

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

Кваліфікаційна робота  
на правах рукопису

СТЕПАНЮК МИКОЛА ВЯЧЕСЛАВОВИЧ

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

УДК 631.363.2

(індекс)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**Підвищення ефективності процесу подрібнення зерна шляхом**

(тема роботи)

**вдосконалення робочих органів дробарки**

**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

М.В. Степанюк

(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

Степанюк М. В. Підвищення ефективності процесу подрібнення зерна шляхом вдосконалення робочих органів дробарки. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

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

У роботі розглянуто основні типи машин для подрібнення зернового матеріалу, проаналізували переваги та недоліки таких конструктивних рішень, вказали на перспективи розвитку запропонованих конструктивних рішень. Удосконалено схему молоткової дробарки зерна для приготування комбікормів з встановленням дек по колу в між молотковий простір, що забезпечить інтенсифікацію процесу подрібнення, дозволяє максимально використовувати робочу поверхню елементів дробильної камери для максимальної ефективності процесу. Отримані аналітичні залежності для визначення оптимальних параметрів удосконаленої конструкції дробарки.

Ключові слова: зерно, подрібнення, дробарка, робоча камера, дека, продуктивність, інтенсифікація процесу подрібнення, енергозатрати.

## ANNOTATION

Stepanyuk M. Improving the efficiency of the grain grinding process by improving the working bodies of the crusher. - 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 main types of machines for grinding grain material are considered in the work, the advantages and disadvantages of such constructive decisions are analyzed, the prospects of development of the offered constructive decisions are pointed out. Improved the scheme of the hammer grain crusher for the preparation of feed with the installation of decks in a circle between the hammer space, which will intensify the grinding process, allows maximum use of the working surface of the crushing chamber elements for maximum process efficiency. Analytical dependences are obtained to determine the optimal parameters of the improved crusher design.

Key words: grain, grinding, crusher, working chamber, deck, productivity, intensification of grinding process, energy consumption.

## ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	2
ЗМІСТ.....	3
ВСТУП.....	4
1. РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПИТАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	7
1.1 Аналіз конструкцій зернових дробарок.....	7
1.2 Завдання наукових досліджень.....	12
2. РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ ЗЕРНА МОЛОТКОВОЮ ДРОБАРКОЮ.....	13
2.1 Обґрунтування питомої площі робочих органів дробарки.....	13
2.2 Визначення витрат потужності на тертя і вентиляцію у молотковій дробарці.....	15
2.3 Дослідження взаємодії робочих органів дробарки з частинкою, що подрібнюється.....	17
2.4 Висновки по розділу 2.....	20
3. РОЗДІЛ 3 РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	21
3.1 3.1 Результати досліджень питомої площі робочих органів дробарки .....	21
3.2 Результати визначення витрат потужності на тертя і вентиляцію у молотковій дробарці.....	23
3.3 Висновки по розділу 3.....	24
ВИСНОВКИ.....	25
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	26

## ВСТУП

**Актуальність теми дослідження.** Для сучасних умов розвитку тваринницької галузі зростає потреба в високоякісних кормах. Особливе місце в раціонах тварин займають зернові інгредієнти, які являються концентрованими джерелами поживних і біологічно активних речовин. Згодовування повнораціонного комбікорму, збалансованого по основних елементах живлення, мікроелементів і вітамінів, на 25-30% ефективніше за один конкретний вид корму, приготовленого з однієї культури, що забезпечить стабільний приріст у тварин, підвищиться продуктивність з мінімальними витратами кормів на одиницю одержуваної продукції[2-7, 9-10, 21].

В даний час серед аграріїв тваринницької спеціалізації найбільшого поширення набула технологія виробництва комбікормів безпосередньо в господарствах за допомогою малогабаритних комбікормових агрегатів. Даний спосіб організації кормовиробництва дозволяє максимально використовувати власну кормову базу, ресурси місцевих товаровиробників, значно знизити витрати на транспортування, з'являється можливість зміни рецептури комбікорму і його добової потреби. Крім цього, їм характерна менша метало- та енергоємність і порівняно швидка окупність. Все це говорить про економічну доцільність застосування малогабаритних комбікормових агрегатів[7,9,10,14].

Процес приготування комбікормів неможливий без виконання ряду операцій пов'язаних з підготовкою до переробки та подрібненням сировинних інгредієнтів [2-7,9-10,14,17]. Значний вплив на якість готового продукту має процес подрібнення вихідної сировини. Це сама енергоємна і трудомістка операція, що регламентується вимогами ДСТУ і зоотехнічними рекомендаціями, і за середньостатистичними даними становить близько 60% від загальних затрат праці в кормоприготуванні [1-5,8-11,].

Метою подрібнення є отримання рівномірного гранулометричного складу вихідного продукту, який впливає як на якість подальшого процесу змішування, так і на ступінь засвоєння корму організмом тварин.

Наймасовішою конструкцією дробарок, для подрібнення зернових та зернобобових культур, які представлені на ринку і користуються попитом у фермерів та невеликих індивідуальних господарств є молоткові дробарки [1,7-10,12-19,21-23]. Вони прості за будовою і в експлуатації, але при подрібненні компонентів комбікорму отримуємо продукт, в якому є різні частинки за гранулометричним складом, що є негативним явищем. Це відбувається тому, що обладнання, яке використовується на сьогоднішній день не в повній мірі задовольняє сучасним вимогам кормовиробників по енергоефективності та якості вихідної продукції.

На основі вищевказаного, актуальним питанням є вдосконалення робочого процесу молоткової дробарки, яка дозволяє отримати якісний вихідний матеріал за гранулометричним складом при зниженні енерговитрат на процес подрібнення.

**Мета дослідження.** Метою кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності процесу подрібнення зерна молотковою дробаркою за рахунок обґрунтування і оптимізації параметрів та конструкції робочих органів дробильної камери.

**Завдання дослідження:**

1. Удосконалити схему молоткової дробарки зерна, що дозволяє підвищити площу робочих органів дробильної камери.
2. Теоретично обґрунтувати питому площу робочих органів дробарки, їх взаємодію з повітряним потоком і матеріалом, що подрібнюється.
3. Дослідити вплив конструктивних чинників і режимів роботи молоткової дробарки на показники процесу подрібнення.

**Об'єкт дослідження** - робочий процес подрібнення зерна в молотковій дробарці і її конструктивні елементи дробильної камери.

**Предмет дослідження** - закономірності впливу конструкційних параметрів і режимів роботи молоткової дробарки на ефективність процесу подрібнення зерна.

**Методологія і методи дослідження.** Теоретичні дослідження виконані з використанням відомих положень законів теоретичної механіки, загальних положень теорії тертя і деформування пружних матеріалів, диференціального та інтегрального числення. 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. Оптимальні значення конструктивно-режимних параметрів дробарки з кільцевими деками.

