

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра агроінжинірингу

До захисту
Допускається
Завідувач кафедри
агроінжинірингу

Михайло ШУЛЯК

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за магістерським рівнем вищої освіти

на тему: «Розробка ресурсозберігаючої технології і технічних засобів приготування кормів для тваринницьких підприємств малих форм господарювання»

Виконав:

Микола ЦЕГЕЛЬНИК
ім'я ПРІЗВИЩЕ

Група:

ЗМЕХ 2401М

Науковий керівник:

Світлана СЕМІРНЕНКО
ім'я ПРІЗВИЩЕ

Рецензент:

Євген КОНОПЛЯНЧЕНКО
ім'я ПРІЗВИЩЕ

Суми – 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерно-технологічний

Кафедра агроінжинірингу

Ступінь вищої освіти «Магістр»

Спеціальність **208 Агроінженерія**

ЗАТВЕРДЖУЮ:

завідувач кафедри

агроінжинірингу

Михайло ШУЛЯК

“ _____ ” _____ 2024 року

(підпис)

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу

Миколі ЦЕГЕЛЬНИКУ

(ім'я ПРІЗВИЩЕ)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Розробка ресурсозберігаючої технології і технічних засобів приготування кормів для тваринницьких підприємств малих форм господарювання
2. Керівник кваліфікаційної роботи: Світлана СЕМІРНЕНКО, к.т.н., доц.
3. Строк подання здобувачем роботи: “14 ”11 2025 року.
4. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: 1. Науково-технічна література. 2. Бібліографічні джерела та Інтернет ресурси. 3. Монографії та інші публікації за темою наукового дослідження. 4. Методичні рекомендації до виконання проекту (роботи).
5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки. Анотація. Вступ. 1. Стан питання. Задачі дослідження. 2. Теоретичне обґрунтування конструктивно-технологічної схеми та режимів роботи пристрою для подрібнення сої. 3. Обґрунтування параметрів подрібнювача в процесі переробки замоченого зерна сої абразивними дисками у рідинному середовищі. 4. Охорона праці. Безпека в надзвичайних ситуаціях. 5. Економічна ефективність результатів досліджень. Загальні висновки. Література. Додатки
6. Перелік графічного матеріалу: презентація

Керівник роботи

підпис

Світлана СЕМІРНЕНКО

ім'я ПРІЗВИЩЕ

Завдання прийняв до виконання

підпис

Микола ЦЕГЕЛЬНИК

ім'я ПРІЗВИЩЕ

Дата отримання завдання “ 5 ” 09 2024 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів	Примітка
1.	Збір інформації про діяльність господарства	до 02.08.2025 р.	
2.	Аналіз літературних джерел з обраної тематики	до 16.08.2025 р.	
3.	Складання плану роботи	до 21.08.2025 р.	
4.	Написання вступу	до 24.08.2025 р.	
5.	Підготовка розділу «Стан питання та задачі дослідження»	до 30.08.2025р.	
6.	Підготовка розділу «Теоретичне обґрунтування конструктивно-технологічної схеми та режимів роботи пристрою для подрібнення сої»	до 19.09.2025 р.	
7.	Підготовка розділу «Обґрунтування параметрів подрібнювача в процесі переробки замоченого зерна сої абразивними дисками у рідинному середовищі»	до 03.10.2025 р.	
8.	Підготовка розділу «Охорона праці. Безпека в надзвичайних ситуаціях» та «Економічна ефективність результатів досліджень»	до 20.10.2025 р.	
9.	Написання висновків	до 25.10.2025 р.	
10.	Подання роботи на перевірку унікальності	до 01.11.2025 р.	
11.	Подання роботи на рецензування	до 07.11.2025 р.	
12.	Подання роботи до попереднього захисту	до 14.11.2025 р.	

Керівник роботи

підпис

Світлана СЕМІРЕНКО

ім'я ПРИЗВИЩЕ

Здобувач

підпис

Микола ЦЕГЕЛЬНИК

ім'я ПРИЗВИЩЕ

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	4
ABSTRACT	5
ВСТУП	6
1 СТАН ПИТАННЯ. ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ	8
1.1 Тваринницькі об'єкти малих форм господарювання в Україні	8
1.2 Аналіз стану галузі та виробничої діяльності тваринницьких підприємств малих форм господарювання в Сумській області	10
1.3 Огляд засобів механізації для приготування сумішей кормів	13
1.4 Технологічні схеми та засоби механізації підготовки до згодовування грубих кормів	18
1.5 Технологічні схеми та засоби механізації підготовки до згодовування високобілкових кормів із сої	20
1.6 Основні напрями підвищення виробництва тваринницької продукції на підприємствах малих форм господарювання	22
1.7 Стан наукових досліджень щодо обґрунтування ресурсозберігаючих техніко-технологічних рішень	24
2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ТА РЕЖИМІВ РОБОТИ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ СОЇ	27
2.1 Конструктивно-технологічна схема до теоретичного обґрунтування	27
2.2 Кінематика переміщення соєвого зерна по шорсткій поверхні усіченого конуса	31
2.3 Визначення траєкторії руху частинки по поверхні конуса	35
3 ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПОДРІБНЮВАЧА В ПРОЦЕСІ ПЕРЕРОБКИ ЗАМОЧЕНОГО ЗЕРНА СОЇ АБРАЗИВНИМИ ДИСКАМИ У РІДИННОМУ СЕРЕДОВИЩІ	41
3.1 Фізико-механічні властивості зерна сої	41
3.2 Характеристика експериментальної установки, призначеної для вивчення процесу подрібнення білкових кормів	46
3.3 Вплив конструктивно-режимних параметрів подрібнювача сої на інтенсивність виходу білка в екстрагент	47
3.4 Вплив конструктивно-режимних параметрів подрібнювача на потужність робочого процесу	50
4 ОХОРОНА ПРАЦІ. БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	53
4.1 Загальні положення	53
4.2 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів	53
4.3 Організаційні заходи по охороні праці	54
4.4 Пожежна безпека та безпека в надзвичайних ситуаціях	55
4.5 Система заходів безпеки на підприємстві	56
5 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	58
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	65
СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	66
ДОДАТКИ	68

АНОТАЦІЯ

Цегельник Микола Вікторович Розробка ресурсозберігаючої технології і технічних засобів приготування кормів для тваринницьких підприємств малих форм господарювання

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня магістра з агроінженерії за освітньою програмою «Системи точного землеробства» зі спеціальності 208 Агроінженерія. Сумський національний аграрний університет, Суми, 2025.

У кваліфікаційній роботі досліджено процеси підготовки кормів у малих тваринницьких господарствах із метою підвищення ефективності годівлі та продуктивності тварин. Проведено аналіз стану галузі, сучасних технологій та засобів механізації для приготування кормів у господарствах малих форм власності. Особлива увага приділена підготовці високобілкових кормів на основі сої, що критично важливо для збалансованих раціонів і нормального розвитку тварин. Встановлено, що фактор годівлі визначає до 60–80 % рівня продуктивності, а недооцінка одного елементу годівельної системи може значно знизити ефективність виробництва.

Розроблено конструктивно-технологічну схему подрібнювача замоченого соєвого зерна з абразивними дисками та проведено математичне моделювання кінематики частинок на поверхні усіченого конуса. Експериментально визначено вплив швидкості обертання диска, розміру абразиву та міждискового зазору на вихід білка в екстрагент і енергоспоживання. Показано, що оптимальні значення досягаються при частоті обертання 14 000–17 000 хв⁻¹ і розмірі абразиву 360–450 мкм, що забезпечує максимальну ефективність подрібнення.

Експериментальні дослідження проведено на підприємствах Сумської області, що підтвердило надійність обладнання та його відповідність зоотехнічним вимогам. Розроблено практичні рекомендації щодо впровадження технологічних рішень, які знижують витрати ручної праці у 2,2 раза та підвищують продуктивність технологічних ліній на 14–17 %. Використання запропонованих ліній підвищує якість кормів на 4–23 % і виробництво основної продукції на 1,1–2,7 %. Строк окупності інвестицій у нове обладнання не перевищує 3,8 року.

Результати можуть бути застосовані у малих тваринницьких господарствах для вдосконалення процесів підготовки кормів, підвищення їх якості, зниження енерговитрат та підвищення продуктивності тварин, а також для впровадження ресурсозберігаючих технологій і сучасного обладнання.

Ключові слова: подрібнювач, абразивний диск, кормові суміші, білкові корми, технологічна лінія, економічна ефективність, дрібні тваринницькі господарства.

ABSTRACT

Tshehlyk Mykola Viktorovich Development of a Resource-Saving Technology and Technical Means for Feed Preparation for Small-Scale Livestock Enterprises.

Qualification thesis for obtaining the degree of Master of Agroengineering under the educational program "Precision Farming Systems", specialty 208 Agroengineering. Sumy National Agrarian University, Sumy, 2025.

The qualification work investigates the feed preparation processes in small-scale livestock farms aimed at improving feeding efficiency and animal productivity. An analysis of the sector's current state, modern technologies, and mechanization tools for feed preparation in small farms was conducted. Special attention was paid to the preparation of high-protein soybean-based feeds, which are critically important for balanced diets and proper animal development. It was established that feeding practices determine up to 60–80% of productivity, and underestimating even a single component of the feeding system can significantly reduce production efficiency.

