

**ДНШПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет**

Кафедра інжинірингу технічних систем

**Пояснювальна записка**

до дипломної роботи

освітнього ступеня «Магістр» на тему:

**Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів  
роторного подрібнювача зерна**

**Виконав:** студент 2 курсу, групи МгАІ-1-21

за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

\_\_\_\_\_ Коба Дмитро Олександрович

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Дудін Володимир Юрійович

**Рецензент:** \_\_\_\_\_ Садченко Роман Вікторович

Дніпро 2022

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ  
АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем  
Освітній ступінь: «Магістр»  
Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

ІТС

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Дудін В.Ю.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Коба Дмитро Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів роторного подрібнювача зерна

керівник роботи Дудін Володимир Юрійович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від  
«18» жовтня 2022 року № 3008

2. Строк подання студентом роботи 12.12.2022 р.

3. Вихідні дані до роботи Аналіз стану питання процесів та обладнання для приготування комбікормів, зокрема подрібнювачів. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз стану питання. 2. Теоретичні дослідження подрібнювача. 3. Лабораторні дослідження процесу. 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 5. Економічна оцінка розробленої дробарки. Загальні висновки. Бібліографічний список

## 5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Мета і задачі досліджень. Аналіз (2 аркуші, А4). 2. Теоретичні дослідження (2 аркуші, А4). 3. Експериментальні дослідження (2 аркуші, А4). 4. Охорона праці (1 аркуш, А4). 5. Економічні показники (1 аркуш, А4). 6. Висновки (1 аркуш, А4)

## 6. Консультанти розділів роботи

| Розділ        | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|---------------|---|----------------|------------------|
|               |   | завдання видав | завдання прийняв |
| 1             | Дудін В.Ю., доцент                        |                |                  |
| 2             | Дудін В.Ю., доцент                        |                |                  |
| 3             | Дудін В.Ю., доцент                        |                |                  |
| 4             | Деркач О.Д., доцент                       |                |                  |
| 5             | Вініченко І.І., професор                  |                |                  |
| Нормоконтроль | Мельянцов П.Т., доцент                    |                |                  |
|               |   |                |                  |

7. Дата видачі завдання: 18.10.2022 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

| № з/п | Назва етапів дипломної роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|-------------------------------|-------------------------------|----------|
| 1     | Аналітичний (оглядовий)       | до 01.10.2022 р.              |          |
| 2     | Теоретичний                   | до 20.10.2022 р.              |          |
| 3     | Експериментальний             | до 09.11.2022 р.              |          |
| 4     | Охорона праці                 | до 19.11.2022 р.              |          |
| 5     | Економічний                   | до 26.11.2022 р.              |          |
| 6     | Демонстраційна частина        | до 30.11.2022 р.              |          |
|       |                               |                               |          |
|       |                               |                               |          |
|       |                               |                               |          |

Студент

\_\_\_\_\_

( підпис )

Коба Д.О.

( прізвище та ініціали )

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

( підпис )

Дудін В.Ю.

( прізвище та ініціали )



|               |                 |          |            |           |                                       |                   |            |             |
|---------------|-----------------|----------|------------|-----------|---------------------------------------|-------------------|------------|-------------|
|               |                 |          |            |           |                                       |                   |            |             |
|               |                 |          |            |           |                                       |                   |            |             |
|               |                 |          |            |           |                                       |                   |            |             |
|               |                 |          |            |           |                                       |                   |            |             |
|               |                 |          |            |           | <i>46ДР012.000.000РД</i>              |                   |            |             |
| <i>З</i>      | <i>Арк.</i>     | <i>№</i> | <i>Під</i> | <i>Да</i> |                                       |                   |            |             |
| <i>Розроб</i> | <i>Коба</i>     |          |            |           | <i>Відомість дипломної<br/>роботи</i> | <i>літер</i>      | <i>арк</i> | <i>арку</i> |
| <i>Переві</i> | <i>Дудін</i>    |          |            |           |                                       |                   | <i>3</i>   | <i>79</i>   |
| <i>Т.</i>     |                 |          |            |           |                                       | <i>МГАІ-1-21,</i> |            |             |
| <i>Н.</i>     | <i>Мельянцо</i> |          |            |           |                                       | <i>ДДАЕУ</i>      |            |             |
| <i>Затвер</i> | <i>Дудін</i>    |          |            |           |                                       |                   |            |             |

### АНОТАЦІЯ

Коба Д.О. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів роторного подрібнювача зерна /Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» – ДДАЕУ, Дніпро, 2022.

У цій роботі представлено огляд та аналіз подрібнювача фуражного зерна та його робочого органу, а також дослідницький статус процесу подрібнення. У розділі 2 розглянуто конструктивно-технічну схему нового подрібнювача фуражного зерна з комбінованим робочим органом, вплив фізико-механічних властивостей продукту та вплив конструктивно-технічних параметрів подрібнювача на питомі енерговитрати. Цей розділ пояснює. Виявлено процес подрібнення зерна.

Третій розділ присвячений розробці програм та методик експериментальних досліджень та аналізу їх результатів. Вивчено структуру подрібнювача з погляду охорони праці. Завершено економічне обґрунтування розробки. Зроблено висновки та складено список використаної літератури.

**Ключові слова:** фуражне зерно, подрібнення, зазор, валець, енергоємність.

## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| Вступ  | 7  |
| 1 Аналіз стану питання   | 9  |
| 1.1 Подрібнення фуражного зерна у с.-г. виробництві                      | 9  |
| 1.2 Способи впливу на матеріал при подрібненні                           | 14 |
| 1.3 Короткий огляд існуючих видів подрібнювачів                          | 18 |
| 1.4 Висновки   | 20 |
| 2 Теоретичні дослідження подрібнювача                                    | 30 |
| 2.1 Обґрунтування конструкційної схеми                                   | 30 |
| 2.2 Удосконалення технологічного процесу подрібнення                     | 31 |
| 2.3 Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів<br>подрібнювача | 35 |
| 2.3 Висновки   | 50 |
| 3 Лабораторні дослідження процесу  | 51 |

|  |    |
|--|----|
|  | 6  |
| 3.1 Програма та методика   | 51 |
| 3.2 Результати досліджень  | 55 |
| 3.3 Висновки   | 59 |
| 4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях                                    | 61 |
| 4.1 Загальні визначення та поняття   | 61 |
| 4.2 Шкідливі та небезпечні виробничі фактори   | 61 |
| 4.3 Заходи по забезпеченню захисту оператора від дії шкідливих та небезпечних факторів | 63 |
| 4.4 Правила безпечного виконання робіт при подрібненні зерна                           | 66 |
| 4.5 Порядок дій у надзвичайних ситуаціях   | 68 |
| 4.6 Висновки   | 69 |
| 5 Економічна оцінка розробленої дробарки   | 70 |
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ  | 74 |
| БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК   | 76 |
| ДОДАТКИ  |    |

## ВСТУП

Стратегічним напрямком розвитку агропромислового комплексу країни є стабільне виробництво продукції тваринництва, у структурі собівартості якої на частку кормів припадає понад 60% загальних витрат. Однією з основних операцій підготовки кормів до згодовування є подрібнення зернових матеріалів. На його здійснення припадає до 75% енергетичних та 45% трудових витрат. Відсутність цілих і недоподрібнених частинок, низький вміст пилоподібних фракцій та вирівняний гранулометричний склад подрібненого зернового матеріалу не тільки забезпечують підвищення продуктивності тварин, а й критерієм оцінки ефективності роботи подрібнювальних пристроїв.

В даний час в лініях приготування кормів широко використовуються молоткові та ударно-відцентрові дробарки та подрібнювачі, які забезпечують заданий ступінь подрібнення та модуль помелу зернових матеріалів залежно від виду та вікової категорії тварин та птахів. Але при їх роботі вміст пилоподібної фракції збільшується до 30% при тонкому помелі, а недоподрібненою до 20% при грубому, що знижує якість готового продукту та підвищує питому енергоємність процесу подрібнення.

Таким чином, підвищення ефективності процесу подрібнення зернових матеріалів за рахунок вдосконалення технічних засобів його реалізації та



методів оцінки якості подрібнення готового продукту представляє практичний інтерес, а тема наукового дослідження є актуальною.

Незважаючи на застосування різних машин та велику кількість досліджень процесу подрібнення вони не повною мірою забезпечують виконання зоотехнічних вимог та недостатньо точно відображають вирівняність гранулометричного складу подрібнених зернових матеріалів.

Об'єкт дослідження – процес подрібнення зернових матеріалів у горизонтальній роторній дробарці.

Предмет дослідження – закономірності процесу подрібнення зернових матеріалів у горизонтальній роторній дробарці.

Мета дослідження – підвищення ефективності процесу подрібнення зернових матеріалів у горизонтальній роторній дробарці з обґрунтуванням її конструктивних параметрів та режимів роботи.

Завдання досліджень:

- на основі досліджень, виявити основні напрямки вдосконалення процесу подрібнення кормового зерна, обґрунтувати конструктивно-технологічну схему горизонтальної роторної дробарки;
- теоретично дослідити процес подрібнення зернових матеріалів у горизонтальній роторній дробарці;
- експериментально дослідити вплив конструктивно-режимних параметрів дробарки та фізико-механічних властивостей матеріалу на якісні та енергетичні показники, визначити їх раціональні значення;
- оцінити техніко-економічну ефективність горизонтальної роторної дробарки.

## **1 Аналіз стану питання**

### **1.1 Подрібнення фуражного зерна у с.-г. виробництві**

З кожним роком розвиток світової науки та техніки дозволяє отримувати все більші обсяги продукції, як рослинного, і тваринного походження. Це накладає певні передумови розвитку аграрного сектору і в нашій країні, яка має досить високі показники вирощування зернових культур.

Агропромисловий комплекс, що включає сільське господарство та харчову промисловість, одним із підрозділів якої є виробництво кормів для тварин, - найважливіший сектор економіки. Для зміцнення та розвитку галузі тваринництва необхідно створення міцної кормової бази, що неможливе без переробки (подрібнення) зернових матеріалів. Годування займає 60 - 70% собівартості продукції, а подрібнення є одним із найбільш енергоємних процесів при виробництві кормів і споживає до 70% електроенергії, що витрачається на весь технологічний процес.

Подрібнення відоме з найдавніших часів: пест і ступка з каменю застосовувалися за 8 тисяч років до нашої ери, а ручні млинові жорна за 3 тисячі років до н. Загалом процес подрібнення являє собою зменшення

розмірів частинок твердого тіла до необхідних розмірів шляхом механічного дії.

За оцінками багатьох фахівців це один із найбільш енерговитратних процесів на Землі і щорічно на його здійснення витрачається до 10% усієї вироблюваної електроенергії. Це пояснюється тим, що даний технологічний процес у тій чи іншій формі використовується у будь-якому виробництві: від виготовлення взуття (різання шкіри) до зведення висотних будівель (виготовлення цементу). Подрібнення використовується в хімічній, гірничодобувній, медичній, будівельній, комп'ютерній, сільськогосподарській та багатьох інших сферах діяльності. Як і будь-який інший технологічний процес подрібнення змінюється разом з технічним та науковим прогресом, використання автоматизованих механізованих машин під керуванням людини або ЕОМ приходять на заміну старим методам та підходам до здійснення того чи іншого технологічного процесу.

Однак удосконалення обладнання тягне за собою і низку інших проблем, які дедалі більше посилюються з кожним роком і пов'язані з перевитратою енергетичних ресурсів, зростанням населення, вичерпанням матеріалів, як для виготовлення машин, так і сировини для переробки у них.

Постійно зростають вимоги до якості подрібнення. Рівномірність гранулометричного складу, відсутність некондиційних фракцій у готовому продукті дозволяють судити про досконалість робочого процесу, що протікає в машинах, що подрібнюють. У зв'язку з цим на перший план виходять питання підвищення ефективності пристроїв, що використовуються для подрібнення різних продуктів. У той самий час традиційні подрібнюючі машини що неспроможні забезпечити подальше докорінне вдосконалення цього процесу.

До основних кормових матеріалів рослинного походження відносяться: грубі (сіно, солома), соковиті (силос, коренеклубнеплоди, баштанні культури), зелені (трави, бадилля), концентровані (зерно, комбікорм, відходи харчових промислових підприємств - макухи, шрот, сухий жом і ін). Велике значення

мають підживлення: мінеральні (крейда, сіль та ін.), вітамінні, а також спеціальні збагачувальні суміші (премікси) для комбікормів, що включають себе поруч із біологічно активними речовинами, мікроелементи (мідь, залізо, кобальт та інших.).

Щоб забезпечити краще поїдання кормів усі поживні речовини, що входять до їх складу, треба давати тваринам у найбільш засвоюваному вигляді. Розрізняють механічні, теплові, хімічні та біологічні способи приготування та підготовки кормів до згодовування. Основними операціями приготування комбікормів для тварин є очищення, подрібнення, дозування та змішування. Подрібнення створює умови для всіх наступних технологічних операцій.

Для того щоб зрозуміти яке місце займає подрібнення зернових матеріалів у сучасному сільськогосподарському виробництві, що характеризується великою кількістю різних технологічних процесів розглянемо деякі з відомих схем їх класифікації.

Згідно [5], налічується 40 основних технологічних процесів у сільськогосподарському виробництві. Аналіз такого їх різноманіття показує, що більшість з них включають ряд умовно більш простих і частково повторюваних тих самих технологічних процесів. Виходячи з [6], запропоновано існуючі в даний час технологічні процеси об'єднати в 5 груп та подати ключовими процесами. Виділення технологічних процесів у відповідну групу здійснюється за функціональною ознакою. Функціональна ознака (або призначення) є головним критерієм та визначальним параметром, який необхідно досягти або одержати в кінці цього процесу.

З іншого боку, ряд технологічних процесів у тваринництві має велику схожість між собою, але практично вони реалізовані по-різному. Це накладає суб'єктивні передумови у вирішенні питання реалізації технологічної операції.

Виходячи з розглянутих класифікацій та описаного вище зрозуміло, що процес подрібнення зернових матеріалів, є найбільш затребуваним і незамінним у тваринництві, найбільш трудомістким, енерговитратним та

відноситься до ключового процесу поділу матеріалів на частини. На рис. 1.1 представлено займане їм місце у різноманітті технологічних процесів сільського господарства.

Оскільки процес подрібнення є зменшенням розмірів вихідного продукту до необхідних розмірів шляхом механічного впливу дробленням, плющенням, помолом та іншими способами, він супроводжується збільшенням кількості частинок вихідного матеріалу, що необхідно для зміни якості білка, руйнування крохмалю до засвоюваних речовин, підвищення загальної поживності зерна.

В результаті подрібнення зернових матеріалів утворюється безліч частинок з високорозвиненою поверхнею, що сприяє прискоренню процесів травлення та підвищує засвоюваність поживних речовин, та зумовлено вимогами фізіології годування тварин.

У птахівництві поживні корми становлять 80 - 95% від усіх застосовуваних, а отже вимоги до корму ще вищі. При цьому концентровані корми в раціонах великої рогатої худоби за поживністю становлять 25 - 60%, свиней та птиці – до 80 – 95%.

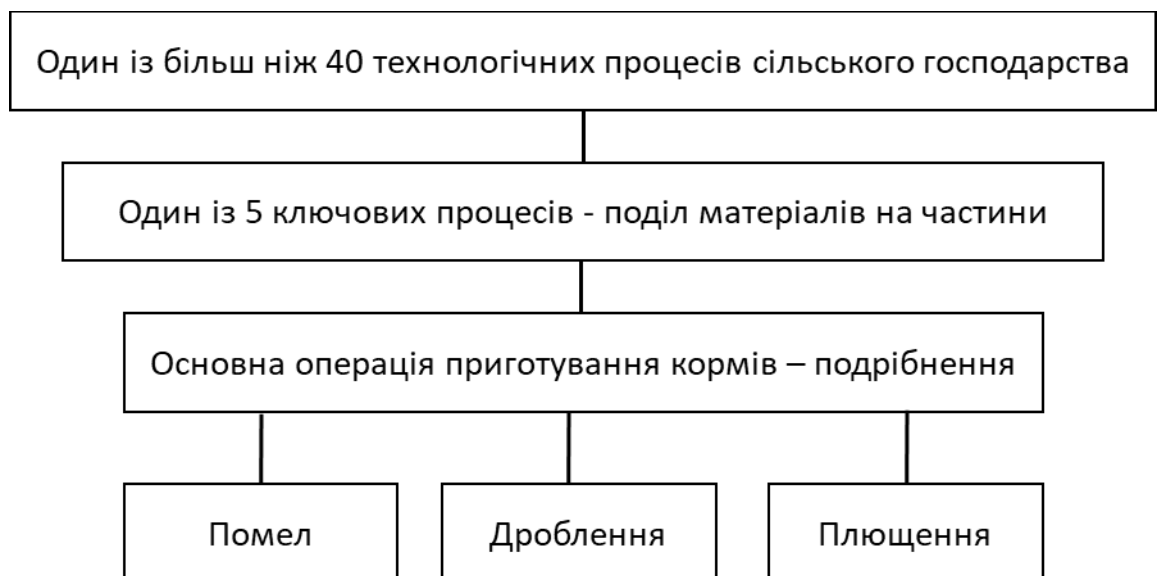


Рисунок 1.1 - Подрібнення у схемі технологічних процесів сільського господарства

Наукою та практикою годівлі тварин та птиці встановлено, що ефективність комбікормів залежить не тільки від збалансованості його по поживному складу, виду та віку тварин, а й від великої кількості частинок комбікормів.

В даний час існують як різні дослідження, так і міжнародні норми, що рекомендують і регулюють відповідно якість, крупність, поживність та інші властивості кормів, що готуються.

На початку нового століття Канзаським державним університетом у США було проведено багато досліджень вивчення питання впливу розміру кормових частинок зміну продуктивності свиней. Було виявлено, що молоді свині, на відміну від свиней на дорощуванні та відгодівлі, краще пережовують корм. Найкращою групою тварин для отримання корму більш тонкого помелу є таким чином свині на відгодівлі. Ефективність корму покращується внаслідок покращення засвоюваності поживних речовин. При цьому середньодобовий приріст тварин від скорочення розміру частинок корми не страждає. Як правило, зменшення розміру частинок скорочує споживання корму. Тим не менш, оптимальним є розмір частинок 500 - 700 мікрон.

У свиней, які отримували зернову частину корму, подрібнену до часток розміром 500 мікрон, ефективність корму підвищилася на 6% на відміну свиней, що споживали зерна з розміром частинок 900 мікрон. З іншого боку, при скорочення розміру частинок подрібненого зерна (наприклад, з 700 до 500 мікронів) знижується продуктивність виробництва корму.

При ухваленні рішення про оптимальному розмірі частинок корму потрібно знайти компроміс між покращенням засвоюваності корму та зниженням продуктивності заводу.

На думку дослідників Канзаського університету, оптимальним розміром зернової частинки корму є розмір 700 мікрон (0,7 мм), при якому досягається баланс продуктивності свиней та ефективності роботи комбикормового заводу.

Сучасні дослідження не завжди відповідають існуючим зоотехнічним нормам та чинним стандартам. Так, за даними вчених з США, обсяг кормових частинок для свиней перебуває у межах 500 - 900 мікрон, тобто. 0,5 - 0,9 мм, а за регламентом ДСТУ 54379-2011 цей же корм не повинен містити більше 18 – 20 % частинок менше 1 мм від загальної маси. Таку суперечливість можна пояснити різними умовами утримання тварин, їх видом та віковою категорією, кліматичними умовами, обсягами господарств, сортами кормів, видами машин для приготування кормів, та багатьма іншими факторами, що зумовлюють підсумкові вимоги до розміру частинок одержуваних кормів та їх однорідність.

Однак необхідність подрібнення зернових та інших матеріалів у технологіях приготування комбикормів ніким не сумнівається. Таким чином, крупність (розмір) одержуваних при подрібненні частинок регламентується якимись граничними значеннями різними для виду тварин та стадії їх відгодівлі та інших факторів. А процес подрібнення зернових матеріалів супроводжується утворенням «перемолота» (пилоподібна фракція) та «недомолота» (цілі та не зруйновані до необхідного розміру зернівки), які не відповідають заданому гранулометричному складу корму.

У сільському господарстві використання цих некондиційних фракцій для тварин без додаткової переробки тягне за собою такі проблеми як:

- згубний вплив на здоров'я тварин (захворювання шлунково-кишкового тракту, авітамінози та ін) [2, 5, 60, 68, 106, 113];
- слабка продуктивність тваринництва (яйценосність, молоковіддача, приріст м'ясної маси та ін) [42, 46, 54, 68, 69];
- підвищені витрати енергії та часу (гранулювання, пресування та ін для подальшого використання недомолота та перемелювання) [32, 55, 68];

- втрати кінцевого продукту (осаду на робочі органи подрібнювача та втрати в навколишнє середовище) [42, 54, 68].

У 2020 році виробництво комбікормів становило 24,6 млн. тон. З урахуванням програми розвитку тваринництва вже зараз необхідно 35,5 млн. тон 2025 прогнозується зростання потреби в кормах на 15%, тобто. орієнтовно цей показник становитиме близько 41 млн. тон.

