

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра процесів, машин і обладнання в агроінженерії

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

ЛАПТОШ ЮРІЙ СЕРГІЙОВИЧ

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача вищої освіти)

УДК 631.363.21

(індекс)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Підвищення технічного рівня машин для подрібнення зерна

(тема роботи)

208 – Агроінженерія

Подається на здобуття освітнього ступеня Магістр

кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Ю.С. Лаптош

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

Грудовий Роман Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

кандидат технічних наук

(науковий ступінь, вчене звання)

Житомир - 2020

АНОТАЦІЯ

Лаптош Ю. С. Підвищення технічного рівня машин для подрібнення зерна. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2020.

В роботі проведено аналіз технологічних способів подрібнення зерна, машин і обладнання, які використовуються для відповідного способу, провели огляд конструкцій дробарок зерна із уточненням класифікації роторних конструкцій вказали їх переваги та недоліки. Удосконалено конструкцію дробарки і провели математичне моделювання руху зернини в робочій камері. На основі проведених досліджень обґрунтували конструкційні і технологічні параметри дробарки.

Ключові слова: подрібнення, зерно, дробарка, математичне моделювання, било, решето, продуктивність.

ANNOTATION

Laptosh Yu. Improving the technical level of machines for grinding grain. - Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 - Agricultural Engineering. - Polissya National University, Zhytomyr, 2020.

The paper analyzes the technological methods of grinding grain, machinery and equipment used for the method, reviewed the design of grain crushers with clarification of the classification of rotary structures, indicated their advantages and disadvantages. The design of the crusher was improved and mathematical modeling of grain motion in the working chamber was performed. On the basis of the conducted researches the constructional and technological parameters of the crusher were substantiated.

Key words: grinding, grain, crusher, mathematical modeling, beater, sieve, productivity.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	2
ЗМІСТ.....	3
ВСТУП.....	4
1. РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПИТАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	6
1.1 Класифікація процесів подрібнення зерна.....	6
1.2 Огляд конструкцій дробарок зерна.....	8
1.3 Висновки та завдання досліджень.....	12
2. РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ДРОБАРКИ ЗЕРНА УДАРНО-ВІДБИВНОЇ ДІЇ.....	13
2.1 Математичне моделювання руху зернини в камері подрібнення дробарки	13
2.2 Висновки по розділу 2.....	18
3. РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	19
3.1 Обґрунтування конструкції дробарки.....	19
3.2 Результати математичного моделювання руху зернини в камері подрібнення дробарки	22
3.3 Висновки по розділу 3.....	25
ВИСНОВКИ.....	26
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	27

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Тваринництво є однією з найважливіших сільськогосподарських галузей. Продуктивність тваринництва в значній мірі залежить від якості кормової бази. Чим більше кормів буде відповідати за вмістом поживних речовин і за своїми фізико-механічними властивостями потребам тварин, тим буде вище їх ефективність. Таким чином, одним з основних факторів, що визначають ефективність виробництва молока, м'яса та інших продуктів тваринництва, являється приготування кормів. У той же час процес приготування кормів є досить енергоємним і вимагає застосування спеціальних технічних засобів. Найпоширенішим способом приготування концентрованих кормів є подрібнення. В даний час в сільському господарстві найбільш широкого поширення набули молоткові дробарки. Робочими органами в них є шарнірно закріплені всередині барабана молотки і деки, по яких відбуваються численні удари матеріалу, що подрібнюється.

Однак у зв'язку з існуючими недоліками даних дробарок зерна, одним з яких є надмірне подрібнення матеріалу, необхідно розробляти нові конструкції дробарок, що дозволять більш ефективно подрібнювати і своєчасно вивантажувати подрібнений матеріал за рахунок застосування нових робочих органів, а також інших конструкційних особливостей дробарки. Розв'язання такої проблеми є актуальним завданням для галузі тваринництва, що дозволить підвищити середньодобові прирости у тварин і знизити собівартість виробленої продукції за рахунок зменшення споживання енергоресурсів.

Мета дослідження - підвищення ефективності процесу подрібнення зерна шляхом вдосконалення конструкційних і технологічних параметрів дробарки ударно-відбивної дії.

Завдання дослідження:

1. Удосконалення конструкції дробарки зерна ударно-відбивної дії;
2. Обґрунтувати основні конструктивно-режимні параметри дробарки зерна ударно-відбивної дії;

Об'єкт дослідження - технологічні процеси подрібнення в дробарці зерна ударно-відбивної дії.

Предмет дослідження – конструкційні і технологічні фактори, що впливають на процес подрібнення в дробарці зерна ударно-відбивної дії.

Методологія і методи дослідження. Теоретичні дослідження виконані з використанням відомих положень законів теоретичної механіки, загальних положень теорії тертя і деформування пружних матеріалів. Одиниці виміру використані відповідно до міжнародної системи СІ. Отримані результати оброблялися з використанням пакета програм на ЕОМ: Microsoft Office, Компас-3D LT V16, і ін.

Практична значимість роботи:

1. Отримано аналітичні залежності для визначення впливу конструкційних і технологічних параметрів дробарки зерна ударно-відбивної дії на її характеристики. На підставі проведених теоретичних досліджень обґрунтовані конструкція дробарки, яка може ефективно використовуватись для подрібнення кормів в сільськогосподарському виробництві.

Публікації. За результатами досліджень опубліковано тези у Збірнику доповідей учасників II Міжнародної науково-практичної конференції «Біоенергетичні системи в агропромисловому виробництві» та збірнику матеріалів науково-практичної конференції факультету інженерії та енергетики «Студентські читання – 2020».

Структура і обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Робота викладена на 29 сторінках машинописного тексту і містить 8 рисунків, список використаної літератури з 25 найменувань.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПИТАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Класифікація процесів подрібнення зерна

Якісне подрібнення кормів в сільському господарстві є необхідною вимогою для нормальної життєдіяльності та підвищення продуктивності тварин. Однак подрібнення є одним з найбільш енергоємних процесів при приготуванні кормів. Зниження енергоємності та збільшення продуктивності дробарок зерна прямо залежить від використання та комбінування різних способів подрібнення кормів [1,4-8,23,25].

Подрібнення - процес поділу твердого тіла до необхідних розмірів за допомогою прикладених зовнішніх сил. Розрізняють основні види механічного подрібнення: роздавлювання, стирання, удар вільний, удар обмежених, розколювання, злам, розпилювання, різання пуансоном, різання лезом, різання різцем [1,4-8,23,25] (рис. 1.1).

