

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко-технологічний факультет

631.363.2:636.084/085.54

**ПОГОДЖЕНО**  
Декан механіко-технологічного  
факультету

\_\_\_\_\_ Братішко В.В.  
(підпис) (ПІБ)  
“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 р.

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**  
Завідувач кафедри  
кафедра охорони праці та біотехнічних  
систем у тваринництві

\_\_\_\_\_ Хмельовський В.С.  
(підпис) (ПІБ)  
“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 р.

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на тему

Дослідження процесу підготовки до згодовування концентрованих кормів на  
МТФ з обґрунтуванням параметрів вальцево-декової дробарки

Спеціальність – 208 «Агроінженерія»  
Освітня програма – Агроінженерія  
Орієнтація освітньої програми – освітньо-професійно

Гарант освітньої програми

д.т.н., професор. \_\_\_\_\_ Братішко Вячеслав Вячеславоович  
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Керівник магістерської роботи

к.т.н , доцент \_\_\_\_\_ Потапова Світлана Євгеніївна  
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Виконав

\_\_\_\_\_ Школьній Роман Вікторович  
..... (підпис) (ПІБ студента)

КИЇВ – 2024

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко-технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри  
кафедра охорони праці та біотехнічних систем у тваринництві

д.т.н., проф. \_\_\_\_\_ Хмельовський В.С.  
(підпис) (ПІБ)  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 р.

З А В Д А Н Н Я

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи студенту

Школьному Роману Вікторовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність – 208 «Агроінженерія»  
Освітня програма – Агроінженерія  
Орієнтація освітньої програми – освітньо-наукова

Дослідження процесу підготовки до згодовування концентрованих кормів на  
МТФ з обґрунтуванням параметрів вальцево-декової дробарки  
затверджена наказом ректора НУБіП України від “07” грудня 2023р. № 2223« С»

Термін подання завершеної роботи (проекту) на кафедру \_\_\_\_\_  
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської роботи

\_\_\_\_\_

Перелік питань, які потрібно розробити:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Перелік графічних документів (за потреби) \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Дата видачі завдання “ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

\_\_\_\_\_  
( підпис )

С.Є. Потапова  
(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

\_\_\_\_\_  
( підпис )

Р.В. Школьний  
(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Магістерська робота на тему: «Дослідження процесу підготовки до згодовування концентрованих кормів на МТФ з обґрунтуванням параметрів вальцево-декової дробарки».

Робота складається з вступу, 5 розділів, висновків та списку літературних джерел. Викладена на 73 сторінках машинописного тексту.

**Об'єкт дослідження** – процес подрібнення зернових матеріалів у вальцево-дековій дробарці.

**Предмет дослідження** – закономірності процесу подрібнення зернових матеріалів у вальцево-дековій дробарці.

**Мета дослідження** - підвищення ефективності процесу подрібнення зернових матеріалів у вальцево-дековій дробарці з обґрунтуванням її конструктивних параметрів та режимів роботи.

В роботі приведена коротка характеристика господарства, виконано огляд науково-технічної літератури. Проведено аналіз технологій приготування кормів на фермах ВРХ і запропонована схема приготування кормів для базового господарства. Розроблено удосконалений подрібнювач концкормів та проведені дослідження процесу подрібнення. Запропоновано заходи по покращенню охорони праці та техніки безпеки при роботі в кормоцеху.

**Ключові слова:** комплект машин, технології виробництва молока, вальцево-декова дробарка, концентровані корми, дослідження процесу подрібнення.

## ЗМІСТ

Завдання до виконання магістерської роботи	2
Реферат	3
<b>ВСТУП</b>	<b>6</b>
<b>1 ВИРОБНИЧО-ЕКОНОМІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ГОСПОДАРСТВА</b>	<b>7</b>
1.1. Загальна характеристика господарства	7
1.2. Характеристика тваринництва	8
1.2.1. Існуюча технологія виробництва тваринницької продукції	8
1.2.2. План ферми і характеристика тваринницьких приміщень	9
1.2.3. Кормова база і добові раціони годівлі тварин	10
1.2.4. Стан механізації виробничих процесів в тваринництві	11
1.3. Обґрунтування теми дипломного проекту	12
<b>2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	<b>13</b>
2.1. Значення механізації підготовки кормів до згодовування	13
2.2. Види кормових сумішок та зоовимоги до їх та приготування	13
2.2.1. Підготовка кормів до згодовування	18
2.3. Визначення обсягу робіт	19
2.4. Вибір технологічної лінії приготування кормів	21
<b>3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВАЛЬЦЕВО-ДЕКОВОЇ ЗЕРНОДРОБАРКИ</b>	<b>30</b>
3.1. Вимоги до процесу приготування кормів	30
3.2. Способи руйнування матеріалу при подрібненні	33
3.3. Огляд існуючих засобів подрібнювачів зерна	37
3.4. Обґрунтування конструктивно-функціональної схеми вальцево-декової зернодробарки	46
3.5. Дослідження вальцево-декової зернодробарки	48
<b>4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РОЗРОБЛЕНИХ РІШЕНЬ</b>	<b>56</b>

4.1. Розрахунок річних економічних показників	56
<b>5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ</b>	<b>58</b>
5.1. Загальні положення	58
5.2. Стан охорони праці в господарстві	59
5.3. Вимоги щодо безпечної експлуатації устаткування для виробництва комбікормів	61
5.4. Розрахунок штучного освітлення	65
5.5. Розрахунок повітрообміну	66
<b>ВИСНОВКИ</b>	<b>69</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</b>	<b>70</b>

## ВСТУП

Стратегічним напрямом розвитку агропромислового комплексу країни є стабільне виробництво продукції тваринництва, у структурі собівартості якої частку кормів припадає понад 60% загальних витрат. Однією з основних операцій з підготовки кормів до згодовування є подрібнення зернових матеріалів.

На його здійснення припадає до 75% енергетичних та 45% трудових витрат. Відсутність цілих та недоподрібнених частинок, низький вміст пилоподібних фракцій та вирівняний гранулометричний склад подрібненого зернового матеріалу не тільки забезпечують підвищення продуктивності тварин, але й є критеріями оцінки ефективності роботи подрібнювальних пристроїв.

В даний час в лініях приготування кормів широко використовуються молоткові та ударно-відцентрові дробарки, які забезпечують заданий модуль помелу зернофуражу залежно від вікової категорії тварин та птахів. 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 удосконалення технічних засобів його реалізації та методів оцінки якості подрібнення готового продукту представляє практичний інтерес, а тема наукового дослідження є актуальною.

# 1 ВИРОБНИЧО-ЕКОНОМІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ГОСПОДАРСТВА

## 1.1 Загальна характеристика господарства

СТОВ "Новинське" знаходиться в Коростенського району Житомирської області

Природно-кліматичні умови сприятливі для вирощування всіх районованих сільськогосподарських культур. Клімат характеризується як помірно-теплий, середньорічна кількість опадів складає 552 мм, а температура +7°C. Середня глибина промерзання ґрунтів – до 65 см [35].

Типи ґрунтів: дерновоопідзолені – з низьким вмістом гумусу (1%), гідролітична кислотність 2,5. Вміст фосфору і калію на 100 г ґрунту не перевищує 100 мг; темно-сірі та сірі опідзолені ґрунти теж бідні по фізико-хімічному складу.. При внесенні калійних добрив ці ґрунти дають високі врожаї сіна та багаторічних трав [35].

В період стабільного економічного стану господарство мало високий рівень виробництва. Урожайність зернових складала 25-30 ц/га, кукурудзи на силос – 300-350 ц/га, коренеплодів – 500-600 ц/га. Удій на корову складав більше 4000 кг, середньодобовий приріст ВРХ – 550-600 г. Рівень рентабельності в ці роки становив 30-40 %[35].

В зв'язку з складними економічно-фінансовими умовами господарство опинилось в критичному становищі. Відсутність коштів на придбання мінеральних добрив, засобів захисту рослин, паливо-мастильних матеріалів та сільськогосподарської техніки призвела до зниження врожайності сільськогосподарських культур та продуктивності тварин.

СТОВ "Новинське" спеціалізоване на виробництві молока, м'яса та овочів закритого ґрунту.

## 1.2. Характеристика тваринництва

### 1.2.1 Існуюча технологія виробництва тваринницької продукції

Основний напрямок тваринництва – молочне скотарство. Всього на фермі налічується 200 голів, з яких 160 дійних корів, 32 сухостійні корови і 8 нетелів. Середньорічний удій на корову становить 4500 кг [35].

*Таблиця 1.1.*

#### Структура поголів'я

Вид тварин	Кількість голів
Корови дійні	160
Корови сухостійні	32
Нетелі	8
ВСЬОГО	200

В зимовий період дійні корови утримуються на прив'язі, влітку на вигульному майданчику. Для фіксації тварин застосовують індивідуальну прив'язь ОСК-25А.

Для підстилки в господарстві застосовують тирсу. Підстилковий матеріал розкидають лопатами вручну.

Для напування корів використовують чашкові напувалки ПА-1А.

Прибирання гною в корівнику та видалення його за межі приміщення здійснюється трактором Т-25 за допомогою пристрою ВЛ-1.

Приготування і роздавання кормів здійснюється за допомогою роздавача КТУ-10. Зернові корми подрібнюються дробаркою КД-2.

Доїння здійснюється двічі на добу. Для цього використовують доїльну установку УДБ-100 «Брацлавчанка». Доїння здійснюється в доїльні відра. Для цього використовуються двотактні доїльні апарати фірми «Брацлав», які підключаються до вакуум-проводу доїльної установки. З доїльних відер молоко

зливається у пластмасові бідони, в яких транспортується вручну на візку у молочне відділення.

З бідонів молоко переливають в резервуар танка-охолодника ТО-2, звідки молочним насосом воно перекачується у танк-охолодник фірми Mueller для охолодження та тимчасового зберігання до відправки на молокопереробний завод.

Прив'язне утримання, а особливо коли доїння корів проводиться в стійлах, пов'язане з більшими витратами праці по догляду за ними. Тому не можна розглядати цей спосіб як прогресивний при промисловому виробництві молока.

При стійловому утриманні корів за кожною дояркою закріплена певна група корів. В кожній групі, крім дійних корів, є тільні і сухостійні. Закріплення за дояркою постійної групи корів виправдовується і дає певний ефект.

### **1.2.2. План ферми і характеристика тваринницьких приміщень**

На території ферми розміщуються [31] виробничі (корівники, молочно-доїльний блок) та допоміжні (кормосховища, гараж, майданчик для зберігання техніки, автоваги) приміщення і будівлі, які входять до складу відповідних зон. Генеральний план ферми приведено на рис. 1.1. Основні виробничі будівлі розміщуються паралельно. При цьому витримані необхідні зооветеринарні й протипожежні розриви. Крім того тваринницький об'єкт має системи водо-, тепло- і енергопостачання та каналізації, внутрішні дороги та проїзди з твердим покриттям, огорожу. По периметру тваринницької ферми, ветеринарних зон та між окремими будівлями, що потребують ізоляції від загальної території, а також вздовж доріг посаджені зелені насадження. Вони стабілізують і поліпшують мікроклімат, створюють вітро – сніговий заслін для відповідних об'єктів [31].

На фермі забезпечена потоковість виробничого процесу з мінімальними переміщеннями потоку корму та переміщенням поголів'я тварин.

На в'їзді на територію тваринницької ферми влаштований дезбар'єр.

Корівник розрахований на 200 голів. Утримання прив'язне. Стійла розміщені паралельними рядами, по 50 в ряду. Доїння проводять доїльними машинами, гній прибирають мобільним засобом. Ширина кормових проходів достатня для використання мобільних кормороздавачів. Кожне місце обладнане прив'язю, годівницею та напувалкою.

Новонароджені телята до 20-денного віку знаходяться в індивідуальних клітках типу КИТ профілакторію родильного відділення. Від 20-денного до 3-місячного віку їх утримують безприв'язно в індивідуальних клітках КИТ-Ф-12 по 10-15 голів; після 3-місячного віку – в групових станках по 25-30 голів [35].

### 1.2.3. Кормова база і добові раціони годівлі тварин

В структурі витрат по виробництву продукції тваринництва значну питому вагу займають корми. Раціони годівлі для різних статевих-вікових груп ВРХ та добові норми кормів приведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2.

#### Раціони годівлі тварин

Поголів'я тварин	Види кормів							Всього
	комбікорми, кг	сіно, кг	силос, кг	сінаж, кг	висівки, кг	солома, кг	сіль, кг	
Корови дійні	3	5	25	15	3	1	0,1	52,1
Корови сухостійні	3	5	20	15	2	1	0,1	46,1
Нетелі	2	3	20	10	1,5	1	0,08	37,58
<b>ВСЬОГО</b>	<b>8</b>	<b>13</b>	<b>65</b>	<b>40</b>	<b>6,5</b>	<b>3</b>	<b>0,28</b>	<b>135,78</b>

В літній період тварин годують зеленою масою, яку підвозять з полів, засіяних кормовими культурами. Крім того корів випасають на прилеглих до ферми пасовищах.

#### 1.2.4. Стан механізації виробничих процесів в тваринництві

На тваринницькій фермі господарства механізовані наступні технологічні процеси:

- Змішування і роздавання кормів;
- напування тварин;
- видалення гною з приміщень;
- доїння корів;
- первинна обробка та тимчасове зберігання молока;
- подрібнення концентрованих кормів.

Для здійснення цих процесів використовують відповідне обладнання і машини, приведені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3

##### Наявні засоби механізації виробничих процесів

Процес	Існуючі засоби механізації
Приготування і роздавання кормів	КТУ-10
Напування	Напувалки з поплавковим регулятором рівня води
Прибирання та видалення гною	Т-25+ВЛ-1
Доїння корів	Доїльна установка УДБ-100 «Брацлавчанка»
Первинна обробка молока	Танк-охолодник Mueller
Подрібнення концентрованих кормів	КД-2

Ефективність механізації виробничих процесів на молочно-товарній фермі господарства середня. Є ряд недоліків, а саме:

- навантажувально-розвантажувальні роботи в більшості випадків здійснюються вручну;
- доїння корів здійснюється в переносні відра, молоко транспортують у молочне відділення в пластикових бідонах ручним візком;

- для підготовки концентрованих кормів до згодовування використовується лише молоткова дробарка, а бажано було б мати власний комбікормовий агрегат.

### **1.3 Обґрунтування теми роботи**

На основі аналізу господарської діяльності ферми СТОВ "Новинське" видно, що господарство має розвинуте тваринництво, основною продукцією якого є виробництво молока. Одним із напрямків підвищення ефективності виробництва тваринницької продукції є раціональна організація технологічного процесу приготування кормів.

У зв'язку з цим в магістерській роботі необхідно обґрунтувати технологічну схему приготування кормів, виконати технологічні та технічні розрахунки та дослідити процес подрібнення концентратів у дробарці комбікормового агрегату. Це дасть можливість покращити якість годівлі тварин та зменшити питомі енерговитрати.

## **2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА**

### **2.1. Значення механізації підготовки кормів до згодовування**

Організація виробництва тваринницької продукції, подальша інтенсифікація цієї галузі поряд з комплексною механізацією виробничих процесів передбачає забезпечення годівлі тварин повноцінними кормами, збалансованими за поживними речовинами, догляд за тваринами та утримання, проведення операцій по відбору та переробці тваринницької продукції та відходів життєдіяльності тварин [38].

