

УДК 631.361; 635.6

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТА РЕЖИМІВ РОБОТИ ЗЕРНОВОЇ ДРОБАРКИ ПРЯМОГО УДАРУ

Ялпачик О.В., аспірант*

Таврійський державний агротехнологічний університет

Анотація – робота містить результати теоретичних і експериментальних досліджень зернової дробарки прямого удару, які дали можливість установити оптимальні режими роботи, при яких одержана продукція відповідає установленим стандартам.

Ключові слова – подрібнення зерна, напруження, пальці дробарки, плановий експеримент, модуль помелу, деформація, ККД.

Постановка проблеми та її актуальність. Подрібнювання є одним з найбільш енергоємних процесів при переробці фуражного зерна на корм худобі та птиці. Для цього найчастіше застосовуються різні за конструктивним виконанням молоткові дробарки. При тонкому подрібнюванні ці дробарки дають до 30 % пилоподібної фракції, а при грубому – до 20 % недоподрібненої фракції.

Переподрібнювання приводить до збільшення витрат енергії на подрібнювання та втрат при згодовуванні, а недоподрібнене зерно погано поїдається і засвоюється тваринами. Крім цього, молоткові дробарки мають великі енерговитрати, при подрібнюванні вони споживають від 10 до 15 кВт·год. на одну тону подрібненого продукту [1].

Аналіз останніх досліджень. Дослідженнями процесу подрібнювання різних видів кормів присвячені роботи багатьох вітчизняних і закордонних учених. Серед них можна відзначити В. П. Горячкина, П.А. Ребіндера, В.Я. Гирсшона, С.В. Мельникова, П. Ріттингера, Р. Гійо, В.И. Сироватко, В.А. Єлисеєва, В.А. Денисова, П.І. Леонтєва, И.Я. Федоренко, С.В. Золотарьова, Н.С. Сергєєва, і багатьох інших.

На даний час особливо гостро встає питання про забезпечення технічними засобами, подрібнювачами кормів особисто-підсобних, селянських та фермерських господарств, а також малих ферм.

Основна частина. З розглянутих схем подрібнювачів зерна можна виділити такі схеми подрібнювання зерна з попередньою сепарацією вхідного продукту (зерна): з відкритим циклом; з рециркуляцією недоподрібненого матеріалу; із багатоступінчастою рециркуляцією і подрібнюванням; з попередньою сепарацією вхідного продукту і подрібнюванням кожної фракції на окремих ступенях.

© Ялпачик О.В., аспірант

* Науковий керівник – к.т.н., доцент Гвоздєв О.В.

Розглянуті схеми технологічного процесу подрібнювання з поділом зерна на фракції дозволили зробити наступні висновки:

- мінімальна енергоємність процесу може бути досягнута поєднанням подачі зерна в такому інтервалі фізико-механічних властивостей, які б забезпечили найбільш повне подрібнювання зерна на даному ступені та оптимальному завантаженні ступеней подрібнювання;
- при забезпеченні першої умови можливий частковий перехід недоподрібненого зерна на наступний ступінь, що вимагає забезпечення конструктивних особливостей дробарки для багатоступінчастої технології подрібнювання.

При розгляді схеми двоступінчастого подрібнювання з урахуванням коефіцієнта сепарації K і, приймаючи, що сходового потоку другого ступеню немає, $P_{c2} = 0$, було одержане наступне рівняння розподілу прохідного P_n і сходового P_c потоків подрібненого матеріалу:

$$P_{n1} = K_1 \cdot Q; P_{c1} = (1 - K_1) \cdot Q \quad ; \quad P_{n2} = (1 - K_1) \cdot K_2 \cdot Q,$$

де Q - продуктивність дробарки; P_{n1} , P_{n2} - масова витрата прохідних (відсепарованих) потоків першого і другого ступеня подрібнювання; K_1 , K_2 - коефіцієнти сепарації першого і другого ступеня подрібнювання; P_{c1} , P_{c2} - масова витрата сходових потоків першого і другого ступеня подрібнювання.

Аналізуючи схеми технологічного процесу двоступінчастого подрібнювання-сепарації зернового матеріалу з відводом прохідних (відсепарованих) продуктів, ми прийшли до висновку, що сепарацію і багатоступінчасте подрібнювання зерна можна здійснювати в одному робочому просторі за рахунок прямого удару, збільшення інтенсивності сепарації решітної поверхні, використання периферійної і торцевої поверхонь камери подрібнювання та організації робочого процесу постійної сепарації зерна за розміром до і під час подрібнювання.

Таким чином, результати останніх досліджень багатьох авторів, а також власні дослідження дозволили зробити висновок, що для подрібнювання зерна ефективно використати прямий удар. Так, експериментально встановлено, що при прямому ударі зернівки об робочі органи на її руйнування витрачається менше енергії і підвищується якість готового продукту. Наприклад, при одноразовому лущенні гречки і проса прямим ударом зниження енергоємності процесу буде представляти 43,47% [3].

У зв'язку з вищевикладеним розробка і обґрунтування основних параметрів вертикального пальцевого подрібнювача, що дозволяють знизити металоємність конструкції та енергоємність процесу подрібнювання фуражного зерна при якості одержаного продукту, що відповідає зоотехнічним вимогам, є актуальним та важливим народногосподарським завданням.

Максимальної ефективності процесу подрібнювання зернового матеріалу в дробарці прямого удару можна досягти тільки при раціональних співвідношеннях конструктивних параметрів розробленої дробарки. З метою встановлення значимості кожного з параметрів та їх взаємного впливу була застосована методика математичного планування експерименту.

У якості методу прогнозування і визначення факторів для проведення експерименту був вибраний експертний метод (метод Дельфі).

Критерієм оптимізації був обраний модуль подрібнювання зерна. Відбір факторів для проведення оптимізаційних досліджень здійснювався на підставі попереднього огляду літературних джерел, теоретичного аналізу процесів подрібнювання зерна, взаємодії його з робочими елементами і апріорним ранжируванням за методом Дельфі.

