

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 застосування плющилки зерна ПЗ-3 на  
свинофермі для покращення засвоюваності кормів тваринами»

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

(шифр і назва спеціальності)

	_____	Канак Р.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

Канаку Руслану Васильовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Підвищення ефективності застосування плющилки зерна ПЗ-3 на свинофермі для покращення засвоюваності кормів тваринами»

Керівник роботи

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

(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 Удосконалення конструкції та режимів роботи плющилки

продуктивністю 3 т/год з метою підвищення якості плющення зерна та визначення енерговитрат.

4. Зміст роботи. Реферат. Вступ. 1. Огляд технологій подрібнення та плющення зернових кормів. 2. Удосконалення технологічного процесу плющення зернових кормів.

3. Проектування технологічного процесу та розрахунок параметрів плющильного агрегату ПЗ-3. 4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точних зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1-2. Мета, предмет, об'єкт, завдання. 3. Технологічні схеми подрібнення фуражного

зерна. 4. Схеми плющення фуражного зерна. 5. Аналіз технологій обробки

фуражного зерна та їх ефективності. 6. Плющення сухого фуражного зерна.

7. Плющення зволоженого фуражного зерна. 8. Конструкція та принцип роботи

плющилки зерна. 9. Схеми плющення зерна. 10. Конструктивна схема установки для

плющення зерна. 11. 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

26 січня 2026 року

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін етапів виконання роботи	Примітка
1	Огляд технологій подрібнення та плющення зернових кормів	до 20.02.2026	
2	Удосконалення технологічного процесу плющення зернових кормів	до 31.03.2026	
3	Проектування технологічного процесу та розрахунок параметрів плющильного агрегату ПЗ-3	до 30.04.2026	
4	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	до 12.05.2026	
5	Реферат. Вступ. Загальні висновки	до 20.05.2026	
6	Ілюстративний матеріал	до 05.06.2026	

Студент

\_\_\_\_\_

(підпис)

Канак Р.В.

\_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

(підпис)

Довбуш Т.А.

\_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

**Автор роботи** – Канак Руслан Васильович

**Тема роботи** – «Підвищення ефективності застосування плющилки зерна ПЗ-3 на свинофермі для покращення засвоюваності кормів тваринами». 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 (25 найменувань). Загальний обсяг текстової частини – 70 сторінок на яких є 16 рисунків.

**Актуальність теми роботи.** Підвищення ефективності технологічних процесів підготовки кормової сировини у сучасному тваринництві є важливим науково-прикладним завданням, що безпосередньо впливає на продуктивність тварин та економічну ефективність виробництва. Одним із ключових чинників, що визначає якість корму, є ступінь подрібнення фуражного зерна, який впливає на засвоюваність поживних речовин та інтенсивність обмінних процесів у тваринному організмі.

Недосконалість конструкцій подрібнювального обладнання або нераціональні режими його роботи призводять до формування нерівномірного подрібнення корму, підвищених енерговитрат та зниження ефективності використання кормових ресурсів. У цьому контексті вальцеві подрібнювачі (плющилки) є перспективним напрямом розвитку кормоприготувальної техніки, оскільки забезпечують більш щадний характер обробки зерна та збереження його поживної цінності.

Водночас ефективність їх роботи визначається комплексом конструктивно-режимних параметрів, що потребує подальших теоретичних та

експериментальних досліджень з метою оптимізації технологічного процесу плющення зернових кормів.

**Мета роботи:** Підвищення ефективності роботи плющильного агрегату ПЗ-3 на свинофермі шляхом обґрунтування та удосконалення його конструктивно-режимних параметрів з метою покращення якості підготовки кормів.

**Завдання:**

1. Проаналізувати сучасні технології підготовки та подрібнення фуражного зерна, а також роль збалансованої годівлі свиней у підвищенні продуктивності тварин.

2. Дослідити фактори, що впливають на ефективність процесу подрібнення зернових культур, та розглянути основні методи їх обробки.

3. Проаналізувати та порівняти технологічні схеми плющення зернових кормів і обґрунтувати раціональні рішення їх застосування.

4. Виконати розрахунок основних параметрів плющильного агрегату ПЗ-3 та оцінити енергетичні витрати технологічного процесу.

**Об'єкт дослідження:** технологічний процес підготовки та плющення фуражного зерна у кормоцехах свиноферм.

**Предмет дослідження:** конструктивно-режимні параметри плющильного агрегату ПЗ-3 та їх вплив на ефективність процесу підготовки кормів і засвоюваність зерна тваринами.

**Методи дослідження:** У роботі використано аналітичні, розрахунково-конструкторські та порівняльні методи дослідження, а також системний підхід до аналізу технологічних процесів підготовки та плющення фуражного зерна. Застосовано методи узагальнення для формування висновків щодо ефективності використання плющильного агрегату ПЗ-3 та удосконалення технології кормопідготовки.

**Практичне значення отриманих результатів.** Отримані результати можуть бути використані при удосконаленні технологічних процесів

підготовки фуражного зерна у кормоцехах свиноферм. Запропоновані підходи до оптимізації роботи плющильного агрегату ПЗ-3 дозволяють підвищити якість підготовки кормів, забезпечити більш рівномірний ступінь плющення зерна, знизити енергетичні витрати та покращити ефективність його засвоєння тваринами. Результати роботи також можуть бути застосовані при проектуванні та модернізації кормоприготувального обладнання на тваринницьких підприємствах.

**Ключові слова:** тваринництво, свиноферма, кормоцех, фуражне зерно, плющення, подрібнення, плющилка ПЗ-3, вальцевий агрегат, кормопідготовка, енергоефективність, засвоюваність кормів.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b> .....	8
<b>1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ ПОДРІБНЕННЯ ТА ПЛЮЩЕННЯ ЗЕРНОВИХ КОРМІВ</b> .....	10
1.1.Збалансований раціон відгодівлі свиней.....	10
1.2 Аналіз факторів подрібнення зернових культур.....	12
1.3 Методи подрібнення фуражного зерна.....	15
1.4. Технологічні етапи плющення зернових кормів.....	22
<b>2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПЛЮЩЕННЯ ЗЕРНОВИХ КОРМІВ</b> .....	27
2.1. Проста схема плющення сухого зерна.....	27
2.2.Схема плющення з попереднім очищенням зерна.....	29
2.3. Схема плющення з зволоженням зерна .....	31
2.4. Схема пропарювання та плющення.....	32
2.5. Рекомендації по вибору технологічної схеми плющення зернових культу. ....	34
<b>3 ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТА РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ПЛЮЩИЛЬНОГО АГРЕГАТУ ПЗ-3</b> .....	36
3.1 Дослідження технологічного процесу виробництва концентрованих кормів із застосуванням плющилки ПЗ-3. ....	36
3.2.Удосконалення технологічного процесу плющення фуражного зерна.....	41
3.3. Технологічні та конструктивні розрахунки плющильного агрегату для зернових культур .....	47
3.4. Визначення потужності приводу вальцевої плющильної машини .....	51
3.5. Розрахунок енергетичних витрат процесу пропарювання фуражного зерна для плющильного агрегату.....	53
3.6. Розрахунок енергетичних затрат на транспортування зерна.....	57
<b>4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ</b> .....	60
4.1 Заходи з охорони праці та техніки безпеки під час роботи з плющильним обладнанням і кормоприготувальними агрегатами .....	60
4.2 Санітарно-гігієнічне забезпечення безпечних умов праці при приготуванні кормів.....	62
4.3 Пожежна безпека та профілактика аварійних ситуацій у процесі приготування кормів .....	64
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	67
<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ</b> .....	68
<b>ДОДАТКИ</b> .....	71

## ВСТУП

Сучасний розвиток агропромислового комплексу України супроводжується необхідністю підвищення ефективності виробництва продукції тваринництва, зниження виробничих витрат та раціонального використання кормових ресурсів. Важливе місце у структурі галузі займає свинарство, ефективність якого значною мірою залежить від якості кормів і ступеня засвоєння їх поживних речовин організмом тварин. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває вдосконалення технологій підготовки кормів до згодовування.

Оснoву раціонів свиней становлять зернові корми, які є цінним джерелом енергії, протеїнів та вуглеводів. Проте поживні речовини цільного зерна не завжди повністю засвоюються через наявність міцної зовнішньої оболонки, яка обмежує доступ травних ферментів до внутрішніх структур зернівки. Це знижує ефективність використання кормів і збільшує витрати на виробництво продукції свинарства [8].

Одним із найбільш ефективних способів підготовки зерна до згодовування є плющення. У процесі такої обробки відбувається руйнування оболонки та деформація внутрішньої структури зерна, що сприяє підвищенню доступності поживних речовин для ферментативного перетравлення. Крім того, плющене зерно характеризується кращими технологічними властивостями, меншим вмістом пилоподібних частинок і нижчими втратами під час транспортування та згодовування.

Для реалізації процесу плющення на свинофермах широко застосовують плющилки зерна, серед яких значне поширення отримала плющилка ПЗ-3. Машина забезпечує якісну механічну обробку зернової сировини та може використовуватися для різних видів зернових культур. Водночас підвищення вимог до якості кормоприготування, продуктивності та енергоефективності

обладнання зумовлює необхідність удосконалення її конструктивно-технологічних параметрів [9].

Підвищення ефективності застосування плющилки ПЗ-3 дозволить покращити якість підготовки зернових кормів, збільшити ступінь засвоєння поживних речовин тваринами, зменшити витрати кормів на одиницю продукції та підвищити економічну ефективність свинарського виробництва. Тому вдосконалення технологічного процесу плющення зерна є актуальним науково-технічним завданням, вирішення якого має важливе практичне значення для сучасного тваринництва.

# 1 ОГЛЯД ТЕХНОЛОГІЙ ПОДРІБНЕННЯ ТА ПЛЮЩЕННЯ ЗЕРНОВИХ КОРМІВ

## 1.1. Збалансований раціон відгодівлі свиней

Повноцінна годівля свиней базується на принципі збалансування раціонів за основними поживними речовинами, зокрема енергією, сирим і перетравним протеїном, незамінними амінокислотами, мінеральними елементами та вітамінами відповідно до вікових, масових та фізіологічних особливостей тварин. Основною метою є забезпечення оптимальних умов для інтенсивного росту, відгодівлі, відтворення та підтримання фізіологічних функцій організму.

Формування раціонів свиней ґрунтується на дотриманні таких основних принципів [24]:

- Енергетична збалансованість – раціони повинні забезпечувати потребу тварин в обмінній енергії, при цьому основу кормової бази становлять концентровані корми з високим вмістом крохмалю.

- Оптимальний рівень протеїну – білкові компоненти є необхідними для синтезу тканин та інтенсивного росту м'язової маси.

- Збалансованість за амінокислотним складом – критично важливими є лізин, метіонін і триптофан, які визначають ефективність використання протеїну.

- Мінеральне живлення – забезпечення макро- та мікроелементами (кальцій, фосфор, натрій, залізо, цинк, мідь, марганець), що регулюють обмінні процеси та формування кісткової тканини.

- Вітамінне забезпечення – обов'язковою є наявність вітамінів А, D, Е та групи В, які впливають на імунітет, репродуктивну функцію та загальний фізіологічний стан тварин [7; 24;25].

Основні групи кормів, що використовуються у годівлі свиней, класифікуються за походженням, поживною цінністю та функціональним призначенням у раціоні. Такий поділ дозволяє раціонально формувати збалансовані комбіновані раціони відповідно до фізіологічних потреб тварин на різних етапах вирощування та відгодівлі.

До основних груп кормів у раціоні свиней належать:

1. Енергетичні корми – це основа раціону свиней, оскільки вони характеризуються високим вмістом обмінної енергії та крохмалю. До цієї групи належать жито, кукурудза, ячмінь, пшениця, овес та їхні суміші. Вони забезпечують енергетичні потреби організму, сприяють інтенсивному росту та відгодівлі тварин. Найбільш ефективним є використання подрібненого та плющеного зерна, що підвищує його засвоюваність.

2. Протеїнові корми. До цієї групи відносять макухи та шроти (соняшниковий, соєвий, ріпаковий), зернобобові культури (соя, горох), а також корми тваринного походження (рибне та м'ясо-кісткове борошно). Вони забезпечують організм незамінними амінокислотами, необхідними для формування м'язової тканини та нормального розвитку тварин.

3. Корми з високим вмістом вологи, до яких належать бульбоплоди (картопля), коренеплоди (буряк, морква), а також силос. Вони покращують перетравність раціону, підвищують його смакові якості та сприяють нормалізації роботи травної системи.

4. Зелені корми які використовуються переважно у літній період і включають трави природних та посівних луків, бобові та злакові культури. Вони є джерелом вітамінів, біологічно активних речовин і частково білка.

5. Грубі корми до яких належать сіно, солома та інші волокнисті корми. У годівлі свиней використовуються обмежено, переважно як добавка для нормалізації роботи шлунково-кишкового тракту та підвищення насиченості раціону клітковиною [13].

6. Вітамінні та мінеральні добавки – це окрема група кормових засобів, до яких відносять кухонну сіль, крейду, премікси, фосфати, вітамінні комплекси. Вони забезпечують баланс мінеральних речовин та вітамінів, які не можуть бути повністю отримані з основних кормів .

Приклад раціону для відгодівлі свиней (60–100 кг) наведений в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Збалансований раціон відгодівлі свиней

Корм	Частка
Ячмінь	40%
Пшениця	20%
Кукурудза	15%
Соевий шрот	15%
Висівки	5%
Премікс	1-2 %
Сіль + крейда	1%

Такий раціон забезпечує: 13-16 % сирого протеїну; 13-14 МДж обмінної енергії. Таким чином, раціон свиней формується на основі поєднання різних груп кормів з урахуванням їх енергетичної та поживної цінності, що дозволяє досягти високої продуктивності тварин і ефективного використання кормової бази [16].

