

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Інженерії машин, споруд та технологій  
(повна назва факультету)  
Технічної механіки та сільськогосподарських машин  
(повна назва кафедри)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: «Підвищення ефективності процесу подрібнення фуражного зерна  
з удосконаленням вальцевого подрібнювача»

Виконав: студент \_\_\_\_\_ 4 \_\_\_\_\_ курсу групи МГс-41  
спеціальності \_\_\_\_\_ 208 Агроінженерія

(шифр і назва спеціальності)

	_____	Бартків І.В.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Керівник	_____	Довбуш Т.А.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	_____	Сташків М.Я.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	_____	Бабій А.В.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Рецензент	_____	_____
	(підпис)	(прізвище та ініціали)

Тернопіль  
2026

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Кафедра Технічної механіки та сільськогосподарських машин

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Бабій А.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«    »

20\_\_ р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього  
ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

за

спеціальністю

208 Агроінженерія

(шифр і назва спеціальності)

студенту

Бартківу Ігорю Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Підвищення ефективності процесу подрібнення фуражного зерна  
з удосконаленням вальцевого подрібнювача»

Керівник роботи

Довбуш Тарас Анатолійович, к.т.н. доц.

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

Затверджені наказом ректора від « 22 » січня 2026 року № 4/9-56

2. Термін подання студентом завершеної роботи 11 червня 2026 року

3. Вихідні дані до роботи вальцевий подрібнювач для фуражного зерна

4. Зміст роботи. Реферат. Вступ. 1. Аналіз сучасного стану тваринництва та технологій кормопідготовки. 2. Обґрунтування та розрахунок параметрів кормоцеху 3. Проектування та дослідження конструктивних параметрів дробарок зерна.

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці. Загальні висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точних зазначенням обов'язкових креслень, слайдів) 1-2. Мета, предмет, об'єкт, завдання. 3 Технологічна схема підготовки та приготування кормів. 4. Структура кормоцеху. 5. Способи подрібнення кормів. 6. Дробарка молоткова загальний вигляд. 7. Технологічна схема подрібнення зерна двовалковою дробаркою.

8. Схематизації роботи вальцевих дробарок. 9. Дробарка концентрованих кормів.

10. Деталювання. 11. Охорона праці. 12. Висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.	Лазарюк В.В., доцент		

7. Дата видачі завдання

28 січня 2026 року

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін етапів виконання роботи	Примітка
1	Аналіз сучасного стану тваринництва та технологій кормопідготовки.	до 20.02.2026	
2	Обґрунтування та розрахунок параметрів кормоцеху	до 31.03.2026	
3	Проектування та дослідження конструктивних параметрів дробарок зерна	до 30.05.2026	
4	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	до 05.06.2026	
5	Реферат. Вступ. Загальні висновки	до 09.06.2026	
6	Ілюстративний матеріал	до 10.06.2026	

Студент

\_\_\_\_\_

(підпис)

Бартків І.В.

\_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

(підпис)

Довбуш Т.А.

\_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

**Автор роботи** – Бартків Ігор Володимирович

**Тема роботи** – «Підвищення ефективності процесу подрібнення фуражного зерна з удосконаленням вальцевого подрібнювача». Робота виконана на кафедрі технічної механіки та сільськогосподарських машин Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

**Керівник роботи** – Довбуш Тарас Анатолійович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технічної механіки та сільськогосподарських машин.

**Структура роботи.** Робота складається зі вступу, 4 розділів, загальних висновків, переліку посилань (24 найменувань). Загальний обсяг текстової частини – 62 сторінки на яких є 9 рисунків.

**Актуальність теми роботи.** Необхідність підвищення ефективності технологічних процесів підготовки кормової сировини у сучасному тваринництві зумовлена тим, що ступінь подрібнення фуражного зерна безпосередньо впливає на засвоюваність поживних речовин, інтенсивність росту тварин і економічні показники виробництва. Недостатньо обґрунтовані режими роботи або конструктивна недосконалість подрібнювального обладнання призводять до нерівномірності гранулометричного складу корму, підвищених енерговитрат, втрат поживної цінності та зниження ефективності годівлі.

Вальцеві подрібнювачі є перспективним типом обладнання для переробки зернових кормів, однак їх робота суттєво залежить від конструктивних параметрів робочих органів, міжвалкового зазору, режимів навантаження та фізико-механічних властивостей сировини. Тому удосконалення таких машин, спрямоване на оптимізацію процесів захоплення, стискання та руйнування зерна, є важливим науково-прикладним завданням.

Додатково сучасні вимоги до кормоприготувальних ліній передбачають зниження питомих енерговитрат, підвищення продуктивності, стабілізацію якості готового продукту та мінімізацію втрат під час транспортування і зберігання. Це обумовлює необхідність подальших досліджень процесу подрібнення та розроблення удосконалених конструктивно-технологічних рішень вальцевих дробарок.

**Мета роботи:** підвищення ефективності процесу подрібнення фуражного зерна шляхом обґрунтування та удосконалення параметрів вальцевого подрібнювача в умовах сучасного кормовиробництва.

**Завдання:**

1. Проаналізувати сучасний стан розвитку тваринництва в Україні та його роль в економіці.
2. Розглянути класифікацію кормів, їхній хімічний склад і технології підготовки у кормоцехах.
3. Обґрунтувати основні параметри та виконати вибір обладнання для подрібнення фуражного зерна.
4. Дослідити конструктивні та режимні параметри вальцевих і зубчастих подрібнювачів та оцінити їх ефективність.

**Об'єкт дослідження:** технологічний процес підготовки та подрібнення фуражного зерна у кормоцехах тваринницьких підприємств.

**Предмет дослідження:** конструктивні та режимні параметри вальцевих і зубчастих подрібнювачів, що визначають ефективність процесу подрібнення фуражного зерна.

**Методи дослідження:** аналітичний, розрахунково-конструкторський, системний підхід до технологічних процесів кормоцеху, порівняльний аналіз конструкцій дробарок, а також узагальнення та статистичну обробку отриманих результатів.

**Практичне значення отриманих результатів.** Результати роботи можуть бути використані при проєктуванні та модернізації кормоцехів

тваринницьких підприємств. Запропоновані рішення щодо вибору та удосконалення вальцевого подрібнювача дозволяють підвищити якість помелу фуражного зерна, зменшити енерговитрати та покращити ефективність використання кормів у тваринництві.

**Ключові слова:** тваринництво, кормоцех, фуражне зерно, подрібнення, вальцевий подрібнювач, дробарка, кормопідготовка, продуктивність, енергоефективність.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	7
<b>1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТВАРИННИЦТВА ТА ТЕХНОЛОГІЙ КОРМОПІДГОТОВКИ</b> .....	9
1.1. Сучасний розвиток тваринництва та його роль в економіці України.....	9
1.2 Класифікаційні ознаки кормів за походженням та їхній хімічний склад і поживність .....	12
1.3. Технологічні процеси та засоби підготовки кормів .....	20
<b>2 ОБҐРУНТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ КОРМОЦЕХУ</b> .	24
2.1. Вимоги до кормів та технології їх обробки.....	24
2.2. Розрахунок необхідної кількості кормів.....	26
2.3. Розрахунок продуктивності лінії кормоцеху та вибір машин .....	29
2.4. Вибір механізму для подрібнення фуражного зерна.....	30
<b>3 ПРОЄКТУВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ДРОБАРОК ЗЕРНА</b> .....	35
3.1 Методи дослідження вальцевих подрібнювачів .....	35
3.2. Дослідження параметрів вальцевих дробарок .....	36
3.3. Дослідження параметрів зубчастої дробарки.....	42
<b>4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ</b> .....	53
4.1 Загальні положення з охорони праці при експлуатації вальцевого подрібнювача фуражного зерна .....	53
4.2 Санітарно-гігієнічні умови праці при подрібненні фуражного зерна у вальцевих подрібнювачах .....	55
4.3 Пожежна безпека при експлуатації вальцевого подрібнювача у кормоцеху .....	57
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	59
<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ</b> .....	60
<b>ДОДАТКИ</b> .....	63

## ВСТУП

Сучасний розвиток агропромислового комплексу характеризується необхідністю підвищення ефективності виробництва продукції тваринництва шляхом впровадження ресурсозберігаючих технологій, удосконалення технічного оснащення та механізації виробничих процесів. Однією з важливих галузей тваринництва є свинарство, яке забезпечує населення цінною високобілковою продукцією та має важливе економічне значення для аграрного сектору. Підвищення продуктивності свинарських господарств значною мірою залежить від організації повноцінної годівлі тварин, якості кормів та ефективності їх підготовки [7].

У структурі собівартості виробництва продукції свинарства витрати на корми займають найбільшу частку, що може становити понад 60-70 % загальних виробничих витрат. Тому важливого значення набуває вдосконалення технологій приготування кормів, спрямованих на підвищення їх поживної цінності, покращення засвоюваності та зменшення втрат кормових ресурсів. Одним із найбільш важливих технологічних процесів кормоприготування є подрібнення сировини, яке суттєво впливає на якість готової кормової суміші та ефективність її використання тваринами.

Процес подрібнення кормових матеріалів належить до найбільш енергоємних операцій у технологічних лініях кормоприготування. Від конструктивних особливостей подрібнювального обладнання та режимів його роботи залежить ступінь подрібнення кормів, продуктивність технологічної лінії та рівень енергетичних витрат. Тому актуальним завданням є удосконалення конструктивно-технологічних параметрів подрібнювальних машин з метою підвищення ефективності їх роботи [8].

Раціональне проектування кормоцехів для свинарських господарств потребує комплексного підходу до вибору технологічного обладнання та визначення його основних параметрів.

# 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТВАРИННИЦТВА ТА ТЕХНОЛОГІЙ КОРМОПІДГОТОВКИ

## 1.1 Сучасний розвиток тваринництва та його роль в економіці України.

Тваринництво належить до ключових галузей агропромислового комплексу України, оскільки забезпечує населення цінними продуктами харчування тваринного походження, зокрема м'ясом, молоком та яйцями, а також постачає сировину для підприємств переробної промисловості. Водночас ця галузь сприяє збереженню та підвищенню родючості ґрунтів завдяки використанню органічних добрив, створює робочі місця для сільського населення та підтримує соціально-економічний розвиток сільських територій.

Важливим індикатором рівня розвитку тваринництва є чисельність поголів'я сільськогосподарських тварин і птиці. Дослідження сучасного стану галузі демонструє стійку тенденцію до зменшення кількості основних видів тварин, що пояснюється впливом економічних труднощів і структурних змін в аграрному секторі [7;11].

У 2024-2025 роках чисельність великої рогатої худоби в Україні оцінюється на рівні 2,3-2,5 млн голів, з яких близько 1,3-1,5 млн становлять корови. Порівняно з 1990 роком цей показник зменшився більш ніж у вісім-дев'ять разів. Поголів'я свиней налічує приблизно 5,0-5,5 млн голів, що також суттєво поступається показникам попередніх десятиліть. На відміну від інших підгалузей, птахівництво характеризується відносною стійкістю та в окремі періоди демонструє позитивну динаміку розвитку, незважаючи на втрату частини виробничих ресурсів. Загальна чисельність птиці в країні перевищує 180-200 млн голів [9;11].

У територіальному аспекті найбільший рівень розвитку тваринництва спостерігається в центральних і західних регіонах України. Провідні позиції у

виробництві молока займають Вінницька, Полтавська, Хмельницька, Черкаська та Сумська області. У птахівництві лідерами є Київська, Вінницька, Черкаська та Дніпропетровська області, де зосереджені значні виробничі потужності галузі. Свинарство найбільш активно розвивається на базі великих агропромислових підприємств та агрохолдингів центральних і західних областей країни.

Нинішні обсяги виробництва продукції тваринництва не повною мірою задовольняють потреби внутрішнього ринку. У 2024-2025 роках виробництво м'яса перебуває на рівні приблизно 2,2-2,5 млн тонн, що є недостатнім порівняно з потенційним попитом населення. Водночас виробництво молока скоротилося до 7,5-8,5 млн тонн на рік, що майже утричі менше порівняно з показниками 1990 року.

За останні десятиліття структура виробництва продукції тваринництва зазнала істотних змін. Якщо в минулому провідне місце посідало скотарство, то сьогодні домінуючі позиції належать птахівництву, на яке припадає понад половина загального обсягу виробництва галузі. Ця підгалузь є однією з найефективніших завдяки високій інтенсивності виробництва, короткому виробничому циклу та відносно високому рівню прибутковості [8].

Свинарство, попри періодичні коливання показників, зберігає перспективи подальшого розвитку завдяки концентрації виробництва на великих спеціалізованих комплексах. Разом з тим його ефективне функціонування обмежується низкою ризиків, серед яких особливе місце займають епізоотичні захворювання, насамперед африканська чума свиней, поширення якої спричиняє значні економічні збитки для господарств.

Характерною рисою сучасного тваринництва в Україні залишається вагома частка продукції, що виробляється в особистих селянських господарствах. Хоча їхнє значення поступово скорочується, вони й надалі забезпечують значні обсяги виробництва молока та м'яса. Водночас такі господарства часто мають недостатній рівень технічного оснащення, обмежено

використовують сучасні технології та стикаються з труднощами щодо підвищення якості й конкурентоспроможності продукції [11].

У структурі валової продукції сільського господарства частка тваринництва протягом останніх років демонструє тенденцію до зниження та становить близько 25-30 %. Це свідчить про переважання рослинницької продукції в аграрному виробництві та наявність певних структурних диспропорцій у розвитку сільськогосподарського сектору країни [14].

Розвиток тваринництва в Україні стримується низкою економічних, організаційних і зовнішніх чинників. До основних із них належать:

- недостатня ефективність державної підтримки галузі та нестабільність аграрної політики;
- значні витрати на виробництво продукції та висока залежність від енергетичних ресурсів;
- невисокий рівень інвестиційної привабливості, особливо в молочному скотарстві;
- тривалий період повернення вкладених інвестицій;
- труднощі з виходом на зовнішні ринки та розширенням каналів збуту;
- невідповідність окремих видів продукції вимогам міжнародних стандартів якості та безпечності;
- негативний вплив воєнних дій, що проявляється у пошкодженні виробничої інфраструктури, порушенні логістичних маршрутів і скороченні виробничих потужностей.