Експертною групою з 8 фахівців оцінювалися наступні фактори: X1 - частота обертання ротора подрібнювача n , хв^{-1} ; X2 - швидкість падіння зернового матеріалу v , м/с ; X3 - подача зернового матеріалу Q , кг/с ; X4 - висота падіння зернового матеріалу H , мм ; X5 - кількість пальців ротора m , шт; X6 - кут падіння зернового матеріалу, град.

У результаті проведеного апріорного ранжирування методом Дельфі перші 3 місця зайняли наступні фактори, які істотно впливають на ефективність процесу подрібнювання зерна дробаркою прямого удару з вертикальним ротором: частота обертання ротора n , хв^{-1} ; подача зернового матеріалу Q , кг/с ; кількість пальців ротора m , шт.

Відзначені параметри дозволили при рівній імовірності всіх рівнів кожного випадкового фактора проведення з достатньою точністю повнофакторного планованого експерименту, результати якого будуть наведені дещо пізніше.

Після аналізу літературних джерел і пошукових експериментальних досліджень деформування зерен пшениці і кукурудзи статичними навантаженнями, що послідовно збільшувались, було прийняте рішення застосувати для опису механізму руйнування зерна ударом теорію тріщин, яка займає особливе місце в механіці руйнування, тому що вона формулює умови локального руйнування у розглянутій точці тіла.

Встановлено, що утворенню тріщини передуює певний період часу нагромадження мікродефектів у зоні руйнування. Однією з найважливіших сторін цієї теорії є використання ефекту нерівномірного розподілу напружень при утворенні тріщин під дією зовнішніх навантажень.

Відповідно до цієї теорії саме у вершині тріщини має місце найбільша концентрація напружень, і, отже, вершина тріщини є найбільш можливим місцем подальшого руйнування тіла. У зв'язку із цим викликає інтерес питання про напружений стан матеріалу в зоні, що безпосередньо прилягає до місця руйнування. Значно впливає

також на розподіл напружень при вершині тріщин напрямом зсуву знову утворених поверхонь (берегів) тріщини.

Напружений і деформований стан у даній точці тіла можна описати за допомогою трьох головних нормальних напружень σ_1 , σ_2 , σ_3 , які діють у трьох взаємно перпендикулярних площинах, що проходять через розглянуту точку, і трьох відповідних їм деформацій ε_1 , ε_2 і ε_3 .

Напружений і деформований стани в точці також визначені, якщо задані тензори напружень і деформацій у даній точці.

$$T_n = \begin{vmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{vmatrix}; \quad T_D = \begin{vmatrix} \varepsilon_x & \gamma_{xy} & \gamma_{xz} \\ \gamma_{yx} & \varepsilon_y & \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} & \gamma_{zy} & \varepsilon_z \end{vmatrix}.$$

Припускаючи, що міцність матеріалу залежить тільки від напруженого стану, обумовленого тензором напружень, умову міцності в загальному виді можна виразити нерівністю:

$$F(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3) \leq A,$$

де A - критерій міцності, що має фізичну інтерпретацію: максимальне нормальне або дотичне напруження, максимальна деформація, енергія формозміни, тощо.

Ця нерівність у тривимірному просторі σ_1 , σ_2 , σ_3 інтерпретується поверхнею, що обмежує область безпечних станів.

Якщо помістити точку початку полярних координат r і θ при вершині тріщини (рис.1) і представити напружений стан елементарного об'єму тіла в області вершини тріщини, то напружений стан і переміщення елементарного об'єму в довільній точці M при руйнуванні зерна (відривне руйнування) описується рівняннями математичної теорії тріщин.

Ці рівняння мають вигляд:

$$\sigma_x = \sigma_y = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cdot \cos \frac{\theta}{2} \left(1 - \sin \frac{\theta}{2} \cdot \sin \frac{3\theta}{2} \right), \quad (1)$$

$$\sigma_z = \mu(\sigma_x + \sigma_y), \quad (2)$$

$$\tau_{xy} = \frac{K_I}{\sqrt{2\pi r}} \cdot \sin \frac{\theta}{2} \cdot \cos \frac{\theta}{2} \cdot \cos \frac{3\theta}{2}, \quad (3)$$

$$\tau_{xz} = \tau_{yx} = 0, \quad (4)$$

де $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ - нормальні напруження в зернівці, Па; τ_x, τ_y, τ_z - дотичні напруження в зернівці, Па; K_I - коефіцієнт інтенсивності напружень у точці об'єму, що прилягає до вершини тріщини; r - відстань від вершини тріщини до точки M ; μ - коефіцієнт Пуассона; θ - кут між віссю x і радіусом-вектором r .

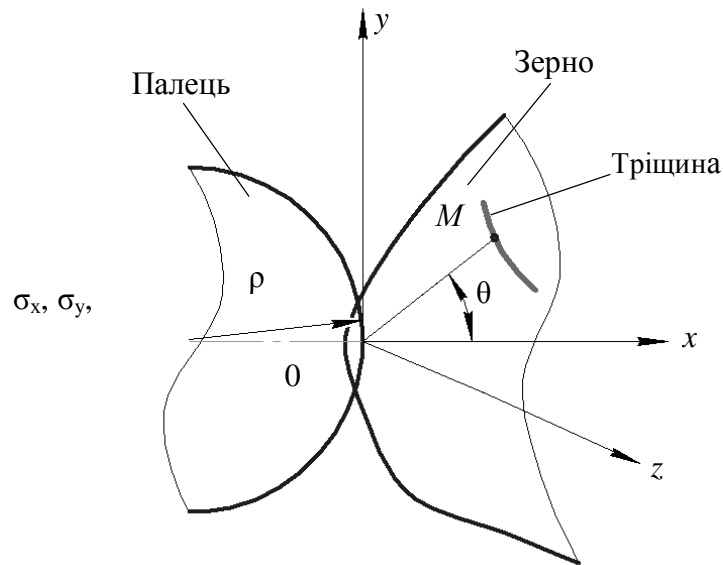


Рис. 1. Схема розподілу напружень уздовж вісі x при утворенні тріщини в зернівці.

