



УДК 631.313.6

DOI: 10.37128/2520-6168-2023-4-8

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИСКОВОГО ПОДРІБНЮВАЧА ЗЕРНА

Дудін Володимир Юрійович, к.т.н., доцент, завідувач кафедри
Білоус Ілля Михайлович, здобувач освітнього ступеня доктора філософії
Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Volodymyr Dudin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department
Ilya Bilous, recipient of the PhD degree
Dnipro State Agrarian and Economic University

У структурі собівартості продукції тваринництва корми стоять на першому місці і становлять 60-70% витрат. Ефективність застосування концентрованих кормів залежить від якості їх підготовки, а саме однорідності подрібнення та відповідності фракційного складу зоотехнічним вимогам.

Серед всього розмаїття способів подрібнення та конструкційних рішень найбільшого поширення для подрібнення кормового зерна набули молоткові дробарки, які не в повній мірі відповідають вимогам енергозбереження, при тонкому помелі дають до 40% пилоподібної фракції, а при грубому – до 20% цілих і недоподрібнених зерен. В той же час, у світі все більшого поширення набувають конструкції подрібнювачів зерна дискового типу. Такі конструкції відрізняються від молоткових нижчими питомими енерговитратами та вищою якістю готового продукту. Тому подальші дослідження спрямовані на підвищення ефективності роботи дискових подрібнювачів є актуальними.

Експериментальні дослідження дискового подрібнювача зерна проводили із застосуванням теорії планування експерименту, завдяки чому отримували математичні моделі процесів у вигляді рівнянь регресії. Факторами експерименту були обрані частота обертання диску n (x_1), модульний зазор між дисками σ_m (x_2) і вологість зерна W (x_3). Критерії оптимізації - питома енергоємність подрібнення q (y_1) та однорідність k (y_2). Питома енергоємність процесу визначалась як відношення потужності до продуктивності. Однорідність визначалась як відношення вмісту часток з раціональними параметрами до маси наважки та виражалась у відсотках.

У результаті експериментальних досліджень дискового подрібнювача зерна встановлено, що питома енергоємність процесу та однорідність подрібнення залежить від всіх задіяних факторів, при цьому раціональні показники за критеріями оптимізації не співпадають. Вирішення задачі пошуку оптимуму варіювання факторів для двох критеріїв дає змогу стверджувати, що мінімальна енергоємність процесу подрібнення знаходиться в діапазоні $q=3,67...4,54$ кВт·год/т, однорідність подрібнення - $k=86,5...92,6\%$ при значеннях досліджуваних факторів $n=1260-1320$ хв⁻¹; $W=12,8-13,2$ % для раціонального діапазону ступенів подрібнення.

Ключові слова: зерно, подрібнення, параметри, ефективність, частота обертання, вологість, питома енергоємність, однорідність подрібнення.

Ф. 9. Рис. 4. Літ. 12.

1. Вступ

У структурі собівартості продукції тваринництва корми стоять на першому місці і становлять 60-70% витрат. Ефективність застосування концентрованих кормів залежить від якості їх підготовки, а саме однорідності подрібнення та відповідності фракційного складу зоотехнічним вимогам [1].

Серед всього розмаїття способів подрібнення та конструкційних рішень найбільшого поширення для подрібнення кормового зерна набули молоткові дробарки, які не в повній мірі відповідають вимогам енергозбереження [2], при тонкому помелі дають до 40% пилоподібної фракції, а при грубому – до 20% цілих і недоподрібнених зерен. В той же час, у світі все більшого поширення набувають конструкції подрібнювачів зерна дискового типу. Такі конструкції відрізняються від молоткових нижчими питомими енерговитратами та вищою якістю готового продукту [3]. Тому подальші дослідження спрямовані на підвищення ефективності роботи дискових подрібнювачів є актуальними.

2. Аналіз останніх досліджень та публікацій

В аграрному секторі процес подрібнення широко використовується під час переробки



зернового матеріалу. Подрібнення, розмелювання – це процеси руйнування структури твердих матеріалів під впливом рухомих (зазвичай обертових) робочих органів подрібнювачів [4].

Подрібнення твердих тіл здійснюють такими способами: роздавлюванням (плющенням), розколюванням, стиранням, розпилюванням, ударом та різанням (лезом, пуансоном, різцем) [5].