Невідповідна якість готових кормів знижує ефективність використання фуражного зерна до 30%. При цьому, в умовах нестабільного ринку та високої вартості компонентів корму, дана проблема виходить на перший план.

## **1.2 Способи впливу на матеріал при подрібненні**

Вибір оптимального способу подрібнення вихідної сировини не тільки впливає на вирівняність гранулометричного складу, але і на якість готової продукції, а також наявність у ній великої кількості дрібних фракцій. Виходячи з розглянутих теорій, подрібнення матеріалу - це поділ тіла на дві або більше частин, що відбувається при додатку статичного або напруги, що повільно змінюється в часі.

Ці напруги можуть бути нормальними  $[\sigma]$  і дотичними  $[\tau]$ , при цьому до нормальних відносяться розтягування та стиснення, а до дотичних зсув. Таким чином, всі способи впливу на матеріал є похідними двох основних напруг і, по суті, відрізняються різницею їх виникнення і залежать від форми робочих органів, що впливають на подрібнюваний матеріал. При цьому найбільш прийнятний (менш енерговитратний, не трудомісткий, легко реалізований) спосіб для різних типів матеріалів неоднаковий.

Руйнування матеріалів або вплив з боку робочих органів подрібнювачів здійснюється за представленими на рис. 1.2 схемами та їх комбінаціями



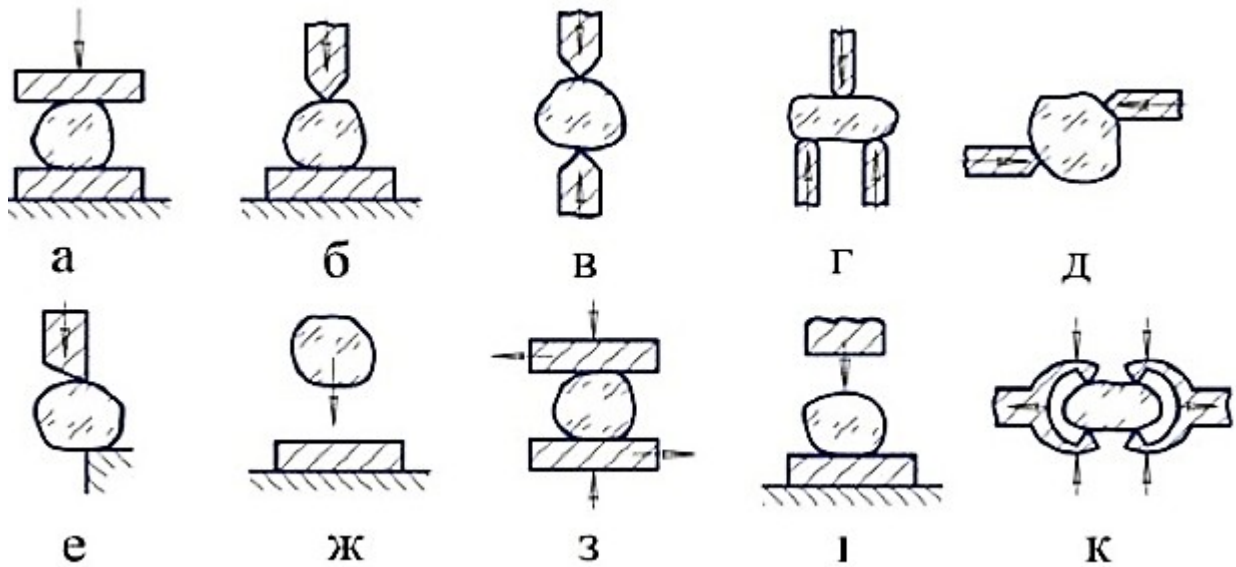


Рисунок 1.2 - Тип дії: а - стиск; б - розколювання; в - розламування; г - вигин; д - зсув; е – зріз; ж – вільний удар; з - стирання; і - стиснутий удар; до - розтягнення

Стиснення (рисунок 1.2 а) та його похідні: вільний і стиснутий удар, розколювання, розламування є найпоширенішими способами поділу матеріалу на частини, в тому числі і в сільському господарстві.

Тіло деформується під дією навантаження і коли внутрішні напруги в ньому перевищать межу міцності стиску, руйнується. Удар, внаслідок якого тіло розпадається на частини під впливом динамічного навантаження, буває стисненим і вільним. При стисненому ударі (рисунок 1.2 і) тіло руйнується між двома робочими органами подрібнювача. Ефект такого руйнування залежить від кінетичної енергії ударяючого тіла.

При вільному ударі ( рис. 1.2 ж) руйнування тіла настає внаслідок зіткнення його з робочим органом подрібнювача чи іншими тілами у польоті. Ефект такого руйнування визначається швидкістю їх зіткнення незалежно від того, рухається тіло, що руйнується, або робочий орган. Це надає подрібненню випадкового характеру, а також відсутня можливість по управлінню за розміром одержуваного матеріалу.

Розколювання ( рис. 1.2 б) і розламування ( рис. 1.2 в) відбуваються в місцях концентрації найбільших навантажень, що передаються клиноподібними робочими елементами, за рахунок чого отримують однорідніший за гранулометричним складом матеріал, ніж при ударі.

Зрушення (рисунок 1.2 д) та його похідні скол та зріз супроводжуються дією дотичних напруг і коли настає їх критичне значення тіло руйнується за рахунок зміщення однієї його частини щодо іншої. Деформація зсуву, доведена до руйнування матеріалу, називається зрізом (стосовно металів) або сколюванням (стосовно неметалів).

При зрізі або сколювання (рисунок 1.2 е) тіло ділиться на частини заздалегідь заданих розмірів та форми шляхом послідовного зрізання (скола) частин основного шматка матеріалу. Такі способи на матеріал найчастіше менш енергоємні і дозволяють ефективніше прогнозувати розмірні характеристики готового подрібненого продукту.

Розтягування (рисунок 1.2 к) засноване на ефекті незворотної деформації, тому процес руйнування заснований на граничній міцності матеріалу, що розділяється при негативному нормальному напрузі. Це такий спосіб впливу, при якому сила створює напругу в матеріалі та викликає його подовження до того моменту, коли величина напруги перевищить міцність матеріалу, тобто відбувається розрив.

Прикладом комбінації кількох напруг (нормальних та дотичних) є вигин (рисунок 1.2 г) та стирання ( рис. 1.2 з). При стиранні матеріал подрібнюється між двома поверхнями, а супроводжується така руйнація зсувними, розтягуючими і іноді деформаціями, що стискають. При вигині, як правило, відбувається додаток до тіла напруг, що розтягують і стискають.

Для отримання готового продукту в машинах, що подрібнюють зерновий матеріал, використовуються різні принципи руйнування: стиск, зсув, стирання, удар, сколювання, різання, а також всілякі їх комбінації. Застосування того чи іншого принципу істотно впливає на енергоємність процесу і гранулометричний склад готового продукту. Прогнозувати розмір

частинок, одержуваних у процесі подрібнення матеріалу, можна лише при зрізі. При розколюванні та розламуванні форма частинок непостійна, але однорідна за розмірами, в інших випадках, наприклад, при ударному, розділенні матеріалу на частини виходять частинки різного розміру та форми.

За даними досліджень міцнісних властивостей зернових матеріалів різних сільськогосподарських культур, зусилля, що руйнують для твердої та м'якої пшениці вологістю від 13,1 % до 14,3 % на стиск 6,08...12,75 МПа, на сколювання 4,32...10,84 МПа, і зріз 3,04...9,22 МПа. При цьому значення мають не тільки фізико-механічні властивості, але й орієнтація в момент руйнівного впливу, розташування борозенки та інші фактори, пов'язані з анізотропністю та біологічною структурою зернівок, а також з динамікою процесу [].

При подрібненні «твердих», «крихких» зернових матеріалів, коли вологість вбирається у 14,5...17%, зріз і розтягнення є менш енергоємними серед перерахованих способів руйнації. Проте, принцип розтягування, як і чистий зсув (зріз), складно організувати в сучасних технічних умовах, а при широко поширеному подрібненні зерна ударом уліт утворюється одна або кілька тріщин, що гілкуються, що і обумовлює великий розкид продукту за розмірами і його переподрібнення. У цій ситуації найбільш оригінальним і ефективним є руйнування зерновок способом «сколювання-зріз», коли по ній наноситься удар двох лез, при цьому формується прямолінійна тріщина, що розвивається, як правило, без розгалуження. Це і призводить до того, що спосіб «сколювання-зріз» дає більш вирівняний за розмірами та фракційним складом подрібнений продукт (рисунок 1.3).

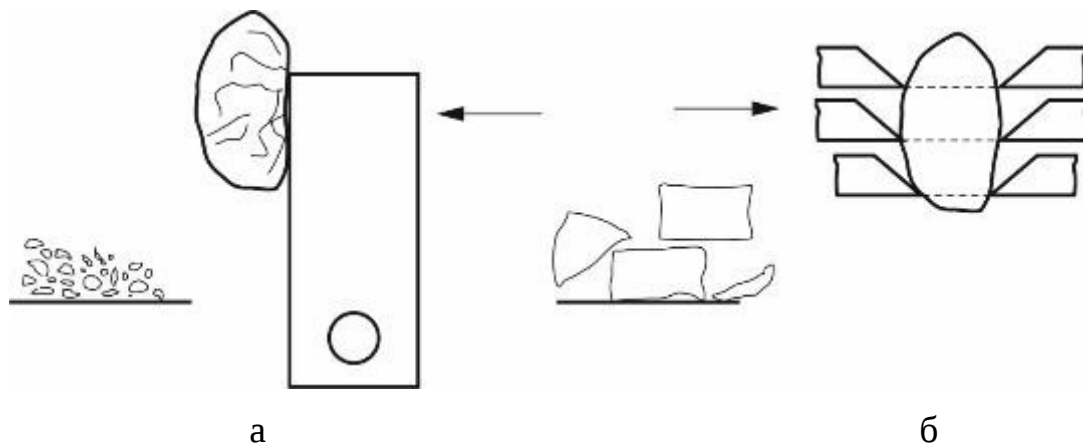


Рисунок 1.3 – Схеми подрібнення зернівок та одержуваний продукт подрібнення: а - подрібнення ударом вліт; б - подрібнення способом «сколювання-зріз»

Подрібнювачі, що реалізують руйнування матеріалу послідовним зрізанням і сколюванням його частинок зводять до мінімуму утворення пилоподібних фракцій, що не задовольняють зоотехнічних вимог, дозволяють регулювати розмір частинок готового продукту і знижують споживання електроенергії.

### 1.3 Короткий огляд існуючих видів подрібнювачів

Подрібнювальні машини застосовуються для поліпшення однорідності сумішей, прискорення та підвищення глибини протікання хімічних реакцій, підвищення інтенсивності технологічних процесів (перемішування, сушіння, випал, хімічні реакції), зниження температур і тисків (наприклад, при варінні скла) поліпшення фізико-механічних властивостей та структури матеріалів та виробів (тверді сплави, бетон, кераміка та ін.), підвищення барвної здатності пігментів та барвників, активності адсорбентів і каталізаторів, переробки полімерних композицій, що включають високодисперсні наповнювачі (наприклад: сажу, слюду, хімічні волокна та ін.), переробки відходів виробництва, бракованих та зношених виробів.

Ефективність роботи подрібнювача оцінюється за продуктивністю, якістю подрібнення, питомою енергоємністю та матеріаломісткістю. Ці показники значною мірою зумовлюються конструктивними параметрами. За розміром одержуваного продукту подрібнення поділяють на два типи: дроблення та помел. Незважаючи на те, що межа між помолом та дробленням умовна механічне обладнання для подрібнення ділиться на дробарки та млини (рис 1.4).

Схеми основних видів дробарок представлені на малюнку 1.4.

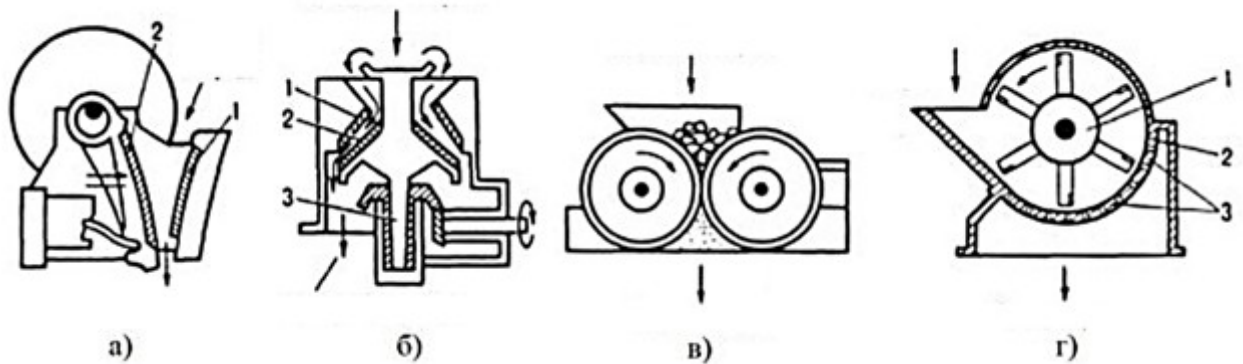


Рисунок 1.4 - Дробарка: а - щокова (1, 2 - нерухома і рухлива щоки); б - конусна (1, 2 - нерухомий і хитається конуси, 3 - вал); в – вальцова; г – роторна або молоткова (1 – ротор з молотками, білами, рифлями та ін., 2 – статор, 3 – решето)

Щокова дробарка є універсальною машиною для дроблення матеріалів. Застосовується на гірських породах будь-якої міцності, на шлаки, деякі металеві матеріали. Застосування неможливе на в'язкопружних матеріалах, таких як деревина, полімери, певні металеві сплави. Вхідна крупність сягає 1500 мм. Крупність готового продукту для невеликих дробарок становить до 10 мм, наприклад при подрібненні коренеклубнеплодів. Щоківі дробарки є у всіх класах дроблення: великому, середньому та дрібному. Принцип роботи щоківі дробарки заснований на стисканні робочими поверхнями (щоками)

матеріалу, що призводить до виникнення великих напруг стиснення та зсуву, що руйнують матеріал.

Конусні, або гіраційні дробарки, призначені для середнього та дрібного дроблення. Ці машини безперервної дії призначені для роботи під завалом, що допускає пряму подачу, наприклад, гірської маси. Найчастіше використовуються для дроблення рудних корисних копалин, зокрема залізистих кварцитів, рідше за монцоніти. Процес дроблення є стирання і розколювання породи, що забезпечується круговим хитанням конуса, що дробить (гіраційний рух).

Вальцеві дробарки використовують для всіх видів дроблення, але переважно для дрібного. Складаються вони з кількох горизонтальних зубчастих вальців (найчастіше пари), які обертаються (з однаковою чи різною швидкістю) назустріч один одному. При цьому матеріал руйнується шляхом зтягування силами тертя в робочу зону між двома паралельними циліндричними валками, де відбувається роздавлювання, стиснення та стирання його шматків.

Молоткові дробарки здатні подрібнювати великий спектр матеріалів (крім вологих і жирних) і застосовуються для руйнування шматків, зерен і частинок мінеральної сировини та інших продуктів, шляхом дроблення ударами молотків, бив або рифлів, які шарнірно або жорстко закріплені на роторі, що швидко обертається, а також при ударах шматків матеріалу один про одного і про поверхню статора та відбійних плит. Такі машини оснащуються решітками, що контролюють крупність одержуваного продукту.

Роторні дробарки, як і молоткові, працюють за будь-яких вимог до крупності подрібнення. У таких машинах матеріал піддається одночасному впливу робочих елементів (біла, лопатки, рифлі) на роторі та статорі, які жорстко закріплені на них. Призначені для дроблення матеріалів малої фортеці шляхом потужного швидкого обертання ротора. Окремим типом роторних дробарок є відцентрово-ударні дробарки, що відрізняються вертикальним розташуванням ротора і використанням відцентрового розгону

матеріалу та удару його шматків об самофутерування. Така дробарка може бути виконана і з вертикальним ротором конічної форми.

Основні типи млинів представлені рис. 1.5.

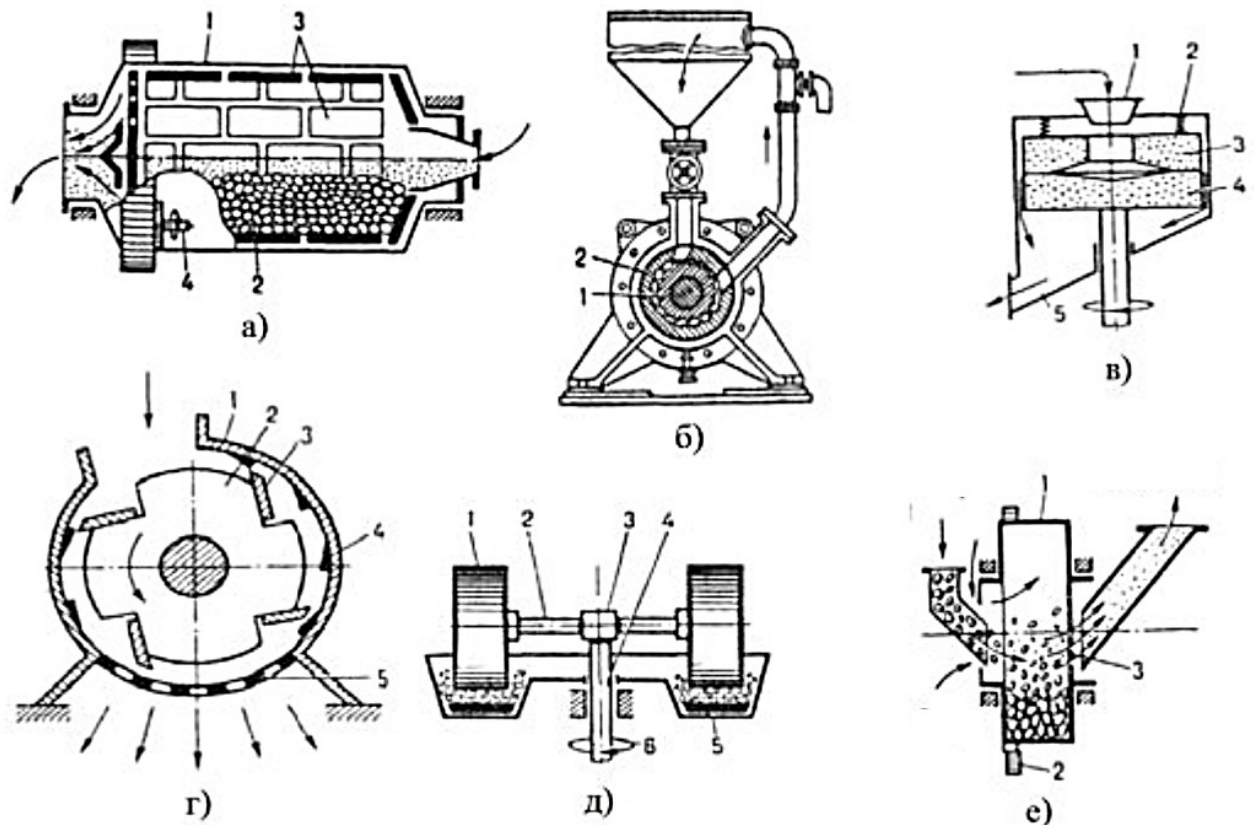


Рисунок 1.5 - Млин: а - барабанний кульовий (1 - корпус, 2 - тіл, що мелють, 3 - футерувальні плити, 4 - привід); б – кавітаційна (1 – ротор, 2 – статор); в - з жорнами (1 - завантажувальна лійка, 2 - пружина, 3, 4 - кам'яні кола, 5 - патрубок для розвантаження готового продукту); г - ножова (1 - корпус-статор, 2 - ротор, 3, 4 - обертовий і нерухомий ножі, 5 - решето); д - з бігунами (1 - ковзанка, 2 - піввісь ковзанки, 3 - водило, 4 - центральний вал, 5 - чаша, 6 - привід); е - барабанна безшарова (1 - корпус, 2 - привід, 3 - діафрагма)

Млини здійснюють помел та призначені для подрібнення, зменшення розмірів частинок сипучих, а також пастоподібних матеріалів. Окремим застосуванням млинів є деагломерація – зменшення розмірів грудок

(агрегатів) матеріалів. Зменшення розмірів частинок роблять ударом, роздавлюванням, різанням, стиранням, або змішаним принципом, що включає кілька типів впливів на продукт, тому існує багато типів конструкцій млинів: з вільними і закріпленими тілами, що мелють, наприклад, жорнами, шнеками, кулями та ін.

Для контролю параметрів процесу (вологість, крупність, подрібнюваність, інші властивості вихідних матеріалів), а також продуктивності процесу подрібнення всі машини оснащують системами авторегулювання як на вході, так і на виході з дробильної камери. Найбільш поширеним видом контролю є решітний механізм, що служить для регулювання крупності надходить у подрібнювач і одержуваного на виході матеріалу. Для подрібнення рослинних матеріалів сільському господарстві існують подрібнювачі різних типорозмірів і конструкцій, що з різноманітним способом доведення вихідного продукту до необхідної крупності чи консистенції.