2. Схема молоткової дробарки, що дозволяє проектувати нові і модернізувати існуючі дробарки для отримання готового продукту необхідної якості з меншими енерговитратами.

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 28 сторінках машинописного тексту і містить 13 рисунків, 1 таблицю, список використаної літератури з 25 найменувань.

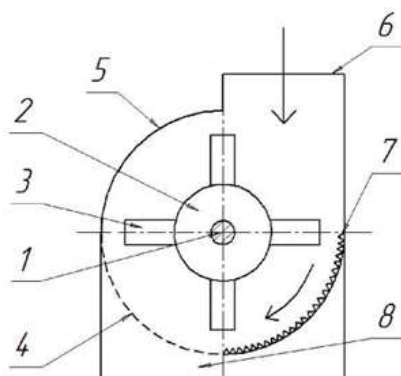
## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ ПИТАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 1.1 Аналіз конструкцій зернових дробарок

Молоткові зернодробарки є універсальними подрібнювальними машинами, так як, на них можна подрібнювати будь-які компоненти, що використовуються для приготування комбікормів[1,7-10,12-19,21-23].

Типова молоткова дробарка (рис 1.1) містить корпус 5 завантажувальну 6 і вивантажувальну 8 горловини, молотковий ротор 2 з робочими елементами у вигляді молотків 3, деки 7 і сепаруючу поверхню 4, яка в більшості випадків виконана у вигляді перфорованого решета.



**Рисунок 1.1 - Загальна схема молоткової дробарки:** 1 - вал; 2 - молотковий ротор; 3 - молоток; 4 - решето; 5 - корпус; 6 - завантажувальна горловина; 7 - дека; 8 - вивантажувальна горловина

Конструктивно-технологічні схеми молоткових дробарок найбільш повно відповідають вимогам до дробильних машин: вільне вивантаження матеріалу, захист від поломок при попаданні сторонніх предметів, що не піддаються подрібненню, просте регулювання розміру частинок готового продукту [1,7-10,12-19,21-23].

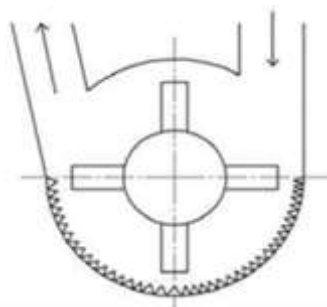
Молоткові дробарки прості за конструктивним виконанням, надійні при експлуатації, компактні, універсальні до переробки зернових з різними фізико-

механічними властивостями, високі швидкості робочих органів дозволяють здійснювати пряме з'єднання вала ротора з електродвигуном[1,7-10,12-19,21-25].

Всі ці переваги дають можливість широкого застосування молоткових дробарок в усіх галузях, а в технології подрібнення фуражного зерна для приготування комбікормів вони є основними машинами.

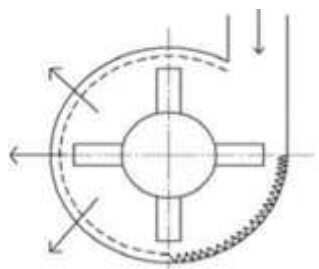
Технологічний процес подрібнення здійснюється наступним чином. Зерно через завантажувальну горловину потрапляючи в дробильну камеру, починає рухатись по колу. Кругові рухи відбуваються через взаємодію зернівки з молотками барабана. Від первинних ударів молотків зерно відкидається на периферію, але остаточно не руйнується. Інтенсивне подрібнення матеріалу відбувається шляхом багаторазових ударів молотків по зернівці і її стиранню об поверхні дек і решето [1,7-10,12-19,21-23].

На рисунках 1.2-1.5 представлені схеми чотирьох основних конструкцій молоткових дробарок, що використовуються для виробництва комбікорму.



**Рисунок 1.2. Схема дробарки відкритого типу**

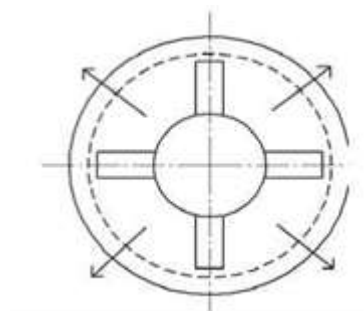
Подрібнювальне зерно потрапляє до робочої камери через завантажувальну горловину, подрібнюється тільки за рахунок прямого удару, і не роблячи повного оберту, виходить через вивантажувальне вікно. В дробильній камері відсутні решета.



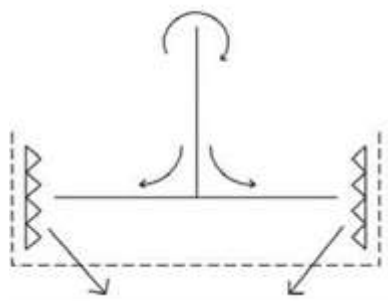
**Рисунок 1.3 Схема дробарки закритого типу**



Зерновий матеріал рухається в подрібнювальній камері по колу, інтенсивно подрібнюється між молотками, деком і решетом. Розміри частинок відповідні розмірам вічок решета і просіюючись через які виходять на зовні. Пропускна здатність такої конструкції обмежена сепаруючою поверхнею решета, внаслідок цього, готовий продукт містить великий відсоток пилоподібної фракції.



**Рисунок 1.4** Схема молоткової дробарки, яка містить дробильну камеру, що складається з ротора з молотками і решета, що охоплює барабан по периферії у вигляді кільця. Дана дробарка відноситься до дробарки закритого типу.

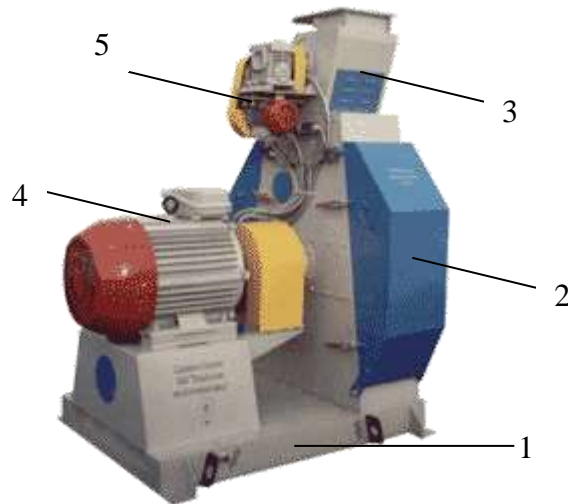


**Рисунок 1.5** Схема молоткової дробарка відцентрової дії.

Дана дробарка працює наступним чином: Зерно потрапляючи до дробильної камери піддається відцентровій силі і рухається до периферії робочої камери. Відцентрова сила утворюється внаслідок колових рухів ротора з молотками, що ударяють по частинці, яка подрібнюється і створеного робочого потоку повітря з частинками матеріалу. Молотки ротора захоплюють і розганяють робочий потік в обертальний рух, надаючи їм додаткову енергію для подрібнення об деки. Після чого матеріал повертається в робочу зону, де подрібнюється до певного розміру, після чого видаляється через решета.

