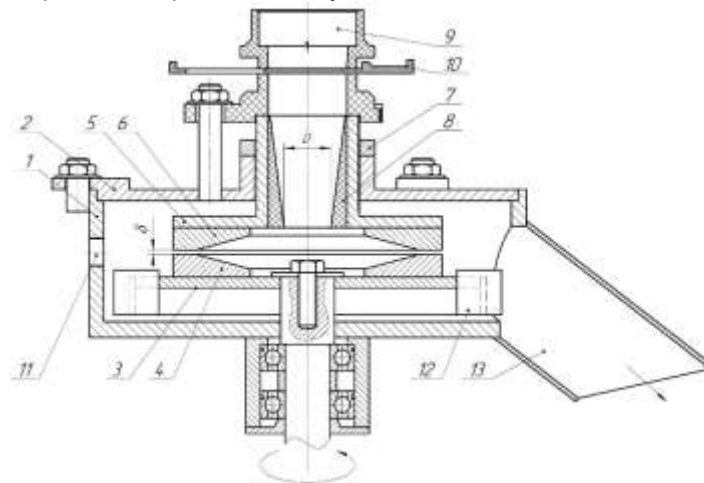


Рис. 2. Схема експериментального дискового подрібнювача зерна: 1 – робоча камера; 2 – верхня кришка робочої камери; 3 – тримач нижнього обертового диска; 4 – нижній обертовий диск; 5 – тримач верхнього нерухомого диска; 6 – верхній нерухомий диск; 7 – контр-гайка механізму встановлення модульного зазору; 8 – змінна втулка встановлення подачі матеріалу; 9 – завантажувальна горловина; 10 – шиберна засувка; 11 – отвір для встановлення модульного зазору; 12 – лопать; 13 – патрубок для відводу подрібненого продукту

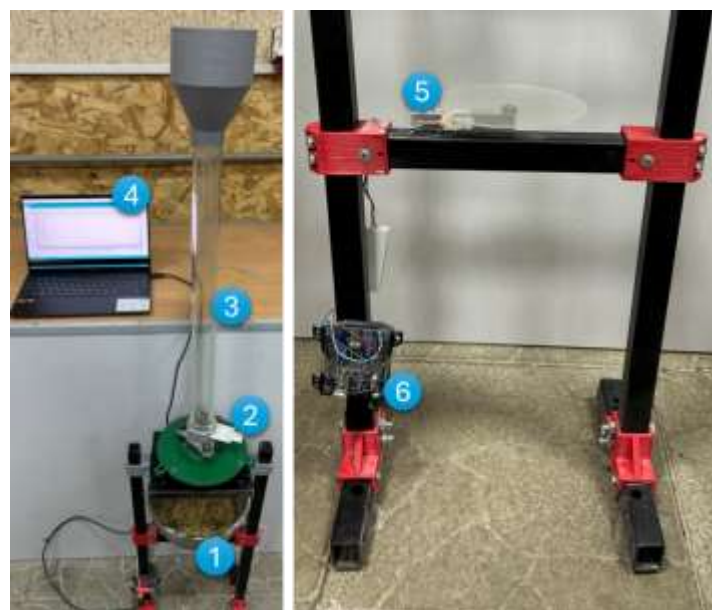
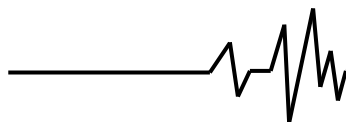


Рис. 3. Система зважування у поточному часі: 1 – ємність для матеріалу; 2 – шиберна засувка; 3 – скляна матеріальна труба; 4 – ПЕОМ; 5 – електронні ваги на основі тензометричного датчика; 6 – комплект Arduino Uno Rev3 та АЦП HX711 для зняття показників тензометричного датчика



Таблиця 2

Результати калібрування втулки для встановлення відповідної подачі для різних зернових матеріалів

Подача, кг/год	Діаметр отвору втулки D, мм		
	Пшениця	Ячмінь	Кукурудза
450	20,5	22,6	21,8
900	26,0	28,7	26,0
1350	31,5	35,0	30,2

Зерновий матеріал завантажують до скляної труби 3, яка виконує роль бункера та дозволяє уникати зависання корму в процесі подачі, забезпечуючи рівномірну подачу. На платформу електронних ваг на основі тензометричного датчика встановлюють ємність для матеріалу 1, на ПЕОМ 4 запускають програмне забезпечення Arduino IDE, відкривають засувку 2 та проводять зважування матеріалу в потоці, з точністю 0,1 г. Результатом є графік, приведений на рис. 4, відношення Δm до Δt і буде шуканою подачею.