Однією з найбільш актуальних проблем залишається якість молочної продукції. Значна частина молока, що виробляється в особистих селянських господарствах, не відповідає вимогам стандартів Європейського Союзу, що суттєво обмежує експортні можливості галузі. Подолання цієї проблеми можливе через оновлення матеріально-технічної бази, впровадження сучасного доїльного, холодильного та логістичного обладнання, а також розвиток кооперативних форм взаємодії між виробниками [8].

Перспективи розвитку тваринництва в Україні значною мірою пов'язані з підвищенням інтенсивності виробництва, використанням інноваційних технологій, автоматизацією та цифровізацією виробничих процесів. Особливо важливим напрямом є зміцнення кормової бази, оскільки вона безпосередньо впливає на продуктивність тварин і рівень собівартості продукції [7;8;11;12].

Отже, сучасний стан тваринництва в Україні визначається складними трансформаційними процесами, зменшенням чисельності поголів'я та наявністю структурних диспропорцій у галузі. Водночас вона зберігає суттєвий потенціал для відновлення й подальшого розвитку за умови реалізації ефективної державної політики, залучення інвестиційних ресурсів і впровадження інноваційних технологій, що набуває особливої актуальності в контексті забезпечення продовольчої безпеки країни.

## **1.2 Класифікаційні ознаки кормів за походженням та їхній хімічний склад і поживність.**

Сільськогосподарським тваринам згодують різноманітні корми, які суттєво відрізняються між собою за походженням, хімічним складом, фізичними властивостями та поживною цінністю, у зв'язку з чим їх відносять до різних класифікаційних груп.

Кормові засоби класифікують за різними ознаками, зокрема залежно від їх походження, вмісту поживних речовин у розрахунку на одиницю маси, фізіологічного впливу на організм тварин, а також інших характеристик.

Відповідно до класифікації Богданова Г.О., за походженням корми поділяють на зелені, соковиті, грубі, концентровані, відходи переробної промисловості, харчові відходи, корми тваринного та мікробіологічного походження, мінеральні корми, небілкові азотисті добавки, вітамінні корми, а також антибіотики й інші біологічно активні речовини [8].

До зелених кормів відносять надземну зелену масу рослин, яку тварини споживають на пасовищі або у скошеному вигляді. Для отримання такого корму вирощують як бобові, так і злакові культури, а також їх суміші. Серед них – вика, горох, кукурудза, жито, овес, однорічні та багаторічні трави, а також соняшник, ріпак та інші кормові культури [15].

До соковитих кормів відносять сінаж, силос, коренеплоди, бульбоплоди та баштанні культури. В Україні до групи також входять кормові буряки, морква, картопля, бруква, турнепс, а також кормові гарбузи, кабачки та кавуни. Силосовані корми являють собою соковиту рослинну масу, яка зберігається шляхом консервування, що відбувається внаслідок накопичення молочної кислоти, утвореної в процесі молочнокислого бродіння.

До грубих кормів належать сіно природних і культурних сінокосів, сіно бобових і злакових трав, трав'яне та сінне борошно, солома зернових культур, а також деякі види сінажу. Зелені, соковиті та грубі корми нерідко об'єднують у спільну групу, яку називають об'ємними кормами [11;15].

Концентровані корми відзначаються високим рівнем поживності та містять понад 0,65 кормових одиниць у 1 кг. До цієї групи належать зерно злакових і бобових культур у цілому або подрібненому вигляді, дерть, борошно, комбікорми-концентрати, а також окремі відходи переробної промисловості, зокрема макуха, шроти, висівки, зернова січка, солодові ростки та інші. Комбікорми-концентрати являють собою суміші подрібнених зернових компонентів із додаванням мінеральних речовин, вітамінів, антибіотиків та інших біологічно активних добавок. Їх використовують як доповнення до основного раціону, сформованого з грубих і соковитих кормів.

На основі різних кормових інгредієнтів і мікродобавок також виробляють повнораціонні комбікорми, які повністю забезпечують потреби тварин у протеїні, вуглеводах, жирах, мінеральних елементах та біологічно активних речовинах [9;15].

Відходи технічних виробництв є побічними продуктами переробки рослинної сировини на підприємствах олійно-жирової, цукрової, борошномельної, пивоварної та спиртової промисловості. До цієї групи відносять жом, мелясу, макуху, шроти, кормові фосфатиди, січку, висівки, борошняний пил, зернову лузгу, пивну дробину, пивні дріжджі, а також хлібну й картопляну барду та інші подібні продукти.

Харчові відходи є залишками продуктів харчування, що утворюються в процесі громадського та індивідуального споживання. До цієї категорії відносять картопляні та овочеві очистки, залишки м'яса, риби, фруктів, а також готових страв [14].

Корми тваринного походження включають продукти переробки м'ясної, рибної та молочної промисловості. Серед них – м'ясне, м'ясо-кісткове та кров'яне борошно, рибне борошно, а також цільне, знежирене і сухе молоко, сироватка та інші молочні продукти.

Корми мікробіологічного походження представлені різноманітними протеїновими та амінокислотними добавками. Підприємства мікробіологічної промисловості виготовляють протеїнно-вітамінні добавки, а також кормові дріжджі.

Мінеральні добавки слугують джерелом фосфору, кальцію, натрію та інших необхідних елементів. До них належать черепашкове борошно, крейда, мононатрійфосфат, ди- та моноамонійфосфат, кухонна сіль та інші мінеральні сполуки. Окрему категорію становлять протеїнно-вітамінно-мінеральні добавки (БВМД) та премікси. БВМД застосовують для усунення дефіциту протеїну, вітамінів і мінеральних речовин у раціонах сільськогосподарських тварин, тоді як премікси являють собою концентровані суміші вітамінів і мінералів із наповнювачами, такими як висівки, кормове борошно або сухі дріжджі.

Вітамінні корми та препарати найчастіше використовують у зимовий період, коли природних джерел вітамінів недостатньо. До вітамінних кормів відносять трав'яне та вітамінне борошно, моркву, силос, хвойне борошно,

дріжджі, а також БВД, БВМД та премікси. Вітамінні препарати виробляються промисловим способом із застосуванням хімічного або мікробіологічного синтезу. Серед них – масляні концентрати вітаміну А, препарати вітамінів D2 і D3, риб'ячий жир, сухі вітамінні форми, а також комбіновані засоби [15].

Небілкові азотисті кормові добавки застосовують як джерело аміаку, необхідного для бактеріального синтезу білка в рубці жуйних тварин. До цієї групи належать карбамід, карбонати й бікарбонати амонію, вуглеамонійні солі, ацетат амонію, аміачна вода, а також окремі види білково-вітамінно-мінеральних добавок.

Антибіотики є продуктами життєдіяльності певних мікроорганізмів і використовуються для пригнічення або знищення токсичної мікрофлори. У тваринництві застосовують гризин, тетрациклін, біоміцин, бацитрацин та інші подібні препарати.

Поживні речовини кормів є органічними та мінеральними компонентами, необхідними для підтримання нормальної життєдіяльності тварин. До них відносять протеїни, жири, вітаміни, вуглеводи, а також макро- і мікроелементи. Таким чином, якість кормів безпосередньо залежить від їх хімічного складу.

У складі кормів виділяють воду та суху речовину, а також органічну і мінеральну складові. Вміст води у кормах може істотно варіюватися – від 4 до 95 %. Найбільша кількість вологи міститься у траві (75-85 %), силосі (60-80 %), коренебульбоплодах (75-90 %), водянистих відходах переробної промисловості, таких як жом, барда або вижимки (82-95 %), а також у молоці (87-92 %). Натомість у сні та соломі частка води становить лише 15-17 %, у зерні – 13-15 %, а в шроті, макусі, трав'яному борошні та сухих дріжджах – 5-10 %. Підвищення вологості кормів призводить до зниження їх поживної цінності та погіршення умов зберігання [7].

Суха речовина є головною поживною складовою корму, до якої входять органічні сполуки та мінеральні елементи. Органічна частина корму представлена азотистими речовинами, насамперед протеїном, а також

безазотистими компонентами – жирами і вуглеводами. Крім того, до неї належать біологічно активні речовини, зокрема вітаміни, ферменти та гормони.

За вмістом протеїну різні види кормів істотно відрізняються між собою. Найвищий рівень протеїну характерний для кормів тваринного походження: у кров'яному борошні його міститься 70-80 %, у м'ясо-кістковому – 30-40 %, у сухих дріжджах – 45-50 %. Макуха та шроти містять 30–45 % протеїну, а зерно бобових культур – 20-30 %. У зерні злакових культур середній вміст протеїну становить 8-12 %. Натомість низький вміст цієї поживної речовини притаманний коренебульбоплодам (0,5-2,5 %), жому (1,2-1,5 %) та соломі (4-6 %) [14].

Клітковина входить до складу клітинних оболонок рослин і представлена целюлозою, геміцелюлозою та пектиновими речовинами. Найвищий її вміст спостерігається в соломі – 40-45 %, у сіні та полові – 20-35 %. У зернових кормах частка клітковини становить 2-10 %, у висівках і окремих видах макух – 11-16 %. У коренебульбоплодах її вміст є незначним і становить близько 1 %, тоді як у кормах тваринного походження вона практично відсутня.

Вуглеводна складова кормів представлена переважно крохмалем та цукрами. Високий вміст цукрів характерний для цукрових буряків – до 17 %, моркви – 6-8 %, а також для меляси, у якій концентрація цукрів може сягати до 60 %. Значні запаси крохмалю містяться в картоплі – до 25 %, а також у зерні, де його частка коливається в межах 40–70 % [7;14;15].

Вміст жиру в кормах також значно варіює. У м'ясо-кістковому та рибному борошні його кількість може досягати 15 %, у макусі – 6-8 %, у зерні вівса та кукурудзи – 4-6 %, тоді як у коренебульбоплодах він становить лише 0,1-0,2 %. Жири є важливим джерелом енергії, оскільки забезпечують у 2,25 раза більшу енергетичну цінність порівняно з іншими поживними речовинами. Разом із ними в організм надходять жиророзчинні вітаміни А, D, E, К, а також незамінні жирні кислоти – лінолева, арахідонова та ліноленова. Крім того, жири

сприяють більш ефективному використанню протеїну та виконують функцію енергетичних запасів в організмі тварин.

Мінеральні речовини, що надходять разом із кормами, входять до складу ензимів, протеїнів, кісткової та нервової тканин, а також беруть участь у процесах травлення, обміну речовин та енергетичного забезпечення організму. У тваринному організмі виявлено понад 60 хімічних елементів. До макроелементів, вміст яких перевищує 0,01 %, належать кальцій, фосфор, натрій, хлор і калій. Мікроелементи, концентрація яких є меншою за 0,01 %, представлені залізом, міддю, цинком, магнієм та іншими елементами.

Мінеральна складова кормів, або зола, окрім ангідридів кислот та оксидів металів, містить також різні домішки, зокрема частинки піску, вугілля, кремнієвої та вугільної кислот. Найвищий вміст золи характерний для листків і стебел рослин, тоді як у зерні та плодах її кількість є найменшою.

Хімічний склад кормів може істотно варіювати залежно від ґрунтово-кліматичних умов, системи удобрення, виду та сорту рослин, особливостей агротехніки вирощування, фази збирання врожаю, способів заготівлі, умов зберігання та технології переробки [15].

Основним показником якості корму є його поживність, яка являє собою комплексну характеристику, що відображає здатність корму забезпечувати потреби тварин в енергії та поживних речовинах.

Оцінювання кормів проводять за загальною енергетичною поживністю, що виражається у кормових одиницях або крохмальному еквіваленті, а також за показниками обмінної, перетравної та чистої енергії, протеїнової, мінеральної і вітамінної поживності [14;16].

У загальній практиці поживну цінність кормів зазвичай виражають у кормових одиницях. За одну кормову одиницю приймають поживність 1 кг вівса середньої якості, який при згодовуванні понад підтримуючий раціон у дорослого вола забезпечує відкладення 150 г жиру або 1414 ккал чистої енергії. Поживність інших кормів визначають шляхом порівняння з 1 кг вівса.

Наприклад, 1 кг зерна кукурудзи дорівнює 1,34 кормової одиниці, а 1 кг моркви – 0,27 кормової одиниці. Це означає, що за загальною поживністю 1 кг вівса можна замінити приблизно 3,7 кг моркви або 0,75 кг кукурудзи [7;16].

Підтримуючим називають такий рівень годівлі непродуктивної тварини, за якого її жива маса залишається стабільною. Поживність кормів у кормових одиницях встановлюють на основі хімічного складу та коефіцієнтів перетравності. На підставі цих даних розраховують кількість перетравних поживних речовин, які згодом переводять у кормові одиниці з урахуванням поправок на повноцінність концентрованих кормів, коренебульбоплодів, сирої клітковини грубих і зелених кормів, а також продуктів їх переробки, зокрема силосу, сінажу та трав'яного борошна [8].

Метод оцінювання поживності у вівсяних кормових одиницях має певні обмеження, оскільки продуктивна дія поживних речовин була визначена лише для дорослих волів на відгодівлі. У зв'язку з цим І.С. Попов та О.П. Дмитроченко запропонували інший підхід до оцінювання поживності кормів – за енергетичним критерієм, тобто за величиною обмінної енергії [16].

Обмінну енергію виражають у мегаджоулях і розраховують окремо для різних видів тварин. Так, поживність 1 кг зеленої маси люцерни становить 0,22 кормової одиниці або 1,75 МДж обмінної енергії для великої рогатої худоби, 1,99 МДж – для свиней і 1,98 МДж – для овець.

Протеїнову поживність визначають за вмістом і якістю протеїну в кормах. Кількість сирого або перетравного протеїну виражають у відсотках, а також у грамах на 1 кг натурального корму або сухої речовини.

Мінеральну поживність оцінюють за вмістом мінеральних елементів, які надходять в організм тварин із кормами та частково з водою. При цьому важливим є не лише їх загальна кількість, а й правильне співвідношення між окремими елементами. Наприклад, у раціонах співвідношення кальцію до фосфору має становити 1,5-2:1 [7;16].

Вітамінну поживність кормів визначають за вмістом вітамінів, які, хоча й містяться у незначних кількостях, відіграють надзвичайно важливу роль у регуляції обміну речовин.

Як недостатня, так і надмірна годівля негативно позначаються на фізіологічному стані тварин і призводять до підвищення собівартості продукції. Саме тому у тваринництві особливого значення набуває нормована годівля.

Нормованою вважають фізіологічно повноцінну та економічно обґрунтовану систему годівлі, за якої тварини забезпечуються всіма необхідними поживними речовинами у відповідних кількостях. Головна мета нормованої годівлі полягає у максимально можливій реалізації генетичного потенціалу продуктивності тварин за умови раціонального використання кормів [16].