## 1.2. Аналіз факторів подрібнення зернових культур

Попереднє подрібнення кормів є важливою технологічною операцією у системі підготовки кормової сировини, яка здійснюється перед згодовуванням тваринам або подальшою переробкою, зокрема змішуванням, гранулюванням чи плющенням. Його основне призначення полягає у підвищенні доступності

поживних речовин та забезпеченні більш ефективного використання кормів у годівлі тварин, особливо свиней та птиці [14;16].

З технологічної точки зору подрібнення кормів сприяє істотному підвищенню перетравності поживних речовин. У процесі механічного руйнування зерна з порушенням рослинних тканин та цілісності оболонок, які у природному стані ускладнюють доступ травних ензимів до внутрішніх компонентів. Завдяки цьому ензими травної системи тварин легше взаємодіють із вмістом клітин, що забезпечує більш повне засвоєння крохмалю, протеїнів та ліпідів. У результаті коефіцієнт перетравності корму може підвищуватися близько 20 %, що безпосередньо впливає ефективність використання кормової бази.

Важливим наслідком подрібнення є збільшення питомої поверхні кормових частинок. Зменшення їх розмірів призводить до багаторазового зростання площі контакту корму з травними соками у шлунково-кишковому тракті, що у свою чергу, прискорює процеси ферментативного розщеплення поживних речовин і сприяє більш швидкому та повному їх засвоєнню організмом тварини. Таким чином, подрібнення кормів сприяє не лише підвищенню їх перетравності, а й забезпечує більш ефективне використання енергетичного потенціалу кормової сировини організмом тварин, що в цілому підвищує продуктивність годівлі [9].

Однорідність розміру частинок є однією з ключових умов якісного змішування компонентів, оскільки вона забезпечує рівномірний розподіл поживних речовин у всій масі корму. Завдяки цьому запобігається розшаруванню суміші під час транспортування або зберігання, а також забезпечується рівномірне надходження мінеральних добавок та вітамінів у раціон тварин, що є важливим для підтримання стабільної годівлі.

Крім того, попереднє подрібнення значно підвищує ефективність наступних технологічних операцій. Зокрема, подрібнена сировина краще піддається гранулюванню, екструзуванню та плющенню, оскільки рівномірний

фракційний склад забезпечує стабільність процесів формування кормових гранул і підвищує їх якість. Без попереднього подрібнення ефективність цих операцій знижується, а енергетичні витрати зростають.

Не менш важливим є вплив ступеня подрібнення на споживання корму тваринами. Дрібніші частинки корму легше захоплюються, краще пережовуються та меншою мірою розсипаються під час годівлі це сприяє зменшенню втрат корму та підвищенню його фактичного споживання, а отже, покращує ефективність годівлі [10].

Таким чином, попереднє подрібнення кормів є комплексним технологічним процесом, який впливає як на фізико-механічні властивості кормової сировини, так і на фізіологічні процеси засвоєння поживних речовин. Оптимальний ступінь подрібнення визначається видом тварин, типом корму та технологією годівлі і наведений у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Рекомендований розмір частинок корму для тварин

Вид тварин	Рекомендований розмір частинок
Свині	0,8-1,8 мм
Птиця	0,5-1,5 мм
Велика рогата худоба	1,5-3 мм

Надмірно дрібне подрібнення кормової сировини є небажаним технологічним явищем, оскільки воно може спричиняти утворення значної кількості пилоподібної фракції, що призводить до втрат корму під час транспортування, зберігання та годівлі. Крім того, надмірно подрібнений корм може негативно впливати на фізіологічний стан тварин, зниження інтенсивності жування та викликати порушення травлення [9].

Необхідність попереднього подрібнення кормів полягає у цілеспрямованому руйнуванні структури кормової сировини, що забезпечує підвищення доступності поживних речовин для дії травних ферментів. У

процесі подрібнення збільшується питома поверхня кормових частинок, що покращує їх контакт із травними соками та сприяє більш інтенсивному ферментативному розщепленню органічних речовин [11].

Крім того, подрібнення є важливою умовою якісного змішування компонентів комбікормів, оскільки забезпечує однорідність кормової суміші та рівномірний розподіл поживних і мінеральних добавок. У результаті підвищується засвоюваність поживних речовин, покращується ефективність використання кормів та зростає продуктивність тваринництва в цілому.

### **1.3. Методи подрібнення фуражного зерна**

Методи подрібнення кормів – це способи механічного руйнування кормової сировини з метою зменшення її розмірів та підвищення доступності поживних речовин для тварин. У кормовиробництві застосовують кілька основних методів, які відрізняються характером механічного впливу на матеріал.

Ударний метод подрібнення здійснюється ударом робочих органів (молотків, бітерів) по частинках корму рисунок 1.1.

Принцип роботи полягає в тому, що кормовий матеріал безперервно надходить у робочу камеру подрібнювача, де під дією швидко обертового ротора з молотками піддається багаторазовим ударним впливам. У процесі взаємодії молотків із зерном або іншими видами кормів відбувається інтенсивне руйнування структури матеріалу за рахунок удару, розколювання та частково стирання. Подрібнені частинки проходять через сито відповідного розміру та виводяться з робочої зони, що забезпечує формування корму заданої фракції [9].

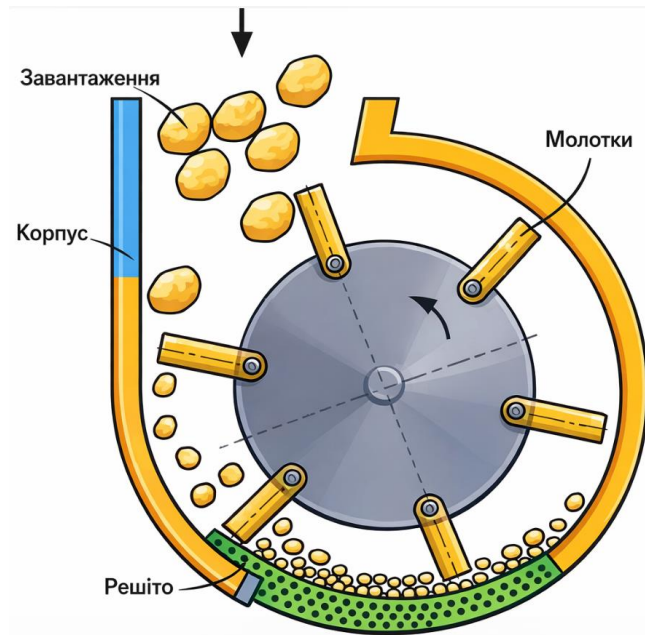


Рисунок 1.1 – Технологічна схема подрібнення фуражного зерна ударним методом

Перевагами таких машин є висока продуктивність, що дозволяє ефективно обробляти значні обсяги кормової сировини за одиницю часу, а також універсальність застосування, оскільки вони придатні для подрібнення різних видів зернових і грубих кормів. Крім того, молоткові подрібнювачі відзначаються простотою конструкції та відносною надійністю в експлуатації.

До недоліків слід віднести підвищене енергоспоживання, яке обумовлене інтенсивним ударним характером процесу подрібнення, а також значне утворення пилоподібної фракції, що може негативно впливати на умови праці та втрати корму [7;9;15].

Роздавлювальний (вальцевий) метод. Подрібнення у вальцевих машинах відбувається внаслідок проходження кормового матеріалу між двома валками, які обертаються назустріч один одному. У процесі роботи зерно або інший кормовий матеріал захоплюється валками, піддається стисканню та частковому зсуву, що призводить до руйнування його структури та отримання частинок заданого розміру. Ступінь подрібнення при цьому визначається величиною зазору між валками, їх швидкістю обертання та фізико-механічними

властивостями сировини [5].

До основних типів машин, що реалізують даний спосіб обробки, належать вальцеві дробарки (рис. 1.2) та плющильні машини (рис. 1.3).

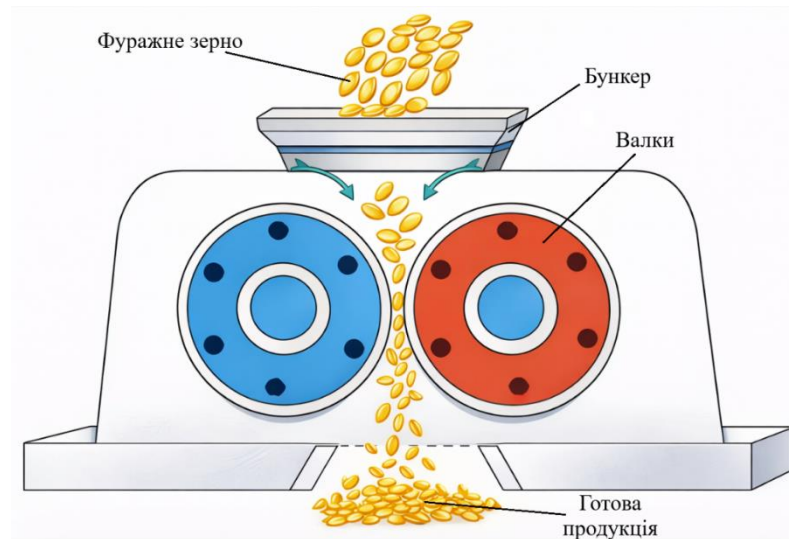


Рисунок 1.2 – Технологічна схема подрібнення фуражного зерна методом вальцевого подрібнення

*Бункер пропарювання  
фуражного зерна*

*Бункер пропареного  
фуражного зерна*

*Валки*

*Готова продукція,  
пластівці*



Рисунок 1.3. – Технологічна схема подрібнення фуражного зерна методом плющення

Вальцеві дробарки забезпечують більш інтенсивне подрібнення зерна за рахунок різниці швидкостей обертання валків та їх рифленої або гладкої

поверхні. Плющильні машини, у свою чергу, переважно застосовуються для отримання плющеного зерна, де основним процесом є розплющування, а не повне дроблення, що дозволяє зберігати частину структури зерна та підвищувати його засвоюваність.

Подрібнення кормів різанням здійснюється за допомогою робочих органів із різальними крайками, які порушують цілісність матеріалу та формують подрібнену масу з частинок необхідної крупності. Процес відбувається внаслідок взаємодії леза ножа з кормовою масою, що призводить до руйнування структурних зв'язків матеріалу по лінії різання. Даний метод характеризується відносно невеликими енерговитратами та забезпечує отримання однорідної фракції подрібненого продукту. Різальний спосіб широко застосовується для подрібнення зелених, соковитих і грубих кормів, зокрема трави, силосу, сінажу, коренебульбоплодів та інших рослинних матеріалів [13]. Схему реалізації різального методу подрібнення наведено на рисунку 1.4.



Рисунок 1.4 – Технологічна схема подрібнення кормів різанням

Машини даного методу застосовуються для подрібнення зеленої маси, силосу, сіна та соломи, забезпечуючи необхідний ступінь диспергування кормової сировини відповідно до технологічних вимог годівлі тварин.

До основних машин, що реалізують різальний спосіб подрібнення, належать корморізки та подрібнювачі зеленої маси, які оснащені ножовими робочими органами та забезпечують ефективне руйнування рослинних матеріалів шляхом різання [7;9].

Стирання, або абразивний метод подрібнення, ґрунтується на руйнуванні структури кормової сировини внаслідок інтенсивної взаємодії між робочими поверхнями, що рухаються з різними швидкостями або мають різний ступінь шорсткості. У процесі такого впливу матеріал зазнає багаторазових дотичних напружень, тертя та стирання, що призводить до поступового зменшення розмірів частинок і утворення дрібнодисперсної маси.

Механізм абразивного подрібнення полягає у тому, що кормова сировина потрапляє в зону контакту між робочими поверхнями (дисками, жорнами або іншими абразивними елементами), де під дією сил тертя відбувається руйнування її зовнішніх і внутрішніх структур. На відміну від різальних або ударних способів, абразивний метод характеризується поступовим зношуванням матеріалу, що забезпечує отримання особливо дрібних і відносно однорідних частинок [5;11].

Основними машинами, що реалізують абразивний принцип подрібнення, є дискові дробарки та жорнові млини. У дискових дробарках подрібнення здійснюється між двома дисками, один або обидва з яких можуть бути обертовими, а робочі поверхні мають спеціальний рельєф для підвищення ефективності стирання. Жорнові млини працюють за принципом розтирання матеріалу між двома кам'яними або металевими жорнами, що забезпечує інтенсивний абразивний вплив і високу ступінь подрібнення [9].

Абразивний метод характеризується отриманням дуже дрібних частинок кормової сировини, що особливо важливо при виробництві повнораціонних

комбікормів, преміксів та концентрованих кормових сумішей. Завдяки високому ступеню подрібнення покращується змішувальність компонентів, підвищується однорідність корму та поліпшується його засвоюваність тваринами.

Разом із тим, абразивне подрібнення супроводжується підвищеним енергоспоживанням та інтенсивним зношуванням робочих поверхонь обладнання, що потребує регулярного технічного обслуговування та контролю стану робочих органів. Крім того, надмірне подрібнення може призводити до утворення пилоподібної фракції, що вимагає застосування систем аспірації та пилопригнічення [1].

Схему реалізації абразивного методу подрібнення наведено на рисунку 1.5.



Рисунок 1.5 – Технологічна схема подрібнення фуражного зерна методом стирання

У сучасних технологічних лініях підготовки кормів широко застосовуються комбіновані способи подрібнення, що базуються на одночасній дії кількох механічних принципів руйнування матеріалу. Поєднання різних фізичних впливів дозволяє підвищити ефективність процесу та адаптувати його до властивостей різних видів кормової сировини.