Для проведення досліджень було розроблено та реалізовано установку на основі експериментального дискового подрібнювача, загальний вигляд якої приведено на рис. 5.

Дослідна установка включає експериментальний дисковий подрібнювач 1, який приводиться в дію за допомогою стенду для керування електроприводами на основі частотного перетворювача Danfoss 2, який дозволяє встановлювати частоту обертання нижнього диска подрібнювача у відповідності до таблиці 1.

В якості муфти для передачі обертання від електродвигуна до нижнього диска подрібнювача

використано розроблений та реалізований вимірювач крутного моменту 7, побудований на основі тензометричного датчика, з'єднаного з ПЕОМ 3 через комплект Arduino Uno Rev3 та АЦП НХ711. На основі отриманих значень крутного моменту розраховували фактичну потужність на привід експериментального дискового подрібнювача зернових матеріалів.

Контроль значення модульного зазору проводять за допомогою відповідного щупа, використовуючи отвір 8 в корпусі робочої камери.

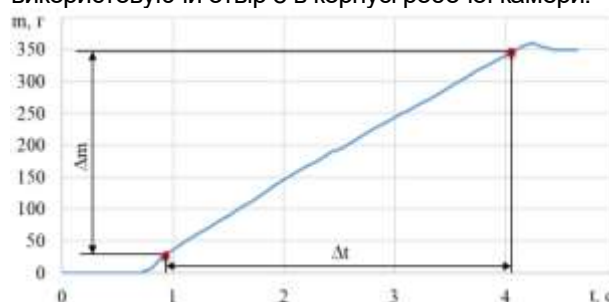
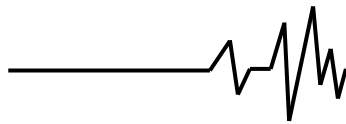


Рис. 4. До визначення подачі зернового матеріалу



Рис. 5. Загальний вигляд дослідної установки на основі експериментального дискового подрібнювача: 1 – дисковий подрібнювач; 2 – стелд для керування електроприводами на основі частотного перетворювача Danfoss; 3 – ПЕОМ; 4 – розсійник лабораторний; 5 – ваги лабораторні; 6 – система зважування у поточному часі готового продукту; 7 – вимірювач крутного моменту; 8 – отвір для встановлення модульного зазору



Використання системи зважування у поточному часі готового продукту б дає змогу з високою точністю визначити фактичну продуктивність експериментального дискового подрібнювача використовуючи малі розміри проби зернового матеріалу. Робота вказаної системи описана вище, відмінність в тому, що зважується готовий продукт, який виходить з подрібнювача. Отримані дані дозволяють з точністю до 0,1 с визначати момент виходу подрібнювача на робочий режим та початок повного звільнення робочої камери від залишків наважки, а також вагу подрібненого за робочий проміжок часу зернового матеріалу. Результатом є графік, приведений на рис. 6, відношення Δm до Δt і буде шуканою продуктивністю подрібнювача.

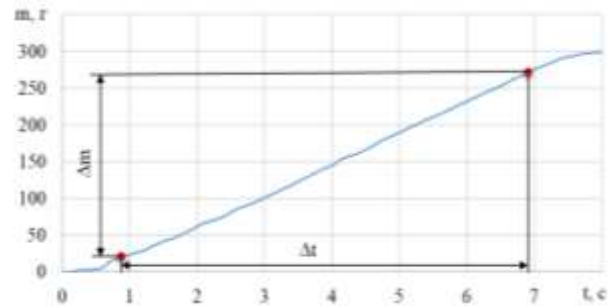


Рис. 6. До визначення продуктивності дискового подрібнювача

Подрібнену наважку розділяли на фракції за допомогою розсійника лабораторного, використовуючи сита з діаметрами отворів 0,2 мм, 0,5 мм, 1,0 мм, 1,5 та 2 мм, після чого залишки на ситах зважували.

