

УДК 621.926

## ОСОБЛИВОСТІ ВДОСКОНАЛЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ВІБРАЦІЙНОЇ ДРОБАРКИ

*З. Гошко, к.т.н.*

*Львівський національний аграрний університет*

**Постановка проблеми.** Створення будь-якого обладнання передбачає, що за найменших затрат необхідно отримати високонадійну та високопродуктивну установку певного технологічного призначення. Цій умові повністю відповідає вібраційна техніка, яка, крім того, має високий потенціал щодо вдосконалення. Вібраційні машини мають значний ресурс для додаткового підсилення амплітуди коливань мас, зниження енергоспоживання, часткового спрощення конструктивних схем. Безумовно, це вагомні аргументи для використання на виробництві саме вібраційного обладнання. Однак під час його проектування виникають певні проблеми. Порівняно з традиційними технологічними машинами, віброобладнання поєднує, здавалось би, суперечливі принципи, що певною мірою розходяться із загальноприйнятими у машинобудуванні. Так, якщо у традиційній механіці намагаються максимально уникнути вібрації, зводячи її вплив до мінімуму, то головною метою вібраційних технологій є, навпаки, максимально можливе збільшення амплітуди коливань робочих органів, що на пряму інтенсифікують технологічні процеси і підвищують продуктивність. Якщо важко уявити будь-який механізм чи машину без рухомих з'єднань, то вібротехнології надають таку можливість. Коли для передавання руху у традиційній механіці необхідно використати різноманітні механізми, то у вібраційних машинах можна взагалі їх усунути, а привід на пряму з'єднати з робочим органом.

У цих умовах особливе значення має вивчення механіки подрібнювальних машин на вібраційній основі, в яких використовується кілька способів подрібнення і формування раціональних схем та принципів організації процесу.

Перспективність і важливість науково-дослідних і конструкторських робіт у цьому напрямі пояснюється невикінченою теорією ударного і вібраційного дроблення [3].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У більшості серійних молоткових дробарок, які працюють у комбикормовій промисловості, матеріал надходить на подрібнення вертикально з

подавальної горловини. У зв'язку з цим швидкість удару частинок з молотком часто описується швидкістю обертання ротора.

За даними Ф.Г. Плюхова, оптимальна швидкість обертання ротора при подрібненні зерна для цілей комбікормового виробництва становить 75-80 м/с.

Однак швидкість удару визначається, як відносна швидкість руху частинок і молотка. Тому необхідну швидкість удару можна отримати збільшенням швидкості подачі матеріалу назустріч рухомій ударній поверхні.

За даними В.П. Барабашкіна [5], для задовільної роботи молоткових дробарок колова швидкість молотків, що відповідає межі руйнування матеріалів малої пружності, повинна складати 10-30 м/с, а для пружних – 30-70 м/с. Витрати енергії при цьому будуть коливатись у межах від 0,6 до 2,0 кВт год/т.

Характерно, що для зерна оптимальна швидкість удару при подрібненні в молоткових дробарках досліджувалась багатьма вітчизняними і закордонними спеціалістами, однак неоднорідність структури, механічних властивостей зерна в межах одного сорту, різна вологість не дозволяють отримати однозначних результатів.

Дослідами М.С. Левіна [6] встановлено, що практична швидкість удару, при якій починається руйнування зерна, більша за 15-20 м/с.

На ефект подрібнення впливає також кут удару подрібнюваного матеріалу до молотка або деки. Чим ближче кут удару до  $90^{\circ}$ , тим ефективніше відбувається процес подрібнення. Найефективнішим є прямий центральний удар.

Досліджуючи роботу молоткової дробарки при подрібненні зерна різних культур, Г.І. Шуб [5] дослідив вплив кута і місця подачі зерна на ефекти подрібнення.

Необхідно звернути увагу на те, щоб зберігалась певна рівновага між швидкістю завантаження і обертання ротора, а також на рівномірність подачі матеріалу в дробарку, оскільки від цього залежить ефективність використання енергії удару.

Окрім молоткових дробарок для подрібнення різноманітних матеріалів використовують й інші подрібнювальні машини, а саме роторні, шоківі, конусні дробарки, подрібнювачі барабанного, вальцевого і пальцевого типів.

Подрібнення матеріалу в шоківих дробарках відбувається між рухомою і нерухомою шоківими.

Конусні подрібнювачі за технологічним призначенням поділяють на дробарки крупного подрібнення, які забезпечують ступінь

подрібнення  $i=5-8$  і дробарки середнього та дрібного подрібнення з  $i=20-50$ . Ці машини відрізняються різною продуктивністю.