A design and technological scheme of a soybean grain grinder with abrasive discs was developed, and mathematical modeling of particle kinematics on the surface of a truncated cone was performed. The effects of disc rotation speed, abrasive particle size, and inter-disc gap on protein yield in the extractant and energy consumption were experimentally determined. It was shown that optimal values are achieved at a rotation speed of 14,000–17,000 rpm and an abrasive size of 360–450 μm , ensuring maximum grinding efficiency.

Experimental studies were conducted at enterprises in the Sumy region, confirming the reliability of the equipment and its compliance with zootechnical requirements. Practical recommendations were developed for implementing technological solutions, which reduce manual labor by 2.2 times and increase the productivity of technological lines by 14–17%. The use of the proposed lines improves feed quality by 4–23% and increases primary product output by 1.1–2.7%. The payback period for investments in new equipment does not exceed 3.8 years.

The results can be applied in small livestock farms to improve feed preparation processes, enhance feed quality, reduce energy consumption, and increase animal productivity, as well as for implementing resource-saving technologies and modern equipment.

Keywords: grinder, abrasive disk, feed mixtures, protein feeds, technological line, economic efficiency, small-scale livestock farms.

ВСТУП

1. Актуальність теми

Малі тваринницькі господарства відіграють важливу роль у забезпеченні продовольчої безпеки та розвитку сільських територій, проте їхній технічний рівень залишається низьким, особливо у сфері приготування кормів. Цей процес є одним із найбільш трудо- та енергоємних, а наявні технічні засоби часто недоступні або недоцільні для малих форм господарювання. Підвищення продуктивності тварин напряду залежить від якості підготовлених кормів, зокрема високобілкових на основі сої. Тому створення ресурсозберігаючих технологій та малогабаритних технічних засобів для їх реалізації є актуальним і має важливе практичне та економічне значення.

2. Аналіз стану наукової розробки проблеми

У наукових дослідженнях значну увагу приділено процесам подрібнення, змішування та підготовки кормів, а також технологіям переробки сої. Однак наявні технічні рішення здебільшого орієнтовані на середні та великі ферми, є енергоємними та недостатньо адаптованими до умов малих господарств. Недостатньо розробленими залишаються питання зниження енергетичних витрат, поєднання кількох операцій в одному агрегаті, а також оптимізації параметрів обладнання для «вологого способу» переробки сої. Це визначає наукову нішу та необхідність подальших досліджень.

3. Мета дослідження

Метою дослідження є обґрунтування ресурсозберігаючої технології та створення технічних засобів для приготування кормів у тваринницьких підприємствах малих форм господарювання, що забезпечують зменшення енерговитрат, підвищення продуктивності технологічних процесів та поліпшення якості підготовлених кормів.

4. Об'єкт дослідження

Об'єктом дослідження є технологічні лінії та процеси приготування кормів у тваринницьких підприємствах малих форм господарювання.

5. Предмет дослідження

Предметом дослідження є ресурсозберігаюча технологія підготовки кормів та конструктивно-технологічні параметри технічних засобів для їх реалізації, зокрема процеси подрібнення замоченого зерна сої та отримання високобілкових кормів.

6. Завдання дослідження

Для досягнення мети у роботі поставлено такі завдання:

1. Проаналізувати стан галузі та особливості виробництва в тваринницьких господарствах малих форм та сучасні технології та технічні засоби приготування кормів.
2. Розробити конструктивно-технологічну схему подрібнювача для переробки соєвого зерна у рідинному середовищі
3. Провести експериментальні дослідження впливу режимних і конструктивних параметрів на якість та продуктивність процесу.
4. Оцінити економічну ефективність запропонованої технології та технічного забезпечення.

7. Методи дослідження

У дослідженні застосовано аналіз науково-технічної інформації, математичне моделювання технологічних процесів, аналітичні розрахунки силових і кінематичних параметрів, експериментальні дослідження роботи подрібнювача замоченого зерна сої, статистичне опрацювання результатів та техніко-економічну оцінку ефективності запропонованих рішень.

8. Структура та обсяг роботи

Магістерська робота складається з 5 розділів, 2 додатків, містить 15 таблиць, 24 рисунки та 27 джерел.

1 СТАН ПИТАННЯ. ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Тваринницькі об'єкти малих форм господарювання в Україні

У теперішній час класифікація фермерських господарств у зарубіжних країнах проводиться за такими корінними ознаками:

- розмірами ферм;
- рівнем та структурою доходів.

На підставі рівня та структури доходів виокремлюють п'ять типів господарств:

- господарства фермерські;
- особисті підсобні господарства;
- групові сімейні ферми,
- сімейні індивідуальні ферми;
- акціонерні компанії.

В нашій країні особливістю розвитку тваринницької галузі є багатокладність та виробництво відповідної продукції як у великих і середніх, так і в малих агропідприємствах різних форм господарювання.

Розглянемо основні визначення і класифікаційні ознаки малих ферм. До підприємств малого підприємництва належать зареєстровані відповідно до закону України сільськогосподарські товариства, виробничі сільськогосподарські кооперативи, фермерські господарства та індивідуальні сільгоспідприємці [9]. За кількістю чисельності працюючих для кожної категорії малих та середніх підприємств виділяють підприємства:

- середні (101 - 250 осіб);
- малі (до 100 осіб);
- мікро (до 15 осіб).

Дані підприємства також можуть класифікуватися також, у залежності від фактичного отриманого прибутку [9].

У переважній більшості, агропідприємства малої потужності відносять до переробної галузі.

Напрямки діяльності та розміри господарств наведені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Напрямки діяльності та розміри господарств

Господарство	Одиниця виміру	Розміри господарств
Фермерські господарства		
Виробництво молока	Корови	8-50 51-100
Вирощування нетелів	Нетелі	18-50 51-100 101-400
Виробництво м'яса (з оборотом стада)	Корови	8-50 51-100
Вирощування телят, дорощування та відгодівля молодняка ВРХ	Телята	16-50 51-100 101-200 201-400
Відгодівля ВРХ	ВРХ	До 50 51-100 101-200 201-500

За розмірами ферми вказані господарства поділяються [9]:

- за виробництвом молока на:

а) малі ферми від 50 до 100 корів;

б) середні фермерські господарства (100 до 200 корів);

- спеціалізовані господарства:

а) вирощування нетелів (до 500 голів);

б) вирощування телят(до 500 гол.);

в) відгодівельні майданчики до 500 голів).

Як правило, кількість корів у малих агропідприємствах тваринницької галузі визначаються із розрахунку 2 – 3 корови на 1 га сільськогосподарських угідь.

До підприємств малих форм господарювання тваринницької галузі відносять:

- підприємства середнього та малого підприємництва;

- індивідуальні підприємці;

- підприємства малої потужності;

- фермерські господарства;

- селянські підсобні господарства та сімейні ферми.

Селянські підсобні господарства та сімейні фермерські господарства поділяються на підприємства:

- середні (100 - 200 голів);
- малі (50 - 100 голів);
- мікро/особисті підсобні господарства (до 15 голів, площа земельних угідь до 0,5 га).

1.2 Аналіз стану галузі та виробничої діяльності тваринницьких підприємств малих форм господарювання в Сумській області

В Сумській області у довоєнний час налічувалося 392 сільськогосподарських підприємств. Із них 144 підприємства займаються тваринницьким напрямком. Розподіл по галузях тваринництва даних підприємств наступний: 94 – утримували ВРХ, 91 – утримували корів, 54 займалися розведенням свиней, 24 - займалися вівчарством, 11 - вирощували птицю.

На початок 2022 року в усіх агропідприємствах області налічувалося 139,1 тисяч голів ВРХ, в тому числі, корів налічувалося 68,5 тисяч голів, поголів'я свиней становило 109,8 тисяч голів, поголів'я вівців складало 41,1 тисяч голів, а птиці – 4,9 мільйони голів (рис. 1.1).

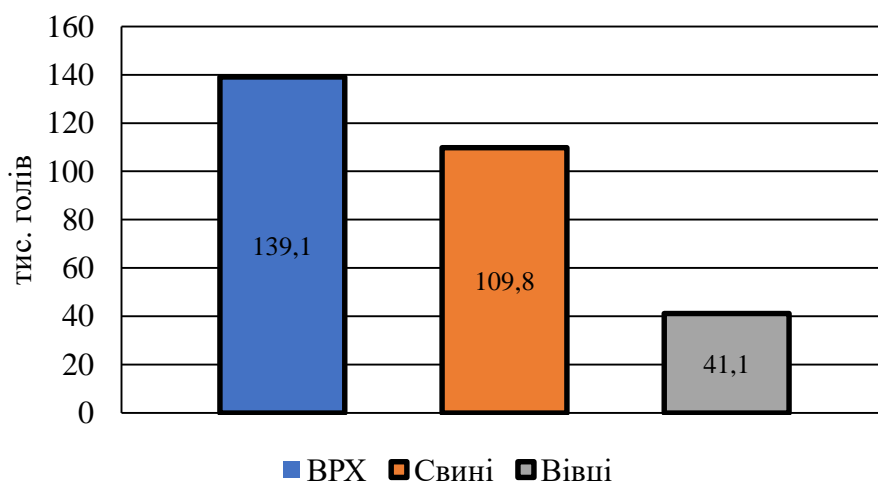


Рисунок 1.1 – Поголів'я худоби в Сумській області (на 01.01.2022 р.)