В результаті експериментальних досліджень були отримані рівняння регресії, які описують залежність питомої енергоємності процесу подрібнення різних видів зерна експериментальним дисковим подрібнювачем від досліджуваних факторів:

– для пшениці

$$q_{\Pi} = 0,101587 - 4,08741\delta + 0,00723147n - 1,60699 \times 10^{-6}n^2; \quad (1)$$

– для ячменю

$$q_{\text{я}} = -2,32466 + 0,0158936n - 3,5319 \times 10^{-6}n^2 - 6,96471\delta; \quad (2)$$

– для кукурудзи

$$q_{\text{к}} = 4,13555 + 0,00703046n - 1,95344 \times 10^{-6}n^2 - 6,53832\delta + 0,00117067\delta n. \quad (3)$$

З аналізу рівнянь (1-3) встановлено, що найбільший вплив на питому енергоємність має значення модульного зазору, що пояснюється зменшенням продуктивності за рахунок збільшення часу перебування зерна в робочій камері подрібнювача та збільшенням споживаної потужності через інтенсивнішу взаємодію робочих органів з матеріалом.

Вплив частоти обертання нижнього диску на питому енергоємність подрібнення не такий інтенсивний і має нелінійний характер. Подача завдає найменшого впливу і він близький до лінійного, що можна пояснити відносним взаємним балансом між збільшенням продуктивності та потужності.

Графічну інтерпретацію отриманих рівнянь регресії сумісного впливу модульного зазору та частоти обертання приведено на рис. 7.

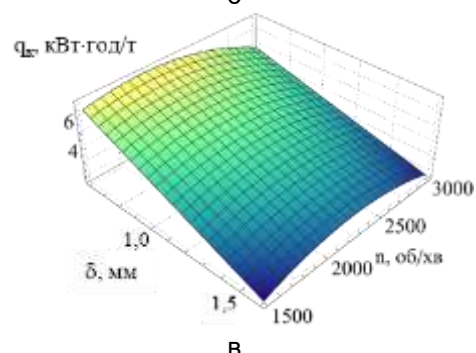
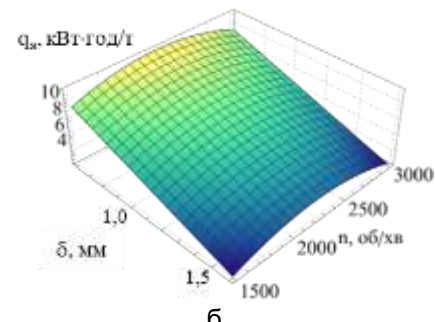
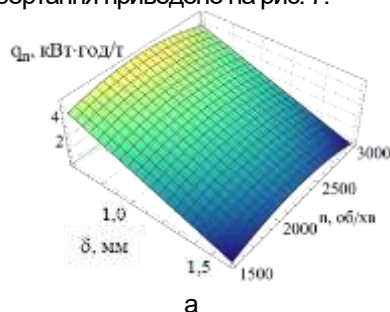
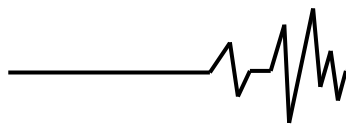
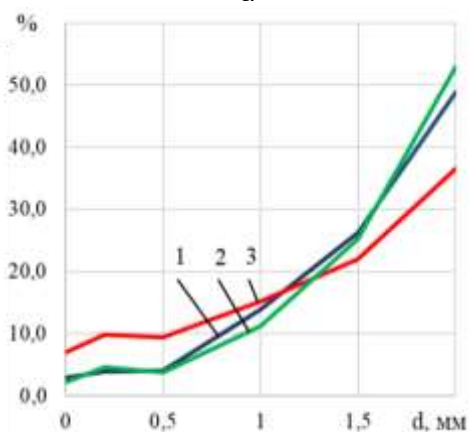
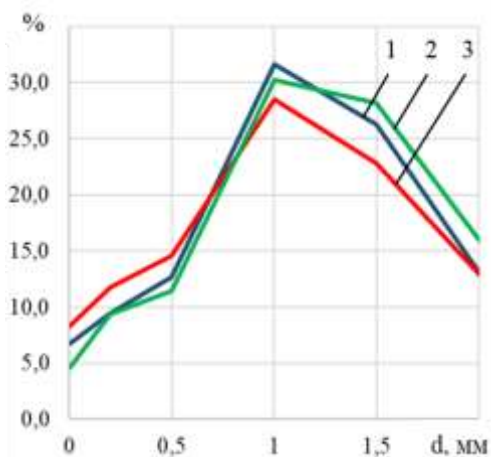


Рис. 7. Залежність питомої енергоємності подрібнення пшениці (а) ячменю (б) та кукурудзи (в) від модульного зазору та частоти обертання нижнього диску



Загалом при подрібненні пшениці продуктивність складала 0,1-0,25 т/год, а питома енергоємність знаходилась в межах 1,7-8,2 кВт·год/т; ячменю – 0,075-0,18 т/год та 3,8-9,4 кВт·год/т; кукурудзи – 0,07-0,18 т/год та 2,9-7,2 кВт·год/т.