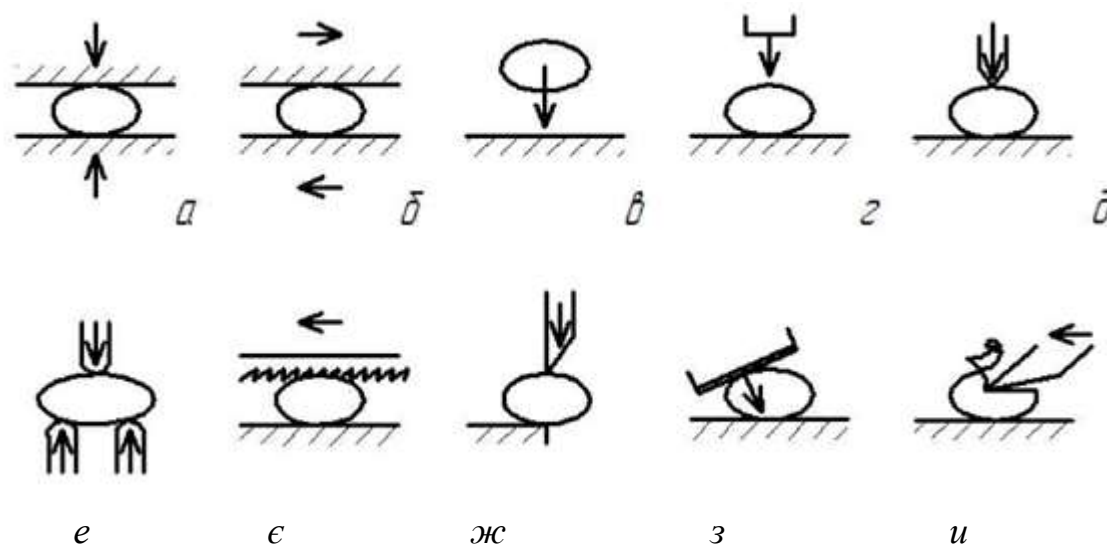


Рисунок 1.1 - Види подрібнення: а) роздавлювання (плющення), б) стирання, в) і г) удар, д) розколювання, е) розламування, є) розпилювання, ж) різання пуансоном, з) різання лезом, и) різання різцем

Роздавлювання (рис. 1.1, *а*) є результатом застосування зовнішнього навантаження, що перевищує при стисненні межу міцності матеріалу, що подрібнюється.

Стирання (рис. 1.1, *б*) здійснюється за рахунок одночасно прикладених сил протилежних за напрямом (суми складних деформацій): стиснення і зсув.

Ударом (рис. 1.1, *в, г*) називають зосереджене короткочасне динамічне навантаження, що руйнує матеріал.

Розколювання (рис. 1.1, *д*) твердих частинок відбувається при концентрації динамічних навантажень, що передаються клиноподібним робочим органом.

Злам (рис. 1.1, *е*) - руйнування під дією навантажень, що направлені на ділянки твердих тіл, які не мають опори.

Розпилювання (рис. 1.1, *ж*) полягає у впливі на матеріал спеціальним інструментом, який має для цього спеціальні зубці або рифлі і їх твердість є вищою чим матеріал для розпилювання.

Різання (рис. 1.1, *з, і, к*) представляє собою розподіл матеріалу на частини за допомогою різального інструменту.

У різних конструкціях сучасних подрібнювачів використовується поєднання різних видів подрібнення, наприклад в роторних дробарках найбільш часто подрібнення відбувається за рахунок стирання і удару. Вимоги до властивостей і розмірами готового продукту, а також різноманіття розмірів і властивостей матеріалу, що подрібнюється викликає необхідність в комбінуванні різних видів подрібнення. Таким чином, за принципом дії і конструкції можна виділити наступні види дробарок:

- вальцеві, мають вальці, що обертаються відносно нерухомої поверхні або відносно один одного і роздавлюють(плющать), а також за рахунок різних швидкостей обертання і наявності рифлів відбувається розмелювання зерна, що проходить між вальцями;

- конусні, в яких ексцентрично рухаються конічні поверхні, здійснюючи тим самим роздавлювання, стирання і злам матеріалу;

- подрібнювачі ударної дії, подрібнення в яких відбувається за допомогою обертового ротора з встановленими на ньому билами.

За розмірами подрібнювальних частинок процеси подрібнення поділяють на помел і дроблення, а машини для подрібнення ділять відповідно на млини та дробарки[1,4-8,23,25].

У сільському господарстві для подрібнення зерна найбільш часто використовуються молоткові дробарки ударної дії [1,3,4,7,10-13,16,17,22-25]. Такі дробарки мають просту і компактну конструкцію, яка відзначається надійністю в роботі і легкістю в технічному обслуговуванні і ремонті. Недоліками подібних дробарок є інтенсивне спрацювання робочих органів і нерівномірне подрібнення частинок матеріалу деяких до пилоподібної фракції (до 30%) при тонкому і (до 20%) при грубому дробленні, що позначається на якості корму і на енергоємності виробництва.

1.2 Огляд конструкцій дробарок зерна

Дробарка зерна повинна мати не тільки низьку енергоємність процесу подрібнення, але і забезпечувати рівномірність подрібнення матеріалу.

Домогтися цього можна за рахунок оптимізації існуючих конструкцій дробарок зерна і розробці нових. В даний час дробарок зерна, що відрізняються конструкційно, існує велика кількість. Найбільш поширені дробарки з обертовими ударними робочими органами. Такі дробарки зерна прийнято називати роторними[1,3,4,7,10-13,16,17,22-25]. Нами була розроблена схема класифікації роторних дробарок зерна по конструкційним ознаками, яка приведена на рисунку 1.2. На практиці ці ознаки поєднуються в різних конструкціях дробарок.