Проведений аналіз свідчить, що за роки війни пройшло значне зменшення кількості середніх агропідприємств в Сумській області на 14%, малих та

мікропідприємств на 16%, селянських підсобних агропідприємств на 23% (рис. 1.2).

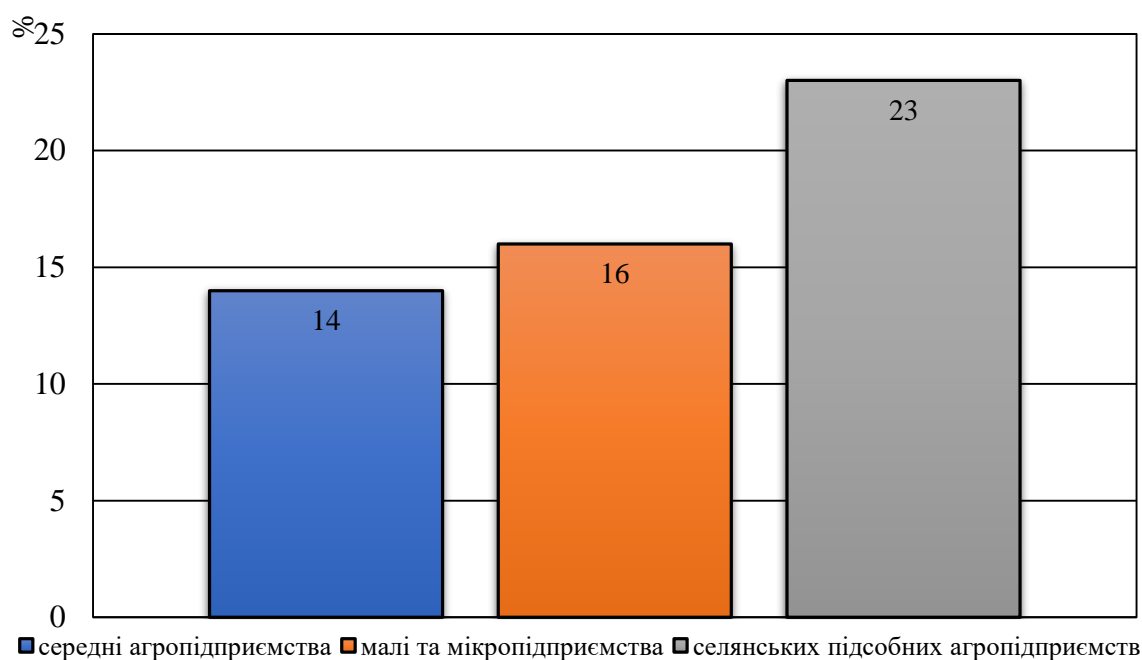


Рисунок 1.2 – Зменшення кількості середніх та малих агропідприємств в Сумській області (за 2024 р. у порівнянні з 2021р.)

На рисунку 1.3 наведено (у відсотках) зменшення кількості середніх та малих агропідприємств по районах області.

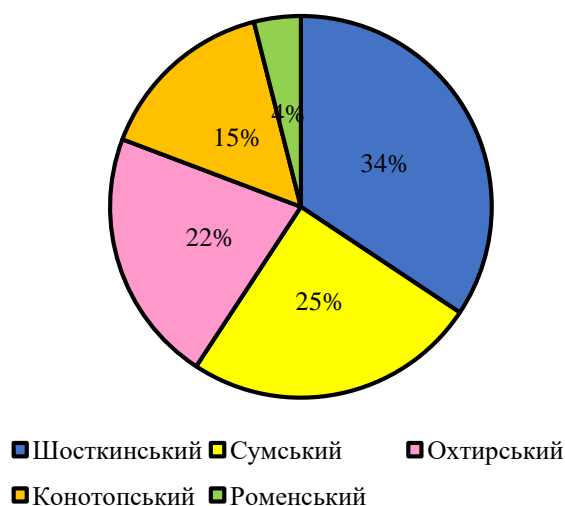


Рисунок 1.3 - Зменшення кількості середніх та малих агропідприємств по районах Сумської області

Нерівномірність зменшення сільськогосподарських фермерських господарств та індивідуальних селянських господарств по районах Сумської

області пов'язана, у своїй більшості, із близькістю до зони бойових дій. Так, зменшення найбільше припало на Шосткинський район.

Незважаючи на те, що в країні зазначені господарства виробляють молока понад 30 %, а м'яса ВРХ 27%, за останні три роки в області помітно знизилася виробництво даної продукції тваринництва [24].

Значну роль вказані агропідприємства відіграють у зменшенні безробіття у сільських регіонах та сталому розвитку сільських територій.

Для даних агропідприємств проблемним є питання використання технологій і технічних засобів для процесу механізованого приготування та роздачі кормів. Як відомо, у загальному балансі витрат праці на даний процес витрачається до 40 %. У той же час, рівень механізації процесу залишається невисоким. В Україні в молочних фермах комплексна механізація технологічних процесів перевищує 80 %, то на підприємствах малих форм господарювання цей показник менший 20%.

Проведений аналіз літературних джерел показує, що найбільш трудомісткими процесами на молочних фермах є доїння - 35 %, роздача кормів - 27 %, прибирання гною - 15 % [10]. Витратами енергії в тваринницьких агропідприємствах малих форм господарювання становить понад 30% навантаження робітників припадає на навантаження, транспортування та роздачу кормів. При цьому, на навантаження і транспортування кормів припадає 81 % фізичного навантаження, і 19 % на розподіл кормів по годівницях. На відгодівельних фермах ВРХ близько 50 % від усіх витрат праці припадає на годівлю тварин, а на прибирання гною - 25 % [10].

Так, як процес годівлі тварин менш механізований та енергоємний, тому у виробництві продукції тваринництва зниження витрат праці можна отримати при приготуванні кормів. Тільки завдяки цьому ресурсозбереження в кормовиробництві має відіграти основну роль. Без нього інтенсифікація тваринництва не можлива [11].

1.3 Огляд засобів механізації для приготування сумішей кормів

На корми припадає понад 50% витрат на виробництво тваринницької продукції. Якщо середньорічна молочна продуктивність корів в Україні

становить 6530 кг, то витрати кормів становлять менше 1 ц кормових одиниць на ц молока. Якщо середній приріст ваги свиней на відгодівлі становить 309 г, то витрата корму на кг приросту ваги становить 5,2 кг/кг в Україні і 2,65 кг/кг в Нідерландах [10, 11]. У сфері механізації приготування кормів відбуваються інтенсивні національні та міжнародні дослідження і розробки, спрямовані на адаптацію та вдосконалення технологій і створення нового обладнання.

Починаючи із початку 1970-х років, науковці та тваринники продемонстрували ефективність згодовування багатокомпонентних змішаних раціонів, які відповідають фізіологічним потребам тварин шляхом збалансування поживних речовин, сприяють травленню та підвищенню продуктивності [10, 11].

Повноцінна годівля худоби на фермах і комплексах завжди була основоположним фактором успішного розвитку тваринництва, що охоплює фізіологію харчування худоби та її утримання, організаційно-технічні питання кормовиробництва в польових умовах та особливості механізації процесу приготування кормів [12, 20, 26]. Тому в малих тваринницьких підприємствах основними факторами зниження трудовитрат та економії ресурсів у процесі годівлі тварин є збалансована кормоприготування та матеріально-технічне забезпечення. За ступенем впливу на продуктивність тварин технічний процес приготування кормів на фермі є особливо важливим серед інших процесів і завдань [11, 17, 21].

Здоров'я і продуктивність тварин залежать не скільки від якості і кількості корму та його цілісності, а в більшій мірі від якості та засвоюваності приготованого корму (табл. 1.2) [10, 17].

Із табл. 1.2 видно, що використання кормів у раціонах худоби вимагає попередньої підготовки для збільшення споживання та підвищення поживної цінності. Найефективнішим методом є приготування повноцінного змішаного раціону із заздалегідь підготовлених кормових інгредієнтів і добавок.

Таблиця 1.2 – Показник ефективності технологічних прийомів переробки кормів

Технологічна операція	Підвищення продуктивності, %
-----------------------	------------------------------

Змішування грубих кормів та соковитих	2,6
Змішування грубих кормів та соковитих із доданням концкормів	5,1–7,9
Змішування грубих кормів та соковитих із внесенням міндобавок	11,0
Термічна обробка кормів	до 19,0
Плющення зернових мас	9,0
Внесення в корми фосфоромістких добавок	10,0
Приготування повнораціонних кормових сумішок	20–25

На рис. 1.4 показані існуючі в даний час основні методи годівлі ВРХ в агропідприємствах малих форм господарювання.