Щодо гранулометричного складу отриманого продукту, то тут також, що закономірно, найбільший вплив завдає модульний зазор, при цьому вплив подачі та частоти обертання робочого органу є нетаким суттєвим. Аналізуючи залежності, приведені на рис. 8, можна стверджувати, що зі збільшенням модульного зазору спостерігається зростання масової частки часток великої фракції та зменшення частки дрібної фракції. Зокрема, для пшениці при збільшенні модульного зазору з 0,6 мм до 1,6 мм маса часток, що залишилися на ситі 2 мм, зросла з 13,1% до 79,4%, а на піддоні – зменшилася з 6,7% до 1,2%. Аналогічна тенденція простежується для ячменю (на ситі 2 мм, зросла з 15,9% до 83,3%, а на піддоні – зменшилася з 4,6% до 1,1%) та кукурудзи (на ситі 2 мм, зросла з 12,9% до 62,8%, а на піддоні – зменшилася з 8,3% до 5,9%), що вказує на закономірний вплив модульного зазору на гранулометричний склад отриманого продукту.



б

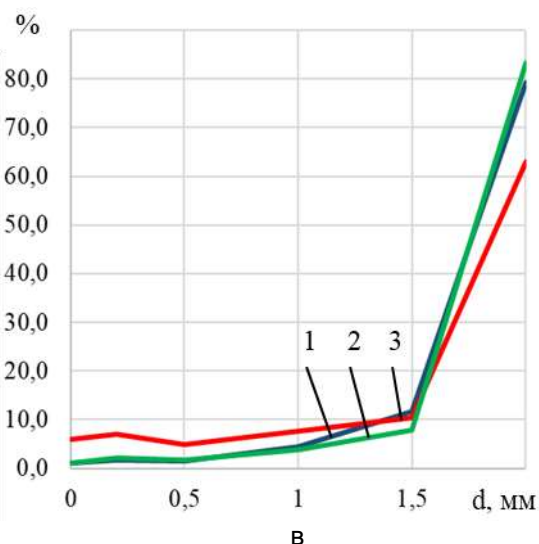
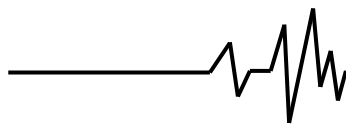


Рис. 8. Залежність розподілу розміру частинок після подрібнення (залишки на ситах) при значеннях модульного зазору 0,6 мм (а), 1,1 мм (б) та 1,6 мм (в): 1 – пшениця; 2 – ячмінь; 3 – кукурудза

Висновки. Результати досліджень показали, що продуктивність дискового подрібнювача та його питома енергоємність залежать від виду зернового матеріалу та встановлених режимів роботи. Зокрема, при подрібненні пшениці продуктивність становила 0,1–0,25 т/год, а питома енергоємність знаходилась в межах 1,7–8,2 кВт·год/т. Для ячменю ці показники складали 0,075–0,18 т/год і 3,8–9,4 кВт·год/т, а для кукурудзи – 0,07–0,18 т/год та 2,9–7,2 кВт·год/т відповідно.

Щодо гранулометричного складу отриманого продукту, встановлено, що основним фактором, який визначає розмір часток, є модульний зазор між дисками. При його збільшенні відзначається закономірне зростання масової частки великої фракції та зменшення дрібної. Наприклад, для пшениці збільшення модульного зазору з 0,6 мм до 1,6 мм спричинило зростання масової частки часток на ситі 2 мм з 13,1% до 79,4%, а частка дрібної фракції на піддоні зменшилася з 6,7% до 1,2%. Аналогічно для ячменю масова частка великої фракції зросла з 15,9% до 83,3%, а дрібної – зменшилася з 4,6% до 1,1%. Для кукурудзи ці показники змінилися з 12,9% до 62,8% та з 8,3% до 5,9% відповідно. Це підтверджує значний вплив модульного зазору на якість подрібнення. Водночас вплив подачі та частоти обертання робочого органу виявився менш вираженим. Отримані результати дозволяють оптимізувати параметри роботи подрібнювача для підвищення ефективності технологічного процесу.