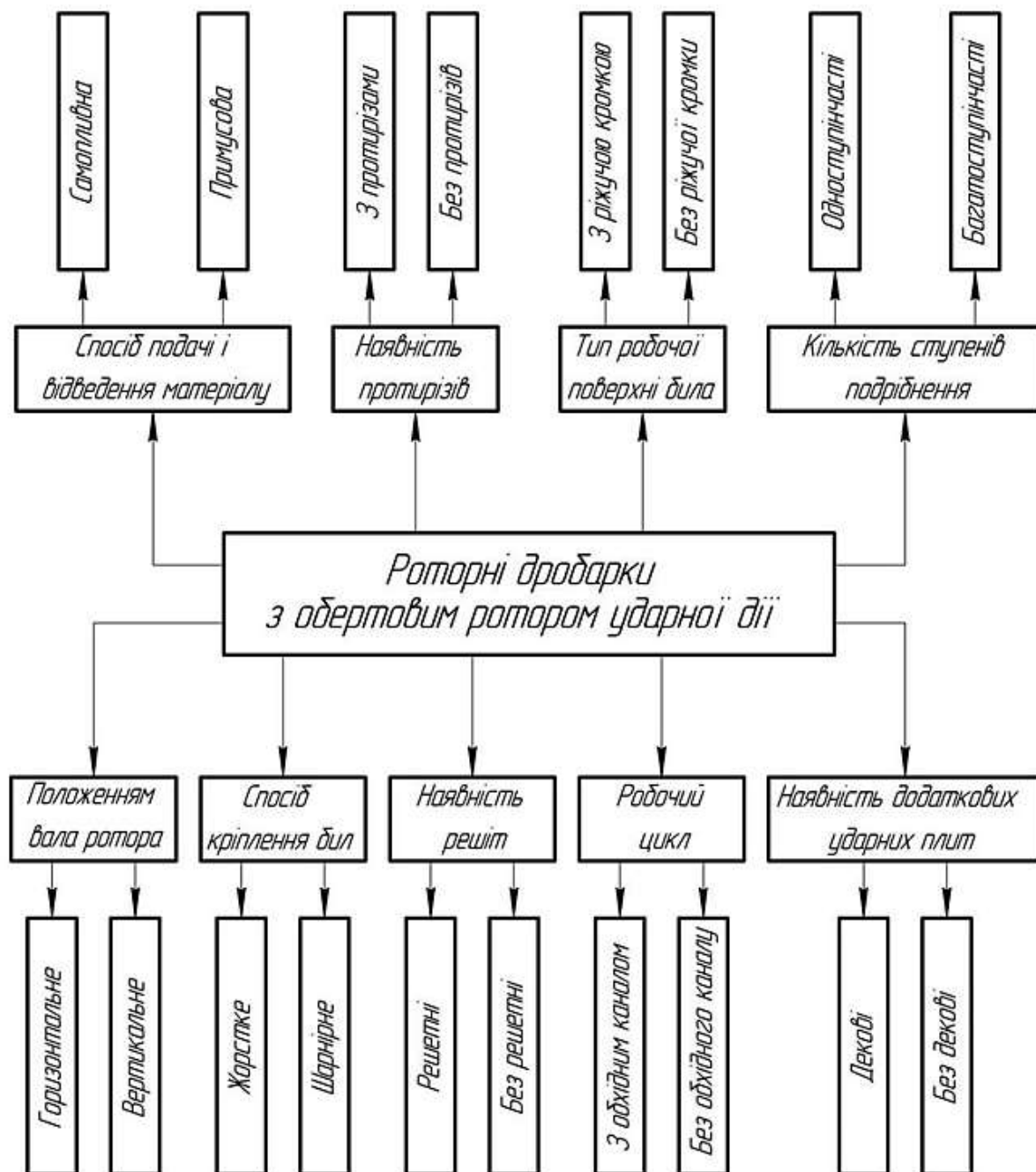


Рисунок 1.2 – Класифікація роторних дробарок зерна

1. По розташуванню вала ротора дробарки поділяють на дробарки з вертикальним розташуванням і на дробарки з горизонтальним розташуванням вала ротора. Найбільш поширена класична схема молоткової дробарки має горизонтальне розташування вала ротора (КДУ-2, ДКР, ДБ-5, ДЗ-2А). Вертикальне розташування вала ротора часто використовується в дробарках

невисокої продуктивності (до 1 т/год.) з робочими органами у вигляді ножів-пластин (Нива ИЗ 25М, Електромаш ИЗ 05М, Циклон-400), в відцентрових дробарках (А1-ДДШ, ДРЦ-5), а також в багатоступеневих дробарках [71; 72; 73], де переміщення подрібненого продукту між ступенями відбувається за рахунок сили тяжіння.

2. За способом кріплення бил дробарки поділяють на пристрої з жорстко закріпленими на роторі робочими органами і на пристрої з шарнірно закріпленими на роторі молотками (молоткові дробарки). У зв'язку з відносною простотою, надійністю і зручністю обслуговування при подрібненні зерна саме молоткові дробарки набули найбільшого поширення (КДУ-2, ДКМ, КД-2А і ін.). Набагато рідше зустрічаються зернодробарки з жорстко закріпленими билами, хоча вони мають ряд переваг.

3. За наявності решіт дробарки поділяються на безрешітні і решітні. Більшого поширення на практиці для подрібнення зерна отримали решітні дробарки (КДУ-2, КДМ-2, КДМ-3, ДКМ-5, А1-ДМР). У свою чергу, конструкцію решіт також можна поділяти за формою (з прямокутними і круглими отворами) і розташуванню отворів (з прямими і зміщеними рядами отворів), з регульованими розмірами отворів: жалюзійні, колосникові. На дробарках решета встановлюються для відведення готового продукту і утримання в камері подрібнення частинок, що потребують до подрібнення.

Простота конструкції є основною перевагою решітних дробарок, але є і недоліки у вигляді інтенсивного спрацювання дорогих решіт і збільшення трудомісткості обслуговування.

У дробарках в яких відсутні решета ці функції можуть виконувати наявні додаткові ступені подрібнення або інерційні сепаратори (ДБ-5, ДЗ-Ф-2). Існують також безрешітні дробарки без сепаратора (ДКМ-5).

4. За способом реалізації робочого циклу роторні подрібнювачі ділять на дробарки з відкритим (ДБ-5, ДЗ-Ф-2, і закритим циклом (КДУ-2, ДКР). У разі закритого циклу відбувається циркуляція матеріалу всередині камери подрібнення з наступним відведенням через решето, а в разі відкритого циклу

дрібна фракція відділяється від великої в обвідному каналі повітряним потоком і відводиться назовні, а велика фракція частинок знову направляється в камеру на подрібнення[1,3,4,7,10-13,16,17,22-25].

5. Дробарки зерна діляться також за наявністю ударних плит на без декові і з деками. У дробарці з деками матеріал ударяється об додаткову ударну поверхню, відбиваючись від молотків. Як правило, деко виконується рифленим.

У зернодробарках в яких деко відсутнє подрібнення відбувається переважно внаслідок ударів зернини об молотки і решета і за рахунок стирання об них.

6. За типом ударної поверхні бил дробарки поділяють на машини з плоскою ударною поверхнею і дробарки, які використовують била з ріжучими кромками. Била з ріжучими кромками активно використовуються в ножових млинах, а також в роторних ножових дробарках невисокої продуктивності, які широко поширені на ринку і призначені в першу чергу для невеликих господарств.

7. Також роторні дробарки можна класифікувати по наявності і відсутності протирізу. Як правило, протирізи використовуються в ножових млинах і дозволяють зменшити зазор між рухомими і нерухомими або обертовими з іншою швидкістю або в іншому напрямку робочими органами, внаслідок чого зростає ефективність подрібнення. За кількістю ступенів подрібнення дробарки поділяються на одноступінчасті (КДУ-2, КДМ) і багатоступінчасті [1,3,4,7,10-13,16,17,22-25]. Багатоступінчасті дробарки подрібнюють продукт послідовно, що дозволяє добитися високої рівномірності помелу. Мінусами таких дробарок є складність конструкції, велика металоємність і великі габарити.

8. Способи подачі матеріалу, що подрібнюється і відведення готового продукту можуть бути самопливними і примусовими [1,3,4,7,10-13,16,17,22-25].

З аналізу пошукових досліджень можна зробити висновок, що для оцінки роботи дробарки зерна необхідно враховувати сукупність таких показників, як енерговитрати на подрібнення, ступінь подрібнення зерна і продуктивність

дробарки. При вдосконаленні існуючих дробарок зерна і розробці принципово нових конструкцій особливу увагу необхідно приділяти швидкості обертання робочих органів, організації повітряного потоку в камері дроблення, збільшення сепаруючої поверхні, збільшення ресурсу робочих органів.

1.3 Висновки та завдання досліджень

В результаті проведеного огляду праць, присвячених процесу подрібнення зерна і огляду відповідних конструкцій дробарок, з'ясували, що необхідні подальші дослідження, спрямовані на поліпшення конструкції дробарки за рахунок вдосконалення її робочих органів і використання нових або удосконалених процесів подрібнення.

При цьому отримання якісного подрібненого продукту, що відповідає зоотехнічним вимогам для конкретних груп сільськогосподарських тварин є важливим і одним із пріоритетних завдань поряд зі зниженням енергозатрат і підвищенням продуктивності.

Мета дослідження - підвищення ефективності процесу подрібнення зерна шляхом вдосконалення конструкційних і технологічних параметрів дробарки ударно-відбивної дії.

Для досягнення даної мети поставлені такі завдання дослідження:

1. Удосконалення конструкції дробарки зерна ударно-відбивної дії;
2. Обґрунтувати основні конструктивно-режимні параметри дробарки зерна ударно-відбивної дії.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ДРОБАРКИ ЗЕРНА УДАРНО-ВІДБИВНОЇ ДІЇ

2.1 Математичне моделювання руху зернини в камері подрібнення дробарки

Проведемо математичне моделювання руху частинки (зернини) в камері подрібнення дробарки (рис. 2.1). На підставі загальних законів механіки[2,9,14,18]. відносного руху отримані рівняння, що дозволяють спрогнозувати при заданих параметрах положення частинки в камері подрібнення, кінематичні характеристики як похідні координат за часом, також представити її рух в графічному вигляді в залежності від кута повороту ротора. З технічної точки зору це дає можливість простежити, як поводить себе частка, перебуваючи в камері подрібнення.