Барабанні подрібнювачі використовують в основному в крупнотоннажних виробництвах для подрібнення різних матеріалів. У цих тихохідних машинах подрібнення продуктів відбувається у середині футерованого барабана за допомогою мелючих елементів – кульок або стрижнів.

Вальцеві дробарки застосовують для середнього і дрібного подрібнення матеріалів високої і середньої міцності, а також для подрібнення пластичних і крихких матеріалів.

У харчовій промисловості для подрібнення продуктів використовують пальцеві дробарки, в яких робочі органи виконані в формі дисків з пальцями або різальними зубцями.

За даними В.П. Барабашкіна собівартість подрібнювальних машин ударної дії на одиницю продуктивності в 1,5–2,0 і 3,5–5,5 рази нижча від вальцевих і шоккових дробарок, вага відповідно в 4 і 4,5–5,0 разів менша, потужність приводу встановлених електродвигунів в 1,1 і в 1,5–2,0 рази нижча.

Ступінь подрібнення в машинах ударної дії (молоткові, роторні) доходить до 30–40, що в 4–7 раз більше, а розхід енергії дроблення нижчий, ніж у подрібнювальних машинах, що працюють за іншим принципом дроблення.

Враховуючи викладенне і вартість металу, електроенергії, можна зробити висновок, що вартість і експлуатаційні затрати машин ударної дії набагато менші, ніж машин інших способів подрібнення.

У системі харчової та комбікормової промисловостей подрібнювальні машини ударної дії знайшли широке застосування на комбікормових заводах. Однак конструкції їх далекі від ідеальних і діапазон роботи ротора обмежується обертами 1500–3200 об./хв. Для обертів менше 1500 швидкість обертання ротора недостатня для подрібнення зерна більшості культур, а для обертів 3200 і більше швидкості молотків ротора і повітряно-зернової суміші практично однакові, швидкості подачі матеріалу назустріч рухомій ударній поверхні зменшуються, продуктивність падає.

Одним із перспективних напрямів проектування подрібнювальних машин є суміщення кількох процесів подрібнення, зокрема вібрації та удару.

**Постановка завдання.** Мета досліджень – створення принципово нової моделі вібраційної дробарки для подрібнення

зернових матеріалів та теоретичне обґрунтування її основних режимів роботи.

**Виклад основного матеріалу.** Одним із перспективних напрямів удосконалення подрібнювального обладнання є перехід на електромагнітний привід. Таке обладнання простіше за конструкцією побудови і дешевше в експлуатації. Так, відсутність у приводі рухомих з'єднань та додаткових механізмів для передавання руху робить його надійним. Наявність резонансних режимів коливань системи закладає певну енергоощадність у його роботі. Автоматична синхронізація віброзбудників значно спрощує одночасне використання декількох джерел збурення в одній установці. Лише впровадження якісно нових принципів розрахунку вібраційних машин з електромагнітним приводом забезпечить підвищення їх ефективності функціонування та зумовить появу вібраційного обладнання нового класу й поширить енергоощадні принципи побудови.

Створення будь-якого технологічного обладнання скероване на досягнення певних технічних параметрів, які і вказують на ефективність обладнання. Не враховуючи фінансових затрат на виготовлення установки, введемо показник ефективності вібраційної дробарки (показник, що кількісно відображає собівартість продукції). Обладнання тим ефективніше, чим вищі технологічні параметри досягаються за якомога менших затрат.

Для вібраційної дробарки показником ефективності є середня пропускна здатність, а саме швидкість продукту дроблення, що проходить через площу поперечного перерізу вивантажувального сопла:

$$V=2 \pi \nu A k_{ш}, \quad (1)$$

де  $\nu$  і  $A$  – відповідно циклічна частота та амплітуда вимушених коливань робочого органа;

$k_{ш}$  – коефіцієнт швидкості, що визначається експериментально залежно від кута нахилу ребер лотка.

Середня швидкість транспортування матеріалу по гармонійно вібруючому лотку:

$$V_{cp}=0,06A n f_m \operatorname{tg}\varphi_k, \quad (2)$$

де  $n$  – кількість коливань за хвилину;

$f_m$  – коефіцієнт тертя;

$\varphi_k$  – кут нахилу лотків.