Рисунку 1.4 - Основні методи годівлі ВРХ в агропідприємствах малих форм господарювання

З огляду на перелічені технології, найбільш прийнятною для малих тваринницьких підприємств, які використовують раціони, що складаються з основних компонентів [18, 26] - сіна, силосу (сінажу), концентрату, зеленого корму (в літній період) є технологія почергового згодовування компонентів, особливо зеленого корму влітку.

Друга технологія може бути застосована лише у кооперативних відносинах між агропідприємствами різної спрямованості.

Впровадження третьої технології на тваринницьких підприємствах малих форм господарювання можливе тільки за умови розробки малотоннажних

технічних засобів з кормороздавачами та тензометричним ваговимірвальним обладнанням, що дасть змогу виробляти якісні комбікорми з різним вмістом компонентів. Мобільні багатофункціональні агрегати, які випускаються в даний час в нашій країні, досить широко використовуються на сімейних фермах і їх придбання підтримуються державою.

У теперішній час, через втрату важливого джерела кормів від сільськогосподарських підприємств, малі тваринницькі господарства переважно змушені застосовувати цілорічну одноманітну годівлю: у раціоні тварин домінують сіно, концентровані корми та зелена маса в літній період. У такій ситуації підготовка кормів зводиться до мінімальної обробки — їх вилучають зі сховищ, транспортують і роздають переважно вручну. Проте це потребує значних трудових витрат, тоді як у третій технологічній системі вони зменшуються утричі, хоча й потребують у півтора рази більших капіталовкладень порівняно з першою [19].

За умов фінансової нестабільності більшість малих тваринницьких господарств найближчими роками не зможе перейти на використання третьої системи через відсутність серійного виробництва вітчизняних машин. Оснащення ж таких підприємств імпортною технікою наразі є практично нереальним. Тому виникає потреба у створенні нових машин, здатних ефективно працювати як з подрібненими, так і з неподрібненими кормами, а також забезпечувати змішування кормових компонентів.

Залежно від природно-кліматичних умов, спеціалізації господарства, системи утримання тварин, а також габаритів і планування тваринницьких приміщень, для найбільш раціонального використання кормів та механізації процесів їх приготування й роздавання [27] рекомендовано застосовувати комплекти обладнання або окремі машини.

Аналіз літературних джерел та інтернет-ресурсів показав, що більшість рекомендованих комплектів устаткування наразі не виробляється, а їх випуск і постачання здійснюються переважно підприємствами нашої країни. Найбільш придатною до адаптації в сучасних умовах є технологія почергової видачі кормових компонентів без попередньої підготовки (рис. 1.5) [10, 11, 25].

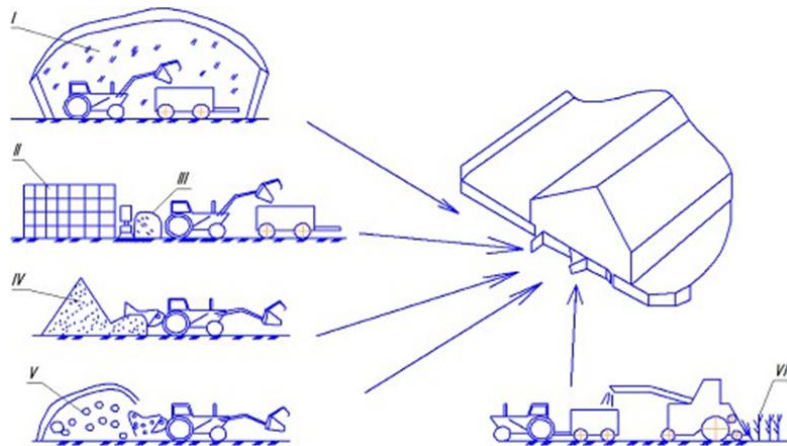


Рисунок 1.5 - Технологічна схема лінії почергового згодовування кормових інгредієнтів: I – силос/сінаж; II - грубі корми в тюках; III - грубі корми подрібнені; IV – концентровані корми; V – корене-плоди; VI - корми зелені

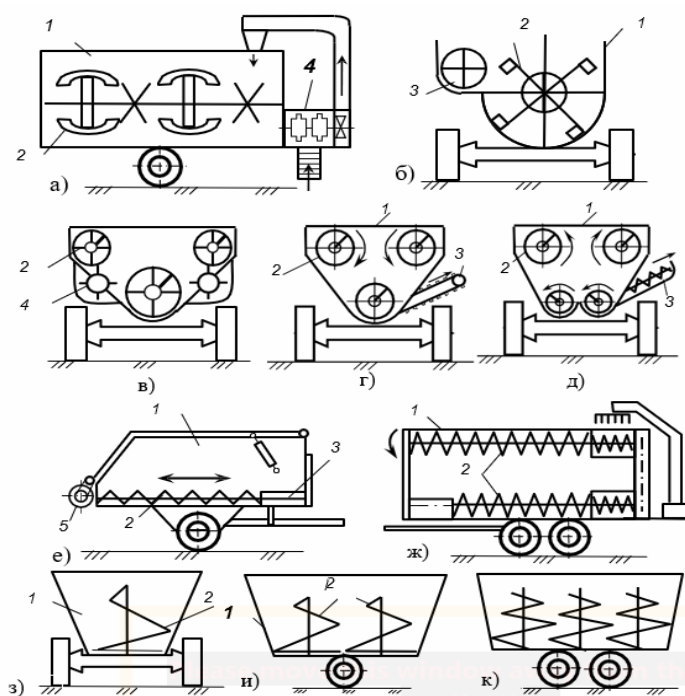


Рисунок 1.6 – Типи технологічних схем змішувачів-роздавачів бункерних: а – фірма «Dawis Sons» лопатевого типу (США); б - фірма Кеєпан барабанного типу (Великобританія); в, г, д - тришнекові і чотиришнекові горизонтальні; е, ж – самозавантажувального типу; з, і, к – одношнекові, двох-, трьохшнекові вертикальні: 1 – бункер; 2 – змішуючі органи; 3 – транспортер вивантажувальний; 4 – дробарка, 5 – фрезеруючий барабан

Виробники пропонують різні моделі машин, оскільки їхні конструкції повинні враховувати локальні особливості, властивості інгредієнтів кормових раціонів, а також задовольняти зоетичні та економічні вимоги до технічних засобів. [25-27]. За останні роки і в нашій країні у тваринників збільшився інтерес

до мобільних пристроїв та агрегатів для приготування корму – це зарубіжні Keenan, BvL, DeLaval [17–23]. Кормоприготувальні агрегати мають бути відповідними до сучасних вимог [3]: мінімально споживати енергію на процес, мати достатню надійність експлуатації, не генерувати зайвий шум, бути легко очищуваним від різних забруднень як залишки корму та інше.

Ефективність та енергоспоживання мобільних кормороздавачів безпосередньо обумовлені конструкцією їхніх робочих органів. З огляду на це, розробка й модернізація машин зосереджені переважно на двох ключових концепціях: горизонтальне або вертикальне розташування робочих елементів усередині бункера [7].

Виконаний аналіз встановив наступне: найбільш перспективним обладнанням для приготування кормових раціонів для великої рогатої худоби (ВРХ) на малих фермерських господарствах є змішувачі-роздавачі, які ефективно поєднують кормові компоненти, що завантажені у бункер шарово, механізм відокремлення порції та її вивантаження на вивантажувальний транспортер. Оскільки споживана потужність (в середньому 11,2 кВт, табл. 1.3) у п'ять разів нижча, ніж при змішуванні компонентів у бункері (в середньому 56,6 кВт) [11].

Таблиця 1.3 – Технічні характеристики роздатчиків-змішувачів кормів

Показники	Модель						
	F-700V (Bergmann)	V-Star9 (BvL)	FDW STA (HAME)	Futterprofi (Rohn)	Feedo 60L (Schuitemarker)	FVW 100 (Strautmann)	FUW 7,5 (Tebbe)
Маса, кг	2900	2600	2840	2170	1980	2790	2500
Об'єм кузова V, м ³	10,3	8	10,2	7,1	8,5	8,6	7,4
Вантажність, кг	5100	3900	5160	2830	5520	4110	4100
Потужність, кВт	11	12,2	14	7,4	9,5	12	12

Аналіз сучасних технологій і технічних засобів, що застосовуються на тваринницьких фермах і комплексах, засвідчив їхню високу метало- та енергоємність (потужність приводів машин становить 50–80 кВт), а також значні потреби у трудових ресурсах та капітальних інвестиціях. Останні охоплюють

будівництво й утримання сховищ, виробничих будівель і споруд, придбання та експлуатацію спеціалізованих машин і обладнання, що робить такі системи економічно недоцільними для малих ферм і фермерських господарств.

При цьому рівень механізації, своєчасність і якість виконання операцій з підготовки кормів до згодовування безпосередньо визначають продуктивність тварин, що, у свою чергу, суттєво впливає на собівартість продукції тваринництва.

Таким чином, актуальним завданням є удосконалення та адаптація існуючих технологій, а також розроблення малогабаритних технічних засобів для приготування кормів великій рогатій худобі в умовах малих форм господарювання. Запровадження таких рішень має забезпечити ресурсозбереження за рахунок зниження енергоємності виробничих процесів, мінімізації частки ручної праці, підвищення рівня механізації, скорочення втрат кормів і поліпшення їх засвоюваності.