Коефіцієнт інтенсивності напружень K_I може бути визначений через коефіцієнт концентрації напружень K біля вершини надрізу

$$K_I = 0,5 \cdot \sqrt{\pi} \cdot \sigma_{max} \cdot \sqrt{\rho} = 0,5 \cdot \sqrt{\pi \rho} \cdot K \cdot \sigma_{ном},$$

де σ_{max} - напруження у вершині надрізу; $\sigma_{ном}$ - величина напруження розтягу при вершині надрізу; ρ - радіус округлення у вершини, м.

Рівняння (1) і (3) мають сингулярний член $1/r$ і при його вирішенні одержуємо, що величина напружень розтягу і напружень зсуву в області вершини тріщини прагне до безкінечності і наступає при будь-якій незначній величині зовнішнього зусилля.

В ідеальному твердому і крихкому тілі процес утворення тріщини необхідно розділяти на два зовсім різних за своєю природою етапи зародження тріщини та її поширення.

За формулами (1-4) були проведені розрахунки напружень при утворенні тріщин у зерні пшениці і кукурудзи. Результати розрахунків представлені графіками змін напружень від радіуса r , приклади яких показані на рис. 2.

З графіків видно, що потік всіх видів напружень для обох зернових культур, що досліджувались, спрямований до вершини тріщини, викликає різке зростання напружень у цій зоні одиничного зерна.

Порівняння результатів визначення напружень за формулами (1-4) і графіком деформації зерна від зусилля деформації (напруження деформації знаходилось як відношення сили деформації до площі перерізу зерна), показали, що розрахункові значення незначно відрізняються від експериментальних, що дає можливість

рекомендувати наведену методику розрахунку для визначення напружень в анізотропних матеріалах.

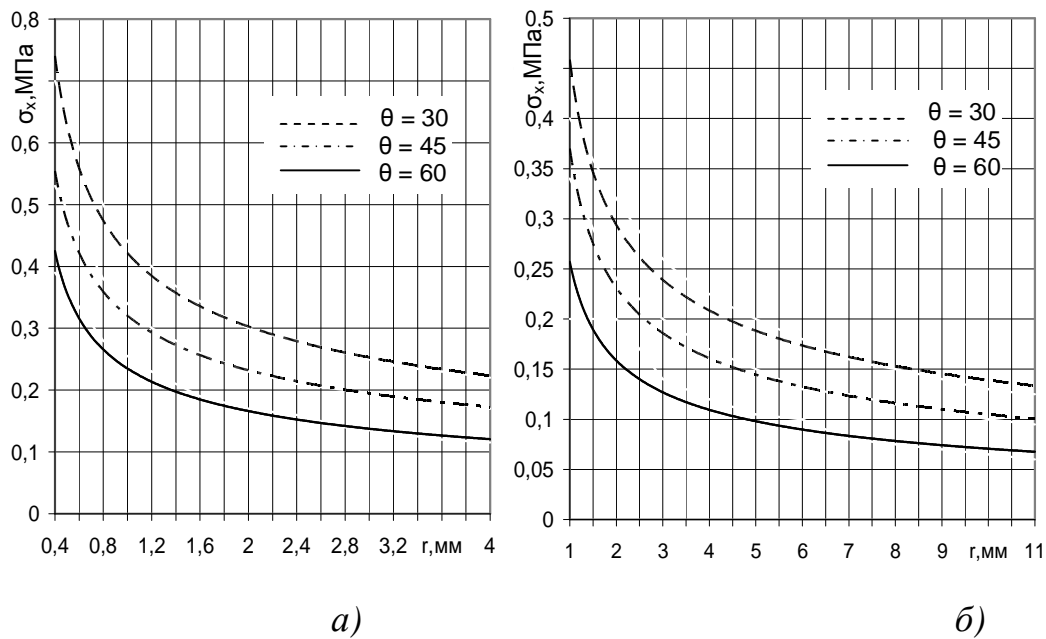


Рис. 2. Залежність σ_x , σ_y від відстані r для: а) пшениці, б) кукурудзи.

Для вирішення завдань інтенсифікації процесу подрібнювання проведено обґрунтування форми та кількості пальців дробарки.

На основі аналізу існуючих і перспективних форм перерізів пальців, їх кількості та порядку розташування на роторі була вибрана традиційна кругла форма перерізу пальця [4].

На рис. 3 показана розрахункова схема для визначення основних параметрів процесу падіння зернівки між пальцями дробарки.