На основі потреб тварин в енергії та поживних речовинах на певний період встановлюють норму годівлі. У довідкових джерелах такі норми найчастіше подаються у розрахунку на одну добу з урахуванням живої маси, віку, фізіологічного стану та рівня продуктивності тварин.

Відповідно до цих норм складають кормові раціони. Кормовий раціон – це набір певних кормів у визначеній кількості, які згодують тварині протягом встановленого періоду часу (добы, декади, місяця або року).

За поживністю раціон має повністю відповідати нормі годівлі, бути достатнім за масою, а також враховувати вік, живу масу, продуктивність тварин, наявність кормів у господарстві, кліматичні умови та інші виробничі чинники.

У виробничих умовах раціони зазвичай складають не для однієї тварини, а для групи тварин, подібних за статтю, віком, масою та рівнем продуктивності. Такий підхід називають груповою годівлею. Для цього формують однорідні групи тварин, визначають норму годівлі та розраховують раціон на середню голову [7;8;16].

Залежно від частки окремих видів кормів у структурі раціону виділяють різні типи годівлі. Наприклад, для дійних корів, відповідно до вмісту концентратів, розрізняють концентратний, напівконцентратний, малоконцентратний та об'ємний типи годівлі.

### **1.3. Технологічні процеси та засоби підготовки кормів**

Ключовою передумовою ефективного розвитку тваринництва є забезпечення тварин повноцінним раціоном, що досягається не тільки достатнім виробництвом кормів, але й зниженням втрат поживних речовин під час заготівлі, зберігання та якісної підготовки кормів до згодовування [8].

Якість кормів визначається передусім кількістю корисних поживних речовин, необхідних для організму тварин, а також ступенем забруднення небажаними, баластними або шкідливими домішками. Наявність таких домішок погіршує поживну цінність корму, може спричиняти травмування чи отруєння тварин, знижує ефективність технологічних процесів і призводить до несправностей обладнання.

Нормативно допустимий рівень забруднення очищеної кормової сировини становить не більше (%): домішки ґрунту – 1-2, піску – 0,2-1, насіння отруйних рослин – 0,25. Уміст металевих частинок із тупими краями розміром до 2 мм допускається на рівні не вище 30 мг на 1 кг корму.

Розмір частинок корму встановлюють з урахуванням виду та віку тварин або птиці, типу корму, а також способу його використання – у складі кормових сумішей, окремо, у розсипному чи гранульованому вигляді [6;8].

Коренебульбоплоди для великої рогатої худоби рекомендують подрібнювати до стану стружки товщиною 10-15 мм, тоді як для свиней – до фракції 5-10 мм. Грубі корми для ВРХ доцільно готувати у вигляді січки,

бажано розщепленої вздовж волокон, довжиною 30-50 мм при окремому згодовуванні та 10-15 мм у складі сумішей. Для свиней такі корми подрібнюють значно дрібніше – до 1-2 мм. Комбікорми для свиней формують із компонентів тонкого помелу (0,2-1 мм), а для великої рогатої худоби та птиці – середнього (1-1,8 мм) або більш грубого (1,8-2,6 мм). Для кожного виду корму важливо забезпечити оптимальний ступінь подрібнення, що гарантує максимальну ефективність його засвоєння [7;8].

Кормові суміші з додаванням соковитих компонентів або рідких добавок необхідно згодовувати тваринам не пізніше ніж через 1,5-2 години після їх приготування.

За характером впливу способи підготовки кормів до згодовування поділяють на кілька основних груп:

- механічні – очищення, подрібнення, пресування;
- теплові – підігрівання, сушіння, запарювання, варіння;
- біологічні – силосування, заквашування, осолоджування, дріжджування, пророщування;
- хімічні – обробка кислотами або лугами, розчинення;
- електричні – сортування, очищення, інфрачервона та ультрафіолетова обробка, електрофізичне подрібнення.

Процес приготування кормів передбачає виконання комплексу технологічних операцій, спрямованих на зміну фізико-механічних та поживних властивостей вихідної сировини. Обладнання, яке забезпечує реалізацію цих операцій, відносять до основного технологічного. Крім нього, у кормоцехах застосовують допоміжні машини та пристрої, призначені для транспортування, перевантаження й подачі кормової маси між окремими агрегатами. Таке обладнання забезпечує безперервність і потоковість виробничого процесу, а також зменшує обсяг ручних операцій [6;8;16].

Для підготовки кормів використовують різні технологічні схеми, одна з яких представлена на рис.1.1. та схема кормоцеху рис. 1.2.

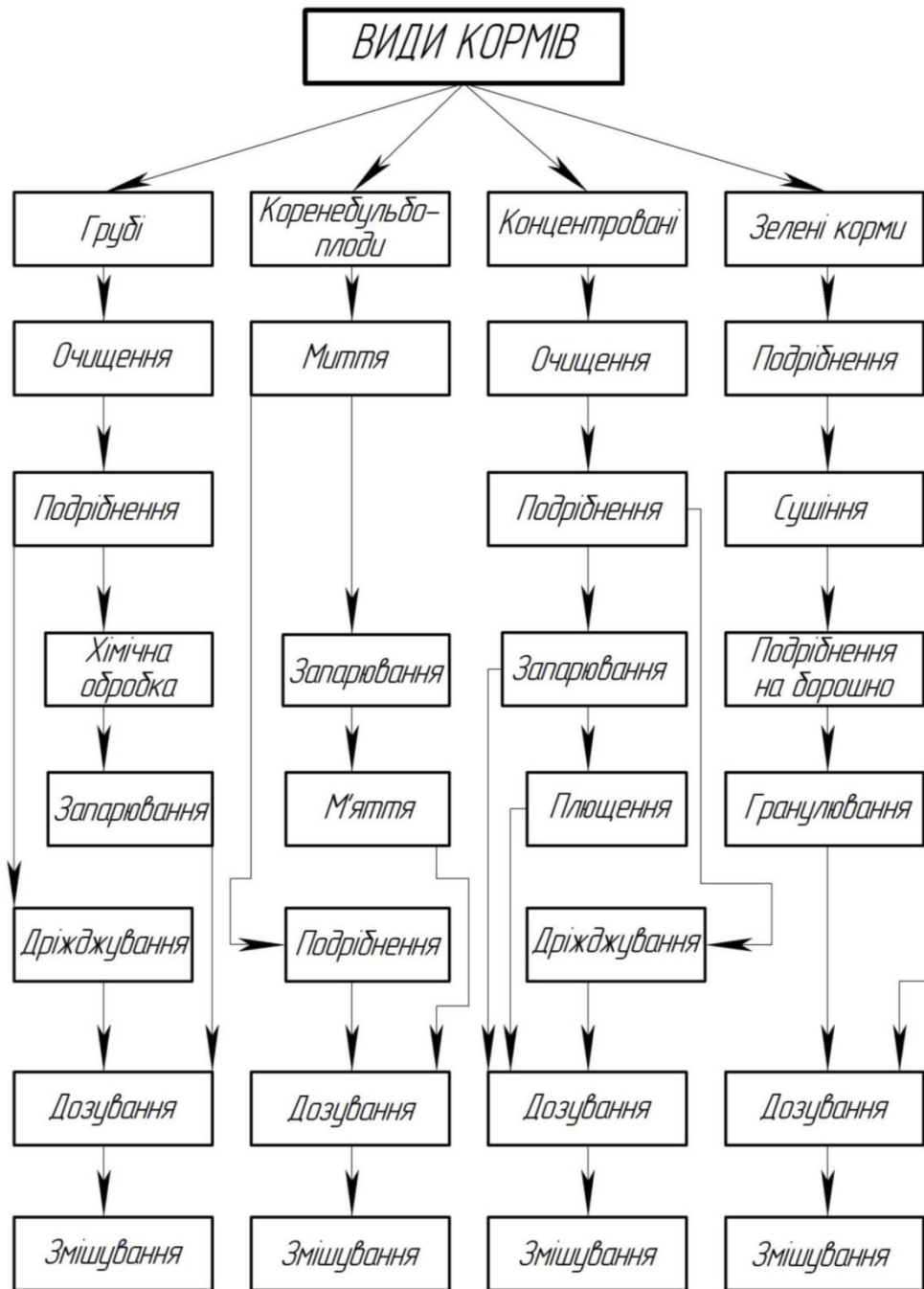
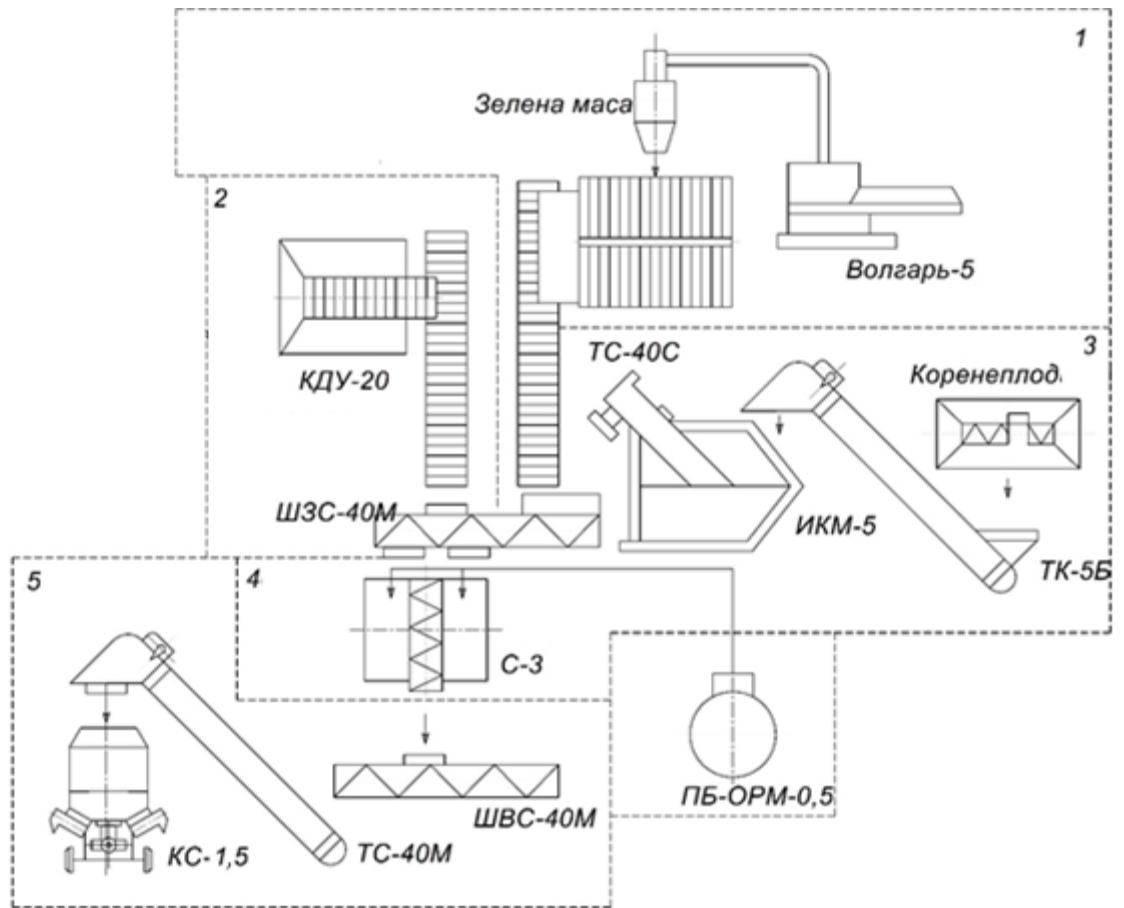


Рисунок 1.1 – Технологічна схема підготовки та приготування кормів



1 – лінія зелених кормів і зеленого борошна; 2 – лінія концентрованих кормів; 3 – лінія коренеплодів; 4 – лінія змішування; 5 – лінія видачі готових кормів.

Рисунок 1.2 – Технологічна схема кормоцеху

## 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ КОРМОЦЕХУ

### 2.1. Вимоги до кормів та технології їх обробки

У процесі приготування кормів переміщення сировини між окремими машинами, а також її перевантаження здійснюється за допомогою допоміжного обладнання. Таке обладнання забезпечує безперервність і потоковість технологічного процесу, мінімізує частку ручної праці та підвищує загальну ефективність кормоцеху.

Вибір технології кормоприготування визначається низкою факторів, зокрема: наявністю та якістю кормових компонентів, видом і віком тварин, а також прийнятим типом годівлі. Для більшості кормів раціональними технологічними операціями є очищення та подрібнення, тоді як при виготовленні кормових сумішей обов'язковими є процеси дозування і змішування.

До основних зоотехнічних вимог при приготуванні концентрованих кормів належать:

- Очищення кормової сировини від ґрунту, каміння, насіння бур'янів і рослинних домішок за допомогою зерноочисних машин (сепараторів, грохотів, буратів тощо), а також видалення металевих домішок магнітними сепараторами. Вміст металевих частинок розміром до 2 мм з негострими краями не повинен перевищувати 30 мг/кг корму [6;8;16].

- Подрібнення кормів до заданої крупності на дробарках або плющилках. Розміри часток повинні відповідати виду тварин:

- для ВРХ – не більше 3 мм;
- для свиней – до 1 мм;
- для птиці – 2-3 мм (суха годівля) і до 1 мм (вологі мішанки).

Класифікація ступеня подрібнення відповідно до сучасних стандартів:

- дрібний помел – 0,2-1,0 мм;

- середній – 1,0-1,8 мм;

- крупний – 1,8-2,6 мм.

Дозування і змішування компонентів відповідно до раціонів за допомогою дозаторів і змішувачів. Важливо забезпечити високу однорідність суміші, оскільки саме вона визначає рівномірність поживної цінності корму. Для зернових сумішей цей показник має становити не менше 90-95 % залежно від виду тварин і технології годівлі. У практиці сільськогосподарського виробництва широко використовуються комплектні системи машин для механізації кормоцехів, адаптовані до різної потужності господарств і типів годівлі (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Комплекти обладнання кормоцехів свинарських ферм і комплексів

Назва та марка машини або обладнання	Кількість машин для ферм розміром, голів				
	1000	2000	3000	6000	12000
Транспортер ТПК-5/10	1	1	1	1	1
Подрібнювач «Волгар-5»	1	1	1	1	2
Мийка-коренерізка ІКМ-5	1	1	1	1	2
Подрібнювач зерна молоткові або вальцеві	1	1	1	1	-
Живильник шнековий ПК-6	1	1	1	1	1
Транспортер коренебульбоплодів ТК-5Б	-	1	1	1	2
Транспортер ТС-40С	-	-	-	1	2
Транспортер ТС-40М	1	1	1	1	2
Шнек ШЗС-40М	1	1	1	1	2
Змішувач С-12	-	1	1	2	2

Зокрема, для свинарських ферм застосовують комплекти обладнання, розраховані на 1000-8000 голів, які забезпечують приготування повнораціонних кормових сумішей із використанням коренебульбоплодів, концентрованих та інших видів кормів [16;22].

