

## АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ ЗЕРНОВИХ МАТЕРІАЛІВ

**Ковбаса В.П. д.т.н., проф., Соломка О.В. асп.**

*(Національний університет біоресурсів і природокористування України)*

*В статті проаналізовані принципи руйнування зернових матеріалів, сформульовані основні вимоги до подрібнювачів зерна та обґрунтована раціональна конструктивно-технологічна схема подрібнювача.*

**Постановка проблеми.** Подрібнені зернові матеріали – основний компонентом комбікорму, який в раціонах великої рогатої худоби м'ясних порід за поживністю становить 22,6%, дійних корів досягає 60%, свиней (при комбікормовому раціоні годівлі) та курей – до 100% [1]. Комбікорм представляє собою суміш подрібнених зернових матеріалів з білково-вітамінними мінеральними добавками (БВМД), збалансовану за поживними речовинами, протеїном, вітамінами та мікроелементами у відповідності до фізіологічних потреб тварин і птиці різних виробничо-вікових груп. Виробляється комбікорм, в основному, на спеціалізованих комбікормових заводах, але останнім часом господарствам стало економічно не вигідно закуповувати готовий комбікорм по ряду причин, що призвело до тенденції переміщення його виробництва безпосередньо в господарства із використанням власних зернових інгредієнтів. Це дозволило позбутися додаткових транспортних витрат і операції гранулювання і, як наслідок, зменшити вартість комбікормів в 1,5-2,0 рази [4] при умові забезпечення господарств ефективними малогабаритними і економічними подрібнювачами зернових інгредієнтів та змішувачами компонентів комбікормів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В існуючих технологіях приготування комбікормів на спеціалізованих підприємствах зернові

компоненти подрібнюються на потужних високопродуктивних подрібнювачах, переважно молоткового типу з шарнірним кріпленням молотків до роторів. Але молоткові подрібнювачі за принципом руйнування зерна мають високу енергоємність і схильні до переподрібнення зернових матеріалів (мучна пиловидна фракція становить більше 25% у масі готового продукту), що потребує, як правило, введення додаткової операції гранулювання [1,2]. Крім того, існуючі конструкції молоткових дробарок є досить металомісткими і мають значні габаритні розміри.

**Мета досліджень.** На основі аналізу відомих принципів подрібнення зернових матеріалів визначити раціональний та обґрунтувати конструктивно-технологічну схему малогабаритної дробарки, що забезпечить необхідний модуль помелу з мінімальним вмістом пиловидної фракції.

**Результати досліджень.** Під подрібненням розуміють процес поділу твердого тіла на частини механічним шляхом під дією зовнішніх сил. При подрібненні фуражного зерна утворюється значна кількість дрібних частинок з розвинутою поверхнею, які більш ефективно засвоюються тваринами. Якість подрібнення зернового матеріалу оцінюють ступенем подрібнення [3]:

$$\eta = \frac{D}{d}, \quad (1)$$

де  $\eta$  – ступінь подрібнення матеріалу;

$D$  – середній розмір зерна до подрібнення, мм;

$d$  – середній розмір частинки зерна після подрібнення, мм.

Розрізняють три ступеня подрібнення зернових матеріалів: мілкий (на решеті з отворами діаметром 3мм залишається до 5% матеріалу), середній (до 12% залишку) та крупний (більше 30% залишку).

При вивченні процесів подрібнення академік П.А. Ребіндер запропонував роботу руйнування матеріалів визначати за виразом [2]:

$$A_{np} = K \cdot V + \alpha_n \cdot \Delta S, \quad (2)$$

де  $KV$  – робота пружних та пластичних деформацій, пропорційна деформованому об'єму:

$\alpha \Delta S$  – робота, що витрачається на утворення нової поверхні.