1.4 Технологічні схеми та засоби механізації підготовки до згодовування грубих кормів

Тюкування або рулонування сіна забезпечує низку істотних переваг, насамперед мінімізуючи втрати врожаю. При такому способі заготівлі втрати сировини не перевищують 5%, зменшення втрат по заготівлі найціннішої частини рослин (листя); зниження загальних витрат на 35% та працевитрат на 39%; більш ефективно використовуються сховища та навіси; додаткове одержання з кожного гектара сіяних трав 200–250 кг корму [8].

Пресування корму – перспективний спосіб заготівлі, який домінує у сфері сінозаготівлі (сягаючи 90% обсягів). Незважаючи на те, що бар'єрами для його ширшого впровадження в деяких регіонах були висока вартість техніки та нестача вантажно-розвантажувальних механізмів, метод має значні переваги: поліпшення якісних характеристик корму, скорочення втрат, економія трудових ресурсів та часу, а також спрощення процесу роздачі та дозування.

Корми грубі обробляють і готують для годівлі худоби за різними технологічними схемами [8], а кількість машин, що входять у поточні

технологічні лінії, визначають виходячи з вимог технологічного процесу та їх конструктивних особливостей. Технологічні лінії грубих кормів служать до виконання операцій механічної (накопичення, дозування, подрібнення) термохімічної чи біологічної обробки.

Механічна обробка грубих кормів включає такі операції: навантаження, доставку, розвантаження, подрібнення, дозування. Залежно від типу заготовлених грубих кормів місця зберігання, прийнятої технології переробки кормів кількість операцій може збільшуватися або зменшуватися.

Для підвищення продуктивності тварини йому необхідно згодувати необхідну кількість кормів, які повністю забезпечать її потребу поживними речовинами. Основною операцією приготування грубих кормів є їхнє подрібнення. Якісне подрібнення грубих кормів забезпечить необхідну засвоюваність поживних речовин, більш рівномірний розподіл подрібнених частинок у кормовій суміші.



Рисунок 1.7 – Подрібнювачі грубих кормів

В даний час, стосовно малих ферм, є вельми обмежений вибір машин для механізації виконання технологічних операцій (рис. 1.7). В результаті практично неможливо зробити вибір найбільш економічних процесів приготування кормів. У зв'язку з цим використовуються існуючі технічні засоби, незалежно від економічної вигоди, а корми часто роздаються у ручну без попереднього подрібнення [8].

1.5 Технологічні схеми та засоби механізації підготовки до згодовування високобілкових кормів із сої

Відомо, що в кормовому балансі зарубіжних країн соя та продукти її переробки займають ключове місце, оскільки вони багаті на протеїн, жири, а також біологічно активні речовини [8, 17].

Наявність цієї проблеми зумовлена відсутністю спеціальної техніки та технологій, а також науково обґрунтованих даних для їх проектування та конструювання.

Таблиця 1.4 – Склад та перетравність соєвого зерна та продуктів його переробки

Показатели	Вид корма						
	зерно	мука	мука	шрот	молоко	козеїн	сир
В 100 кг. Корм. міститься: к. о. в кг	130,7	145,8	125,0	118,3	8,8	166,5	24,8
Перевар. протеїн, кг	29,2	34,1	34,8	36,0	1,4	45,1	5,9
На 1 к.о. приход. перевар. протеїна, г	223	224	278	300	159	271	238
Склад в % вволог	11,4	9,2	14,9	14,6	92,4	4,2	84,6
Протеїн	33,2	38,3	38,7	40,0	2,9	34,3	6,6
Білок	28,1	33,4	38,3	38,3	2,7	32,1	6,0
Жир	15,3	19,7	9,8	2,0	1,3	26,5	3,2
Клітковина	7,3	3,1	2,7	6,4	–	–	–
БЕР	27,6	25,5	27,9	31,9	3,0	11,3	4,7
Попіл	5,2	4,2	6,0	5,1	0,4	3,7	0,9
Коеф. пер. %, протеїну	88	89	90	90	48	83	89
Білок	88	89	88	90	48	83	89
Жир	85	90	88	95	67	82	90
Клітковина	81	39	78	94	–	–	–
БЕР	71	69	94	97	80	80	69

Питання ефективного годування у тваринництві завжди стояло дуже гостро. У структурі собівартості продукції цієї галузі корми та годування становлять за різними оцінками до 75 %. Найбільший ефект підвищення продуктивності тварин досягається при збалансованості раціонів протеїновими кормами. Заміна тваринного протеїну рослинним білком є одним із доступних

інструментів збалансованості раціонів [8].

Зерно сої та продукти її переробки (див. табл. 1.4) є найпоширенішим високоефективним кормом, багатим на білок, енергією та незамінними амінокислотами [8].

Слід звернути увагу на те, що у складі соєвого зерна присутні антипоживні сполуки, до яких належать, зокрема, інгібітори, глюкозиди, таніни й алкалоїди, які знижують у тварин біологічну доступність протеїну. Отже, для засвоєння поживних речовин організмом тварин та раціонального використання білка, сою піддають обробці перед згодовуванням, яка руйнує антипоживні речовини і підвищує доступність протеїну.

В даний час застосовується низка способів обробки, доцільність використання яких визначаються якісними показниками та енергетичними витратами (табл. 1.5). До основних належать: екструдкування, гранулювання, термічна, автоклавовання, інфрачервоне, ультрафіолетове мікрохвильове (НВЧ) опромінення, використання хімічних речовин [8, 12].

Таблиця 1.5 – Активність уреазі в залежності від способу обробки зерна сої

Види обробітку	Активність уреазі (рН) (за ДСТУ 8365:2015)
Необроблена соя	2,20
Автоклавована	0,05
Пропарена	0,06
Екструдована	0,80
Соєвий шрот	0,20
Соєвий шрот автоклавний	0,00

Найбільш доступним та поширеним із способів є обробка теплом. Ефективність залежить від температури обробки та вологості сировини. При цьому дослідженнями [8] встановлено, що висока температура негативно впливає на доступність протеїну та амінокислот через утворення комплексів амінокислот з вуглеводами.

Гострий дефіцит білка в раціонах жуйних тварин знижує продуктивність тварин. Встановлено, що при досягненні надою на 1 фуражну корову 4–5 тис. кг молока, а подальше зростання продуктивності можна забезпечити включенням

до раціонів білка у вигляді соєвого шроту [8]. Так в експериментах на Хмельницькій дослідній станції коровам чорно-рябої породи 2–3 отелень на 1–2 місяцях лактації згодовували екструдоване соєве зерно в суміші з концентратами в два прийоми вранці та ввечері по 40, 45, 50 г на 1 кг молока. Дослідження показали, що від корів 2, 3 та 4 дослідних груп надоєно за період контролю відповідно на 123, 119 та 171 кг молока більше з великим вмістом жиру в молоці. Середньодобові надої збільшуються на 15–20 %, а жирність молока – до 3,45 %.

При виборі технологій та технічних засобів підготовки зерна сої до згодовування тваринам необхідно враховувати сумірності витрат праці та засобів із вартістю отриманої додаткової продукції.

Основними операціями технологічних ліній приготування соєвого молока є: замочування, подрібнення, екстракція, поділ на фракції (рідку та тверду), інактивація антипоживних речовин, охолодження та зберігання [8, 10, 12].

Аналіз наведених способів приготування соєвого молока дозволяє робити висновок про основні недоліки для застосування технологій в умовах підприємств малих форм господарювання є висока металоємність ліній та тривала трудомісткість процесу (18–20 год), при виході білка 8–8,5 літрів на 1 кг сухого зерна [8].

1.6 Основні напрями підвищення виробництва тваринницької продукції на підприємствах малих форм господарювання

Нині стримуючими чинниками розвитку тваринницьких підприємств малих форм господарювання залишаються фінансові, технологічні, соціальні та природні, пов'язані між собою.

Для розвитку малих підприємств, адаптації технологій, розробки та впровадження малотоннажних машин потрібні відповідні науково-технічні підходи та значні кошти.

Як показали аналіз раніше проведених досліджень авторами [10, 11], головними причинами зменшення обсягів виробництва та низької економічної ефективності тваринницьких підприємств малих форм господарювання є:

- диспаритет цін між продукцією господарства та промисловості;
 - слабка державна підтримка даного сектора;
 - необґрунтована вартість молока, що закуповують, встановлена монополістичним положенням переробних підприємств;
 - низька мотивація праці, не контрольована витрата ресурсів, порушення технологій, низький рівень кваліфікації та ін;
 - низький техніко-технологічний рівень виробництва продукції.
- Незважаючи на труднощі та складнощі в економіці України, перспективність розвитку малих форм існує. Це здебільшого за рахунок перспективних програм державної підтримки, спрямованих на відродження та підвищення якості продукції вітчизняного товаровиробника.

Основним технологічним фактором, який не відповідає вимогам, гальмує та обмежує продуктивні можливості аграріїв, є відсутність малотоннажних машин для даного сектору економіки. Для придбання та оновлення технічної бази необхідні величезні кошти, тому необхідно для вирішення даної проблеми підходити науково, технічно та економічно обґрунтовано, уникаючи поспішних рішень щодо закупівель дорогого обладнання, які фінансуються за рахунок державної підтримки, що не дасть бажаного результату, а стане лише черговою витратою бюджетних коштів [10–12].