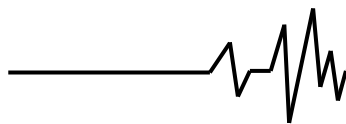


Список використаних джерел

1. Hoste R., Benus M. International comparison of pig production costs 2022: Results of InterPIG. Wageningen: Wageningen Economic Research, 2023. 30 p. DOI: <https://doi.org/10.18174/643744>.
2. Price Rise Of Poultry Feed Is An Issue: How to Economize Poultry Feeding [Електронний ресурс]. – 2024. – URL: <https://www.srpublication.com/price-rise-of-poultry-feed-is-an-issue-how-to-economize-poultry-feeding/> (дата звернення 28.11.2024).
3. Ma D., Zhu T., Yang F., Zhang S., Huang C. Effects of corn particle size on energy and nutrient digestibility in diets fed to young pigs and adult sows // *Animal Bioscience*. – 2021. – Vol. 34, № 9. – P. 1491–1498. – DOI: <https://doi.org/10.5713/ab.20.0556>.
4. Dabbour M.I., Bahnasawy A., Ali S., El-Haddad Z. Grinding parameters and their effects on the quality of corn for feed processing // *Journal of Food Processing & Technology*. – 2015. – Vol. 6, Issue 9. – DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.5184.5842>.
5. Thomas M., Hendriks W.H., van der Poel A.F.B. Size distribution analysis of wheat, maize and soybeans and energy efficiency using different methods for coarse grinding // *Animal Feed Science and Technology*. – 2018. – Vol. 240. – P. 11–21. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.03.010>.
6. Goodband R.D., Murphy J.P., Behnke K.C., Harner J.P. Selection of equipment critical in on-farm mixing // *Feedstuffs*. – 1991. – Vol. 63. – P. 16–18, 29.
7. Fang Q., Boloni I., Haque E., Spillman C.K. Comparison of energy efficiency between a roller mill and a hammer mill // *Applied Engineering in Agriculture*. – 1997. – Vol. 13. – P. 631–635. DOI: <https://doi.org/10.13031/2013.21636>.
8. Laurinen P., Siljander-Rasi H., Karhunen J., Alaviuhkola T., Näsi M., Tuppi K. Effects of different grinding methods and particle size of barley and wheat on pig performance and digestibility // *Animal Feed Science and Technology*. – 2000. – Vol. 83. – P. 1–16. – DOI: [10.1016/S0377-8401\(99\)00116-9](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(99)00116-9).
9. Milling Machines SKIOLD Disc Mills [Електронний ресурс]. – URL: https://www.danagri-3s.com/feed-mill-systems/milling-machines/49-skiold-disc-mills?utm_source=chatgpt.com (дата звернення 28.11.2024).
10. Дудін В. Ю., Білоус І. М. Експериментальні дослідження дискового подрібнювача зерна // *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. – 2023. – № 4(123). – С. 71–77. – DOI: <https://doi.org/10.37128/2520-6168-2023-4-8>.

References

1. Hoste, R., & Benus, M. (2023). *International comparison of pig production costs 2022: Results of InterPIG*. <https://doi.org/10.18174/643744>.
2. SR Publications. (2024). *Price rise of poultry feed is an issue: How to economize poultry feeding*. Retrieved November 28, 2024, from <https://www.srpublication.com/price-rise-of-poultry-feed-is-an-issue-how-to-economize-poultry-feeding>.
3. Ma, D., Zhu, T., Yang, F., Zhang, S., & Huang, C. (2021). Effects of corn particle size on energy and nutrient digestibility in diets fed to young pigs and adult sows. *Animal Bioscience*, 34(9), 1491–1498. <https://doi.org/10.5713/ab.20.0556>.
4. Dabbour, M. I., Bahnasawy, A., Ali, S., & El-Haddad, Z. (2015). Grinding parameters and their effects on the quality of corn for feed processing. *Journal of Food Processing & Technology*, 6(9). <https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000482>.
5. Thomas, M., Hendriks, W. H., & van der Poel, A. F. B. (2018). Size distribution analysis of wheat, maize and soybeans and energy efficiency using different methods for coarse grinding. *Animal Feed Science and Technology*, 240, 11–21. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.03.010>.
6. Goodband, R. D., Murphy, J. P., Behnke, K. C., & Harner, J. P. (1991). Selection of equipment critical in on-farm mixing. *Feedstuffs*, 63, 16–18, 29.
7. Fang, N. Q., Bölöni, N. I., Haque, N. E., & Spillman, N. C. K. (1997). COMPARISON OF ENERGY EFFICIENCY BETWEEN a ROLLER MILL AND a HAMMER MILL. *Applied Engineering in Agriculture*, 13(5), 631–635. <https://doi.org/10.13031/2013.21636>.
8. Laurinen, P., Siljander-Rasi, H., Karhunen, J., Alaviuhkola, T., Näsi, M., & Tuppi, K. (2000). Effects of different grinding methods and particle size of barley and wheat on pig performance and digestibility. *Animal Feed Science and Technology*, 83, 1–16. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(99\)00116-9](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(99)00116-9).
9. Danagri-3S. (n.d.). *Milling machines SKIOLD disc mills*. Retrieved November 28, 2024, from https://www.danagri-3s.com/feed-mill-systems/milling-machines/49-skiold-disc-mills?utm_source=chatgpt.com.
10. Dudin, V. Yu., & Bilous, I. M. (2023). Experimental studies of a disc grain crusher. *Tekhnika, Enerhetyka, Transport APK*, (4)123, 71–77. <https://doi.org/10.37128/2520-6168-2023-4-8>.