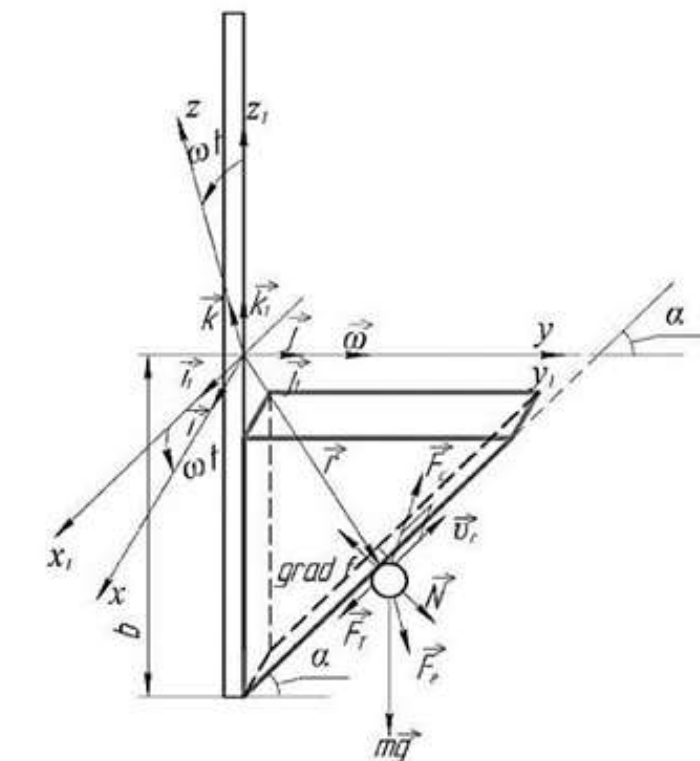


Рисунок 2.1 – Схема руху зернини по білу дробарки в камері подрібнення: z_1, x_1, y_1 – нерухомі осі; z, x, y – рухомі осі

При математичному описі руху зернівки в камері подрібнення приймаємо наступні допущення: частинка (зернина) знаходиться на билі і рухається поодинокі, має форму кулі (рис. 2.1), а повітряний потік постійний за величиною, швидкістю і напрямком.

Рівняння площини руху в рухомих осях паралельно вісі x :

$$z = ky - b, \quad (2.1)$$

де $k = \operatorname{tg} \alpha$ – кутовий коефіцієнт площини.

$$m\vec{w}_r = m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_t + \vec{F}_e + \vec{F}_c, \quad (2.2)$$

де $m\vec{g}$ – сила тяжіння, Н;

\vec{N} – нормальна реакція площини руху, Н;

\vec{F}_t – сила тертя по площині руху з коефіцієнтом тертя f_m , Н;

\vec{F}_e – відцентрова переносна сила інерції, Н;

\vec{F}_c – сила інерції Коріоліса, Н.

Підставляючи проекції всіх сил у вихідне диференціальне рівняння в проекції на осі (x, y, z) отримаємо:

$$\begin{cases} m\ddot{x} = mg \sin \omega t - |\lambda| \sqrt{k^2 + 1} \cdot f_m \cdot \frac{\dot{x}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}} + m\omega^2 x - 2m\omega \dot{z}; \\ m\ddot{y} = -k\lambda - |\lambda| \sqrt{k^2 + 1} \cdot f_m \cdot \frac{\dot{y}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}}; \\ m\ddot{z} = -mg \cos(\omega t) + \lambda - |\lambda| \sqrt{k^2 + 1} \cdot f_m \cdot \frac{\dot{z}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}} + m\omega^2 z + 2m\omega \dot{x}. \end{cases} \quad (2.3)$$

Для чисельного рішення маємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} \ddot{x} = g \sin \omega t - |\lambda| \sqrt{k^2 + 1} f_m \frac{\dot{x}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}} + \omega^2 x - 2\omega \dot{z}; \\ \ddot{y} = -kx - |\lambda| \sqrt{k^2 + 1} f_m \frac{\dot{y}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}}; \\ \lambda = \frac{1}{(1+k^2)} (g \cos \omega t - \omega^2 (ky - b) - 2\omega \dot{x}). \end{cases} \quad (2.4)$$

В результаті проведених досліджень встановлено залежності, що описують відносний рух зернівки по билу ротора при заданих значеннях кутової швидкості, кутовому коефіцієнті площини, коефіцієнті тертя і часу. Встановлено, що при заданому коефіцієнті b з додатнім або від'ємним значенням можна досягти необхідного ефекту руйнування зернівки. При $b < 0$, тобто робоча площа била знаходиться вище осі x при $y=0$, спочатку зернина ковзає по билу, а руйнування відбувається з ударом об решето або деку. У режимі подрібнення ударом била, навпаки, приймаємо $b > 0$, що забезпечить руйнування зернівки при ударі об било, а не об решето, з метою меншого спрацювання останнього.

Для того, щоб отримати максимальний ефект при подрібненні зерна, необхідно правильно сформулювати рух повітряно-продуктового потоку в камері дробарки. Це дозволить навантажити обидва решета рівномірно і збільшити продуктивність дробарки. Домогтися поставленого завдання практичним шляхом можна за рахунок установки дробарки під деяким кутом α (рис. 2.2). Оптимальне значення цього кута теоретично можна визначити, розглянувши рух частинок в камері подрібнення. Для спрощення розрахунків розглянемо рух однієї зернівки. Припустимо, що подрібнюється частинка масою m , яка завантажена в камеру подрібнення через завантажувальне вікно, вдаряється об било, що обертається з кутовою швидкістю ω , і відскочила від нього зі

швидкістю \vec{v}_n . Далі траєкторія руху розглянутої частки визначається гравітаційною силою і напрямком сили аеродинамічного опору \vec{R} .

Для визначення траєкторії руху частинки розглянемо схему дії сил на неї в довільний момент часу в координатах ntz . Вісь n спрямована нормально до вісі ротора і проходить через центр ваги зернівки, вісь t також проходить через центр ваги частинки і спрямована перпендикулярно вісі n . Вісь z направимо уздовж вісі ротора. Крім того, в площині ротора позначимо вісі x і y , які перетинають вісь z в точці O , а площину, утворену цими осями, нахилена відносно вертикалі (вісь y_1) на кут α . Положення нормалі n щодо вісі x визначається кутом ε . На частинку діє сила тяжіння, яка завжди спрямована вертикально вниз, і сила аеродинамічного опору \vec{R} , напрямок якого щодо нормалі n визначається кутом θ , а відносно вісі z - кутом β . Напрямок вектора \vec{v}_0 абсолютної швидкості частинки характеризується кутом γ . Напрямок вектора швидкості повітря \vec{v}_e в просторі між осями x і n зафіксуємо відповідно кутами δ і ψ (рис. 2.2).