Сучасною тенденцією у проектуванні кормоцехів є застосування комплектних технологічних ліній, що формуються з уніфікованих модулів обладнання. Такі рішення дозволяють знизити капітальні витрати на будівництво, спростити монтаж і технічне обслуговування, а також зменшити енерго- і трудомісткість процесів кормоприготування.

## 2.2. Розрахунок необхідної кількості кормів

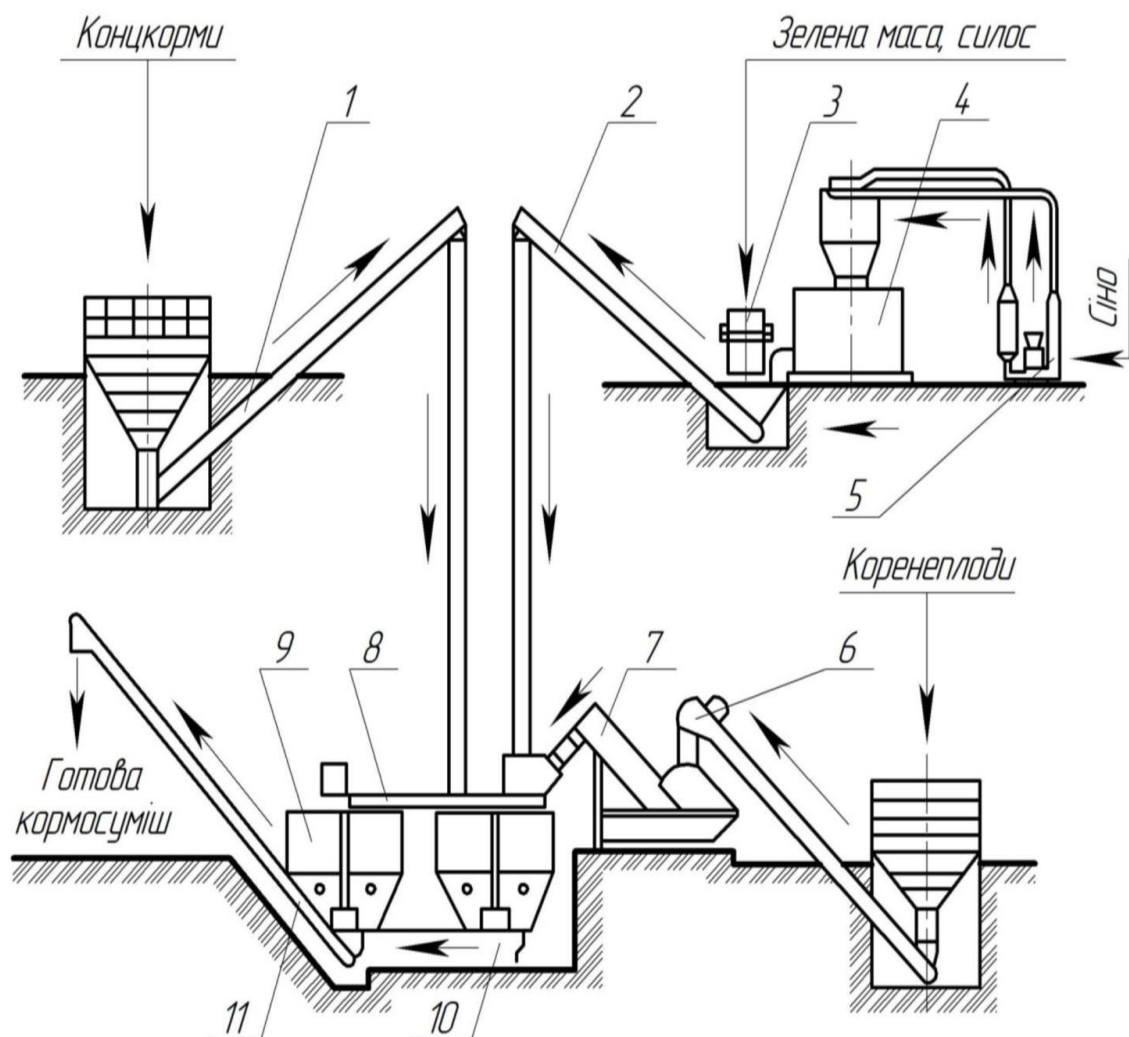
Відновлення та подальший розвиток тваринництва можуть бути результативними лише за умови впровадження у галузь сучасних технологій і засобів механізації, технічної модернізації діючих виробничих об'єктів, будівництва нових ферм, а також удосконалення систем інженерно-технічного обслуговування і ремонту машин. Усі ці заходи мають бути адаптовані до рівня концентрації та спеціалізації виробництва, а також до прийнятих технологій утримання і годівлі тварин [3;8;24].

Таблиця 2.2 – Найбільша допустима разова норма забезпечення кормами великої рогатої худоби та свиней

Вид тварин	Зелена маса	Жом	Коренебульбоплоди	Силос	Сіно	Концентрати
ВРХ	25	25	10.12	10	10	3
Свині	5	3	2,5...3,0	-	-	1,0

Раціони для відгодівлі тварин повинні бути збалансованими за основними поживними й біологічно активними компонентами. Для великої рогатої худоби необхідно контролювати близько 20 чітко нормованих показників, а для свиней і птиці – до 50. Кількість параметрів, за якими здійснюють контроль, збільшується зі зростанням рівня інтенсифікації тваринництва [9].

Способи приготування кормів і кормових сумішей обирають відповідно до прийнятої технологічної схеми їх обробки (див. рис. 2.1).



1 – подрібнювач зернових кормів; 2 – стрічковий транспортер; 3 – подрібнювач зеленої маси та силосу; 4 – дозатор (живильник) трав'яного борошна; 5 – транспортер; 6 – транспортер коренебульбоплодів; 7 – подрібнювач коренебульбоплодів; 8 – збірний завантажувальний шнек; 9 – змішувач кормів; 10 – вивантажувальний шнек; 11 – скребковий транспортер.

Рисунок 2.1 – Кормоцех для відгодівлі свиней

Застосування такої технології забезпечує організацію раціональної та науково обґрунтованої годівлі тварин із дотриманням вимог збалансованості раціонів та являє собою комплексну потокову лінію для підготовки та змішування різних видів кормів (концентрованих, соковитих, зелених), що забезпечує безперервність технологічного процесу та високий рівень механізації.

Використання кормів у попередньо підготовленому вигляді дозволяє досягти таких переваг: підвищується поїдання кормів тваринами; покращується їх перетравність і засвоєння; скорочуються витрати на транспортування та роздавання; забезпечується уніфікація технічних засобів роздавання; з'являється можливість точного балансування раціонів за поживними і біологічно активними речовинами; зменшуються витрати праці та покращуються умови роботи обслуговуючого персоналу [7;8].

Добову потребу кожного виду корму визначають за відповідною розрахунковою залежністю [3]:

$$P_{Д.К_i} = m_{T_i} \cdot q_{1i} \quad , \quad (2.1)$$

де  $m_{T_i}$  – Кількість тварин кожного виду або виробничої групи приймається

відповідно до заданого поголів'я (для свиней – у головах).  $m_{T_1} = 2000$

голів;

$q_1$  – добова норма витрати кожного виду корму на одну голову задається у

кг/гол (див. табл. 2.1).

Загальну добову потребу в кормах визначаємо за результатами аналізу вихідних даних відповідно до формули зеленої маси:

$$P_{Д.З} = 2000 \cdot 5 = 10000 \text{кг};$$

- жом

$$P_{Д.Ж} = 2000 \cdot 3 = 6000 \text{ кг};$$

- коренебульбоплоди

$$P_{Д.К} = 2000 \cdot 3 = 6000 \text{ кг};$$

- концентровані корми

$$P_{Д.КК} = 2000 \cdot 1 = 2000 \text{ кг}.$$

### 2.3. Розрахунок продуктивності лінії кормоцеху та вибір машин

Продуктивність технологічної лінії кормоцеху визначають з урахуванням її функціонального призначення (типу кормів), максимально допустимого часу зберігання підготовленого корму до згодовування, кратності годівлі та організаційних факторів роботи кормоцеху [3].

Для лінії підготовки концентрованих кормів продуктивність визначають за залежністю:

$$Q_{Л.КК} = \frac{P_{КК}}{T_1 \cdot \tau_y}, \quad (2.2)$$

де  $P_{КК}$  – кількість концентрованих кормів, що підлягає обробці,

$$P_{КК} = 2000 \text{ кг};$$

$T_1$  – час, відведений на приготування однієї даванки з максимальною кількістю даного виду корму  $T_1 = 1$  год.;

$\tau_y$  коефіцієнт використання змінного часу, який враховує простої, переналагодження та організаційні втрати часу,  $\tau_y = 1$ .

Тобто:

$$Q_{Л.КК} = \frac{2000}{1.1} = 2000 \text{ кг/год.}$$

Отже, продуктивність технологічної лінії кормоцеху визначається з урахуванням типу кормів, режиму та кратності годівлі, а також організаційних умов роботи підприємства. Це дозволяє забезпечити своєчасну підготовку необхідної кількості кормів без порушення технологічного процесу їх згодовування. Правильний розрахунок продуктивності є основою для обґрунтованого вибору машин і забезпечення ефективної та безперебійної роботи кормоцеху.

#### **2.4. Вибір механізму для подрібнення фуражного зерна**

У сучасному тваринництві значну частину раціонів становлять концентровані корми, основою яких є зерно злакових культур. Для підвищення перетравності та засвоюваності поживних речовин зерно перед згодовуванням піддають механічному подрібненню. Одним із найбільш ефективних способів такого подрібнення є плющення або роздавлювання зерна між обертовими валками [1;8].

Вальцеві дробарки (валкові подрібнювачі) – це машини, у яких руйнування зерна здійснюється шляхом стискання, зсуву та частково тертя між двома або більше обертовими валками. На відміну від молоткових дробарок, де руйнування відбувається ударним способом, валкові дробарки забезпечують більш рівномірний помел і значно менше утворення пилоподібної фракції.

Основними перевагами вальцевих дробарок є: висока енергоефективність процесу подрібнення; однорідність отримуваної фракції; зменшення втрат

поживних речовин; низький рівень запиленості; менше руйнування оболонок зерна [5;7].

Завдяки цим властивостям вальцеві дробарки широко застосовуються у: комбікормовій промисловості; кормоцехах тваринницьких ферм; зернопереробних підприємствах; мобільних кормоприготувальних установках.

В таблиці 2.3. наведені порівняльні характеристики вальцевих і молоткових дробарок.

Таблиця 2.3 – Порівняння основних типів дробарок

Показник	Вальцеві дробарки	Молоткові дробарки
Спосіб руйнування	стискання і зсув	удар
Однорідність помелу	висока	середня
Утворення пилу	низьке	значне
Енерговитрати	менші	більші
Придатність для плющення	висока	низька

Як видно з таблиці, вальцеві дробарки мають низку переваг у виробництві кормів для великої рогатої худоби та свинарства, де важливо отримати плющене або крупноподрібнене зерно. Для подрібнення фуражного зерна для запропонованого кормоцеху для відгодівлі 2000 свиней приймаємо вальцеву дробарку.

Конструктивна схема вальцевої дробарки показана на рисунку 2.1.

Конструкція валкової дробарки складається з ряду основних вузлів:

- рами або корпусу;
- пари робочих валків;
- механізму приводу;
- пристрою регулювання зазору;
- системи подачі зерна;
- системи очищення валків.

Принцип дії машини полягає у тому, що зернова маса подається у робочу зону між валками, які обертаються назустріч один одному. Внаслідок стискання та зсуву зерно руйнується і виходить у вигляді подрібненої фракції [13;16].

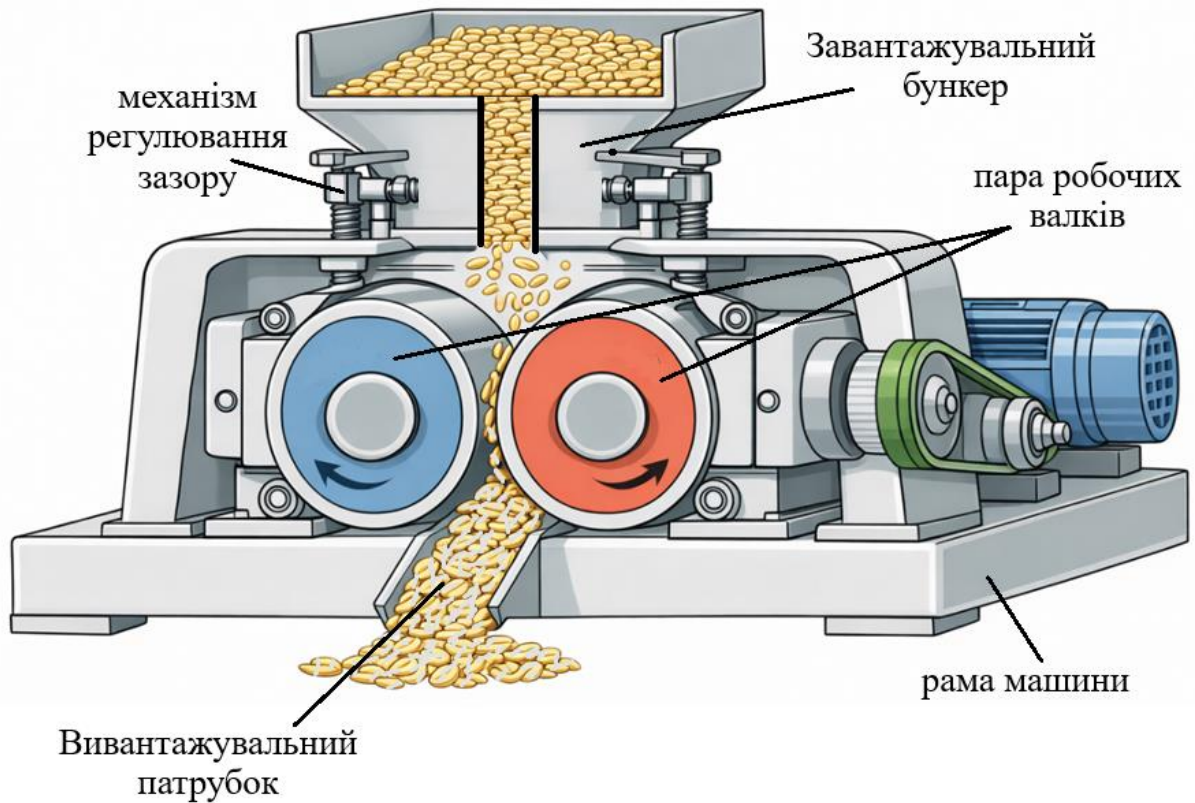


Рисунок 2.2 – Конструкція двовалкової дробарки

Однак така конструкція має певні недоліки. Застосування гладких валків знижує ефективність захоплення зерна, внаслідок чого воно може ковзати по їх поверхні, що негативно впливає на рівномірність подрібнення. Також під час роботи дробарки навантаження по довжині валків розподіляється нерівномірно.