Рівняння (2) вірно відображає суть процесу подрібнення, але не враховує якісні показники (ступінь подрібнення), що робить його не придатним для практичного застосування. Тому С.В. Мельников запропонував роботу руйнування зернових матеріалів визначати за виразом [3]:

$$A_{np} = C_{np} [C_v \cdot \lg \eta^3 + C_s (\eta - 1)] , \quad (3)$$

де  $C_{np}$  – безрозмірний коефіцієнт, що залежить від принципу дії і конструктивних особливостей подрібнювача;

$C_v$  – коефіцієнт, що визначає роботу пружних деформацій на одиницю маси матеріалу, кДж/кг;

$C_s$  - коефіцієнт, що визначає роботу по утворенню нових поверхонь при подрібненні на одиницю маси матеріалу, кДж/кг.

Значення коефіцієнтів в виразі (3) вибирають з довідкової літератури з врахуванням властивостей матеріалу та його вологості [3].

Виходячи зі значення роботи руйнування зернових матеріалів за відомими виразами [1,2,3] можна визначити основні технологічні та конструктивні показники подрібнювачів різних конструкцій та принципів дії.

Розрізняють наступні принципи руйнування зернових матеріалів:

- руйнування ударом з послідуєчим стиранням при дії на частку робочих органів, що обертаються з високою швидкістю;

- руйнування стисненням і зсувом (сколюванням або кришенням) при дії на частку двох поверхонь, одна з яких нерухома, а інша рухається з високою швидкістю;

- руйнування стисненням, зсувом і розтиранням при дії на частку двох поверхонь, одна з яких рухома, а інша нерухома;

- руйнування роздавлюванням або плющенням (стисненням) часток між двома поверхнями (як правило, циліндричними), що рухаються з однаковою швидкістю.

При виборі принципу подрібнення зернових матеріалів з метою їх подальшого використання для приготування комбікорму керуються фізико-

механічними властивостями матеріалів, що підлягають подрібненню, та заданим модулем помелу з мінімальною кількістю пиловидної фракції у подрібненому продукті.

Принцип руйнування ударом і стиранням лежить в основі роботи молоткових подрібнювачів. Молотки шарнірно закріплені на роторі, який обертається зі швидкістю 40-85 м/с і розміщений в корпусі з деками і решетами. Молотки при зустрічі із матеріалом, який надходить до камери подрібнення, наносять по ньому удари, подрібнюють і зтягують його в круговий рух по поверхні подрібнювальної камери. Це призводить до стирання часток внаслідок їх тертя по поверхням молотків, решіт та дек, а також тертя часток між собою.

Принцип руйнування ударом і стиранням характеризується високою універсальністю як у відношенні можливості подрібнення різних видів матеріалів, так і у відношенні ступеня їх подрібнення. Він знайшов широке застосування у різних галузях народного господарства, але має і ряд недоліків, до яких слід віднести порівняно високі питомі витрати енергії (внаслідок значних її витрат на стирання продукту) і наявність в подрібненому продукті значного відсотку пиловидної фракції. Саме через одержання значної кількості мучного пилу, який не доцільно використовувати для годівлі великої рогатої худоби та птиці в натуральному вигляді, на спеціалізованих підприємствах вимушено введена операція гранулювання, яка є досить енергоємною, а сам процес гранулювання супроводжується значним нагріванням інгредієнтів, що призводить до втрати їх поживних властивостей. В зв'язку з цим застосування даного принципу для виробництва комбікормів не є раціональним.

Принцип руйнування стисненням, зсувом і розтиранням характерний для жорнових млинів. Він застосовується для подрібнення сухих не маслянистих зернових матеріалів та подрібнення мокрих матеріалів, наприклад для виготовлення соєвого молока, в цукровій та целюлозно-паперовій промисловостях. При подрібненні сухих матеріалів робочими органами млинів застосовують два плоских диска, що виготовлені із гострозернистих штучних каменів (жорен). Нижній диск встановлюється нерухомо, а верхній обертається

з коловою швидкістю в межах 10-12 м/с з можливістю зміни зазору між робочими поверхнями. Для мокрого подрібнення і змішування, наприклад для виготовлення соєвого молока, застосовують диски, виготовлені з нержавіючої сталі із накатаними виступами (рифлями), причому рухомим є нижній диск, а верхній нерухомий має центральний отвір для подачі матеріалу і рідини. Підведене до центру верхнього диска зерно направляється в зазор між поверхнями дисків, де воно подрібнюється шляхом стиснення, зсуву і розтирання шорсткими поверхнями дисків, а готовий продукт під дією відцентрових сил рухається від центра до периферії дисків і виходить назовні.