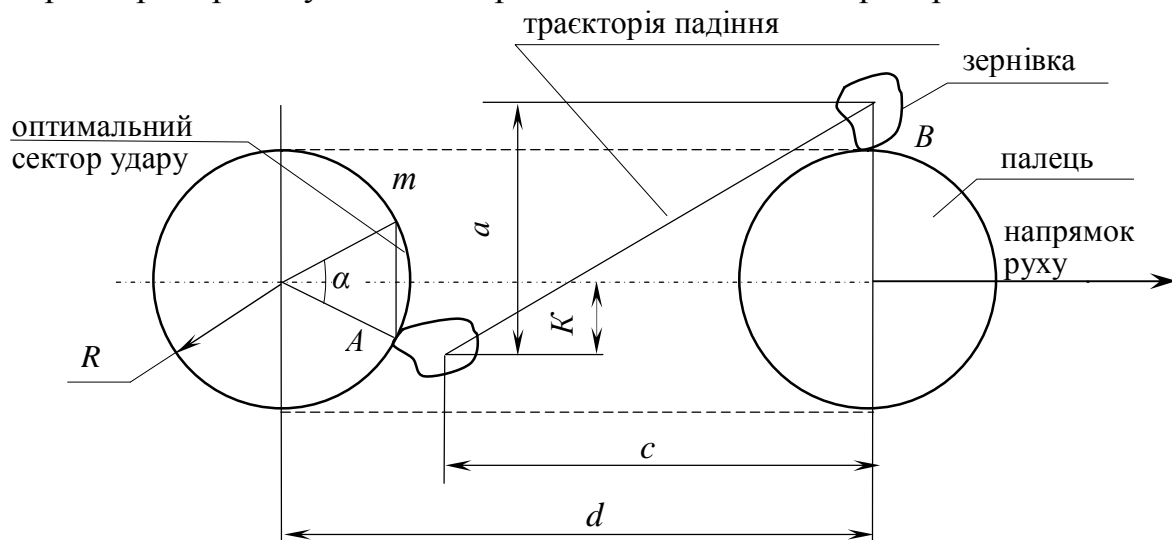


Рис. 3. Розрахункова схема падіння зернівки між пальцями дробарки.

Відповідно до рисунка розглядається переміщення зернівки від точки *A* (гранична точка на пальці, при якій буде здійснюватися удар по зерну, достатній для руйнування зернівки), до точки *B* (точки кінця траєкторії падіння зернівки). У результаті аналітичних досліджень отриманий вираз для визначення числа пальців:

$$Z = \frac{60\pi \cdot R_0 \cdot \sqrt{g}}{\pi \cdot R_d \cdot n \sqrt{R \cdot \sin \alpha + 2(R + R_3) + 30(R + R_d)} \sqrt{g}}$$

та мінімальна швидкість, необхідна для руйнування зернівки v_{min} :

$$v \geq v_{min} \quad \text{або} \quad \frac{\pi \cdot n}{30} \cdot R_0 \geq v_{min}.$$

З застосуванням розроблених залежностей сконструйований і виготовлений дослідний зразок пальцевої дробарки з вертикальною віссю обертання пальцевого ротора, який послужив основою для створення експериментальної установки для подальших досліджень основних закономірностей процесу подрібнення зернової сировини.

Експериментальна дробарка прямого удару з удосконаленою системою сепарації зерна і продуктів подрібнювання, розроблена і виготовлена нами, показана на рис. 4.

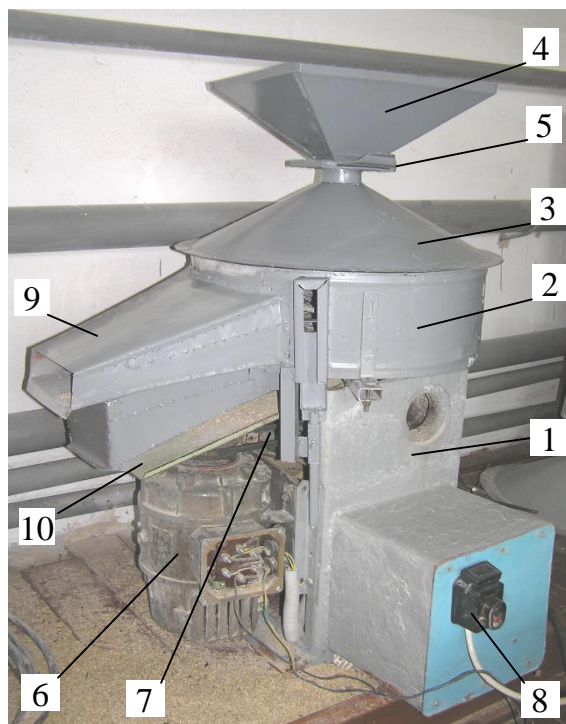


Рис. 4. Фото загального вигляду експериментальної дробарки:
 1 - рама; 2 - камера подрібнювання; 3 - сепаратор; 4 - бункер;
 5 - регулююча заслінка; 6 - електродвигун; 7 - клинопасова передача;
 8 - пульт керування; 9 - зона відбору нижнього ряду робочих органів;
 10 - зона виходу з нижнього жалюзійного решета.

Під кожухом 3 розташовані розподільні конуси (рис. 5) пристрою для попередньої сепарації зерна із брахістохронними поверхнями і таутохронними напрямними. Конуси розташовані над камерою подрібнювання зерна прямим ударом за допомогою стержнів, які розташовані на роторі з вертикальним валом.

Привод дробарки здійснюється від електродвигуна постійного струму 6 і клинопасової передачі 7. Частота обертання вала ротора змінюється безступінчасто і контролюється за допомогою електронного тахометра.

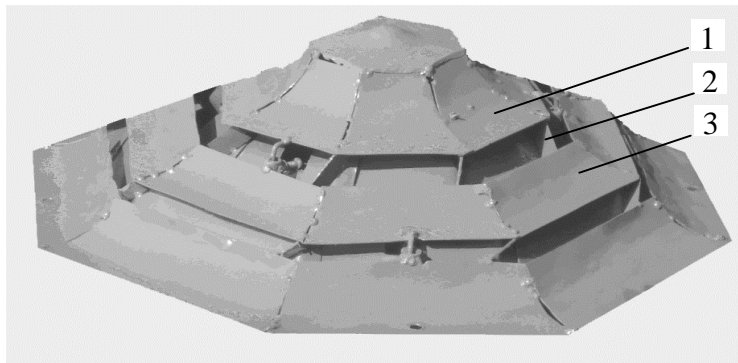


Рис. 5. Конусний пристрій попередньої сепарації зерна: 1 - конус; 2 - щілина; 3 - напрямна.