Найбільш поширеними є такі комбінації способів подрібнення: ударна дія у поєднанні зі стиранням, ударна дія з різанням, а також роздавлювання із одночасним стиранням. Ударно-стирний спосіб забезпечує інтенсивне руйнування частинок за рахунок динамічного впливу та подальшого їхнього подрібнення між робочими поверхнями. Ударно-різальний механізм поєднує швидкісне руйнування матеріалу ударами та його подальше розділення ножовими елементами, що підвищує ступінь диспергування та рівномірність отриманої фракції. Роздавлювання зі стиранням передбачає первинну деформацію матеріалу під тиском із наступним його руйнуванням у результаті тертя між робочими поверхнями [1;9;12].

Застосування комбінованих способів подрібнення має низку технологічних переваг. По-перше, підвищується продуктивність машин за рахунок інтенсифікації процесу руйнування кормової сировини. По-друге, покращується якість подрібнення, що проявляється у більш однорідному гранулометричному складі готового продукту. По-третє, зменшуються питомі енерговитрати, оскільки поєднання різних механічних дій дозволяє ефективніше використовувати підведену енергію та знизити втрати на нераціональні деформації матеріалу.

Таким чином, комбіновані способи подрібнення є більш досконаліми з технологічної точки зору та широко застосовуються у сучасному кормовиробничому обладнанні, забезпечуючи стабільність процесу та високу якість підготовки кормів [9;13]

У таблиці 1.6 наведено рекомендації щодо вибору та використання машин для подрібнення кормової сировини залежно від її виду та фізико-механічних властивостей.

Таблиця 1.6 – Порівняння методів подрібнення кормів

Порівняння методів подрібнення		
Метод	Тип робочих органів	Основні корми
Ударний	молотки, бітери	зерно, комбікорми
Роздавлювальний (вальцеве подрібнення, плющення)	валки	зернові
Різальний	ножі	зелена маса, сіно
Стирання	диски, жорна	зерно, комбікорми

Методи подрібнення кормів відрізняються характером механічної дії на матеріал. У кормовиробництві найбільш поширеним є ударний метод, що реалізується в молоткових дробарках і забезпечує інтенсивне руйнування частинок. Для зернових кормів застосовують вальцеве подрібнення, яке базується на стисканні та зсуві між валками й дозволяє отримувати відносно рівномірну фракцію. Грубі та зелені корми переважно подрібнюють різальним способом, що забезпечує їх поділ на частинки заданої довжини.

#### 1.4. Технологічні етапи плющення зернових кормів

Плющення зернових кормів є технологічним процесом механічної, а за потреби й термічної обробки зерна, внаслідок якого зернина зазнає пластичної деформації та роздавлюється між робочими валками з утворенням плоских частинок (пластівців). Даний процес спрямований на підвищення засвоюваності

поживних речовин, поліпшення кормової цінності та підготовку зерна до подальшого використання у складі комбікормів.

Технологічний процес плющення зерна здійснюється послідовно та включає кілька взаємопов'язаних етапів [20].

Першим етапом є приймання та первинне накопичення зернової сировини. Зерно надходить у приймальні бункери, звідки за допомогою транспортних засобів (норій, шнекових транспортерів) подається до технологічної лінії. Основною функцією цього етапу є забезпечення безперервного та рівномірного живлення обладнання зерновим матеріалом.

Наступним етапом є очищення зерна від домішок, що включає видалення пилу, соломистих часток, каміння, металевих включень та інших сторонніх домішок. Для цього застосовують зерноочисні машини, ситові сепаратори та магнітні уловлювачі. Даний етап має суттєве значення, оскільки дозволяє знизити абразивне зношування робочих органів обладнання та підвищити якість кінцевого продукту [7;9;13].

У багатьох технологічних схемах передбачено етап кондиціонування зерна, який полягає у зволоженні, пропарюванні та подальшому витримуванні (темперуванні) сировини. Метою даної операції є підвищення пластичності зерна, розм'якшення оболонки та покращення умов його подальшої механічної деформації, що позитивно впливає на якість формування пластівців.

Основною технологічною операцією є безпосереднє плющення зерна, яке здійснюється шляхом пропускання матеріалу через систему валків, що обертаються назустріч один одному. Під дією стискальних і зсувних навантажень зернина руйнується та деформується, утворюючи пластівці заданої товщини. Регулювання ступеня плющення здійснюється шляхом зміни зазору між валками та режимів їх роботи.

Після завершення процесу, особливо у випадку попередньої гідротермічної обробки, корм може мати підвищену вологість і температуру, що потребує проведення додаткових операцій сушіння, охолодження та

інтенсивного вентилявання. Це забезпечує стабілізацію фізико-технологічних властивостей продукту та запобігає його псуванню під час зберігання [5;22].

Завершальний етап передбачає транспортування та накопичення готового продукту у бункерах, а також його подальше використання у складі комбікормів або подачу до систем роздавання кормів.

Загальна технологічна схема процесу плющення зерна має вигляд: приймання зерна → очищення → кондиціонування → плющення → сушіння та охолодження → транспортування та зберігання.

Таким чином, процес плющення зернових кормів є багатоступеневою технологічною операцією, у якій підготовчі етапи істотно впливають на ефективність основного процесу та якість отриманого кормового продукту.

Плющення кормів є технологічним процесом механічної обробки зернової сировини, що полягає у її роздавлюванні між валками, внаслідок чого зернина не подрібнюється повністю, а зазнає пластичної деформації з утворенням плоских частинок (пластівців). Даний спосіб обробки широко застосовується у тваринництві для підготовки зернових кормів (ячмінь, пшениця, кукурудза, овес та ін.) перед згодовуванням тваринам [9].

Сутність процесу полягає у пропусканні зерна між двома валками, що обертаються назустріч один одному (рис. 1.6). Під дією стискальних і зсувних навантажень зернина деформується, частково руйнується її оболонка та збільшується питома поверхня кормового матеріалу. При цьому внутрішня структура зерна зберігається значно краще порівняно з процесами дроблення або помелу, що є важливою технологічною перевагою.

Основними технологічними цілями плющення зернових кормів є:

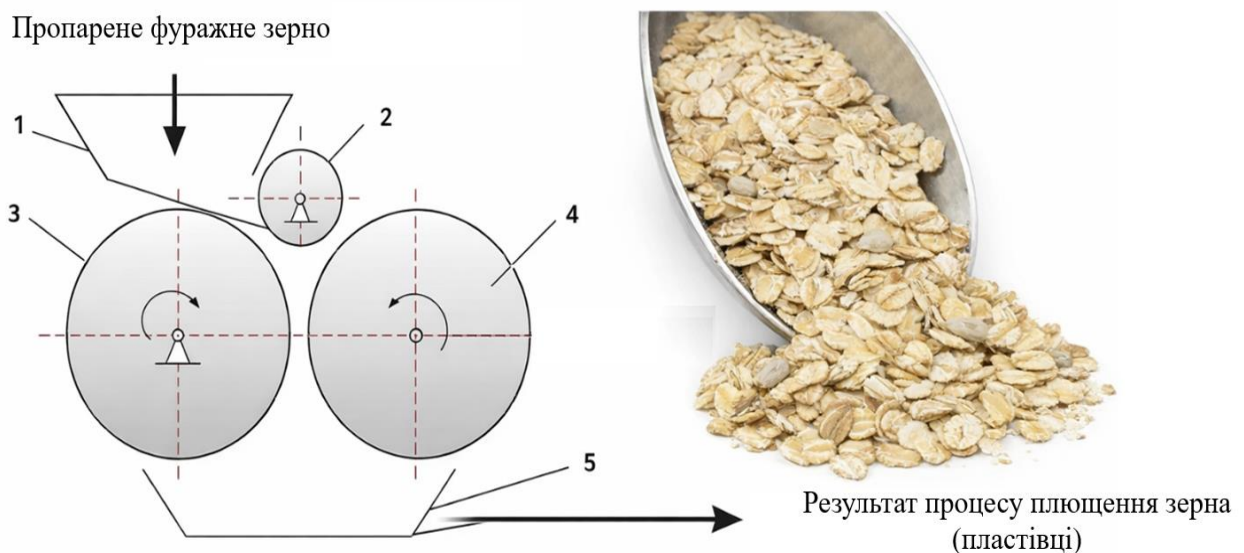
- підвищення перетравності корму. Руйнування оболонки зерна сприяє більш інтенсивному доступу травних ферментів до поживних речовин, що покращує їх засвоєння тваринами;

- збільшення доступності крохмалю. У результаті механічної деформації структура крохмальних гранул стає більш відкритою для ферментативного

впливу;

- зменшення втрат корму. Плющене зерно характеризується меншою пилоутворювальною здатністю та кращою утримуваністю у годівницях;
- покращення поїдання корму. Завдяки зміненій структурі та зручнішій формі корму підвищується його споживаність тваринами;
- зниження енерговитрат на перетравлення. Попередня механічна обробка сприяє зменшенню енергетичних витрат організму на травлення [9;24].

Плющенню найчастіше піддають такі зернові культури, як ячмінь, овес, пшениця, кукурудза та горох. Найбільш ефективним цей спосіб є при годівлі великої рогатої худоби, свиней та коней, оскільки дозволяє підвищити продуктивність тварин та покращити використання кормових ресурсів



1 – бункер; 2 – регулятор подачі зерна; 3,4 – валки; 5 – приймальний лоток.

Рисунок 1.6 – Схема процесу плющення зернових кормів

У таблиці 1.7 наведено порівняльний аналіз технологічних процесів плющення та подрібнення зернових кормів, що дозволяє оцінити їхні основні відмінності за характером механічної дії, ступенем впливу на структуру зерна, енерговитратами та якісними показниками отриманого кормового продукту.

Таблиця 1.7 – Порівняння плющення з дробленням фуражних кормів

Порівняння з дробленням		
Параметр	Плющення	Дроблення
Форма корму	пластівці	частинки
Пилення	дуже мале	більше
Перетравність	висока	висока
Енерговитрати	менші	більші
Втрати корму	мінімальні	більші

Технологічною особливістю процесу плющення порівняно з дробленням є його виконання після попереднього зволоження або пропарювання зернової сировини. Така підготовка забезпечує підвищення пластичності зерна, що сприяє формуванню більш тонких і рівномірних пластівців, а також покращує якість кінцевого кормового продукту та його засвоюваність [9:11].

## 2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПЛЮЩЕННЯ ЗЕРНОВИХ КОРМІВ

### 2.1. Проста схема плющення сухого зерна

Найпростішою та найбільш поширеною у практиці тваринницьких підприємств є технологічна схема плющення сухого зерна, яка застосовується переважно на фермах малої та середньої потужності (рис. 2.1). Її широке використання зумовлене конструктивною простотою, надійністю роботи обладнання, невисокими капітальними та експлуатаційними витратами, а також достатньою ефективністю для базової підготовки зернових кормів [9].

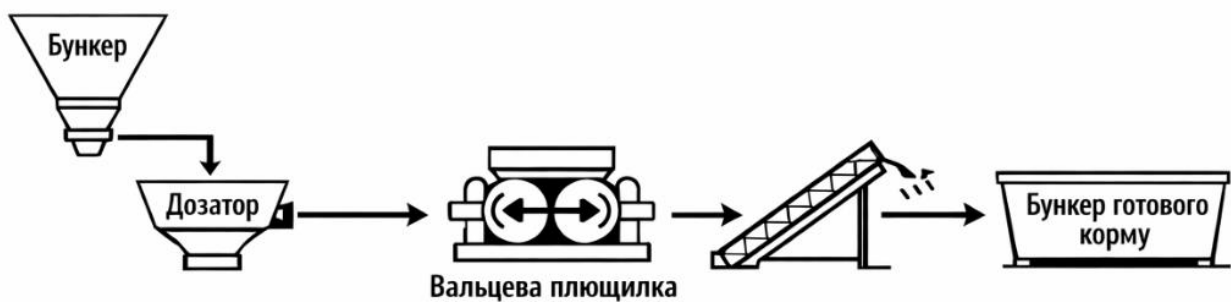


Рисунок 2.1 – Проста технологічна схема плющення зерна

Технологічний процес у даній схемі є безперервним і включає послідовність взаємопов'язаних операцій. На першому етапі зернова сировина надходить у приймальний бункер, який виконує функції тимчасового накопичення та вирівнювання потоку матеріалу. Наявність бункера дозволяє забезпечити стабільну роботу всієї технологічної лінії та уникнути перебоїв у подачі зерна до подальших машин.

З приймального бункера зерно транспортується до дозувального пристрою або живильника. Даний вузол є важливим елементом системи,

оскільки забезпечує регульовану та рівномірну подачу сировини до робочої зони плющення. Стабільність подачі безпосередньо впливає на якість отриманих пластівців, їхню однорідність за товщиною та ступінь механічної обробки [9;21].

Основною технологічною операцією є плющення зерна у вальцевій плющилці. У робочій зоні зернова маса проходить між двома валками, що обертаються назустріч один одному з різною або однаковою швидкістю (залежно від конструкції машини). Під дією стискальних і частково зсувних навантажень зернина зазнає пластичної деформації, при цьому руйнується її зовнішня оболонка, а внутрішня структура частково зберігається. У результаті формується продукт у вигляді пластівців заданої товщини та щільності. Регулювання ступеня плющення здійснюється зміною зазору між валками, їхньою швидкістю обертання, а також рівномірністю подачі зернової маси [7;9].

Після проходження зони плющення готовий продукт вивантажується і надходить до транспортуючих пристроїв – стрічкових транспортерів, шнеків або норій, які забезпечують його переміщення до місця подальшого накопичення. На завершальному етапі плющене зерно подається у бункери готового корму або безпосередньо у систему роздавання тваринам, залежно від організації технологічного процесу на фермі [9;15].

З технологічної точки зору дана схема може функціонувати як самостійна лінія або входити до складу більш складних комбінованих кормоприготувальних систем. У разі необхідності вона може доповнюватися вузлами очищення, кондиціонування або зволоження зерна, що дозволяє підвищити якість кінцевого продукту.