**STUDY OF THE EFFICIENCY OF A DISC GRAIN MILL**

The article studies the efficiency of a disc grain mill for concentrated feed, considering its structural and technological parameters and the influence of operating factors on grinding quality. The analysis of existing grinding methods has shown that traditional hammer and roller mills have significant drawbacks, such as high energy consumption (8–15 kWh/t for hammer mills) and an uneven particle size distribution of the product. In this regard, experimental studies were conducted on the operation of a disc mill, which potentially offers higher energy efficiency and a more uniform particle distribution.

The aim of the study is to determine the influence of the structural and technological parameters of a disc mill for concentrated feed on grinding quality and energy consumption.

The study examined the impact of key factors, including the modular gap between the discs (0.6–1.6 mm), disc rotation speed (1500–3000 rpm), and grain feed rate into the grinding

chamber (450–1350 kg/h) on productivity and grinding quality. It was found that increasing the modular gap leads to an increase in the proportion of large fractions (for example, for wheat, the mass fraction of particles retained on a 2 mm sieve increased from 13.1% to 79.4%). At the same time, mill productivity depended on the type of grain: for wheat, it ranged from 0.1–0.25 t/h with a specific energy consumption of 1.7–8.2 kWh/t; for barley, 0.075–0.18 t/h and 3.8–9.4 kWh/t; and for corn, 0.07–0.18 t/h and 2.9–7.2 kWh/t.

The results obtained suggest that the disc mill can be recommended as an energy-efficient alternative to traditional grinders in compound feed production. Optimizing the structural and technological parameters allows for reduced energy consumption and improved uniformity of the particle size distribution of the final product, contributing to increased productivity in livestock farms.

Keywords: disc mill, grain grinding, particle size distribution, specific energy consumption, wheat, barley, corn.

Відомості про авторів

Дудін Володимир Юрійович – кандидат технічних наук, доцент, член Міжнародної асоціації інженерів (IAENG), завідувач кафедри інжинірингу технічних систем Дніпровського державного аграрно-економічного університету (вул. Сергія Єфремова, 25, м. Дніпро, Україна, 49000, e-mail: dudin.v.yu@dsau.dp.ua, <https://orcid.org/0000-0002-1414-7690>)

Білоус Ілля Михайлович – здобувач освітнього ступеня доктора філософії Дніпровського державного аграрно-економічного університету (вул. Сергія Єфремова, 25, м. Дніпро, Україна, 49000, e-mail: bilous.i.m@dsau.dp.ua, <https://orcid.org/0000-0001-9635-6631>).

Volodymyr Dudin – Ph.D., Associate Professor, Head of the Department of Technical Systems Engineering of Dnipro State Agrarian and Economic University (St. S. Efremova, 25, Dnipro, Ukraine, 49000, e-mail: dudin.v.yu@dsau.dp.ua, <https://orcid.org/0000-0002-1414-7690>)

Illia Bilous, recipient of the PhD degree of the Departments of Technical Systems Engineering of Dnipro State Agrarian and Economic University (St. S. Efremova, 25, Dnipro, Ukraine, 49000, e-mail: bilous.i.m@dsau.dp.ua, <https://orcid.org/0000-0001-9635-6631>).