Тваринництву притаманні загально галузеві риси сільського господарства з його сезонним виконанням робіт [20]. Безпосередньо ж технологія виробництва основної продукції, в даному дипломному проекті – виробництво молока, ґрунтується на стаціонарних процесах, що з чіткою періодичністю повторюються протягом кожної доби і щорічно. В цьому відношенні молочне тваринництво ближче до промислового виробництва, ніж інші галузі виробництва сільськогосподарської продукції. Розвитку тваринництва на сучасному етапі характерна направленість на проведення комплексної механізації всіх виробничих процесів, тобто досягнення та впровадження такого рівня оснащення виробництва, при якому всі технологічні процеси, пов'язані з доглядом за тваринами, одержанням і первинною обробкою продукції, а також завантажувально-розвантажувальні, транспортні та інші операції, виконуються за допомогою відповідних машин та обладнання. На комплексно механізованому об'єкті функції виробничого персоналу зводяться до проведення технологічного налагоджування, керування, технічного обслуговування і ремонту машин та обладнання.

### **2.2. Види кормових сумішок та зоовимоги до їх та приготування**

Для годівлі тварин і птиці у господарствах України застосовують такі види кормів [20]:

фуражне зерно (кукурудзи, ячменю, гороху, сої, пшениці тощо);

стеблові корми (сіно, сінаж, солома, кукурудзяний та інший силос, зелена трава);

коренебульбоплоди і баштанні (буряки, картопля, гарбузи тощо);

побічні продукти цукрової, спиртової, пивоварної промисловостей (жом, меляса, барда тощо);

різні балансуєчі кормові добавки (білкові, мінеральні, вітамінні).

Залежно від виду і виробничого призначення тварин та планової їх продуктивності із вказаних кормів складаються раціони. При цьому корми раціонів можуть згодуватись як окремо, в натуральному вигляді з обмеженою кількістю компонентів, так і у вигляді кормо сумішок.

Кормосумішками залежно від типу годівлі і наявності кормів у господарствах можуть бути сухі (комбікорми, вологість до 20 %), зволожені (20-40 %), вологі (40-60 %), напіврідкі (60-80%) і рідкі (більше 80%) [20, 34].

Всім видам тварин і птиці фуражне зерно згодуюють у складі сухих сумішок – комбінованих кормів, які готуються за спеціальними рецептами. Виключення щодо вологості можуть становити комбікорми поточної потреби, виготовлені з консервованого зерна кукурудзи – зерно-стрижневої сумішки.

Основними компонентами комбікормів є зернові (кукурудза, ячмінь, овес, пшениця) і зернобобові (горох, вика, соя), а також відповідно до призначення білково-вітамінно-мінеральні добавки (БВД), які вводяться в дозі від 5 до 15 % за масою. Загальні вимоги до комбікормів: вологість не більше 10 %, перетравного протеїну не менше 25 %, сирі клітковини не більше 8 %, піску не більше 0,5 %, металевих включень не більше 25 мг/кг, нерівномірність змішування не більше 10 % (при масі проби 5 г і частці контрольного компоненту 1 %).

У випадку включення до складу БВД трав'яного борошна допускається збільшення клітковини до 0,25 % на кожний процент введеного борошна, але в сумі не більше 11 % [34].

Відхилення від рецепту до загальної ваги комбікорму для інгредієнтів, які входять в комбікорм у кількості більше 30 %, не повинні перевищувати 1,5

%, від 10 до 30 % - 1,0 5; для інгредієнтів, що входять в кількості до 10 % - 0,5 %, для кожного з видів мінерального корму в кількості менше 3 % - 0,1 %.

Зволожені кормосумішки застосовують при використанні консервованого зерна кукурудзи або плющеного зерна для великої рогатої худоби та свиней і вводять добавки. Це можуть бути також мішанки з концентрованих кормів і подрібнених коренеплодів або зелені для качок, гусей тощо. Вологі розсипні кормосумішки застосовують при силосно-коренеплідному, сінажно-силосному і жомовому типах годівлі корів і відгодівлі молодняку, коли в суміш вводять 3-5 і більше компонентів (подрібнені грубі корми і коренеплоди, силос або жом, поживні розчини тощо). Так, до раціону для дійних корів при силосно-коренеплідній годівлі входить приблизно до 30-35 % кукурудзяного силосу і коренеплодів (за вагою), по 80 та 12 % грубих кормів та поживних розчинів, решта – комбікорми (всі або половину при доїнні).

Напіврідкі сумішки характерні при годівлі свиней – це 25-30 % комбікормів, 8-11 % трав'яного або вітамінно сінного борошна, решта коренеплоди.

Вологі кормосумішки для великої рогатої худоби та свиней, зволожені та вологі кормосумішки для тварин та птиці повинні бути свіжо приготовленими, не мати неприємного запаху [20]. Сумішки, що включають подрібнені коренебульбоплоди, після приготування повинні роздаватись не пізніше, ніж через 1,5-2 год. У зимовий період розчини в кормо сумішки добавляють підігрітими.

Особливістю приготування вологих кормових сумішок для великої рогатої худоби є переробка великих об'ємів грубих кормів, силосу і коренеплодів [20].

Готові кормові сумішки мають задовольняти зоотехнічним вимогам (табл. 2.1) [34].

Найбільш поширеною і важливою, можна навіть сказати обов'язковою операцією в технологічному процесі підготовки кормів до згодовування сільськогосподарським тваринам, до того ж обумовленою вимогами фізіології, є подрібнення.

**Зоотехнічні вимоги до параметрів кормових сумішок**

Назва показника	Допустима величина в сумішках для великої рогатої худоби
Вологість, %	До 75
Рівномірність змішування, %, не менше	80
Допустимі відхилення (за масою) вмістку компонентів у суміші, %:	
Грубі, соковиті	10
концентровані	5
Кормові дріжджі	2,5
рибні	-
молочні	5
Поживні розчини	5
Мінеральні добавки	5
Столові відходи	-

При подрібненні руйнується тверда поверхнева оболонка зерна (це значно полегшує розжовування корму, при цьому підвищується його поїдання), значно збільшується площа контакту кормових часток з шлунковим соком, їх поживні речовини стають більш доступними і повніше використовуються організмом тварин. Вимоги до ступеня подрібнення кормів для різних груп тварин приведені в табл.2.2. [20]

Таблиця 2.2.

**Вимоги до ступеня подрібнення кормів для різних груп тварин**

Вид корму	Розмір частинок подрібненого корму, мм, для:		
	корів	свиней	овець
Грубі (сіно, солома)	30-50	1-3	20-30
Силосовані і зелені	10-50	10-15	10-50
Коренеплоди	До 15	5-10	До 15
Зернові	1-1,6	0,2-0,9	1-1,6

Рідкі кормосумішки – це розчин комбікормів у воді в пропорції 1:3, різноманітні пійла, у тому числі і замітники молока.

Поживні розчини або воду вводять у складні суміші в кількості, необхідній для отримання заданої вологості сумішки, регулюючи при цьому концентрацію введених в розчин поживних речовин і мікроелементів. Це може бути також клітковий сік, відвійки тощо. У порційні змішувачі порцію розчину подають, виходячи з часу роботи насоса і його продуктивності. У змішувачі безперервної дії встановлюють продуктивність подачі розчину так, щоб забезпечити в сумішці його частку, задану рецептом.

Всі зернові компоненти, що входять до складу кормо сумішок, повинні обов'язково подрібнюватись (попередньо або ж безпосередньо в процесі змішування). Кінцева крупність кормових часток залежить як від виду самого корму, так і від виду та віку тварин і птиці, тобто споживачів приготовлюваних сумішок (табл. 2.2). При цьому стеблові корми рекомендується не лише подрібнювати до заданої довжини часток, а ще й розщеплювати уздовж волокон.

Відповідно до зоотехнічних вимог нерівномірність подачі у змішувач для порції не повинна перевищувати для концентратів 5%, для інших компонентів 10%.

### **2.2.1. Підготовка кормів до згодовування**

Продукцію тваринництва одержують переважно за рахунок використання кормових ресурсів рослинного походження (власного виробництва чи на основі кооперування з кормовиробничими підприємствами). Для цього колективні, державні і фермерські господарства вирощують зернофуражні культури, коренебульбоплоди, а також одно- і багаторічні трави на зелену масу, силос, сінаж та сіно [30].

З метою забезпечення високоефективного використання поживної цінності більшість кормів необхідно заготовляти і готувати до згодовування

відповідно до діючих стандартів або зоотехнічних вимог, які враховують фізіологічні особливості тварин. Сутність цих вимог полягає у наступному.

Збирати кормові культури необхідно в період, коли вони мають найбільшу врожайність та поживну цінність. Якість кормів визначається не лише їх поживною цінністю, а й наявністю (або відсутністю) в них баластних, некорисних чи інколи навіть шкідливих включень. Останні можуть спричиняти травмування чи отруєння споживачів, знижувати ефективність роботи та надійність технологічного обладнання.

Для попередження таких явищ корми в процесі підготовки до згодовування очищають [34]. Допустимий ступінь залишкового забруднення залежить від виду кормів, а також характеру включень та їх можливих наслідків. Так, домішки землі не повинні перевищувати 1—2 %, піску — 0,3 — 1 %, металеві домішки розміром до 2 мм з незагостреними краями — 30 мг на 1 кг корму, насіння отруйних трав — 0,25 %.

Для високоефективного використання кормів важливим є забезпечення оптимальної крупності кормових часток, що залежить від біологічного виду та віку тварин і птиці, а також від виду кормової сировини й характеру використання кормів (згодовування роздільне чи в складі кормових сумішей, у розсипному стані чи у вигляді гранул або брикетів). З цією метою кормову сировину перед згодовуванням подрібнюють.

Готувати комбікорми для свиней необхідно [34] з інгредієнтів дрібного (середній розмір частинок — 0,2—1 мм) помелу, а для великої рогатої худоби і птиці — середнього (1—1,8 мм) та крупного (1,8—2,6 мм). Грубі корми для свиней слід, переробляти до розміру частинок 1—2 мм, для великої рогатої худоби — на січку завдовжки 30—50 мм при роздільному згодовуванні і 10—15 мм у складі кормових сумішей. Коренебульбоплоди перед згодовуванням (не раніше як за 1,5—2 год) рекомендується подрібнювати на частинки розміром 5—10 мм для свиней і на стружку завтовшки 10—15 мм для великої рогатої худоби. [30]

### 2.3. Визначення обсягу робіт

Добову потребу окремого кормового компоненту обчислюємо користуючись виразу [32]

$$Q_i = m_1 \cdot a_1 + m_2 \cdot a_2 + \dots + m_n \cdot a_n, \text{ кг} \quad (2.1)$$

де  $m_1, m_2, \dots, m_n$  - кількість тварин кожного виду та вікової групи;

$a_1, a_2, \dots, a_n$  - добова норма корму на одну голову відповідної групи, кг.

За цією формулою обчислюють кількість кожного виду корму.

Отримані результати наведені в табл. 2.3.

На свино- і птахофермах, у птахівництві та на відгодівельних фермах ВРХ добову норму видачі кормів найчастіше розподіляють рівномірно між окремими циклами годівлі [32]. На МТФ в окремих випадках вдень можуть видавати більше третини добової норми корму. Грубі корми, такі як сіно або солома дають частіше вранці і ввечері.

Таблиця 2.3.

**Добова потреба в кормах**

Поголів'я тварин	голів	Види кормів						
		комбікорм, кг	сіно, кг	силос, кг	сінаж, кг	висівки, кг	солома, кг	сіль, кг
Корови дійні	137	411	685	3425	2055	411	137	13,7
Корови сухостійні	32	96	160	640	480	64	32	3,2
Нетелі	5	10	15	100	50	7,5	5	0,4
<b>ВСЬОГО</b>	<b>174</b>	<b>517</b>	<b>860</b>	<b>4165</b>	<b>2585</b>	<b>482,5</b>	<b>174</b>	<b>17,3</b>
Молодняк старше 1 року	52	104	104	780	520	104	-	2,6
Молодняк до 1 року	50	75	100	500	250	75	-	2,5
Телята до 6 місяців	85	85	85	425	425	85	-	2,1
<b>ВСЬОГО</b>	<b>187</b>	<b>264</b>	<b>289</b>	<b>1705</b>	<b>1195</b>	<b>264</b>	<b>-</b>	<b>7,2</b>
<b>Загальна кількість</b>	<b>361</b>	<b>781</b>	<b>1149</b>	<b>5870</b>	<b>3780</b>	<b>746,5</b>	<b>174</b>	<b>24,5</b>

Загальна потреба в кормах визначається за формулою [32]:

$$Q_{\text{сум}} = \sum_{i=1}^n Q_i, \quad (2.2)$$

де  $Q_i$  – добова норма  $i$ -го виду корму,  $i = 1 \dots n$ .

$$Q_{\text{сум}} = 781 \text{ кг} + 1149 \text{ кг} + 5870 \text{ кг} + 3780 \text{ кг} + 746,5 \text{ кг} + 174 \text{ кг} + 24,5 \text{ кг} = 12525 \text{ кг}.$$

В залежності від кратності  $K$  роздавання розраховують разову потребу в кормах [32]:

$$Q_{\text{рази}} = Q_{\text{добі}} / K, \quad (2.2)$$

На нашій фермі приймаємо двохразову годівлю ( $K=2$ ).

Разові норми видачі кормів наведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4.

**Разові норми видачі кормів**

Поголів'я тварин	Види кормів							Всього
	комбікорм, кг	сіно, кг	силос, кг	сінаж, кг	висівки, кг	солома, кг	сізь, кг	
Корови дійні	205,5	342,5	1712,5	1027,5	205,5	68,5	6,85	3568,85
Корови сухостійні	48	80	320	240	32	16	1,6	737,6
Нетелі	5	7,5	50	25	3,75	2,5	0,2	93,95
Молодняк старше 1 року	52	52	390	260	52	-	1,3	807,3
Молодняк до 1 року	37,5	50	250	125	37,5	-	1,25	501,25
Телята до 6 місяців	42,5	42,5	212,5	212,5	42,5	-	1,05	553,55
Загальна кількість	390,5	574,5	2935	1890	373,25	87	12,25	6262,5

## 2.4. Вибір технологічної лінії приготування кормів

У складі тваринницького підприємства повинні бути кормоприготувальні об'єкти [30], призначені для приймання, нагромадження й обробки кормової сировини, приготування та видачі кормових сумішей у необхідній кількості (відповідно до разової норми) і в чітко визначений час (безпосередньо перед годівлею за встановленим розпорядком дня ферми). Вибір варіанта такого об'єкта, структура його технологічних ліній визначаються виробничим напрямом та розмірами ферми, складом кормових раціонів, способами підготовки до згодовування окремих компонентів і зоотехнічними вимогами щодо показників якості їх обробки, номенклатурою машин й обладнання, що випускається промисловістю.

Процес кормоприготування полягає [34] у виконанні технологічних заходів (дій, операцій), спрямованих на кормову сировину, що обробляється, з метою надання їй нових властивостей. Стосовно конкретних видів кормів багаторічним досвідом, а також науковими дослідженнями визначені раціональні технологічні заходи. Деякі з них є обов'язковими для більшості видів кормової сировини (наприклад, очищення, подрібнення). Крім того, для найефективнішого використання кормових ресурсів (годівля тварин повнораціонними збалансованими кормовими сумішами) обов'язковими є також операції дозування та змішування.