Підвищення ефективності роботи вальцевої дробарки може бути досягнуто шляхом реалізації таких конструктивних рішень:

1. Використання рифлених або зубчастих валків;
2. Застосування диференційної швидкості обертання валків;
3. Використання пружинного механізму притискання валків;
4. Встановлення живильника для рівномірної подачі зерна;

## 5. Застосування зносостійких покриттів робочих поверхонь.

Найбільш ефективним є удосконалення робочої поверхні валків, що дозволяє підвищити захоплювальну здатність і зменшити ковзання зерна.

Продуктивність вальцевої дробарки визначається кількістю зернового матеріалу, що проходить через робочу щілину між валками за одиницю часу. Теоретична продуктивність залежить від геометричних параметрів валків, частоти їх обертання, розміру зазору між ними та ступеня заповнення робочої зони подрібнюваним матеріалом. Зміна цих параметрів істотно впливає на інтенсивність процесу подрібнення та пропускну здатність машини [3;17].

Теоретичну об'ємну продуктивність можна визначити за виразом:

$$Q_v = 3600 \cdot L \cdot b \cdot v \quad (2.3)$$

де  $Q_v$  – теоретична об'ємна продуктивність, м<sup>3</sup>/год;

$L$  – робоча довжина валка, м;

$b$  – робочий зазор між валками, м;

$v$  – колова швидкість валка, м/с.

Фактичну масову продуктивність вальцевої дробарки, яка враховує ступінь заповнення робочої щілини та властивості зернової маси, розраховують за формулою:

$$Q = 3600 \cdot L \cdot b \cdot v \cdot \rho \cdot \psi \quad (2.4)$$

де  $Q$  – масова продуктивність, кг/год;

$\rho$  – насипна густина зерна, кг/м<sup>3</sup>;

$\psi$  – коефіцієнт заповнення робочої зони, який зазвичай приймають у межах 0,1-0,15

Зазначена залежність широко використовується під час попереднього проектування вальцевих дробарок, оскільки наочно демонструє прямий вплив

довжини валків, розміру зазору та колової швидкості на величину продуктивності. Уточнений розрахунок продуктивності полягає в тому, що реальна умовах продуктивність може бути меншою за теоретичну через:

- нерівномірність подачі зерна;
- ковзання матеріалу по поверхні валків;
- часткове пружне відновлення зернівок після деформації;
- вплив вологості та засміченості матеріалу;
- нерівномірний розподіл зерна по довжині валків [17].

Тому практичну продуктивність визначають як:

$$Q_{\phi} = Q \cdot \eta_n, \quad (2.5)$$

де  $Q_{\phi}$  – фактична продуктивність, кг/год;

$\eta_n$  – коефіцієнт використання продуктивності, який для вальцевих дробарок приймають у межах 0,75-0,920.

Отже, аналіз способів подрібнення фуражного зерна показує, що вальцеві дробарки мають низку суттєвих переваг у порівнянні з молотковими машинами. Вони забезпечують більш рівномірний гранулометричний склад продукту, менше утворення пилової фракції та нижчі енергетичні витрати процесу.

Завдяки шадному характеру дії робочих органів зменшується руйнування поживних речовин зерна, що позитивно впливає на його засвоюваність у раціонах тварин. Таким чином, застосування вальцевих дробарок є доцільним і перспективним рішенням для кормоцехів тваринницьких підприємств, що спрямоване на підвищення ефективності процесу подрібнення фуражного зерна.

### 3. ПРОЄКТУВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ДРОБАРОК ЗЕРНА

#### 3.1. Методи дослідження вальцевих подрібнювачів

Об'єктом дослідження виступають вальцеві дробарки, що використовуються для подрібнення фуражного зерна. Вони забезпечують отримання однорідної фракції кормового матеріалу шляхом його пропускання між робочими вальцями, які здійснюють контрольоване руйнування зернової структури. Принципова схема роботи такого обладнання наведена на рис. 3.1 і відображає основні конструктивні елементи та послідовність технологічного процесу подрібнення [18;19].

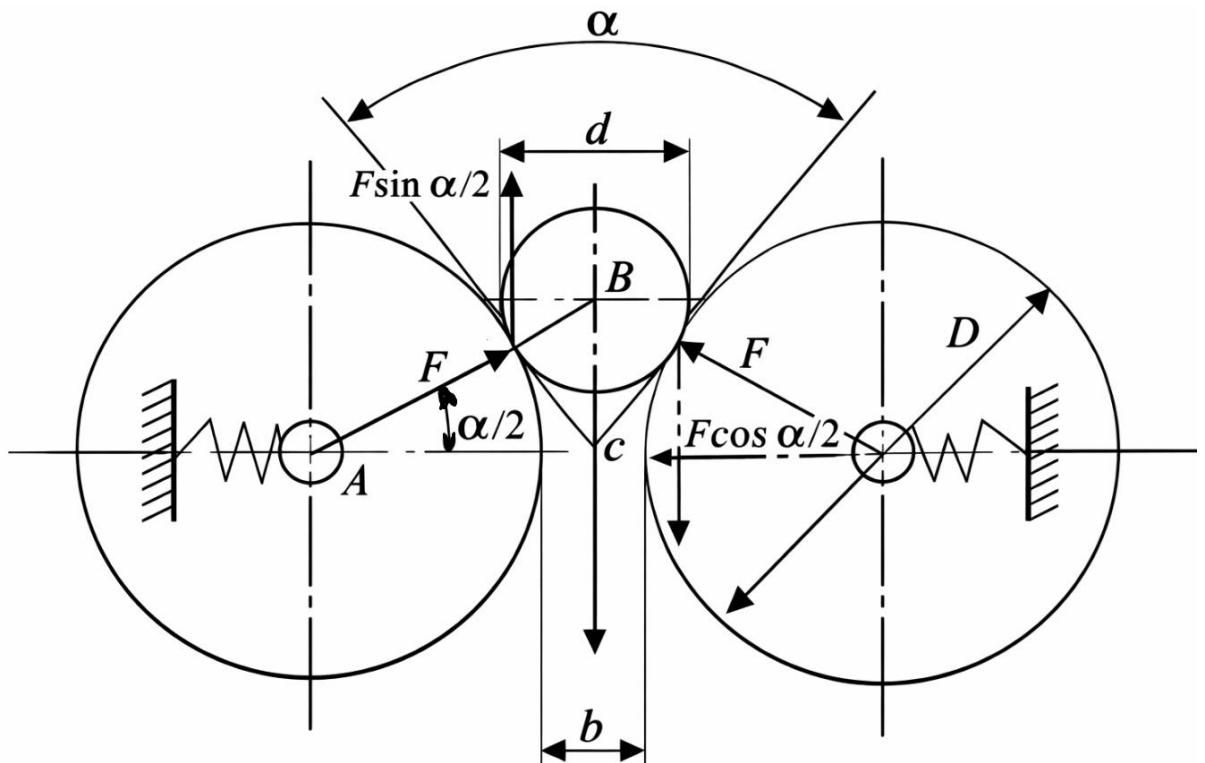
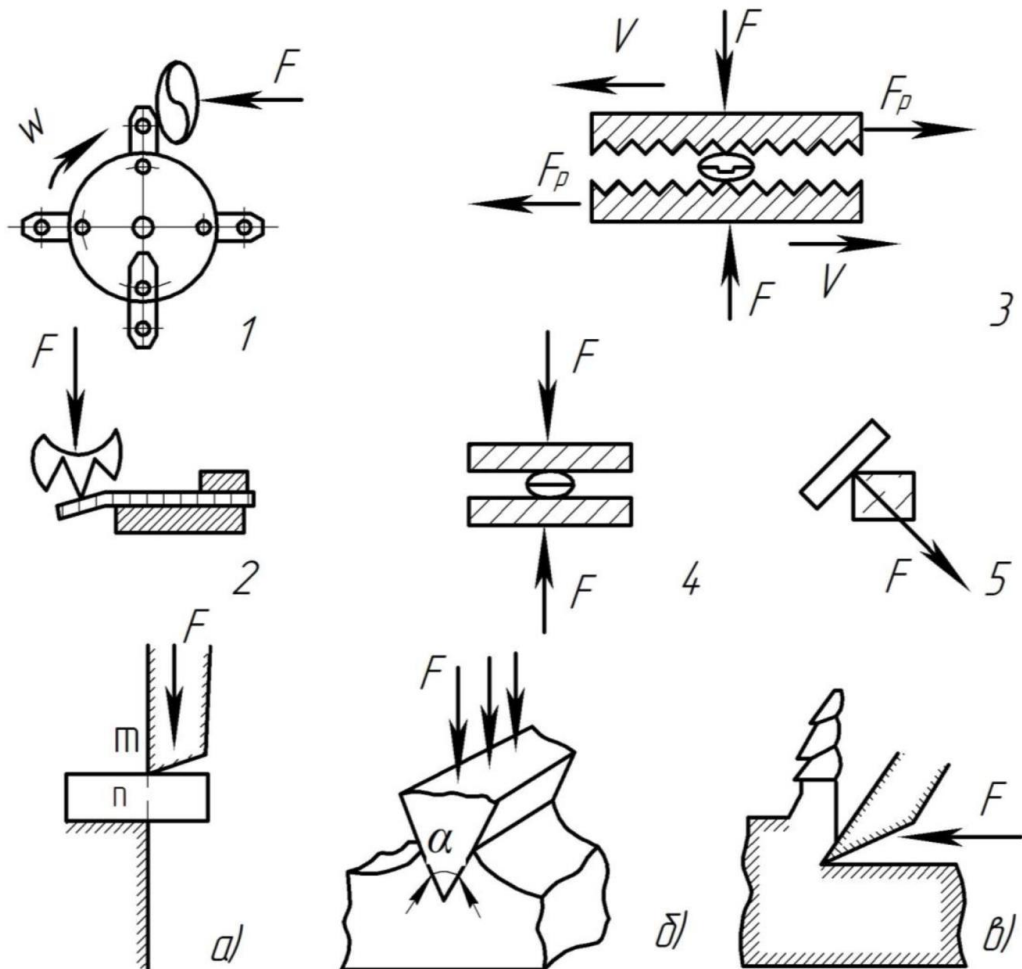


Рисунок 3.1 – Схематичне відображення процесу роботи вальцевої дробарки

Процес подрібнення зернового матеріалу здійснюється за рахунок його стискання між робочими органами машини. У зоні контакту валків із

сировиною виникають значні зусилля, що призводять до руйнування структури зерна. Обладнання такого типу широко використовується у складі поточкових технологічних ліній кормоцехів [20].

Основними способами подрібнення кормів, наведеними на рис. 3.2, є ударне дроблення, розколювання, стирання (розмельювання), плющення та різання. Останнє може виконуватися за допомогою леза, різця або пуансона.



1 – дроблення ударом; 2 – розколювання; 3 – стирання; 4 – плющення;  
5 – різання: а – пуансоном; б – лезом; в – різцем.

Рисунок 3.2 – Способи подрібнення кормів

Під час обґрунтування способу подрібнення та проектування робочих органів подрібнювальних машин необхідно враховувати фізико-механічні та геометричні властивості кормової сировини. Виходячи з цього, доцільно застосовувати такі методи механічного впливу, які забезпечують руйнування

матеріалу за мінімального рівня внутрішніх напружень і з найменшими енергетичними витратами [21;23].

Серед відомих способів подрібнення найбільш енергоефективними вважаються розколювання, стирання та різання, оскільки напруження, що виникають при зсуві (сколюванні), як правило, є нижчими порівняно з нормальними напруженнями стискання, необхідними для руйнування матеріалу.

Різноманіття кормових матеріалів, їх фізико-механічних властивостей, а також технологічних вимог, що зумовлені особливостями годівлі тварин, стало передумовою розвитку різних способів подрібнення. Кожен із цих способів має власне механіко-математичне обґрунтування або описується відповідною теоретичною моделлю.

### **3.2. Дослідження параметрів вальцевих дробарок**

До моменту початку руйнування зернівка діаметром  $d$  контактує з поверхнями валків у двох точках, при цьому на зернівку діють відповідні сили (див. рис. 3.1). Вертикальні складові зазначених сил  $2F \sin \frac{\alpha}{2}$  спрямовані на виштовхування зернівки зі сферичного клина, який формується циліндричними поверхнями валків. Вертикальні складові сил тертя визначають за залежністю:

$$F_T = 2 \cdot f \cdot F \cos \frac{\alpha}{2}, \quad (3.1)$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя між зерниною та робочою поверхнею валка,  $f=0,2$ .

Вертикальні складові сил тертя, навпаки, забезпечують зтягування зернівки в міжвалковий зазор. Рівняння рівноваги сил, що діють на зернівку в початковий момент її контакту з поверхнями валків, має вигляд:

$$2 \cdot F \sin \frac{\alpha}{2} = 2 \cdot f \cdot F \cos \frac{\alpha}{2}. \quad (3.2)$$

Для забезпечення захоплення частинки валками необхідне виконання умови:

$$2 \cdot F \sin \frac{\alpha}{2} < 2 \cdot f \cdot F \cos \frac{\alpha}{2}, \quad (3.3)$$

Звідки:

$$\frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{\cos \frac{\alpha}{2}} < f, \text{ або } \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} < \operatorname{tg} \varphi. \quad (3.4)$$

Умову захоплення насінини у вальцевій дробарці визначає кут захоплення, для якого має виконуватися відповідна нерівність  $\alpha < 2\varphi$ , що забезпечує втягування частинки в робочу зону між валками [3;4].