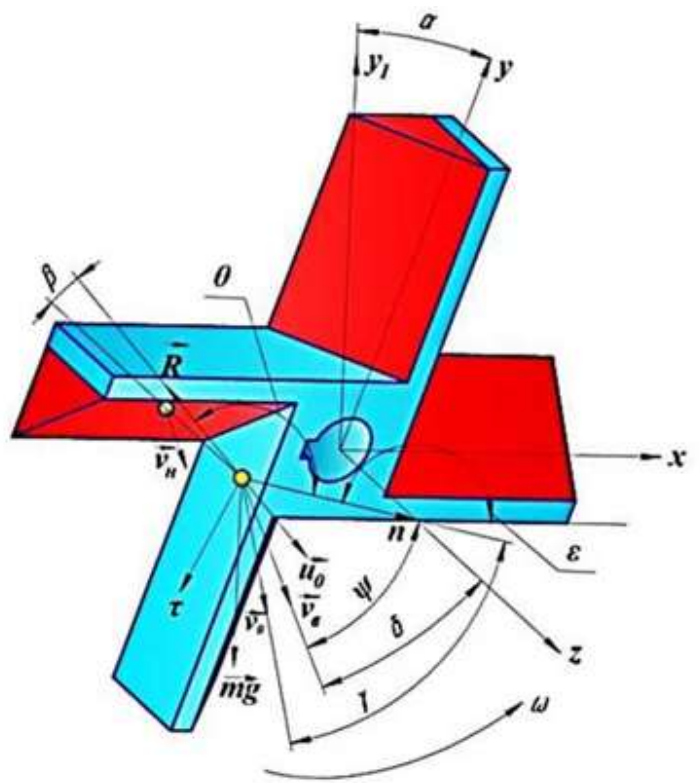


Рисунок 2.2 – Схема дії сил на зернину в просторі між білами

Відповідно до другого закону Ньютона:

$$m\vec{W} = \vec{R} + m\vec{g}, \quad (2.5)$$

Спроектуємо отримане рівняння на нормаль n , дотичну τ і вісь z :

$$\begin{cases} m \frac{d^2 n}{dt^2} = -\vec{R} \cos \theta + mg \sin \varepsilon; \\ m \frac{d^2 \tau}{dt^2} = -\vec{R} \sin \theta - mg \cos \varepsilon; \\ m \frac{d^2 z}{dt^2} = -\vec{R} \sin \beta - mg \sin a \end{cases} \quad (2.6)$$

Рівняння для визначення сили аеродинамічного опору повітряного потоку має вигляд:

$$R = m \cdot k_n \cdot u_0^2, \quad (2.7)$$

де k_n - коефіцієнт парусності, m^{-1} ;

u_0 – відносна швидкість частинки, м/с.

В результаті були отримані залежності для визначення швидкості і координат частинки в камері подрібнення удосконаленої дробарки зерна:

$$\begin{cases} u_x(\Delta t) = u_{x_0} + (-k_n \cdot u_{01} \cdot u_{x_0} + k_n \cdot u_{01} (28,89 + 0,03 \cdot R + \\ + 0,05 \cdot \varepsilon - 0,0009 \cdot R^2 - 0,0003 \cdot \varepsilon^2) + g \cdot \sin \varepsilon) \cdot \Delta t; \\ u_y(\Delta t) = u_{y_0} + (-k_n \cdot u_{01} \cdot u_{y_0} + k_n \cdot u_{01} (29,78 + 0,041 \cdot R + \\ + 0,056 \cdot R^2 - 0,0002 \cdot \varepsilon^2) - g \cos \varepsilon) \cdot \Delta t; \\ u_z(\Delta t) = u_{z_0} + (-k_n \cdot u_{01} \cdot u_{z_0} + k_n \cdot u_{01} (25,61 + 0,108 \cdot R + 0,052 \cdot \varepsilon + \\ + 0,052 \cdot z - 0,001 \cdot R^2 - 0,0002 \cdot R \cdot \varepsilon - 0,00015 \cdot \varepsilon^2) - g \cdot \sin a_0) \cdot \Delta t. \end{cases} \quad (2.8)$$

$$(2.9) \quad \begin{cases} x(\Delta t) = u_{x_0} \cdot \Delta t + (-k_n \cdot u_{01} \cdot u_{x_0} + k_n \cdot u_{01} (28,89 + 0,03 \cdot R + \\ + 0,05 \cdot \varepsilon - 0,0009 \cdot R^2 - 0,0003 \cdot \varepsilon^2) + g \cdot \sin \varepsilon) \cdot \frac{\Delta t^2}{2}; \\ y(\Delta t) = u_{y_0} \cdot \Delta t + (-k_n \cdot u_{01} \cdot u_{y_0} + k_n \cdot u_{01} (29,78 + 0,041 \cdot R + \\ + 0,056 \cdot R^2 - 0,0002 \cdot \varepsilon^2) - g \cos \varepsilon) \cdot \frac{\Delta t^2}{2}; \\ z(\Delta t) = u_{z_0} \cdot \Delta t + (-k_n \cdot u_{01} \cdot u_{z_0} + k_n \cdot u_{01} (25,61 + 0,108 \cdot R + 0,052 \cdot \varepsilon + \\ 0,052 \cdot z - 0,001 \cdot R^2 - 0,0002 \cdot R \cdot \varepsilon - 0,00015 \cdot \varepsilon^2) - g \cdot \sin a_0) \cdot \frac{\Delta t^2}{2}. \end{cases}$$

Використовуючи запропоновані вирази по рівняннях (2.8) і (2.9), можна розрахувати траєкторію руху частинки і визначити її місце виходу з камери подрібнення. Змінюючи кут α нахилу осі ротора, можна домогтися рівномірного завантаження торцевого і периферійного решіт, тим самим збільшивши продуктивність дробарки і зменшивши енерговитрати на подрібнення.

2.2 Висновки по розділу 2.

На підставі виконаних теоретичних досліджень і аналізу їх результатів можна зробити наступний висновок:

1. Проведено моделювання руху частинки в камері подрібнення роторної дробарки зерна.

2. Встановлено, що при $b < 0$ спочатку відбувається ковзання зернівки по билу, а руйнування відбувається згодом після удару об решето, а при $b > 0$ забезпечується удар зернівки об било, а не об решето, з метою меншого спрацювання останнього.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Обґрунтування конструкції дробарки

Найпоширенішим способом приготування концентрованих кормів є подрібнення. В даний час в сільському господарстві все більш широкого поширення набувають роторно-молоткові дробарки[17]. Робочими органами в них є шарнірно закріплені всередині барабана молотки-ротори і деки, по яких відбуваються численні удари матеріалу, що подрібнюється. Основним недоліком даних дробарок зерна є надмірне подрібнення матеріалу. Тому, враховуючи такі особливості провели удосконалення конструкції дробарки, що дозволить більш ефективно подрібнювати і своєчасно вивантажувати подрібнений матеріал за рахунок застосування удосконалених робочих органів, а також інших конструкційних особливостей дробарки [17].

Для ефективного удосконалення конструкції дробарки ретельніше розглянемо технологічний процес дробарки закритого циклу. Дробарки закритого циклу мають простішу будову, тому є більш надійними в роботі і користуються попитом серед споживачів. Тому в нашій роботі приймаємо за основу саме таку організацію технологічного процесу подрібнення.

Технологічний процес подрібнення зерна на частинки відповідного розміру в дробарці закритого циклу (рис.3.1.) відбувається за рахунок циркуляції матеріалу всередині камери подрібнення з наступним відведенням через решето[1,4,7,10-13,15,17,21-25].