Вальцьові верстати використовуються переважно в борошномельній і круп'яній промисловості, в пивоварінні, в пресових цехах з виробництва олії. До переваг вальцьових подрібнювачів можна віднести: низьке пилоутворення, висока рівномірність подрібнення, простота в експлуатації, низький рівень шуму, висока надійність. Але серед недоліків вальцьових подрібнювачів є те, що незначні коливання зазору між вальцями призводить до значної зміни ступеня подрібнення, а також навантажень на вальці й витрат електроенергії. Значна частина механічної енергії перетворюється на теплоту і відбувається нагрів як самих вальців, так і продукту переробки. Також одним із недоліків є складність відновлення робочих поверхонь [6].

На тваринницьких фермах та комплексах найпоширенішими є молоткові дробарки [7]. Вони руйнують матеріал за допомогою ударів робочих органів (молотків). Перевагами молоткових дробарок є: простота конструкції, висока продуктивність, висока надійність роботи. Попри переваги молоткових дробарок, у них також є певні недоліки, а саме: висока питома енергоємність процесу подрібнення, нерівномірний гранулометричний склад подрібненого продукту, високий вміст надмірно подрібнених частинок, інтенсивне зношування робочих органів та високий рівень шуму [8-10].

В дискових подрібнювачах концентрованих кормів робочі органи складаються з рухомого та нерухомого диску. Диски мають складну конфігурацію поверхонь. При подрібненні зерно зазнає великої кількості змін тиску на нього й руйнується. Регулюючи зазор між дисками можна встановлювати необхідний модуль помелу [11].

Дискові подрібнювачі, на відміну від молоткових, мають кращу енергоефективність та вищу якість отриманого продукту (рівномірний гранулометричний склад та зменшення кількості утворення пиловидної фракції). Але серед недоліків є те, що такі подрібнювачі мають складнішу конструкцію [12].

Враховуючи, проведений аналіз можна стверджувати про недостатній рівень досліджень процесу подрібнення зерна дисковим подрібнювачем.

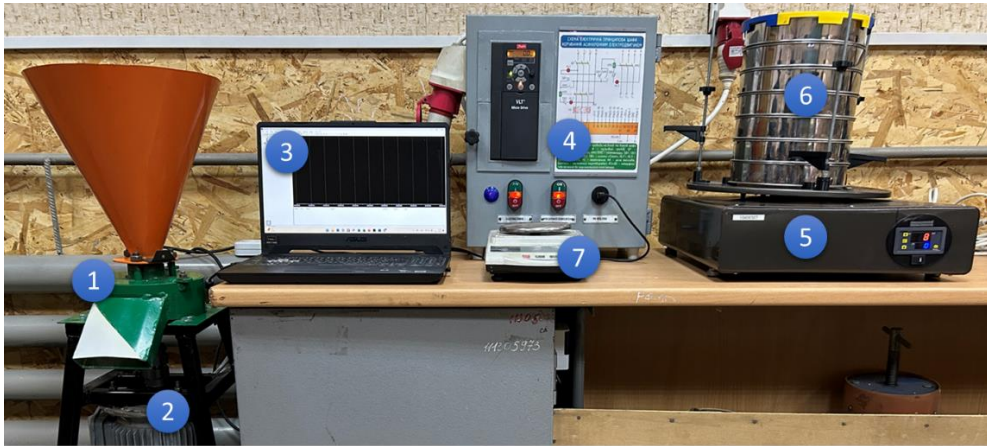
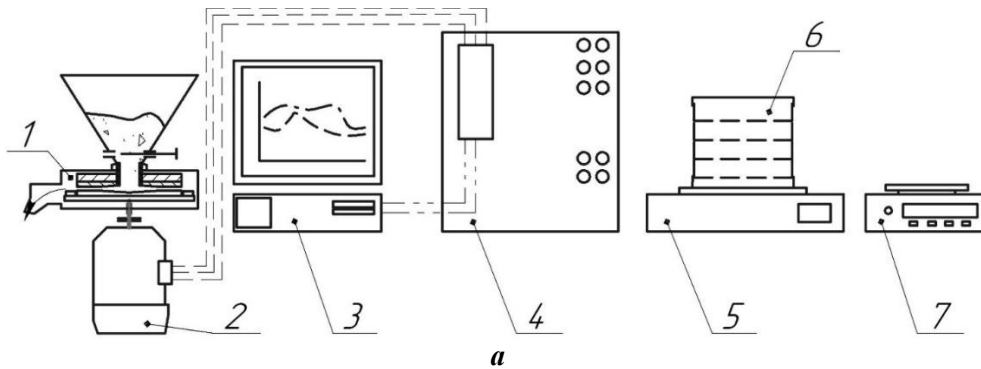
3. Мета дослідження

Метою досліджень є визначення раціональних конструктивно-технологічних параметрів дискового подрібнювача зерна і дослідження зміни характеристик процесу при варіюванням їх значеннями.