Найбільш значний вплив на характеристики вібраційної дробарки під час її експлуатації має маса завантаження матеріалу. Врахування технологічного завантаження унеможливить входження вібраційної

дробарки в нестійку резонансну зону. Вплив завантаження враховується експериментально, врахувавши гіпотезу, що певна частина  $m_n$  від маси середовища  $m_a$  повністю приєднується до робочого органу  $m_{po}$ . Так, завантаживши матеріалом  $m_a$  реальну міжрезонансну вібраційну дробарку з відомими інерційно-жорсткісними параметрами, експериментально визначають її другу власну частоту коливань  $w_2$  відносно якої й фіксується вплив. Частка середовища, що умовно приєднується до робочого органа, становитиме  $m_n/m_a$ . Отже заклавши в інерційне значення коливальної маси частку доданого середовища, дотримуючись рекомендованого співвідношення  $m_{po} > (2...3) m_a$  та вибравши значення резонансного налагодження системи в межах  $z = 0,94...0,97$ , можна гарантувати стабільний режим роботи вібраційної дробарки, а знаючи масу вібраційної частини  $m_n$  можна розрахувати подачу матеріалу  $m_a$ .

$$z = \sqrt{m_a / (m_a + m_n)}. \quad (3)$$

На основі викладеного запропонована зернова дробарка з електромагнітним віброзбудником (рис.1), визначальними показниками технологічної ефективності якої є амплітуда коливання  $A$  і частота вимушених коливань у робочих органах 5.

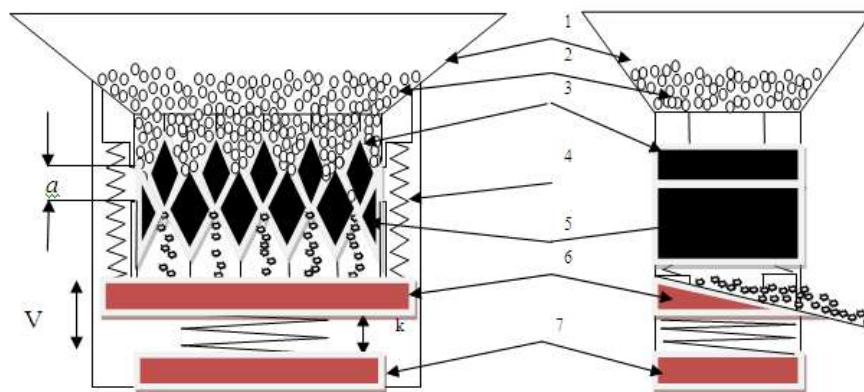


Рис. 1. Зернова дробарка з електромагнітним віброзбудником:  
1-бункер; 2-зерно; 3-пасивні рифи; 4-пружини; 5-активні рифи;  
6-вібралоток; 7-електромагнітний вібратор.

Дробарка складається із завантажувального бункера 1, пасивних 3 і активних 5 рифів, вібраційного лотка 6 і електромагнітного віброзбудника 7.

Технологічний процес дробарки відбувається таким чином: зерно з бункера самопливом потрапляє у зазор між пасивними і активними рифами. Активні рифи за рахунок зворотного-поступального руху лотків,

що створюється електромагнітним віброзбудником і пружинами 4, переміщують зерно у зазорі, створюючи на нього поздовжній та поперечний тиск, що і є причиною руйнування зерна та прискорення відбору дрібних фракцій. Змінюючи вихідний зазор  $a$  між пасивними і активними рифами можна домогтися необхідної фракції подрібнення матеріалу.

Переваги запропонованої дробарки над уже існуючими такі: по-перше, використання електромагнітного віброзбудника, а отже, відсутність у приводі рухомих з'єднань та додаткових механізмів для передавання руху робить його надійним, зменшує енергозатрати на подолання шкідливих опорів; по-друге, зворотно-поступальний рух рухомих рифів дає змогу уникнути виникнення повітряно-зернового потоку, що утворюється при високих швидкостях обертання.

Розглянемо основні етапи подрібнення вібраційної дробарки з метою визначення можливості підвищення ефективності роботи машини в цілому.

На стадії роздавлювання кусок матеріалу роздавлюється та стирається між двома поверхнями дробильних щік, при повільному зростанні зусилля. Тобто, для того щоб зруйнувати матеріал, машині необхідно подолати зусилля на руйнування матеріалу від стиску, яке визначається такою залежністю [7]:

$$\sigma_p \approx \beta \sqrt{\gamma E / l}, \quad (4)$$

де  $E$  - модуль пружності матеріалу;  $\beta$  - числовий коефіцієнт;  $\gamma$  - питома поверхнева енергія тріщини;  $l$  - довжина тріщини, що утворилась при руйнуванні матеріалу.