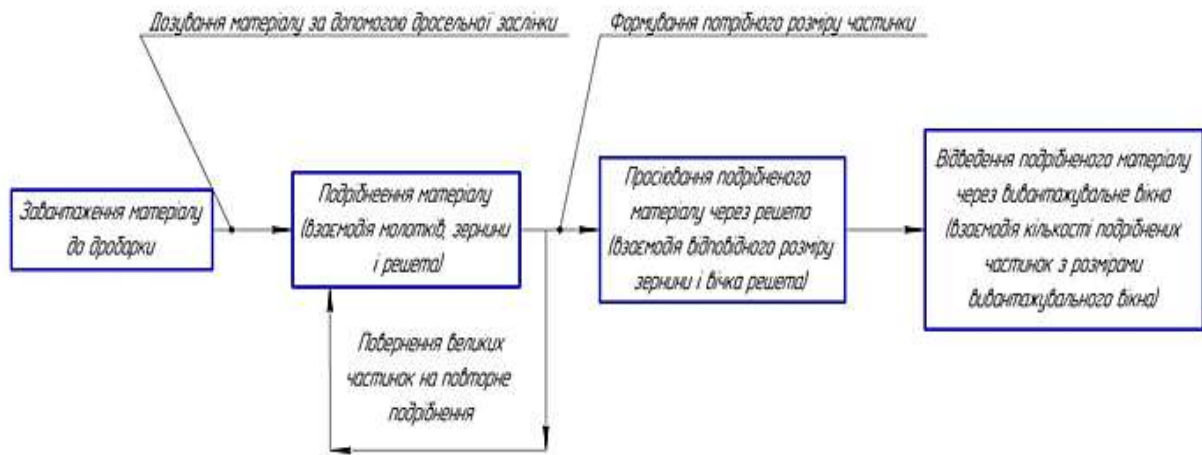


Рисунок 3.1 – Схема робочого процесу молоткової дробарки зерна замкнутого циклу

При вдосконаленні існуючих дробарок зерна і розробці принципово нових конструкцій особливу увагу необхідно приділяти швидкості обертання робочих органів, організації повітряного потоку в камері дроблення, збільшення сепаруючої поверхні, збільшення ресурсу робочих органів.

Провівши патентний та інформаційний пошук, було виявлено шляхи для удосконалення конструкції дробарки із закритим циклом процесу подрібнення зерна.

У робочу камеру, найбільш поширених молоткових дробарок, зерно, що має подрібнюватися надходить через отвір у верхній частині, де піддається в основному прямим ударами шарнірно закріплених на роторі молотків, після чого подрібнені і не подрібнені зернини направляються до решета, яке встановлено по периферії камери подрібнення. Частина матеріалу просіюється, а частина повертається на повторне подрібнення.

Тому ми пропонуємо удосконалити конструкцію та технологічний процес подрібнювання такої дробарки:

- в якості робочого органу використовуються не шарнірно підвішені молотки, а жорстко встановлені на роторі біла, що мають робочу поверхню повернену на деякий кут відносно поздовжньої осі бил для виключення прямого удару біла по зернівці;

- завантажувати зерно в подрібнюючу камеру не через отвір у верхній частині робочої камери, а через отвір в торцевій стінці;

- після взаємодії з поверхнею бил подрібнений матеріал направляється і розподіляється між периферійним і торцевим решетами.

Провівши графічне моделювання по заданим напрямкам удосконалення було отримано конструкцію дробарки рис. 3.2.

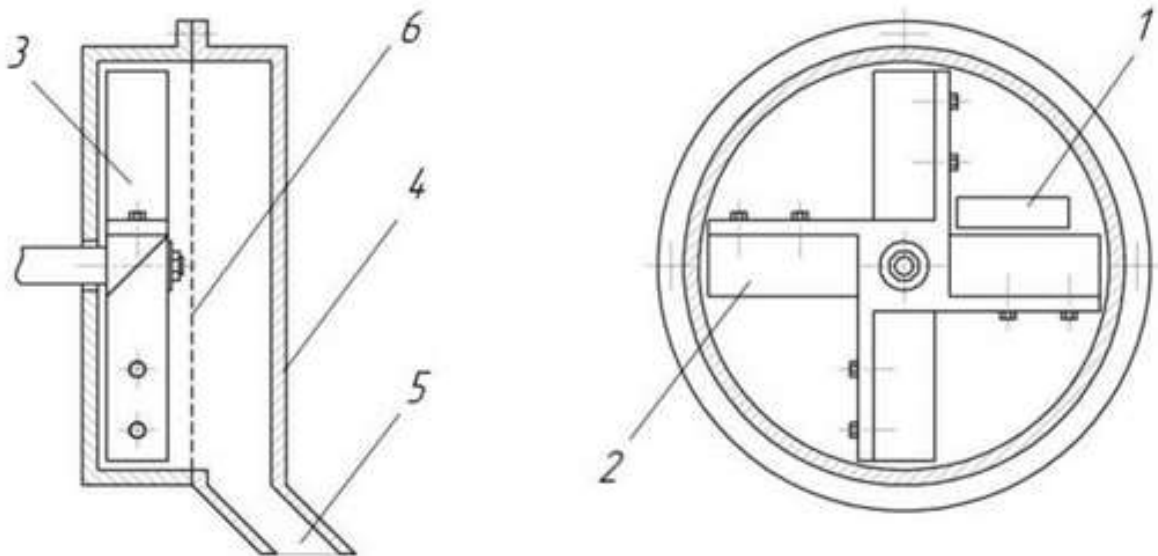


Рисунок 3.2 - Схема дробарки зерна ударно-відбивної дії:
 1 – завантажувальне вікно; 2 - робоча поверхня ротора (била); 3 - ротор з жорстко встановленими билами; 4 – кожух; 5 – вивантажувальне вікно; 6 - торцеве решето.

За рахунок такого вдосконалення скоректується і технологічний процес роботи дробарки із закритим циклом. Запишемо робочий процес враховуючи технологічну схему подану на рис. 3.2.

Удосконалена дробарка працює наступним чином: зерно, що підлягає подрібненню, з бункера (на схемі не показано) через завантажувальне вікно 1 надходить в дробильну камеру, де потрапляє під удари прикріплених обертючих бил 2 до ротора 3, в результаті чого відкидається на протилежну плиту, подрібнюється і відводиться з камери подрібнення через решето 6 і вивантажувальне вікно 5.

3.2 Результати математичного моделювання руху зернини в камері подрібнення дробарки

Для прогнозування надійності конструкції робочих органів удосконаленої дробарки необхідно більш детально розглянути контактну взаємодію зернини, біла і решета. При достатній надійності також повинна бути закладена умова ефективного подрібнення зернини, оптимальної продуктивності і енергозатрат.

Спочатку повинні бути задані: кутова швидкість ротора, коефіцієнт тертя, кутовий коефіцієнт, час і деяке дійсне число.

За допомогою прикладної програми для ПК, виконали розрахунок параметрів руху зернівки по білу в камері подрібнення. Дана програма дозволяє проводити аналіз будь-якого показника, що впливає на її рух і входить в рівняння 2.4. Графічне відображення результатів розрахунків представлено на рисунку 3.3.