Використовуючи принцип стиснення, зсуву і розтирання можна отримати різну ступінь подрібнення зерна, але він має і недоліки – надто високий нагрів продукту і значна кількість пиловидної мучнистої фракції, яка знижує якість сухого корму для тварин і птиці.

Конструктивно жорнові млини дуже прості, але громіздкі, малопродуктивні і на сучасному етапі майже не застосовуються.

Принцип руйнування зернових матеріалів роздавлюванням або плющенням застосовують для приготування концентрованих кормів в зерноплющилках, обладнаних двома гладкими вальцями, що обертаються з однаковою коловою швидкістю. Зерно, яке підводиться до робочого зазору вальців, під дією сили тертя захоплюється вальцями, стискується і роздавлюється (плющиться). Цей принцип застосовується тільки для приготування концентрованих кормів для великої рогатої худоби, а в технології приготування комбікормів він не використовується.

Принцип руйнування зернових матеріалів стисненням і зсувом (сколюванням або кришенням) лежить в основі роботи вальцьових станків і подрібнювачів жмиху. Робочі органи вальцьового станка – два циліндричні рифлені вальці, які обертаються з різними швидкостями назустріч один одному. Руйнування зерна у вальцьовому станку проходить в клиновидному просторі, утвореному двома циліндричними поверхнями зовнішнього дотику. Повільно обертаючись, нижній валець “підтримує” зерно при дії на нього поверхні

верхнього вальця, який обертається швидше. Таким чином зерно або його частки, потрапивши в зону подрібнення, зазнають одночасно дії деформації стиску внаслідок поступового зменшення відстані між поверхнями вальців і зсуву (сколювання) за рахунок різниці швидкостей вальців. Змінюючи величину робочого зазору між вальцями станка, а також підбираючи різні співвідношення колових швидкостей вальців і різну форму їх рифлів, можна одержувати різну ступінь подрібнення зерна.

Принцип руйнування зернових матеріалів стисненням і зсувом (сколюванням або кришенням) дозволяє одержати корм у вигляді крупки з незначним вмістом мучнистої пиловидної фракції і позбавитися операції гранулювання. До недоліків принципу слід віднести швидке залипання рифлів при подрібненні вологого (більше 18 %) і маслянистого зерна, а також перенагрівання продукту подрібнення.

Таким чином, принцип руйнування зернових матеріалів стисненням і зсувом є найбільш доцільним для застосування в технології приготування комбікормів з точки зору одержання крупки з незначним вмістом мучнистої пиловидної фракції, що дозволить виключити операцію гранулювання.

На основі аналізу принципів руйнування матеріалів можна сформулювати наступні основні вимоги до подрібнювача фуражних зернових матеріалів для приготування комбікормів:

- забезпечення подрібнення різних видів зернових або кускових матеріалів і отримання крупки різного і рівномірного ступеня подрібнення з незначною кількістю мучнистої пиловидної фракції;

- висока продуктивність при незначних витратах енергії та габаритах подрібнювача;

- забезпечення дозованої подачі зерна та швидкого видалення подрібненого продукту із подрібнювальної камери з мінімальним його нагріванням;

- висока зносостійкість робочих органів подрібнювача та надійність в роботі;

- простота конструкції і зручність в обслуговуванні.

Існуючі типи подрібнювачів зернових матеріалів не повністю відповідають сформульованим вимогам, тому виникла необхідність в розробці конструктивно-технологічної схеми подрібнювача, що працює за принципом руйнування зернових матеріалів стисненням і зсувом. Було виготовлено експериментальний зразок подрібнювача та проведені попередні дослідження якості його роботи [4]. Ця схема захищена патентом України № 62571А. Компонівка робочих органів розробленого подрібнювача та приклад запису енергетичних показників під час його випробувань наведені на рис.1.