Базовою технологічною операцією, що визначає продуктивність всього процесу кормоприготування, є змішування [19], яке може здійснюватися за порційним або потоковим принципами. Перший варіант дозволяє реалізовувати такі технології кормоприготування, в структурі яких є операції, що потребують тривалої експозиції (наприклад, запарювання кормів або підігрівання їх взимку, хімічна чи термохімічна обробка грубих кормів).

Порційне приготування кормових сумішей є типовий кормоцех для корів. Такий варіант кормоцехів дещо поступається перед поточковим

кормоприготуванням за продуктивністю, а також питомими показниками енерго- та металомісткості процесу, проте покращує якість обробки кормів, рівномірність їх змішування.

Порційний принцип дещо простіший у конструктивному відношенні, потребує меншого набору машин і дешевий, проте поступається перед поточковим принципом за якістю обробки ( подрібнення ) і змішування кормів.

Процес кормоприготування [30] в поєднанні з роздаванням полягає у виконанні технологічних операцій, спрямованих на надання сировині, що обробляється, нових властивостей та доставка цього продукту тваринам в необхідній кількості.

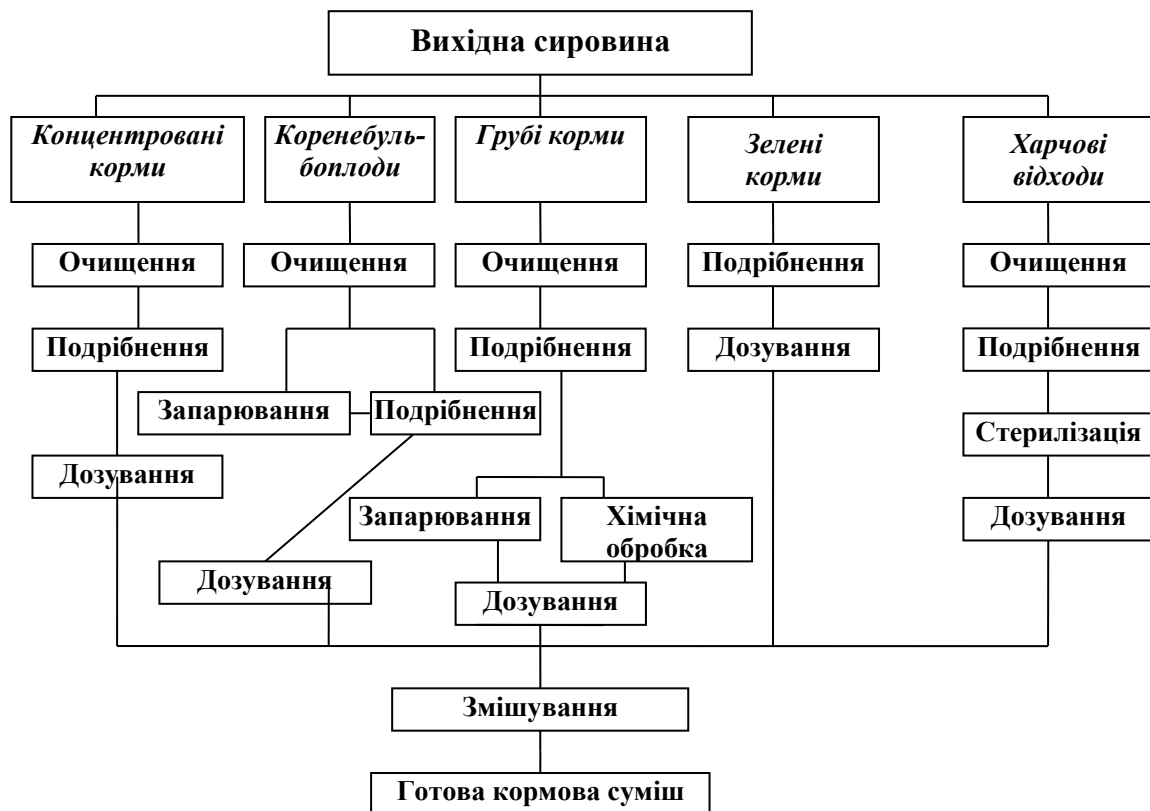


Рис. 2.1. Схема технологічних операцій приготування кормів

Застосування машин та технологічного обладнання для виконання основних операцій в поєднанні з засобами механізації проведення допоміжних і транспортних операцій створюють єдину поточкову лінію і забезпечують безперервність процесу кормоприготування та усувають ручну працю.

Приготування кормів завжди розглядається в поєднанні з механізованими способами роздачі кормів, Обидві лінії фактично створюють єдиний виробничий процес годівлі тварин. Тому сумісний розгляд цих двох питань дозволяє більш повно врахувати внутрішньовиробничу прив'язку засобів механізації перш за все по продуктивності та циклу проведення годівлі.

Концентровані корми чи комбікорми можуть перероблятися безпосередньо в приміщенні кормоцеху, але частіше вони виготовляються на зерноскладі або в спеціальному підрозділі – комбікормовому цеху та завозитись до кормоцеху ферми і накопичуватись в бункерах, чи на площадках [30].

Приготування комбікормів безпосередньо у господарствах дає змогу зменшити транспортні витрати, спростити технологічне обладнання, зменшити енергоємність процесу, внаслідок чого можна істотно знизити собівартість комбікормів так і виробленої з їхнім використанням тваринницької продукції. Технологія приготування комбікормів складається з наступних послідовно виконуваних операцій: приймання, розміщення і зберігання сировини; подрібнення; дозування; змішування пресування; зберігання.

Розглянемо технологічні схеми приготування кормів, що містять мінімальну кількість машин [37].

Підготовка кормових сумішок за допомогою мобільних агрегатів здійснюється наступним чином (рис. 2.2).

Перед завантажуванням кормових компонентів у бункер закривається заслінка вивантажувального отвору і включається ВВП. Після завантаження необхідної кількості одного виду корму агрегат завантажується кормами іншого виду. Після закінчення завантаження агрегат переміщається до місця видачі, при цьому корми подрібнюються і перемішуються. При наближенні до годівниць водій відкриває заслінку вивантажувального вікна і просуваючись уздовж фронту годівлі з швидкістю, необхідною для забезпечення заданої норми видачі, здійснює роздавання кормосуміші.

На фермах з кількістю корів більше 400 голів в технологічний процес бажано включати спеціалізований подрібнювач грубих кормів. За його допомогою створюють запас подрібнених кормів.



Рис. 2.2. Лінія приготування кормів з використанням мобільних подрібнювачів-змішувачів-роздавачів: 1 – трактор МТЗ-80/82; 2 – мобільний подрібнювач-змішувач-роздавач; 3 – фронтальний навантажувач ПКУ-0,8; 4 – подрібнювач грубих кормів.

В результаті виключення часу подрібнення грубих кормів в циклі роботи змішувача-роздавача його продуктивність може збільшитись вдвічі. Така ситуація має місце при використанні стаціонарних змішувачів (рис. 2.3).

Існує схема, за якою роздавання кормових компонентів здійснюється почергово (рис. 2.4). Грубі корми подрібнюють і завантажують в роздавач КТУ-10. Концентровані корми змішують з рідкими добавками і роздають роздавачами-змішувачами типу КУТ-3,0А.

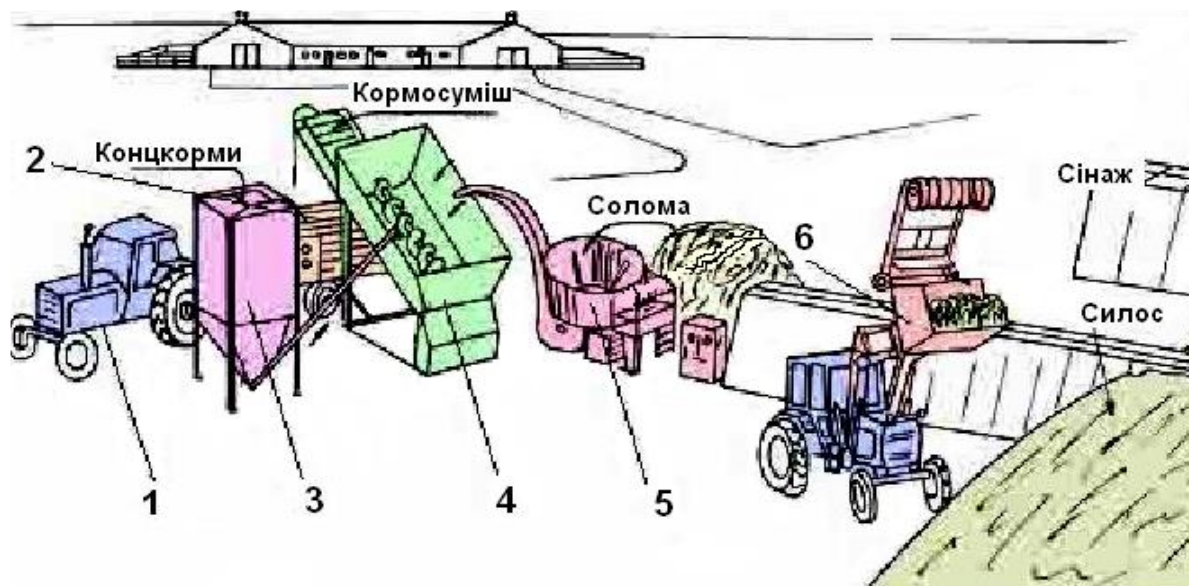


Рис. 2.3. Лінія приготування кормів з використанням стаціонарних подрібнювачів-змішувачів: 1 – трактор МТЗ-80/82; 2 – кормороздавач КТУ-10; 3 – бункер концкормів з дозуючим шнеком; 4 – стаціонарний подрібнювач-змішувач; 5 – подрібнювач грубих кормів.

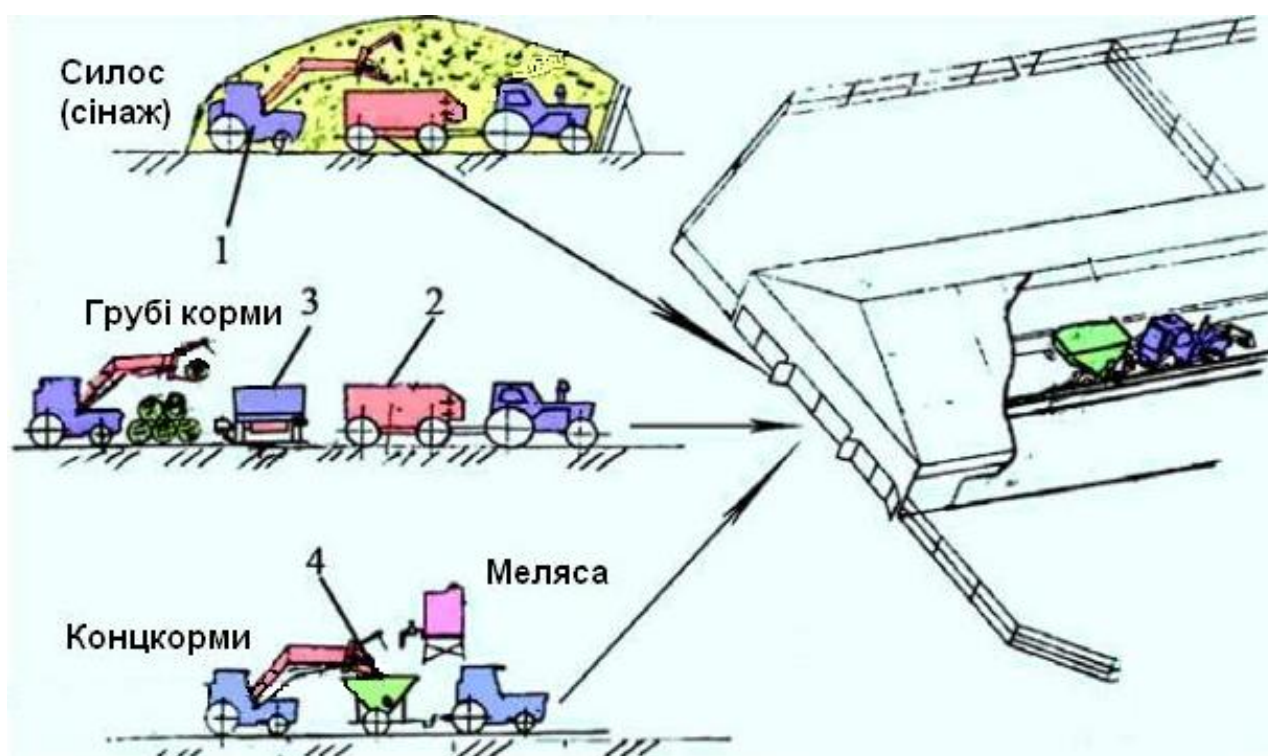


Рис. 2.4. Технологічна лінія з почерговим роздаванням кормових компонентів: 1 – фронтальний навантажувач ПКУ-0,8; 2 – кормороздавач КТУ-10; 3- універсальний подрібнювач грубих кормів; 4 – змішувач-роздавач сипучих і рідких кормів;

Для підвищення енергетичної та протеїнової поживності раціонів при сінажно-концентратному типі годівлі тварин пропонується схем [37], приведена на рис. 2.5. За цією схемою сінаж в рулонах подрібнюється і роздається в годівниці універсальним подрібнювачем ИСКП-5 або подрібнювачем рулонів ИРК-145, які агрегатуються з трактором класу 1,4. Завантаження рулонів у подрібнювач здійснюється фронтальним навантажувачем, навішаним на той же трактор. При завантаженні трактор з навантажувачем відчеплюється від подрібнювача.

Концентровані корми, меляса та інші добавки змішують і роздають в годівниці причепним змішувачем-роздавачем. Завантаження концкормів у змішувач здійснюється з бункера типу БСК-10 шнековим конвеєром, меляси – шестеренним насосом.

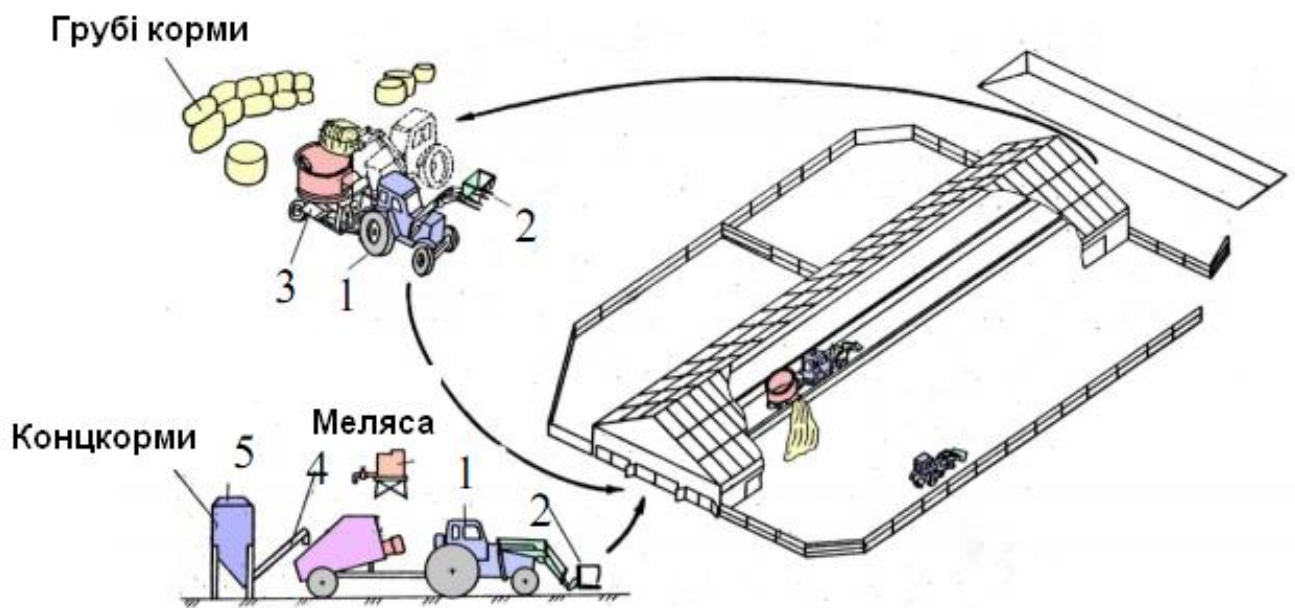


Рис. 2.5. Технологічна схема приготування кормів з малокомпонентним сінажно-концентратним типом годівлі тварин: 1 – трактор МТЗ-80/82; 2 – фронтальний навантажувач ПКУ-0,8; 3 – подрібнювач-роздавач пресованих стеблових кормів ИСКП-5; 4 – змішувач-роздавач концкормів, рідких і балансуєчих добавок; 5 – бункер концкормів з дозуючим шнеком.