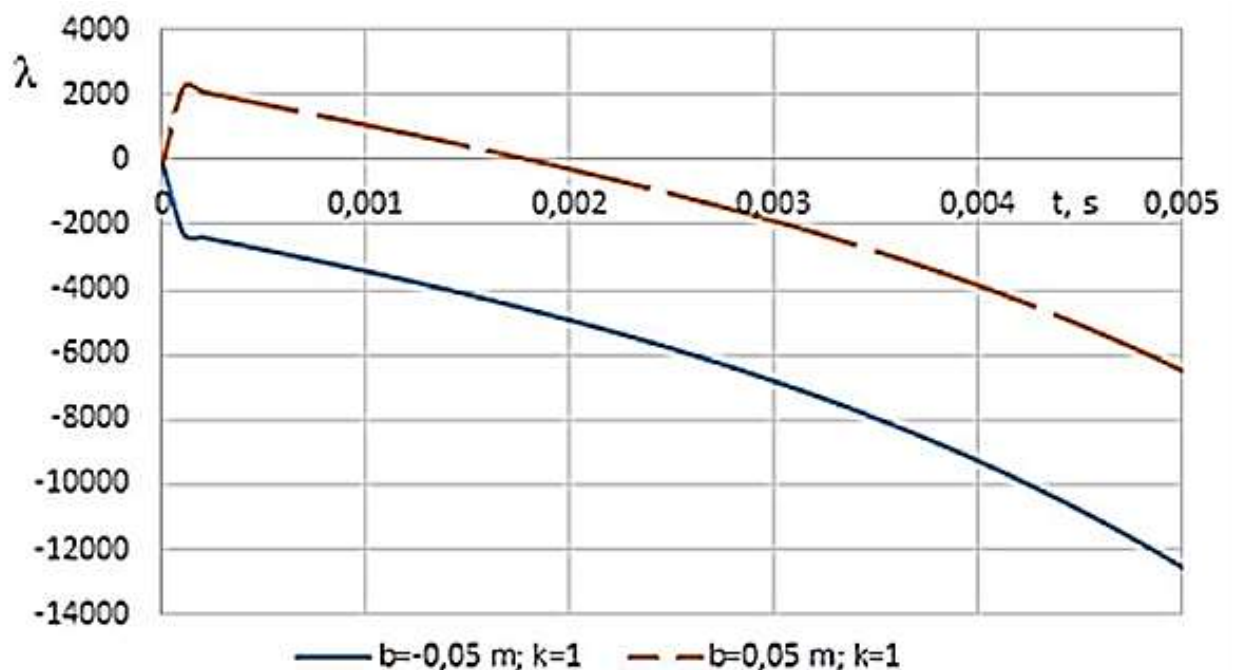


Рисунок 3.3 – Графік зміни невизначеного множника Лагранжа від часу при початковій швидкості $\dot{x} = 0 \text{ м с}^{-1}$

Для дослідження брали число $b = \pm 0,05$ м, раніше зафіксований оптимальний кутовий коефіцієнт (кут нахилу площини) $k = 1$ ($\alpha = 45^\circ$) при кутовій швидкості $\omega = 300 \text{ с}^{-1}$, $\lambda_0 = -100$ і коефіцієнті тертя $f = 0,1$. Дослідження проводили з інтервалом часу $\Delta t = 0,0001$ с. Після підстановки початкових умов в програму отримуємо дійсні значення за часом, що показують положення зернівки, її швидкості, прискорення і множник λ . У нашому випадку зміна множника Лагранжа, що викликає найбільший інтерес, представлена в графічному вигляді (рис. 3.3). При $b = 0,05$ множник λ на першому кроці миттєво змінює знак: був $\lambda_0 = -100$ (це значення не видно, так як крок дуже малий), а потім прийняв значення $\lambda = 2254$. Це говорить про те, що зернівка при ударі об било відразу ж відлітає на решето. Через деякий час крива λ при $b = 0,05$ м (рис. 3.3) перетинає вісь, тобто зернівка притискається і ковзає по неіснуючій поверхні.

Цей рух ми не розглядаємо. При $b = -0,05$ м множник $\lambda = 0$ (рис. 3.3), отже, під дією сили Коріоліса відбувається притиснення зернівки до біла і відбувається проковзування по її поверхні до тих пір поки швидкість частинки не стане переносною. Такий рух викликає нагрівання і спрацювання поверхні бил, особливо при $k < 1$. Розглянуті випадки показують рух зернівки, коли швидкості по осі x немає або вона дуже мала.

При швидкостях $x \geq 8$ м/с зернина рухається з ковзанням в обох випадках $b = \pm 0,05$ м (рис. 2.4). Але виходячи з системи рівнянь (2.11) і рисунка 3.4 при $b = 0,05$ м, спрацювання бил набагато менше.

Таким чином, в результаті проведених досліджень встановлено залежності, що описують відносний рух зернівки по билу ротора при заданих значеннях кутової швидкості, кутовому коефіцієнті площині, коефіцієнті тертя і часу. Встановлено, що при встановленні коефіцієнта b з додатнім або від'ємним знаком можна досягти необхідного ефекту руйнування зернівки з мінімальним спрацюванням бил.

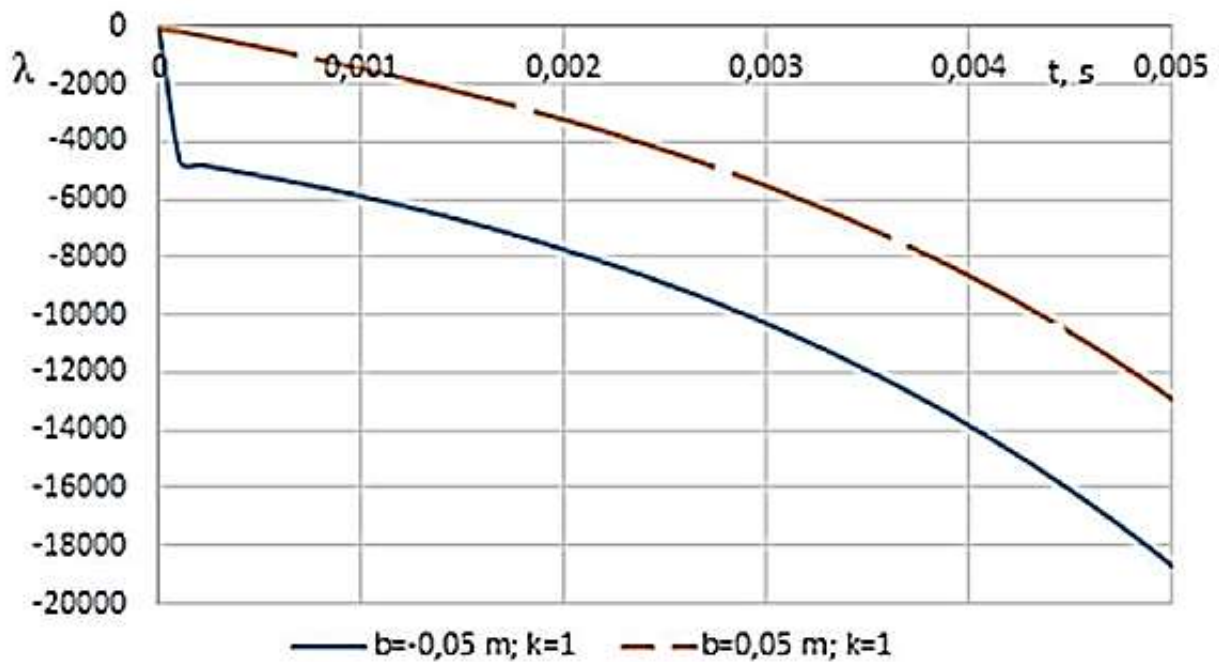


Рисунок 3.4 - Графік зміни невизначеного множника Лагранжа від часу при початковій швидкості $\dot{x} = 8 \text{ м с}^{-1}$

При $b < 0$, коли робоча площа біла знаходиться вище вісі x при $y = 0$, спочатку зернівка ковзає по билу, а руйнування відбувається з ударом об решето або деку. У режимі подрібнення ударом біла, навпаки, приймаємо $b > 0$, що забезпечить руйнування зернівки при ударі об било, а не об решето, з метою меншого спрацювання останнього.

За рівнянням (2.5) визначено характер взаємодії зернівки з билом, а також її швидкісні характеристики і координати сходу з билу при частоті обертання ротора 3000 хв⁻¹, ширині бил 50 мм, і куті бил 45 °.

Порівнюючи розміри периферійного решета (діаметр 250 мм, ширина 50 мм) з координатами руху частинки, можна зробити висновок про вихід її через торцеве або периферійне решето. При x , близького до значення радіуса периферійного решета частка, незалежно від значення b , пролітає через периферійне решето, а при $x = 0$ мм - через торцеве. Граничними значеннями, коли частинка вдаряється в стик периферійного і торцевого решіт, при $b = 25 \text{ мм}$ є $x = 65 \text{ мм}$, при $b = -1 \text{ мм}$ - $x = 73 \text{ мм}$. Таким чином, при симетричному розташуванні завантажувального вікна щодо отриманих

граничних значень величини x кількість частинок, що проходять через периферійне решето, буде дорівнює кількості частинок, що проходять через торцеве решето.