4. Виклад основного матеріалу

На першому етапі досліджень нами було розроблено та реалізовано конструкцію стенду для проведення експериментальних досліджень дискового подрібнювача зерна (рис. 1). Стенд складається з досліджуваного дискового подрібнювача, з прямим приводом через пружну муфту від асинхронного електродвигуна АОЛ2-21-2, потужністю 1,1 кВт, номінальною частотою обертання 2860 хв⁻¹. Керування електродвигуном здійснюється за допомогою стенду для керування асинхронними електродвигунами на основі частотного перетворювача Danfoss VLT Micro Drive FC 51. Вказаний стенд дозволяє задавати частоту обертання ротора електродвигуна в діапазоні 0...2860 хв⁻¹. За допомогою ПЕОМ, на якому встановлено програмне забезпечення VLT® Motion Control Tool MCT 10, знімаються експлуатаційні характеристики електродвигуна (частота обертання та споживана потужність). Частотний перетворювач з'єднано з ПЕОМ за допомогою інтерфейсу RS-485.

Продуктивність подрібнювача визначається виходячи з часу, затрачуваного на подрібнення наважки, при цьому час подрібнення починає фіксуватися після виходу подрібнювача на сталий робочий режим. Для оцінки якості подрібнення використовується набір сит та розсійник лабораторний РЛУ-1, для відділення пилоподібної фракції застосовується сито з діаметром отворів 0,2 мм. Зважування залишків на ситах - за допомогою ваг лабораторних аналітичних JD-2200-2. Встановлення необхідного ступеня подрібнення здійснюється шляхом зміни зазору між дисками, зазор контролюється за допомогою щупів YATO (YT-7220) через спеціальне вікно в робочій камері подрібнювача.



б

Рис. 1. Схема (а) та загальний вигляд (б) стенду для проведення експериментальних досліджень дискового подрібнювача зерна: 1 – дисковий подрібнювач; 2 – електродвигун АОЛ2- 21- 2; 3 – ПЕОМ; 4 – стенд для керування асинхронними електродвигунами на основі частотного перетворювача Danfoss VLT Micro Drive FC 51; 5 – розсіювач лабораторний РЛУ-1; 6 – набір сит; 7 - ваги лабораторні аналітичні JD-2200-2

Експериментальні дослідження дискового подрібнювача зерна проводили із застосуванням теорії планування експерименту, завдяки чому отримували математичні моделі процесів у вигляді рівнянь регресії. Факторами експерименту були обрані частота обертання диску n (x_1), модульний зазор між дисками σ_m (x_2) і вологість зерна W (x_3). Критерії оптимізації - питома енергоємність подрібнення q (y_1) та однорідність k (y_2). Питома енергоємність процесу визначалась як відношення потужності до продуктивності. Однорідність визначалась як відношення вмісту часток з раціональними параметрами до маси наважки та виражалась у відсотках.

Враховуючи те, що згідно фізико-механічних характеристик матеріалів, зусилля руйнування зернівки пшениці перебиває діапазон значень ячменю та кукурудзи, тому досліди проводимо саме на ній. Після обробки результатів досліджень було отримано математичну модель впливу досліджуваних факторів на питому енергоємність подрібнення:

$$y_1 = 4,1 + 0,046x_1 - 0,026x_1^2 + 0,4x_2 - 0,26x_2^2 - 0,54x_3 - 0,48x_3^2 - 0,62x_1x_2 - 0,14x_1x_3 + 0,43x_2x_3. \quad (1)$$

Для цього рівняння регресії на рівні довірчої ймовірності дисперсії однорідні 95%, значення критерію Кохрена $G = 0,17 < G_{0,05}(2, 11) = 2,24685$. Значення критерію Фішера $F = 1,67 < F_{0,05}(2, 14) = 1,63$; модель адекватна на будь-якому рівні довірчої ймовірності. Значущими на рівні довірчої ймовірності більше 95% (коефіцієнти кореляції та критерій Стюдента) є коефіцієнти при таких членах рівняння: x_1 , x_2 , x_3 , x_1^2 , x_2^2 , x_3^2 , x_1x_2 .