Принцип попередньої сепарації зерна полягає в тому, що підлягаючий поділу продукт (зерно) пропускається у поле сил притягання над щілиною 2 (рис. 3), ширина якої значно перевищує розмір самих більших часток, і дозволяє розподіляти за гранулометричним складом частини зерна камерою дробарки від більших часток до дрібних від центра до периферії камери подрібнювання. При цьому кожна зернина одержує необхідну силу удару для дроблення. Таке технічне рішення обумовлює компактність пристрою для попередньої сепарації зерна в дробарці без розширення її габаритів.

З метою визначення міцносних характеристик зерна культур, що досліджувались, було проведено серію дослідів на зернівках кукурудзи, пшениці і ячменю з метою визначення етапів та зусилля руйнування.

Дослідження міцносних характеристик окремих зернівок проводилися на спеціально розробленій лабораторній установці, основним елементом якої була тензометрична балка фірми „Cencell“ типорозміру РА6340 з максимальною межею виміру навантаження 50 кг. Балка консольно закріплена на масивній суцільнометалевій основі, яка, в свою чергу, жорстко закріплена на основі установки. Безпосередніми вимірювальними елементами є чотири тензодатчики, приклеєні на верхній і нижній частинах балки і включених за

мостовою схемою. Докладний опис установки і результати дослідів наведені в роботі [5].

У результаті досліджень зерна різних культур на руйнування було визначено, що вони підтверджують висновки [6], що багаторазовий вплив статичним навантаженням, нижчим за критичне (тобто нижчим за зусилля руйнування), приводить до появи мікротріщин всередині зернівки. Завдяки цьому руйнування настає при зусиллі стиску в 1,5...5,0 разів нижчому за критичне. Тому необхідно створювати такі умови, при яких зерно буде багаторазово співударятися з робочими органами (ротор, дека, решето), що буде сприяти зменшенню роботи, яка йде на подрібнювання, і знижувати енергоємність процесу.

При проведенні планованого експерименту для кожного експерименту була перевірена на адекватність лінійна модель процесу, але описати область оптимуму лінійними рівняннями не вдалося через крутість площин факторного простору і значимість коефіцієнтів взаємодії факторів та квадратичних ефектів.

Тому матриця трифакторного експерименту була розширена додатковими дослідями для одержання рівняння другого порядку. Експеримент проведено тричі – при трьох різних значеннях отворів ситового пристрою 8, 10 і 12 мм.

Для кожної пари взаємодії факторів: частоти обертання і подачі, частоти обертання і числа пальців, подачі матеріалу і числа пальців були побудовані поверхні і лінії рівнів функції відгуку, як, наприклад, на рис. 6.

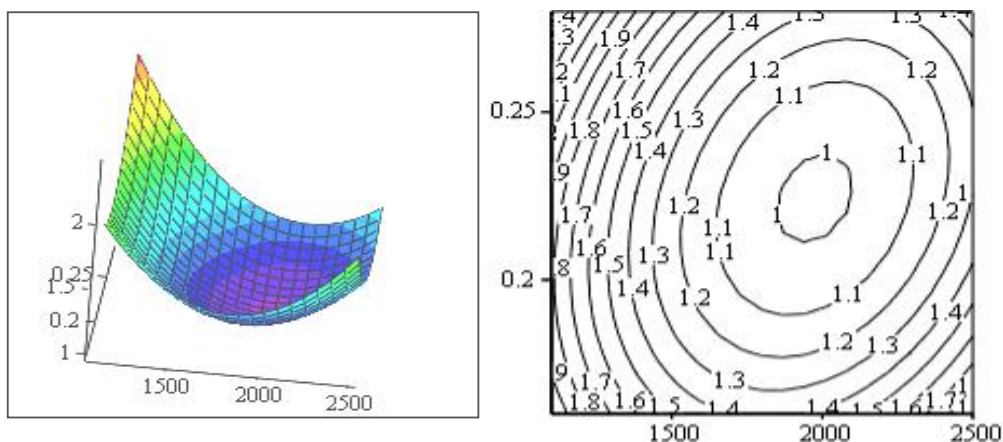


Рис. 6. Поверхня і лінії рівнів функції відгуку для взаємодії частоти обертання і подачі при $d_o = 8$ мм.

Одержані розкодовані моделі процесу подрібнювання мали вигляд:

- для діаметра отворів сита $d_o = 8$ мм:

$$\begin{aligned} \tilde{y}_i &= 10,4158 - 0,00151x_1 - 39,8645x_2 - 0,965x_3 - 0,0056x_1x_2 - \\ &- 0,000229x_1x_3 + 0,6x_2x_3 + 0,000001164x_1^2 + 102,8099x_2^2 + 0,08625x_3^2 \\ &- \text{для діаметра отворів сита } d_o = 10 \text{ мм:} \\ \tilde{y}_i &= 18,33 - 0,00543x_1 - 46,13x_2 - 1,5835x_3 - 0,00313x_1x_2 + \\ &+ 0,691x_2x_3 + 0,00000147x_1^2 + 104,132x_2^2 + 0,0893x_3^2 \\ &- \text{для діаметра отворів сита } d_o = 12 \text{ мм:} \\ \tilde{y}_i &= 18,44 - 0,00967x_1 - 0,0035x_1x_2 + 0,00000247x_1^2 + 103,802x_2^2 + 0,0413x_3^2 \end{aligned}$$

Після ретельного аналізу графічних залежностей і рівнянь регресії були зроблені відповідні висновки і рекомендації.

Отримані результати при різних діаметрах отворів ситового пристрою подібні за характером. Мають оптимум, близький до нульового рівня кожного фактора, тому раціональним є використання регулювання ступеня подрібнювання заміною сит з різними отворами, причому в результаті близькості оптимальних значень частоти обертання, подачі і кількості пальців, така дробарка буде працювати оптимально.

Найбільш раціональними параметрами для даного типорозміру дробарки можна прийняти: кількість пальців – 8, частота обертання 1900...2100 об/хв., подача 800...810 кг/год.