Решета розташовані як по периферії дробильної камери, так і в торцевих поверхнях, що дозволяє прискорити відділення подрібненого продукту, не допускаючи перетворення його в пилоподібну фракцію.

Аналіз конструкцій молоткових дробарок закритого типу, що нам пропонують заводи виробники, для прикладу, виконаємо на основі конструкцій машин, що представлені на рисунках 1.6-1.7.[21-23]



**Рисунок 1.6 Молоткова дробарка А-1-ДМ2Р-22:** 1 - станина; 2 - подрібнювальна камера; 3 - живильник; 4 - електродвигун; 5 – пульт керування.

Дробарка молоткова вертикальна призначена для подрібнення зерна злакових, плівчастих, бобових культур, кукурудзи, зерноsumішей, шроту, дрібно кускового жмиху та інших видів сировини, крім мінеральних, на підприємствах комбикормової промисловості [23].

ВАТ «Хорольський механічний завод» виробляє і реалізує різні види молоткових дробарок, як для індивідуального виробництва комбикормів А-1-ДМ2Р-22 з встановленою потужністю до 45 кВт і продуктивністю залежно від фракції (2,3,4) в межах 2-7 т/год., так і для комбикормових заводів А-1-ДМ2Р-55, А-1-ДМ2Р-75, А-1-ДМ2Р-110, А-1-ДМ2Р-160 з встановленою потужністю від 6 до 110 кВт і продуктивністю залежно від фракції (2,3,4) в межах 2-20 т/год[23].

Категорія виготовлення 3 ГОСТ 15150 в кліматичному виконанні. «У» для внутрішнього ринку та експорту в країни з помірним кліматом, «Т» в країни з тропічним кліматом[23].

Для налаштування процесу подрібнення на відповідну фракцію (4,3,2) необхідно[23]:

4 - установка в машину сит з отворами діаметром 6 мм і комбінацією сит з отворами діаметром 6 та 8 мм;

3 - установка сит з отворами діаметром 5 мм;

2 - установка сит з отворами діаметром 3 мм.

Підвищення вологості знижує продуктивність машини. Так, при збільшенні вологості до 20% продуктивність знижується на 30%[23].

Принцип роботи аналогічний принципу роботи дробарки закритого циклу, що описаний вище.

NEUERO провідний виробник подрібнювальної техніки для виробництва комбікормів в Німеччині пропонує споживачам зернову дробарку(рис. 1.7 а) в якій робочими органами є також молотки (рис 1.7.б) [22].



**Рисунок 1.7. Молоткова дробарка зерна RVO 853:** 1 - станина; 2 – вивантажувальне вікно; 3 - подрібнювальна камера; 4 - електродвигун; 5 – живильник.

Як видно з рисунків 1.6 – 1.7 принципової відмінності між цими конструкціями не має.

Але з аналізу технічних характеристик такого виду конструкцій можна зробити висновок, що для молоткових дробарок характерні велика витрата електроенергії, велика частка пилоподібних фракцій і швидке спрацювання деталей дробарки - молотків, решіт, дек[1,7-10,12-19,21-23].

В результаті огляду науково-технічної літератури були виділено такі основні напрямки розвитку конструкцій молоткових дробарок:

- збільшення питомої площі решіт дозволяє збільшити продуктивність дробарки з одноріднішим фракційним складом подрібнювального продукту;
- покращенню технологічного процесу з меншими енергозатратами, сприяє встановлення решета у вигляді кілець з торців дробильної камери, а дека розташовані на периферії дробильного ротора.

Дане рішення також дозволяє зменшити спрацювання решета і підвищити якість одержуваних продуктів.

## **1.2 Завдання наукових досліджень**

В результаті проведеного огляду і аналізу літературних джерел, конструктивних і технологічних схем, що розкривають питання процесу подрібнення зерна молотковими дробарками, прийшли до висновку, що необхідні подальші дослідження, спрямовані на вдосконалення конструктивних параметрів і режимів роботи молоткової дробарки закритого типу. Основною вимогою є зниження питомої енергоємності процесу подрібнення, збільшення пропускної здатності дробарок і підвищення якості готового продукту.

Відповідно до вищевикладеного, запишемо завдання наукових досліджень:

1. Удосконалити схему молоткової дробарки, що дозволяє збільшити площу робочих органів дробильної камери.
2. Теоретично обґрунтувати питому площу робочих органів дробарки, їх взаємодія з повітряним потоком і матеріалом, що подрібнюється.

## РОЗДІЛ 2

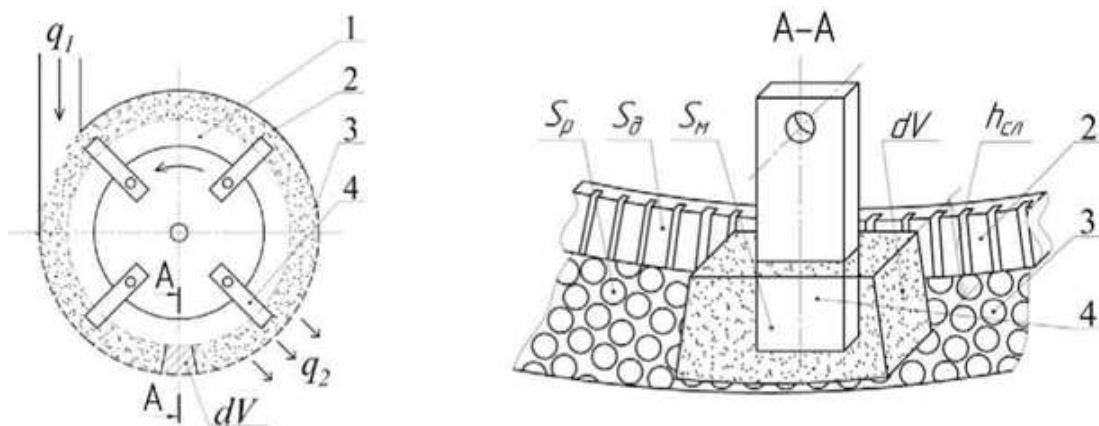
### ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ ЗЕРНА МОЛОТКОВОЮ ДРОБАРКОЮ

#### 2.1 Обґрунтування питомої площі робочих органів дробарки

Наймасовішою конструкцією дробарок, для подрібнення зернових та зернобобових культур, які представлені на ринку і користуються попитом у фермерів та невеликих індивідуальних господарств є молоткові дробарки закритого типу[1,7-10,12-19,21-23]. Тому для дослідження процесу подрібнення зерна, визначення конструкційних залежностей, енергоємності розглянемо саме таку конструкцію дробарки.