На основі цього рівняння регресії 1 прийме вигляд:

$$y_1 = 4,1 + 0,046x_1 - 0,026x_1^2 + 0,4x_2 - 0,26x_2^2 - 0,54x_3 - 0,48x_3^2 - 0,62x_1x_2. \quad (2)$$

У розкодованому вигляді модель (2) має вигляд:

$$q = 5,11 + 2,063n - 1,522n^2 - 2,82\delta_m - 2,08\delta_m^2 - 0,24W + 0,15W^2 - 1,8n\delta_m, \quad (3)$$

де q – питома енергоємність процесу подрібнення, Вт·год/кг; n – частота обертання диску, хв^{-1} ; σ_m – модульний зазор між дисками, мм; W – вологість зерна, %.

Графічну інтерпретацію попарних взаємодій залежності (3) при фіксованих оптимальних значеннях представлено на рис. 2. З аналізу графіків можна стверджувати, що зі збільшенням вологості



зерна питома енергоємність збільшується, що закономірно. При цьому вплив вологості досить незначний і призводить до збільшення питомої енергоємності на 5...7,5 %.

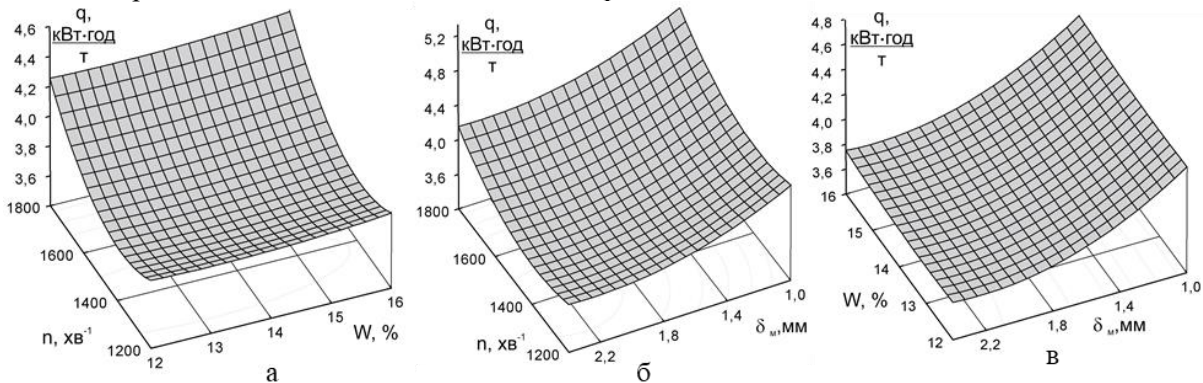


Рис. 2. Залежність питомої енергоємності від: а – частоти обертання диску та вологості зерна; б – обертання диску та модульного зазору; в – вологості зерна та модульного зазору

Що стосується частоти обертання то можна стверджувати, що показник 1320...1460 хв⁻¹ буде відповідати найменшим значенням енергоємності. При цьому в діапазоні меншому за вказані значення зменшення питомої енергоємності незначне, а по його проходженню вплив частоти обертання більш інтенсивний. Це можна пояснити тим, що зі збільшенням частоти обертання диска процес подрібнення втрачає керованість через збільшення швидкості руху зернівки. Це призводить до підвищення взаємодій із заклинюванням зернівок в живильному поясі.

Вплив модульного зазору на питому енергоємність також цілком очікуваний – з його збільшенням енергоємність зменшується. При цьому вирівнювання (зниження впливу) спостерігається на ділянці 1,8...2,4 мм. Це пов'язано з тим, що, по-перше, зменшується модуль подрібнення, а по-друге кількість впливу (взаємодії) диску на зернівку. Крім того, полегшується вхід зернівки в модульний пояс.