Зоотехнічні вимоги зумовлюють операції з приготування концентрованих кормів: очищення різних домішок (земля, каміння, метал, пісок та інших.); подрібнення до заданої крупності у різний спосіб на дробарках, млинах чи плющилках (для ВРХ не вище 3 мм, для свиней до 1 мм, для птиці до 2 - 3 мм при сухому методі годування); дозування та змішування компонентів; гранулювання зернових сумішей або трав'яного борошна.

Млини рідко експлуатують для подрібнення зернових матеріалів у корм, оскільки, що отримується в них, борошністий продукт не задовольняє зоотехнічних вимог і використовується лише у вологому середовищі або для подальшого гранулювання. Принцип плющення зерна застосовується рідко через обмеженість використання корму. Плющене зерно є найоптимальнішим кормом для жуйних тварин (для коней, волів (на відгодівлі) і рідко для корів), оскільки найбільш повного засвоєння їм необхідні великі частки корму. Однак досвід зарубіжних та вітчизняних тваринників дозволяє зробити висновок про те, що навіть у раціоні ВРХ плющене зерно має поєднуватися з концентратами.



У цьому існує проблема змішування плющених частинок та інших компонентів комбікормів з рівномірністю понад 90%. Тому на кормопідготовчих підприємствах та тваринницьких фермах для подрібнення концентрованих кормів переважно використовуються молоткові дробарки. Вони добре вивчені, до їх переваг можна також віднести простоту в експлуатації та обслуговуванні. Водночас вони мають суттєвий недолік - імовірнісний характер руйнування, усунути який без зміни конструктивної схеми практично неможливо.

При роботі у вологому та жирному середовищі відбувається забивання отворів решета, що регулює розмір подрібнених частинок. Крім того, для руху кільцевого шару в робочій камері витрачається додаткова енергія, що призводить до збільшення енергоємності процесу дроблення, а готовий продукт у складі має до 30% пилоподібної фракції. Останнім часом молоткові дробарки поступово замінюються іншими типами подрібнювачів. До одним з найефективніших можна віднести конструкції дезінтеграційних, ударно-відцентрових, відцентрово-роторних, дискових типів. Вони мають більшу продуктивність при менших енерго- та металоємності і хоча ефективність таких подрібнювачів доведена та підтверджена при подрібненні фуражного зерна, у тому числі із застосуванням зрізу та сколювання, - вони мають один істотний недолік – нерівномірність гранулометричного складу готового продукту. При цьому ефективність цих конструкцій залежить від виконання робочих поверхонь, що впливають на продукт і чутлива до їх зносу.

Вони мають вертикальний або горизонтальний приводний вал і, залежно від багатоступінчастості конструкції, здійснюють руйнування матеріалу одним або декількома сколами його частинок. На рис 1.6 представлена принципова схема робочих органів відцентрово-роторного подрібнювача зернових матеріалів, що працює за принципом «сколювання-зріз».

До конструктивних параметрів ріжучої пари робочих органів відцентрово-роторного подрібнювача відносяться кути заточування (гостроти) ріжучих елементів  $\beta$ , кут їх установки, гострота ребра ріжучого елемента, кут різання

ур, зазор між ріжучою та протиріжучою елементами  $\delta$ . Допустиму величину кутів визначають дослідним шляхом за різних умов (тип ріжучого інструменту, його гострота, фізико-механічні властивості подрібнюваного матеріалу тощо).

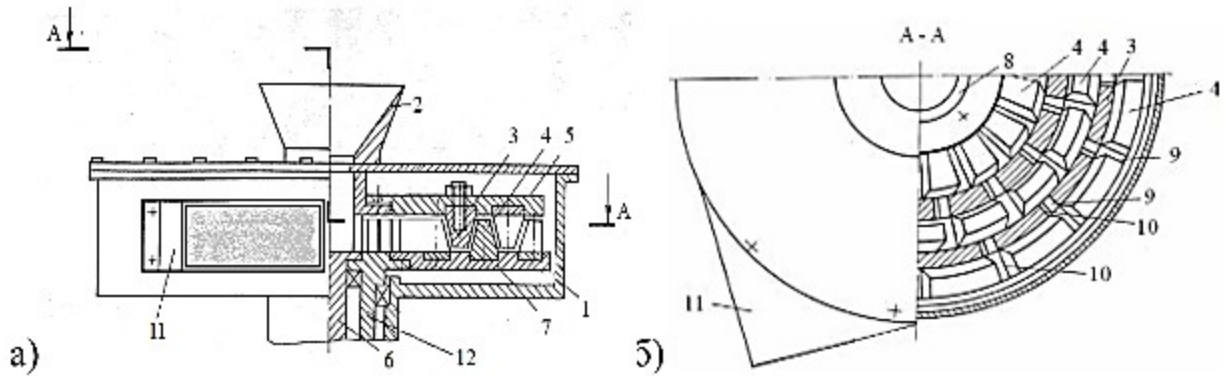


Рисунок 1.6 - Схема відцентрово-роторного подрібнювача (а) та його ріжучих поверхонь (б): 1 – корпус; 2 – патрубок завантажувальний; 3, 4 – ріжучі елементи; 5 – диск-ротор верхній; 6 – вал внутрішній; 7 – диск-ротор нижній; 8 – вікна радіальні; 9 – канали (пази); 10 – стінка каналу; 11 - патрубок вивантажувальний; 12 – вал.

Також для досягнення найкращої якості дроблення сколюванням і зрізом використовують вальцеві дробарки, які відрізняються рифленою поверхнею вальців, що нарізаються в декількох конфігураціях. В результаті забезпечують різання, сколювання або розтирання, які в силу конструктивного виконання дробарки завжди супроводжуються стискаючою дією. Така робоча схема забезпечує однорідний помел з низьким вмістом великих частинок і дрібних пилоподібних фракцій до 10%, що покращує сипкість і змішування продукту.

Особливо це важливо при виробництві розсипних комбікормів, тому що при їх обробці або відвантаженні відбувається самосортування частинок суміші. Також до переваг вальцевої дробарки можна віднести те, що при її

роботі виробляється менше шуму через низьку окружну швидкість обертання вальців при продуктивності більшої, ніж в інших дробарках на 15 - 40%.

Однак у вальцевої дробарки є і недоліки - високі вимоги до виготовлення робочих органів та балансування конструкції, висока ціна, тривалий час заміни вальців, залипання рифлів при дробленні вологих (від 18%) і маслянистих кормів, нагрівання продукту розмелювання, висока металомісткість та необхідність постійної наявності запасні вальці на складі.

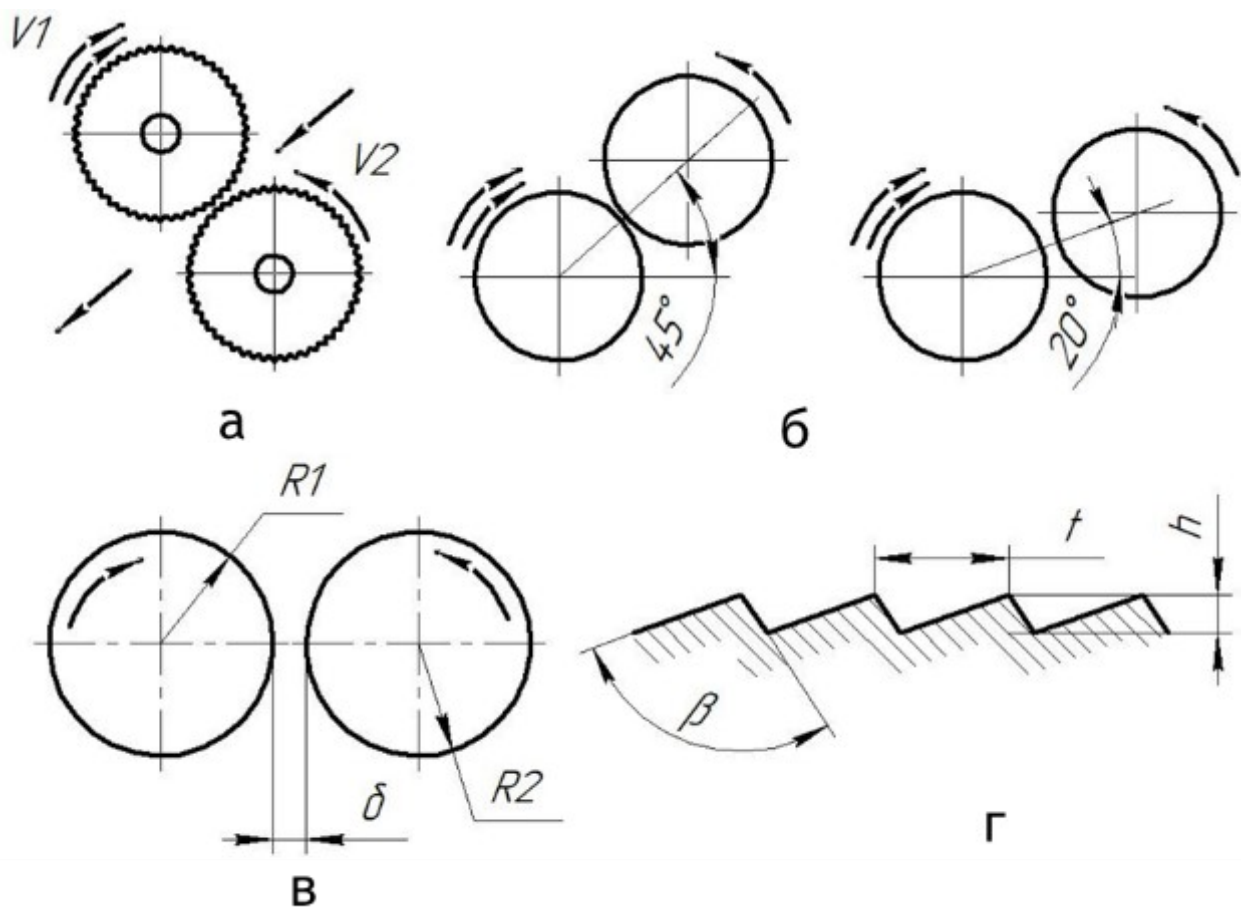


Рисунок 1.7 - Принципова схема вальцевої зернодробарки (а), варіанти розташування вальців (б), що мелють, схема до аналізу параметрів вальців (в) і профілю рифлів (г)

Для подрібнення зернових кормів робоча частина валкової дробарки (рис. 1.7 а) виконана у вигляді двох паралельних циліндрів (валків) з рифленими

поверхнями. Обидва ролики обертаються з різними швидкостями ( $V_1 \neq V_2$ ) у різних напрямках. Ролики розміщують горизонтально під кутом  $20^\circ$  до горизонту. Чим менший кут нахилу валика, тим сприятливіші умови для подачі матеріалу в зону подрібнення, але ширина камери подрібнення дещо збільшується (рис. 1.7 б).

Наступні основні фактори важливі в робочому процесі валкової дробарки: Кут захоплення (заїдання)  $\alpha$  для матеріалу розміру  $B$ , діаметр роликів (радіус  $R$ ), окружні швидкості роликів та їх співвідношення, профіль і кут нахилу, кількість канавок на одиницю довжини кола ролика, робота між роликами Розмір зазор і властивості фрезерованого матеріалу. Разом вони визначають кінцеві конструктивні характеристики дробарки і їх визначення мають відповідні теоретичні залежності (рис. 1.7в).

Інтенсивність подрібнення матеріалу в вальцьових верстатах визначається довжиною робочої дуги. Чим довший радіус ролика  $R$ , тим довший шлях обробки. Рифлена поверхня формується шляхом розрізання рулону спеціальною машинною фрезою. Канал характеризується профілем, кількістю кіл валків на одиницю довжини, нахилом канавок і їх взаємним розташуванням у подвійних робочих валках. У поперечному розрізі (рис. 1.7г) канелура має дві нерівні сторони - вузьку (верхня грань) і широку (задня грань). Кут, утворений цими гранями, називається гострим кутом гофра  $\beta$ . Проведення радіуса від центру ролика до вершини канавки ділить цей кут на два кути: кут задньої поверхні 1 і кут вершини 2. Відстань між двома вершинами  $t$  канавки, виміряна в колі, називається крок канавки, відстань між окружністю заглиблення і окружністю виступу  $ч$ . Вимірюється по радіусу валика і називається висотою канавки. Крок і кількість канавок пов'язані між собою і залежать від геометричних параметрів матеріалу, що подрібнюється, і вимог до шліфування. Профіль флейти визначається «точковим» ( $20-40^\circ$  або менше) і «заднім» ( $60-80^\circ$  або менше) кутами, що дає загальний кут заточування  $20-110^\circ$ . На ефективне шліфування впливає положення краю

канавки відносно частинок матеріалу. На малюнку 1 показано можливі варіанти розташування канавок. 1.8.

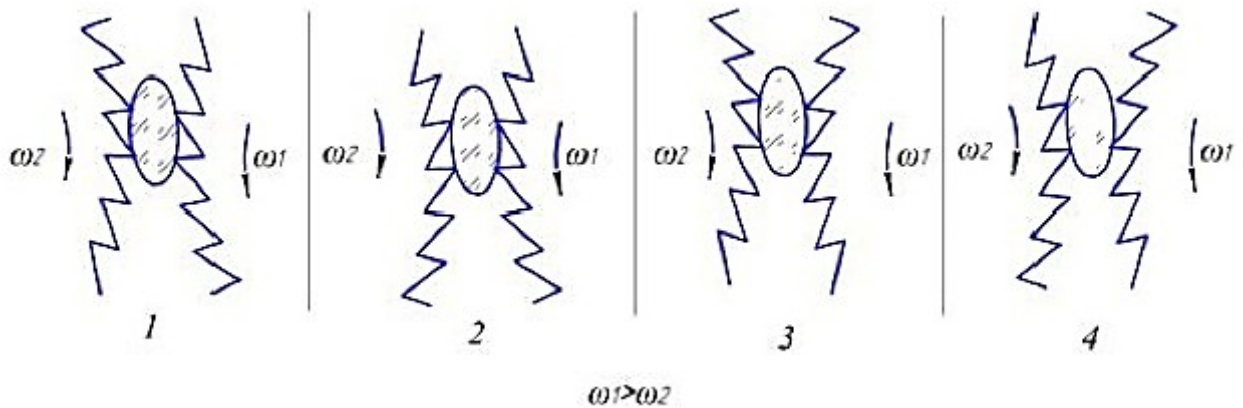


Рисунок 1.8 - Варіанти взаємного розташування рифлів вальців

При варіанті 1 подрібнювана частка підтримується ріжучою гранню вальця, що повільно обертається і подрібнюється ріжучою гранню вальця, що швидко обертається. Таке розташування рифлів (вістря по вістря) створює умови, за яких частки руйнуються в основному в результаті зрізання або сколювання на крупку.

При варіантах 2 - "вістря по спинці" і 3 - "спинка по вістря" частинки більше розтираються, і вихід борошна збільшується.

При варіанті 4 – «спинка по спинці» мають на меті отримати найбільший вихід борошна. Для дроблення кормів найбільш доцільним є один варіант взаєморозташування рифлів на парнопрацюючих вальцях. Викладене вище накладає певні обмеження конструкції вальцових зернодробарок. Діаметр вальців, як правило, знаходиться в межах 150-300 мм, а їх окружна швидкість 5-9 м/с.

Також останнім часом винаходять і випускають різні зернодробилки, що використовують принципову схему руйнування відомих дробарок, але зі спрощенням конструкції для зниження їх вартості.

Такі подрібнювачі часто володіють можливістю подрібнення зерна, коренеклубнеплодів, стебельчатих кормів, проте через таку універсальність їм притаманні низька якість дроблення та знижена надійність конструкції. Вал у

цих машин, як правило, з'єднаний з одним або декількома ножами, а крупність готового продукту контролюється різним діаметром отворів решіт. З огляду на значну кількість дрібних пилоподібних фракцій до 20% їх більше використовують для приготування вологих кормів свиням та іншим тваринам.

Існують конструкції подрібнювачів, розроблені різними вченими та науковими школами, з тієї чи іншої причини поки що не використовуються в масовому порядку. Ці дробарки виготовляються з рифленими поверхнями ротора і статора, які здійснюють подрібнення вихідного продукту і мають можливість регулювання робочого зазору для отримання різної крупності частинок матеріалу, а кількість пилоподібних фракцій в них не перевищує 20% від загальної маси подрібненого продукту. В даний час використовується безліч різноманітних конструкцій подрібнювачів (дробарок) кормів, що істотно різняться між собою за принципом роботи, технологічною схемою. Вони діляться на ґратні, універсальні та безрешітні. За даними вчених, збільшення числа подрібнювальних та сепаруючих камер покращує якість подрібнення, може забезпечувати поділ подрібненого матеріалу на фракції за розмірами частинок, масою, але викликає ускладнення конструкції, ускладнює догляд за нею та суттєво підвищує її вартість.

Структурні блоки малюнку обумовлюють етапи процесу подрібнення вихідного продукту, цим характеризують конструктивну схему подрібнювача і тривалість на вихідний продукт. Також для доведення кінцевого продукту або продукту, який зручно піддавати подальшій обробці необхідної крупності можуть додаватися додаткові елементи, наприклад, 2 камери подрібнення з двома сепараторами і т. д.

У таких умовах на перший план виходять вартість подрібнювача (рентабельність), простота конструкції та заміни робочих елементів (технічне обслуговування) та можливість налаштування ступеня подрібнення для різних цілей, видів зернових матеріалів та тварин (універсальність). Тому при виборі машини визначають її переваги та недоліки у досягненні поставленого результату (продуктивність, енергоефективність, металомісткість, якість

подрібнення та ін.). Проте перевага тієї чи іншої дробарки над іншою є умовною.

Так, наприклад, плющилки добре справляються з приготуванням кормів жуйним тваринам, а молоткові, роторні та інші дробарки дозволяють розділити матеріал на частини необхідного розміру, що необхідно птиці, свинням та іншим тваринам.

#### **1.4 Висновки**

У рамках світового подорожчання енергоресурсів та кормових, у т. ч. зернових матеріалів, потрібний більш детальний підхід до переробки сировини та отримання якісних поживних кормів із мінімальними витратами. При годівлі тварин такими кормами значно зростає їхня продуктивність, та знижуються виробничі ризики підприємств та малих господарств. Отримання кормових матеріалів заданого гранулометричного складу з мінімізацією некондиційних фракцій є найактуальнішим завданням у спільній проблемі подрібнення зернових матеріалів.

Отримання тваринами якісних поживних концентрованих кормів можливо при використанні роторної дробарки, що працює на принципі зрізу (сколювання) матеріалу, тому дослідження з розробки такої конструкції дозволить отримувати вирівняний за розміром частинок готовий продукт, що відповідає зоотехнічним вимогам, за мінімальних витрат енергії, часу та праці.

## **2 Теоретичні дослідження подрібнювача**

### **2.1 Обґрунтування конструкційної схеми**

Аналіз основних конструкцій дробарок, загальних проблем процесу подрібнення зернових матеріалів та принципової конструктивної схеми горизонтального роторного подрібнювача дозволили запропонувати його вдосконалену конструкцію. У даній конструкції немає контролюючого крупність частинок решета, а подрібнення матеріалу реалізовано в обмеженій частині приймальної камери при обертанні ротора. Скорочення часу подачі вихідного матеріалу шляхом організації руху матеріалу на дроблення по лінії якнайшвидшого спуску та його впорядкування виключає утворення «куп» і зменшує час на внутрішнє тертя у вихідному сипучому матеріалі. Все це дозволяє знизити кількість пилоподібних фракцій у готовому продукті до 10 – 15%.

Незважаючи на це, роторні дробарки з горизонтальним ротором та рифлями на ньому та на статорі досі не отримали належної уваги у сільськогосподарській сфері при подрібненні зернової сировини для комбікормів та не випускаються технічними підприємствами серійно. Все це свідчить про необхідність обґрунтування їхньої працездатності, актуальності в сучасних технологічних реаліях та можливості впровадження в сільськогосподарське кормовиробництво, наприклад, на рівні малих підсобних та селянських фермерських господарств. Схема вдосконаленої горизонтальної роторної дробарки представлена рис. 2.1.

Роторна дробарка складається з корпусу-статора 1, встановленого на прокладки, що амортизують 2 і розміщених в його порожнині, приводного ротора 3, дробильної камери 4, бункера завантаження 5, і розвантажувального



вікна 6. При цьому нерухома поверхня дробильної камери і ротор забезпечені рифленими поверхнями 8 і 9, виконаними з можливістю дроблення вихідного продукту 10. Завантажувальний бункер забезпечений поверхнею 11 для переміщення вихідного продукту в дробильну камеру і виконаний з можливістю регулювання подачі вихідного продукту заслінкою 7.