Для проведення теоретичних досліджень[25], щодо вдосконалення робочого процесу подрібнення зерна представлено робочу схему молоткової дробарки закритого типу(рис.2.1) і на основі даної схеми можемо записати аналітичні залежності робочого процесу, що дозволяють визначити оптимальні значення конструктивних параметрів робочих органів та режимів роботи дробарки.

В процесі подрібнення беруть участь такі робочі органи: молотки, дека, решета, робоча поверхня (поверхня, що впливає на подрібнювальний матеріал) яких для виділеного об'єму  $dV$  (рис 2.1) дорівнює  $dS$ .



**Рис. 2.1 - Схема молоткової дробарки закритого типу: 1 - дробильна камера; 2 - дека; 3 - решето; 4 - молоток**

Диференціальне рівняння для сталого процесу запишеться:

$$dm = \chi \cdot S_{II} \cdot dV, \quad (2.1)$$

де  $m$  - поточна кількість готового продукту, що утворюється в процесі впливу поверхні робочих органів на подрібнювальний матеріал, кг/с;

$\chi$  - інтенсивність подрібнення, кг/(с·м<sup>2</sup>);  $S_{II}$  - площа поверхні робочих органів на одиницю об'єму повітряно-продуктивного шару, м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>;

$dV$  - елементарний об'єм повітряно-продуктивного шару, м<sup>3</sup>.

Питома площа робочих органів дробарки визначиться:

$$S_{II} = \frac{S_m + S_d + S_p}{V_{III}}, \quad (2.2)$$

де  $S_m$  - сумарна площа завантаженої частини молотків, м<sup>2</sup>;

$S_d$  - площа дек, м<sup>2</sup>;

$S_p$  - площа решета, м<sup>2</sup>;

$V_{III}$  - об'єм повітряно-продуктивного шару, м<sup>3</sup>.

Питома площа робочих органів дробарки  $S_{II}$ , що бере участь в процесі подрібнення зерна за рахунок первинних ударів активними елементами - молотками, сумарна площа яких становить  $S_m$ , і вторинних ударів об пасивні робочі органи - деки і решето, площа яких відповідно рівні  $S_d$  і  $S_p$ , залежить від ряду чинників:

$$S_{II} = \frac{q_1 \cdot F_y \cdot z \cdot n \cdot \tau \cdot \rho \cdot \mu_3 \cdot v_{\text{сд}}^2}{2 \cdot k \cdot M_3 \cdot [C_1 \lg \lambda^3 + C_2 (\lambda - 1)]}, \quad (2.3)$$

де  $q_1$  - подача вихідного матеріалу, кг/с;

$F_y$  - частка готового продукту при подрібненні циркулюючого шару;

$z$  - число молотків ротора, шт.;

$n$  - частота обертання, с<sup>-1</sup>;

$\tau$  - час перебування матеріалу в дробильній камері, с;

$\rho$  - щільність матеріалу, що подрібнюється, кг/м<sup>3</sup>;

$\mu_3$  - масова частка матеріалу в повітряно-продуктивному шарі, кг/кг;

$v_{\text{вд}}$  - швидкість молотків щодо шару, м/с;

$k$  - константа швидкості подрібнення, кг/(с·м<sup>2</sup>);

$M_3$  - кількість матеріалу в дробильній камері в масових одиницях, кг;

$C_1, C_2$  - емпіричні коефіцієнти, що характеризують питомі енерговитрати подрібнення матеріалу, Дж/кг;

$\lambda$  - ступінь подрібнення.

## 2.2 Визначення витрат потужності на тертя і вентиляцію у молотковій дробарці

Енергоємність робочого процесу дробарки залежить від взаємодії повітряного потоку з поверхнями робочих органів дробильної камери. Для визначення основних показників енергоємності процесу подрібнення скористаємось схемою молоткової дробарки закритого типу (рисунок 2.2).

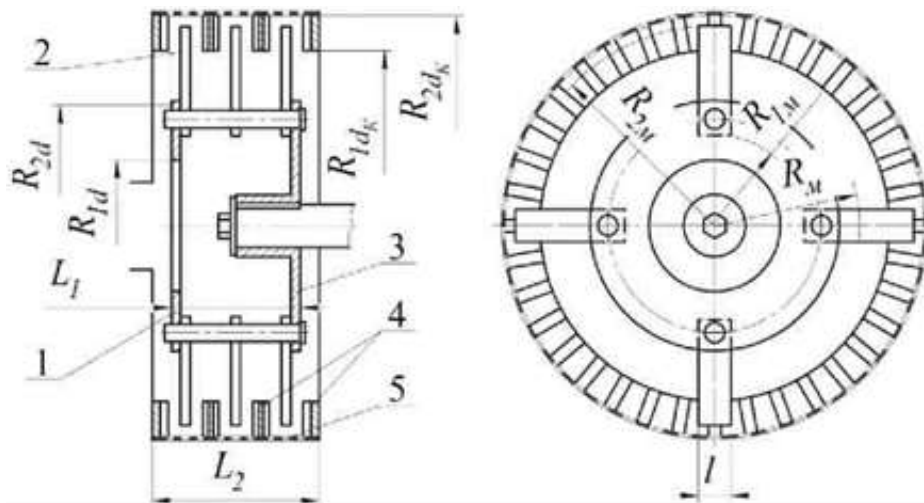


Рисунок 2.2 – Розрахункова схема молоткової дробарки:

1 - фіксуючий диск; 2 - молоток; 3 - диск основний; 4 – деко; 5 – решето.

У робочій зоні такого типу дробарок утворюється кільцевий повітряно-продуктовий шар, що переміщається в напрямку обертання молоткового ротора зі швидкістю, що становить 40...50% колової швидкості молотків [3].

Тому для ефективного виконання процесу подрібнення необхідно уповільнити рухомий потік продукту, що збільшить відносну швидкість робочих органів. Домогтися цього можливо шляхом створення нових пасивних робочих поверхонь - дек, за рахунок такого конструкційного виконання збільшується контактна взаємодія матеріалу, що подрібнюється з органами дробарки[1,7-10,12-19,21-23].

Характер формування рухомого повітряно-продуктового шару залежить також від тертя і вентиляції по поверхні активних і пасивних робочих органів дробильної камери. За даними [1,8,11,19] витрата потужності на холостий хід становить 15...20% від потужності, що витрачається безпосередньо на подрібнення матеріалу.