З чотирьох приведених схем, на нашу думку, найбільш перспективною для використання в базовому господарстві є схема з використанням мобільного роздавача-змішувача (рис. 2.2).

В загальному варіанті технологія такої багатофункціональної машини виконує наступні операції:

- забір із сховищ стеблових та соковитих кормів; завантаження в приймальний бункер роздавача грубих кормів (в тому числі і у вигляді рулонів), зелених чи консервованих кормів (сінажу та силосу), коренеплодів;
- комбікормів-концентратів з одночасним зважуванням завантаженої порції кожного компонента;
- подрібненням стеблових та соковитих кормів; змішуванням кормових компонентів; транспортуванням кормосуміші до виробничих приміщень;
- видачу корму в приймальний бункер стаціонарного роздавача або виконання безпосередньої роздачі корму в годівниці тваринам.

Сучасні роздавачі-змішувачі оснащуються пристроями вагового дозування прийнятих компонентів та системами програмованого управління процесом змішування та видачі кормової суміші за заданою програмою для різних вікових груп тварин та їх виробничих напрямів. Застосування електронних ваг гарантує точний результат вмісту кормових елементів в суміші навіть при додатковій подачі мінеральних кормових добавок.

На основі аналізу існуючої технології та огляду наукових рекомендацій було запропоновано технологічну лінію приготування кормів, схема якої представлена на рис. 2.6.

Змішування компонентів сумішки з одночасним доподрібненням стеблових кормів здійснюється мобільним засобом Triolet Solomix 10 ZK. Грубі корми та силос подаються у змішувач фронтальним навантажувачем ПКУ-0,8. Для приготування комбікормів в умовах господарства пропонується використовувати власний стаціонарний комбікормовий агрегат.

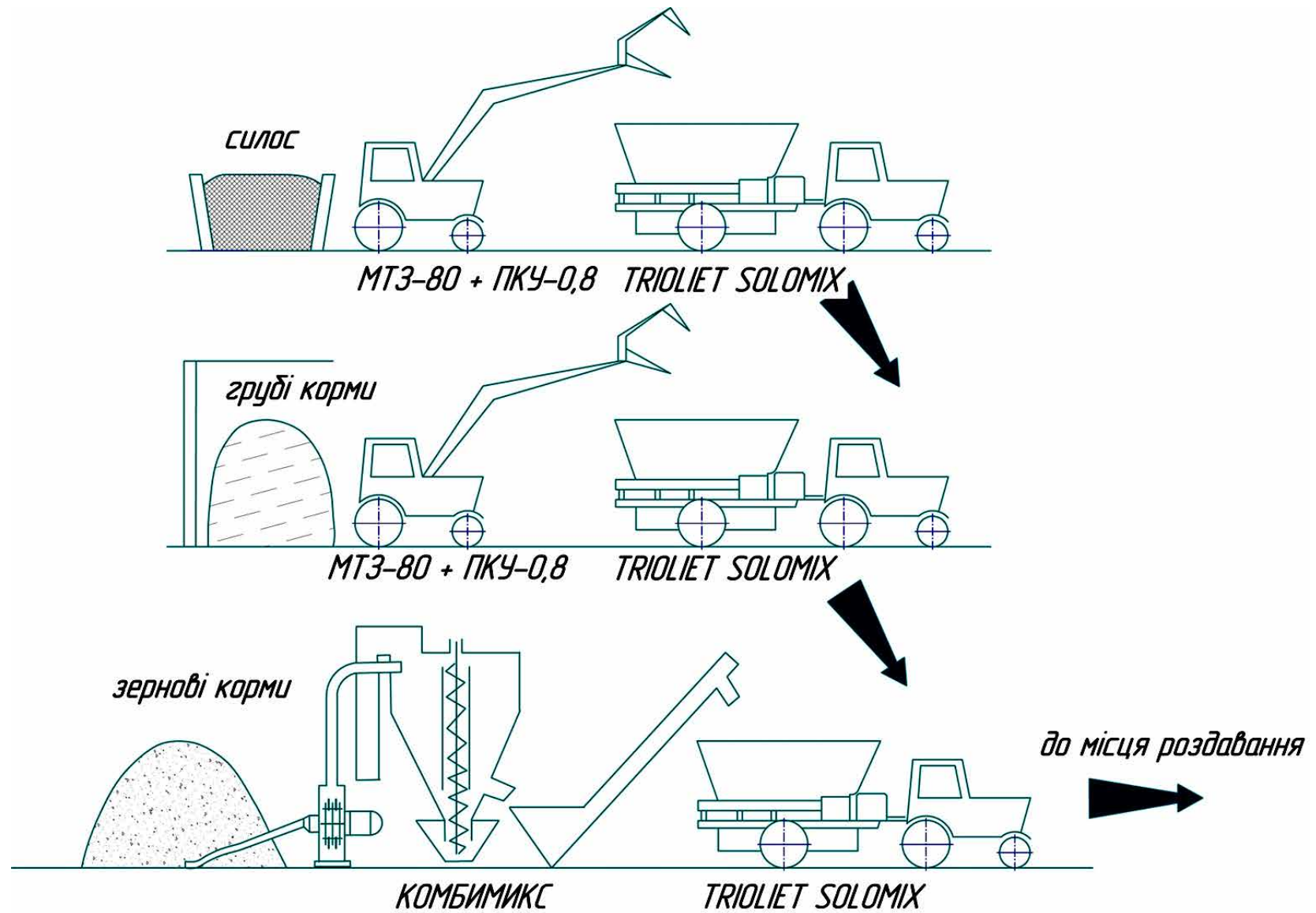


Рис. 2.6. Пропонована схема лінії приготування кормів

### 3. ДОСЛІДЖЕННЯ РОТОРНО-ДЕКОВОЇ ЗЕРНОДРОБАРКИ

#### 3.1. Вимоги до процесу приготування кормів

Для зміцнення та розвитку галузі тваринництва необхідне 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

Загалом процес подрібнення являє собою зменшення розмірів частинок твердого тіла до необхідних розмірів шляхом механічного впливу. За оцінками багатьох фахівців це один із найбільш енерговитратних процесів на Землі і щорічно на його здійснення витрачається до 10% усієї електроенергії, що виробляється. 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 й 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 першому плані виходять питання підвищення ефективності пристроїв, використовуваних для подрібнення різних продуктів. У той же час,

традиційні подрібнювальні машини не можуть 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 поряд з біологічно активними речовинами, мікроелементи (мідь, залізо, кобальт та ін.).

Щоб забезпечити краще поїдання кормів та засвоєння організмом тварин всіх поживних речовин, 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

Оскільки процес подрібнення являє собою зменшення розмірів вихідного продукту до необхідних розмірів шляхом механічного впливу ударом, плющенням, перетиранням 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 часток 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% всіх застосовуваних, 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%.

Науковими та практичними дослідженнями в галузі 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.

Процес подрібнення зернових матеріалів супроводжується утворенням переподрібнених часток (пилоподібна фракція) та недоподрібнених (цілі та незруйновані до необхідного розміру зернівки), які не відповідають заданому гранулометричному складу корму. У сільському господарстві використання цих некондиційних фракцій на корм тваринам без додаткової переробки спричиняє такі проблеми як:

- згубний вплив на здоров'я тварин (захворювання шлунково-кишкового тракту, авітамінози та ін.);
- слабка продуктивність тваринництва (яйценосність, молоковіддача, приріст м'ясної маси та ін.);
- підвищені витрати енергії та часу (гранулювання, пресування та ін. для подальшого використання недомолота та перемелювання);
- втрати кінцевого продукту (осаду на робочі органи подрібнювача та втрати в навколишнє середовище).

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.

Подрібнення матеріалу відбувається за один чи декілька прийомів і кожному етапі виходять частки різного гранулометричного складу. При цьому важливо не допускати перевитрати енергії пов'язаної з переподрібненням матеріалу, т.к. чим дрібніші частинки, тим менше в матеріалі внутрішніх дефектів, тим вони міцніші і, отже, на їхнє подрібнення потрібні великі витрати енергії. Наприклад, при великому, середньому та дрібному подрібненні крихких матеріалів різної міцності, коли ступінь подрібнення становить 3 - 4, витрата енергії коливається від 0,4 до 1 кВт·год/т, а при тонкому помелі витрата енергії досягає понад 30 кВт·год/т.

При цьому величина руйнівного зусилля залежить від крупності та міцності матеріалу, і можливостей технічного засобу, що використовується. Визначення витрачається у своїй енергії становить одну з основних проблем теорії подрібнення, т.к. гранична міцність неоднакова при різних фізико-механічних властивостях подрібнюваного матеріалу та способах впливу на матеріал. З цих причин жодна з теорій повною мірою не враховує сукупного впливу багатьох факторів на процес подрібнення та енергетику руйнування.

Ступінь подрібнення та модуль помелу характеризують всю подрібнену масу та виражаються середніми значеннями крупності отриманих у процесі фракцій. Обидва методи оцінки мало дають повного уявлення про ефективність виробленого подрібнення, т. е. якості готового продукту. А з урахуванням того, що в кожному конкретному випадку межі заданого діапазону подрібнення різні, можна з упевненістю сказати, що в готовому продукті будуть присутні як фракція заданого гранулометричного складу, так і некондиційний матеріал (перемолот та недомолот).

Як відомо, теорія подрібнення твердих тіл у її загальному вигляді вивчає основні закономірності у розподілі частинок за їх розмірами (великістю) з метою віднайдення найпростіших і в той же час надійних методів визначення середніх розмірів частинок, площі їхньої питомої поверхні та чисельних значень ступеня подрібнення.

Більш інформативні методики оцінки ефективності процесу подрібнення дозволять проводити точний та своєчасний аналіз, який надалі допоможе удосконалювати процес, конструкцію машин та своєчасно проводити їх ремонт та технічне обслуговування.

### **3.2. Способи руйнування матеріалу при подрібненні**

Вибір оптимального способу подрібнення вихідної сировини не тільки впливає на вирівняність гранулометричного складу, але і на якість готової продукції, а також на наявність у ній велику кількість дрібних фракцій. Виходячи з розглянутих теорій, подрібнення матеріалу - це поділ тіла на дві або більше частин, що відбувається при докладанні статичних напружень, або напружень,

що повільно змінюється в часі. Ці напруження 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 відрізняються лише 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 малюнку 1.3 схемами та їх комбінаціями

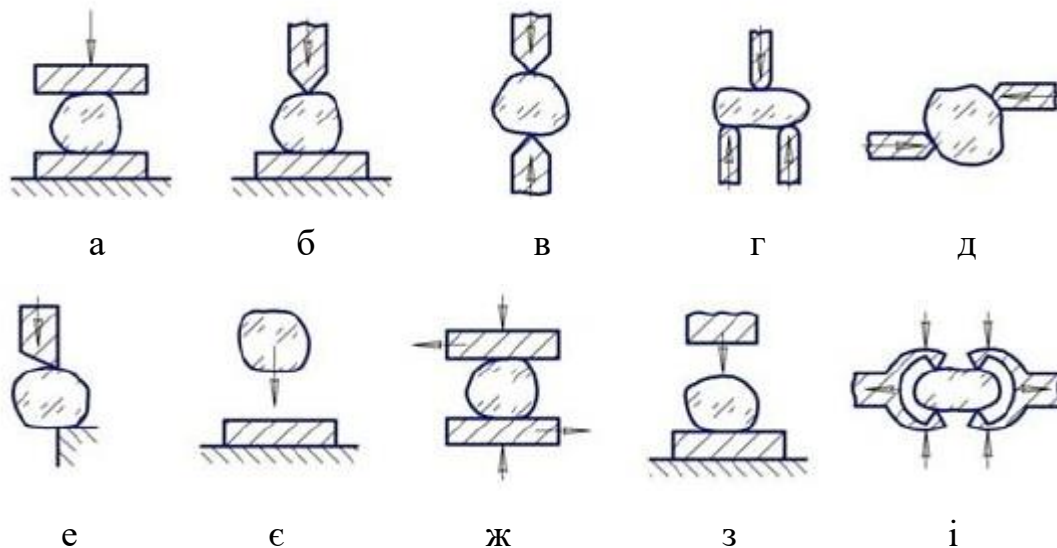


Рис. 3.1. Тип впливу: а - стиск; б - розколювання; в - розламування; г - вигин; д - зсув; е – зріз; є – вільний удар; ж - перетирання; з - стиснений удар; і - розтягування

Стиснення (рисунок 3.1 а) та його похідні: вільний і стиснутий удар, розколювання, розламування є найпоширенішими способами поділу матеріалу на частини, у тому числі й у 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 3.1 з) тіло руйнується між двома робочими органами подрібнювача.

Ефект такого руйнування залежить від кінетичної енергії ударяючого тіла. При вільному ударі (рис. 3.1 є) руйнування тіла настає внаслідок зіткнення його з робочим органом подрібнювача чи іншими тілами у польоті.

Ефект такого руйнування визначається швидкістю 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. 3.1 б) і розламування (рис. 3.1 в) відбуваються в місцях концентрації найбільших навантажень, що передаються клиноподібними робочими елементами, за рахунок чого отримують однорідніший за ранометричним складом матеріал, ніж при ударі.

Зсув (рис. 3.1 д) та його похідні сколів 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 сколюванні (рис. 3.1 е) тіло ділиться на частини заздалегідь заданих розмірів і форми шляхом послідовного зрізання (сколювання) частин основного шматка матеріалу.

Такі способи впливу на матеріал часто менш енергоємні і дозволяють більш ефективно прогнозувати розмірні характеристики готового подрібненого продукту.

Розтягування (рис. 3.1 і) 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 декількох напруг (нормальних та дотичних) є вигин (рис. 3.1 г) та перетирання (рис. 3.1 ж). При перетиранні матеріал подрібнюється між двома поверхнями, а супроводжується така руйнація зсувними, розтягуючими і іноді деформаціями, що стискають.