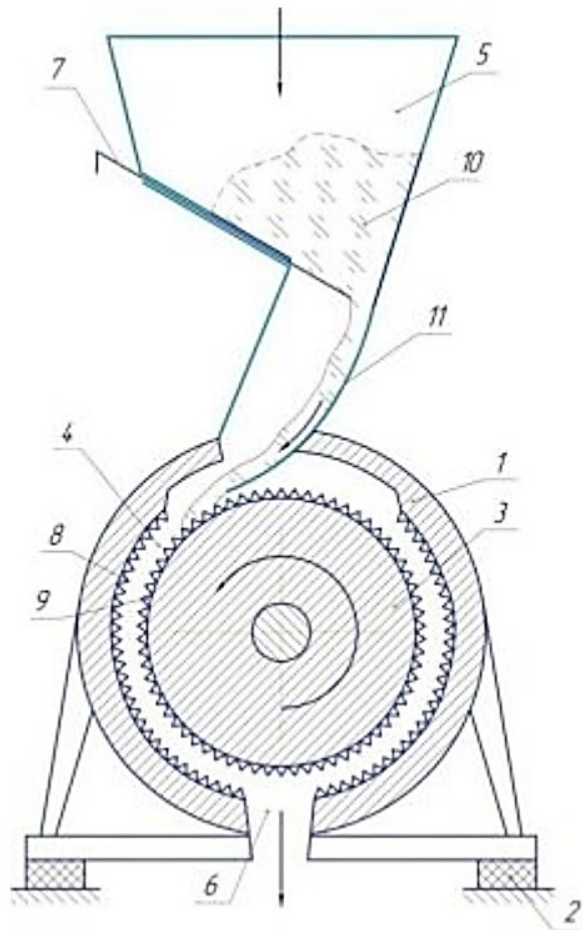


Рисунок 2.1 - Схема горизонтальної роторної дробарки: 1 - корпус-статор, 2 - прокладки, що амортизують, 3 - ротор, 4 - дробильна камера, 5 - завантажувальний бункер, 6 - розвантажувальне вікно, 7 - заслінка регулювання подачі, 8, 9 - рифлі статора та ротора, 10 - вихідний продукт, 11 - поверхня якнайшвидшої подачі

## 2.2 Удосконалення технологічного процесу подрібнення

Подрібнювач складається з таких підсистем, як, рама з приводним механізмом, корпус і електродвигун. Їх складовими частинами виступають вузли та деталі у вигляді ротора, статора, завантажувального та розвантажувального вікна. Нижчими елементами ієрархічної схеми є рифлі статора та ротора. Відповідно до прийнятої класифікації вони відносяться до робочих поверхонь, що контактують з матеріалом і безпосередньо відчують у виконанні матеріалів. З іншого боку, сам процес подрібнення (дроблення) зернових матеріалів відноситься до одного з найбільш поширених на практиці ключового процесу - «розподіл матеріалів на частини».

Тому цільовим призначенням робочих поверхонь (рифлів), що є нижчим елементом технічної системи - «горизонтальна роторна дробарка» є створення таких умов, щоб вихідні зернівки розділити на задану кількість частинок до досягнення ними, відповідно до зоотехнічних вимог, необхідного модуля помелу та ступеня подрібнення зернофуражу. Робочі поверхні інших деталей корпусу впливають на результативність процесу меншою мірою.

Для забезпечення стабільності та надійності реалізації технологічного процесу подрібнення та для того, щоб рифлі ротора та статора найбільш ефективно взаємодіяли з матеріалом необхідно обґрунтувати їх форму, розташування та орієнтацію в порожнині дробарки. При цьому робочі поверхні повинні мати постійні геометричні параметри, які, ймовірно, виходять з розмірних характеристик і фізико-механічних властивостей матеріалу, на який вони впливають. Після встановлення цільового призначення роторного подрібнювача, згідно з узагальненою методикою, необхідно визначити всі фактори, що впливають на оптимальну працездатність та функцію найвигіднішого рішення для підвищення ефективності подрібнення в ньому зернових матеріалів.

Для цього розглянемо детальніше роботу горизонтальної роторної дробарки. За кінематикою процесу вона схожа з молотковою дробаркою, проте в її конструкції поділ вихідного матеріалу на частини відбувається при кожній взаємодії зернівок з робочими органами (рифлями) ротора та статора, а

не при зіткненні про молотки та футерування у вигляді решета. При цьому подрібнення вихідного продукту відбувається у обмеженій робочій зоні. Завдяки проведеному в 1 розділі аналізу встановлено, що найбільш ефективна технологічна схема для отримання якісного гранулометричного однорідного складу подрібненого продукту реалізується в конструкції вальцевої дробарки, а найбільш оптимальним для зниження енергоємності процесу подрібнення способом впливу на матеріал є зріз і сколювання. Таким чином, для вдосконалення технологічного процесу подрібнення зернового матеріалу, простоту конструкції молоткової дробарки, якість подрібнення вальцевої дробарки та енергоефективний спосіб впливу на вихідний продукт зрізом або сколюванням необхідно реалізувати в конструкції запропонованої горизонтальної роторної дробарки.

Тоді, виходячи із встановленого цільового призначення робочих поверхонь горизонтальної роторної дробарки, - зрізає або сколює вплив на матеріал для поділу його на задану кількість частин заданого розміру, зіставимо конструктивні схеми вальцевої зернодробилки і пропонованого горизонтального роторного подрібнювача, представивши їх робочі поверхні гладкими.

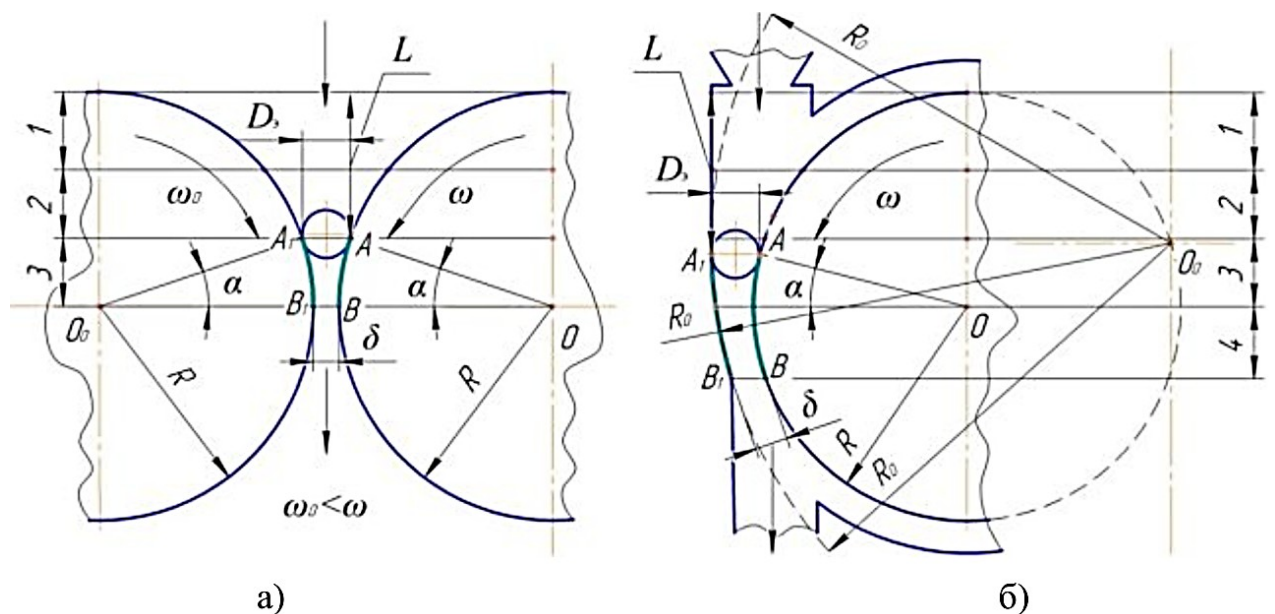


Рисунок 2.2 - Порівняльна схема вальцьової (а) і роторної (б) зернодробарок

В одному випадку (рисунок 2.2 а) ми маємо два вальці, що обертаються назустріч один одному з різною швидкістю ( $\omega_0 < \omega$ ), а в іншому (рисунок 2.2 б) обертовий ротор та нерухомий статор. На рис. показані кути захоплення вихідної частки розміром  $D_e$  і схематично представлені зони дробильної камери, по яких вона рухається в процесі подрібнення, - 1, 2, 3 відповідно. Далі в зоні  $AA_1BB_1$ , - безпосереднього впливу робочих поверхонь на зернівку матеріалу, відбувається її руйнування та виведення отриманих частинок з дробарки через зазор  $\delta$ . При цьому в роторній дробарці дуга цієї зони  $A_1B_1$  утворена колом радіусом  $R_0$ , центр якої  $O_0$  знаходиться на колі ротора, що обертається радіусом  $R$ . Зона обробки частинок 4 відповідає додатковому калібруванню їх за розміром зазору  $\delta$  або якщо необхідно до меншої крупності.

Також на порівняльній схемі видно, що при збереженні аналогічних геометричних параметрів радіусу вальців і ротора  $R$ , типу і висоти  $L$  подачі матеріалу, ймовірно, будуть відрізнятися кут захоплення вихідної частки  $\alpha$  матеріалу і тривалість безпосереднього подрібнюючого впливу на продукт в зоні, утвореної дугами  $AB$  і  $A_1B_1$ . У вальцьовій дробарці довжина цих дуг однакова, а роторної може бути різною.

Таким чином, конструкція горизонтальної роторної дробарки дозволяє організувати принцип подрібнення зернового матеріалу - заклинювання - вплив - висновок. Але за рахунок того, що обертатися зі швидкістю буде тільки ротор, можливе зниження стискаючих і стиральних впливів, які призводять до утворення дрібних борошнистих фракцій, нагрівання продукту, перевитрати енергії при збереженні одержуваного однорідного складу подрібненого матеріалу.

Даний теоретичний аналіз дозволив запропонувати конструктивно-технологічні рішення для вдосконалення процесу подрібнення в горизонтальній роторній дробарці.

З урахуванням того, що в конструкції запропонованої горизонтальної роторної дробарки завантаження матеріалу та вплив на нього відбуваються по вертикалі паралельної до радіуса ротора, робочі органи можуть виконуватися так, як показано на рис. 2.3.

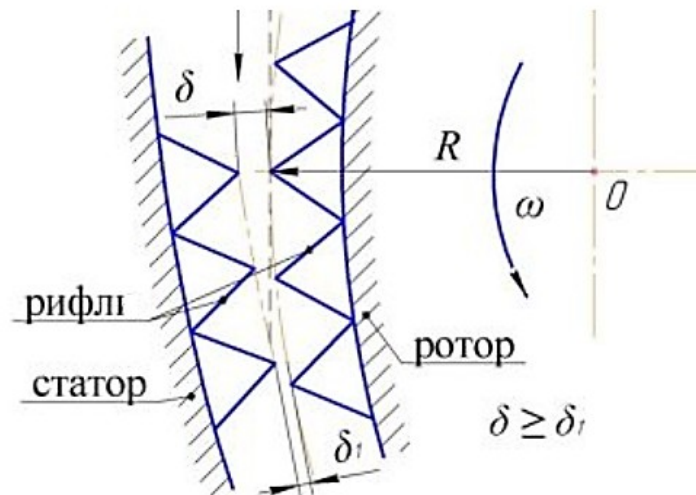


Рисунок 2.3 - Схема робочих поверхонь статора і ротора

Для здійснення у цій конструкції поділу матеріалу на частини за допомогою дотичної напруги зсуву пропонується використовувати спосіб «сколювання-зріз». Тоді поділ зернівки має наступати після концентрованого удару по ній двох ріжучих поверхонь. Тобто, матеріал, затиснутий між двома поверхнями ротора та статора, сколюється або зрізається за рахунок руху рифлів ротора щодо нерухомих рифлів статора. Зазор між робочими органами призводитиме до виникнення згинальної сили.

### 2.3 Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів подрібнювача

Процес подрібнення зернового продукту в роторній дробарці представляється в такий спосіб. Зернівки, надходячи з бункера в завантажувальне вікно, наповнюють приймальну (дробильну) камеру, потрапляють у поздовжні пази ротора і транспортуються в них до елементів статора, що зрізають, які роблять зміну їх природної (вихідної) форми. При цьому відбувається заповнення всього простору між ротором і внутрішньою поверхнею статора, як вихідним продуктом, так і частинами зернівок, що залишилися після зрізу. Отримані частинки продукту переміщуються далі в пазах ротора розвантажувального вікна.

Таким чином, у конструкції горизонтального роторного подрібнювача можливе утворення пилоподібної фракції та прохід цілих зерновок залежать від умов транспортування та поділу їх на крупку в порожнині між статором та ротором. Велике значення при цьому матимуть орієнтація зерновок у момент різання, значення робочого зазору, форма та кількість рифлів, фізико-механічні властивості зернівок та інші фактори.

Для представлення кінетики процесу в першу чергу визначимо зручні (спрощені) для механіко-математичного моделювання геометрію зернівки та форму робочих органів горизонтальної роторної дробарки.

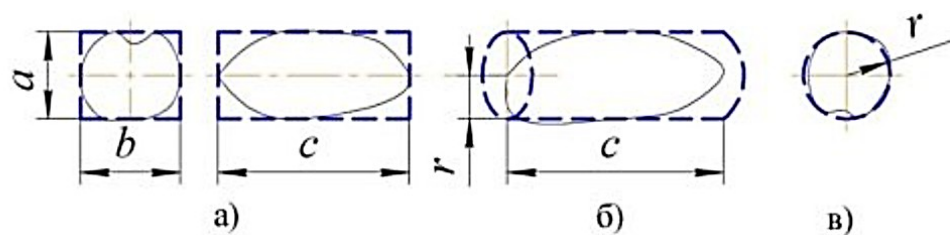


Рисунок 2.4 - Варіанти модельних зернівок: а) прямокутний паралелепіпед; б) циліндр; в) куля радіусом –  $r$ .

Наприклад, зернівку пшениці, ячменю, вівса можна подати у вигляді прямокутного паралелепіпеда (рис. 2.4, а), циліндра (рис. 2.4, б) і кулі (рис. 2.4, в). Розглядаючи ці тривимірні об'єкти у різних площинах, при

теоретичному аналізу процесу подрібнення зернових матеріалів використовують модельні форми прямокутника, овалу (еліпса), кола тощо.

Перетворюючи схему запропонованої горизонтальної роторної дробарки, виходячи з цільового призначення її робочих органів і з урахуванням прийнятої на рис. 2.3 форми рифлів, отримаємо спрощену модель впливу на матеріал нерухомим елементом зрізу, який надалі іменуватимемо «протириз», і обертовим ротором прямокутної форми (рис. 2.5).

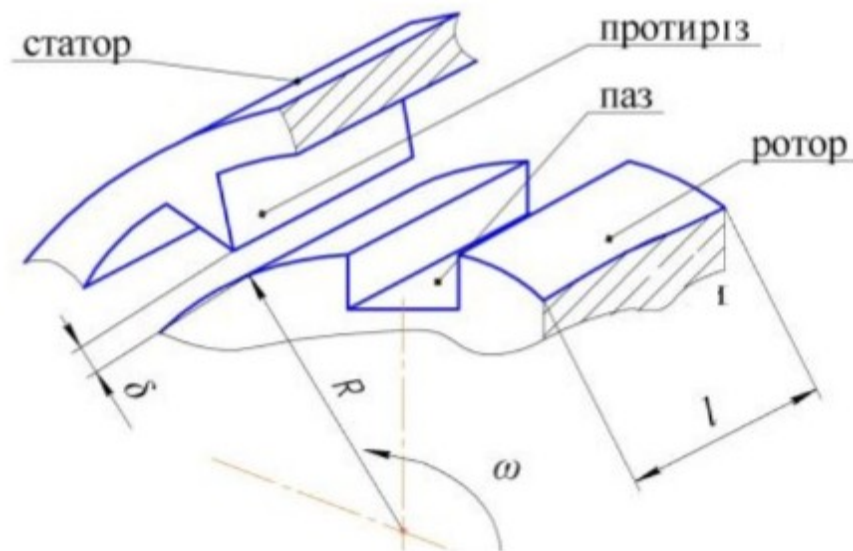


Рисунок 2.5 - Фрагмент робочих поверхонь спрощеної моделі горизонтальної роторної дробарки

Розмістимо в пазу завширшки  $l$  модельну зернівку вихідного матеріалу у формі прямокутного паралелепіпеда зі сторонами, що відповідають нерівності  $a < b < c$ . Для реалізації зрізу вона повинна виступати за його межі так, щоб взаємодія з протиризом статора відбувалася її частиною, що виступає. З'являється шість простих (горизонтально та вертикально) варіантів розміщення цієї зернівки у пазу ротора, показаних на рис. 2.6.

Тоді необхідні розміри паза ротора для розміщення в ньому модельної зернівки визначаються:

$$a + b \geq a_{\text{п}} \geq c; \quad (2.1)$$

$$a/2 \geq b_{\text{п}} > 0, \quad (2.2)$$

де  $a_{\text{п}}$  - ширина паза ротора, м;

$b_{\text{п}}$  - висота паза ротора, м.

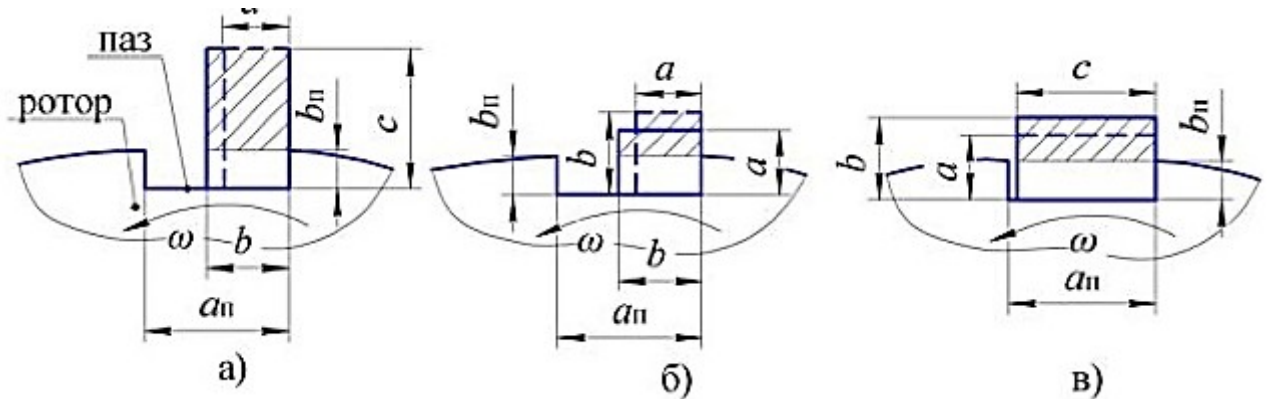


Рисунок 2.6 - Розміщення моделі зернівки в пазу ротора: вертикально (а), горизонтально по довжині (б) і горизонтально по ширині (в)

При цьому максимальна та мінімальна кількість модельних зернівок одночасно перебувають у одному пазу довжиною  $l$ , визначиться відносинами:

$$N_{\text{м.з. max}} = l/a; \quad (2.3)$$

$$N_{\text{м.з. min}} = l/c, \quad (2.4)$$

де  $N_{\text{м. max}}$ ,  $N_{\text{м. min}}$  - максимальна та мінімальна кількість модельних зернівок в одному паду, шт.

Площа зрізаного в паду зернового матеріалу дорівнюватиме:



$$A_{\text{ср. max}} = l \cdot c; \quad (2.5)$$

$$A_{\text{ср. min}} = l \cdot a, \quad (2.6)$$

де  $A_{\text{ср. max}}$ ,  $A_{\text{ср. min}}$  - максимальна і мінімальна площа поверхні зерна, що зрізається в одному пазу, м<sup>2</sup>.

Як відомо, зріз супроводжується наростанням дотичних напружень у матеріалі, в результаті яких і відбувається зсув однієї частини матеріалу щодо іншої. Обертаючись в пазу ротора, модельна зернівка проходить через протиріз статора, де за допомогою зсуву ділиться на дві частини, одна з яких виводиться 1 з дробильної камери відразу, а друга 2 може бути зрізана повторно або виведена на наступному обороті ротора (рис. 2.7).

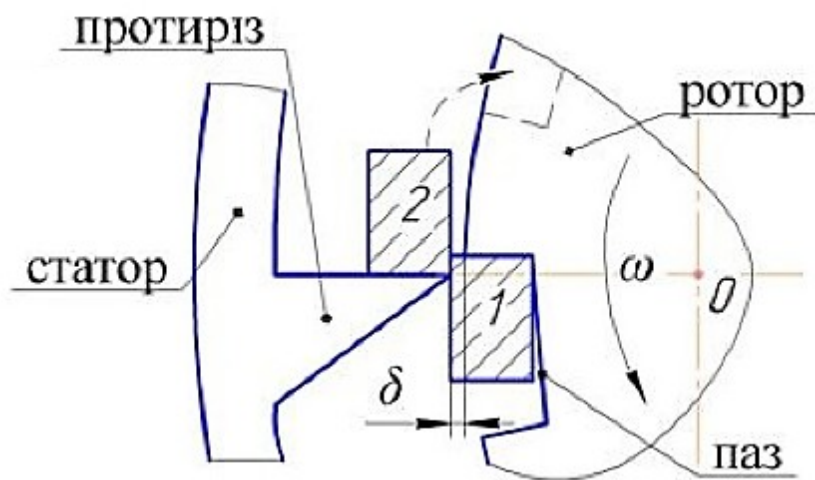


Рисунок 2.7 - Схема процесу поділу моделі зернівки зрізом

При цьому важливою умовою зрізу (зсуву) є відсутність або наявність мінімально можливого зазору між ріжучими кромками рифлів статора та ротора, який необхідний для надійної роботи дробарки.