Для теоретичного розгляду розділимо втрати енергії на тертя в камері подрібнення на три складові. Перша складова пов'язана з втратами енергії на тертя повітря по поверхні дисків. Друга - втрати енергії на тертя повітря безпосередньо по поверхні молотків і третя - втрати енергії на тертя повітря по поверхні пасивних робочих органів (дек).

Вираз для визначення витрат потужності на тертя і вентиляцію в режимі холостого ходу молоткової дробарки запишеться:

$$P_{mp.в} = v \left[ 2\pi\rho\xi d\omega_p^3 \frac{(2R_{2d}^5 - R_{1d}^5)}{5} + kL_1\rho\xi_{2m}\omega_p^3 \frac{(R_{2m}^4 - R_{2d}^4)}{8} + kL_2\rho\xi_{1m}\omega_p^3 \frac{(R_{2d}^4 - R_{1m}^4)}{8} + 2\pi\rho\xi d_k\omega_p^3 \frac{(R_{2dk}^5 - R_{1dk}^5)}{5} \right], \quad (2.4)$$

де -  $v$  - коефіцієнт, що враховує збільшення витрат енергії в залежності від завантаження дробарки;

$\rho$  - щільність повітря, кг/м<sup>3</sup>;

$\xi_d, \xi_m, \xi_{dk}$  - коефіцієнти опору повітря по дисках, молотках і кільцевих деках;

$\omega_p$  - розрахункова відносна частота обертання повітряного потоку, рад/с;

$R_{2d}, R_{1d}$  - зовнішній і внутрішній радіуси фіксуєчого диска, м;

$k$  - число пакетів молотків;



$L_1$  і  $L_2$  - відповідно, довжини робочого колеса і дробильної камери, м;

$R_{2m}, R_l$  - радіуси зовнішніх і внутрішніх кінців молотків, м;

$R_{ldk}$  і  $R_{2dk}$  – мінімальний і максимальний радіуси дек, м.

### 2.3. Дослідження взаємодії робочих органів дробарки з частинкою, що подрібнюється

Для дослідження взаємодії робочих органів молоткової дробарки із зерновим матеріалом приймаємо такі наближення: зернівка, що подрібнюється, має правильну кулеподібну форму, робоча кромка молотка і дека це площина, а удар молотка по зернівці - пружний.

Оскільки маса молотка  $M$  набагато більша за масу частинки  $m$  ( $M \gg m$ ), за систему відліку координат слід приймати «систему молотка» (рисунок 2.3).

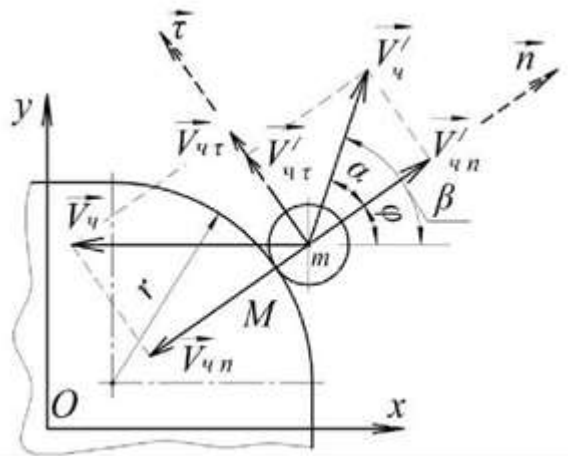


Рисунок 2.3 – Момент удару заокругленої кромки молотка і частинки зернівки

Тоді відносна швидкість  $V_g$  підльоту частки до поверхні молотка визначається за формулою:

$$V_g = |V_m| - |V_g|, \quad (2.5)$$

де  $|V_m|$ ,  $|V_g|$  – модулі швидкостей молотка і частинки зернівки, що подрібнюється відповідно, м/с.

Визначимо нормальну  $V'_{чн}$  і тангенціальну  $V'_{чт}$  складові швидкості відскоку подрібнювальної зернівки (або її частинки)  $V'_q$  від поверхні молотка з врахуванням сил тертя з наступних рівнянь 2.5, 2.6:

$$V'_{чн} = k \cdot V_{чн} = k \cdot V_g \cdot \cos \varphi, \quad (2.5)$$

$$V'_{чт} = V_{чт} - (1+k) \cdot f \cdot V_{чн} = V_g \cdot [\operatorname{tg} \varphi - (1+k) \cdot f] \cdot \cos \varphi, \quad (2.6)$$

де  $k$  – коефіцієнт відновлення швидкості після удару;

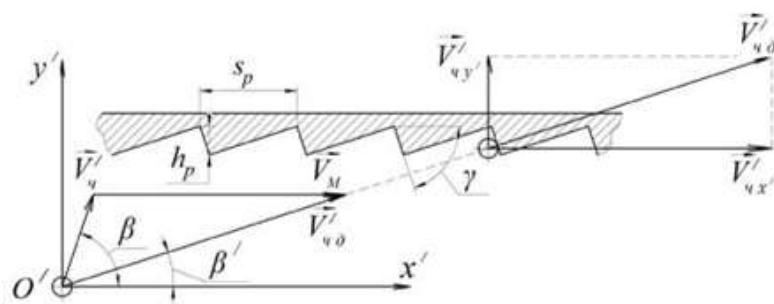
$\varphi$  – кут падіння частинки на кромку молотка;

$f$  – коефіцієнт тертя подрібнювального матеріалу по поверхні молотка.

Модуль швидкості відльоту частки від кромки молотка дорівнює:

$$|V'_q| = \sqrt{V'^2_{чн} + V'^2_{чт}} = V_g \cdot \sqrt{k^2 + [\operatorname{tg} \varphi - (1+k) \cdot f]^2} \cdot \cos \varphi, \quad (2.7)$$

Досліджуємо взаємодію подрібнювальної зернівки і неактивного робочого органу дробарки - дека в системі  $x'O'y'$  на прикладі рисунка 2.4, враховуючи що кут відскоку частинки від поверхні молотка дорівнює  $\beta = \varphi + \alpha$ .



**Рисунок 2.4 – Схема взаємодії зернівки з робочою поверхнею деки**

Тоді швидкість частинки  $V'_{чд}$  після удару молотка в проекціях на вісь  $x'$  і  $y'$  визначимо з рівнянь (2.8 і 2):

$$V'_{чx'} = V'_m + V'_q \cdot \cos \beta, \quad (2.8)$$

$$V'_{чы'} = V'_q \cdot \sin \beta, \quad (2.9)$$

Визначимо кут траєкторії руху частинки  $\beta'$  до дека з формулою:

$$\beta' = \arctg \frac{V'_{cy'}}{V'_{cx'}}, \quad (2.9)$$

Визначимо крок рифів на деці  $s_p$  враховуючи кут траєкторії руху частинки  $\beta'$  до дека, кут нахилу робочої поверхні рифа дека  $\gamma$  відносно торцевої стінки камери дробарки за формулою:

$$s_p = \frac{h_p \cdot \sin [180 - (\beta' + \gamma)]}{\sin \beta' \cdot \sin \gamma}, \quad (2.10)$$

де  $h_p$  – висота рифа деки, м.