Виходячи з отриманих даних, можна стверджувати, що при варіюванні значень факторів у заданому діапазоні питома енергоємність подрібнення має оптимальне (мінімальне) значення при:

$$q(n = 1380 \text{ хв}^{-1}; \delta_m = 2,4 \text{ мм}; W = 13,4 \text{ мм}) = 3,58 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{т}. \quad (4)$$

На наступному етапі, було отримано математичну модель впливу факторів на однорідність подрібнення:

$$y_2 = 90,46 - 0,737x_1 + 0,502x_1^2 + 0,93x_2 - 0,40x_2^2 - 2,4x_3 + 1,99x_3^2 + 0,805x_1x_2 - 2,98x_1x_3 + 1,56x_2x_3. \quad (5)$$

Для цього рівняння регресії на рівні довірчої ймовірності дисперсії однорідні 95%, значення критерію Кохрена $G = 0,11 < G_{0,05}(1,78) = 0,1667$. Значення критерію Фішера $F = 1,54 < F_{0,05}(1,76) = 1,64$; модель адекватна на будь-якому рівні довірчої ймовірності. Значущими на рівні довірчої ймовірності більше 95% (коефіцієнти кореляції та критерій Стюдента) є коефіцієнти при таких членах рівняння: $x_1, x_2, x_3, x_1^2, x_2^2, x_1x_2$.

На основі цього рівняння регресії (5) прийме вигляд:

$$y_2 = 90,46 - 0,737x_1 + 0,502x_1^2 + 0,93x_2 - 0,40x_2^2 - 2,4x_3 + 0,805x_1x_2 \quad (6)$$

У розкдованому вигляді модель 6 має вигляд:

$$k = 83,52 - 0,552n + 0,42n^2 + 0,745\delta_m - 0,246\delta_m^2 - 1,79W + 0,34n\delta_m, \quad (7)$$

де k – однорідність подрібнення, %; n – частота обертання диску, хв⁻¹; δ_m – модульний зазор між дисками, мм; W – вологість зерна, %.

Графічну інтерпретацію попарних взаємодій залежності (7) при фіксованих оптимальних значеннях представлено на рис. 3.

Аналіз залежностей дозволяє стверджувати, що для всіх співвідношень змінних факторів однорідність подрібнення знаходиться у межах зоотехнічних вимог.

Щодо частоти обертання диску, то її вплив на однорідність подрібнення нелінійний і має чітко визначений оптимум при досягненні значень 1310...1420 хв⁻¹, після чого поступово зменшується. Це пояснюється тим, що зі збільшенням частоти обертання збільшується можливість переподрібнення, а також недоподрібнення зернівки, пов'язане зі збільшенням швидкості її руху при входженні в модульний пояс.

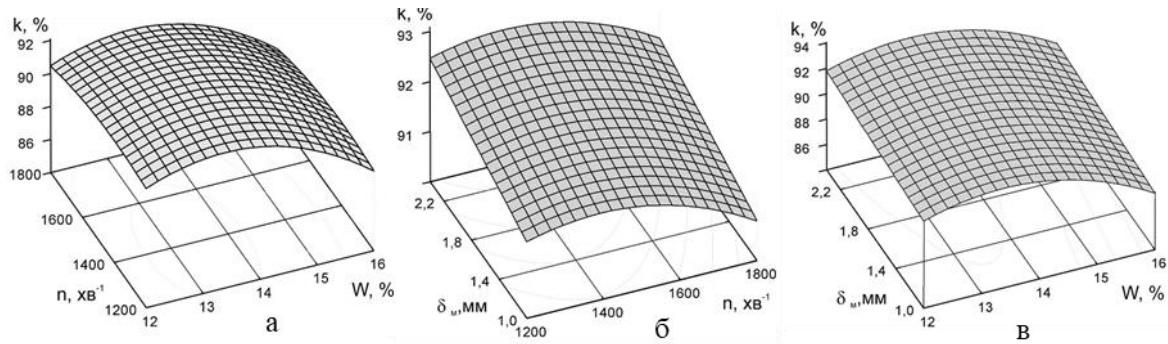


Рис. 3. Залежність однорідності подрібнення від: а - частоти обертання диску та вологості зерна; б - обертання диску та модульного зазору; в - вологості зерна та модульного зазору

Вологість зернівки, хоч і не так інтенсивно, але також здійснює вплив на однорідність отриманого продукту. На ділянці 12...14,6 % цей вплив незначний, після чого збільшується. Це визначається впливом в'язко-пружної складової під час подрібнення. Модульний зазор визначає крупність помелу, тому впливає передбачувано – зі збільшенням зазору збільшується однорідність.