Найбільш необхідним рішенням є розвиток вітчизняного сільгоспмашинобудування та створення центрів та мобільних бригад сервісного обслуговування, а також розвиток оптово-розподільчих (логістичних) центрів із закупівлі, переробки, зберігання та збуту продукції виробленої малими підприємствами.

Соціальний чинник стримування розвитку малих форм господарювання пов'язані з браком кваліфікованих кадрів. Незадовільні житлові умови, низька оплата праці, неякісне медичне обслуговування тощо. не залучають молодь повернутись та закріпитися на селі. Багато експертів для вирішення даної проблеми пропонують розробити програми для навчання сільському господарству, що включають вивчення основ маркетингу, заходів державної підтримки галузі, сучасних технологій продажів, інформаційних технологій, а також систем кредитування.

Подальше створення та розвиток сімейних тваринницьких та екоферм за рахунок програм державної підтримки молодих кадрів, багатодітних сімей, які зможуть створити гідні умови для майбутнього своїх дітей, безумовно, дасть свої результати у найближчому майбутньому.

Основні напрямки технологічного вдосконалення для підвищення виробництва тваринницької продукції на підприємствах малих форм господарювання сформовані у чотири блоки: оптимізація технологій, ресурсо- та енергозбереження, підвищення якості компонентів раціонів та інноваційні технології.

Усі розглянуті вдосконалення, засновані головним чином перспективної техніці, здатної за відповідної компонуванні робочих органів докорінно вдосконалювати технологію: виключити ручну працю, упорядкувати перелік і послідовність виконуваних операцій, номенклатурний перелік машин, поєднувати кілька технологічних операцій в одному технічному засобі, знизити втрати кормів, витрати та підвищити якість кормових сумішей, що готуються [10, 17, 20].

1.7 Стан наукових досліджень щодо обґрунтування ресурсозберігаючих техніко-технологічних рішень

Технологічні процеси, пов'язані з приготуванням і годуванням тварин, є складними об'єктами досліджень, що складаються з безлічі підсистем різного змісту та призначення. Тому наукові роботи з даної проблематики широко поширені у вітчизняних та зарубіжних джерелах [4, 8, 20].

Продуктивність тварини залежить від потреби організму в поживних речовинах та обмінній енергії. Нормативи з енергії та протеїну встановлюються пропорційними до живої маси, на продукцію – пропорційними до її кількості та якості. Зі збільшенням продуктивності витрати обмінної енергії на синтез тваринницької продукції знижуються. На основі проведених досліджень розроблено деталізовані норми годівлі різних статевих груп тварин з обмінної енергії, згідно з якими раціон тварин необхідно змінювати майже щомісяця [26].

Годування тварин повнораціонними кормосумішками зберігає багато показників рубцевого травлення тривалий час на одному рівні, забезпечує краще

перетравлення поживних речовин та швидке засвоєння, що забезпечує підвищення продуктивності на 18–20 %. У цьому випадку корми видаються тваринам двічі на добу [18, 24].

У сучасних реаліях ринкової економіки оптимальний вибір основних кормових компонентів з урахуванням їхньої вартості є одним із головних завдань, що забезпечує високоефективне виробництво продукції тваринництва. При оптимізації раціонів з наявних кормів як обмеження використовують мінімум їх вартості [8].

Розробки НДІ тваринництва та ін. дозволяють вирішувати як пряму (раціони, що забезпечують необхідну продуктивність), так і зворотне завдання (можлива продуктивність із наявних кормів) [26].

Наявні багатогранні знання щодо процесів: подрібнення, дозування, змішування та роздачі кормів – можуть бути використані і при створенні нових технологічних та технічних рішень засобів механізації для умов тваринницьких підприємств малих форм господарювання.

Отримані знання з подрібнення кормових матеріалів, викладені в працях В. П. Горячкіна, В. А. Желіговського, Н. Є. Резніка, М. В. Саблікова, В. І. Сироватки, Є. І. Храпача, Г. І. Новікова, В. А. Голікова, А. М. Семеніхіна, С. М. Доценко, В. І. Пахомова, А. Т. Лебедева, В. Ю. Фролова та інших вчених є основою для проектування нових кормоподрібноувальних машин.

В даний час застосування комбінованої багатоопераційної кормороздавальної техніки при повноцінному годуванні дозволить підняти надої корів в день на 0,9 л молока, зменшити витрати ключових кормів на 20-30% [11, 19]. На жаль, дослідження та розробка машин для тваринницьких підприємств малих форм господарювання вітчизняних учених розвиваються вкрай повільно.

Незважаючи на численні дослідження технологій, і розробці ресурсозберігаючих технічних рішень мало уваги приділено механізму технологічних процесів тваринницьких підприємств малих форм господарювання.

У зв'язку з цим необхідно забезпечити малі форми господарювання оптимальним набором машин з урахуванням поголів'я та кормової бази

господарств. При обґрунтуванні та виборі оптимального комплексу машин для тваринницьких ферм пропонуються різні математичні моделі та методи.

Висновки по 1 розділу

Проведений аналіз тваринницьких підприємств малих форм господарювання виявив, що особливо за умов таких господарств чітко проявляється комплексний вплив факторів на кінцеву продуктивність тварин, але особливим вирішальним є фактор годівлі, який на 60-80% визначає рівень продуктивності. Недооцінка навіть одного складового елемента підсистеми годівлі може звести до мінімуму ефективність всієї системи.

Найчастіше на підприємствах малих форм господарювання застосовується традиційний послідовний спосіб роздачі непідготовлених кормових компонентів, що призводить до втрати кормів (перевитрати) на 10-20% і недоотримання продукції. Для вирішення цієї проблеми найбільш перспективним є застосування технологій приготування та згодовування кормів у вигляді збалансованих сумішей із заздалегідь відомою поживною цінністю, що підтверджують результати світової та вітчизняної науки та практики. Переваги згодовування кормів у вигляді сумішей:

- зниження кратності годування тварин з 5 до 2 на добу, що знижує витрати праці, скорочує втрату кормів під час транспортування;
- виключення вибіркового поїдання тваринами окремих кормових компонентів.

Повноцінне харчування тварин забезпечує нормальний розвиток організму з урахуванням їх фізіологічних потреб. Найбільше значення у раціонах жуйних тварин мають основні корми, пов'язані з регулюванням обміну речовин в організмі. Системи механізованого годівлі великої рогатої худоби базується на використанні грубих та соковитих кормів, вироблених у господарствах. Особливості раціонів, що застосовуються, визначають і систему машин приготування та роздачі кормів тваринам.

2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ТА РЕЖИМІВ РОБОТИ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ СОЇ

2.1 Конструктивно-технологічна схема до теоретичного обґрунтування

Збільшення виробництва продукції тваринництва може частково забезпечуватися шляхом підвищення поживної цінності раціонів завдяки використанню білково-мінерально-вітамінних добавок. Найбільш ефективним є згодовування тваринам соєвого білка у формі соєвого молока, сироватки та соєвої окари (білкової основи для виробництва концентрованих кормів). Це пояснюється високим вмістом поживних речовин у сої: 17,3 % жиру, 26,5 % вуглеводів, 34,9 % білка, при цьому її поживність становить 1,45 кормових одиниць [8, 11–12].

Аналіз математичної моделі (2.24), узагальненої схеми та структурної моделі (рис. 2.3 - 2.5) показав, що підвищити ефективність роботи технологічних ліній з приготування кормів можливо шляхом скорочення тривалості окремих процесів. Це досягається використанням високопродуктивних технічних засобів, які поєднують кілька технологічних операцій в одному агрегаті, забезпечуючи при цьому необхідний рівень якісних і кількісних показників за мінімальних енергозатрат.

Дослідження існуючих способів переробки соєвого зерна для отримання соєвої основи [8, 171, 172] (рис. 2.1) засвідчило, що найбільший вихід білка під час екстракції досягається при використанні подрібненого сухого зерна з розміром частинок 0,35...0,5 мм. Однак технології переробки «сухим способом» є енергоємними, тому їх застосування на невеликих виробництвах у господарствах малих форм є економічно невиправданим. Зменшити енерговитратність подрібнення можна шляхом попереднього замочування зерна («вологий спосіб»), що знижує його міцність [17, 27].

Для впровадження технологій виготовлення кормових продуктів на основі сої (замінника цільного молока, сиру, сироватки, а також використання

нерозчинного соєвого залишку у складі концентрованих кормів для підвищення їх поживності) була розроблена технологічна схема безвідходного виробництва.