До основних переваг такої технологічної схеми належать простота конструктивного виконання, невелика енергоємність процесу, мінімальні вимоги до обслуговуючого персоналу, а також відносно низька вартість обладнання та його експлуатації. Крім того, схема забезпечує достатню продуктивність для умов невеликих та середніх господарств [9;11].

Разом із тим, слід відзначити певні технологічні обмеження. Зокрема, за відсутності етапів гідротермічної обробки рівень засвоюваності поживних речовин у плющеному зерні є нижчим порівняно з термічно обробленими кормами. Також обмежується можливість глибокої зміни структури зернового крохмалю, що впливає на швидкість його перетравлення у травному тракті тварин.

## 2.2. Схема плющення з попереднім очищенням зерна

Схема плющення з попереднім очищенням зерна застосовується переважно у господарствах із високою продуктивністю, де висувуються підвищені вимоги до якості кормової сировини та надійності роботи технологічного обладнання (рис. 2.2). Використання даної схеми дозволяє забезпечити захист робочих органів машин від абразивного та механічного зношування, а також підвищити якість кінцевого кормового продукту за рахунок вилучення сторонніх домішок [7;9].

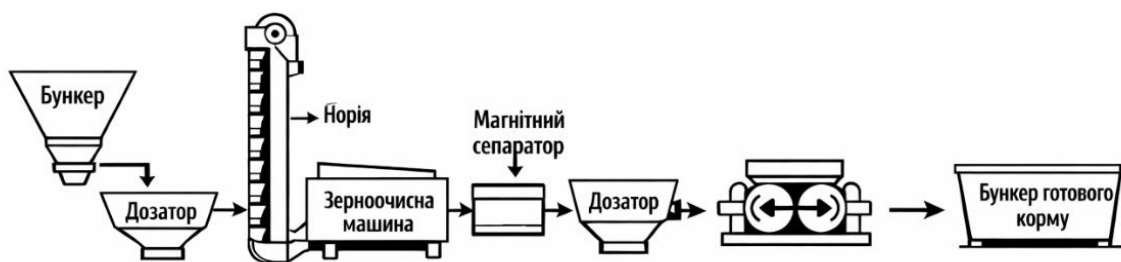


Рисунок 2.2 – Технологічна схема плющення з попереднім очищенням зерна

Технологічний процес плющення зернових кормів із попереднім очищенням здійснюється послідовно. На першому етапі зернова сировина надходить у приймальний бункер, де відбувається її накопичення та вирівнювання потоку для забезпечення стабільної подачі в технологічну лінію.

Із бункера зерно транспортується за допомогою норії або стрічкового транспортера до вузла очищення.

На етапі попереднього очищення зерно проходить через зерноочисну машину, де з його маси видаляються домішки органічного та мінерального походження, зокрема пил, частки соломи, насіння бур'янів, лушпиння та каміння. Це сприяє підвищенню якості сировини, зменшенню ризику пошкодження обладнання та стабілізації технологічного процесу.

Додатково очищене зерно направляється до магнітного сепаратора, призначеного для вилучення металевих включень. Дана операція є важливою з точки зору техніки безпеки та збереження працездатності плющильного обладнання, оскільки запобігає пошкодженню валків та інших робочих органів.

Після очищення зернова маса надходить у дозувальний пристрій, який забезпечує рівномірну та регульовану подачу матеріалу до робочої зони плющилки. Стабільність дозування є одним із ключових факторів, що визначає однорідність та якість отриманих пластівців [8;9;17].

Основною технологічною операцією є плющення зерна у вальцевій плющилці, де матеріал проходить між двома валками, що обертаються назустріч один одному. Під дією стискальних і частково зсувних навантажень зерно зазнає пластичної деформації, руйнується його оболонка та формується продукт у вигляді пластівців заданої товщини. Регулювання ступеня плющення здійснюється шляхом зміни зазору між валками та режимів подачі сировини.

На завершальному етапі плющене зерно транспортується від плющилки за допомогою транспортера готового продукту та спрямовується до місця зберігання або подальшого використання у годівлі тварин.

Призначення обладнання даної технологічної схеми полягає у:

- видаленні каміння, металевих включень, соломи та інших домішок;
- зниженні інтенсивності зношування робочих органів плющилки;
- підвищенні якості та однорідності плющеного корму;
- забезпеченні стабільності технологічного процесу.

### 2.3. Схема плющення з зволоженням зерна

Схема плющення із попереднім зволоженням зерна застосовується з метою підвищення його пластичних властивостей та поліпшення умов механічної обробки перед плющенням (рис. 2.3). Використання даної технології є доцільним у випадках, коли необхідно отримати більш тонкі, рівномірні та якісні пластівці з підвищеною засвоюваністю поживних речовин.

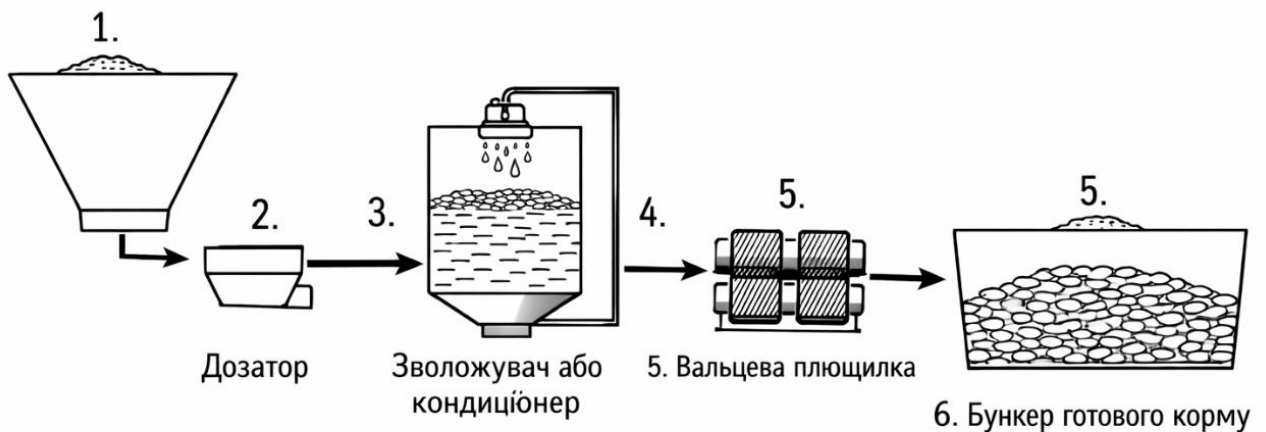


Рисунок 2.3 – Проста технологічна схема плющення зерна

Технологічний процес починається з надходження зернової сировини з приймального бункера до технологічної лінії. Далі за допомогою дозувального пристрою забезпечується рівномірна та регульована подача зерна у зволожувальний апарат або кондиціонер. У даному обладнанні здійснюється контрольоване зволоження зерна водою або пароводяною сумішшю, що призводить до підвищення його вологовмісту та пластичності, а також сприяє частковому розм'якшенню зовнішніх оболонок [9;11].

Після етапу зволоження зернова маса надходить у витримувальний бункер, де відбувається процес темперування. Цей етап є технологічно важливим, оскільки забезпечує рівномірний розподіл вологи в структурі зернини, стабілізацію її фізико-механічних властивостей та додаткове

розм'якшення оболонки. Темперування сприяє підвищенню ефективності подальшого механічного впливу у процесі плющення.

Підготовлене таким чином зерно подається до вальцевої плющилки, де воно проходить між двома валками, що обертаються назустріч один одному. Під дією стискальних і частково зсувних навантажень зернина зазнає пластичної деформації, її оболонка руйнується, а внутрішня структура ущільнюється з утворенням пластівців заданої товщини та щільності. Регулювання якості готового продукту здійснюється шляхом зміни ступеня зволоження, тривалості витримки та зазору між валками [12;23].

Готовий плющений корм транспортується за допомогою транспортера або подається у накопичувальний бункер, звідки спрямовується на зберігання або безпосереднє використання у годівлі тварин чи при приготуванні комбікормів.

Перевагами даної технологічної схеми є забезпечення більш рівномірного процесу плющення, зменшення ступеня руйнування зерна на дрібну фракцію, формування тонших і більш однорідних пластівців, а також підвищення загальної якості та засвоюваності кормового продукту. Крім того, попереднє зволоження сприяє зниженню пилоутворення під час обробки зерна та покращенню умов праці операторів.

#### **2.4. Схема пропарювання та плющення**

Найбільш ефективною технологічною схемою підготовки зернової сировини, яка широко застосовується на сучасних комбікормових підприємствах, є схема пропарювання з подальшим плющенням (рис. 2.4). Її використання забезпечує глибоку фізико-хімічну модифікацію структури зерна та дозволяє отримати високоякісний корм із підвищеною поживною цінністю та засвоюваністю.



Рисунок 2.4 – Технологічна схема пропарювання з плющенням зерна (парове плющення)

Технологічний процес парового плющення зернових кормів здійснюється у чітко регламентованій послідовності. На першому етапі зернова сировина надходить у приймальний бункер, де здійснюється її накопичення та вирівнювання потоку з метою забезпечення стабільної подачі у технологічну лінію. Далі зерно транспортується до вузла очищення, де за допомогою ситових сепараторів та магнітних уловлювачів видаляються механічні домішки, пил, каміння та металеві включення. Це дозволяє підвищити надійність роботи обладнання та покращити якість кінцевого продукту [9;13;22].

Після очищення зернова маса надходить у паровий кондиціонер, де обробляється насиченою водяною парою. У результаті даної операції відбувається підвищення вологості та температури зерна, часткове розм'якшення його зовнішніх оболонок, а також підготовка до подальших інтенсивних термічних перетворень.

Наступним етапом є пропарювальна камера, у якій зерно витримується протягом визначеного технологічного часу. У цей період відбувається більш глибоке прогрівання зернової маси, часткова клейстеризація крохмалю, а також вирівнювання вологості по всьому об'єму зернини. Ці процеси суттєво покращують його структурні властивості та створюють оптимальні умови для подальшого механічного плющення [11].

Після термічної обробки зерно надходить у вальцеву плющилку, де проходить між двома валками, що обертаються назустріч один одному. Під дією стискальних і зсувних навантажень зернина зазнає пластичної деформації та перетворюється у пластівці заданої товщини та щільності. Якість процесу залежить від режимів пропарювання, вологості сировини та точності регулювання зазору між валками.

Отримані гарячі та зволожені пластівці надходять на етап сушіння, де відбувається зниження їх вологості до нормативного рівня, необхідного для тривалого зберігання. Після цього продукт проходить охолодження до температури навколишнього середовища з метою стабілізації його фізико-технологічних властивостей та запобігання самонагріванню. Завершальним етапом є транспортування та накопичення готового продукту у бункерах або подальше використання у складі комбікормів. [9;13]

Перевагами даної технологічної схеми є суттєве підвищення перетравності та засвоюваності корму, часткова клейстеризація крохмалю, покращення смакових властивостей, а також підвищення загальної поживної цінності кормової продукції. Крім того, термічна обробка сприяє зниженню мікробіологічного навантаження та підвищує стабільність зберігання корму.

## **2.5. Рекомендації по вибору технологічної схеми плющення зернових культур**

На основі даних таблиці 2.1 здійснюється вибір технологічної схеми плющення зерна залежно від типу та виробничої потужності фермерського господарства, рівня його технічного оснащення, а також вимог до якості готового корму. Врахування зазначених факторів дозволяє обґрунтувати раціональну технологічну лінію, яка забезпечує оптимальне поєднання продуктивності, енергоефективності та якості отриманого кормового продукту.

Таблиця 2.1 – Порівняння технологічних схем плющення зернових кормів

Порівняння технологічних схем			
Схема	Складність	Якість корму	Продуктивність
Проста	низька	середня	середня
З очищенням	середня	висока	висока
З зволоженням	середня	висока	середня
Пропарювання + плющення	висока	дуже висока	дуже висока

Технологічні схеми плющення кормів поділяються на прості та багатостадійні залежно від кількості операцій попередньої підготовки зернової сировини. У фермерських господарствах найчастіше застосовується проста схема плющення сухого зерна, яка характеризується мінімальною кількістю технологічних етапів та невисокими енерговитратами [17].

На комбикормових підприємствах перевага надається складним багатостадійним схемам, що включають операції очищення, зволоження або пропарювання зерна перед його плющенням. Застосування таких технологій забезпечує більш глибоку зміну структури зернової сировини, підвищення перетравності та поживної цінності корму, а також покращення його технологічних і зоотехнічних показників.

### **3. ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТА РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ПЛЮЩІЛЬНОГО АГРЕГАТУ ПЗ-3**

#### **3.1. Дослідження технологічного процесу виробництва концентрованих кормів із застосуванням плющилки ПЗ-3.**

Машини та обладнання, що використовуються у складі кормоцеху, повинні відповідати сукупності технологічних, експлуатаційних вимог та санітарно-гігієнічних. Їх застосування не має негативно впливати на фізіологічний стан тварин або знижувати рівень їх продуктивності. Обладнання повинно забезпечувати безпечні умови праці для персоналу, працювати з мінімальним рівнем шуму, а також не спричиняти забруднення виробничих приміщень шкідливими газами, мастильними матеріалами та іншими потенційно небезпечними токсичними речовинами. Конструктивне виконання робочих органів має гарантувати зручність очищення, миття та дезінфекції відповідно до чинних санітарних норм [6;7].

Лінія приготування кормів розміщується у кормоцеху і являє собою комплекс обладнання, призначеного для виконання основних технологічних операцій: подрібнення грубих і зернових кормів, мінеральних добавок, миття та подрібнення коренеплодів, дозування компонентів, їх змішування та формування кормових сумішей. Крім того, кормоцех повинен мати систему забезпечення теплою водою, необхідною для реалізації окремих технологічних процесів [9;13].