Остаточна геометрія простору приймальної камери, протирізів і пазів горизонтальної роторної дробарки залежатиме не тільки від фізико-механічних властивостей зернового матеріалу, а й від великої помелу.

Щоб зрозуміти, як змінюється положення зернівок вихідного продукту в порожнині горизонтального роторного подрібнювача, необхідно з'ясувати, які сили діють на них під час транспортування, поділу на частини та виведення з дробильної камери.

Виходячи з цього, представимо основні етапи взаємодії зернівки з робочими органами в порожнині горизонтальної роторної дробарки до моменту її захоплення (заклинювання) для зрізу. І тому за аналогією з дослідженнями професора В.І. Сироватки приймаємо такі припущення: частинки вважаються правильною овальною форми, розглядається плоский рух зернівки в поперечному перерізі дробарки без урахування руху вздовж її осі.

Коли зернівка знаходиться у загальній масі сипучого продукту, яка заповнює завантажувальний бункер та приймальну камеру дробарки, на неї діють сила тяжкості  $F_T$  та сила тиску стовпа (шару зерна)  $F_{д.с}$  (рис. 2.8 а). Для визначення величини тиску крім насипної щільності вихідного продукту, об'єму і поперечного перерізу камери необхідно знати кут тиску. За дослідженнями при хаотичному укладанні зернистих матеріалів найбільш ймовірним є кут тиску рівний  $29^{\circ}40'$ .

Після зіткнення з ротором або попадання в його паз (рис. 2.8 б), на зернівку починає діяти відцентрова сила  $F_{ц}$ , а по дотичній до ротора виникає сила тертя  $F_{тр.д.с}$  шар зернового матеріалу. Повертаючись разом з ротором (рис. 2.8 в), частка зернового матеріалу під дією відцентрової сили  $F_{ц}$  відкидається в шар зернового продукту приймальної камери, який знаходиться і під постійним впливом повітряного потоку, що створюється ротором, що обертається. Швидкість вильоту зернівки під дією відцентрової сили та вплив на її положення повітряного потоку зростатимуть пропорційно до збільшення частоти обертання ротора.

Контакт зернівки зі стінкою паза (рис. 2.8 г) відбувається через різницю між швидкістю руху частки і лінійною швидкістю на поверхні ротора. Постійна дія відцентрової сили  $F_{\text{ц}}$  не дає зернівці стійко триматися в пазу, тому вона може вилітати з нього, замінюватись іншою часткою, залишитися в пазу, упираючись у шар зернового матеріалу і т.д. Реалізація варіанта, коли зернівка утримується в пазу, пов'язана з виконанням умов динамічної рівноваги, що діє на неї системи сил.

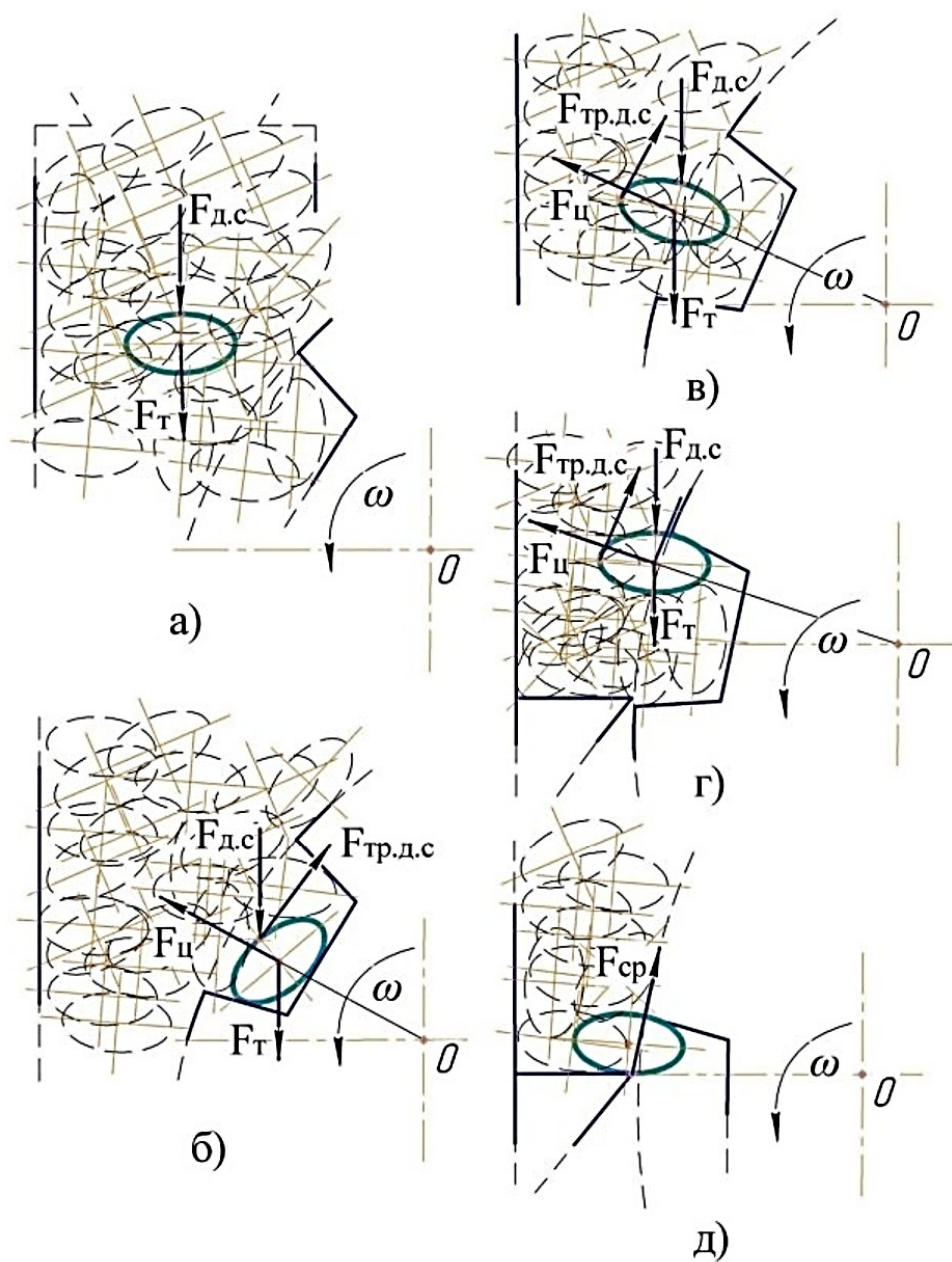


Рисунок 2.8 - Схема впливу сил на частинку зернового матеріалу в порожнині дробарки: а - у загальній масі, б, в, г - при циркуляції в дробильній камері, д - у момент заклинювання

У момент, коли зернівка заклинюється між протирізом та стінкою паза (рис. 2.8 д), вона залишається миттєво нерухомою. Після чого починається робота рівнодіючої (результуючої), спрямованої на подолання внутрішніх сил матеріалу, які залежать від фізико-механічних властивостей частки, цілісності її структури та характеру докладання зусиль, що руйнують. Таким чином, на зернівку починає діяти сила зрізу  $F_{\text{зр}}$ .

Розглядаючи етапи зміни положення зернівки до її заклинювання докладніше можна подати умовну схему зміни положення зернівок у робочій порожнині дробарки. У приймальній камері відбувається складний хаотичний рух і циркуляція як цілих незруйнованих зернівок (переважно у верхній частині), так і частково зруйнованих, а також дрібних частинок зерна (переважно в нижній частині перед зоною заклинювання та зрізу).

Для того щоб показати як зерновий матеріал рухається в дробильній камері обмежимо робочу порожнину знизу зоною заклинювання та калібрування, а зверху бункером подачі зерна. При цьому зернівки овальної форми показані схематично в поперечному перерізі без включення зруйнованих частинок (різної крупності).

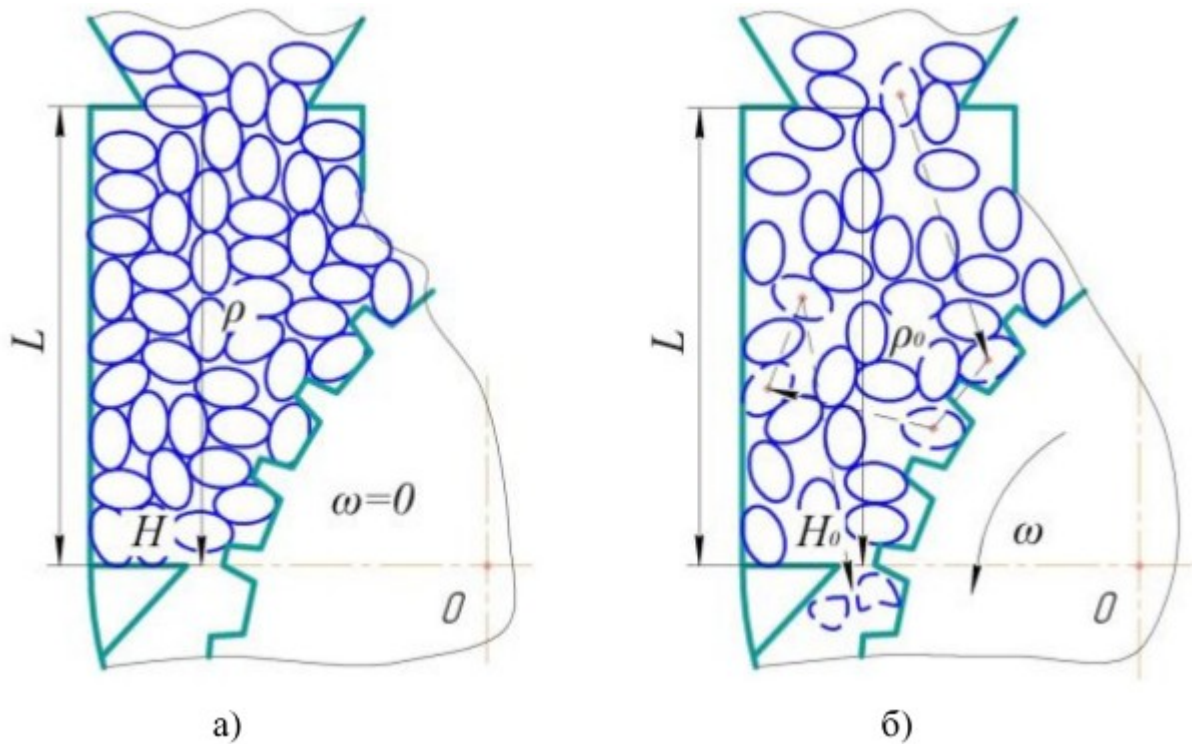


Рисунок 2.9 - Схема циркуляції зернового матеріалу в дробильній камері: а - при нерухомому роторі, б - при обертанні ротора

Як видно на представленому малюнку 2.9 а при нерухомому роторі відбувається вільне заповнення робочої порожнини зерном, яке укладається і створює тиск  $H$  на шари зернівок, що лежать нижче. зоні зрізу, яке можна визначити за формулою:

$$H = \rho \cdot g \cdot L, \quad (2.7)$$

де  $\rho$  - насипна щільність зернового матеріалу, кг/м<sup>3</sup>.

При обертанні ротора (рисунок 2.9 б) частина зернівок відштовхується від нього і перешкоджає іншим переміщатися вниз. Окремі зернівки утримуються у пазах. Це призводить до зміни укладання загальної маси зерна та зниження тиску  $H_t$  на зернівки в зоні зрізу, що визначиться за рівнянням:

$$H_r = \rho_0 \cdot g \cdot L, \quad (2.8)$$

$L$  - висота приймальної камери, по якій тисне шар матеріалу, м.

З іншого боку зниження насипної щільності можливе за рахунок додаткового насичення зернового матеріалу повітрям, що подається ротором, що обертається. Порізність матеріалу буде тим інтенсивнішим, чим герметичніша камера робочої порожнини, а також вона зросте зі збільшенням частоти обертання ротора дробарки. Крім того, в нижній частині робочої порожнини дробарки зі збільшенням швидкості повітряного потоку більш інтенсивно відкидатимуться цілі, частково зруйновані та дрібні частинки зерна. Це зрештою може знизити заповнення пазів ротора і продуктивність дробарки в цілому.

Як показав аналіз роботи роторної дробарки процес руху зерновок у робочій порожнині має складний імовірнісний характер і потребує окремого самостійного наукового дослідження, теоретичного обґрунтування та експериментального підтвердження.

Вище для опису кінетики руху зернівки, на роторі було обрано прямокутний паз. Але така форма паза не може утримати зернівку в ньому до її зрізу. Крім того, прямокутний паз передбачає наявність неробочих ділянок на роторі (перехідні майданчики), контактуючи з якими частинки зернового матеріалу відразу «відбиватимуться» ротором, що обертається. Щоб унеможливити ці ділянки, пропонується трикутна нарізка рифлів, коли кінець попереднього паза є початком наступного.

При цьому взаємне розташування рифлів ротора і статора відповідає схемі - «вістря по вістря», а за рахунок виконання ухилу стінок рифлів (пазів) у напрямку обертання ротора і відсутності перехідного майданчика між ними досягається захоплення (заклинювання зернівки) матеріалу в зоні сколювання (рис. 2.10).

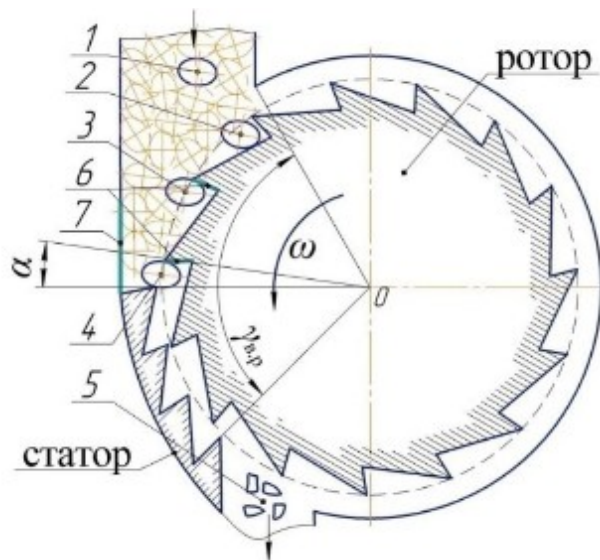


Рисунок 2.10 - Схема руху зернівки в порожнині горизонтальної роторної дробарки з видозміненими 6,7 поверхнями робочих органів: 1 - у завантажувальному бункері, 2, 3, 4 циркуляція в приймальній камері, заклинювання та зріз, 5 - виведення подрібнених частинок з дробарки

Процес подрібнення від завантаження вихідного продукту до виведення його частинок у представленій схемі подрібнювача відбувається при впливі ротора по куту  $\gamma_{в.р}$ , що мінімізує тривалість впливу робочих органів на зернівки сільськогосподарських культур, а також організовано «пряму» подачу матеріалу в зону зрізу.

Відцентрова сила частково компенсуватиметься похилою стінкою паза 6 і зернівка займе більш стійке положення в ньому, що поряд з упором 7 спинки статора допоможе запобігти небажаному вильоту з пазів ротора. Ці зміни покликані спростити затискання продукту по куту для подальшого різання і сколювання.

Представлені вище теоретичні кінематичні схеми не суперечать і теоретичним підходам, і описам процесу подрібнення в інших конструкціях дробарок з робочими органами, що обертаються навколо однієї осі, виконаними іншими авторами.

Отже, при попаданні зернівки на ротор, що обертається, їй повідомляється круговий рух зі швидкістю ротора. Відцентрова сила

спрямована від центру і, будучи прикладеною до зернівки, намагається виштовхнути її в радіальному напрямку, піднімаючи (відриваючи) з паза. При цьому виникають сили інерції, тертя, які поряд із силою тяжкості та тиску шару (стовпа) та повітряним потоком намагаються врівноважити відцентрову силу.

Чим вище колова швидкість ротора, тим більше впливає вона на виліт зернівок з паза, щільність укладання продукту, повітряні потоки в порожнині дробарки. Тоді, незважаючи на форму рифлів прийняту для протидії відцентровій силі  $F_{ц}$ , має існувати критичне значення цієї швидкості, при якому дія описаних вище факторів буде порівнянна з ефективною роботою горизонтальної роторної дробарки.

Розглянемо докладніше процес руйнування одиної зернівки матеріалу масою  $m_z$  при першому (найбільш енерговитратному) її сколі в горизонтальній роторній дробарці, яке, як визначили раніше, характеризується результуючою силою  $F_p$ . Під час зрізуючого зусилля  $F_{cp}$  при досягненні критичної напруги  $\tau$  частина зернівки, що знаходиться в пазу починає переміщатися і в цей момент з'являються сила інерції  $F_i$ , і сила тертя  $F_{тр,z}$  цієї маси зернівки  $m_{ч,z}$  (рис. 2.11).

Отже, результуюча сил зрізу  $F_p$ , відповідальна проходження матеріалу повз зони зрізу, тобто. обумовлююча критичну силу при якій відбувається скол частки зернівки в даній конструкції визначиться:

$$F_p = F_{cp} + F_i + F_{тр} \quad (2.9)$$



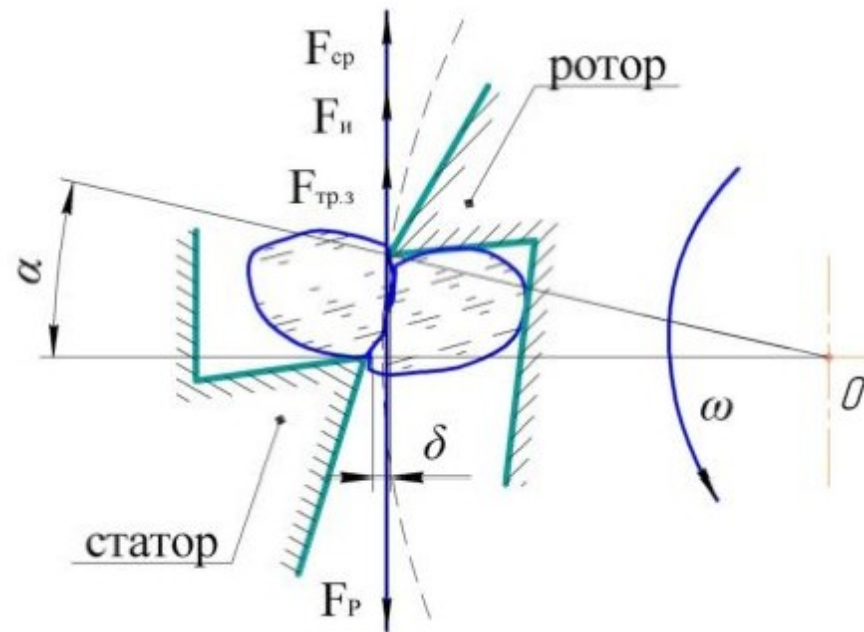


Рисунок 2.11 - Схема зрізу зернівки видозміненими робочими органами

Сила зрізу (руйнівне зусилля)  $F_{cp}$  дорівнює відношенню площі зрізу до критичній напрузі матеріалу на скол:

$$F_{cp} = \tau \cdot A_{cp}, \quad (2.10)$$

де  $\tau$  - критичне (руйнівне) напруга на зріз зернівки, Н / м<sup>2</sup>;  $A_{cp}$  - площа поверхні, за якою відбувся зріз (скіл) зернівки, м<sup>2</sup>.

При цьому теоретично значення  $A_{cp}$  можна визначити з еквівалентного діаметра зернівки  $D_e$ :

$$A_{cp} = \frac{\pi D_e^2}{4} \quad (2.11)$$

Для визначення сили інерції  $F_i$  необхідно знати з яким прискоренням  $a$  відбувається зріз частини зернівки масою  $m_a$ .

$$F_1 = m_{\text{ч.з}} \cdot a, \quad (2.12)$$

де -  $m_{\text{ч.з}}$  - маса частини зернівки ( $m_{\text{ч.з}} \approx m_3/2$ ) в пазу ротора, що утворилася під час зрізу, кг;

$a$  - прискорення миттєво нерухомої частини зернівки, що зрізається,  $\text{м/с}^2$ :

$$a = \frac{v_p - v_3}{t_{\text{ср}}}, \quad (2.13)$$

де  $v_3$  - швидкість заклиненої зернівки ( $v_3 = 0$ ),  $\text{м/с}$ ;

$v_p$  - лінійна (колова) швидкість на поверхні ротора,  $\text{м/с}$ ;

$t_{\text{ср}}$  - тривалість зрізу, с:

$$t_{\text{ср}} = \frac{D_e}{v_p}, \quad (2.14)$$

де  $D_e$  - довжина (еквівалентний діаметр зернівки) зрізу, м.