На основі проведених розрахунків, при заданих значеннях параметрів  $V_m = 60 \dots 80$  м/с,  $k = 0,4$  і  $f = 0,37$  визначаємо швидкість і кути траєкторії руху частинки від моменту удару її молотком і до контакту з робочою поверхнею деки  $\beta' = 6 \dots 13^\circ$ . Також розраховані геометричні параметри поверхонь дек, що розташовані по колу в між молотковому просторі: кут нахилу робочої поверхні рифа деки  $\gamma = 90^\circ - \beta' = 90 - (6 \dots 13^\circ) = 77 \dots 84^\circ$  і крок рифів  $s_p$ , який і визначає кількість рифів на кільцевих деках з. Результати розрахунку кроку рифів, залежно від їх висоти і кута траєкторії руху частинки від поверхні молотка до поверхні дека подані в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

### Розрахунок кроку рифів на деках

Висота рифів дека $h_p$ , мм	3	4	5	6	7	8
Крок рифів дека $s_p$ , мм	14	18	23	27	32	36

## 2.4 Висновки по розділу 2.

Проведені теоретичні дослідження дозволять визначати конструкційні параметри такого типу дробарок на стадії проектування, що дозволить зекономити час і кошти на проведення безлічі додаткових експлуатаційних випробувань.

1. Також під час проведення теоретичних досліджень було записано залежності для визначення: питомої площі робочих органів молоткової дробарки; витрат потужності на тертя і вентиляцію в режимі холостого ходу; крок рифів на деці, що дозволить встановити найоптимальніші конструкційно-режимні параметри роботи.

2. Досліджено, що установка дек по колу в між молотковому просторі забезпечить гальмуючі умови повітряно-зерновому потоку, що збільшить вірогідність зіткнення зернівок з робочими органами дробарки, а це в свою чергу сприяє інтенсифікації процесу подрібнення. Хоча слід відмітити про збільшення енергетичних затрат за рахунок збільшення сил тертя повітряного потоку об пасивні робочі органи.

3. При найбільшому куті траєкторії руху частинки від поверхні молотка до поверхні дека  $\beta'$ , яке становить  $6...13^\circ$ , кут робочої грані рифа деки  $\gamma$  відносно торця стінки робочої камери зернодробарки повинен знаходитись в межах  $77...84^\circ$ .

## РОЗДІЛ 3

### РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### **3.1 Результати досліджень питомої площі робочих органів дробарки**

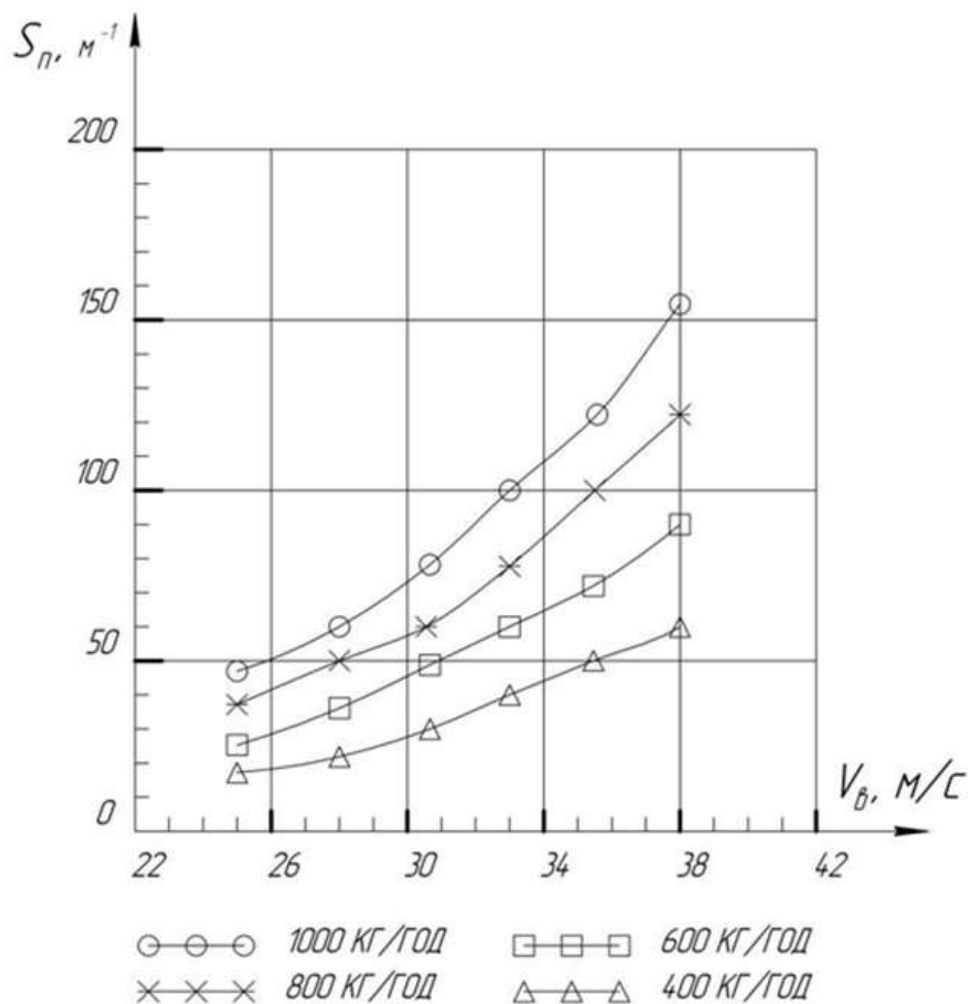
На основі проведеного інформаційного пошуку та проведених теоретичних дослідженнях була запропонована удосконалена схема молоткової дробарки закритого типу. Принцип роботи подібний принципу роботи дробарки закритого циклу, що описаний в розділі 1. Особливою відмінністю є удосконалення базової конструкції встановленням додаткових дек у між молотковий простір для інтенсифікації процесу подрібнення. Тому уточнимо технологічний процес подрібнення враховуючи наше удосконалення і схеми за рис 2.1. і 2.2.