При вигині, як правило, відбувається прикладення 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, проведених Я. Н. Купріцом, В. Я. Гіршсоном, В. А. Єлісеєвим та іншими вченими, що руйнують зусилля 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 зерновок, 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. Однак, принцип розтягування, як і чистий зсув (зріз), складно організувати в сучасних технічних умовах, а при широко поширеному подрібненні зерна ударом «з лету» утворюється одна або кілька тріщин, що гілкуються, що і обумовлює великий розкид продукту за розмірами і його передрібнення. 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 (рис. 3.2)

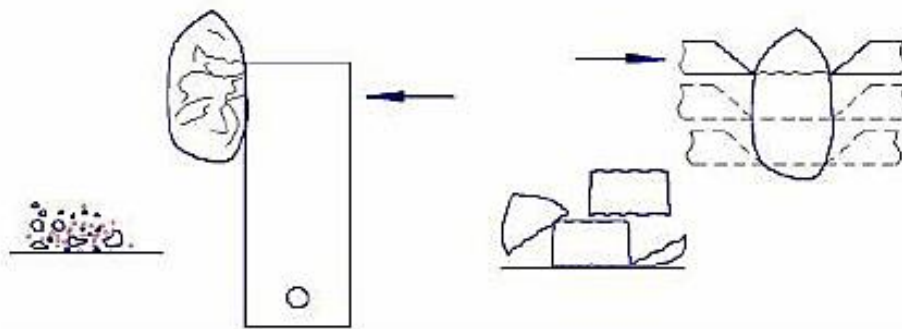


Рис. 3.2. Схеми подрібнення зерновок і продукт подрібнення, що отримується: а - подрібнення ударом «з лету»; б - подрібнення способом «сколювання-зріз»

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.

### 3.3. Огляд існуючих засобів подрібнювачів зерна

Подрібнювальні машини застосовуються для поліпшення однорідності сумішей, прискорення і 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 і структури матеріалів та виробів (тверді сплави, бетон, кераміка та ін.), підвищення барвної здатності пігментів та барвників, активності адсорбентів та 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.

Схеми основних видів дробарок представлені на рис. 3.3.

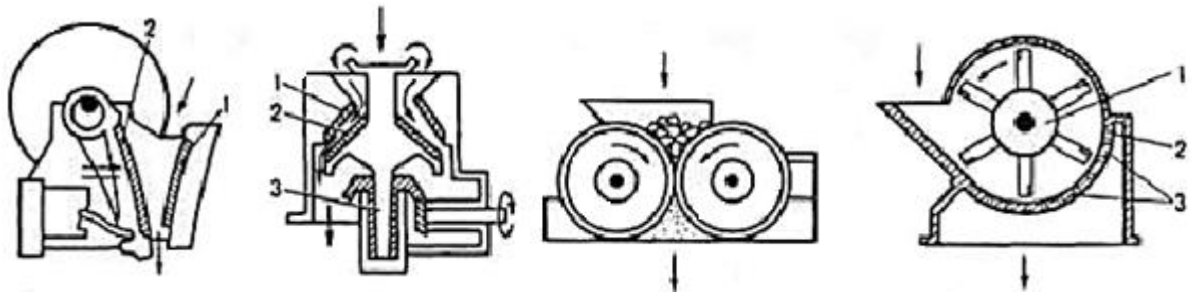


Рис. 3.3. Дробарки: а - щокова (1, 2 – відповідно нерухома і рухома щоки); б - конусна (1, 2 - відповідно нерухомий і рухомий конуси, 3 - вал); в – вальцова; г - роторна або молоткова (1 - ротор з молотками, билами, рифлями та ін, 2 - статор, 3 - решето)

Щокова дробарка є універсальною машиною для дроблення матеріалів. Застосовується на гірських породах будь-якої міцності, шлаках, деяких металевих матеріалах. 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 коренебульбоплодів. 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. 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 затягування 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 та жирних) і застосовуються для руйнування шматків, зерен та частинок мінеральної сировини та інших продуктів шляхом дроблення ударами молотків, бил 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 і відбійних плит. Такі машини оснащуються ґратами, що контролюють крупність одержуваного продукту.

Роторні дробарки, як і молоткові, працюють при будь-яких вимогах 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 міцності 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 б стінки робочої камери. Така дробарка може бути виконана з вертикальним ротором конічної форми.

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.

Основні типи млинів представлені на рис. 3.4.

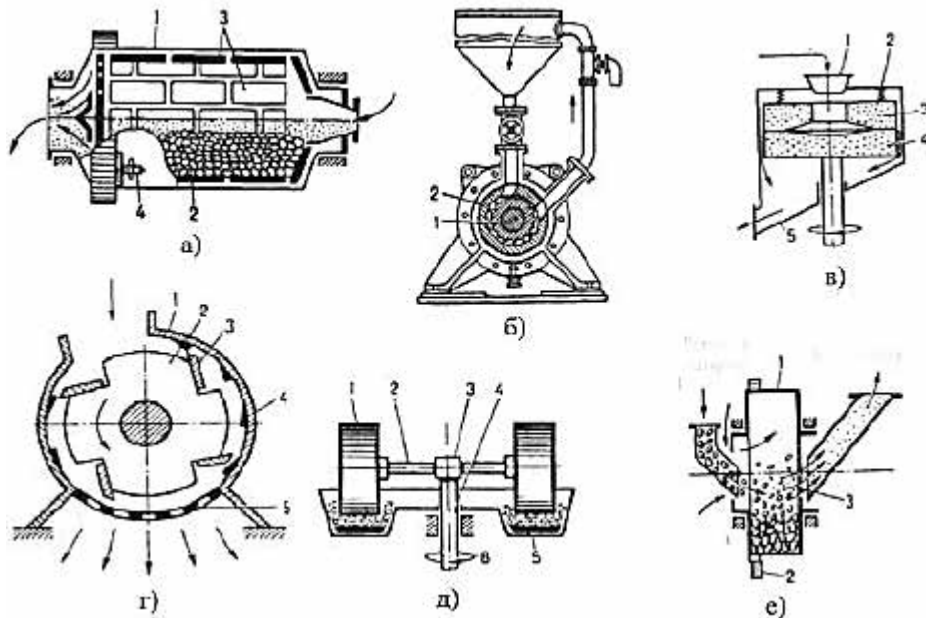


Рис. 3.4. Млини: а - барабанний кульовий (1 - корпус, 2 – мелючі тіла, 3 - футерувальні плити, 4 - привід); б – кавітаційний (1 – ротор, 2 – статор); в - з жорнами (1 - завантажувальна лійка, 2 - пружина, 3, 4 - кам'яні диски, 5 - патрубок для розвантаження готового продукту); г - ножовий (1 - корпус-статор, 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 - барабанний безшаровий (1 - корпус, 2 - привід, 3 - діафрагма).

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 у сільському господарстві існують подрібнювачі різних типорозмірів та конструкцій, що обумовлено різноманіттям способів доведення вихідного продукту до необхідної крупності або 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 або 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. Проте досвід зарубіжних та вітчизняних тваринників дозволяє зробити висновок про те, що навіть у раціоні ВРХ плющене зерно має поєднуватися з концентратами. При цьому існує проблема змішування плющених частинок та інших компонентів комбікормів з рівномірністю понад 90%.

Тому на кормоприготувальних 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 30% пилоподібної фракції. Питанням розробки теорій молоткових дробарок присвятили свою працю В.А. Єлісеєв, В.І. Сироватка, С.В. Мельников, І.В. Коношин та інші.

Останнім часом молоткові дробарки поступово замінюються на інші типи 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 їхнього зносу. Вони мають вертикальний або горизонтальний приводний вал і, залежно від багатоступінчастості конструкції, здійснюють руйнування матеріалу одним або декількома сколами його частинок. Розробляли такі дробарки та теоретично описували процес подрібнення в них Н.С. Сергєєв, В.В. Фомін, І.Б. Шагдиров, В.В. Іванов та інші вчені.

Для досягнення найкращої якості дроблення сколюванням і зрізом використовують вальцеві дробарки, які відрізняються рифленою поверхнею вальців, що нарізуються 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%) та маслянистих кормів, нагрівання продукту розмелювання, висока металомісткість та необхідність постійної наявності запасні вальці на складі. Теоретичними питаннями вальцевих дробарок займалися П.А. Афанасьєв, К.А. Зворикін, П.А. Козьмін та інші.

Для подрібнення зернових кормів робочі частини вальцевих дробарок (рисунок 3.5 а) виконуються у вигляді двох паралельних циліндрів (вальців) з рифленою поверхнею. Обидва вальці наводяться в обертання в різні боки та з

різною швидкістю ( $V_1 \neq V_2$ ). Вальці розташовуються під кутом до горизонту  $20^\circ$  і горизонтально. Чим менший кут нахилу вальців, тим сприятливіші умови подачі матеріалу в зону подрібнення, але ширина подрібнювача при цьому дещо збільшується (рисунок 3.5 б).

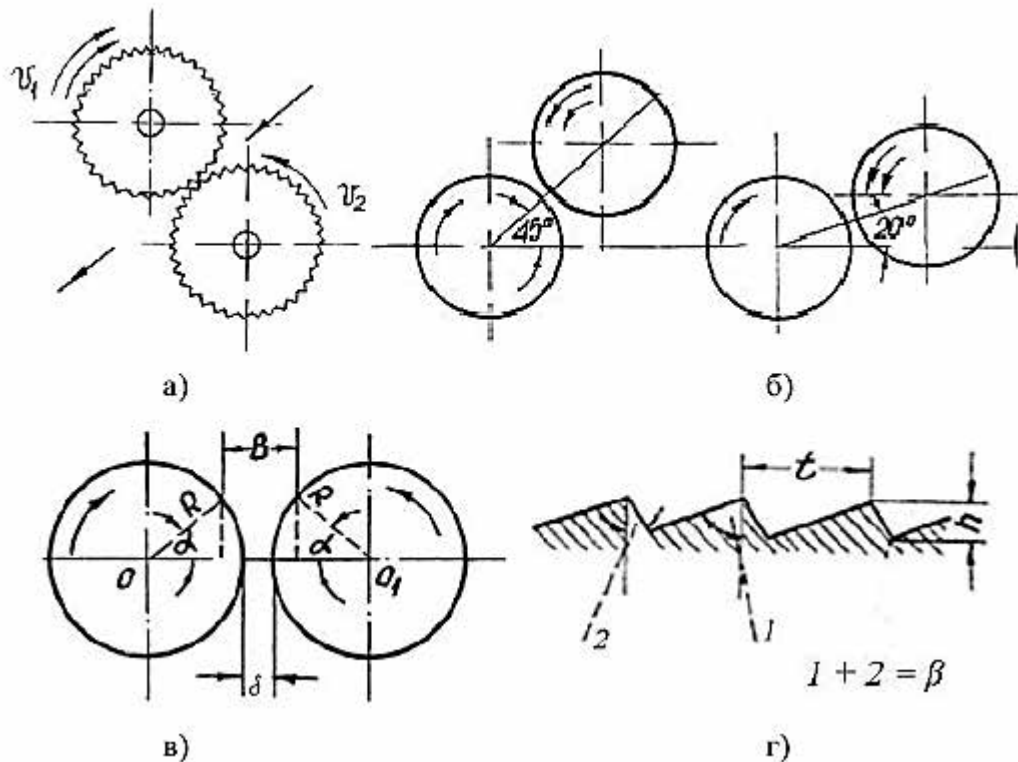


Рис. 3.5. Принципова схема вальцевої зернодробилки (а), варіанти розташування мелють вальців (б), схема до аналізу параметрів вальців (в) і профілю рифлів (г)

У робочому процесі вальцевих дробарок мають значення такі основні фактори: кут захвату (заклинювання)  $\alpha$  матеріалу розміром  $B$ , діаметр (радіус  $R$ ) вальців, окружні швидкості вальців та їх співвідношення, профіль та кут нахилу та число рифлів на одиницю довжини кола вальця, величина робочої щілини між вальцями і властивості подрібнюваного матеріалу. Усі разом вони зумовлюють підсумкові конструктивні характеристики дробарки, визначення яких існують відповідні теоретичні залежності (рисунок 3.5 в).

Інтенсивність подрібнення матеріалу у вальцевому верстаті визначається довжиною обробки дуги. Довжина шляху обробки тим більше, що більший радіус  $R$  вальців. Рифлена поверхня утворюється шляхом нарізки вальців різцями спеціальних верстатів. Рифлі характеризуються профілем,

кількістю їх на одиницю довжини кола вальця, ухилом рифлів та взаєморозташуванням їх на парнопрацюючих вальцях.

У поперечному перерізі (малюнок 3.5 г) рифлі мають дві нерівні бічні грані - вузьку (грань вістря) та широку (грань спинки). Кут, утворений цими гранями, називається кутом загострення рифлів  $\beta$ .

Якщо з центру вальця провести радіус до вершини рифлі, то цей кут розділиться на два кути: кут спинки 1 та кут вістря 2. Відстань  $t$  між двома вершинами рифлів, виміряна по колу, називається кроком рифлів, а відстань  $h$  між колом западин і колом виступів, виміряне за радіусом вальця, називається висотою рифлів. Крок і число рифлів пов'язані та залежать від геометричних параметрів подрібнюваних матеріалів та вимог помелу. Профіль рифлів визначається кутами «вістря» (у межах від 20 до 40°) та «спинки» (у межах від 60 до 80°) при загальних кутах загострення від 20 до 110°. На ефективне подрібнення впливає розташування ріжучих граней рифлів по відношенню до частинок матеріалу. Можливі варіанти розташування рифлів представлені на рис. 3.6.

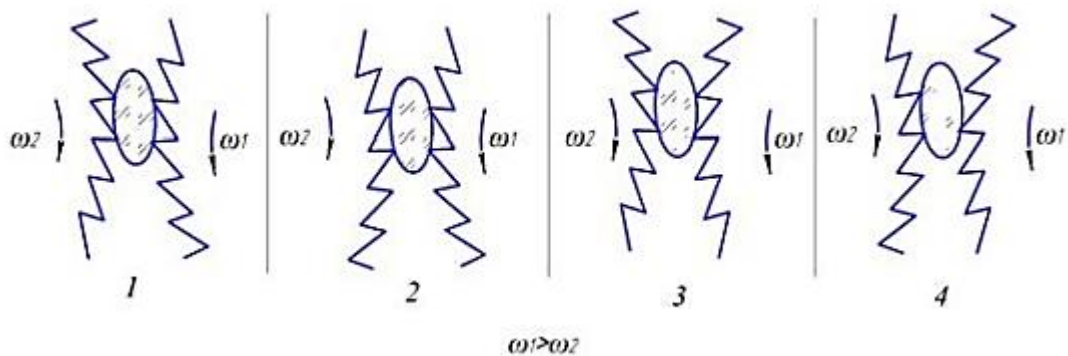


Рис. 3.6. Варіанти взаємного розташування рифлів вальців

При варіанті 1 (рис. 3.6) 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 1 варіант взаєморозташування рифлів на парнопрацюючих вальцях.

Викладене вище накладає певні обмеження конструкції вальцьових зернодробарок. Діаметр вальців, як правило, знаходиться в межах 150-300 мм, а їх колова швидкість 5-9 м/с [30].



Рис. 3.7. Подрібнювачі зернових матеріалів: а – молоткова ДКР-4МУ, б – молоткова ДМ-10, в – молоткова ДМФ , г – вальцова «250» (INOXgroup), д – зернодробилка Ярмаш-1

Аналіз основних конструкцій дробарок, загальних проблем процесу подрібнення зернових матеріалів 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 накопичення 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 їх працездатності, актуальності в сучасних технологічних реаліях та можливості впровадження у сільськогосподарське кормовиробництво, наприклад, на рівні малих підсобних та фермерських господарств.