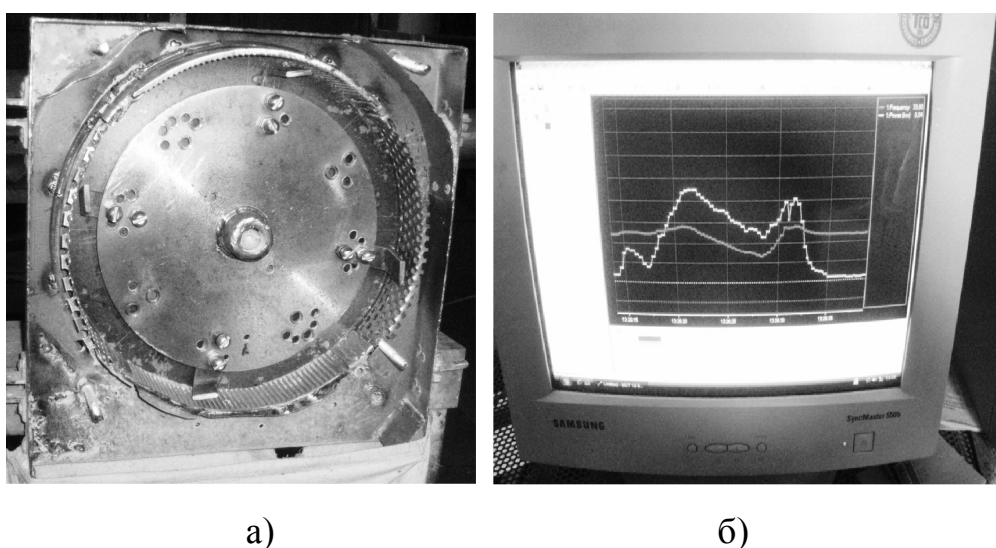


Рис.1. Подрібнювальна камера (а) та приклад запису питомої потужності при дослідженні експериментальної дробарки (б)

**Висновки.** Аналізом процесів подрібнення зернових матеріалів встановлено, що найбільш доцільним з точки зору одержання крупки з незначним вмістом мучнистої пиловидної фракції є принцип їх руйнування стисненням і зсувом (сколюванням). Сформульовані основні вимоги до подрібнювачів зернових матеріалів для приготування комбікормів і з їх врахуванням розроблена конструктивно-технологічна схема подрібнювача, що працює за принципом руйнування зернових матеріалів стисненням і зсувом та виготовлено експериментальний зразок такого подрібнювача. Проведені дослідження якості роботи експериментального подрібнювача підтвердили

доцільність його застосування при подрібненні зернових матеріалів з метою приготування комбікормів.

### **Список використаних джерел**

1. Механизация приготовления кормов: Справочник // Под ред. В.И. Сыроватка - М.: Агропромиздат, 1985. – 368 с.
2. Роцин П.М. Механизация в животноводстве. - М.: Агропромиздат, 1988. – 33 с.
3. Сельскохозяйственные машины и оборудование. Машиностроение: Энциклопедия..// Под ред. И.П. Ксеновича.- М.: Машиностроение, 2002. Т.IV-16.– 720 с.
4. Соломка О.В. Обґрунтування конструкції та основних параметрів подрібнювача зерна. // Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. – Х.: ХНТУСГ, 2008. Вип.75, т.1.– С. 230-236.

### **Аннотация**

#### **Анализ процесса измельчения зерновых материалов**

Ковбаса В.П., Соломка А.В.

*В статье проанализированы принципы разрушения зерновых материалов, сформулированы основные требования к измельчителям зерна, обоснована рациональная конструктивно-технологическая схема измельчителя.*

### **Abstract**

#### **The analysis of process of crushing of grain**

V.Kovbasa, O.Solomka



*In the article analyses principles of destruction of grain. Formulated basic requirements to grain grinders. Proved rational constructive and technological scheme of a grinder of grain.*