Формулу (2.12) для визначення  $F_1$  можна записати:

$$F_{\text{п}} = \frac{m_{\text{ч.з}} \cdot v_p^2}{D_e} \quad (2.15)$$

Сила тертя  $F_{\text{тр.з}}$  зернівки, що зрізається, про частину, що залишилася на протирізі, її створюється відцентровою силою цієї маси  $m_{\text{ч.з}}$ :

$$F_{\text{тр.з}} = m_{\text{ч.з}} \cdot \omega^2 \cdot r \cdot k_{\text{тр.з}}, \quad (2.16)$$

де  $k_{\text{тр.з}}$  - коефіцієнт внутрішнього тертя зернівки (наприклад, за даними для пшениці знаходиться в межах 0,45 ... 0,75).

Тоді формулу (2.9) рівнодіючої сил  $F_p$  переписемо як:

$$F_p = \tau \cdot \frac{\pi D_z^2}{4} + \frac{m_{ч.з} v_p^2}{D_z} + m_{ч.з} \cdot \omega^2 \cdot r \cdot k_{тр.з} \quad (2.17)$$

Виходячи з цього на рис. 2.12 представлено графік залежності кожної складової рівнодіючої сил  $F_p$  при окружній швидкості ротора  $v_p = 2 \dots 8$  м/с з прикладу поділу зернівки твердої пшениці. Для визначення прийняли відомі значення  $m_z$ ,  $D_e$ ,  $k_{тр.з}$  і т.

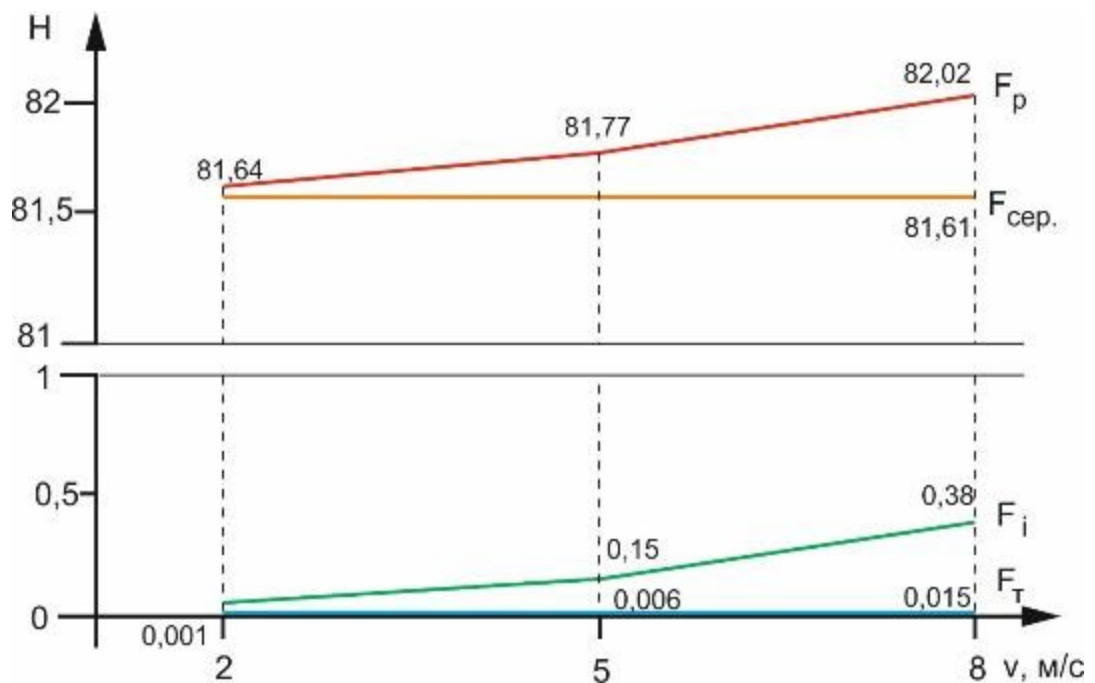


Рисунок 2.12 - Зміна складових результатуючих сил зрізу від колової швидкості ротора при розподілі на частини зернівки пшениці

З графіка видно, що складові сили тертя  $F_{тр}$  і сили інерції  $F_i$  дуже малі (менше 1% від  $F_p$ ) в порівнянні зі значенням руйнівного зусилля  $F_{сер.}$ , яке й визначатиме енергетичні складові процесу сколу однієї зернівки.

Облік сил тертя та інерції необхідний при одночасному (одномоментному) сколюванні маси продукту. Визначене за формулою (2.17) руйнівне зусилля для однієї зернівки  $F_{сер.} = 81,6$  Н справедливе лише за статичного навантаження. Так з різних досліджень значення руйнівного

зусилля на зріз і сколювання зернівок пшениці перебуває у межах 20...90 Н і зумовлено їх фізико-механічними властивостями, видом впливають під час сколювання робочих органів прокуратури та залежить від динамічної складової процесу.

Значний вплив на тип руйнування, що відбувається, надає зазор між кромками рифлів  $\delta$ . Наведені вище схеми розглядалися з урахуванням мінімального (близького до 0) зазору, так як це є умовою руйнування при зрушенні (зріз, сколювання). Зі збільшенням  $\delta$  процес подрібнення зернівки стає менш керованим і характеризуватиметься згинаючими деформаціями, що виникають у матеріалі.

Вплив динамічної складової та робочого зазору на енергетику процесу подрібнення зернових матеріалів у запропонованій конструкції передбачено при виконанні експериментальних досліджень.

Виведення частинок матеріалу після руйнування в горизонтальному роторному подрібнювачі представляється як відкидання їх з пазів ротора до статора та випускного вікна.

Частинки матеріалу не встигають заповнити робочу порожнину, а зіткнення зернівки з поверхнею статора при швидкості 8 м/с, навряд чи зможе призвести до її руйнування. Тобто, подрібнені частинки зернового матеріалу випадають з розвантажувального вікна дробильної камери під дією сили тяжіння і без додаткового впливу, що руйнує.

## 2.4 Висновки

1. Горизонтальна роторна дробарка представлена самостійною складною технічною системою, нижчими елементами якої є робочі поверхні (рифлі) статора та ротора, що контактують з матеріалом, цільовим призначенням яких

є створення умов для поділу вихідних зернівок на задану кількість частинок до досягнення ними відповідно до зоотехнічних вимог необхідного розміру.

2. Запропоновано енергоефективну конструктивно-технологічну схему руйнування зернових матеріалів: заклинювання – вплив – висновок. Контакт ротора з вихідним зерновим продуктом відбувається за кутом  $\gamma_{в,р}$ , який визначає як тривалість поділу зернівок до необхідного розміру, а й час утворення пилоподібних фракцій. При завантаженні зерна організовано подачу матеріалу у зону зрізу. При цьому взаємне розташування рифлів ротора і статора відповідає схемі - «вістря-вістря».

3. Досліджено кінетику процесу подрібнення зернівок у робочій порожнині дробарки. Теоретична оцінка руйнівної дії (рівнодіюча сил  $F_p$ ) на зернівку пшениці показала, що складові сили тертя  $F_{тр}$  та сили інерції  $F_i$  дуже малі (менше 1% від  $F_p$ ) порівняно зі значенням руйнівного зусилля  $F_{ср}$ , яке і визначатиме енергетичні складові процесу сколу одиничного зернівки.

### **3 Лабораторні дослідження процесу**

#### **3.1 Програма та методика**

Програма експериментальних досліджень включала:

- дослідження фізико-механічних властивостей зернових матеріалів, що подрібнюються (вологість, розмірно-вагові параметри, критичне напруження зрізу);

- визначення конструктивних та режимних параметрів роторної дробарки (форма та кількість робочих органів, робочий зазор, частота обертання ротора та ін.).

Для визначення критичної напруги на зріз необхідно знати руйнівне зусилля  $F_{cr}$ , яке залежить від фізико-механічних властивостей зернівок (міцність, вологість, розміри та ін), від виду зернових матеріалів (кукурудза, ячмінь, пшениця та інші) і від сорту одного і того ж виду. Тому для об'єктивності одержуваних даних зернівки були відібрані за винятком нестандартних (дуже великих та дуже дрібних) та пошкоджених.

В експериментальній установці передбачені зони, що враховують розмірні характеристики для фіксування зернівки прийнятих культур у різних положеннях, вертикальній та горизонтальній площинах, із зазором і без нього між елементами, що зрізають. Тому з урахуванням системи координат з осями  $x$ ,  $y$ ,  $z$  було визначено площини, якими необхідно фіксувати силовий вплив на зернівку, тобто. зрізати її.

Зрізи пшениці, ячменю та вівса здійснюються загалом по 6 площинах і 3 різних напрямках, а кукурудзи в 2 площинах і 2 напрямках, тому що за своєю будовою зернівки кукурудзи відрізняються від інших злаків (немає борозенки, кріпиться до початку за допомогою особливого освіти – чохла). Загальний вид установки для досліджень руйнівного зусилля зернівок представлений малюнку 3.1.

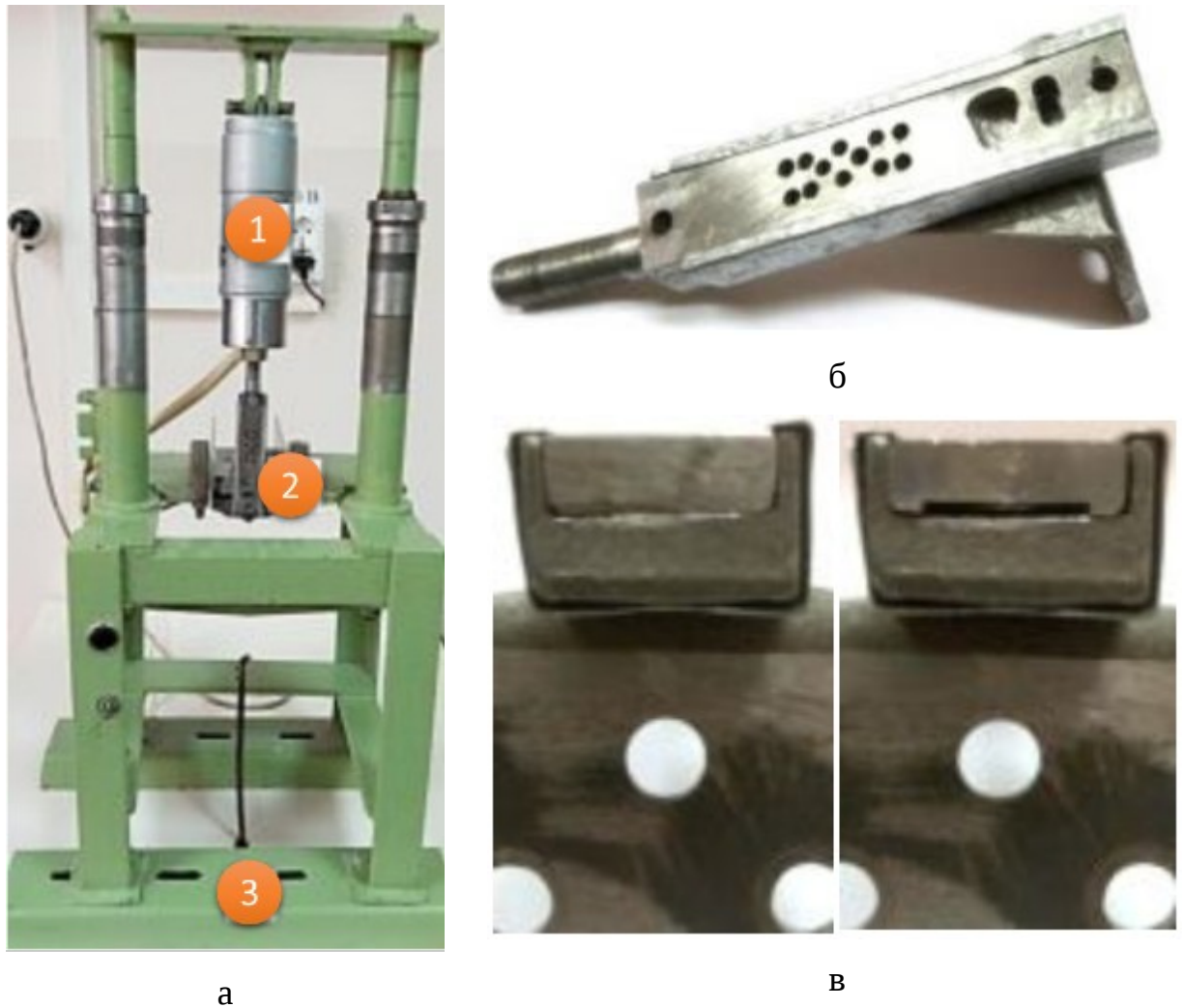


Рисунок 3.1 - Загальний вид установки для випробування зернівок (а), зрізний елемент (б), зазор між робочими поверхнями (в)

Установка складається з електроприводу 1, елемента зрізу 2, встановленого на тензоланку та рами 3. Розташування зернівок у каналах зрізного елемента зображені на рис. 3.2.

Установка містить рухоми частину а і жорстко закріплену напрямну б. При цьому елемент а має кілька варіантів виконання для вимірювання з різним розміром зазору між ним і напрямною б. Для фіксації зернових пшениці, ячменю, вівса 1 і кукурудзи 2, в деталях установки були зроблені відповідні поглиблення (рисунок 3.2 а). Також є можливість випробування зернівок

гороху, сої та інших культур, якщо їх геометричні характеристики не перевищують розмір пазів для фіксації випробуваних зернівок.

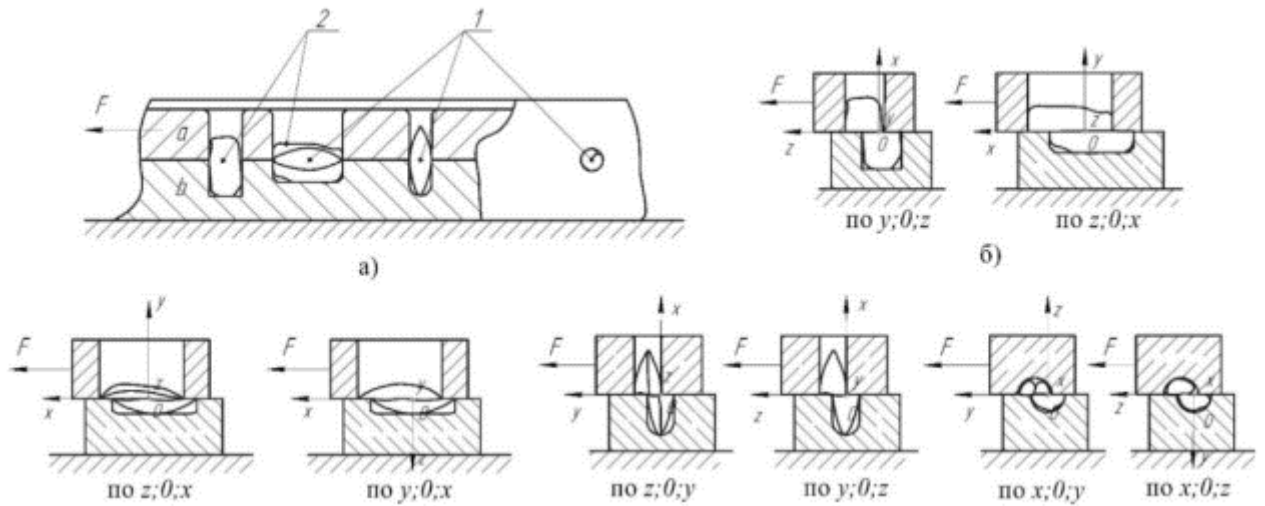


Рисунок 3.2 - Схема зрізного елемента (а) і зсуву зернівок кукурудзи (б), пшениці, ячменю та вівса (в) його ріжучими поверхнями

Вимірювання відбувалося в такий спосіб.

Встановлювалася одна зернівка, потім за допомогою певної сили  $F$  частина а наводилася в рух  $b$ , зрізуючи випробуваний матеріал (із зазором між ними або без). На екрані ЕОМ фіксувалося вимірне значення цієї сили, яку приймає тензодатчик, перетворюючи їх у електричний аналоговий чи цифровий сигнал. Це дозволяло отримувати дані щодо силового впливу до, в момент та після зрізу зернового матеріалу. Як джерело живлення тензодатчика зусилля використовувався генератор сигналів АЦП-ЦАП, що дозволяє генерувати напругу  $2,5 \pm 0,0001$  В

Зусилля, необхідні зрізу зразка визначалися за допомогою тензобалки, встановленої між кареткою вертикального переміщення і тримачем зразка. Для зняття показань з тензорезистора його включили до схеми нерівноважного моста. Мостовий ланцюг є диференціальним, отже, в ньому компенсуються адитивні похибки. Вихідна напруга моста зазвичай не перевищує 10 - 20 мВ,





Для отримання критичної напруги додатково відбувалося вимірювання площі перерізу зрізу  $A_{cp}$  вже розділених в установці зернівок. Аналогічним чином аналізувалися площі зрізів всім культур. Види характерних зрізаних поверхонь (вздовж і впоперек) зернівок цих культур представлені рис. 3.4.

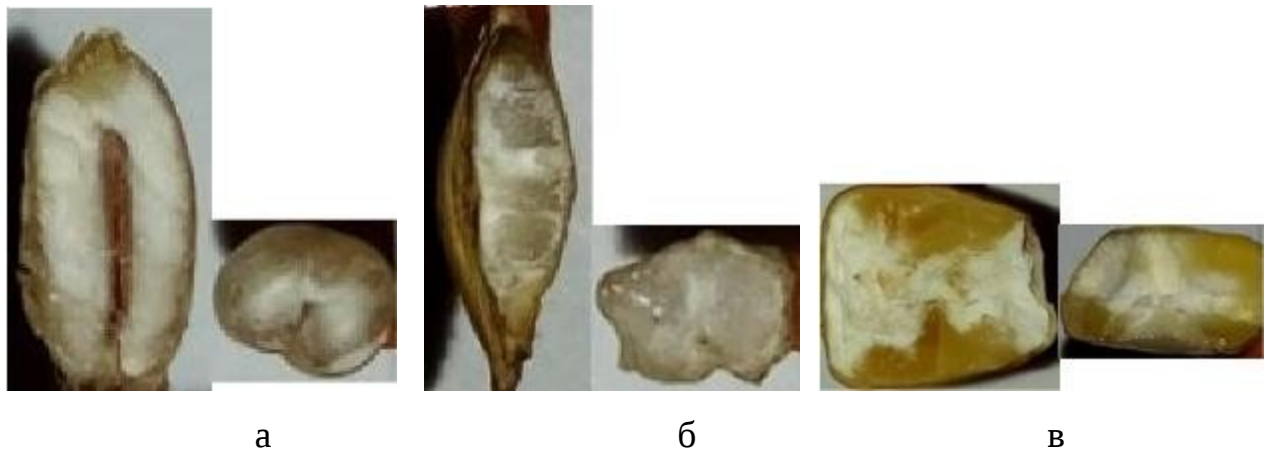


Рисунок 3.4 - Фото зрізаної поверхні зернівок, що випробовуються: а) пшениці, б) ячменю, в) кукурудзи

Вплив величини робочого зазору на ефективність процесу поділу зернівок на частини перевірено при руйнуванні пшениці в поперечному напрямку. Дані випробування проводили на тій же установці, за тією ж методикою, але поверхні елемента, що зрізає, встановлені з зазором 0,5 мм, 1 мм і 1,5 мм між ними.

### 3.2 Результати досліджень

Відповідно до представленої в п. 3.1 програми були проведені експериментальні дослідження фізико-механічних властивостей зернових матеріалів (вологість, розмірно-вагові параметри, критичне напруження зрізу).

Результати цих експериментів занесено до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Фізико-механічні властивості досліджуваних зернових матеріалів

| Вид зернового матеріалу | Геометричні характеристики, мм |        |        | Маса 1000 шт., г | Вологість, % |
|-------------------------|--------------------------------|--------|--------|------------------|--------------|
|                         | довжина                        | ширина | висота |                  |              |
| Пшениця                 | 6,85                           | 3,12   | 2,57   | 33               | 12,12        |
| Ячмінь                  | 8,55                           | 3,38   | 258    | 42               | 12,11        |
| Кукурудза               | 10,11                          | 8,36   | 4,65   | 280              | 10,95        |
| $\sigma$                | 0,4...1,2                      |        |        | 5,2...45,2       | 1,2...2,2    |
| V, %                    | 7...14                         |        |        | 12...16          | 9,5...18,5   |

Уточнені показники вагових та геометричних параметрів при коефіцієнті варіації  $V = 8...17\%$  збігаються з даними, отриманими іншими авторами, а зерновий матеріал відповідає нормам та придатний для проведення експериментів щодо його подрібнення. Вологість випробуваних зразків протягом усіх експериментів вбирається у 14,5%, тобто, відповідала вимогам до зерна, призначеного для вироблення комбікормів.