### **3.4. Обґрунтування конструктивно-функціональної схеми вальцево-декової зернодробарки**

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

Аналіз способів впливу показав, що при розподілі вихідних продуктів на частини визначальними є їх фізико-механічні властивості та параметри робочих поверхонь подрібнювача.

На основі проведеного аналітичного огляду конструкцій подрібнювальних машин встановлено що, незважаючи на універсальність та простоту конструкції, молоткові дробарки, що отримали найбільше поширення в сільськогосподарському виробництві, ці машини вимогливі до вологості зернового матеріалу (не більше 17%), видають до 20% цілих зерен вихідного продукту та до 30% пилоподібної фракції.

Експлуатаційної економічності та ефективності процесу подрібнення зернових матеріалів для приготування концентрованих кормів найбільш повно відповідають дробарки, що використовують сколюючий вплив для поділу матеріалу на частини при мінімальному за загальною тривалістю (від завантаження до виведення). Серед таких дробарок можна виділити вальцові та відцентрово-роторні подрібнювачі, які є енерго- та металомісткими для використання у малих фермерських та особистих підсобних господарствах, але при цьому видають досить вирівняний по однорідності склад подрібненого продукту.

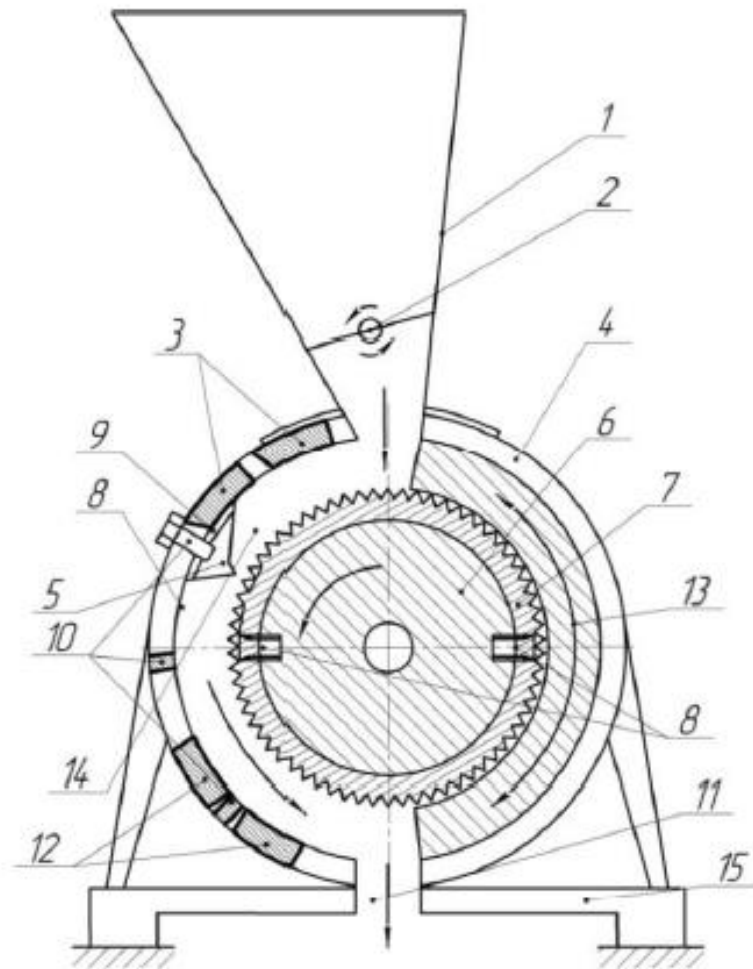


Рис. 3.12. Схема вальцево-декової дробарки: 1 - завантажувальний бункер; 2 - заслінка регулювання подачі зерна; 3 - заглушки у додаткових місцях розташування завантажувального вікна; 4 - статор; 5 – протиризальний елемент (дека); 6 - валець; 7 - знімний елемент ротора з пазами; 8 - кріплення знімного елемента ротора; 9 - прокладка, що регулює зазор між ротором і статором, 10 - кріплення та дві заглушки у додаткових місцях розташування елемента зрізу, 11 – розвантажувальне вікно, 12 – заглушки у додаткових місцях розташування розвантажувального вікна, 13 – обмежувач, 14 – камера подрібнення, 15 – рама.

Принцип роботи удосконаленого подрібнювача можна описати в такій послідовності: завантаження матеріалу (зернові культури) в бункер 1, транспортування цього продукту в зону руйнування камери подрібнення 14 і виведення подрібненого продукту з порожнини між вальцем і декою через розвантажувальне вікно 11.



технічні рішення дозволили в 1,5...3 рази знизити питомі енерго- та металомісткість порівняно з малогабаритними дробарками зерна, представленими на ринку техніки, що подрібнює.

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

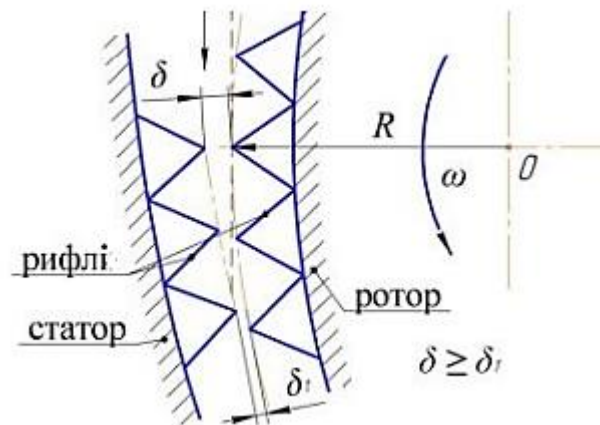


Рис. 3.9. Схема взаємного розташування робочих поверхонь статора та ротора

Розподіл зернівки має наступати після концентрованого удару по ній двох ріжучих поверхонь. Тобто, матеріал, затиснутий між двома поверхнями ротора та статора (рис. 3.9), сколюється або зрізається за рахунок руху рифлів ротора щодо нерухомих рифлів статора. Зазор між робочими органами призводитиме до виникнення згинальної сили.

Процес подрібнення зернового продукту в роторній дробарці відбувається наступним чином. Зернівки, надходячи з бункера в завантажувальне вікно, наповнюють камеру подрібнення, потрапляють у поздовжні рифлі ротора і транспортуються в них до нерухомих рифлів статора. За рахунок їх взаємодії відбувається зміна їх природної (вихідної) форми. При цьому відбувається зазор між ротором і внутрішньою поверхнею статора заповнюється, як вихідним продуктом, так і частинами зернівок, що утворилися в процесі подрібнення. Отримані частинки продукту переміщуються далі

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

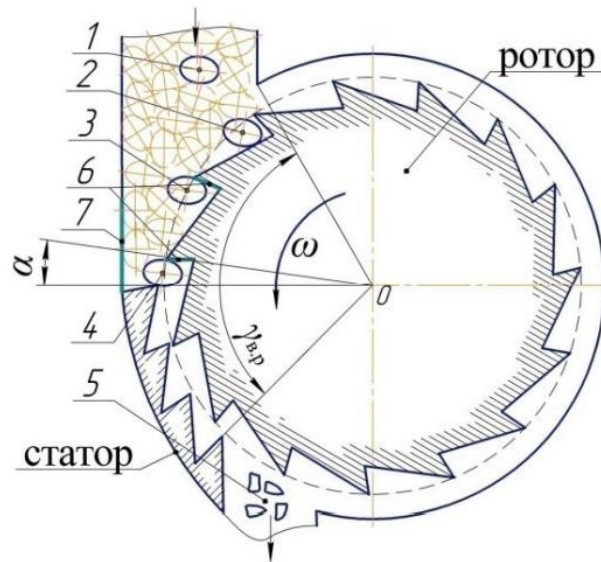


Рис. 3.10. Схема руху зернівки в робочому зазорі горизонтальної вальцево-декової дробарки:

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 [15, 16 ].

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  $\alpha$  для подальшого різання і сколювання.

При потраплянні зернівки на ротор, що обертається, їй передається обертовий рух зі швидкістю ротора. Відцентрова сила спрямована від центру та,

будучи прикладеною до зернівки, намагається виштовхнути їх у радіальному напрямі, 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 вища колова швидкість ротора, тим більше впливає вона на виліт зерновок з паза, густина укладання продукту, повітряні потоки в порожнині дробарки. Тоді, незважаючи на форму рифлів прийняту для протидії відцентровій силі  $F_v$ , має існувати критичне значення цієї швидкості, при якому дія описаних вище факторів буде порівнянна з ефективною роботою горизонтальної роторної дробарки.

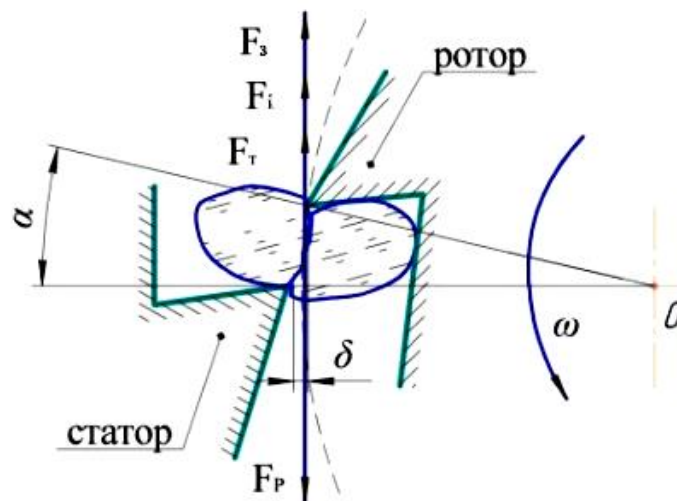


Рис. 3.11. Схема зрізу зернівки між рифлями ротора і статора

У момент розрізання (рис. 3.11) зернівка масою  $m_z$  заклинюється і починає руйнуватися зусиллям зрізу  $F_z$ , при досягненні в ній критичної напруги  $\tau$ . Потім частина зернівки, що знаходиться в зазорі, починає переміщатися і додатково з'являються сила інерції  $F_i$  та сила тертя  $F_t$  маси зернівки  $m_{ч.з}$ , тобто сколювання частки матеріалу характеризується результуючою силою  $F_p$ .

$$F_p = \tau \frac{\pi d_e^2}{4} + \frac{m_{ч.з} v_p^2}{d_e} + m_{ч.з} \omega^2 R k_{тз}$$

де  $d_e$  - еквівалентний діаметр зернівки,  $k_{тз}$  - коефіцієнт внутрішнього тертя зернівки;  $\omega$  - кутова швидкість ротора, рад/с;  $R$  - радіус ротора дробарки, м; де  $v_p$  - колова (лінійна) швидкість ротора, м/с.

Значний вплив на тип руйнування, що відбувається, надає зазор між кромками рифлів  $\delta$ . Наведені вище схеми розглядалися з урахуванням мінімального зазору,

оскільки це є умовою руйнування при зсуві (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 руйнуючого впливу.

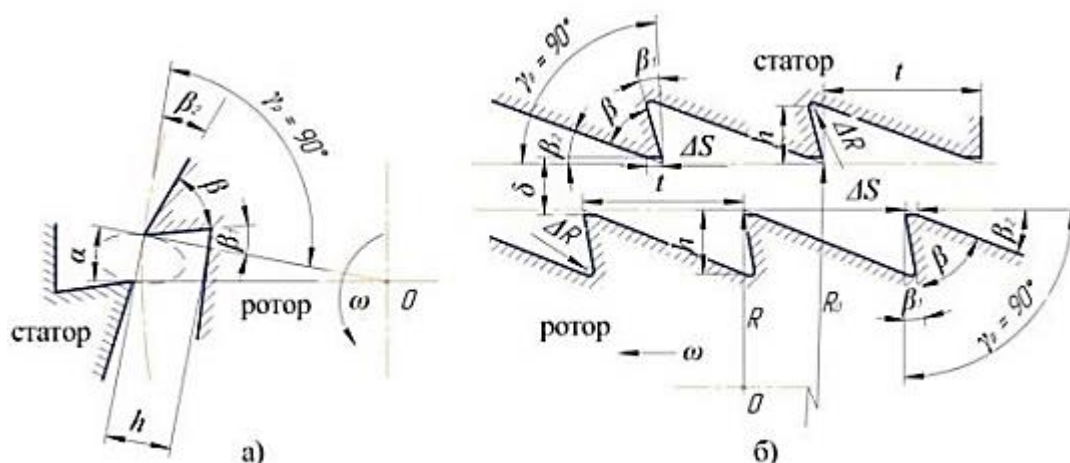


Рис. 3.12. Схема нарізки рифлів ротора і статора: а - при початковому захопленні зернівки, б - у розгорнутому вигляді.

З малюнка видно, що рифлі горизонтального роторної дробарки мають дві нерівні бічні грані вістря - вузьку та широку, які утворюють їх загострення. Якщо з центру ротора провести радіус до вершини рифлі, можна побачити, що кут вістря  $\beta$ , кут вістря рифлі  $\beta_1$  і кут спинки рифлі  $\beta_2$  утворюють кут різання  $\gamma_r = 90^\circ$ .

Розглядаючи рифлені поверхні ротора і статора, можна сказати, що найбільш впливають на процес подрібнення є пази ротора. Вони забезпечують як доставку продукту в зону руйнування, так і створюють умови захоплення зернівок і необхідну напругу в зоні контакту з протирізом статора для їх

сколювання. Тому виконання рифлів статора має або відповідати (виконуватися ідентично) геометричним параметрам рифлів на роторі, або не порушувати схеми взаємодії «вістря по вістря».

При цьому профіль рифлі протирізу дозволяє додатково контролювати крупність одержуваних частинок готового зернового продукту. Наприклад, рухомою декою статора, за рахунок звуження каналу між ріжучими поверхнями ближче до розвантажувального вікна.

Висота рифлів  $h$  для пазів ротора з урахуванням того, що вона впливає на крупність готового продукту:

$$h = \frac{t \sin 2\beta_1}{2\vartheta} \quad (3.1)$$

де  $t$  - крок рифлів,  $\zeta$  - ступінь подрібнення.

Кут захоплювання  $\alpha$  залежатиме від розміру зернівки затиснутої між ріжучою кромками рифлів статора та ротора. Приймавши цей розмір частинки рівним еквівалентному діаметру вихідної зернівки  $D_e$ , можна виразити кут  $\alpha$  з урахуванням зазору  $\delta$  скориставшись теоремою косинусів:

$$\alpha = \arccos \frac{R^2 + (R + \delta)^2 - D_e^2}{2R(R + \delta)} \quad (3.2)$$

де  $\delta$  – зазор між ротором і статором,  $D_e$  – еквівалентний діаметр зернівки,  $R$  - радіус ротора.

Велика кількість випробувань, проведених для визначення оптимальних значень кутів ріжучих поверхонь, дозволяє рекомендувати значення  $45...65^\circ$ ,  $5...15^\circ$ ,  $15...25^\circ$  відповідно рівні для кутів  $\beta$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ . Виходячи з оптимальних енергетичних і параметрів міцності ріжучої кромки рифлі остаточно приймемо кут нахилу стінки паза  $\beta_1 = 15^\circ$  і кут вістря  $\beta = 60^\circ$ , при яких кут нахилу спинки рифлі  $\beta_2$  буде дорівнює  $15^\circ$ .