Виходячи з отриманих даних, можна стверджувати, що при варіюванні значень факторів у заданому діапазоні однорідність подрібнення має оптимальне (максимальне) значення при:

$$k (n = 1410 \text{ хв}^{-1}; \delta_m = 2,4 \text{ мм}; W = 12,8 \text{ мм}) = 92,8\%. \quad (8)$$

Результати експериментальних досліджень свідчать про те, що раціональні параметри за критеріями оптимізації не співпадають, тому нам необхідно вирішити задачу пошуку оптимуму варіювання факторів для двох критеріїв. Задачу вирішували використовуючи програмне забезпечення Statistica v. 6.12 для значень змінних факторів (частота обертання диску n , модульний зазор між дисками δ_m і вологість зерна W) які одночасно дають найбільш бажані відгуки критеріїв оптимізації.

На рис. 4 приведено залежності, які відображають структуру профілю відгуку оптимальних значень факторів у якості поточних значень кривих. При цьому рівень оптимуму критеріїв оптимізації виражали в закодованому вигляді, який відповідав їх раціональним значенням: $q=1$ для $q_{\min}=3,59$ Вт·год/кг; $k=1$ для $k_{\max}=93,8$ %. При цьому пошук оптимуму було проведено для 3-х ступенів подрібнення – тонкого, середнього і грубого.

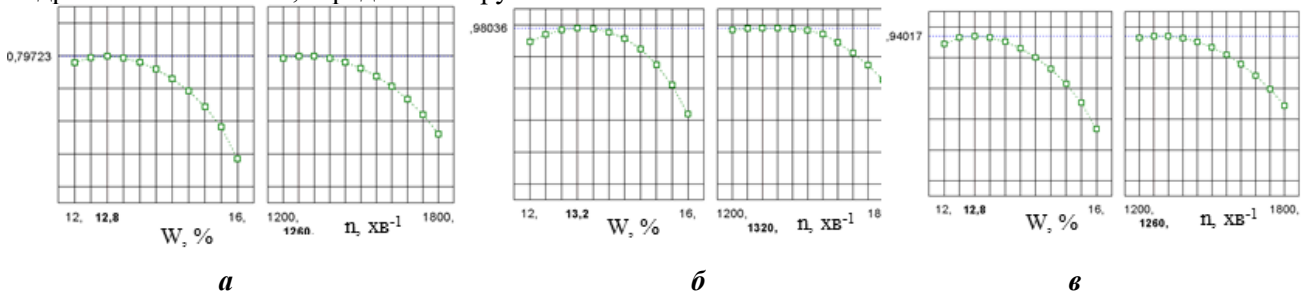


Рис. 4. Структура профілю відгуку оптимальних значень факторів для тонкого (а), середнього (б) та грубого (в) помелу

В результаті проведеного пошуку було встановлено, що дослідний дисковий подрібнювач буде мати оптимальні експлуатаційні характеристики при:

- 0,797 в закодованому вигляді для тонкого помелу або $q=4,54$ кВт·год/т, $k=86,5$ % в розкодованому;
- 0,98 в закодованому вигляді для середнього помелу або $q=3,67$ кВт·год/т, $k=92,6$ % в розкодованому;
- 0,94 в закодованому вигляді для грубого помелу або $q=3,82$ кВт·год/т, $k=89,8$ % в розкодованому.

Тоді:

$$q; k (n = 1260...1320 \text{ хв}^{-1}; W = 12,8...13,2\%) = 3,67...4,54 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{т}; 86,5...92,6\%. \quad (9)$$

5. Висновки

У результаті експериментальних досліджень дискового подрібнювача зерна встановлено, що питома енергоємність процесу та однорідність подрібнення залежить від всіх задіяних факторів, при цьому раціональні показники за критеріями оптимізації не співпадають. Вирішення задачі пошуку оптимуму варіювання факторів для двох критеріїв дає змогу стверджувати, що мінімальна енергоємність процесу подрібнення знаходиться в діапазоні $q=3,67...4,54$ кВт·год/т, однорідність подрібнення -



$k=86,5\dots 92,6\%$ при значеннях досліджуваних факторів $n=1260-1320$ хв⁻¹; $W=12,8-13,2$ % для раціонального діапазону ступенів подрібнення.