Зерновий матеріал, що надходить на подрібнення (зерно) через завантажувальну горловину надходить в робочу(дробильну) камеру 1, де молотковим ротором 4 відбувається перший етап подрібнення деяких зернівок, далі подрібнені і не подрібнені частинки отримавши кінетичну енергію від молотків рухаються до периферії і ударяються об рифи дека 2 і решето 3. Ударяючись об дека і решета частинки уповільнюють свою швидкість, але коли їхні траєкторія руху перетинається з траєкторією руху молотків ротора знову відбувається удар останнього об частинку і процес повторюється до тих пір поки не сформується певні розміри частинок які зможуть пройти через отвори решета. При сталому процесі по всій внутрішній поверхні робочої камери утворюється повітряно-зерновий шар матеріалу, що рухається по колу, а подрібнені і не подрібнені частинки постійно перемішуються. Від постійної взаємодії зернівки з поверхнями молотка, ребрами дека і решетами відбувається процес подрібнення. Готовий продукт виводиться із дробильної камери через решето 3, до вивантажувальної горловини.

Для переходу від схеми дробарки до фізичної моделі нам необхідно записати результати теоретичних досліджень у вигляді множин і їх залежностей

у графічному відображенні, щоб на основі їх аналізу можна було визначити найкращі варіанти для конкретного виробничого завдання.

На основі рівняння 2.2 і 2.3 була побудована графічна залежність (рисунок 3.1) питомої площі робочих органів молоткової дробарки зерна від зміни швидкості взаємодії робочої поверхні молотків з матеріалом, що подрібнюється і пропускною здатністю при заданих конструкційних параметрах дробарки. В розрахунках приймаємо: довжина робочої камери  $L = 0,105$  м, Поперечний переріз робочої камери (діаметральний переріз)  $S_d = 0,0462$  м<sup>2</sup>, Площа вихідного решета  $S_p = 0,145$  м<sup>2</sup>.



**Рисунок 3.1 – Графічна залежність питомої площі робочих органів дробарки  $S_n$  від зміни відносної швидкості молотків  $V_{в}$  і пропускної здатності дробарки**

Питома площа робочих органів дробарки  $S_n$ , що безпосередньо виконують процес подрібнення зерна поділяється на площу активних  $S_m$  (робоча поверхня молотків) і площу пасивних робочих поверхонь деки  $S_d$  і решета  $S_p$ , і їх величина залежить від ряду чинників. Основними з них є: механіко-технологічні і фізичні властивості матеріалу, що подрібнюється, вид подрібнювальної поверхні параметрів машини і режиму роботи.

### 3.2 Результати визначення витрат потужності на тертя і вентиляцію у молотковій дробарці

На рисунку 3.2 представлені розраховані за рівнянням (1) значення потужності холостого ходу дробарки при зміні площ кільцевих дек (змінюючи ширину кільця  $B$ ) і швидкості обертання молотків.

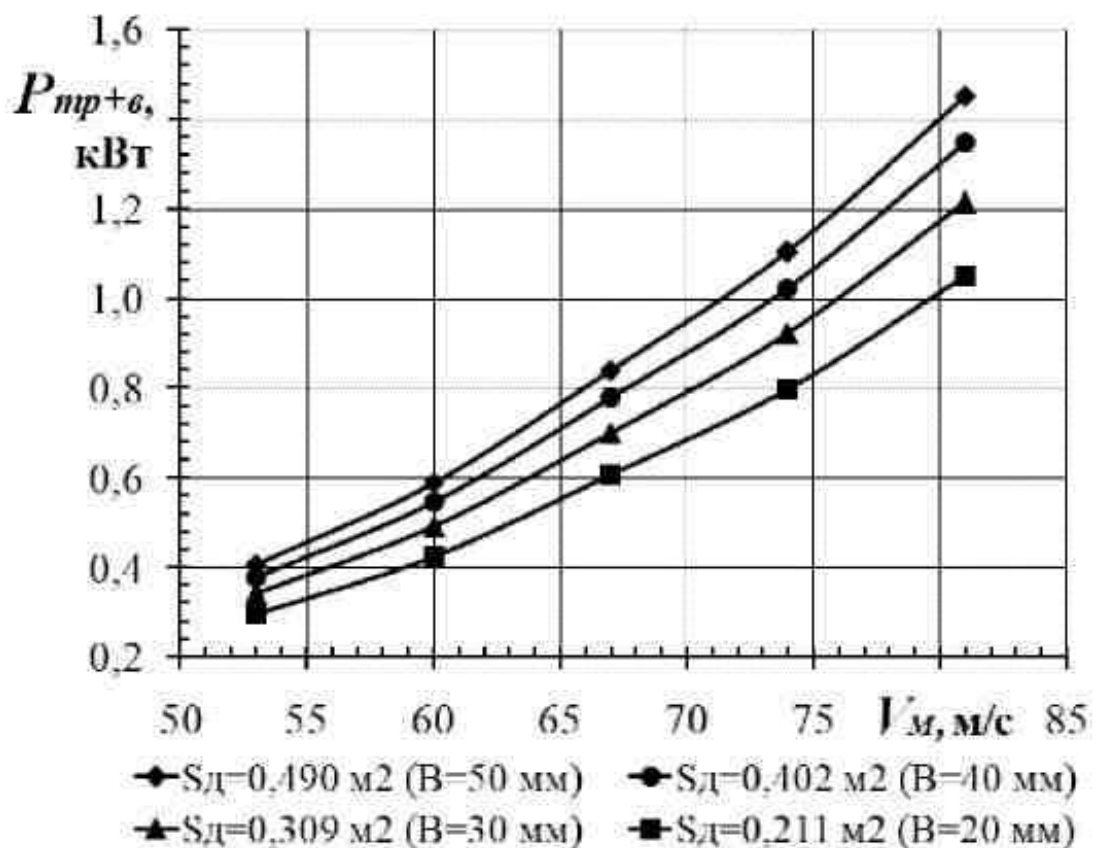


Рисунок 3.2 - Залежність витрат потужності на тертя і вентиляцію від зміни швидкості молотків ( $V_m$ ) і площі кільцевих дек  $S_d$ .

При збільшенні значень факторів зростають і показники потужності. В результаті установки кільцевих дек між молотками дробильної камери призводить до збільшення енерговитрат на тертя повітряного потоку об пасивні робочі органи, що говорить про створення гальмуючого ефекту на частинки, що подрібнюються.

В наших теоретичних дослідженнях приймаємо поправочний коефіцієнт  $\epsilon=1 \dots 1,8$ , а коефіцієнт опору  $\xi_d = 0,028$ .

Аналізуючи графічні залежності рис. 3.2 слід відмітити, що витрати потужності збільшуються із збільшенням величини впливу вищеописаних факторів, а установка кільцевих дек між молотками дозволяє підвищити інтенсивність подрібнення, збільшуючи тим самим вірогідність зіткнення часток матеріалу, що подрібнюються з робочими поверхнями дробильної камери.