Експериментами на установці з випробування руйнівного зусилля зернівок  $F_{cp}$  (статичного) при коефіцієнті варіації  $V = 18...26\%$ , зафіксовано значення для пшениці 81Н та 47 Н, для ячменю 130 Н та 64 Н та 35 Н, для кукурудзи 200 Н і 182 Н, вздовж та впоперек відповідно. За даними сили  $F_{cp}$  та площі  $A_{cp}$  визначили критичні напруження  $\tau$  зернівок на зріз за трьома площинами поділу, середні значення яких занесені до таблиці 4.2.

Таблиця 3.2 – Критичні напруження на зріз зернових культур

| Вид зернового матеріалу | Критичне напруження зрізу, МПа |       |                  |
|-------------------------|--------------------------------|-------|------------------|
|                         | Вздовж зернівки                |       | Поперек зернівки |
|                         | z;0;x                          | x;0;y | y;0;z            |
| Пшениця                 | 10,8                           | 11,4  | 7,2              |
| Ячмінь                  | 12,3                           | 14,2  | 3,6              |
| Кукурудза               | 4,2                            |       | 2,7              |
| $\sigma$                | 2,2...3,1                      |       | 1,4...2,1        |
| V, %                    | 18...24                        |       | 17...25          |

Для всіх зернових культур мінімальні показники напруги відповідають поперечному зрізу. Показники критичних напружень зрізу (сколювання) зернових матеріалів корелюють з даними досліджень проведеними в різний час іншими авторами.

Також досліджено міцність зернівок пшениці при статичному руйнуванні, зі зміною величини зазору між робочими поверхнями елемента, що зрізає установки. За результатами експерименту відзначено зміну руйнівного зусилля  $\tau$ , кількості зернівок, подрібнених на 3 і більше частини  $N_{зч}$  числа цілих частинок  $N_{ц}$ . Критична напруга  $\tau$  зернівки зростає в середньому з 8,7 МПа при мінімальному зазорі та до 11,9 МПа при  $\delta = 1,5$  мм. Через складнощі фіксації зернівок при впливі на них робочих поверхонь елемента, що зрізає, поява 5...15%  $N_{ц}$  спостерігається вже за  $\delta = 1$  мм і збільшується до 100% при  $\delta > 1,5$  мм. Руйнування зерна на 3 і більше частини  $N_{зч}$  є при будь-якому зазорі і змінюється, зростаючи від 7% до 15% при робочому зазорі 1,5 мм, що пов'язано з різною структурою зернівок, мікротріщинами в них та іншими факторами. Якщо встановити зазор вище 1,5 мм, процес подрібнення фактично не здійснюється, що підтверджується при

руйнуванні пшениці із зазором 2 мм між робочими органами зрізного елемента, як у готовому продукті перебувало до 80% цілих зернівок (рис. 3.4).

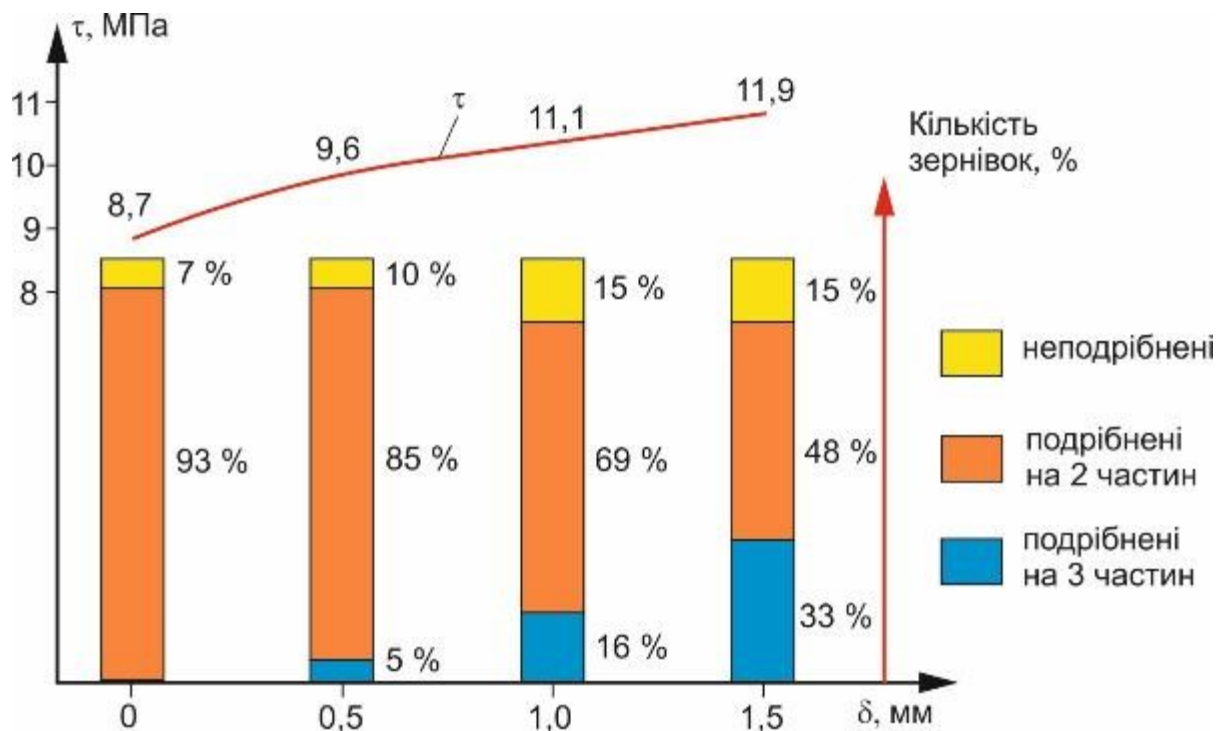


Рисунок 3.4 - Зміна характеру подрібнюваності зерна та зрізу зусилля по пшениці на спеціалізованій установці

Також відзначено збільшення часу поділу на частини зернівок, що пояснюється виникненням згинальних складових. Скіл зернівки пшениці впоперек з мінімальним зазором в середньому зажадав зусилля близько 80 Н, а з зазором 1,5 мм - 90 Н, при цьому час поділу становив 0,6 с та 1 с відповідно (рис. 4.2).

При поперечному руйнуванні зернівки пшениці із зазором і без (менше 0,5 мм) у статиці можна відзначити:

- тривалість до настання руйнування збільшується до двох разів за нарощуванні робочого зазору;

- кількість зернівок, що руйнуються на 3 і більше частини при поділі з збільшеним зазором у 5-10 разів вище, ніж при зрізі з мінімальним;

- кількість цілих, не підданих подрібненню, зернівок при зазорі 1,5 мм і вище становило 33% і більше від загальної маси;
- середнє значення критичної напруги для поділу зернівок пшениці впоперек зростає зі збільшенням зазору на 10 – 20%.

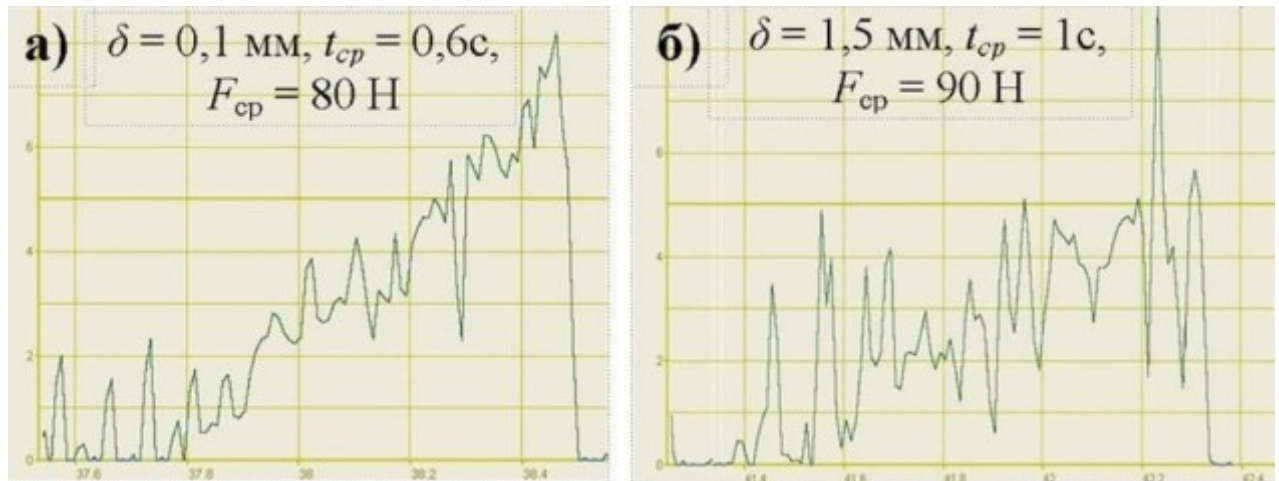


Рисунок 4.2 - Характерний графік зміни руйнівного зусилля зернівки пшениці на установці при мінімальному (а) та максимальному (б) робочому зазорі між поверхнями зрізного елемента

Таким чином, для здійснення саме дотичних зрізних напружень у розглянутій конструкції необхідно стежити за зазором між робочими поверхнями ротора та статора. При його збільшенні руйнування починає набувати згинального та стираючого характеру, що тягне за собою підвищене утворення пилоподібних фракцій, прохід недоподрібнених зернівок і збільшує енергоємність процесу подрібнення.

### 3.3 Висновки

Уточнено фізико-механічні властивості зернових матеріалів при вологості не вище 14,5% та коефіцієнті варіації  $V = 8...26\%$ , відповідні зафіксованим раніше. Абсолютна вага (маса 1000 шт.) склав: для пшениці 32

г, ячменю 41 г, для кукурудзи 275 г. Геометричні характеристики культур склали: пшениця  $5,99 \times 3,07 \times 2,75$  мм, ячмінь  $8,64 \times 3,46 \times 2,67$  мм, кукурудза  $10,02 \times 8,43 \times 4,73$  мм. Критична напруга сколювання (статична дія) склали: пшениця 7,6...11,5 МПа, ячмінь 3,8...14,5 МПа, кукурудза 2,9...4,6 МПа.

Зі збільшенням зазору між ріжучими поверхнями до  $\delta = 1,5$  мм підвищується кількість цілих і розділених на 3 і більше частини зернівок, зростає (на 10...15 %) середнє значення критичної напруги для поділу на частини зернівок пшениці, а після подальшого збільшення зазору поділ носить не постійний (до 50% зернівок не поділяється на частини).

Сукупними експериментальними дослідженнями встановлено критичну окружну швидкість ротора  $v_p = 4,5 \dots 6,5$  м/с, оптимальний робочий зазор  $\delta = 0 \dots 0,5$  мм. При цьому розрахований коефіцієнт заповнення зони подрібнення (Приймальна камера) склав  $k_z = 0,037 \dots 0,058$ , а динамічний коефіцієнт  $k_d = 0,31 \dots 0,66$ . При роздільному подрібненні (середній помел) зернового матеріалу (пшениця, ячмінь, овес, кукурудза) у горизонтальній роторній дробарці фракція з 136 частинками необхідного розміру становила 91...98%, що відповідає фактичній результативності процесу  $\Phi_{pi} = 9,2 \dots 61,5$ , при продуктивності  $Q = 97 \dots 267$  кг/год,  $N_{пит} = 1,3 \dots 2$  Вт·год/кг. Переробка одночасно всіх культур менша ефективна, ніж кожній окремо, проте навіть у цьому випадку кількість борошняних фракцій (менше 0,25 мм) не перевищувало 5%.

## **4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях**

### **4.1 Загальні визначення та поняття**

Законодавство України про охорону праці базується на конституційному праві всіх громадян України на належні, безпечні і здорові умови праці, гарантовані статтею 43 Конституції України.

Основоположним документом в галузі охорони праці є Закон України «Про охорону праці» [31], «який визначає основні положення щодо реалізації права на охорону життя і здоров'я у процесі трудової діяльності, на належні, безпечні і здорові умови праці, регулює відносини між роботодавцем і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні».

Отже, охорона праці - це «система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності».

Згідно визначення [32], «об'єкт підвищеної небезпеки – це об'єкт, на якому використовуються, виготовляються, переробляються, зберігаються або транспортуються одна або кілька небезпечних речовин чи категорій речовин у кількості, що дорівнює або перевищує нормативно встановлені порогові маси, а також інші об'єкти як такі, що відповідно до закону є реальною загрозою виникнення надзвичайної ситуації техногенного та природного характеру».

Розроблений у статті подрібнювач сипучих матеріалів не відповідає умовам наведеного вище визначення та не піддається підвищеним загрозам. Однак під час роботи подрібнювача у вітряному приміщенні накопичується пил і може стати причиною пожежі.

### **4.2 Шкідливі та небезпечні виробничі фактори**



Під час використання вдосконалених шредерів оператори можуть наражатися на наступні небезпеки:

- при пошкодженні ізоляції електричних провідників, вилок, розеток або при виході з ладу електродвигуна - ураження електричним струмом;
- при виході з ладу з'єднувальної муфти-пошкодження через відліт компонентів.

Щоб запобігти небезпечним ситуаціям, описаним вище, ми передбачили наступне:

- влаштування захисного заземлення триконтактних розеток;
- муфта з'єднання закрита захисним кожухом.
- електродвигун оснащений термореле, яке відключає його від мережі при значному підвищенні температури.
- обладнати виробничу ділянку гігієнічними та побутовими приміщеннями, тобто душовими кабінами, санвузлами та роздягальнями.
- забезпечити опалення виробничої площі взимку.
- обладнати виробничі приміщення засобами пожежогасіння.

Так як зерно завантажують до подрібнювача вручну, приведемо граничні норми підймання і переміщення важких речей жінками:

| Характер робіт                                  | Гранично допустима вага, кг |
|---|-----------------------------|
| Підймання і переміщення вантажів                | 10                          |
| Підймання і переміщення вантажів протягом зміни | 7                           |

Рама удосконаленого подрібнювача має металевий корпус, станина подрібнювача зафіксована на бетонній підлозі за допомогою анкерів, в роботу подрібнювач приводиться від електродвигуна живленням напругою 220 В. Для забезпечення заземлення подрібнювача для під'єднання до електромережі буде використана триполюсна електрична вилка та триполюсна розетка, яка

крім ліній живлення (фаза, нуль) містить додатковий полюс, який буде з'єднано з шиною заземлення в приміщенні. Це дасть змогу захистити оператора від враження електрострумом при пошкодженні ізоляції. Сама електропроводка має подвійну ізоляцію – загальну та кожного провідника. Крім захисного заземлення для захисту оператора від уражень електричним струмом під час аварійного замикання на землю чи корпус передбачено встановлення диференційного реле, яке спрацює через 0,1 с після замикання.

#### **4.3 Заходи по забезпеченню захисту оператора від дії шкідливих та небезпечних факторів**

З метою захисту оператора подрібнювача від дії шкідливих та небезпечних факторів застосуємо організаційні та технічні заходи.

До організаційних заходів, в першу чергу, віднесемо своєчасність проведення інструктажів з охорони праці. Види та порядок проведення інструктажів з охорони праці визначені «Типовим положенням про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці», затвердженим наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці № 15 від 26.01.2005 р. Згідно вказаного положення, «вступний інструктаж проводиться спеціалістом служби охорони праці або іншим фахівцем відповідно до наказу (розпорядження) по підприємству, який в установленому порядку пройшов навчання і перевірку знань з питань охорони праці. Цей вид інструктажу проводять для всіх нових працівників. Далі, за діючими на підприємстві інструкціями з охорони праці відповідно до виконуваних робіт, проводять первинний інструктаж на робочому місці. Через 6 місяців роботи оператора подрібнювача проводять повторний інструктаж. У випадку необхідності проводять позаплановий та цільовий інструктажі».

Технічні заходи. Захист оператора подрібнювача від травмування предметами при поломці подрібнювача забезпечує сітчаста огорожа, яка встановлена між машиною зі сторони подрібнювача і місцем де може рухатись

працівник.

З метою захисту працівника від уражень електричним струмом під час аварійного замикання на корпус обладнання під час пошкодження ізоляції передбачено захисний вимикач, який спрацює через 0,2 сек після замикання та заземлення електродвигуна [33].

З метою захисту оператора від шуму його забезпечують спецзасобами - навушниками [35].

Відповідно до призначення будівель і споруд, необхідність виконання блискавкозахисту і її категорія, а при використанні стержневих і тросових блискавковідводів - тип зони захисту, визначаються залежно від середньорічної тривалості гроз у місці знаходження будівлі або споруди, а також від очікуваної кількості уражень його блискавкою в рік. Згідно РД 34.21.122-87 та ПУЕ всі будівлі на комплексі відносяться по устрою блискавкозахисту до III категорії, яка характеризується захистом від прямих ударів блискавки.

Для забезпечення блискавкозахисту комплексу за доцільне було прийнято використання оглядових вишок, з встановленими на них стрижневими блискавковідводами загальною висотою 50 м.

Зона захисту одиночного стрижневого блискавковідводу висотою  $h$  являє собою круговий конус (рис. 4.1), вершина якого перебуває на висоті  $h_0 < h$ . На рівні землі зона захисту утворить коло радіусом  $r_0$ . Горизонтальний перетин зони захисту на висоті споруди, що захищається,  $h_x$  являє собою коло радіусом  $r_x$ .

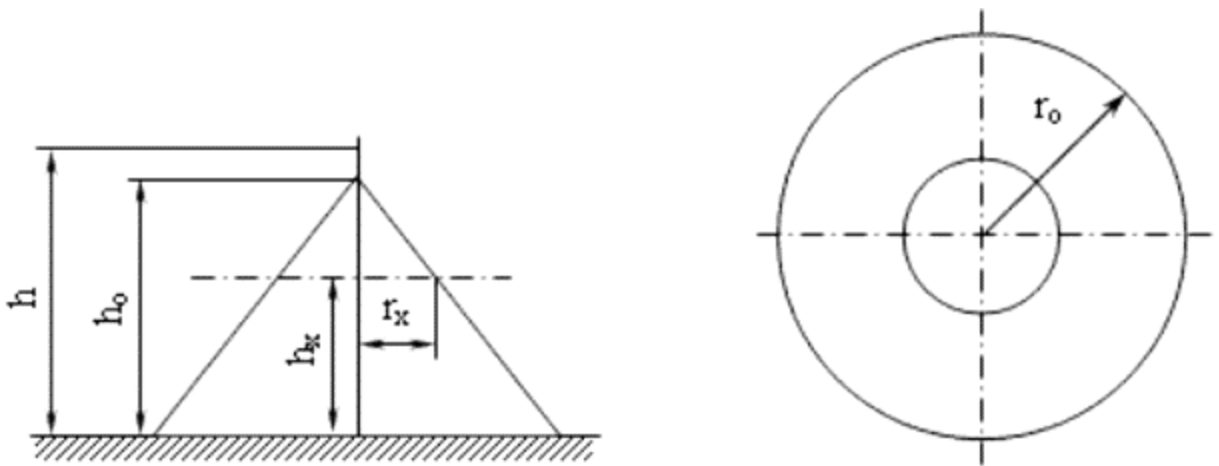


Рисунок 4.1- Зона захисту одиночного стрижневого блискавковідводу

Розрахунок значень величин, які вказано на схемі, проводимо згідно наступних виразів:

для зони типу Б

$$h_0 = 0,92h = 0,92 \cdot 50 = 46 \text{ м}, \quad (5.4)$$

$$r_0 = 1,5h = 1,5 \cdot 50 = 75 \text{ м}, \quad (5.5)$$

Виходячи з того, що висота приміщень не перевищує 6 м, тобто  $h_x = 6$  м, визначаємо  $r_x$ :

$$r_x = 1,5 \left( h - \frac{h_x}{0,92} \right) = 1,5 \cdot \left( 50 - \frac{6}{0,92} \right) = 66,75 \text{ м}, \quad (5.6)$$

Виходячи з проведених розрахунків, проводимо побудову зони захисту одиночного блискавковідводу (рис. 4.2).