Список використаних джерел

1. Чудак Р. А., Побережець Ю. М., Ушаков В. М., Бабков Я. І. Вплив кормових добавок та комбікормів на продуктивність та якість м'яса у свиней: монографія. Видавець ФОП Рогальська І.О., 2021. 202 с.
2. Сердюк В. В., Руденко В. А., Соларьов О. О., Саржанов О. А., Саєнко А. В. Енергозбереження при подрібненні зерна. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету: електронне наукове фахове видання*. 2023. Вип. 13, Том 2. С. 1–10
3. Bavram M., Oner M. Bulgur milling using roller, double disc and vertical disc mills. *Journal of Food Engineering*. 2014. Vol. 79, № 1. P. 181–187.
4. Xiao Y., Desai C. S., Daouadji A., Stuedlein A. W., Liu H., Abuel-Naga H. Grain crushing in geoscience materials—Key issues on crushing response, measurement and modeling: Review and preface. *Geoscience Frontiers*. 2020. Vol. 11, № 2. P. 363–374.
5. Huang Q., Zhou W., Ma G., Ng T. T., Xu K. Experimental and numerical investigation of Weibullian behavior of grain crushing strength. *Geoscience Frontiers*. 2020. Vol. 11, № 2. P. 401–411.
6. Петров В. М. Вальцьове подрібнююче обладнання. Одеса: ОДАБА, 2019. 227 с.
7. Гвоздев О. В., Шматкович Т. О., Литвинчик О. В. Вдосконалення процесу подрібнення зерна. *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки*. 2011. № 1 (1). С. 143–150.
8. Шевченко І. А., Кобрін Ю. Г. Аналітичне дослідження зношення робочого органу молоткових дробарок. *Металургія*. 2017. Вип. 1. С. 122–126.
9. Олексієнко В. О., Петриченко С. В., Ковальов О. О., Кошулько В. С. Дослідження енергоємності процесу подрібнення молоткової зернової дробарки. *Новачії в технології та обладнанні готельно-ресторанних, харчових і переробних виробництв: друга міжнародна науково-практична інтернет-конференція* (м. Мелітополь, 23 листопада 2021 р.). С. 176–178
10. Нанка О. В. Напрямки підвищення ефективності процесу подрібнення зернових кормів. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2015. № 45 (2). С. 152–157.
11. Caponio F., Catalano P. Hammer crushers vs disk crushers: the influence of working temperature on the quality and preservation of virgin olive oil. *European Food Research and Technology*. 2001. Vol. 213. P. 219–224.
12. Sukmafritri A. J. E. N. G., Ragadhita R. I. S. T. I., Nandiyanto A. B. D. Disk rotation speed and diameter of impactor in disk mill on particle size distribution from rice husk. *Journal of Engineering Science and Technology*. 2020. Vol. 15, № 3. P. 1698–1704.

References

- [1] Chudak, R.A., Poberezhets, Yu.M., Ushakov, V.M., Babkov, Ya. I. (2021). *Vplyv kormovykh dobavok ta kombikormiv na produktyvnist ta yakist miasa u svynei: monohrafiia* [Influence of feed additives and mixed fodders on productivity and meat quality in pigs : monograph]. Vydavets FOP Rohalska I.O. [in Ukrainian].
- [2] Serdiuk, V.V., Rudenko, V.A., Solarov, O.O., Sarzhanov, O.A., Saienko, A.V. (2023). Enerhozberzhennia pry podribnenni zerna [Energy saving during grain crushing]. *Naukovyi visnyk Tavriiskoho derzhavnoho ahrotekhnolohichnoho universytetu: elektronne naukove fakhove vydannia*, 13 (2), 1–10. [in Ukrainian].
- [3] Bavram, M., Oner, M. (2014). Bulgur milling using roller, double disc and vertical disc mills. *Journal of Food Engineering*, 79(1), 181–187. [in English].
- [4] Xiao, Y., Desai, C.S., Daouadji, A., Stuedlein, A.W., Liu, H., Abuel-Naga, H. (2020). Grain crushing in geoscience materials—Key issues on crushing response, measurement and modeling: Review and preface. *Geoscience Frontiers*, 11 (2), 363–374. [in English].
- [5] Huang, Q., Zhou, W., Ma, G., Ng, T. T., & Xu, K. (2020). Experimental and numerical investigation of Weibullian behavior of grain crushing strength. *Geoscience Frontiers*, 11(2), 401–411. [in English].
- [6] Petrov, V.M. (2019). *Valtsove podribniuiuche obladdannia* [Roller shredding equipment]. Odessa: ODABA. [in Ukrainian].
- [7] Hvozdiev, O.V., Shmatkovych, T.O., Lytvynchuk, O.V. (2011). Vdoskonalennia protsesu podribnennia zerna [Improving the grain crushing process]. *Zbirnyk naukovykh prats Vinnytskoho natsionalnoho ahrrarnoho universytetu. Serii: Tekhnichni nauky*, 1 (1), 143–150. [in Ukrainian].
- [8] Shevchenko, I.A., Kobrin, Yu.H., (2017). Analitychne doslidzhennia znoshennia robochoho orhanu molotkovykh drobarok [Analytical study of wear of the working body of hammer crushers]. *Metallurgy*,