Технологічна схема приготування кормів має забезпечувати безперервну подачу сировини до відповідних машин і агрегатів без використання ручної праці. Для підтримання належних санітарних умов після завершення кожного циклу приготування та роздавання кормів необхідно проводити ретельне очищення й промивання обладнання кормоцеху.

Одним із перспективних напрямів підготовки концентрованих кормів є застосування сплющеного фуражного зерна як альтернатива традиційному корму. Для підвищення перетравності зернової маси достатньо частково порушити цілісність зовнішньої оболонки зернівки та утворити внутрішні мікротріщини, що забезпечує більш ефективне проникнення травних соків у структуру зерна.

Використання зернових пластівців у раціонах жуйних тварин позитивно впливає на роботу рубця та сприяє нормалізації його моторної функції. Водночас надто дрібний помел може призводити до порушень травлення та небажаних фізіологічних наслідків. Особливо важливим це є під час вирощування та відгодівлі молодняку сільськогосподарських тварин [19;21].

Технологія заготівлі та зберігання вологого зерна з подальшим плющенням дає змогу значно знизити втрати врожаю, особливо у разі несприятливих погодних умов під час збирання. Такий спосіб сприяє збереженню поживної цінності зернової сировини та підвищує ефективність її використання у тваринництві.

Практичний досвід роботи технологічних ліній показує, що обробка зерна методом плющення має низку переваг у порівнянні з традиційним дробленням. Зокрема, вона забезпечує більш повне засвоєння поживних речовин, що сприяє підвищенню продуктивності тварин і збільшенню виходу продукції на одиницю витраченого корму.

Порівняльний аналіз існуючих методів підготовки зерна до згодовування свідчить, що для забезпечення високої ефективності технологічної лінії виробництва концентрованих кормів доцільним є використання зернових плющилок. Їх застосування дозволяє сформувати оптимальну структуру кормового матеріалу та підвищити його поживну цінність [9].

Технологія плющення зерна широко використовується у тваринництві економічно розвинених країн, зокрема Німеччини, США, Нової Зеландії та інших держав із високим рівнем розвитку кормовиробництва.

Поширення плющильного обладнання зумовлене його низькою енергоємністю, простою конструкцією та тривалим строком експлуатації. Завдяки цим перевагам воно забезпечує економічно доцільну підготовку зернових кормів у господарствах різного виробничого спрямування.

Основним робочим органом більшості сучасних плющилок є пара вальців, що обертаються назустріч один одному. Під час проходження між вальцями зерно піддається стисканню та деформації, у результаті чого утворюються пластівці заданої товщини.

Серед вітчизняних машин цього типу найбільшого поширення набула плющилка зерна ПЗ-3. Вона призначена для волого-теплової обробки та плющення фуражного зерна різних культур, зокрема кукурудзи, ячменю та вівса, з метою отримання високоякісних кормових пластівців. Технологічна схема установки та принципова схема процесу плющення зерна наведені на рисунках 3.1 і 3.2.



Рисунок 3.1 – Технологічна схема обробки фуражного зерна методом плющення.

Технологічний процес плющення фуражного зерна здійснюється таким чином. У бункер подається зерно в необхідній кількості, що забезпечує безперервну роботу машини. Далі через дозувальний пристрій регулюється надходження сировини до пропарювача, де зерно зволожується та підігрівається до заданої температури, що підвищує його пластичність [9;13;17].

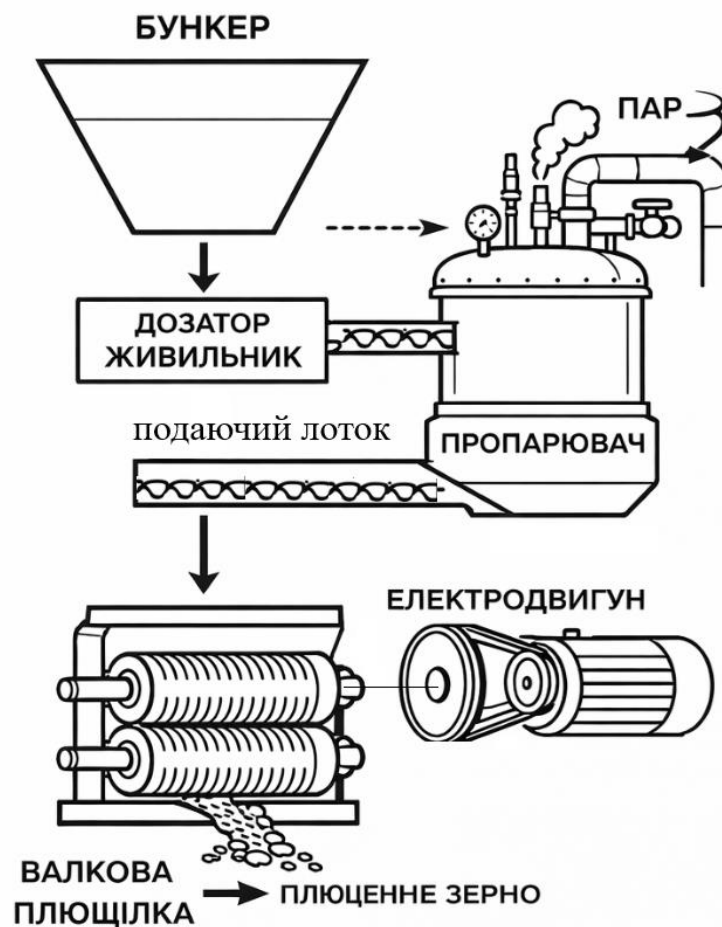
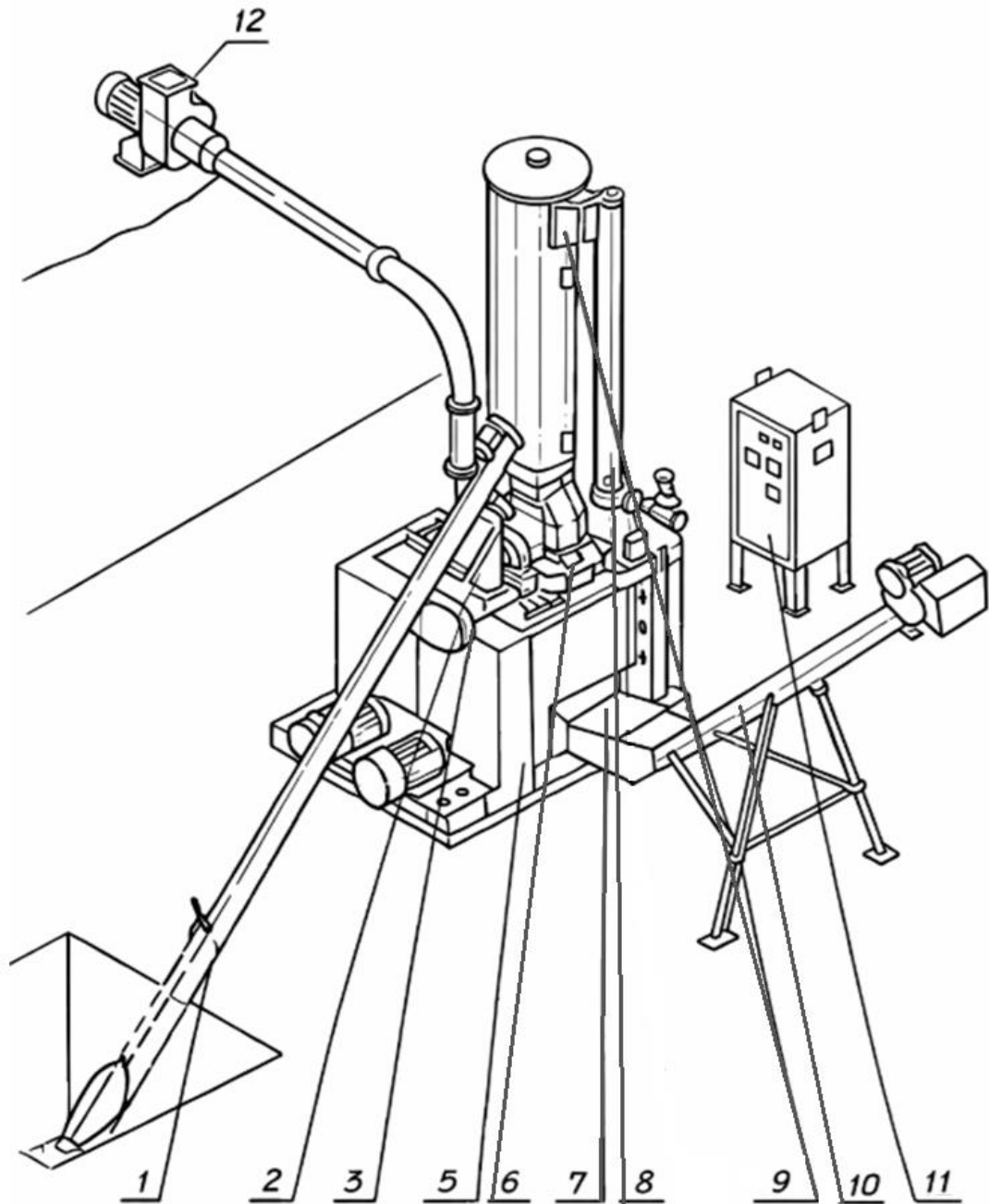


Рисунок 3.2 – Схематичне зображення процесу плющення фуражного зерна

Подаючий лоток забезпечує рівномірний розподіл зерна по всій довжині робочих валків. Основний етап плющення виконується двома валками, які обертаються назустріч один одному. Отриманий продукт – плющене зерно – накопичується у відповідних ємностях для подальшого використання при приготуванні кормосумішей.



1 – завантажувальний конвеєр; 2 – магнітний сепаратор; 3 – горизонтальний транспортер; 4 – вентиляційна система; 5 – плющильний агрегат; 6 – дозувальний пристрій;  
 7 – перехідний патрубок; 8 – вертикальний транспортер; 9 – пропарювальна камера; 10 – розвантажувальний конвеєр; 11 – шафа керування;  
 12 – вентилятор.

Рисунок. 3.3 – Схематичне представлення процесу плющення зерна.

Плющильний агрегат ПЗ-3 призначений для експлуатації у закритих виробничих приміщеннях за температури навколишнього середовища від 0-

+36 °С. Конструкція машини передбачає наявність пропарювача, що дає змогу отримувати пластівці із сухого зерна завдяки попередній волого-тепловій обробці. Це сприяє підвищенню якості готового корму та покращує засвоєння поживних речовин тваринами [10].

Основні технічні характеристики агрегату ПЗ-3 такі: стаціонарне виконання; продуктивність 3-5 т/год залежно від виду та вологості зерна; мінімальна товщина пластівців – 0,45 мм; частота обертання плющильних вальців – 360 об/хв; робочий тиск пари у системі пропарювання – 50–70 кПа; витрата пари – до 300 кг/год. Загальна встановлена потужність електроприводів становить 38,65 кВт, маса агрегату – 3850 кг. Габаритні розміри – 6900 × 5500 × 6560 мм, що необхідно враховувати під час його розміщення у кормоцеху.

### **3.2 Удосконалення технологічного процесу плющення фуражного зерна.**

З метою підвищення продуктивності та ефективності роботи плющильного агрегату запропоновано вдосконалення його конструкції шляхом модернізації технологічного процесу підготовки та обробки зернової сировини. Технологічну схему функціонування модернізованої плющильної машини наведено на рис. 3.3.

Суть запропонованого удосконалення полягає у включенні до технологічної лінії додаткового пристрою для уловлювання сторонніх домішок, який забезпечує очищення зернової маси від механічних включень перед її подачею до робочих органів плющильної машини. Реалізація такого рішення сприяє зниженню інтенсивності зношування деталей обладнання, підвищенню надійності та довговічності його роботи, а також покращенню якості отриманого кормового продукту .

Додатково для транспортування зерна між окремими етапами технологічного процесу передбачено використання шнекових транспортерів. Їх застосування забезпечує безперервне переміщення зернової сировини, знижує втрати матеріалу під час транспортування, спрощує конструктивне виконання транспортної системи та сприяє підвищенню загальної ефективності й продуктивності технологічної лінії [4].

Впровадження запропонованих конструктивних удосконалень забезпечує підвищення надійності роботи плющильного агрегату, покращення якості підготовки фуражного зерна перед плющенням та зменшення експлуатаційних витрат у процесі виробництва концентрованих кормів. Крім того, модернізація сприяє підвищенню ефективності технологічного процесу та стабільності роботи обладнання.



Рисунок 3.4 – Технологічні операції модернізованої плющильної машини.

Для приймання та підготовки зернової сировини використовується ємність 1 (рис. 3.5), оснащена шнеками 2, 3 і 4. За їх допомогою здійснюється подача, транспортування, часткове очищення та дозування зернового матеріалу перед його надходженням до сепарувального пристрою [4;5].

У верхній частині завантажувального конвеєра встановлено приймальну горловину з ґратами 5, які призначені для затримання крупних сторонніх домішок, зокрема грудок ґрунту, каміння та інших твердих включень.

Очищення грат здійснюється автоматично за допомогою гребінця, закріпленого на лопатях шнека, що забезпечує безперервність технологічного процесу.

Для вилучення домішок (металовмісних) у конструкції передбачено магнітний сепаратор, у бічних кришках якого встановлені постійні магніти 6. Під час проходження зернового потоку через сепаратор металеві частинки притягуються до магнітної поверхні та утримуються на ній, що запобігає їх потраплянню до робочих органів обладнання [9].

Після завершення роботи кришку сепаратора відкривають і видаляють накопичені металеві домішки. Магнітний сепаратор встановлено на приймальній горловині горизонтального шнекового конвеєра, безпосередньо під розвантажувальним отвором завантажувального конвеєра.