Теоретична продуктивність дробарки  $Q$  (кг/с) визначена як об'єм продукту  $\Delta V$ , який виводиться через зону руйнування за одиницю часу:

$$Q = l(h + \delta)v_p\rho n_\pi k_3 \quad (3.3)$$

де  $l$  - довжина ротора, м;  $h$  - висота рифлі, м;  $\rho$  - щільність зернового матеріалу, кг/м<sup>3</sup>;  $n_p$  - кількість рифлів на роторі;  $k_z$  - коефіцієнт заповнення приймальної камери;

В результаті проведених експериментальних досліджень отримані наступні рівняння регресії.

Для визначення модуля помелу  $M$ :

$$M = 4,68 - 0,381\delta + 0,32\delta^2 + 0,164lv + 0,025v^2 - 0,048\delta v. \quad (3.4)$$

Для визначення продуктивності  $Q$ :

$$Q = 15,98 + 2,28l^2 + 6,612\delta - 0,043\delta^2 + 0,0012lv + 0,0037v^2 + 0,0018\delta v. \quad (3.5)$$

На рис. 3.13, 3.14 та 3.15 показаний характер впливу змінних факторів на критерії оптимізації

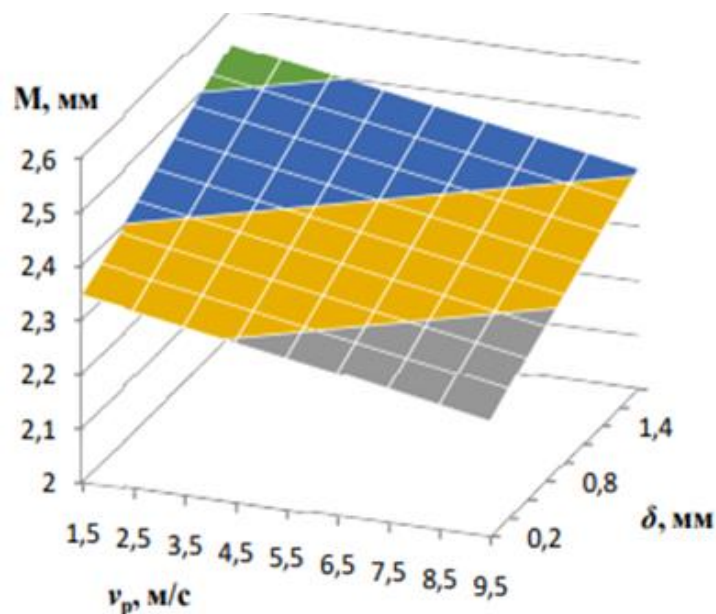


Рис. 3.13. Залежність модуля помелу  $M$ , мм від колової швидкості ротора  $v_p$ , м/с та робочого зазору  $\delta$ , мм

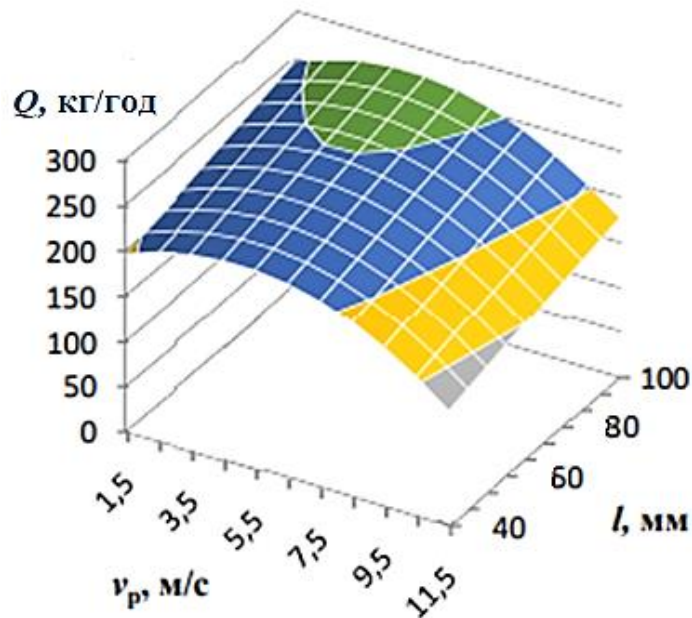


Рис. 3.14. Залежність продуктивності  $Q$ , кг/год від колової швидкості ротора  $v_p$ , м/с, та довжини ротора  $l$ , мм

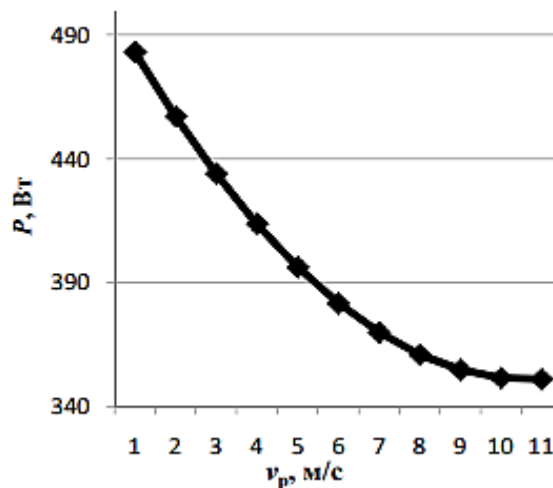


Рис. 3.15. Залежність потужності на подрібнення  $P$ , кВт від швидкості обертання ротора  $v_p$ , м/с,

На основі проведених досліджень обґрунтовано раціональні параметри та режими роботи вальцево-декової дробарки.

Раціональні параметри:

діаметр ротора  $D = 0,1$  м, довжина ротора  $l = 90$  мм

крок  $t = 11,5$  мм, висота  $h = 1,6$  мм, та кількість рифлів ротора  $n_p = 28$  шт.

Раціональні режими для різних помелів:

- грубий помел ( $M = 1,8-2,6$  мм):  $\delta = 0,8$  мм,  $v_p = 4,5$  м/с;

- середній помел ( $M = 1,0-1,8$  мм):  $\delta = 0,5$  мм,  $v_p = 5,2$  м/с;

- тонкий помел ( $M = 0,2-1,0$  мм):  $\delta = 0,2$  мм,  $v_p = 6,5$  м/с..

## 4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА РОЗРОБЛЕНИХ РІШЕНЬ

Модернізація існуючих засобів механізації, що вимагає порівняно невеликих капіталовкладень, приносить відчутний економічний ефект при збільшенні ефективності роботи машини. Використання комбікормового агрегату підвищує однорідність отриманого комбікорму та знижує питомі енерговитрати, при цьому показник ефективності роботи збільшується до 25 %.

### 4.1. Розрахунок річних економічних показників

Річна потреба у комбікормах буде складати:

$$\Pi_{кр} = K_z \cdot P_n \quad (4.1)$$

де  $K_z$  - кількість корів у господарстві,

$P_n$  - річна потреба комбікормів на одну голову.

Визначення часу роботи обладнання для задоволення потреби у кормах господарства

$$T_p = \frac{\Pi_{кр}}{Q}, \quad (4.2)$$

де  $T_p$  - кількість годин роботи на рік,  $Q$  - продуктивність машини, т/год;

Капіталовкладення визначаються за формулою:

$$K_e = K_p + K_m + K_n \quad (4.3)$$

де  $K_p$  - вартість розробки та виготовлення запропонованого подрібнювача, грн.;

$K_m$  - вартість переоснащення агрегату, грн;

$K_n$  - вартість переналадки та навчання персоналу, грн.

Витрати на електроенергію

$$E_e = M_m \cdot K_z \cdot B_{ен} \quad (4.4)$$

де  $M_m$  - встановлена потужність, кВт;

$K_z$  - кількість годин роботи на рік;

$B_{ен}$  - вартість 1кВт електроенергії для сільськогосподарських виробників,

$$O_n = T_{cm} \cdot K_2 \cdot K_p \quad (4.5)$$

де  $T_{cm}$  - годинна оплата праці

$K_2$  - кількість годин роботи за рік;

$K_p$  - кількість обслуговуючого персоналу.

Економія коштів за рахунок зниження виходу пиловидної фракції:

$$E_k = (n_6 - n_3) / 100 \cdot B_3 \cdot \Pi_{kp}, \quad (4.6)$$

де  $n_6$  і  $n_3$  - вихід пиловидної фракції для базової та запропонованої моделі відповідно, %;

$B_3$  – вартість 1 кг зерна грн/т.

Річний економічний ефект:

$$E_p = (E_{66} - E_{63}) + (O_{66} - O_{63}) + E_k \quad (4.7)$$

Термін окупності:

$$T_o = \frac{K_e}{E_p} \quad (4.8)$$

Обчислення показників економічної ефективності згідної приведеної методики здійснювався за допомогою програми Excel Microsoft. Отриманні результати були занесені в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1. Оцінка економічної ефективності

Показники	Існуючий комплект	Запропонований комплект
Капіталовкладення, грн	-	86500
Вартість спожитої електроенергії, грн	116281,7	113567,7
Річний фонд оплати праці, грн	145227	127688
Річний економічний ефект, грн		265180
Термін окупності, років		0,33

Отже, при використанні запропонованої конструкції буде отримано річний економічний ефект 165180 грн за рахунок зменшення виходу пиловидної фракції та зниження енергомісткості. Термін окупності становитиме 0,33 року.

## 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

### 5.1. Загальні положення

Охорона праці - це система законодавчих актів, соціально-економічних, організаційних, технічних, гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Правовою основою законодавства, щодо охорони праці в господарстві є:

Конституція України,

Закон України «Про охорону праці»,

Закон України «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасних випадків на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності»,

Закон України «Про охорону здоров'я»,

Закон України «Про пожежну безпеку»,

Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища»,

Закон України «Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення»,

Закон України «Про колективні договори і угоди», Закон України «Про дорожній рух»,

Кодекс законів про працю України,

Положенням про організацію роботи з охорони праці.

НПАОП 01.0-1.01-12. Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві

НПАОП 01.2-1.10-05. Правила охорони праці у тваринництві. Велика рогата худоба

НПАОП 0.00-4.12-2005. Перелік робіт з підвищеною небезпекою

Правила охорони праці для працівників, зайнятих на роботах зі зберігання та переробки зерна НПАОП-15.0-1.01-17. Затверджені наказом Міністерства соціальної політики України 20.09.2017 № 1504, зареєстровані в Міністерстві юстиції України 23 жовтня 2017 р. за N 1288/31156.

Рівні небезпечних і шкідливих виробничих чинників у виробничих приміщеннях та на робочих місцях не повинні перевищувати норм, установлених:

- Державними санітарними нормами і правилами при роботі з джерелами електромагнітних полів, затвердженими наказом Міністерства охорони здоров'я України від 18 грудня 2002 року № 476, зареєстрованими у Міністерстві юстиції України 13 березня 2003 року за № 203/7524,

- Вимогами до роботодавців щодо захисту працівників від шкідливого впливу електромагнітних полів, затвердженими наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 05 лютого 2014 року № 99, зареєстрованими у Міністерстві юстиції України 25 лютого 2014 року за № 335/25112.

## **5.2. Стан охорони праці в господарстві**

У господарстві проведено паспортизацію робочих місць. При цьому були враховані параметри навколишнього середовища, що впливають на організм людини: температура, тиск, освітленість, рівень шуму, вологість, швидкість руху повітря. Для оперативного контролю за станом охорони праці заведений журнал зауважень і пропозицій.

Оперативний контроль передбачає регламентовані в часі перевірки та звіти керівників і спеціалістів виробничих підрозділів господарства.

Завідуючим фермою разом з громадськими інспекторами з охорони праці комітету профспілки здійснюють перший ступінь оперативного контролю. При цьому мають щозмінно перевіряються заходи по усуненню існуючих недоліків.

Головний інженер господарства здійснює оперативний контроль 1 раз у десять днів. В журнал оперативного контролю заносяться зауваження та пропозиції. Звіт керівнику господарства складається щомісячно.

Щомісяця керівник підприємства проводить огляд та перевіряє стан організації роботи з охорони праці в господарстві. За результатами звітів кожної

ступіні оперативного контролю приймаються конкретні рішення, які оформлюються постановою чи протокольним записом у спеціальному журналі.

У відповідності з загальними положеннями організується система навчання працюючих безпеці праці. Під час професійно-технічного навчання на робочому місці під керівництвом спеціаліста проводяться навчання з питань охорони праці для нових працівників.

Відповідно до виробничих умов господарства проводяться за раніше окресленим планом всі види інструктажу. Вони розробляються у відповідності з діючими правилами та нормами вимог безпеки. Планування заходів з охорони праці передбачає розробку плану заходів, які оформлюються угодою між адміністрацією та профспілковим комітетом.

Вступний інструктаж проводять з усіма працівниками та спеціалістами, що приймаються на роботу, незалежно від їх освіти, стажу роботи чи посади, а також з відрядженими, учнями та студентами, що прибули на виробниче навчання чи практику. Вступний інструктаж проводить інженер з охорони праці. Він реєструється в журналі реєстрації вступного інструктажу.

Первинний інструктаж на робочому місці проводиться з кожним працівником окремо з практичним показом безпечних способів і методів роботи.

Повторний інструктаж проводиться індивідуально чи з групою працівників через шість місяців за програмою інструктажу на робочому місці з метою перевірки та покращення рівня знань правил та інструкцій з охорони праці.

Позаплановий інструктаж проводять після зміни правил охорони праці, технологічного процесу, модернізації обладнання та інструменту, порушення робітниками вимог безпеки, перерви в роботі більше 30 календарних діб для робіт з підвищеною небезпекою і 60 діб для інших робіт.

Цільовий інструктаж проводять з працівниками перед виконанням робіт, на які оформляється наряд-допуск.

Проведення цільового інструктажу фіксується в наряді-допуску, а повторного та позапланового - в журналі реєстрації первинного інструктажу на робочому місці.

Навчання безпеці праці під час підвищення кваліфікації для робітників проводиться на курсах підвищення кваліфікації спеціалістів при вищих учбових закладах або науково-дослідних інститутах і підприємствах.

### **5.3. Вимоги щодо безпечної експлуатації устаткування для виробництва комбікормів**

1. Перед дробарками встановлюється магнітний захист для запобігання потраплянню в робочу зону магнітних домішок, що можуть викликати аварію, іскроутворення або вибух.
2. Пристрій для автоматичного регулювання завантаження у дробарках заблоковують з електродвигуном дробарки.
3. У завантажувальні конуси дробарок монтують захисні ґрати з розміром чарунок 0,02x0,02 м або 0,025x0,025 м для запобігання потраплянню сторонніх предметів.
4. Кришки дробарок оснащують надійними фіксуючими пристосуваннями, що виключають їх довільне відкриття. Відкривати кришки дробарок під час обертання ротора забороняється.
5. Молотки дробарки закріплюють, усувають тріщини або інші дефекти. Молотки не повинні зачіпати деку та сито для запобігання іскроутворенню. Забороняється виконувати роботу на дробарках з підвищеною вібрацією.
6. Пуск дробарки здійснюється тільки у незавантаженому стані після ретельної перевірки відсутності в ній сторонніх предметів.
7. При появі стуку чи інших відхилень у роботі машини її негайно зупиняють для виявлення та усунення причин несправності. Під час пуску дробарка спочатку прокручується вхолосту з поступовим завантаженням. При цьому вживаються заходи проти зворотного викиду продукту. Під час подачі сіна у дробарку верхня її горловина надійно закрита. Забороняється проводити будь-які ремонтні роботи з дробаркою після її запуску.
8. Молоткові дробарки встановлюють на віброізоляторах.