### **3.3 Висновки по розділу 3**

1. На основі систематизації пошукових досліджень, та проведені власних теоретичних дослідженнях була удосконалена схема молоткової дробарки закритого типу та уточнено технологічний процес роботи для удосконаленої конструкції.

2. Питома площа робочих органів дробарки  $S_n$ , і їх величина залежить від механіко технологічних і фізичних властивостей матеріалу, що подрібнюється, виду подрібнювальної поверхні параметрів машини і технологічного режиму роботи.

3. В результаті установки кільцевих дек між молотками дробильної камери збільшуються енерговитрати на тертя повітряного потоку об пасивні робочі органи, що говорить про створення гальмуючого ефекту на частинки, що подрібнюються, а це в свою чергу підвищує інтенсифікацію процесу подрібнення.



## ВИСНОВКИ

1. Удосконалено схему молоткової дробарки зерна для приготування комбікормів з встановленням дек по колу в між молотковий простір, що дозволяє максимально використовувати робочу поверхню елементів дробильної камери для максимальної ефективності процесу та продуктивності конструкції в цілому.

2. Отримані аналітичні залежності для визначення оптимальних конструкційних параметрів:

- питомої площі робочих органів молоткової дробарки;
- витрати потужності на тертя і вентиляцію в режимі холостого ходу;
- крок рифів на деці.

3. Досліджено, що установка дек по колу в між молотковому просторі забезпечить гальмуючі умови повітряно-зерновому потоку, що збільшить вірогідність зіткнення зернівок з робочими органами дробарки, а це в свою чергу сприяє інтенсифікації процесу подрібнення. Хоча слід відмітити про збільшення енергетичних затрат за рахунок збільшення сил тертя повітряного потоку об пасивні робочі органи.

4. При куті траєкторії руху частинки від поверхні молотка до поверхні дека  $\beta'$ , який становить  $6...13^\circ$ , кут робочої грані рифа деки  $\gamma$  відносно торця стінки робочої камери зернодробарки знаходиться в межах  $77...84^\circ$ .

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Алешкин В.Р. Повышение эффективности процесса и технических средств механизации измельчения кормов : дис....д-ра техн. наук. – Киров, 1995. - 412 с.
2. 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).
3. 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).
4. ДСТУ 4508: 2005. Комбікорми-концентрати для свиней. Технічні умови. Чинний від 01.01. 2008. К. : Держспоживстандарт України, 2005. 15 с.
5. ДСТУ 4120-2002. Комбікорми повнораціонні для сільськогосподарської птиці. Технічні умови. Чинний від 01.04.2003. К. : Держспоживстандарт України, 2003. 16 с. (Національний стандарт України).
6. Єгоров Б. В., Давиденко Т. М. Вдосконалення підготовки концентрованих кормів при виробництві повноцінних комбікормів для сільськогосподарських тварин. Корми і кормовиробництво: міжвідомчий тематичний науковий збірник Ін-ту кормів УААН. Вінниця, 2008. Вип. 61. С. 135 – 140.
7. Кравчук В. І., Луценко М. М., Мечта М. П. Прогресивні технології заготівлі, приготування і роздавання кормів: науково-практичний посібник / – Київ : Фенікс, 2008. – 104 с.
8. Макаров А. П. Исследование технологического процесса измельчения фуражного зерна в молотковых дробинках. Научн. тр. ВИЭСХ. М. : Колос, 1964. Т. XIV. С. 66 – 88.
9. Машини та обладнання для тваринництва. Підручник: / І. І. Ревенко, М. В. Брагінець, В.С. Хмельовський і інші;. – К.: ЦП «Компринт», – 2018. –567 с.

10. Машины та обладнання для тваринництва. Том 1./О.А. Науменко, І.Г. Бойко, О.В. Нанка; за ред. І.Г. Бойко. – Х.: 2006. – 225 с..
11. Мельников С.В., Кирпичников Ф.С. Расход энергии на создание воздушного потока ротором дробилки // - Л.-Пушкин, Записки ЛСХИ. - 1976. - Т. 290. - С.16-24.
12. Мельников С. В. Моделирование рабочего процесса молотковой кормодробилки. Записки ЛСХИ. Л., 1968. Вып. 1. Т. 119. 113 с.
13. Новицький А. В. Підвищення безвідказності кормодробарок конструкторсько-технологічними методами на основі структурного аналізу їх надійності: дис. ... кандидата технічних наук: 05.05.11 / Новицький Андрій Валентинович; Національний аграрний університет. Київ, 2001. 190 с.
14. Оборудование для комбикормового производства // Комбикорма. – 2005. – № 8. – С. 32-33.
15. Подпратов Г. І. Технологія обробки, переробки зерна та виготовлення хлібопекарської продукції. К. : НАУ, 2000. 126 с.
16. 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.
17. Сыроватка В. И., Рыжов С. Оборудование и технические средства для приготовления комбикормов. Комбикормовая промышленность. 1997. №5. С.
18. 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.
19. Шпиганович Т. О., Ялпачик О. В. Дробарка прямого удара з системою сепарування зерна та продуктів подрібнення. Техніка і технологія АПК : науково-виробничий журнал. К., 2011. №12 (27). С. 7 – 10.
20. Ялпачик О. В., Самойчук К. О., Буденко С. Ф. Моделювання процесів у робочій камері пальцевої зернової дробарки. Процеси і апарати харчових виробництв. К.: Наукові праці НУХТ, 2015. Т.1. С. 134 – 141.

21. <https://artmash.ua/article/prigotovlenie-kombikorma-kak-obespechit-odnorodnost-smeshivaniya-premiksov-bmvd> (дата звернення: 1.10.2020).
22. <https://neuro-ukraine.all.biz/uk/molotkova-drobarka-zerna-rvo-853-made-in-germany-g3731237> (дата звернення: 1.10.2020).
23. <https://mehzavod.com.ua/ua/catalog/drobilki-molotkovye/a1-dm2r-v/> (дата звернення: 1.10.2020).
24. [https://mehzavod.com.ua/Materials/%D0%A5%D0%90%D0%98/%D0%97%D0%B2%D1%82\\_%D0%B4%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%B0%D1%80%D0%BA%D0%B0\\_22%D0%9F.pdf](https://mehzavod.com.ua/Materials/%D0%A5%D0%90%D0%98/%D0%97%D0%B2%D1%82_%D0%B4%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%B0%D1%80%D0%BA%D0%B0_22%D0%9F.pdf) (дата звернення: 1.10.2020).
25. [https://uapatents.com/3-22533-drobarka-udarno-di.html](https://uapatents.com/3-22533-drobarka-udarno-di.html "База патентів України") >Дробарка ударної дії</a> (дата звернення: 1.10.2020).