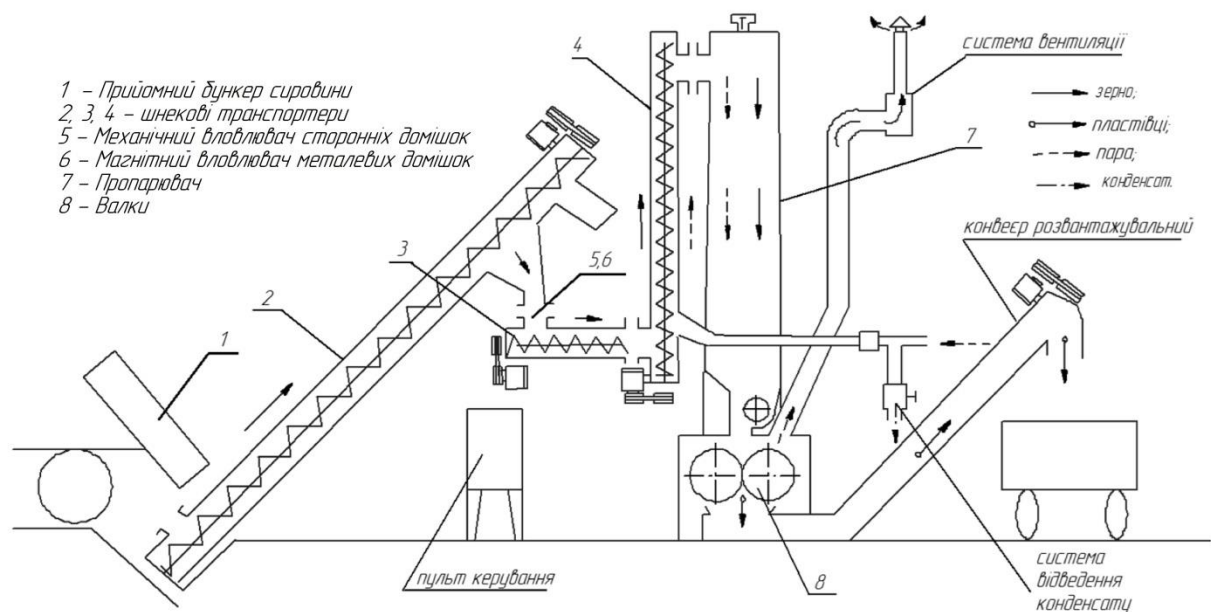


Рисунок 3.5 – Конструкторсько-технологічна схема плющильного агрегату для обробки зерна.

Подача попередньо очищеного зерна до пропарювача 7 здійснюється за допомогою завантажувального конвеєра. Після проходження через магнітний сепаратор зернова сировина надходить на горизонтальний шнековий конвеєр, який водночас виконує функції транспортуючого органа пропарювача. Під час переміщення зерно рівномірно розподіляється по робочому об'єму

пропарювальної камери, де піддається волого-тепловій обробці перед наступним етапом плющення.

Подача пари до пропарювача здійснюється від котла-парогенератора, який забезпечує всі необхідні параметри обробки зернової маси. Конструкція вертикального шнекового конвеєра пропарювача передбачає спеціальну заслінку, що регулює подачу пари до робочої зони установки [9;24].

Контроль процесу пропарювання здійснюється за допомогою контрольно-вимірювальних приладів. Необхідний тиск пари підтримується у межах 130-170 кПа та контролюється манометром. Для безпечної експлуатації обладнання встановлено запобіжний клапан, який спрацьовує при досягненні тиску 110-115 кПа. Температура пари підтримується в діапазоні 105-130 °С та контролюється термометром.

Попередня волого-теплова обробка зернової маси здійснюється у вертикальному шнековому конвеєрі пропарювача. Конструктивно пропарювач містить запобіжний клапан, датчик контролю рівня зерна, оглядове вікно для візуального спостереження за перебігом технологічного процесу, горизонтальний і вертикальний шнекові конвеєри, а також вентиляційний отвір для відведення надлишкової пари.

Після етапу пропарювання зерно надходить на стадію темперування. У цей період відбувається рівномірне розподілення вологи по всьому об'єму зернівки. Якщо після пропарювання основна частина вологи залишається на поверхні зерна, то під час темперування вона поступово мігрує у внутрішні шари, забезпечуючи рівномірне зволоження та створюючи оптимальні умови для подальшого плющення. Процес темперування реалізується в колонці пропарювача [3;9].

Подача зерна до плющильного механізму здійснюється за допомогою дозатора, який забезпечує рівномірне надходження сировини в робочу зону. Регулювання продуктивності агрегату виконується шляхом зміни положення дозувальної заслінки.

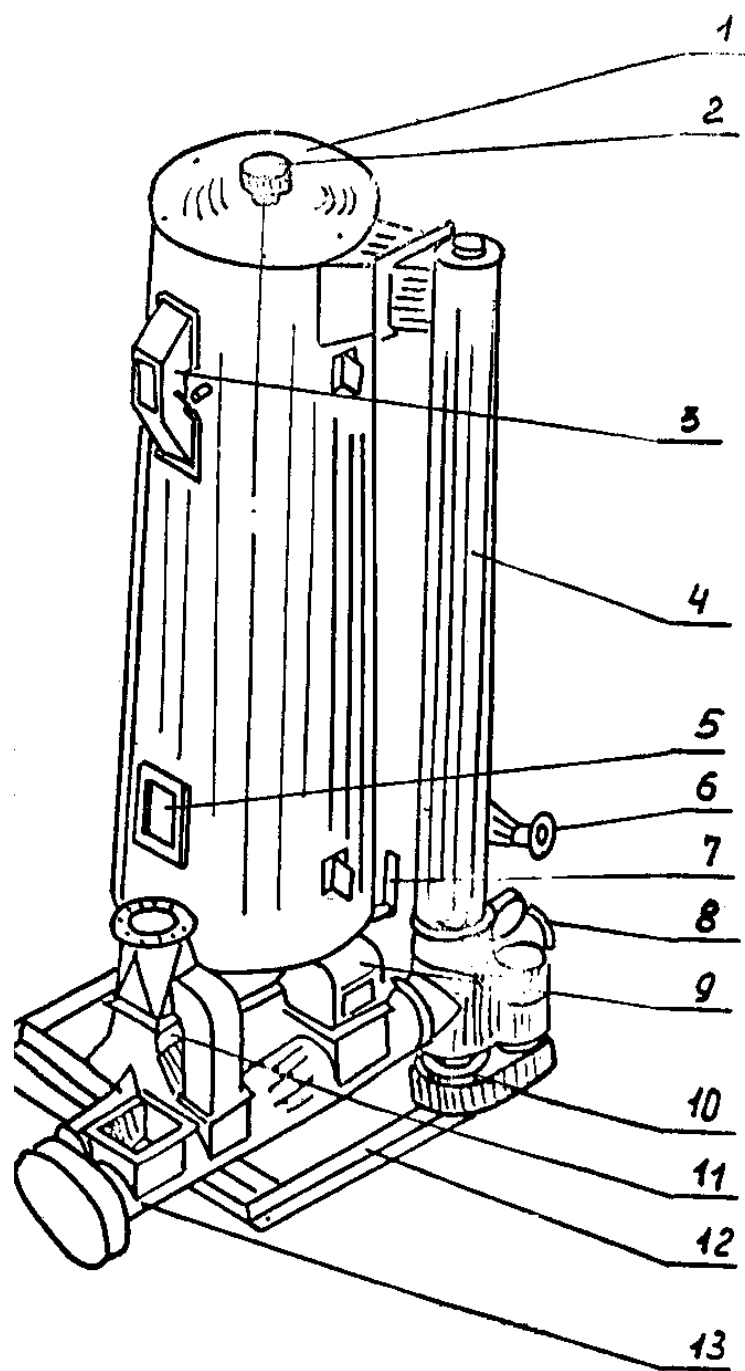
Безпосереднє плющення зерна відбувається між двома гладкими вальцями 8, встановленими на спільній рамі. Один із вальців є рухомим відносно іншого, що дозволяє регулювати міжвальцевий зазор відповідно до заданої товщини готових пластівців. Для запобігання перевантаженням і захисту механізму корпуси підшипників одного з вальців змонтовані через пружинні амортизатори, які гасять ударні навантаження та забезпечують стабільну роботу плющильного агрегату. Загальний вигляд пропарювача зерна подано на рис. 3.6.

У випадку потрапляння твердих сторонніх включень один із вальців має можливість пружного відходу, що забезпечує проходження стороннього предмета через робочу зону без пошкодження робочих поверхонь вальців.

Під вальцями розташовано перехідний лоток, який спрямовує сформовані пластівці до розвантажувального конвеєра. Видалення налиплих частинок продукту з поверхні вальців здійснюється за допомогою спеціальних очищувальних пристроїв [9].

Видалення відпрацьованої пари з зони плющильних вальців і горизонтального конвеєра пропарювача здійснюється за допомогою системи вентиляції. Вентилятор цієї системи встановлюється на кронштейнах, закріплених до зовнішньої стіни виробничого приміщення, та з'єднується з плющильним агрегатом через мережу повітропроводів. Випускний патрубок вентилятора оснащується захисним козирком, що запобігає потраплянню атмосферних опадів і сторонніх предметів у вентиляційну систему [4;13].

Вивантаження готових пластівців здійснюється за допомогою розвантажувального конвеєра, який забезпечує безперервне та рівномірне транспортування продукту до наступної технологічної операції або місця фасування.



1 – корпус; 2 – запобіжний клапан; 3 – датчик рівня; 4 – вертикальний шнековий конвеєр; 5 – оглядове вікно; 6 – сопла для подачі пари; 7 – термометр; 8 – манометр; 9 – рециркуляційний патрубок; 10 – регульовальна заслінка; 11 – вентиляційний розтруб; 12 – система трубопровідної обв’язки; 13 – горизонтальний шнековий конвеєр.  
 Рисунок. 3.6 – Пропарювач зерна

### 3.3. Технологічні та конструктивні розрахунки плющильного агрегату для зернових культур

Технологічний розрахунок плющильного агрегату для зернових культур виконується з метою встановлення його основних робочих характеристик, зокрема продуктивності, пропускної здатності робочої зони, частоти обертання вальців, швидкості захоплення зерна, величини міжвальцевого зазору, питомих енерговитрат і потужності приводу. Вихідними параметрами для розрахунку є фізико-механічні властивості зернової маси, необхідний ступінь деформації зернівки, задана продуктивність обладнання та конструктивна схема його робочих органів [3;10].

Плющення зерна являє собою процес механічної деформації зернівки між двома вальцями, у результаті якого відбувається її сплющування та часткове руйнування оболонки, що забезпечує більш доступний вплив травних ферментів на внутрішні структури зерна. Ефективність даного процесу визначається вологістю та температурою зернової маси, лінійною швидкістю обертання вальців, співвідношенням їх діаметра до товщини шару продукту, а також величиною робочого зазору між вальцями [10].

Продуктивність машини для плющення становить  $Q_m = 3$  т/год. Продуктивність машини визначається з урахуванням коефіцієнта використання часу та нерівномірності подачі [3;7]:

$$Q = Q_m \cdot \eta_n, \quad (3.1)$$

де  $\eta_n$  – коефіцієнт реального використання пропускної здатності, ( $\eta_n = 0,25 \dots 0,40$ ) приймаємо  $\eta_n = 0,25$ .

$Q_m$  – продуктивність плющилки (теоретична).

Визначаємо теоретичну продуктивність:

$$Q_m = \frac{Q}{\eta_n} = \frac{3}{0,25} = 12 \text{ т/год.}$$

Теоретична продуктивність плющилки визначається за формулою:

$$Q_m = 3600 \cdot \rho \cdot A \cdot v \cdot \varphi, \quad (3.2)$$

де  $\rho$  – насипна густина зерна,  $\rho = 700 \text{ кг/м}^3$ ;

$A$  – площа живого перерізу потоку матеріалу,  $\text{м}^2$ ;

$v$  – швидкість проходження зерна через робочу зону,  $v = 2,5 \text{ м/с}$ ;

$\varphi$  – коефіцієнт заповнення робочого простору  $\varphi = 0,65$ ; 3600 – коефіцієнт переведення у  $\text{кг/год}$ .

Площа живого перерізу:

$$A = L \cdot h, \quad (3.3)$$

де  $L$  – довжина вальців,  $\text{м}$ ;

$h$  – середня товщина в зоні захоплення,  $h = 0,025 \text{ м}$ ;

$v$  – швидкість проходження зерна через робочу зону,  $v = 2,5 \text{ м/с}$ ;

Тоді:

$$Q_m = 3600 \cdot \rho \cdot L \cdot h \cdot v \cdot \varphi \quad (3.4)$$

На основі отриманої залежності визначають робочу довжину вальців:

$$L = \frac{Q_m}{3600 \cdot \rho \cdot h \cdot v \cdot \varphi} = \frac{12 \cdot 10^3}{3600 \cdot 700 \cdot 0,0025 \cdot 2,5 \cdot 0,65} = 1,179 \text{ м} = 1179 \text{ мм.}$$

Приймаємо  $L = 1200 \text{ мм}$ .

Мінімальний діаметр вальців, що забезпечує захоплення зерна та його подачу в зону плющення, визначається вихідним приведеним розміром

зернівки.  $d$ , коефіцієнта тертя зерна по поверхні вальців  $f$  і зазору  $\delta$ . З урахуванням співвідношення діаметра плющильного вальця та типу приводу мінімальний діаметр визначають за відповідною розрахунковою формулою:

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

де  $d$  – діаметр зерна;

$\varphi$  – кут тертя зерна;

$\delta$  – зазор між вальцями

Кут тертя зерна об поверхню вальців визначають із умови надійного затягування зерна в міжвальцевий зазор. Для забезпечення цього процесу необхідно виконання умови захоплення, яка встановлює відповідне співвідношення між кутом захоплення та іншими параметрами процесу.  $\alpha$  і кутом тертя  $\varphi$ :

$$\alpha \leq 2\varphi. \quad (3.6)$$

Кут тертя знаходять із виразу:

$$\tan \varphi = f, \quad (3.7)$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя зерна по поверхні вальця.