- 1, 122–126. [in Ukrainian].
- [9] Oleksienko, V.O., Petrychenko, S.V., Kovalov, O.O., Koshulko, V.S. (2021). Doslidzhennia enerhoiemnosti protsesu podribnennia molotkovoї zernovoї drobarky [Study of the energy intensity of the crushing process in a hammer mill]. *Innovations in technology and equipment of hotel and restaurant, food and processing industries: the second international scientific and practical internet conference (Melitopol, November 23, 2021)*. 176–178. [in Ukrainian].
- [10] Nanka, O. V. (2015). Napriamky pidvyshchennia efektyvnosti protsesu podribnennia zernovykh kormiv [Ways to improve the efficiency of the grain feed crushing process]. *Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia silskohospodarskykh mashyn*, 45 (2), 152–157. [in Ukrainian].
- [11] Caponio, F., Catalano, P. (2001). Hammer crushers vs disk crushers: the influence of working temperature on the quality and preservation of virgin olive oil. *European Food Research and Technology*, 213, 219–224. [in English].
- [12] Sukmafritri, A. J. E. N. G., Ragadhita, R. I. S. T. I., & Nandiyanto, A. B. D. (2020). Disk rotation speed and diameter of impactor in disk mill on particle size distribution from rice husk. *Journal of Engineering Science and Technology*, 15(3), 1698–1704. [in English].

EXPERIMENTAL DEVELOPMENT OF DISC GRAIN MILL

In the structure of the product's production, feed is in the first place and accounts for 60-70% of the total cost. The effectiveness of stagnation of concentrated feed depends on the quality of their preparation, and the uniformity of detail and type of fractional stock of animal husbandry products.

In the midst of all the development of methods of refinement and design solutions for the greatest expansion for the refinement of feed grain, hammer mills have emerged, which, unlike any other in the world, provide energy saving, with fine grinding up to 40% of the saw-like fraction, and for coarse grains - up to 20% of whole and incomplete grains. At the same time, disk-type grain trimming designs are becoming more and more widespread in the world. Such structures are developed from hammer construction with lower energy consumption and higher yield of the finished product. Therefore, further research aimed at improving the efficiency of the work of disk workers is relevant.

Experimental studies of disk grain processing were carried out based on the theoretical design of the experiment, which was why mathematical models of processes were selected in the form of regression. The factors in the experiment were the frequency of disk wrapping n (x_1), the modular gap between the disks m (x_2) and the moisture content of the grain W (x_3). Optimization criteria are the energy density of the detail q (y_1) and the uniformity of k (y_2). The energy intensity of the process began as a balance between effort and productivity. Uniformity began as a relationship instead of often with rational parameters to the point of importance and was expressed in hundreds.

As a result of experimental studies of disk grain processing, it has been established that the energy intensity of the process and the uniformity of the grain are dependent on all relevant factors, with which rational indicators are based on optimization criteria and do not match. The main task is to find the optimal variation of factors for two criteria, which makes it possible to confirm that the minimum energy intensity of the process is in the range $q = 3.67 \dots 4.54 \text{ kW}\cdot\text{hour}/\text{t}$, one Particularity - $k = 86.5 \dots 92.6\%$ at values of additional factors $n = 1260 - 1320 \text{ min}^{-1}$; $W = 12.8 - 13.2\%$ for a rational range of refinement steps.

Key words: grain, detailing, parameters, efficiency, wrapping frequency, moisture content, nutritional energy content, uniformity of detailing.

F. 9. Fig. 4. Ref. 12.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Дудін Володимир Юрійович – кандидат технічних наук, доцент, 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 – Candidate of Technical Sciences, 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>)

Iliia 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>).