Діаметр валків визначають із геометричних міркувань. Вважаючи, що початковий діаметр зернини  $d$  є відомим, а зазор між валками  $b$  відповідає заданому розміру подрібненого продукту, можна отримати залежність, яка описує взаємозв'язок між діаметром валків і технологічними параметрами процесу подрібнення:

$$D_{\min} = \frac{d \cos \varphi - b}{1 - \cos \varphi}, \quad (3.5)$$

де  $\varphi$  – кут тертя,  $\varphi = \operatorname{arctg} f = \operatorname{arctg} 0,2 = 12^\circ$ .

Для годівлі свиней з метою підвищення ефективності засвоєння кормів фуражне зерно необхідно подрібнювати до заданого розміру  $b = 1$  мм. Для

ячменю при цьому приймаємо за початкову величину діаметр зернівки  $d = 4,2$  мм [24].

Отже,

$$D_{\min} = \frac{4,2 \cdot \cos 12^\circ - 1}{1 - \cos 12^\circ} = 141 \text{ мм},$$

Де діаметр валків  $D_{\min} = 150$  мм, а довжина валків становить:

$$L = 2D_{\min} = 2 \cdot 150 = 300 \text{ мм}.$$

Зусилля подрібнення, яке діє на валки [24], визначають за формулою:

$$F = L_p \cdot l \cdot \sigma_{cm}, \quad (3.6)$$

де  $L_p$  – довжина валка;

$l$  – довжина дуги контакту;

$\sigma_{cm}$  – допустима міцність зерна на стиск (для ячменю  $\sigma_{cm} = 5,5$  МПа ).

Робочу довжину валка та довжину дуги контакту визначають відповідно за залежностями:

$$L_p = 0,9 \cdot L; \quad (3.7)$$

$$l = \frac{\alpha \cdot D_{\min}}{4}, \quad (3.8)$$

де  $\alpha$  – кут контакту,  $\alpha = 24^\circ = 0,419$  рад.

Після підстановки числових значень отримуємо:

$$l = \frac{0,419 \cdot 0,15}{4} = 0,0157 \text{ м}.$$

$$L_p = 0,9 \cdot 300 = 270 \text{ мм};$$

$$F = 0,27 \cdot 0,0157 \cdot 5,5 \cdot 10^6 = 23,3 \cdot 10^3 \text{ Н} = 23,3 \text{ кН}.$$

Діаметр (мінімальний) вала, на якому монтується вальцевий валок:

$$D_{\min 1} = l_1 \sqrt[4]{\frac{5q}{6\pi \cdot y_{\max} \cdot E}}, \quad (3.9)$$

де  $l_1$  – відстань між опорами вала,  $l_1 = L + 0,1 = 0,3 + 0,1 = 0,4 \text{ м}$ ;

$$q \text{ – питоме зусилля від подрібнення, } q = \frac{F}{L_p} = \frac{23,3}{0,27} = 86,3 \text{ кН/м};$$

$E$  – модуль пружності матеріалу валка (для чавуну  $E = 1,2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$ );

$y_{\max}$  допустимий прогин валка,  $y_{\max} = b = 1 \text{ мм}$ .

У результаті розрахунку отримуємо:

$$D_{\min 1} = 0,4 \cdot \sqrt[4]{\frac{5 \cdot 86,3 \cdot 10^3}{6\pi \cdot 1 \cdot 10^{-3} \cdot 1,2 \cdot 10^{11}}} = 0,45 \text{ м} = 45,0 \text{ мм}.$$

Отже, для забезпечення необхідної жорсткості діаметр валка повинен бути більшим за  $D_{\min 1} = 450 \text{ мм}$ .

Геометричні параметри валків, а також конструкція підшипникових вузлів і їх опор повинні відповідати вимогам жорсткості та міцності. Навіть незначні відхилення величини зазору між валками можуть суттєво впливати на якість подрібнення, навантаження на робочі органи та енерговитрати процесу [3;5].

Частота обертання валків обмежується умовою запобігання відкиданню зерна під дією відцентрових сил і визначається за формулою:

$$n_{\max} \leq 616 \cdot \sqrt{\frac{f}{\rho \cdot d \cdot D_{\min}}}, \quad (3.10)$$

де  $\rho$  – густина матеріалу (для ячменю  $\rho = 1,3 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>).

У числовому вигляді:

$$n_{\max} \leq 616 \cdot \sqrt{\frac{0,2}{1300 \cdot 4,2 \cdot 10^{-3} \cdot 0,15}} = 304 \text{ об/хв.}$$

Теоретичну продуктивність однієї пари валків визначають, виходячи з припущення, що через робочий зазор за одиницю часу проходить об'єм зернового матеріалу, який відповідає секундній подачі [24]:

$$Q_B = b \cdot L \cdot v \cdot \rho \cdot \psi, \quad (3.11)$$

де  $v$  – середня швидкість у зоні контакту валків;

$\psi$  – коефіцієнт заповнення зони подрібнення,  $\psi = 0,1$ .

Середню швидкість у зоні контакту та частоту обертання валків для заданої продуктивності  $Q = Q_{KK} = 2000$  кг/год = 0,556 кг/с визначають за формулами:

$$v_{\text{сер}} = \frac{Q_{KK}}{b \cdot L \cdot \rho \cdot \psi} \quad (3.12)$$

$$n_p = \frac{60 \cdot v_{\text{сер}}}{\pi \cdot D_{\min}} \quad (3.13)$$

Після підстановки числових значень отримуємо:

$$v_{\text{сер}} = \frac{0,556}{1 \cdot 10^{-3} \cdot 0,27 \cdot 1300 \cdot 0,1} = 15,8 \text{ м/с;}$$

$$n_p = \frac{60 \cdot 1,58}{\pi \cdot 0,15} = 201,2 \text{ об/хв.}$$

Отримане значення частоти обертання задовольняє умову.  
 $n_p = 201,2 \text{ об/хв} < n_{\max} = 304 \text{ об/хв}$

Потужність приводу:

$$P = F_T \cdot v = 2 \cdot f \cdot F \cdot \sin \alpha / 2 \cdot v = 2 \cdot 0,2 \cdot 23,3 \cdot 10^3 \cdot \sin 12^\circ \cdot 15,8 = 30,6 \text{ кВт.}$$

### 3.3. Дослідження параметрів зубчастої дробарки

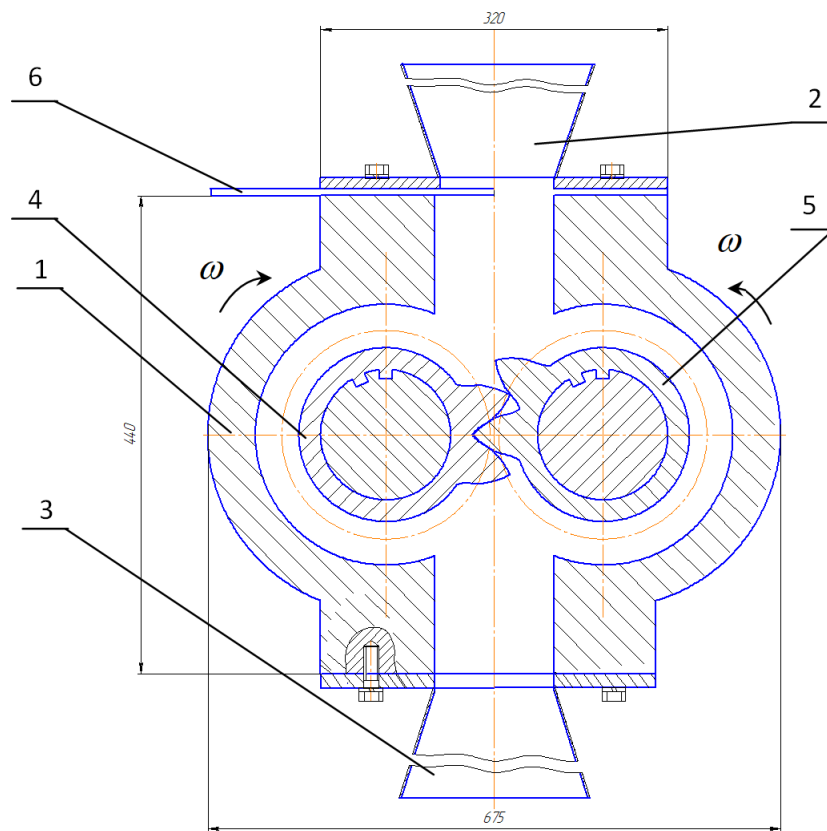
Недоліком традиційних молоткових дробарок є значне стирання продукту об поверхню сита, що призводить до забивання його отворів. У результаті ускладнюється виведення подрібненого матеріалу з робочої зони, що знижує продуктивність, погіршує якість подрібнення, збільшує енерговитрати та погіршує умови праці оператора[7;8].

Для усунення цих недоліків у роботі розглянуто конструкцію шестеренчастої дробарки концентрованих кормів (рис. 3.3), яка забезпечує підвищення продуктивності та покращення якості подрібнення.

Дробарка включає корпус, у якому з мінімальними зазорами встановлено ведучу та ведену шестерні з евольвентним профілем зубців, а також приймальний бункер і вихідний патрубок.

Принцип її роботи полягає в тому, що зерновий матеріал, який надходить у бункер, заповнює впадини зубчастих коліс і захоплюється їхніми зубцями. Під дією крутного моменту, що створюється приводом, зерно зазнає стискання між зубом і впадиною та руйнується. Подрібнений продукт заповнює не лише міжзубцевий простір, але й торцеві зони шестерень. Після виходу зубців із

зачеплення тиск у масі зменшується, і матеріал під дією відцентрових та гравітаційних сил виводиться через вихідний патрубок.



1 – корпус; 2 – бункер; 3 – патрубок; 4 – ведуча шестерня;  
5 – ведена шестерня; 6 – шиберна заслінка.

Рисунок 3.3 – Схема шестеренчастої дробарки концентрованих кормів

Отриманий продукт має форму пластинок товщиною приблизно 0,7-1 мм. У процесі подрібнення частина вологи переходить у парову фазу, яка надходить у зону обробки, конденсується на більш холодному зерні, частково його зволожує та підігріває, що позитивно впливає на якість готового корму. Продуктивність дробарки регулюється зміною подачі матеріалу за допомогою шиберної заслінки [9;10].

Перевагами такого способу подрібнення є зменшення пилоутворення, зниження втрат під час транспортування та зберігання, а також покращення поїдання корму тваринами.

Для оцінювання продуктивності дробарки використовують залежність:

$$Q_{III} = \frac{\pi D(D_2 - D_6) \cdot L_{III} \cdot n \cdot \rho}{30}, \quad (3.14)$$

де  $D$  – відстань міжосьова, м;

$D_2$  – зовнішній діаметр зубчастого колеса,  $D_2 = m(z_1 + 2) = 18(12 + 2) = 252$  мм;

$D_6$  – внутрішній діаметр зубчастого колеса,  $D_6 = m(z_1 - 2,5) = 18(12 - 2,5) = 171$  мм;

$L_{III}$  – ширина зуба,  $L_{III} = 0,15$  м;

$n$  – частота обертання валу, хв<sup>-1</sup>;

$\rho$  – густина корму, кг/м<sup>3</sup>.

Відстань міжосьову визначають за формулою:

$$D = \frac{m(z_1 + z_2)}{2}, \quad (3.15)$$

де  $z_1, z_2$  – кількість зубців  $z_1 = z_2 = 12$ ;

$m$  – модуль зачеплення,  $m = 18$  мм [12].

У результаті розрахунку отримано:

$$D = \frac{18(12 + 12)}{2} = 234 \text{ мм};$$

Частоту обертання вала для даної продуктивності  $Q_{III} = Q_{KK} = 33,3$  кг/хв визначають за формулою:

$$n = \frac{30 \cdot Q_{KK}}{\pi D(D_2 - D_6) \cdot L_{III} \cdot \rho}. \quad (3.16)$$

Звідки:

$$n = \frac{30 \cdot 33,3}{\pi \cdot 0,216(0,252 - 0,171) \cdot 0,15 \cdot 1300} = 93 \text{ об/хв.}$$

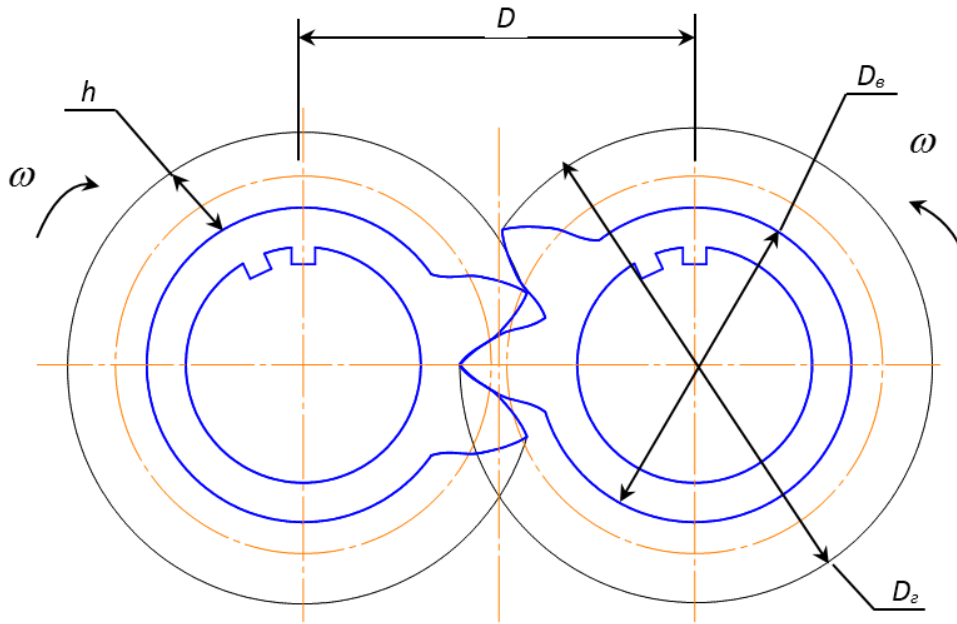


Рисунок 3.4 – Розрахункова схема шестеренчастої дробарки

Нормальна сила тиску на зуб у зоні контакту визначається за формулою:

$$F_N = L_{III} \cdot l_K \cdot \sigma_{cm}, \quad (3.17)$$

де  $l_K$  – довжина дуги контакту,  $l_K = \frac{\alpha \cdot D}{4}$ ;

$\alpha$  – кут контакту,  $\alpha = 20^\circ = 0,349$  рад.