Для рифлених вальців  $f = 0,30 \dots 0,35$ . Приймаємо  $f = 0,35$ .

$$\varphi = \arctan(0,35) \approx 19,5^\circ.$$

Отже,

$$2\varphi = 38,6^\circ.$$

Робочий зазор між вальцями є одним із основних параметрів плющильного агрегату. Його величина визначається розмірами зернівки та заданим ступенем її деформації.

Визначають за формулою:

$$\delta = k \cdot b, \quad (3.8)$$

де  $\delta$  – середній параметри зернівки, мм;

$k$  – коефіцієнт деформації, 0,35-0,60.

Для ячменю середня товщина зернівки  $b=3,5$  мм,  $k=0,45$ , тоді

$$\delta = 0,45 \cdot 3,5 = 1,58 \text{ мм.}$$

Приймаємо значення робочого зазору:

$$\delta = 1,5 \dots 1,6 \text{ мм.}$$

Для кукурудзи зазор може бути більшим – 2,0-3,0 мм, залежно від розміру зерна та попереднього зволоження.

Отже,

$$D_{\min} = \frac{3,5 \cdot \cos 19,3 - 1,6}{1 - \cos 19,3} = 304,1 \text{ мм.}$$

Враховуючи, що розроблювана плющилка зерна може використовуватися для обробки різних фуражних культур (зокрема кукурудзи), які характеризуються відмінними розмірами зернівок, а також з урахуванням стандартних розмірів вальців і коефіцієнта технологічної надійності, приймаємо відповідне значення параметра. [9;10;11]  $D_{\min} = 450$  мм.

Для розрахунку живильника, завантажувального бункера та забезпечення рівномірності подачі зерна до вальцевої пари використовують такі показники [3;7]:

$$q = \frac{Q}{3600} = \frac{3000}{3600} = 0,833 \text{ кг/с.}$$

Об'ємна витрата визначається як:

$$q_V = \frac{q}{\rho} = \frac{0,833}{700} = 0,00119 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

Технологічні та конструктивні розрахунки плющильного агрегату для зернових культур дозволяють обґрунтувати вибір основних параметрів машини та забезпечити її ефективну й надійну роботу. На основі виконаних розрахунків визначаються раціональні значення продуктивності, геометричних розмірів робочих органів, режимів роботи вальців та інших конструктивних характеристик. Це дає змогу забезпечити стабільність технологічного процесу плющення, отримання якісного готового продукту та оптимізацію енергетичних витрат.

#### **3.4. Визначення потужності приводу вальцевої плющильної машини.**

Потужність, необхідна для процесу плющення зерна, визначається на основі питомих енерговитрат:

$$N = \frac{Q \cdot e}{3600 \cdot \eta}, \quad (3.9)$$

де  $e$  – питомі енерговитрати, Дж/кг або кВт·год/т;

$\eta$  – загальний ККД приводу.

Для плющення зерна питомі енерговитрати орієнтовно становлять:

- сухе зерно: 4-8 кВт·год/т;

- зволожене зерно: 2,5-5 кВт·год/т.

Приймаємо:  $e = 6$  кВт·год/т,  $\eta = 0,85$ .

Тоді:

$$N = \frac{3 \cdot 6}{0,85} = 21,18 \text{ кВт.}$$

Для забезпечення надійної роботи приводу з урахуванням пускових навантажень та нерівномірності подачі матеріалу передбачають запас потужності в межах 10-20 %.

$$N_{BCT} = 1,15 \cdot 21,18 = 24,36 \text{ кВт.}$$

Отже, доцільно прийняти до використання електродвигун потужністю:

$$N_{ДВ} = 22 \text{ або } 30 \text{ кВт.}$$

Вибір потужності електродвигуна здійснюється з урахуванням режиму роботи плющильного агрегату, виду перероблюваного зерна, ступеня його підготовки (зокрема наявності попереднього пропарювання), а також характеру навантажень, що виникають у процесі плющення. Оскільки технологічний процес характеризується змінними навантаженнями та можливими піковими значеннями опору, потужність приводу повинна забезпечувати стабільну роботу обладнання без перевантажень [4;7;9;11].

Для плющильного агрегату продуктивністю близько 3 т/год за умов обробки переважно фуражних культур раціональним є застосування електродвигуна потужністю близько 22 кВт, що забезпечує достатній запас по крутному моменту та стійкість роботи в номінальному режимі. У випадку обробки більш щільних або вологих зернових мас, а також при ускладнених умовах експлуатації доцільно передбачати встановлення двигуна підвищеної потужності – до 30 кВт, що дозволяє компенсувати зростання енерговитрат і забезпечити надійність роботи агрегату в пікових режимах навантаження.

### 3.5. Розрахунок енергетичних витрат процесу пропарювання фуражного зерна для плющильного агрегату.

Пропарювання фуражного зерна перед етапом плющення застосовують для підвищення пластичності зернівки, зниження її крихкості та поліпшення умов деформування між вальцями. У процесі тепловологої обробки відбувається розм'якшення оболонки та внутрішніх структур зерна, а також часткова зміна структурно-механічних властивостей ендосперму, що зменшує ймовірність надмірного подрібнення до борошнистої фракції. У результаті забезпечується формування більш однорідних пластівців і зниження питомих енерговитрат безпосередньо на стадії плющення.

Енергетичний розрахунок процесу пропарювання полягає у визначенні кількості теплоти, необхідної для нагрівання вихідної маси зерна до температури кондиціонування, а також, за потреби, для його додаткового зволоження за рахунок конденсації пари. Загальні витрати теплової енергії визначаються продуктивністю установки, початковою та кінцевою температурою зернової маси, її вологістю, тривалістю процесу пропарювання, а також втратами теплоти в навколишнє середовище [9;10;15].

Під час пропарювання фуражного зерна необхідно забезпечити тепловий вплив, за якого зернова маса нагрівається до температури, що є достатньою для поліпшення її технологічних властивостей перед подальшим проходженням через вальці. Для більшості зернових культур, які використовуються у тваринництві, температура кондиціонування після пропарювання зазвичай становить близько 55-75 °С, а вологість зерна може підвищуватися на декілька відсоткових пунктів залежно від обраного режиму тепловологої обробки.

Загальна потреба в теплоті визначається як сума [3;7]:

$$Q_0 = Q_1 + Q_2, \quad (3.10)$$

де  $Q_1$  – теплота на нагрівання зерна;

$Q_2$  – теплота на нагрівання вологи, що міститься у зерні.

Кількість теплоти, необхідна для нагрівання зерна, визначається за формулою:

$$Q = mc\Delta t, \quad (3.11)$$

де  $m$  – маса зерна, кг;

$c$  – середня питома теплоємність зерна, кДж/(кг·К);

$\Delta t$  – приріст температури, °С або К.

Для фуражного зерна середню питому теплоємність у технічних розрахунках приймають у межах  $c=1,5-1,8$  кДж/(кг·К), а для зволоженого зерна – дещо вище.

Для розрахункового прикладу приймемо  $c=1,65$  кДж/(кг·К).

Зміна температури:

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 65 - 15 = 50^\circ \text{C},$$

де  $t_1$  - початкова температура зерна, °С;

$t_2$  - кінцева температура після пропарювання °С.

Кількість теплоти на нагрівання 3000 кг зерна за годину:

Таким чином, для нагрівання зернової маси до заданої температури необхідно теплоти:

$$Q = 3000 \cdot 1,65 \cdot 50 = 247500 \text{ кДж/год} = 247,5 \text{ МДж/год.}$$

У процесі пропарювання відбувається не лише нагрівання, а й часткове зволоження зерна внаслідок конденсації пари на його поверхні та дифузійного проникнення вологи всередину зернівки [3;10].

Приріст вологості дорівнює:

$$\Delta W = W_2 - W_1,$$

де  $W_1$  – початкова вологість зерна становить  $W_1 = 14\%$ ;

$W_2$  – після пропарювання вологість зерна,  $W_2 = 18\%$ .

Маса додатково внесеної води на 3000 кг зерна:

$$m_B = \frac{3000 \cdot 4}{100} = 120 \text{ кг/год.}$$

Ця вода подається у вигляді водяної пари, яка конденсується на поверхні зерна. Під час конденсації 1 кг водяної пари виділяється прихована теплота пароутворення, яка за інженерних розрахунків приймається рівною приблизно  $r=2250-2260$  кДж/кг.

Приймаємо  $r=2257$  кДж/кг.

Тоді кількість теплоти, що передається зерну під час конденсації 120 кг пари, становить:

$$Q = m_B \cdot r.$$

$$Q = 120 \cdot 2257 = 270840 \text{ кДж/год} = 270,84 \text{ кДж/год}$$

Отже,

$$Q_0 = Q_1 + Q_2 = 247,5 + 270,84 = 518,34 \text{ МДж/кг.}$$

Ця теплота використовується як джерело для нагрівання та зволоження зернової маси. Для забезпечення відповідної кількості енергії необхідно витратити певний об'єм природного газу, який визначається розрахунковим шляхом:

$$v_0 = \frac{Q_0}{q}, \quad (3.12)$$

де  $q$  - питома теплоємність природного газу,  $q = 35 \text{ МДж/м}^3$ ,

$$v_0 = \frac{518,34}{35} = 14,8 \text{ м}^3.$$

Проведені розрахунки свідчать, що енергетичні витрати на процес пропарювання фуражного зерна становлять суттєву частку загального енергоспоживання плющильної лінії. Водночас така попередня обробка забезпечує значні технологічні переваги, зокрема зменшення ступеня руйнування зерна до дрібнодисперсної фракції, покращення форми одержуваних пластівців, зниження питомих механічних витрат на процес плющення, а також підвищення поживної цінності корму завдяки кращій доступності поживних речовин для засвоєння.

Для зменшення енергетичних витрат доцільно передбачити такі заходи:

- теплоізоляцію пропарювальної камери для мінімізації теплових втрат у навколишнє середовище;
- забезпечення рівномірної та дозованої подачі зерна з метою стабілізації теплового режиму процесу;
- організацію подачі пари з мінімальними втратами в трубопровідних комунікаціях;
- зменшення непродуктивного відведення конденсату та його раціональне використання;
- узгодження тривалості пропарювання з продуктивністю вальців плющильного агрегату для забезпечення безперервності технологічного процесу.

### 3.6. Розрахунок енергетичних затрат на транспортування зерна

Витрати потужності на переміщення зерна та відвантаження готових пластівців визначаємо як суму потужностей окремих транспортуючих механізмів, що входять до складу технологічної лінії [1;3;7].

Потужність, необхідна для роботи завантажувального шнекового конвеєра, обчислюється за залежністю:

$$N_1 = N_{p1} \cdot L_1, \quad (3.13)$$

де  $N_{p1}$  – питомі витрати потужності на 1 м довжини шнека при частоті

обертання 190 об/хв і куті нахилу шнека  $\beta = 45^\circ$ ,  $N_{p1} = 0,065$  кВт / м;

$L_1$  – довжина транспортуючої ділянки,  $L_1 = 7$  м.

Після підстановки числових значень одержимо:

$$N_1 = 0,065 \cdot 7 = 0,455 \text{ кВт.}$$

Потужність горизонтального шнекового конвеєра визначаємо за виразом:

$$N_2 = N_{p2} \cdot L_2, \quad (3.14)$$

де  $N_{p2}$  – питомі витрати потужності для горизонтального шнека при

частоті обертання 150 об / хв і кут нахилу шнека  $\beta = 0^\circ$ ,  $N_{p2} = 0,025$  кВт / м;

$L_2$  – довжина переміщення матеріалу.,  $L_2 = 1,5$  м.

$$N_2 = 0,025 \cdot 1,5 = 0,037 \text{ кВт.}$$

Потужність вертикального шнекового транспортера розраховуємо за формулою:

$$N_3 = N_{p3} \cdot L_3, \quad (3.15)$$

де  $N_{p3}$  – питомі витрати потужності для вертикального шнека при частоті

обертання 150 об / хв і куті нахилу шнека  $\beta = 90^\circ$ ,  $N_{p3} = 0,163$  кВт / м;

$L_3$  – довжина переміщення транспортування,  $L_3 = 5$  м.

$$N_4 = 0,163 \cdot 5 = 0,815 \text{ кВт.}$$

Для визначення потужності приводу розвантажувального скребкового конвеєра використовуємо залежність:

$$N_4 = K_m \cdot N_k, \quad (3.16)$$

де  $K_m$  – коефіцієнт, що враховує нахил конвеєра до горизонту; при куті  $\beta = 45^\circ$

приймаємо,  $K_m = 1,35$ ;

$N_k$  – базова потужність скребкового конвеєра, кВт.

$$N_k = N_{p4} \cdot L_4, \quad (3.17)$$

де  $N_{p4}$  – питомі витрати потужності на 1 м довжини скребкового конвеєра,

$N_{p4} = 0,041$  кВт / м;

$L_4$  – довжина транспортуючої ділянки,  $L_4 = 3,5$  м.

$$N_k = 0,041 \cdot 3,5 = 0,144 \text{ кВт,}$$

$$N_4 = 1,35 \cdot 0,144 = 0,194 \text{ кВт.}$$

Сумарну потужність, необхідну для транспортування фуражного зерна та відведення готових пластівців, визначаємо як суму потужностей усіх транспортуючих механізмів:

$$N_T = N_1 + N_2 + N_3 + N_4 = 0,455 + 0,037 + 0,845 + 0,194 = 1,531 \text{ кВт.} \quad (3.18)$$

Отже, сумарна потужність дозволяє врахувати внесок кожного елемента системи в загальне енергоспоживання та комплексно оцінити витрати енергії на процес переміщення зернової сировини і готового продукту. Отримані залежності є основою для подальшого аналізу енергоефективності та обґрунтування раціональних режимів роботи обладнання.