При зміні діаметра отворів сит з 8 до 12 мм максимальний ступінь подрібнювання змінюється у досить невеликих межах: з 0,95 до 1,14, тому використовувати заміну решіт для змінення ступеня здрібнювання є нераціональним.

При подачах, які відрізняються від 800 кг/год. у пальцевій дробарці ступінь подрібнювання зерна також росте. Наприклад, при подачі 600 кг/год. ступінь подрібнювання зменшується до 1,4. Тому такі дробарки необхідно оснащувати пристроєм для подачі зерна. Саме регулюванням подачі зерна ефективніше всього регулювати ступінь подрібнювання в пальцевій дробарці з вертикальним ротором.

Нами проведені експериментальні дослідження [7] з розподілу матеріалу камерою дроблення і вдосконалюванню процесу

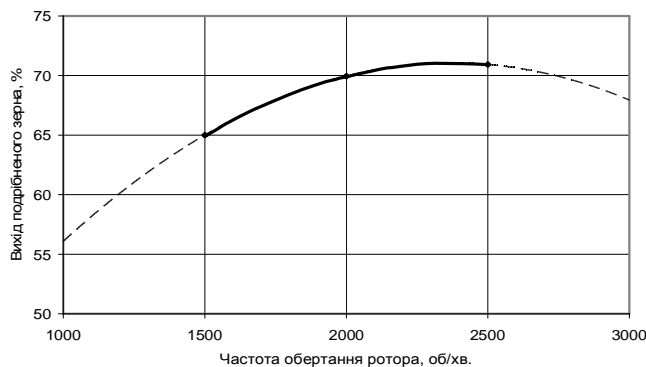


Рис. 7. Залежність виходу дробленого зерна зі значенням $M = 1,4...2,2$ мм від частоти обертання ротора.

подрібнювання зерна з метою усунення багаторазового впливу робочих органів на продукт дроблення та підвищення якості готового продукту. Вивчали вихід дробленого зерна і модуль помелу в

залежності від зони відбору проб і частоти обертання ротора.

Загальний вихід дробленого зерна із середнім значенням модуля помелу $M = 1,4...2,2$ мм у залежності від частоти обертання ротора наведений на рисунку 7, з якого видно, що підвищувати частоту обертання ротора дробарки понад 2500 об/хв. недоцільно.

На рис. 8 показані одержані експериментально залежності змінення модуля помелу по зонах відбору проб від частоти обертання ротора і залежності змінення модуля помелу від зони відбору дробленого зерна при різній частоті обертання ротора.

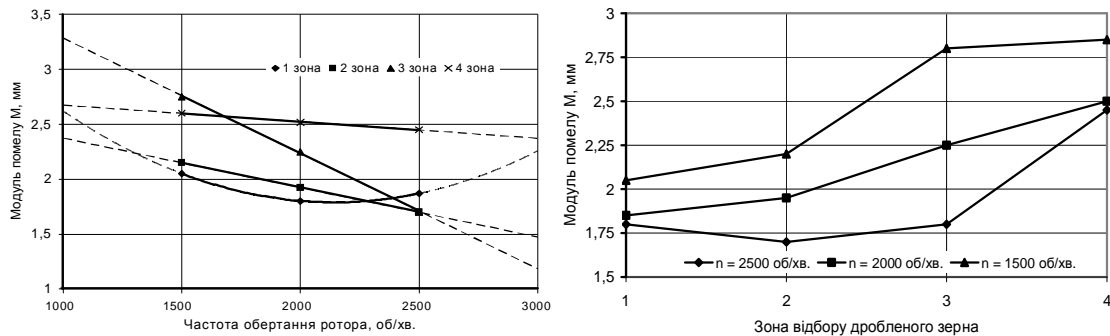


Рис.8. Залежності модуля помелу від частоти обертання ротора і зони відбору проб подрібненого матеріалу.

Аналіз графіків дає можливість зробити висновок, що для одержання якісного продукту (за значенням модуля помелу) в дробарці з вертикальним ротором з робочим органом подрібнювання у вигляді тонких металевих пальців (стержнів) і з системою сепарації продуктів подрібнювання необхідно підтримувати частоту обертання ротора в межах від 1800 до 2500 об/хв. А для одержання більш грубого помелу треба знижувати частоту обертання ротора та, навпаки, для дрібного помелу – підвищувати частоту обертання.

Для визначення залежності виходу дробленого зерна від зони відбору і розподілу величини удару часток подрібненого зерна по поверхні деки в пасивній зоні пальцевої дробарки прямого удару з вертикальним ротором були проведені експериментальні дослідження за допомогою тензотрування на установці, схема якої наведена на рис. 9,а. На рис. 9,б показаний графік залежності виходу дробленого зерна від зони відбору.

На основі аналізу отриманих даних можна констатувати, що для одержання максимальної однорідності подрібненого матеріалу камерою дроблення необхідно здійснювати руйнування його прямим ударом і видалення подрібнених частин із дробильної камери по мірі їх утворення за рахунок сепарації крізь сепаратори, що встановлені на поверхні деки і під робочими органами.