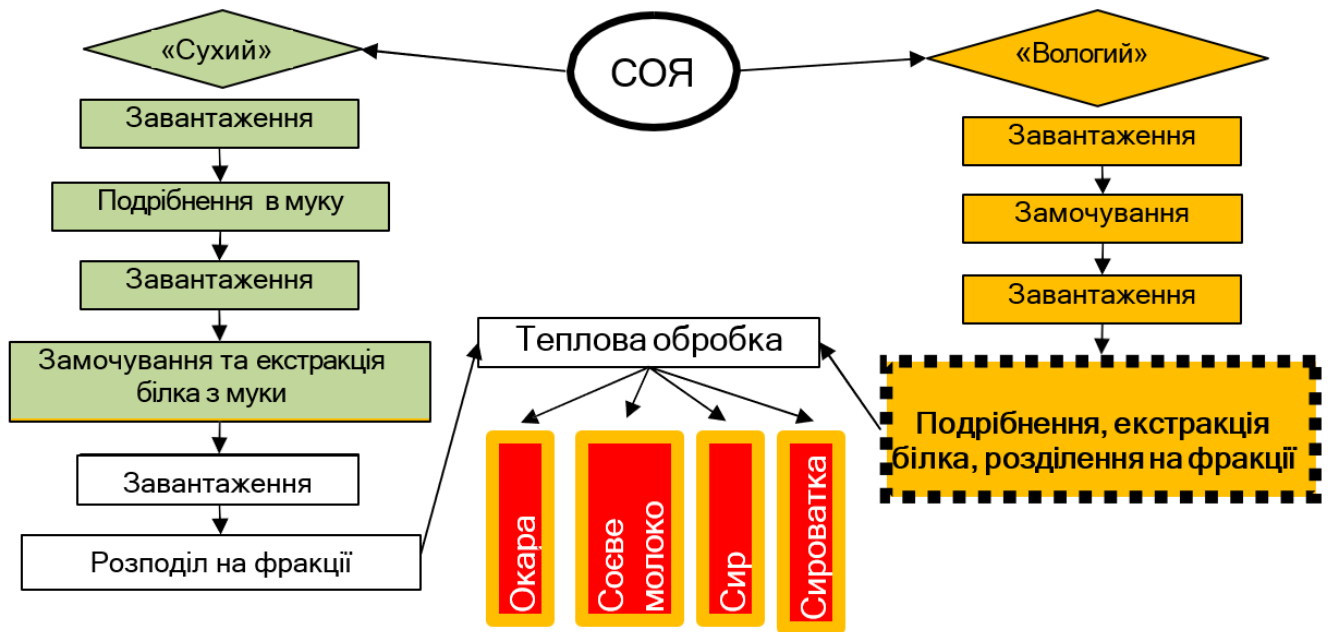


Рисунок 2.1 – Способи переробки зерна сої для тварин

Ключовим елементом запропонованої технології є подрібнювач замоченого зерна сої (рис. 2.2). Процес одержання білкової основи відбувається за такою схемою. Попередньо соєві боби протягом 8 годин витримуються у воді, після чого завантажуються в ємність 8. Під дією сили тяжіння зерно разом із водою в співвідношенні 1:10 через патрубок 7 подається в зазор між абразивними дисками – нерухомим 4 та рухомим 9. Внаслідок обертання нижнього диска відбувається подрібнення та розтирання зерна, а завдяки потоку води здійснюється одночасне змивання частинок, екстракція білка та подальший розподіл через сито 6 на нерозчинний соєвий залишок і суспензію (рідку білкову основу) [8–12]. Отримана суспензія збирається у ємність, піддається термічній обробці, після інактивації її можна використовувати для коагуляції або виготовлення заміниці цільного молока. Інактивована суспензія коагулюється розчином CaCl_2 , у результаті чого формується сироватка та соєвий сир (творог). Соєвий творог може згодовуватися тваринам у чистому вигляді або змішуватися з концентрованими кормами.

Відповідно до узагальненої моделі виробництва продукції тваринництва, структурної схеми та технологічної схеми процесу, за умови безвідходного

виробництва отримана сироватка може бути застосована з метою зволоження подрібнених грубих кормів, а також для виготовлення заміниці цільного молока разом із соєвою білковою основою.

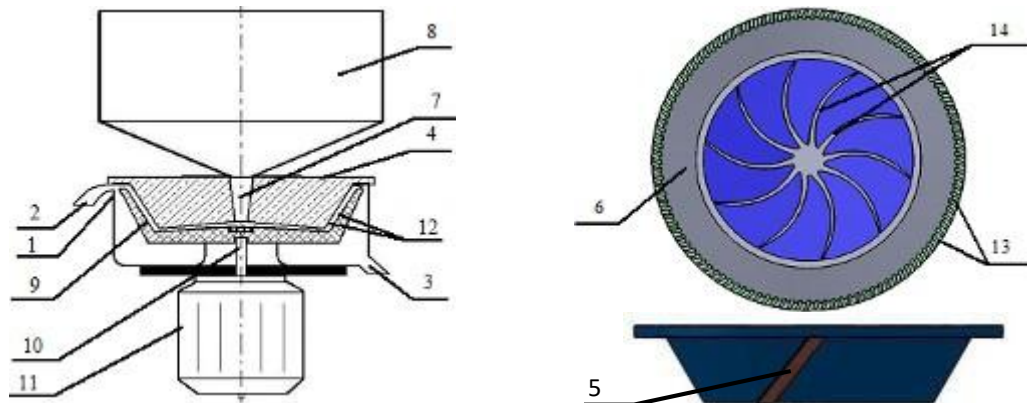


Рисунок 2.2 – Конструктивно-технологічна схема подрібнювача замоченого зерна сої включає рухомий абразивний диск (вигляд зверху) та нерухомий абразивний диск (вигляд збоку) і складається з таких елементів: 1 – корпус; 2 – патрубок для виведення окари; 3 – патрубок для відведення суспензії; 4 – нерухомий абразивний диск; 5 – скребок; 6 – сито; 7 – подаючий патрубок; 8 – завантажувальна ємність; 9 – рухомий абразивний диск; 10 – вал; 11 – привід; 12 – наскрізні канали для відведення рідкої фракції; 13 – криволінійні борозенки; 14 – криволінійні радіальні канали.

У процесі виробництва концентрованих кормів з додаванням нерозчинного соєвого залишку необхідним етапом є його інактивація шляхом термічної обробки.

Продуктивність технологічної лінії під час приготування білкових кормів із замоченого соєвого зерна визначається насамперед продуктивністю подрібнювача (Q_c), яка має відповідати умові:

$$Q_c = f(d_s, T_0, K_n, \rho, k_3, \dots) \rightarrow \max, \quad (2.1)$$

де d_s – еквівалентний діаметр зерна сої, мм;

T_0 – температура матеріалу, що подається в подрібнювач, °С;

K_n – комплекс конструктивних параметрів робочого органа;

ρ – густина матеріалу, кг/м³;

k_3 – коефіцієнт заповнення робочої камери.

Водночас, згідно з обмеженнями прийнятої моделі, тривалість приготування та видачі високобілкових кормів має бути меншою або дорівнювати допустимим за зоотехнічними вимогами значенням:

$$t_y \leq [t], \quad (2.2)$$

де $t_y, [t]$ – Тривалість циклу приготування та роздавання кормів, що допускається зоотехнічними вимогами, год.

Повний цикл отримання високобілкових кормів на основі соєвого білка визначається як сума окремих складових:

$$t_y = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 \rightarrow \min, \quad (2.3)$$

де t_1, t_2, t_3, t_4 – це тривалість відповідно приготування білкової основи, концентрованого корму, соєвого сиру та замітника цільного молока, год.

Процес отримання білкової основи із соєвого зерна «вологим способом» охоплює такі основні стадії:

$$t_1 = t_3 + t_{3ag} + t_{из} + t_{эб} + t_{раз} + t_{мо} \rightarrow \min. \quad (2.4)$$

де $t_3, t_{3ag}, t_{из}, t_{эб}, t_{раз}, t_{мо}$ – це час, витрачений відповідно на замочування, завантаження, подрібнення, екстракцію, розділення фракцій та термічну обробку.

На тривалість процесу та його якісні показники впливають як конструктивні, так і технологічні чинники:

$$t_y = f(Q_c; dэ; T_0; K_n; \rho; kз; \delta; \lambda; \dots) \rightarrow \min. \quad (2.5)$$

где δ – нерівномірність подачі сої в робочую камеру;

λ – ступінь подрібнення.

При цьому, для досягнення максимального виходу білка необхідно забезпечити: по-перше – відповідний ступінь подрібнення частинок (λ_i), а по-друге – однорідність отриманих сумішей (Θ_i).

$$\lambda_c = f(dэ; \omega_d; n; u; l_б; R_D; h; C; \dots) = [\lambda]; \quad (2.6)$$

$$\Theta = f(\omega_d; n; u; l_б; R_D; h; C; \dots) = [\Theta]; \quad (2.7)$$

де ω_d – кутова швидкість обертання диска подрібнювача;

n – кількість криволінійних борозен на нижньому диску;

u – глибина борозни;

l_0 – її довжина;

R_d – радіус диска;

h – проміжок між дисками;

C – величина шорсткості абразиву;

$[\lambda]$ та $[\Theta]$ – ступінь подрібнення та рівень однорідності відповідно до зоотехнічних вимог.