Для забезпечення руйнування матеріалу таким методом необхідно витратити велику енергію, навіть при руйнуванні неідеального тіла. Висока анізотропія деяких матеріалів (відношення  $E_{max} / E_{min}$ ), а також ефект пластичності сприяють підвищенню енергозатрат. Зменшити енергозатрати на цій стадії руйнування можливо такими способами: 1) забезпечити ефективну дію на матеріал згинальних, ламаючих та розколюючих зусиль, напруження руйнування від яких на порядок нижче від чистого стиску, а напруження від чистого стиску, у свою чергу, звести до мінімуму; 2) забезпечивши значну однорідність складу (відсутність домішок) або внутрішньої структури зерна (однакову вологість).

Передує стадії роздавлювання стадія удару, на якій матеріал подрібнюється внаслідок удару. Одним із основних факторів руйнування при ударі є швидкість зміни навантаження. Збільшення

швидкості руйнування і зниження температури призводить до крихкого руйнування.

Руйнування, зумовлене хвилею напружень, можна описати таким чином. Коли імпульс стиску, що розповсюджується в середовищі, падає нормально на вільну від напружень межу цього середовища, він породжує імпульс розтягу, який має таку ж саму форму, що й імпульс стиску, проте він супроводжується переміщенням, спрямованим у бік розриву. Якщо напруження розтягу, створене вібраційним імпульсом, перевищить міцність матеріалу на розтяг, то відбудеться руйнування. Це явище відоме як «відкол» або «руйнування Гопкінса» [6].

У роботі [1] критична швидкість руйнування, при якій зміщення частинок середовища призводить до руйнування, визначається за формулою

$$V_{кр} = \int_0^{\varepsilon} \left( \frac{1}{\rho} \frac{d\sigma}{d\varepsilon} d\varepsilon \right), \quad (5)$$

де  $\varepsilon$ - деформація границиміцності;  
 $\rho$ - густина матеріалу.

При динамічному навантаженні сухих крихких матеріалів відбувається процес акумулювання енергії окремих ударів, унаслідок чого з кожним ударом напружений стан матеріалу збільшується і при досягненні границиміцності він руйнується.

У різних дослідженнях вказується на збільшення міцності матеріалів із збільшенням швидкості навантаження. Так, у роботі [1] зазначена залежність зміни міцності матеріалів від швидкості навантаження для нерудних матеріалів (піщаників і гранітів):

$$\sigma = a + b \lg \frac{V}{V_0}, \quad (6)$$

де  $a$  і  $b$  - сталі величини;  
 $V, V_0$ -порівнювані швидкості навантаження.

У праці [2] зазначено, що при динамічному режимі руйнування, при перших ударах руйнується максимальна кількість частинок матеріалу, при подальших ударах їх кількість зменшується. Як наслідок, велика кількість енергії втрачається без утворення нових поверхонь. Проте коли в крихкому тілі розповсюджується імпульс напружень достатньо великої амплітуди, він може призвести до руйнування, яке суттєво відрізняється від руйнування при квазістатичному і відносно повільному динамічному навантаженні.

У роботі [3] зазначена залежність для визначення роботи при ударному руйнуванні матеріалу:

$$A = \frac{K \sigma_p^{1.5} P_k^{0.5} (1 - \mu)^{2.5} (1 + \mu) S^e n^c}{\mu^{1.5} E}, \quad (4)$$

де  $K$  - коефіцієнт, що враховує перетворення ударного навантаження в зусилля, що розриває матеріал;

$P_k$  - контактна міцність породи;

$\mu$  - коефіцієнт Пуассона;

$S$  - площа, по якій проходить розкол матеріалу,  $m^2$ ;

$n$  - число ударів до руйнування;

$b$  і  $c$  - показники, що характеризують відповідно масштабний ефект і ефект втомленості, які залежать від структури і міцнісних характеристик порід.

Усі показники цього рівняння справедливі тільки при прикладенні навантаження зі швидкістю  $V \ll 7 \div 13$  м/с [5].

Таким чином, для забезпечення ефективності руйнування слід дотримуватись кількох основних положень:

- забезпечити оптимальну швидкість прикладення навантаження (ударного механізму);
- раціонально підібрати масу ударного механізму;
- оптимально підібрати площу взаємодії.

Одним із напрямків у розвитку конструкцій дробильних машин є ефективним ударним механізмом є застосування вібрації. Вібраційні дробарки дозволяють отримати значні зусилля в камері подрібнення при невеликих енергозатратах порівняно зі звичайними традиційними машинами [5].

Конструкція запропонованої дробарки відрізняється високим ступенем подрібнення та низькими витратами енергії при відносно невеликій продуктивності.