9. Завантаження у сінорозрихлювачі сіна або соломи, звільнених від обв'язувального дроту, здійснюється спеціальними безроликowymi транспортерами. Проштовхувати сіно або солону руками у горловину сінорозрихлювача забороняється.
10. Живильні пристрої макухоломачів та дробарок для качанів кукурудзи оснащені клапанами, що виключають зворотний викид з горловини подрібнених продуктів макухи та кукурудзи.
11. Плитки макухи або качани кукурудзи, що застряли в горловині машини, виймають після її повної зупинки.
12. Подачу макухи на подрібнення здійснюють за допомогою транспортера.
13. Кришки, через які здійснюється доступ всередину змішувачів для регулювання кута повороту лопаток, зміни зазору між лопаткою і коритом, зблоковують з електродвигуном привода для вимкнення та повної зупинки машини.
14. На самопливних трубах після розвантажувальних пристроїв-змішувачів встановлені запобіжні клапани, що відкриваються під час підпору продуктом.
15. Для відбору проб на виході зі змішувачів розміщуються пристрої, що виключають потрапляння рук працівників у зону змішування.
16. Перед пуском змішувача перевіряють: затяжку болтів всіх ущільнювальних елементів; наявність мастила в редукторі та розподільнику; спрацювання кінцевих вимикачів, які фіксують щільність закривання нижньої кришки та її відкривання. Верхні кришки змішувача необхідно щільно закривати та фіксувати. Робота змішувачів при відкритих кришках забороняється.
17. Можливі утворення завалів змішувачів продуктом або інші несправності ліквідовують при вимкненому електродвигуні та повній зупинці машини. Для розчищення завалів змішувачів застосовують спеціальні шкребки.
18. Резервуари розчинника-підігрівача карбаміду і змішувача меляси-карбаміду, змішувача дозатора меляси герметизують. Механізми і частини цих агрегатів, що обертаються, огороджують.
19. У люках резервуарів для зберігання меляси, крім кришок, встановлюють ґрати, які зачинені та опломбовані. Підхід до люків вільний і безпечний. Для

резервуарів та люків, що встановлені на висоті, обладнують майданчики для обслуговування з поручнями заввишки не менше 1 м із зашивкою по низу не менше 0,15 м.

20. Паропровід підводу пари для підігріву меляси та жиру теплоізолюваний по всій довжині.

21. Місця встановлення насосів для перекачування меляси легкодоступні та освітлені, насоси працюють без стуків.

22. Під час роботи установки для вводу в комбікорми меляси без підігріву дотримуються таких вимог:

перед бункером чи силосом, що знаходиться над живильником змішувача, встановлюють устаткування (просіювач, магнітний захист) для попередження потрапляння в змішувач металевих домішок та сторонніх включень;

забороняється відкривати кришку змішувача під час його роботи;

забороняється вручну або стороннім предметом деблокувати кінцеві вимикачі змішувача для включення привода з відкритою кришкою.

Ремонтні роботи, технічний огляд і заміну ножів проводять тільки при знеструмленому електрообладнанні установки. Під час виконання цих робіт на автоматі панелі управління вивішують плакат "Не вмикати. Працюють люди".

Для очищення внутрішньої поверхні змішувача від налиплого продукту користуються спеціальними шкребками.

23. Установки для гранулювання комбікормів працюють в автоматичному режимі.

24. Перед пуском гранулятора перевіряють наявність та стан магнітного захисту для попередження попадання металу в гранулятор.

25. Усі огороження, щити, кожухи та ізоляція паропроводу мають бути в справному стані.

26. Перед пуском механізми та прилади установки перевіряють на відсутність сторонніх предметів та на справність.

27. Під час роботи гранулятора забороняються будь-які роботи в зоні вузла штифтів, що зрізуються.

28. Забороняється замінювати запобіжні штифти іншими металевими стрижнями.
29. Для заміни матриць користуються спеціальним підйомником. Нижня площина рами розміщується на рівні підлоги приміщення для можливості застосування підйомника для заміни матриць.
30. Регулювання зазорів між роликом і матрицею виконують тільки при зупиненому грануляторі.
31. Паропровід теплоізольовують по всій довжині. На маховику запірно-регульовальної арматури зазначається напрямок відкривання або закривання. Прилади на паропроводі встановлюють так, щоб до них був зручний доступ, але не вище 3 м від майданчика обслуговування.
32. Пуск охолоджувача допускається тільки при працюючому вентиляторі та шлюзовому затворі.
33. Конуси наддозаторних бункерів та патрубки над дозаторами герметичні, міцні і виключають можливість розриву при обрешуванні продукту.
34. Установка дозаторів забезпечує вільний доступ до всіх механізмів дозатора з усіх сторін. Проходи навколо дозаторів не допускають випадковий контакт працівників з вантажоприймальним пристроєм та важливими механізмами дозаторів. Установка живильників під бункерами виключає їх вібрацію під час роботи і забезпечує зручність обслуговування.
35. Пульт ручного управління дозаторами встановлюють у безпосередній близькості від циферблатних показчиків дозаторів.
36. Наддозаторні ємності мають датчики максимального рівня продукту. Для попередження злежування, зависання, злипання важкосипучих продуктів наддозаторні силоси і бункери обладнують електровібраційними чи механічними збуджувачами.

## ВИСНОВКИ

1. На основі результатів аналізу виробничої діяльності та огляду наукових інформаційних джерел обґрунтовано технологічну схему приготування кормів, проведені технологічні розрахунки, запропоновано комплект машин

2. Запропоновано удосконалену схему роторно-декової зернодробарки, яка дає можливість покращити якість процесу подрібнення та зменшити питомі енерговитрати.

3. Обґрунтовано раціональні параметри та режими роботи роторно-декової дробарки. Раціональні параметри:

діаметр ротора  $D = 0,1$  м, довжина ротора  $l = 90$  мм

крок  $t = 11,5$  мм, висота  $h = 1,6$  мм, та кількість рифлів ротора  $n_r = 28$  шт.

Раціональні режими для різних помелів:

- грубий помел ( $M = 1,8-2,6$  мм):  $\delta = 0,8$  мм,  $v_p = 4,5$  м/с;

- середній помел ( $M = 1,0-1,8$  мм):  $\delta = 0,5$  мм,  $v_p = 5,2$  м/с;

- тонкий помел ( $M = 0,2-1,0$  мм):  $\delta = 0,2$  мм,  $v_p = 6,5$  м/с.

4. При використанні запропонованої конструкції буде отримано річний економічний ефект 265180 грн за рахунок зменшення виходу пиловидної фракції та зниження енергомосткості. Термін окупності становитиме 0,33 року.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бойко А. І., Морозовська З. А. (Федченко З. А.). Стан проблеми і шляхи підвищення довговічності решіт дробарок. Вісник Житомирського національного агротехнічного університету. Житомир: ЖНАЕУ, 2014. Вип. № 2 (45), Т. 4, Ч. 1. С. 153 – 157.
2. Болтянський Б.В., Брагінець А.М., Скляр Р.В., Мілько Д.О. Навчальний посібник щодо виконання конструктивної частини в дипломних проектах ОКР «Бакалавр» для студентів очної та заочної форм навчання. Мелітополь: ТДАТУ, 2011. 143 с.
3. Вальцьове подрібнююче обладнання / В.М. Петров – Одеса,: ОДАБА, 2019. – 227 с.
4. Гвоздев О. В., Шпиганович Т. О., Ялпачик О. В. Вдосконалення процесу подрібнення зерна. Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: технічні науки. Вінниця, 2011. №9. С. 143 – 150.
5. ДСТУ 4508: 2005. Комбікорми-концентрати для свиней. Технічні умови. Чинний від 01.01. 2008. К. : Держспоживстандарт України, 2005. 15 с. (Інформація та документація).
6. ДСТУ ISO 11448: 2005. Дробарки та подрібнювачі приводні. Визначення понять, вимоги безпеки та методи випробування.
7. Дяченко Л.С. Основи технології комбікормового виробництва: навчальний посібник / Дяченко Л.С., Бомко В.С., Сивик Т.Л.// Біла Церква, - 2015. - 306 с
8. Єгоров Б. В., Давиденко Т. М. Вдосконалення підготовки концентрованих кормів при виробництві повноцінних комбікормів для сільськогосподарських тварин. Корми і кормовиробництво: міжвідомчий тематичний науковий збірник Ін-ту кормів УААН. Вінниця, 2008. Вип. 61. С. 135 – 140.
9. Єгоров, Б.В. Технологія виробництва комбікормів [Текст]: підруч. для вищ. навч. закладів / Б.В. Єгоров. – Одеса.: Друкарський дім, 2011. – 448с.
10. Кулаковська Т.А., Колесник Є. В. Огляд ринку комбікормової

- промисловості України. Економіка харчової промисловості. Одеса. 2015. №2(26).
11. Кудінов Є. І. Аналіз способів подрібнення зернових кормів стосовно їх енергоємності / Є. І. Кудінов, І. Г. Бойко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – Харків, 2010. – Вип. 95 : Сучасні проблеми вдосконалення технічних систем і технологій у тваринництві. – С. 24–27.
  12. Машина та обладнання для тваринництва: Підручник./ Ревенко І.І., Брагінець М.В, Ребенко В.І. - К.: «Кондор» 2012. - 735 с.
  13. Машина та обладнання для тваринництва / О. А. Науменко, І. Г. Бойко, О. В. Нанка [та ін.] ; за ред. І. Г. Бойко. – Х. : Харків. нац. техн. ун-т с. г., 2006. – 225 с.
  14. Машина та обладнання для тваринництва: посібник-практикум / Ревенко І. І., Брагінець М. В., Ребенко В. І. [та ін.]. – Вид. 2-ге, – К.: Кондор, 2012. – 562 с.
  15. Машина, обладнання та їх використання в тваринництві: підручник / Р.В. Скляр, О.Г. Скляр, Н.І. Болтянська, Д.О. Мілько, Б.В. Болтянський. К.: Видавничий дім «Кондор», 2019 . 608 с.
  16. Машиновикористання у тваринництві: Підручник для студентів вищих аграрних навчальних закладів III-IV рівнів акредитації / І.І.Ревенко, О.О. Заболотько, В.С. Хмельовський. – К. : ЦП «Компринт», 2015. – 260 с.
  17. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів. Підручник / О.М. Царенко, Д.Г. Войтюк та ін. За ред. Яцуна С.С. К.: Мета, 2003. – 448 с
  18. Олексієнко В. О. Підвищення ефективності роботи малогабаритних зернових молоткових кормодробарок: дис. ... кандидата технічних наук : 05.05.11 / Олексієнко Вадим Олександрович; Таврійська державна агротехнічна академія. Мелітополь, 2006. 173 с.
  19. Осьмак В. Сучасний стан та перспективи розвитку машин для кормовиробництва. Збірник наукових праць УкрНДІЛВТ ім. Л. Погорілого. Дослідницьке, 2009. Вип. 13. С. 259 – 261.
  20. Пилипчук М.І. Основи наукових досліджень: / Пилипчук М.І., Григор'єв

- А.С., Шостак В.В [підручник]. – К.: Знання, 2007. – 270 с.
21. Річні звіти СТОВ "Новинське" за 2020 - 2023 рр.
  22. Рожківський М. Ф. Нове покоління молоткових дробарок. Техніка АПК. 2003. №1. С. 12 – 14.
  23. Рожківський М. Ф. Розробка наукових основ, створення і впровадження прогресивних технологій та комплексу машин нового покоління. Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха: ННЦ «ІМЕСГ», 2006. Вип. 90. С. 324 – 338.
  24. Сердюк В.В., Руденко В.А. Дослідження процесу подрібнення зерна ударно-сепараційним подрібнювачем, науковий журнал Вісник СНАУ випуск 10 (25) Суми 2013 - 117 с.
  25. Скляр О.Г., Болтянська Н.І. Механізація технологічних процесів у тваринництві: навч. посіб. Мелітополь: Колор Принт, - 2012. - 720с.
  26. Скляр О.Г., Болтянська Н.І. Основи проектування тваринницьких підприємств: підручник. К.: Видавничий дім «Кондор», - 2018. - 380 с
  27. Сиротюк В.М. Машини та обладнання для тваринництва. Навчальний посібник. – Львів: «Магнолія плюс», видавець В.М. Піча. – 2004.- 200
  28. Соломка О. В. Аналіз процесу подрібнення зернових матеріалів. Вісник Харківського національного технічного університету ім. Петра Василенка. Харків, 2009. Вип. 78. С. 132 – 140.
  29. Соломка О. В. Обґрунтування параметрів та режимів роботи ротаційного подрібнювача зерна: дис. ... кандидата технічних наук: 05.05.11 / Соломка Олександр Валерійович; Національний університет біоресурсів і природокористування України. К., 2013. 206 с.
  30. Технологічне обладнання борошномельних і круп'яних підприємств: підручник/ О.І. Гапонюк, Л.С. Солдатенко, Л.Г. Гросул, В.Ф. Петько, В.М. Петров, І.І. Гапонюк; під редакцією О.І. Гапонюка і Л.С. Солдатенко – Херсон: Олді-плюс, 2018. – 752 с
  31. Технологічне обладнання зернопереробних та олійних виробництв: Навч. посібник / Дацишин О. В., Ткачук А. І., Гвоздев О. В., Ялпачик Ф. Ю, Гвоздев В. О. ; за ред. О. В. Дацишина. Вінниця: Нова Книга, 2009. 488 с.

32. Технологія виробництва продукції тваринництва : підруч. / О. Т. Бусенко, В. Д. Столюк, О. Й. Могильний [та ін.] ; за ред. О. Т. Бусенка. — К. : Вища освіта, 2005. — 496 с.
33. Черепанов С. В., Карпушенко В. О., Архипова М. В. Современные технологии дробления: от идеи до воплощения. Хранение и переработка зерна. Суми, 2004. №1. С. 37 – 38.
34. Шпиганович Т.О. Обґрунтування конструктивних параметрів дробарки зерна прямого удару з попередньою сепарацією зернового матеріалу / Т.О. Шпиганович, О.В. Ялпачик // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь : ТДАТУ, 2010. – Вип. 10, т.3. – С. 23–35.
35. Шпиганович Т. О., Ялпачик О. В. Дробарка прямого удару з системою сепарування зерна та продуктів подрібнення. Техніка і технологія АПК : науково-виробничий журнал. К., 2011. №12 (27). С. 7 – 10.
36. Ялпачик О. В., Самойчук К. О., Буденко С. Ф. Моделювання процесів у робочій камері пальцевої зернової дробарки. Процеси і апарати харчових виробництв. К. : Наукові праці НУХТ, 2015. Т.1. С. 134 – 141.
37. Myhailovych Y., Potapova S., Achkevych O., Achkevych V. Increasing efficiency of grinding process in single-roller grain mill. “Engineering for Rural Development”. Volume 20. Jelgava, Latvia University of Agriculture. 2021. Pp. 712-717. doi.org/10.22616/ERDev.2021.20.TF156
38. Revenko I., Khmelovskyi V., Revenko Y., Rebenko V., Potapova S. Justification of parameters affecting increase of hammer crusher productivity. “Engineering for Rural Development”. Volume 22. Jelgava, Latvia University of Agriculture. 2023. Pp. 714-720. doi.org/10.22616/ERDev.2023.22.TF142