Отримаємо:

$$l_K = \frac{0,349 \cdot 0,234}{4} = 0,0204 \text{ м};$$

$$F_N = 0,15 \cdot 0,0204 \cdot 5,5 \cdot 10^6 = 16,8 \cdot 10^3 \text{ Н} = 16,8 \text{ кН}.$$

Колову та радіальну сили визначають за залежностями:

$$F_t = F_N \cdot \cos \alpha; \quad (3.18)$$

$$F_r = F_t \cdot \text{tg} \alpha. \quad (3.19)$$

У числовому вигляді:

$$F_t = 16,8 \cdot \cos 20^\circ = 15,8 \text{ кН};$$

$$F_r = 15,8 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ = 5,77 \text{ кН}.$$

Потужність приводу визначаємо за формулою:

$$P = F_t \cdot v, \quad (3.20)$$

де  $v$  – лінійна швидкість у зоні контакту становить,

$$v = \frac{\pi \cdot n \cdot D}{60} = \frac{\pi \cdot 93 \cdot 0,216}{60} = 1,05 \text{ м/с}.$$

Потужність приводу дорівнює:

$$P = 15,8 \cdot 1,05 = 16,6 \text{ кВт}.$$

Перевірку міцності зуба зубчастого колеса на згин здійснюють за формулою:

$$\sigma_{\max} = \frac{F_t \cdot h}{W_o}, \quad (3.21)$$

де  $h$  – висота зуба,  $h = 2,25m = 2,25 \cdot 18 = 40,5$  мм;

$W_o$  – осьовий момент опору поперечного перерізу ніжки зуба,  $W_o = \frac{L_{III} \cdot B^2}{6}$ ,

$B$  – товщина ніжки зуба,  $B = 0,5 \cdot p = 0,5 \cdot \pi \cdot m = 0,5 \cdot \pi \cdot 18 = 28,3$  мм.

Після підстановки значень отримаємо:

$$W_o = \frac{0,15 \cdot (28,3 \cdot 10^{-3})^2}{6} = 20,0 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3;$$

$$\sigma_{\max} = \frac{15,8 \cdot 10^3 \cdot 40,5 \cdot 10^{-3}}{20 \cdot 10^{-6}} = 32 \text{ МПа.}$$

Отже, умова міцності зубчастого колеса виконується, оскільки  $\sigma_{\max} = 32$  МПа  $< [\sigma] = 140$  МПа.

Далі виконуємо розрахунок ведучого вала приводу дробарки. Крутний момент на валу визначається за формулою:

$$T = \frac{P}{\omega} = \frac{30 \cdot P}{\pi \cdot n}. \quad (3.22)$$

Діаметр вала з умови міцності на кручення [12] визначають за формулою:

$$d_{\min} \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T}{\pi \cdot [\tau]}}, \quad (3.23)$$

де  $[\tau]$  – занижене допустиме напруження кручення; приймаємо  $[\tau] = 40$  МПа.

Після підстановки вихідних даних одержимо:

$$T = \frac{30 \cdot 16,6 \cdot 10^3}{\pi \cdot 93} = 1,71 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$d_{\min} \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 1,71 \cdot 10^6}{\pi \cdot 40}} = 59,4 \text{ мм};$$

отримаємо  $d_{\min} = 60$  мм.

Діаметр вала у місцях встановлення підшипників приймаємо  $d = 75$  мм. Для з'єднання привідного вала з муфтою доцільно застосувати призматичну шпонку. Приймаємо шпонку за ДСТУ 8788:2015 розміром  $18 \times 11 \times 112$ .

Перевірку шпонки на зминання виконуємо за залежністю:

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \cdot T_{кр}}{d \cdot (h - t) \cdot l} \leq [\sigma_{зм}] \quad (3.24)$$

де  $d$  – діаметр вала,  $d=60$  мм;

$h$  – висота шпонки,  $h=11$  мм;

$t$  – глибина паза вала,  $t=7$  мм;

$l$  – довжина шпонки,  $l=90$  мм;

$[\sigma_{зм}]$  – напруження на зминання допускається  $[\sigma_{зм}] = 200$  МПа.

Розраховуємо:

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \cdot 1,71 \cdot 10^6}{60 \cdot (11 - 7) \cdot 112} = 127 \text{ МПа}.$$

Отже, умова міцності шпонки на зминання виконується.

Зубчасті колеса з'єднуємо з валом за допомогою шліцьового з'єднання.

Відповідно до ДСТУ 1139:2015 приймаємо з'єднання  $10 \times 112 \times 125$ , де

$z$  – кількість зубців,  $z = 10$ ;

$d$  – внутрішній діаметр вала,  $d = 112$  мм;

$D$  – зовнішній діаметр,  $D = 125$  мм.

Для шліцьового з'єднання виконуємо перевірочний розрахунок на зминання за формулою:

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \cdot T}{d_{сер} \cdot h \cdot L_{Ш} \cdot z \cdot \psi} \leq [\sigma_{зм}] \quad (3.25)$$

де  $d_{сер}$  – середній діаметр з'єднання,  $d_{сер} = \frac{D + d}{2} = \frac{125 + 112}{2} = 118,5$  мм,

$h$  – висота поверхні контакту зубців,  $h = \frac{D-d}{2} = \frac{125-112}{2} = 6,5\text{мм}$ ,

$\psi$  – виконуємо перевірочний розрахунок на зминання за формулою,  $\psi = 0,7$  [7;9].

У результаті розрахунку отримуємо:

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \cdot 1,71 \cdot 10^6}{118,5 \cdot 6,5 \cdot 150 \cdot 10 \cdot 0,7} = 43,0 \text{МПа} \leq [\sigma_{зм}] = 200 \text{МПа}.$$

Отже, умова міцності шліцьового з'єднання виконується.

Далі виконуємо перевірочний розрахунок ведучого вала на міцність. З цієї метою будуємо епюру крутних моментів, а для побудови епюр згинальних моментів визначаємо реакції опор і максимальні значення згинальних моментів.

У вертикальній площині:

$$B_y = C_y = \frac{F_r}{2} = \frac{5770}{2} = 2885 \text{Н};$$

$$M_{зг.B} = C_y \cdot \frac{l_0}{2} = 2885 \cdot \frac{190}{2} = 274000 \text{Н} \cdot \text{мм}.$$

У горизонтальній:

$$B_z = C_z = \frac{F_t}{2} = \frac{15800}{2} = 7900 \text{Н};$$

$$M_{зг.Г} = C_z \cdot \frac{l_0}{2} = 7900 \cdot \frac{190}{2} = 751000 \text{Н} \cdot \text{мм}.$$

Загальний максимальний згинальний момент визначаємо за формулою:

$$M_{зг.max} = \sqrt{(M_{зг.B})^2 + (M_{зг.Г})^2} \quad (3.26)$$

Розрахунковий момент визначаємо за формулою:

$$M_p = \sqrt{(M_{зг.маx})^2 + (M_{кр})^2}. \quad (3.27)$$

Підставивши числові значення, отримаємо:

$$M_{зг.маx} = \sqrt{(274000)^2 + (751000)^2} = 799000 \text{ Н} \cdot \text{мм};$$

$$M_p = \sqrt{(799000)^2 + (1710000)^2} = 1890000 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Максимальні нормальні напруження в матеріалі вала визначаємо за формулою:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_p}{W_{ов}}, \quad (3.28)$$

де  $W_{ов}$  – осьовий момент опору поперечного перерізу вала,

$$W_{ов} = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{\pi \cdot 112^3}{32} = 138 \cdot 10^3 \text{ мм}^3.$$

Тоді:

$$\sigma_{\max} = \frac{1890000}{138000} = 13,7 \text{ МПа} \leq [\sigma] = 100 \text{ МПа}.$$

Отже, умова міцності вала виконується.

Максимальний прогин вала визначаємо за формулою:

$$y_{\max} = \frac{\sqrt{(F_r)^2 + (F_t)^2} \cdot l_0^3}{48E \cdot I_o}, \quad (3.29)$$

де  $I_o$  – осьовий момент інерції поперечного перерізу вала.

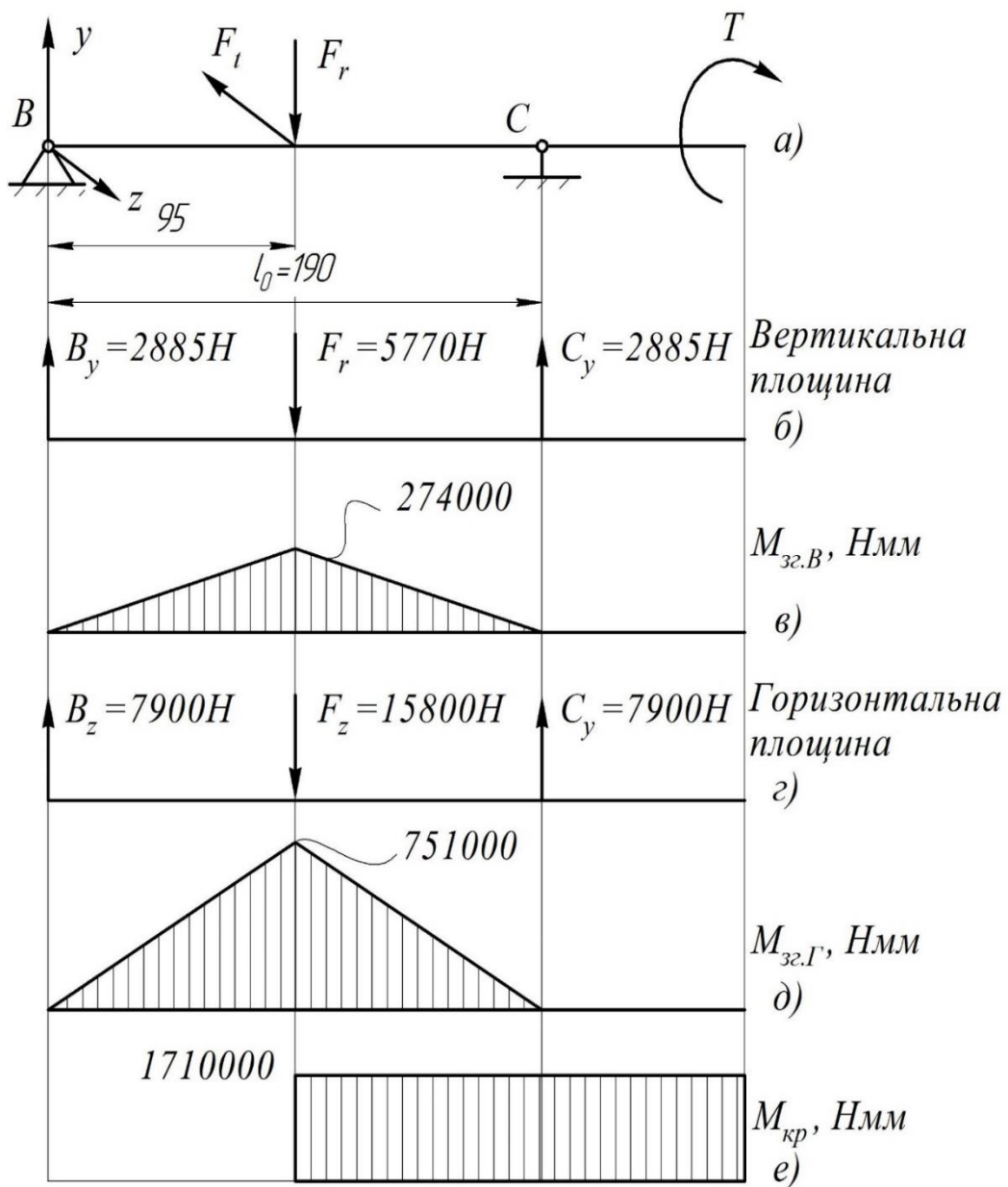


Рисунок 3.5 – Розрахункова схема та епюри внутрішніх сил ведучого вала дробарки

Осьовий момент інерції поперечного перерізу визначаємо за формулою:

$$I_o = \frac{\pi \cdot d^4}{64}. \quad (3.30)$$

Після підстановки числових значень отримаємо:

$$I_o = \frac{\pi \cdot 112^4}{64} = 7,72 \cdot 10^6 \text{ мм}^4,$$

$$y_{\max} = \frac{\sqrt{(5,77 \cdot 10^3)^2 + (15,8 \cdot 10^3)^2} \cdot 190^3 \cdot 10^3}{48 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 5,72 \cdot 10^6} = 0,898 \text{ мм.}$$

Для забезпечення нормальної роботи дробарки необхідно, щоб  $mm < b = 1$   
мм.

Таким чином, умова жорсткості вала виконується.

## **4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ**

### **4.1 Загальні положення з охорони праці при експлуатації вальцевого подрібнювача фуражного зерна**

Експлуатація вальцевого подрібнювача фуражного зерна належить до робіт підвищеної небезпеки, оскільки обладнання має рухомі обертові елементи, електропривід та працює з сипкими матеріалами, що утворюють пил. У зв'язку з цим організація безпечних умов праці повинна здійснюватися відповідно до вимог чинних нормативних актів з охорони праці та інструкцій підприємства.

До самостійної роботи з вальцевим подрібнювачем допускаються особи не молодші встановленого законодавством віку, які пройшли медичний огляд, вступний інструктаж з охорони праці, первинний інструктаж на робочому місці та стажування під наглядом досвідченого працівника. Періодично працівники повинні проходити повторні інструктажі та перевірку знань правил безпеки. Обслуговуючий персонал зобов'язаний знати конструкцію машини, принцип її роботи, місця розташування органів керування та аварійної зупинки [2;6].

Під час організації робочого місця слід забезпечити достатнє освітлення, вентиляцію та вільний доступ до обладнання. Підлога повинна бути неслизькою, без сторонніх предметів, а проходи – вільними для безпечного переміщення працівників. Обов'язковим є наявність справних засобів пожежогасіння, а також аптечки першої медичної допомоги.

Основними небезпечними та шкідливими виробничими факторами при роботі з вальцевим подрібнювачем є:

- рухомі та обертові частини механізму (вали, ремінні та зубчасті передачі);

- можливість затягування одягу, рук або сторонніх предметів у зону подрібнення;

- підвищена запиленість повітря зерновим пилом;

- шум і вібрація під час роботи обладнання;

- електрична небезпека при несправності ізоляції або заземлення.