**Висновки.** Переваги запропонованої дробарки над уже існуючими такі: по-перше, використання електромагнітного вібробудника, а отже, відсутність у приводі рухомих з'єднань та додаткових механізмів для передавання руху робить його надійним, зменшує енергозатрати на подолання шкідливих опорів; по-друге, зворотньо-поступальний рух рухомих рифів дає змогу уникнути виникнення повітряно-зернового потоку, що утворюється при високих швидкостях обертання.

Рухома частина дробарки (лотки, що переміщуються у вертикальному напрямі), налагоджується на певну амплітуду та власну



частоту коливань, це основні технологічні параметри, які найбільше впливають на інтенсивність подрібнення.

Залежно від вихідного продукту та бажаного кінцевого результату можна зміною зазорів між рифами досягнути бажаного ступеня подрібнення продукту.

Застосування подрібнювальної камери, що приводиться в дію від електровібратора дозволяє зменшити енергозатрати на подрібнення до 8%.

#### **Бібліографічний список**

1. А.с. 2999245 ССССР, В02С 1/02. Щековая вибратионная дробилка / Ю.С.Хечанов - Опубл. 26.03.71, Бюл. №12.
2. А.с. 380345 ССССР, В02С 1/02. Ударно-вибратионная дробилка / В.Я. Туркин, А.М. Федорович, П.П. Шульц. - Опубл. 15.05.73, Бюл. №21.
3. А.с. 587995 ССССР, МКл2. В02С 19/16. Мельница тонкого помола / Р.А. Восканян Опубл. 15.01.78, Бюл. № 2.
4. А. с. 1284594 ССССР, В02С 13/04. Молотковая дробилка / А.А.Сундеев, В.В. Нестеров. - Опубл. 23.01.87, Бюл. № 3.
5. Бабаков И.М. Теория колебаний /И.М. Бабаков.-Л.: Наука, 1968.-650 с.
6. Бабичев А.П. Основы вибратионной технологии / А.П. Бабичев, И.А. Бабичев.- Ростов н/Д. : Изд-во центр ДГТУ, 2008.- 694 с.
7. Василенко М.В. Теория коливань і стійкість руху: підручни. / М.В. Василенко, О.М. Алексеичук.- К. : Вища шк., 2004.-525 с.
8. Гошко З.О. Розширення функціональних можливостей дробарок із горизонтальною віссю обертання/ З. О.Гошко, А.В.Габчак, О.М.Василькевич // Вчені ЛДАУ виробництву. - Львів, 2007. - Вип. 7. -С.31-33.
9. Гошко З.О. Шляхи вдосконалення подрібнювальних машин для зернових матеріалів/ З.О.Гошко // Вісник Львівського національного аграрного університету: Агроінженерні дослідження. - 2011. - №15. - С.390-396.

#### **Гошко З. Особливості вдосконалення електромагнітної вібраційної дробарки**

У статті наведено аналіз існуючих способів побрібнення. Запропоновано принципово нову конструкцію подрібнювальної машини на основі електровібратора, обґрунтовано технологічні параметри та вказано її переваги.

Вказано, що одним із напрямів у розвитку конструкцій дробильних машин з ефективним ударним механізмом є застосування вібрації. Вібраційні дробарки дозволяють отримати значні зусилля в камері подрібнення при невеликих енергозатратах порівняно із звичайними традиційними машинами

**Ключові слова:** дробарка, зерно, електромагнітний привід.

### **Goshko Z. Peculiarities of electromagnetic vibratory crusher perfection**

The analysis of existent methods of crushing is resulted in the article. The principle of new construction of crush machines on the basis of electrical vibrator was worked out. The technological parameters of crush machines are grounded and its advantages are indicated.

It is emphasized that the vibration is one of directions in constructions development of crush machines with an effective shock mechanism. Vibratory crushers allow getting considerable efforts in the crushing chamber with the small energy consumption in comparing to the ordinary traditional machines

**Keywords:** crusher, grain, electromagnetic drive.

### **Гошко З. Особенности совершенствования электромагнитной вибрационной дробилки**

В статье пранализированы существующие способы измельчения. Предложена принципиально новая конструкция дробильной машины на основе электровибратора, обоснованы технологические параметры и указаны ее преимущества.

Обозначено, что одним из направлений в развитии конструкций дробильных машин с эффективным ударным механизмом является применение вибрации. Вибрационные дробилки позволяют получить значительные усилия в камере измельчения, при небольших энергозатратах в сравнении с обычными традиционными машинами

**Ключевые слова:** дробилка, зерно, электромагнитный возбудитель.