Використовуючи запропоновану методику, за рівняннями (2.8) і (2.9) можна розрахувати траєкторію руху частинки і визначити її місце виходу з камери подрібнення. Рівномірного завантаження торцевого і периферійного решіт можна домогтися, змінюючи кут α нахилу осі ротора, збільшивши тим самим продуктивність дробарки і зменшивши енерговитрати на подрібнення.

3.3 Висновки по розділу 3

1. На підставі аналізу існуючих дробарок зерна і теоретичних досліджень процесу подрібнення удосконалено конструкцію дробарки зерна ударно-відбивної дії.

2. Проведено моделювання руху частинки в камері подрібнення роторної дробарки зерна.

3. Встановлено, що при $b < 0$ спочатку відбувається ковзання зернівки по билу, а руйнування відбувається згодом після удару об решето, а при $b > 0$ забезпечується удар зернівки об било, а не об решето, що забезпечить менше спрацювання останнього.

3. Проведені розрахунки траєкторії руху частинок в робочій камері і визначення місця їх виходу з біла і з робочої камери при заданих параметрах.

4. Визначено умови введення матеріалу, при яких через периферійне і торцеве решета буде проходити однакову кількість подрібненого продукту, що дозволить рівномірно навантажити решета і збільшити пропускну здатність дробарки зерна.

ВИСНОВКИ

1. В результаті проведеного огляду праць, присвячених процесу подрібнення зерна і огляду відповідних конструкцій дробарок, з'ясували, що необхідні подальші дослідження, спрямовані на поліпшення існуючих конструкцій дробарок за рахунок вдосконалення її робочих органів і використання нових або удосконалених процесів подрібнення.

2. На підставі аналізу існуючих дробарок зерна і теоретичних досліджень процесу подрібнення удосконалено конструкцію дробарки зерна ударно-відбивної дії та проведено моделювання руху частинки в камері подрібнення з метою визначення оптимальних конструкційних і технологічних параметрів.

3. Встановлено, що при $b < 0$ спочатку відбувається ковзання зернівки по билу, а руйнування відбувається згодом після удару об решето, а при $b > 0$ забезпечується удар зернівки об било, а не об решето, що забезпечить менше спрацювання останнього.

4. Проведені розрахунки траєкторії руху частинок в робочій камері і визначення місця їх виходу з біла і з робочої камери при заданих параметрах.

5. Визначено умови введення матеріалу, при яких через периферійне і торцеве решета буде проходити однакову кількість подрібненого продукту, що дозволить рівномірно навантажити решета і збільшити пропускну здатність дробарки зерна.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бутковский В. А. Мукомольное производство. – М.: Агропромиздат, 1990. – 382с.
2. Василенко П. М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин / П. М. Василенко. К.: УСХА, 1960. – 216 с.
3. Войтюк Д. Г. Сільськогосподарські машини: підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] / Д. Г. Войтюк, Г.Р. Гаврилюк. - К.: Урожай, 1994. - 448 с
4. Демидов П. Г. Технология комбикормового производства. М. : Колос, 1968. 224 с.
5. ГОСТ 9268-90. Комбикорма-концентраты для крупного рогатого скота. Технические условия. Чинний від 01.02.2002. М. : Изд-во стандартов, 1991. 10 с. (Межгосударственный стандарт).
6. ГОСТ 13496.8-72. Комбикорма. Методы определения крупности размола и содержания неразмолотых семян культурных и дикорастущих растений. Чинний від 04.04.2011. М. : Стандартиформ, 2011. 4 с. (Межгосударственный стандарт).
7. Дацишин О. В. і ін., Машини та обладнання переробних виробництв. – Навчальний посібник – К.: Вища освіта, 2005. – 159 с.
8. ДСТУ 4508: 2005. Комбікорми-концентрати для свиней. Технічні умови. Чинний від 01.01. 2008. К. : Держспоживстандарт України, 2005. 15 с.
9. Душинський В. В. Основи наукових досліджень. Теорія та практикум з програмним забезпеченням: навчальний посібник / В. В. Душинський. К.: НТУУ “КПІ”, 1998. – 408 с.
10. Елисеев, В. А. Влияние числа молотков на работу молотковой дробилки / В. А. Елисеев, А. М. Тарасенко // Улучшение эксплуатации машиннотракторного парка, совершенствование конструкции и ремонта сельскохозяйственной техники: Науч. тр. – Воронеж, 1974. – Т. 62. – С. 130-133.

11. Завод «Ротор»: [Электронный ресурс]. URL: <http://apzrotor.ru/> (дата звернення: 1.10.2020).
12. Завод «Електромаш»: [Електронний ресурс]. URL: <https://www.biz300.ru/> (дата звернення: 1.10.2020).
13. Комаристов В. Е. Сельскохозяйственные машины / В. Е. Комаристов, Н. Ф. Дунай. М. : Колос, 1984. 478 с.
14. Кузнецов Ю. М. Теорія технічних систем / Ю. М. Кузнецов, І. В. Луців, С. А. Дубиняк. – Київ-Тернопіль, 1997 – 310 с.
15. Мельников С. В. Моделирование рабочего процесса молотковой кормодробилки. Записки ЛСХИ. Л., 1968. Вып. 1. Т. 119. 113 с.
16. Оборудование для комбикормового производства // Комбикорма. – 2005. – № 8. – С. 32-33.
17. Патент на корисну модель 81122, Україна, МПК В02С 7/06, В02С 18/06, А01F 29/00, В02С 13/00. Електроподрібнювач / Хачатрян Арцрун Робертович; замовники і патентовласники ТОВ «СОВЕК». – № u201214028; заявл. 10.12.2012; Опубл. 25.06.2013, Бюл. № 12.
18. Пік А. І. Динамічна модель взаємодії частинок сипкого вантажу між собою та з робочими поверхнями машин / А. І. Пік, О. Р. Рогатинська, О. В. Дудін // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. – Харків, 2004. Вип. 24. С. 120-127.
19. Подпряттов Г. І. Технологія обробки, переробки зерна та виготовлення хлібопекарської продукції. К. : НАУ, 2000. 126 с.
20. Проектування сільськогосподарських машин: навч. посіб. / [Бендера І.М., Рудь А.В., Козій Я.В. та ін.] ; за ред. І.М. Бендери, А.В. Рудя, Я.В. Козія. – Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин О.В., 2011. – 640 с.
21. Ревенко И. И. Распределение перерабатываемого материала в камере измельчителя молотковой дробилки. Тракторы и сельхозмашины. 1987. №7. С. 24 – 26.
22. Савченко В. М. Розробка молотків кормодробарок з локальним зносостійким покриттям: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11 / Василь

Миколайович Савченко ; Кіровоградський національний технічний університет.
Кіровоград, 2008. 20 с.

23. Сыроватка, В. И. Машинные технологии приготовления комбикормов в хозяйствах / В. И. Сыроватка. – М.: ВНИИМЖ, 2010. – 248 с.

24. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: Підручник / Д.Г. Войтюк, та ін.; За ред. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2005.-464 с.

25. Технологічне обладнання зернопереробних та олійних виробництв: Навч. посібник / Дацишин О. В., Ткачук А. І., Гвоздев О. В., Ялпачик Ф. Ю, Гвоздев В. О.; за ред. О. В. Дацишина. Вінниця: Нова Книга, 2009. 488 с.