Особливу небезпеку становить зерновий пил, який може спричиняти подразнення слизових оболонок, а також за певних концентрацій утворювати вибухонебезпечне середовище. Тому на підприємстві повинні бути передбачені системи аспірації або вентиляції для зменшення запиленості робочої зони [2].

Перед початком роботи оператор зобов'язаний провести ретельний зовнішній огляд обладнання. Перевіряється справність захисних кожухів, огорожень, кріплень, стан валків, ремінних передач, а також наявність і працездатність системи аварійного вимкнення. Окремо контролюється справність електродвигуна, кабелів живлення та наявність захисного заземлення. Забороняється запуск обладнання за наявності видимих пошкоджень або знятих захисних пристроїв.

Під час роботи вальцевого подрібнювача забороняється:

- відкривати захисні кожухи та огороження;

- виконувати регулювання, очищення або змащування рухомих частин;

- проштовхувати зерно руками або сторонніми предметами;

- перевищувати допустиме завантаження машини;

- залишати працююче обладнання без нагляду.

Завантаження зерна повинно здійснюватися рівномірно, без різких перевантажень, що дозволяє уникнути заклинювання валків та аварійних ситуацій. У разі появи сторонніх шумів, вібрацій або ознак несправності обладнання необхідно негайно зупинити машину та повідомити відповідальну особу [6;11].

Після завершення роботи подрібнювач повинен бути повністю зупинений та відключений від електромережі. Лише після цього дозволяється проводити

очищення робочих органів від залишків зерна. Технічне обслуговування, регулювання зазорів між валками та інші роботи виконуються тільки при знеструмленому обладнанні [2;6].

Регулярне технічне обслуговування, своєчасна заміна зношених деталей та контроль технічного стану є важливими умовами безпечної експлуатації. Дотримання вимог охорони праці дозволяє мінімізувати ризики травматизму, підвищити надійність роботи обладнання та забезпечити стабільність технологічного процесу подрібнення фуражного зерна.

#### **4.2 Санітарно-гігієнічні умови праці при подрібненні фуражного зерна у вальцевих подрібнювачах**

Санітарно-гігієнічні умови праці при експлуатації вальцевого подрібнювача фуражного зерна є невід'ємною частиною загальної системи охорони праці та повинні розглядатися у взаємозв'язку з вимогами безпеки, що забезпечують надійну та безаварійну роботу обладнання. Їх дотримання спрямоване на зниження впливу шкідливих виробничих факторів і збереження здоров'я персоналу.

Основним шкідливим фактором при подрібненні зерна є зерновий пил, який утворюється в процесі завантаження, транспортування та подрібнення. Його надмірна концентрація в повітрі робочої зони може спричиняти захворювання органів дихання, подразнення слизових оболонок та зниження загальної працездатності. Для зменшення запиленості передбачаються системи аспірації, місцевої витяжної вентиляції, а також загальнообмінна вентиляція виробничих приміщень [6;11].

Параметри повітря робочої зони (температура, вологість, швидкість руху повітря) повинні відповідати санітарним нормам для виробничих приміщень кормоцехів. Особливу увагу слід приділяти ефективності повітрообміну,

оскільки одночасно з пилом у процесі роботи виділяється тепло від електродвигунів та тертя механізмів.

Важливим шкідливим фактором є виробничий шум, що виникає під час роботи валків, приводних механізмів та передач. Тривалий вплив шуму може призводити до швидкої втоми та зниження концентрації уваги. Для його зменшення застосовуються конструктивні заходи (звукоізолюючі кожухи, балансування валків, справний стан підшипників) та індивідуальні засоби захисту органів слуху [2;6].

Також у процесі роботи можливий вплив вібрації, яка передається на опорні конструкції та робочі майданчики. Для її зниження використовують вібропоглинаючі основи, правильне встановлення обладнання та регулярний технічний контроль його стану, що узгоджується із вимогами безпечної експлуатації, наведеними раніше.

Освітлення робочих місць повинно бути достатнім для безпечного обслуговування обладнання, контролю технологічного процесу та своєчасного виявлення несправностей. Належне освітлення є важливим доповненням до загальних вимог охорони праці при роботі з подрібнювачем.

Окрему увагу слід приділяти особистій гігієні працівників. Використання спецодягу, засобів індивідуального захисту (респіраторів, рукавичок, захисних окулярів), а також регулярне очищення одягу від пилу є обов'язковими вимогами. Після завершення роботи необхідно мити руки та обличчя, не допускати споживання їжі у виробничій зоні.

Таким чином, дотримання санітарно-гігієнічних умов праці при роботі з вальцевими подрібнювачами є логічним продовженням вимог охорони праці та забезпечує комплексний підхід до безпечної експлуатації обладнання, зниження професійних ризиків і підвищення ефективності виробничого процесу [11].

### **4.3 Пожежна безпека при експлуатації вальцевого подрібнювача у кормоцеху**

Пожежна безпека при експлуатації вальцевого подрібнювача фуражного зерна є важливою складовою загальної системи охорони праці на кормоцехах тваринницьких підприємств. Це зумовлено наявністю горючих матеріалів (зерно, пил, органічні домішки), електрообладнання та можливістю утворення пилоповітряних сумішей, які за певних умов можуть бути вибухо- та пожежонебезпечними.

Основним пожежонебезпечним фактором у процесі подрібнення є зерновий пил. При високій концентрації у повітрі він здатний утворювати вибухонебезпечні суміші, особливо у разі наявності джерела займання – іскри, перегрітого підшипника, короткого замикання або відкритого полум'я. Тому одним із ключових заходів є ефективне видалення пилу за допомогою систем аспірації та вентиляції, а також регулярне прибирання виробничих приміщень [6;11].

Електрообладнання вальцевого подрібнювача повинно відповідати вимогам пожежної безпеки, мати справну ізоляцію, захист від перевантажень і коротких замикань. Обов'язковим є наявність надійного заземлення всіх металевих частин обладнання. Пускова та розподільча апаратура повинна бути розміщена у захищених шафах, що унеможливають потрапляння пилу.

Важливим фактором є контроль температури вузлів тертя, зокрема підшипників і валків. Перегрів цих елементів може стати джерелом займання, тому необхідно регулярно проводити технічне обслуговування, змащування та контроль їхнього стану. Забороняється експлуатація обладнання при наявності сторонніх шумів, підвищеної вібрації або запаху гару [6].

У кормоцеху повинні бути передбачені первинні засоби пожежогасіння: вогнегасники (порошкові або вуглекислотні), ящики з піском, пожежні щити з

інвентарем. Всі засоби пожежогасіння мають бути справними, розміщеними у доступних місцях і регулярно перевірятися.

Приміщення кормоцеху повинно відповідати вимогам пожежної безпеки щодо евакуаційних виходів, які мають бути вільними та не захарашченими. На видимих місцях повинні бути розміщені схеми евакуації та інструкції з дій у разі пожежі. Персонал зобов'язаний проходити інструктажі з пожежної безпеки та знати порядок дій при виникненні займання.

Категорично забороняється використання відкритого вогню у виробничих приміщеннях кормоцеху, зберігання легкозаймистих матеріалів поблизу обладнання, а також проведення ремонтних робіт із застосуванням зварювання без спеціального дозволу та дотримання всіх заходів безпеки.

Таким чином, дотримання вимог пожежної безпеки при експлуатації вальцевого подрібнювача забезпечує зниження ризику виникнення пожежі, підвищує безпеку персоналу та гарантує стабільну і безперебійну роботу технологічного обладнання кормоцеху.

## ВИСНОВКИ

У результаті виконання роботи було досліджено технологічний процес підготовки фуражного зерна в кормоцехах тваринницьких підприємств та проаналізовано можливості підвищення його ефективності шляхом удосконалення вальцевого подрібнювача.

1. Проаналізовано сучасний стан розвитку тваринництва в Україні, класифікацію кормів та технології їх підготовки. Встановлено, що якість подрібнення фуражного зерна є одним із визначальних факторів ефективності годівлі тварин і безпосередньо впливає на засвоюваність поживних речовин та продуктивність виробництва.

2. Обґрунтовано основні параметри обладнання для подрібнення зерна та виконано вибір вальцевого подрібнювача як ефективного засобу підготовки кормової сировини. Визначено його переваги, які полягають у забезпеченні рівномірного гранулометричного складу продукту та зниженні втрат поживних речовин.

3. Досліджено вплив конструктивних і режимних параметрів вальцевих та зубчастих подрібнювачів на продуктивність, якість помелу та енергоємність процесу. Встановлено, що раціональний вибір міжвалкового зазору та режимів роботи дозволяє підвищити ефективність подрібнення зерна.

4. Запропоновані конструктивно-технологічні рішення щодо удосконалення вальцевого подрібнювача сприяють підвищенню продуктивності процесу, зниженню питомих енерговитрат і покращенню якості готового корму, що забезпечує ефективніше використання кормових ресурсів у тваринництві.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гевко Р. Б., Хомик Н. І., Жаровський О. С., Довбуш Т. А. Деталі машин та основи автоматизованого конструювання : навч. посіб. до лабораторних робіт. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2021. 256 с.
2. Гогіташвілі Г. Г., Лапін В.М. Основи охорони праці. Львів : Новий світ, 2000. 230 с.
3. Довбуш Т. А., Хомик Н. І., Бабій А. В., Цьонь Г. Б., Довбуш А. Д. Опір матеріалів: навч. посіб. до виконання розрахунково-графічних робіт і самостійної роботи. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2022. 220 с.
4. Довбуш Т. А., Хомик Н. І., Довбуш А. Д., Цьонь Г. Б. Шляхи зменшення металомісткості гнучких шнекових механізмів // Проблеми теорії проектування та виготовлення транспортно-технологічних машин : матеріали міжнар. наук.-техн. конф., Тернопіль, 23–24 верес. 2021 р. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2021. С. 67–68.
5. Дячун А. Є., Довбуш Т. А., Брикса А. О., Никитюк А. Г. Шнеки для змішування із спеціальними елементами // Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій : матеріали міжнар. наук.-техн. конф., Тернопіль, 28–29 трав. 2025 р. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2025. С. 128–129.
6. Жидецький В. Ц., Джигирей В. С., Мельников О. В. Основи охорони праці : навч. посіб. – Вид. 2-ге, стереотип. – Львів : Афіша, 2000. – 348 с.
7. Хомик Н. І., Довбуш А. Д., Олексюк В. П. Машини та обладнання для тваринництва: навч. посіб. Ч. 1. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2021. 240 с.
8. Хомик Н. І., Довбуш А. Д., Цьонь О. П. Деталі машин : курс лекцій для студентів заочної форми навчання. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2016. 160 с.

9. Хомик Н. І., Довбуш Т. А., Цьонь Г. Б., Довбуш А. Д. *Машини та обладнання для тваринництва : навч. посіб. до практичних занять та самостійної роботи.* Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2022. 360 с.
10. Хомик Н. І., Олексюк В. П., Сташків М. Я., Бабій А. В., Довбуш Т. А. *Методичний посібник до виконання кваліфікаційної роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності «Агроінженерія».* Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2025. 180 с.
11. Хомик Н. І., Цьонь Г. Б., Довбуш Т. А., Блозва І. Й., Довбуш А. Д. *Вступ до фаху : навч. посіб. для студентів спеціальності 208 «Агроінженерія».* Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2022. 348 с.
12. Хомик Н. І., Ткаченко І. Г., Довбуш А. Д. *Машини та обладнання для тваринництва : навч. посіб. до курсового проєктування для студентів спеціальності 208 «Агроінженерія».* Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2022. 100 с.
13. Хомик Н. І., Цьонь Г. Б., Довбуш Т. А. *Навчальна практика : метод. посіб. для студентів спеціальності 208 «Агроінженерія».* Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2022. 140 с.
14. Хомик Н. І., Цьонь Г. Б., Довбуш Т. А., Антончак Н. А. *Основи агрономії : навч. посіб. до практичних занять та самостійної роботи.* Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2021. 320 с.
15. Хомик Н. І., Цьонь Г. Б., Довбуш Т. А., Олексюк В. П. *Основи агрономії : навч. посіб.* Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2021. 232 с.
16. Дмитроченко О.П., Пшеничний П.Д. *Годівля сільськогосподарських тварин.* – Київ: Урожай, 1975. – 352 с.
17. Babii A., Dovbush T., Khomyk N., Dovbush A., Tson H., Oleksyuk V. *Mathematical model of a loaded supporting frame of a solid fertilizers distributor // Procedia Structural Integrity.* 2022. Vol. 36. P. 203–210. DOI: 10.1016/j.prostr.2022.01.025.

18. Dovbush T., Dovbush A., Khomyk N., Tson H. Substantiation of flexible screw conveyor metal consumption under productivity maintenance conditions // Scientific Journal of TNTU. 2021. Vol. 103, No. 3. P. 33–42.
19. Dovbush T., Khomyk N., Dovbush A. Research of the mathematical model of the tribosystem head rod-bushing of the traction organ of rod transporters // Scientific Journal of TNTU. 2024. Vol. 115, No. 3. P. 112–121.
20. Dovbush T., Khomyk N., Dovbush A., Palyukh A. Estimation of the load capacity and the strain-stress state of rod transporters // Scientific Journal of the Ternopil National Technical University. 2022. Vol. 108, No. 4. P. 5–15.
21. Hevko I., Liashuk O., Tson O., Dovbush T., Zalutskyi S., Stanko A. Installation for the investigation of screw working bodies with elastic surfaces and the results of their experimental tests // Scientific Journal of TNTU. 2021. Vol. 103, No. 3. P. 98–109.
22. Hevko R., Lyashuk O., Dzyura V., Dovbush T., Trokhaniak O., Liashko A. Experimental studies of the process of loose material transportation by a pneumatic-screw conveyor // INMATEH – Agricultural Engineering. 2021. P. 479–487.
23. Rybak T., Popovych P., Khomyk N., Dovbush T., Tson H. Simulation calculations on quasistatic strength of structural elements of heavily loaded agricultural machines // Visnyk KhNTUSH im. P. Vasylenka. 2013. P. 321–326.
24. Savinykh P. A., Turubanov N. V., Isupov A. Yu. Determination of optimal technological parameters of a horizontal mixer of loose compound feeds // Agricultural Science and Practice. – 2024.

## ДОДАТКИ