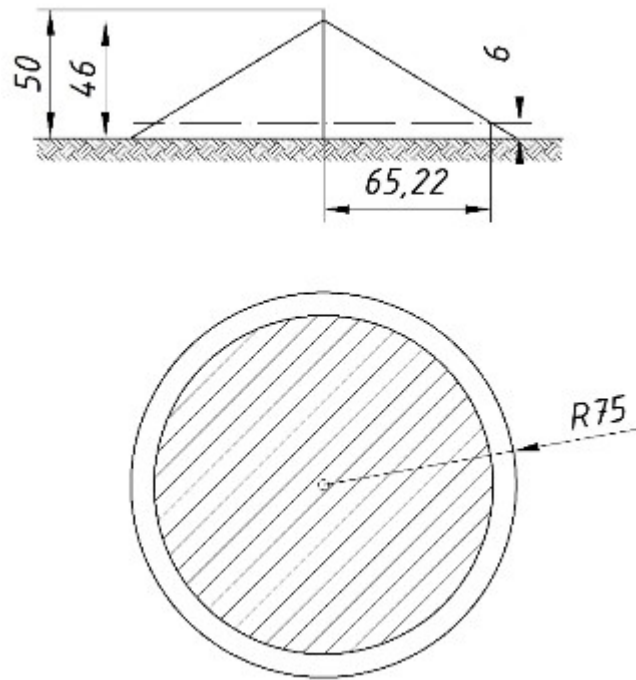


Рисунок 4.2 - Зона захисту одиночного  
стрижневого блискавковідводу для заданих умов

#### 4.4 Правила безпечного виконання робіт при подрібненні зерна

Ці правила з охорони праці передбачає основні вимоги безпеки під час роботи на подрібнювачі зерна. До самостійної роботи на подрібнювачі допускаються особи не молодші 18 років, які пройшли медичний огляд і не мають протипоказань за станом здоров'я, пройшли вступний та первинний на робочому місці інструктажі з охорони праці, навчені безпечним методам та прийомам роботи, які пройшли стажування на робочому місці, перевірку знань вимог охорони праці, а також навчання правил пожежної безпеки та перевірку знань правил пожежної безпеки в обсязі посадових обов'язків; навчання правил електробезпеки та перевірку знань правил електробезпеки в обсязі посадових обов'язків із присвоєнням групи допуску не нижче II.

Перевірити справність спецодягу, спецвзуття та інших ЗІЗ на відсутність зовнішніх пошкоджень. Спецодяг повинен бути відповідного розміру, чистим і не обмежувати рухів. Одягти спецодяг та ЗІЗ, що відповідають виконуваній роботі. Спецодяг повинен бути застібнутий, не допускаються звисаючі кінці.

Волосся прибрати під головний убір. Забороняється заколювати спецодяг шпильками, голками, тримати в кишенях гострі предмети, що б'ються. Отримати завдання у безпосереднього керівника виконання робіт, за необхідності пройти інструктаж. При роботах, пов'язаних із підвищеною небезпекою, пройти цільовий інструктаж та отримати наряд-допуск. Встановити послідовність виконання операцій. Підібрати інвентар, інструмент та пристрої, необхідні при виконанні роботи, перевірити їх відповідність вимогам безпеки, розташувати у зручному для роботи порядку. Підготувати робоче місце для безпечної роботи.

Підкорятися правилам внутрішнього трудового розпорядку, іншим документам, що регламентує питання дисципліни праці. Виконувати санітарно-гігієнічні вимоги. Правильно застосовувати спецодяг, спецвзуття та інші засоби індивідуального захисту. Не використовувати спецодяг, просочений нафтопродуктами. Не допускати до своєї роботи ненавчених та сторонніх осіб. Під час роботи слід бути уважним, не відволікатися від виконання своїх обов'язків та не відволікати інших працівників. Працівник, який перебуває у хворобливому чи перевтомленому стані, а також під впливом алкоголю, наркотичних речовин або ліків, що притупляють увагу та реакцію, не повинен приступати до роботи, оскільки це може призвести до нещасного випадку. Під час роботи потрібно поводитися спокійно і витримано, уникати конфліктних ситуацій, які можуть спричинити нервово-емоційну напругу та позначитися на безпеці праці. Виконувати вимоги безпеки, що викладені в інструкції з експлуатації електричного подрібнювача гілок. Дотримуватись вимог, що забезпечують безпечні умови праці та нормальне ведення технологічного процесу.

По закінченні роботи очистити подрібнювач від відходів та бруду згідно з інструкцією з експлуатації. Прибрати подрібнювач у встановлене місце зберігання. При транспортуванні подрібнювача повинні вживатися запобіжні заходи, що виключають його пошкодження. При цьому необхідно керуватись вимогами технічної документації заводу-виробника. Упорядкувати робоче місце. Пристосування, інвентар прибрати в призначені їх зберігання місця. Не

прибирати сміття, відходи безпосередньо руками, а користуватися щітками, совками та іншими пристроями.

У разі виникнення будь-яких неполадок, що загрожують аварією на робочому місці припинити роботу, відключити обладнання від електромережі; доповісти керівнику; діяти відповідно до отриманих вказівок. При ліквідації аварійної ситуації необхідно діяти відповідно до затвердженого плану ліквідації аварій. При виявленні несправностей обладнання, інструменту, пристроїв, а також при виникненні інших умов, що загрожують життю та здоров'ю працівників, слід припинити роботу та повідомити про них безпосереднього керівника. У разі виникнення несправностей, зазначених у посібнику з експлуатації заводу-виробника, негайно зупинити обладнання. При виявленні на металевих частинах обладнання напруги (відчуття дії електроструму) необхідно відключити обладнання від мережі та доповісти своєму керівнику. Забороняється застосовувати воду та пінні вогнегасники для гасіння електропроводок та обладнання під напругою, оскільки піна є гарним провідником електричного струму. Для цих цілей використовуються вуглекислотні та порошкові вогнегасники.

#### **4.5 Порядок дій у надзвичайних ситуаціях**

Ознаки надзвичайної ситуації (НС): небезпека для життя і здоров'я людей, суттєве порушення екологічної безпеки, повне або часткове зупинення господарської діяльності, значні матеріально-економічні збитки.

Надзвичайні ситуації за своєю сутністю та причинами виникнення поділяють на природні, техногенні та соціальні.

В нашому випадку найбільш імовірною є **надзвичайна ситуація техногенного характеру, а саме пожежа**. У разі виникнення пожежі (ознак горіння) кожен працівник зобов'язаний [35]:

– «негайно повідомити про це телефоном аварійно-рятувальну службу (тел. 101). При цьому необхідно назвати адресу об'єкта, вказати кількість поверхів будівлі, місце виникнення пожежі, обстановку на пожежі, наявність людей, а також повідомити своє прізвище;

- вжити (по можливості) заходів по евакуації людей, гасіння (локалізації) пожежі та збереження матеріальних цінностей;
- якщо пожежа виникла на підприємстві, повідомити про неї керівника чи відповідну компетентну посадову особу та (або) чергового об'єкту;
- у разі необхідності викликати інші аварійні служби (медичну, газорятувальну тощо).

Посадова особа об'єкта, що першою прибула на місце пожежі, зобов'язана:

- перевірити, чи викликана аварійно-рятувальна служба (продублювати повідомлення), довести подію до відома керівника установи;
- у разі загрози життю людей негайно організувати їх рятування (евакуацію), використовуючи для цього наявні сили й засоби;
- вивести за межі небезпечної зони всіх працюючих, не пов'язаних з ліквідацією пожежі;
- припинити роботи на об'єкті (якщо це допускається технологічним процесом виробництва), крім робіт, пов'язаних із заходами по ліквідації пожежі;
- здійснити у разі необхідності відключення електроенергії, агрегатів, апаратів, водяних комунікацій (за винятком систем протипожежного захисту);
- організувати зустріч підрозділів аварійно-рятувальної служби, надати їм допомогу у виборі найкоротшого шляху до осередку пожежі та до водних джерел».

#### **4.6 Висновки**



На підставі нормативних документів та відповідно до існуючих вимог нами було проведено огляди розробленої зернодробарки, визначено вплив небезпек та шкідливих факторів на оператора та запропоновано відповідні заходи щодо їх усунення. Розроблений подрібнювач кормів має правила безпечної експлуатації та порядок дій в аварійних ситуаціях.

### 5 Економічна оцінка розробленої дробарки

У зв'язку з малими габаритами розробленого подрібнювача найімовірніше його застосування у невеликих приватних господарствах. У зв'язку з цим порівнюємо розроблену дробарку з найближчим за призначенням аналогом – зернодробаркою Bosch BFS 4200.

Так як переваги розробленої дробарки носять технічний характер (вища продуктивність, менша потужність), їх порівнюють за експлуатаційними витратами, без урахування якісних характеристик сировини (рівномірність дроблення). Ми визначаємо експлуатаційні витрати такими способами:

Витрати на заробітну плату визначимо з виразу

$$З = nt \cdot f \cdot \delta \cdot D, \text{ грн.}, \quad (5.1)$$

де  $n$  – чисельність обслуговуючого персоналу, люд.;

$f$  – годинна тарифна ставка одного працівника, грн/год.;

$t$  – тривалість роботи машини на добу, год.;

$D$  – кількість робочих днів на рік;

$\delta$  – коефіцієнт нарахування на заробітну плату;

Добовий час роботи машини визначається виходячи з добової потреби в кормах 100 свиноферм.

$$t = \frac{G_{\text{доб}}}{Q_d} = \frac{n \cdot g}{Q_d}, \text{ год.}, \quad (5.2)$$

де  $G_{\text{доб}}$  - добова потреба в фуражі, кг;

$Q_d$  – продуктивність дробарки, кг/год.

$n$  – поголів'я свиней на фермі, гол;

$g$  – добова потреба в кормі, кг/гол.

Амортизаційні відрахування

$$A = \frac{B \cdot \alpha}{100}, \text{ грн.}, \quad (5.3)$$

де  $B$  – балансова вартість дробарки, грн.

$\alpha$  – коефіцієнт відрахувань на амортизацію, %.

Відрахування на ремонт і ТО дробарки

$$P = \frac{B \cdot \beta}{100}, \text{ грн.}, \quad (5.4)$$

де  $\beta$  – коефіцієнт відрахувань на ремонт та ТО, %.

Витрати на електроенергію визначимо за формулою

$$E = N \cdot t \cdot D \cdot c_e, \text{ грн.}, \quad (5.5)$$

де  $N$  – потужність дробарки, кВт.;

$c_e$  – вартість електроенергії, грн/кВт · год.

Загальні експлуатаційні витрати складуть

$$EB = Z + A + P + E, \text{ грн.} \quad (5.6)$$

Економія експлуатаційних витрат

$$EEB = EB_1 - EB_2, \text{ грн.} \quad (5.7)$$

де  $EB_1$ ,  $EB_2$  – експлуатаційні витрати для Bosch BFS 4200 та розробленої дробарки відповідно, грн.

Термін окупності нової дробарки

$$P = \frac{B_2 - B_1}{EEB}, \text{ грн.}, \quad (5.8)$$

де  $B_1$ ,  $B_2$  – балансова вартість Bosch BFS 4200 та проектної дробарки, грн.

Вихідні дані та результати розрахунків приведено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Показники економічної ефективності дробарки

| № з.п. | Показник                                   | Bosch BFS 4200 | дробарка за розробкою |
|--------|--|----------------|-----------------------|
| 1      | 2  | 3              | 4                     |
| 1.     | Чисельність обслуговуючого персоналу, люд. | 1              | 1                     |
| 2.     | Годинна тарифна ставка, грн/год.           | 67,2           | 67,2                  |
| 3.     | Кількість робочих днів на рік              | 365            | 365                   |
| 4.     | Поголів'я свиней на приватній фермі, гол.  | 100            | 100                   |
| 5.     | Добова потреба в кормі, кг/гол.            | 3,2            | 3,2                   |
| 6.     | Добова потреба в кормі по фермі, кг        | 320            | 320                   |
| 7.     | Продуктивність дробарки, кг/год            | 220            | 250                   |
| 8.     | Тривалість роботи машини на добу, год.     | 1,45           | 1,28                  |

|     |  |          |          |
|-----|--|----------|----------|
| 9.  | Балансова вартість машини, грн.          | 5600     | 10250    |
| 10. | Коефіцієнт відрахувань на амортизацію, % | 10       | 10       |
| 11. | Коефіцієнт відрахувань на ремонт і ТО, % | 8        | 8        |
| 12. | Вартість електроенергії, грн/кВт год     | 2,32     | 2,32     |
| 13. | Потужність на привід, кВт                | 4        | 1,8      |
| 14. | Витрати на заробітну плату, грн.         | 43526,05 | 38302,92 |
| 15. | Амортизаційні відрахування, грн.         | 560,00   | 1025,00  |
| 16. | Відрахування на ремонт і ТО, грн.        | 448,00   | 820,00   |
| 17. | Витрати на електроенергію, грн.          | 4926,84  | 1951,03  |
| 18. | Експлуатаційні витрати, грн.             | 49460,89 | 42098,95 |
| 19. | Економія експлуатаційних витрат, грн.    | -        | 7361,94  |
| 20. | Термін окупності нового змішувача, років | -        | 0,63     |

### **Висновки**

При роботі на невеликій фермі зі стадом у 100 свиней, як показала економічна оцінка нової зернодробарки, вона більш продуктивна та споживає менше електроенергії на один привід порівняно з порівнянними фермами, менші експлуатаційні витрати. Річне скорочення операційних витрат становило 7361,94 грн. Термін окупності удосконалення складає 0,63 року.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Отримання кормових матеріалів заданого гранулометричного складу з мінімізацією некондиційних фракцій є найактуальнішим завданням у спільній проблемі подрібнення зернових матеріалів. Отримання тваринами якісних поживних концентрованих кормів можливо при використанні роторної дробарки, що працює на принципі зрізу (сколювання) матеріалу, тому дослідження з розробки такої конструкції дозволить отримувати вирівняний за розміром частинок готовий продукт, що відповідає зоотехнічним вимогам, за мінімальних витрат енергії, часу та праці.

2. Запропоновано енергоефективну конструктивно-технологічну схему руйнування зернових матеріалів: заклинювання – вплив – висновок. Контакт ротора з вихідним зерновим продуктом відбувається за кутом  $\gamma_{в.р}$ , який визначає як тривалість поділу зернівок до необхідного розміру, а й час утворення пилоподібних фракцій. При завантаженні зерна організовано подачу матеріалу у зону зрізу. При цьому взаємне розташування рифлів ротора і статора відповідає схемі - «вістря-вістря». Досліджено кінетику процесу подрібнення зернівок у робочій порожнині дробарки. Теоретична оцінка руйнівної дії (рівнодіюча сил  $F_p$ ) на зернівку пшениці показала, що складові сили тертя  $F_{тр}$  та сили інерції  $F_i$  дуже малі (менше 1% від  $F_p$ ) порівняно зі значенням руйнівного зусилля  $F_{ср}$ , яке і визначатиме енергетичні складові процесу сколу одиничного зернівки.

3. Сукупними експериментальними дослідженнями встановлено критичну окружну швидкість ротора  $v_p = 4,5...6,5$  м/с, оптимальний робочий зазор  $\delta = 0...0,5$  мм. При цьому розрахований коефіцієнт заповнення зони подрібнення (Приймальна камера) склав  $k_z = 0,037...0,058$ , а динамічний коефіцієнт  $k_d = 0,31...0,66$ . При роздільному подрібненні (середній помел)

зернового матеріалу (пшениця, ячмінь, овес, кукурудза) у горизонтальній роторній дробарці фракція з частинками необхідного розміру становила 91...98%, що відповідає фактичній результативності процесу  $\Phi_{pi} = 9,2...61,5$ , при продуктивності  $Q = 97...267$  кг/год,  $N_{пит} = 1,3 \dots 2$  Вт · год/кг. Переробка одночасно всіх культур менша ефективна, ніж кожній окремо, проте навіть у цьому випадку кількість борошняних фракцій (менше 0,25 мм) не перевищувало 5%.

4. На підставі нормативних документів та відповідно до існуючих вимог нами було проведено огляди розробленої зернодробарки, визначено вплив небезпек та шкідливих факторів на оператора та запропоновано відповідні заходи щодо їх усунення. Розроблений подрібнювач кормів має правила безпечної експлуатації та порядок дій в аварійних ситуаціях..

5. При роботі на невеликій фермі зі стадом у 100 свиней, як показала економічна оцінка нової зернодробарки, вона більш продуктивна та споживає менше електроенергії на один привід порівняно з порівнянними фермами, менші експлуатаційні витрати. Річне скорочення операційних витрат становило 7361,94 грн. Термін окупності удосконалення складає 0,63 року.

## БІБЛІОГРАФІЯ

1. Глебов, Л.А. Оценка эффективности работы дробилок [Текст] / Л.А. Глебов, С.В. Зверев, А.А. Хитов // Мукомольно-элеваторная и комбикормовая промышленность. – 1987. – № 6. – С. 26 – 42.
2. Дробилка кормов // <http://www.cnsnb.ru> (дата звернення 16.06.2021).
3. Зенков, Р.Л. Механика насыпных грузов [Текст] / Р.Л. Зенков. – М.: Машгиз, 1964. – 251 с.
4. Кукта, Г.М. Технология переработки и приготовления кормов [Текст] / Г.М. Кукта // Кормопроизводство. – 1992. – № 3. – С. 6 – 7.
5. Куприц, Я.Н. Технология переработки зерна [Текст] / Я.Н. Куприц. – М.: Колос, 1965. – 504 с.
6. Молотковые дробилки фирмы «Сокам» // <http://www.activestudy.info>
7. Пленчатость зерна. – Режим доступа: <http://www.activestudy.info/plenchatost-zerna/> (дата обращения: 25.11.2021).
8. Ребиндер, П.А. Физико-химическая механика дисперсных структур [Текст] / П.А. Ребиндер. – М.: Наука, 1966. – 63 с.
9. Савиных, П.А. Малогабаритная молотковая зернодробилка [Текст] / П.А. Савиных // Сельский механизатор. – 2015. – № 5. – С. 23.
10. Черняев, Н.П. Технология комбикормового производства [Текст] / Н.П. Черняев. – М.: Агропромиздат, 1985. – 256 с.
11. Bond, F.C. Some recent advances in grinding theory and practice / F.C. Bond // Brit. Enang. – 1963. – No. 9. – P. 4 – 9.
12. Sysuev, V. Movement and transformation of grain in twostage crusher Engineering for Rural Development, Proceedings / V. Sysuev – 2015. – Vol. 14. – pp. 22 – 27
13. Кукта Г. М. Удосконалення експлуатації машин і обладнання тваринницьких ферм і комплексів / За ред. Г.М Кукта. – К: Урожай, 1989. – 224 с.
14. Правила організації і ведення технологічного процесу виробництва



- комбікормової продукції. – К., 1998. – 220 с.
15. Подпряттов Г. І. Зберігання і переробка продукції рослинництва. Київ: Мета, 2002. 495 с.
  16. Ревенко І. І. Машини та обладнання для тваринництва: посібникпрактикум. К. : Кондор, 2011. 396 с.
  17. Шеремета Р. Б. Огляд реологічних моделей. Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження. 2018. № 22. С. 22–30.
  18. Піщелка В. А. Стан та перспективи розвитку комбікормової галузі в Україні. Ефективні корми та годівля. 2006. № 3. С. 5–8.
  19. Технологічне обладнання зернопереробних та олійних виробництв: навч. посіб. О. В. Дацишин та ін.; за ред. О. В. Дацишина. Вінниця: Нова кн., 2009. 488 с.
  20. Agromech: Rozdrabniacz bijakowy Rb 3.5. URL:<https://www.agromech.pl>, Польща, (Last accessed: 16.11.2021).
  21. Гвоздєв О. В, Вдосконалення процесу подрібнення зерна. Збірник наукових праць ВНАУ. Серія «Технічні науки». 2011. № 9. С. 143–150
  22. Ребиндер П. А. Физико-химические исследования процессов деформации твёрдых тел. Сборник АН СССР. 4.1; Ленинград: 1947. 256 с.
  23. Рибарук В. Я. Сільськогосподарські машини: практикум з розрахунку і досліджень робочих процесів. Львів: ЛДАУ, 1998. 264 с.
  24. Хайліс Г. А., Коновалюк Д. М. Основи проектування і дослідження сільськогосподарських машин: навч. посіб. Київ: НМК ВО, 1992. 320 с.
  25. Марченко О. С., Дацишин О. В., Лавріненко Ю. М. та ін. Механізація та автоматизація у тваринництві і птахівництві. Київ: Урожай, 1995. 416 с.
  26. Алешкин В. Р. Некоторые закономерности прохода частиц через решето молотковой дробилки. Механизация сельскохозяйственного производства: Записки ЛСХИ. Львов, 1968. Т. 119, вып. 1. С. 118–124.
  27. Богородский А. В. Интенсификация процесса измельчения в мельницах

- дезинтеграторного типа. Изв. вузов. Химия и химическая технология. 1980. Т. 23, вып. 5. С. 643–645.
28. Development and study of the grain crushing working process of shocking and reflective crusher. Vestnik of Kazan State Agrarin University. 2019. 14(1).  
P. 100–106.
29. Sven B. Strom, Ring Hammer, United States Patent US3580518A, St. Louis 1971.
30. SORTECH Srl. URL: <https://www.sortech.it/>, Італія (Last accessed: 16.01.2021)
31. Закон України «Про охорону праці»
32. НПАОП 0.00-4.21-04. «Типове положення про службу охорони праці»
33. ДСТУ 2293-99 «Охорона праці. Терміни та визначення основних понять»
- 34.НПАОП 0.00-6.03-93 «Порядок опрацювання і затвердження роботодавцем нормативних актів з охорони праці, що діють на підприємстві»
- 35.Положення «Про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту» (Наказ Держгірпромнагляду від 24.03.2008 року № 53).