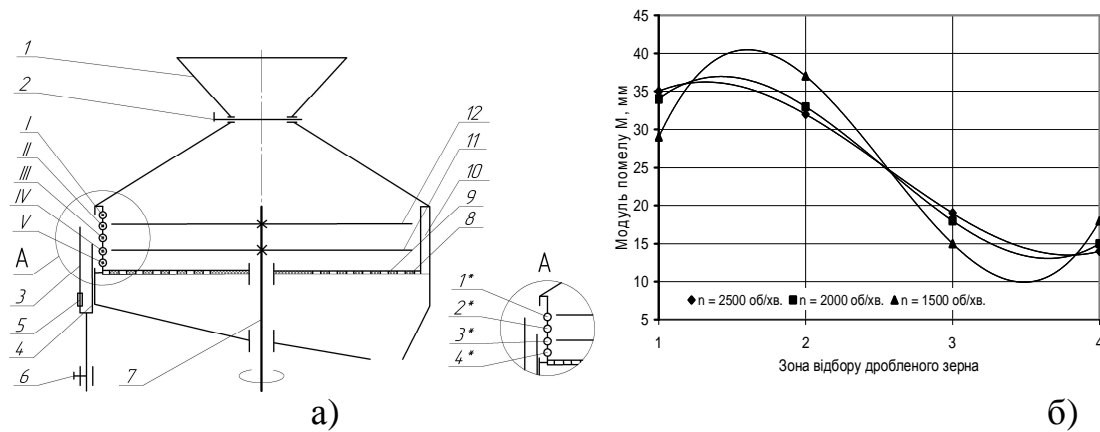


Рис.9. а) схема досліджень сили удару часток зерна об поверхню деки, б) залежність виходу дробленого зерна від зони відбору: 1 - завантажувальний бункер; 2 - заслінка регулювальна; 3 - пластина консольна; 4 - захисна пластина; 5 - тензодатчики; 6 - гвинт регулювання висоти тензоланцюга; 7 - приводний вал; 8 - днище; 9 - решето; 10 - бічна дека; 11 - нижній ряд пальців; 12 - верхній ряд пальців; I...V - точки виміру сили удару часток по поверхні деки. А – 1*, 2*, 3*, 4* - точки відбору проб продукту.



Рис. 10. Графік величини деформації тензоланцюга в програмі L – graph. На рис.10 наведені характерні ділянки отриманих графіків (копії з графіків побудованих в комп'ютерній програмі L – graph), які показують величину деформації тензометричної пластини у перебігу часу, що вимірюється, як частота реєстрації величини сигналу в секунду. У цьому випадку частота реєстрації представляла 100000 одиниць відліку в секунду, тобто час, показаний на графіку, дорівнює 0,52 с.

Аналіз отриманих даних тензометрування показав, що можна виділити два ряди сили удару частинок подрібненого зерна об поверхню деки – максимальні (1,75 Н) і мінімальні (0,60 Н) значення, які регулярно повторюються протягом часу реєстрації з коливаннями 5...15%. Пояснюється це тим, що максимальні значення сили відповідають первинним ударам зерна при відкиданні його робочим органом на деку, а менші ряди значень відповідають вторинним ударам – за рахунок відкидання частин зерен від деки. На нижній ряд пальців середнє навантаження в 1,4...1,6 разів менше, ніж на верхній, що необхідно враховувати при конструюванні дробарки.

Проблема економії енергії, підвищення коефіцієнта корисної дії була, є і буде завжди актуальною, особливо на даний час, коли частка вартості енергоносіїв у калькуляції собівартості кормів продукції тваринництва постійно зростає. Тому авторами даної роботи був проведений аналітичний аналіз балансу потужності і прогнозування коефіцієнта корисної дії зернової дробарки [9].

В основу досліджень покладені теоретичні положення С.В. Мельникова, наведені в роботі [12]. Були розглянуті всі складові потужності, потрібної на привод дробарки, і встановлений зв'язок окремих складових потужності з основними показниками подрібненого продукту, як-то зі ступенем подрібнення матеріалу λ і коефіцієнтами C_V , що виражає роботу пружних деформацій, віднесену до 1 кг подрібненої та C_S , який представляє роботу, яка витрачається на створення нових поверхонь дробленого матеріалу. Це дозволило вивести формулу для визначення ККД дробарки:

$$\eta_{nd} = \frac{1}{\frac{C_V}{C_S} \cdot \frac{\lg \lambda^3}{\lambda - 1} + 1}.$$

На рис.11,а показані графіки змінення величини $\lg \lambda^3 / (\lambda - 1)$ і значень ККД подрібнення зернових культур у залежності від ступеня подрібнювання λ . Графіки побудовані при умові, що відношення C_V / C_S протягом всього процесу є постійною величиною.

На рис. 11,б зображені графіки залежності коефіцієнта корисної дії процесу подрібнення від величини відношення коефіцієнтів C_V / C_S при різних значеннях ступеня подрібнювання λ .

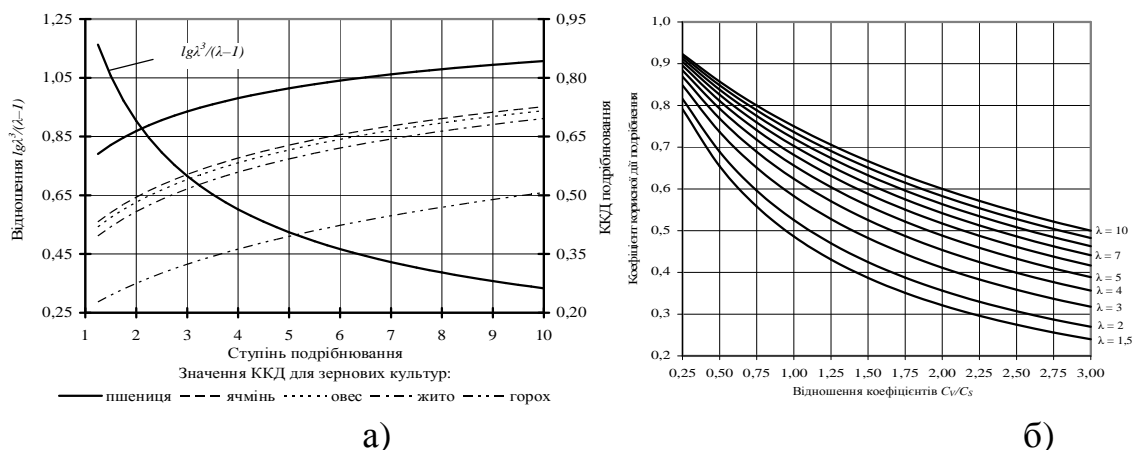


Рис. 11. Графіки залежностей ККД дроблення від основних показників процесу подрібнювання.