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

### **4.1 Заходи з охорони праці та техніки безпеки під час роботи з плющильним обладнанням і кормоприготувальними агрегатами**

Експлуатація плющилки зерна ПЗ-3 та кормоприготувальних агрегатів пов'язана з дією низки небезпечних і шкідливих виробничих факторів, серед яких рухомі механізми, обертові робочі органи, підвищений рівень шуму, пилу, вібрації та небезпека ураження електричним струмом. Тому забезпечення безпечних умов праці є важливою складовою організації технологічного процесу приготування кормів.

До роботи на плющильному обладнанні допускаються особи, які пройшли медичний огляд, вступний та первинний інструктаж з охорони праці, ознайомлені з будовою обладнання, правилами його експлуатації та вимогами безпеки. Працівники повинні бути забезпечені спецодягом, спецвзуттям та іншими засобами індивідуального захисту відповідно до чинних норм [2].

Перед початком роботи необхідно провести зовнішній огляд обладнання, перевірити справність захисних кожухів, огорожень, механізмів передачі руху, електрообладнання та системи заземлення. Особливу увагу слід приділяти надійності кріплення валків, стану приводних ременів і наявності захисних пристроїв, що запобігають доступу до рухомих частин машини під час роботи.

Пуск обладнання дозволяється здійснювати лише після перевірки відсутності сторонніх предметів у робочій зоні та подачі попереджувального сигналу працівникам, які перебувають поблизу. Під час роботи забороняється відкривати захисні кожухи, виконувати очищення, регулювання або ремонт механізмів, а також наближати руки чи інші частини тіла до рухомих елементів агрегату.

Особливу небезпеку становлять завантажувальні та вивантажувальні пристрої, транспортуючі механізми, шнеки та валкові робочі органи. Для

запобігання травматизму всі небезпечні зони повинні бути обладнані стаціонарними огороженнями. Конструкція огорожень має виключати можливість випадкового контакту працівника з рухомими деталями під час виконання виробничих операцій [6].

Під час роботи плющильного обладнання утворюється зерновий пил, який негативно впливає на органи дихання та може створювати вибухонебезпечні концентрації у повітрі виробничих приміщень. Для зменшення запиленості необхідно використовувати ефективні системи вентиляції та регулярно проводити очищення робочих зон від пилу і кормових залишків. Працівники повинні користуватися засобами захисту органів дихання при виконанні робіт у запилених умовах.

Важливою умовою безпечної експлуатації є забезпечення електробезпеки. Усі металеві частини обладнання, які можуть опинитися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції, повинні бути надійно заземлені. Електродвигуни, пускова апаратура та кабельні лінії повинні відповідати вимогам чинних нормативних документів і проходити регулярний технічний контроль. Забороняється працювати на обладнанні з пошкодженою ізоляцією проводів або несправними електрозахисними пристроями.

У разі виникнення стороннього шуму, підвищеної вібрації, перегрівання підшипників, заклинювання механізмів чи інших несправностей обладнання необхідно негайно зупинити агрегат та відключити його від електромережі. Усунення несправностей дозволяється проводити лише після повної зупинки всіх рухомих частин і вжиття заходів, що виключають випадковий пуск машини [15].

Технічне обслуговування та ремонт плющилки ПЗ-3 і кормоприготувальних агрегатів повинні виконуватися відповідно до встановленого графіка. При проведенні ремонтних робіт необхідно використовувати справний інструмент та суворо дотримуватися вимог безпеки.

Після завершення ремонту проводиться перевірка працездатності обладнання та надійності встановлення всіх захисних пристроїв.

#### **4.2 Санітарно-гігієнічне забезпечення безпечних умов праці при приготуванні кормів**

Санітарно-гігієнічні вимоги до кормоприготувального відділення ґрунтуються на необхідності забезпечення безпечних умов праці, збереження здоров'я персоналу та підтримання нормативного стану виробничого середовища в процесі експлуатації технологічного обладнання. У межах кормоприготування основними гігієнічно значущими факторами є параметри мікроклімату, запиленість повітря, шум, вібрація та загальний санітарний стан приміщень, які у сукупності формують умови праці та визначають рівень професійного ризику.

Мікроклімат виробничих приміщень повинен підтримуватися у межах нормативних значень температури, відносної вологості та швидкості руху повітря, оскільки їх відхилення призводить до порушення терморегуляції організму працівників, підвищення втомлюваності та зниження працездатності. Особливо важливим є забезпечення стабільних умов у зонах інтенсивної роботи кормоприготувального обладнання, де можливі локальні перегріви повітря [2].

Суттєвим гігієнічним фактором є запиленість повітря робочої зони, яка виникає внаслідок механічної обробки, транспортування та плющення зернової сировини. Органічний пил характеризується високою дисперсністю та тривалим перебуванням у зваженому стані, що зумовлює його проникнення в органи дихання. Перевищення допустимих концентрацій пилу може спричинити розвиток хронічних захворювань дихальної системи, алергічних реакцій та загальне зниження функціонального стану організму, тому

першочергового значення набуває організація ефективного пиловидалення та вентиляції [6;13].

Вентиляційні системи повинні забезпечувати нормативний повітрообмін, зниження концентрації шкідливих домішок та стабілізацію параметрів повітряного середовища. Ефективна робота припливно-витяжної вентиляції дозволяє запобігати накопиченню пилу та формуванню застійних зон, що є важливим як з гігієнічної, так і з пожежної точки зору.

Додатковими шкідливими факторами є виробничий шум і вібрація, що виникають під час роботи плющильного та транспортного обладнання. Їх тривалий вплив негативно позначається на нервовій системі, сприяє розвитку стомлюваності та зниженню уваги, що підвищує ризик виробничого травматизму. Зменшення цих впливів досягається шляхом технічного удосконалення обладнання, застосування віброгасних елементів і шумопоглинальних конструкцій, а також своєчасного технічного обслуговування [13].

Важливим елементом санітарно-гігієнічного забезпечення є підтримання належного санітарного стану приміщень, що передбачає регулярне очищення поверхонь від пилу та залишків кормів, недопущення їх накопичення у важкодоступних місцях і своєчасне видалення відходів виробництва. Недотримання цих вимог не лише погіршує гігієнічні умови праці, але й сприяє підвищенню пожежної небезпеки.

Для зниження впливу шкідливих виробничих факторів працівники повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту, зокрема протипиловими респіраторами, захисними окулярами, спецодягом та засобами захисту слуху за потреби. Їх застосування є обов'язковим елементом системи профілактики професійних захворювань і виробничого травматизму.

Таким чином, санітарно-гігієнічні вимоги до кормоприготувального відділення мають комплексний характер і спрямовані на мінімізацію впливу шкідливих факторів виробничого середовища. Їх дотримання забезпечує

створення безпечних умов праці, збереження здоров'я персоналу та підвищення загальної ефективності технологічного процесу.

### **4.3 Пожежна безпека та профілактика аварійних ситуацій у процесі приготування кормів**

Пожежна безпека процесів приготування кормів є складною багатофакторною системою, що формується під впливом властивостей сировини, конструктивних особливостей обладнання та умов експлуатації технологічних ліній. Основними чинниками підвищеної пожежної небезпеки виступають наявність значної кількості органічних горючих матеріалів (зерно, комбікорми, домішки рослинного походження), інтенсивне утворення зернового пилу, а також використання електрифікованого технологічного обладнання з обертовими та тертьовими вузлами [2;6].

Зерновий пил є найбільш небезпечним компонентом виробничого середовища, оскільки характеризується високою питомою поверхнею, здатністю до швидкого окиснення та утворенням вибухонебезпечних пилоповітряних сумішей. При досягненні певної концентрації пилу в повітрі та наявності джерела займання можливий розвиток вибухового горіння. Ініціюючими факторами можуть виступати електричні іскри, статичні розряди, локальний перегрів підшипникових вузлів, а також тертя або удар металевих частин при порушенні регламентів експлуатації.

Окрему небезпеку становлять електроустановки кормоприготувального обладнання, оскільки їх несправність (пошкодження ізоляції, перевантаження, короткі замикання) може призводити до утворення відкритого полум'я або іскроутворення. Додатковим ризиком є нагрівання електродвигунів та

механічних передач у разі порушення режимів роботи або недостатнього змащування вузлів тертя.

Профілактика пожеж і аварійних ситуацій у даних умовах базується на системному підході, що включає технічні, організаційні та експлуатаційні заходи. Технічні заходи спрямовані на виключення або мінімізацію джерел займання та зниження концентрації горючого пилу. До них належать застосування електрообладнання у відповідному класі захисту, встановлення автоматичних систем захисту від перевантажень і коротких замикань, використання заземлення та зрівнювання потенціалів металевих конструкцій, а також оснащення обладнання датчиками контролю температури найбільш навантажених вузлів (підшипники, редуктори, електродвигуни) [2;6;13].

Важливим технічним напрямом є впровадження систем аспірації та вентиляції, які забезпечують локальне та загальне видалення пилу з робочої зони. Ефективність цих систем безпосередньо впливає на зниження вибухонебезпечності середовища, оскільки запобігає накопиченню пилу як у повітрі, так і на поверхнях обладнання. Додатково застосовуються конструктивні рішення, що зменшують можливість утворення іскор, а також передбачають захисне екранування рухомих частин.

Організаційні заходи включають суворе дотримання технологічних регламентів експлуатації обладнання, систематичне проведення планово-попереджувальних оглядів, очищення виробничих приміщень від пилу та залишків кормів, а також контроль за справністю вентиляційних систем. Особливе значення має недопущення перевантаження обладнання, оскільки це призводить до перегріву вузлів і підвищує ймовірність аварійних ситуацій.

Значну роль відіграє людський фактор, тому обов'язковим є навчання персоналу правилам пожежної безпеки, порядку дій у разі виникнення пожежі або аварії, а також використанню первинних засобів пожежогасіння. Працівники повинні бути ознайомлені з планами евакуації, зонами підвищеної небезпеки та алгоритмом відключення обладнання у надзвичайних ситуаціях.

До системи профілактики аварій також належить технічне обслуговування обладнання, яке передбачає регулярну перевірку стану підшипникових вузлів, приводних механізмів, ремінних передач та електрообладнання. Своєчасне виявлення зношених або несправних елементів дозволяє запобігти перегріву, заклинюванню механізмів і виникненню іскроутворення [13].

Система пожежогасіння та первинного реагування повинна бути адаптована до специфіки виробництва. Найбільш доцільним є використання порошкових та вуглекислотних вогнегасників, оскільки вони ефективні для гасіння як твердих горючих матеріалів, так і електрообладнання під напругою. Додатково можуть застосовуватися системи пожежної сигналізації, що забезпечують раннє виявлення задимлення або підвищення температури [2].

Таким чином, пожежна безпека та профілактика аварійних ситуацій у процесі приготування кормів базується на комплексному поєднанні інженерно-технічних рішень, організаційних заходів та системи контролю експлуатаційних параметрів обладнання. Реалізація цих заходів дозволяє мінімізувати ймовірність виникнення пожеж і аварій, забезпечити стабільність технологічного процесу та створити нормативно безпечні умови праці.

## ВИСНОВКИ

У результаті виконання роботи розглянуто та проаналізовано технологічні особливості підготовки і плющення фуражного зерна, а також досліджено ефективність застосування плющильного агрегату ПЗ-3 в умовах свиноферми. На основі поставлених завдань сформульовано такі висновки:

1. Встановлено, що сучасні технології підготовки фуражного зерна та збалансована годівля свиней є взаємопов'язаними факторами, які безпосередньо впливають на продуктивність тварин і ефективність тваринництва в цілому.

2. Визначено основні фактори, що впливають на ефективність процесу подрібнення зернових культур, зокрема фізико-механічні властивості сировини, вологість, структура зерна та режими роботи подрібнювального обладнання.

3. Проаналізовано технологічні схеми плющення зернових кормів і встановлено, що найбільш ефективними є комбіновані варіанти підготовки зерна (з очищенням, зволоженням або пропарюванням), які забезпечують підвищення якості корму та його засвоюваності тваринами.

4. Виконано розрахунок основних параметрів плющильного агрегату ПЗ-3 та оцінено енергетичні витрати технологічного процесу, що дозволило обґрунтувати доцільність його застосування та можливості підвищення ефективності роботи обладнання.

## 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. Ревенко І. І., Брагінець М. В., Хмельовський В. С., Ребенко В. І., Заболотько О. О., Потапова С. Є., Ачкевич О. М., Радчук В. В. Машини та обладнання для тваринництва : підручник. Київ : ЦП «Компринт», 2018. 567 с
8. 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.

9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. Хомик Н. І., Цьонь Г. Б., Довбуш Т. А., Олексюк В. П. Основи агрономії : навч. посіб. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2021. 232 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. Fcosta, J. A., Petry, A. L., Gould, S. A., Jones, C. K., Stark, C. R., Fahrenholz, A. C., & Patience, J. F. (2019). Enhancing digestibility of corn fed to pigs at two stages of growth through management of particle size using a hammermill or a roller mill. *Translational animal science*, 4(1), 10–21.
25. Hodkovicova, N., Halas, S., Tosnerova, K., Stastny, K., & Svoboda, M. (2023). The use of functional amino acids in different categories of pigs - A review. *Veterinarni medicina*, 68(8), 299–312. <https://doi.org/10.17221/72/2023-VETMED>

# ДОДАТКИ