Таким чином, для точного прогнозування енерговитрат при подрібнюванні зернового матеріалу потрібно з максимальною точністю прогнозувати значення ККД процесу подрібнювання і, тим самим, величину потужності, потрібної для реалізації цього процесу. Проведені

дослідження дають змогу реалізувати прогнозування коефіцієнта корисної дії та потужності подрібнювання сировини на зерновій дробарці.

З метою визначення енергоємності процесу подрібнювання зерна були проведені досліді по дробленню зерна пшениці ($r_e = 2,6$ мм; $W = 14\%$) при різних подачах матеріалу в робочу камеру і різній частоті обертання вала ротора дробарки. Результати експериментальних досліджень дробарки прямого удару свідчать про те, що найменша питома енергоємність досягається при подачі зерна 800...1100 кг/год. на всіх режимах і представляє від 0,89 кВт·год./т при частоті обертання вала ротора дробарки 1000 об/хв. до 3,85 кВт·год./т при 2000 об./хв.

Аналіз результатів показав, що при раціональному режимі подрібнювання (частота обертання ротора $n = 2000$ об/хв., окружна швидкість точок робочого органа (стержня), $v = 42...68$ м/с, подача зерна на подрібнювання 800...1100 кг/год.) модуль помелу $M = 1,6...1,8$ мм, питома енергоємність $A_n = 3,80...4,20$ кВт·год/т.

При частоті обертання вала ротора $n = 1500$ об/хв. модуль помелу збільшується до 2,6 мм із одночасним зменшенням питомої енергоємності до 2,0...2,6 кВт·год/т, але збільшується пилоподібна фракція (до 12%). При частоті обертання вала ротора $n = 1000$ об/хв. відбувається подальше зменшення питомої енергоємності до 0,84...0,93 кВт·год/т, модуль помелу практично не змінюється, але пилоподібна фракція збільшується до 20%. Тому рекомендується наступний режим роботи дробарки прямого удару: подача зерна на подрібнювання 800...1100 кг/год. при частоті обертання вала ротора $n = 2000$ об/хв.

На підставі отриманих даних робимо висновок, що одержання готового продукту заданого гранулометричного складу залежно від вибраного режиму роботи дробарки прямого удару з попередньою сепарацією зерна можливе. Це відповідає меті досліджень. За даними частотного розподілу за фракціями при кінематичному режимі подрібнювання з параметрами дробарки прямого удару зерна $Q = 800...1100$ кг/год. і $n = 2000$ об/хв. вміст пилоподібної фракції (діаметр менш ніж 0,25 мм) у готовому продукті при вологості зерна 14...15% представляє: для пшениці 2,77 %; ячменю 2,86 % і їх суміші не більш ніж 2,81%. Це в 3...5 разів менше, ніж при подрібнюванні на молоткових дробарках.

Якісна оцінка одержаного продукту відповідає встановленим стандартами зоотехнічним вимогам. Питома енергоємність процесу подрібнювання у дробарки прямого удару зерна в 1,8...2 рази менша, ніж у молоткових і інших дробарок.

Література:

1. Сыроватка В.И. Эффективное измельчение фуражного зерна в дробилках / В.И. Сыроватка // Зоотехния. - 1991. - №11. - С.67-70.

2. *Шпиганович Т.О.* Дробарка прямого удара з системою сепарування зерна та продуктів подрібнення / Т.О. Шпиганович, О.В. Ялпачик // Техніка і технологія АПК, № 12, - С.7-10.

3. *Фучаджи Н.О.* Оптимізація технологічного процесу лущення власнокруп'яних культур. Автореф. дис. ...канд. техн. наук. / Н.О. Фучаджи. - Херсон, - 2006. - 20 с.

4. *Самойчук К.О.* Обґрунтування параметрів робочих органів пальцевої дробарки з вертикальним ротором / К.О. Самойчук, О.В. Ялпачик // Тематичний збірник наукових праць Донецького національного університету економіки і торгівлі ім. Михайла Туган-Барановського, Обладнання та технології харчових виробництв, вип. 26, Донецьк, 2011, С. 119-125.

5. *Купченко А.В.* Определение прочностных характеристик зерна / А.В. Купченко, О.В. Ялпачик, Т.А. Шпиганович, В.А. Алексеенко // Зернові продукти і комбікорми. - №4 (40), - 2010, - С.18-22.

6. *Мельников С.В.* Механизация и автоматизация животноводческих ферм / С.В. Мельников. - Л.: Колос, 1978. - 560 с.

7. *Ялпачик О.В.* Визначення розподілу величини удару часток по поверхні деки дробарки прямого удара з вертикальним ротором / О.В.Ялпачик, К.О. Самойчук, О.В. Гвоздев // Вісник Львівського національного аграрного університету. Агроінженерні дослідження № 15, - Львів:, 2011, - С. 165-173

8. *Ялпачик О.В.* Баланс потужності та коефіцієнт корисної дії зернової дробарки. / О.В. Ялпачик, С.Ф. Буденко // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь: ТДАТУ. Вип. 13, Т.1. - 2013. - С.218-226.

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЗЕРНОВОЙ ДРОБИЛКИ ПРЯМОГО УДАРА

Ялпачик Е.В.

Аннотация - работа содержит результаты теоретических и экспериментальных исследований зерновой дробилки прямого удара, которые дали возможность установить оптимальные режимы работы, при которых полученная продукция отвечает установленным стандартам.

GROUND OF PARAMETERS AND OPERATION MODES GRAIN-GROWING CRUSHER OF DIRECT BLOW

O. Yalpachik

Summary

Work contains the results of theoretical and experimental researches of grain-growing crusher of direct blow, which enabled to set optimal office hours at which the got products answer the set standards.