При цьому процес описується енергетичними витратами, необхідними для подрібнення соєвого зерна та одержання дрібнодисперсного помелу:

$$N_э = f(Q_{изм}; \lambda_c; \dots; N_{изм}) \rightarrow \min. \quad (2.8)$$

2.2 Кінематика переміщення соєвого зерна по шорсткій поверхні усіченого конуса

У складі технологічного комплексу провідну роль відіграє агрегат для подрібнення, в якому головним етапом є перетворення попередньо замочених соєвих зерен у тонкодисперсний продукт. Цей процес реалізується шляхом інтенсивного стирання оброблюваного матеріалу об абразивний шар, нанесений на поверхню усіченого конуса з криволінійними жолобками (рис. 2.3).

Для формування рівняння руху розглянемо кінематичні особливості траєкторії окремого зерна сої, яке контактує з абразивним покриттям конічної поверхні, що обертається навколо вертикальної осі з частотою n обертів за хвилину (рис. 2.3) [22, 26].

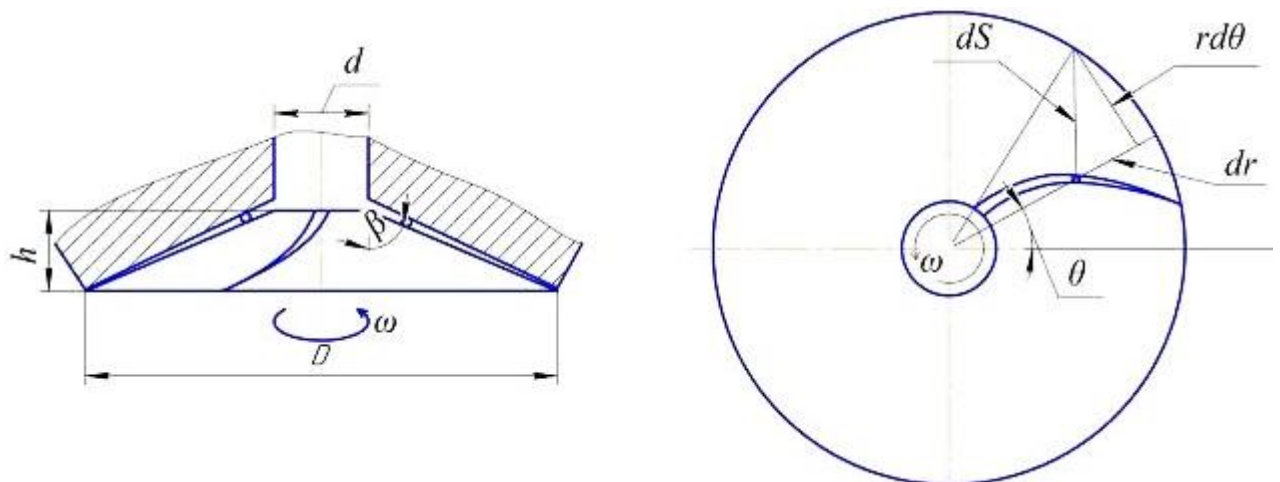


Рисунок 2.3 – Кінематична схема руху зерна по абразивній поверхні диска з

обертальним рухом

Під час роботи подрібнювального апарата соєві зерна розташовуються на поверхні диска й мають дві ступені вільності (рис. 2.3). Просторове положення окремого зерна можна охарактеризувати двома узагальненими координатами. Для зручності розрахунків як такі координати обирають: радіальну змінну r - відстань від вершини конуса до поточного положення зерна вздовж його твірної, а також кутову змінну θ , що відповідає куту повороту радіус-вектора зерна сої при його русі по поверхні конуса.

Елементарне переміщення зерна dS складається з його зсуву в радіальному напрямку dr та у дотичному напрямку $r d\theta$ (рис. 2.3). Із поданої схеми видно, що:

$$dS = \sqrt{dr^2 + r^2 d\theta^2}. \quad (2.9)$$

Кінетична енергія поступального руху сої при обертальному русі диска буде визначитися:

$$T = \frac{m}{2} v^2 = \frac{m}{2} \left(\frac{dS}{dt} \right)^2, \quad (2.10)$$

або

$$T = \frac{m}{2} (\dot{r}^2 + r^2 \dot{\theta}^2), \quad (2.11)$$

де m – маса сої.

Рівняння руху частинок за формулою Лагранжа буде мати наступний вигляд:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{r}} = m \ddot{r}, \quad (2.12)$$

$$\frac{\partial T}{\partial r} = mr \dot{\theta}^2, \quad (2.13)$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\theta}} = \frac{d}{dt} (mr^2 \dot{\theta}) = 2mr \dot{r} \dot{\theta} + mr^2 \ddot{\theta}, \quad (2.14)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \theta} = 0. \quad (2.15)$$

При сталому значенні r зміна кута θ описує азимутальний рух зерна. Цей рух формується поєднанням двох складових: обертання конічного елемента разом із зерном (переносна складова) та власного переміщення зерна відносно абразивної поверхні конуса (відносна складова). Звідси випливає:

$$\dot{\theta} = \omega t - \varphi, \dot{\dot{\theta}} = \omega - \dot{\varphi}. \quad (2.16)$$

Тоді, рівняння руху буде:

$$m\ddot{r} - mr(\omega - \dot{\varphi})^2 = Q_r, \quad (2.17)$$

$$2mr\dot{r}(\omega - \dot{\varphi}) - mr^2\ddot{\varphi} = Q_\theta. \quad (2.18)$$

Наступним етапом є визначення узагальнених сил Q_r і Q_θ . Для цього необхідно врахувати залежність координат соєвого зерна від його положення на конічній поверхні (рис. 2.4). Спершу виконаємо розрахунок дії узагальненої сили Q_r .

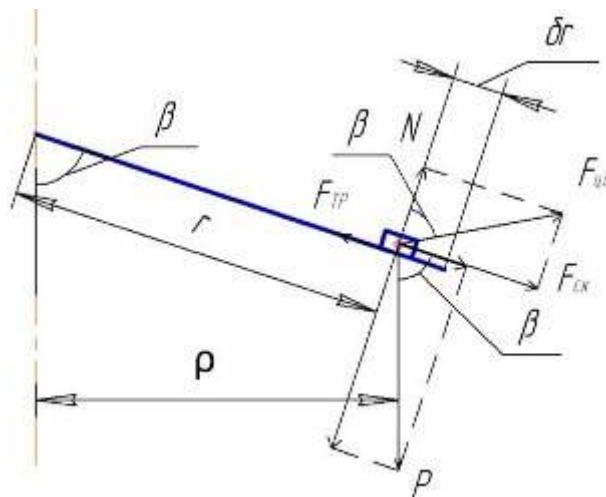


Рисунок 2.4 – Сили, що діють на сою при її переміщенні радіально

На сою діють дві сили:

- сила тяжіння $P = mg$;
- центробіжна сила.

Силу тяжіння можна представити у вигляді проєкцій на дві взаємно перпендикулярні складові: силу, що зумовлює рух зерна вниз по поверхні, $F_{ск} = mg \cos \beta$, та нормальну реакцію опори $N = mg \sin \beta$ [17].

Центробіжна складова орієнтована горизонтально і виражається рівнянням:

$$F_{цд} = m\omega^2 \rho = m\omega^2 r \sin \beta, \quad (2.19)$$

Цю силу також можна розкласти на дві складові:

- яка спрямована вздовж поверхні конуса;
- що діє перпендикулярно до поверхні конуса.

Таким чином, рівнодійна сила, спрямована вздовж конічної поверхні,

визначається як:

$$F_r = mg \cos \beta + m \omega^2 r \sin^2 \beta. \quad (2.20)$$

Нормальна реакція диска на зерно дорівнює:

$$N = mg \sin \beta - m \omega^2 r \sin^2 \beta \cos \beta. \quad (2.21)$$

Звідси радіальна проекція сили тертя матиме вигляд:

$$F_{\text{тр}}^r = -fN = -f(mg \sin \beta - m \omega^2 r \sin^2 \beta \cos \beta), \quad (2.22)$$

де $f_{\text{тр}}$ – коефіцієнт тертя.

Оскільки сила N не виконує роботи, то елементарна робота δA_r при переміщенні зерна на відстань δr при за умови $\delta \theta = 0$ обчислюється так:

$$\delta A_n = (F_r + F_{\text{тр}}^r) \delta r = (mg \cos \beta + m \omega^2 r \sin^2 \beta) \delta r - f(mg \sin \beta - m \omega^2 r \sin^2 \beta \cos \beta) \delta r$$

Відповідно, узагальнена сила Q_r зв'язана з елементарною роботою, пов'язана з роботою δA_r , визначається співвідношенням:

$$\delta A_r = Q_r \delta r. \quad (2.23)$$

Звідси маємо:

$$Q_r = mg \cos \beta + m \omega^2 r \sin^2 \beta - fmg \sin \beta + fm \omega^2 r \sin^2 \beta \cos \beta. \quad (2.24)$$

Оскільки сила нормального тиску N спрямована перпендикулярно до можливого переміщення, вона не входить до виразу узагальненої сили Q_r .

Важливо зробити кілька зауважень щодо цього результату:

1. Якщо конус нерухомий $\omega = 0$, та Σ , то узагальнена сила спрощується до:

$$Q_r^0 = mg \cos \beta - fmg \sin \beta, \quad (2.25)$$

що повністю збігається з класичним виразом для сили, яка викликає скочування тіла по похилій площині, за тієї різниці, що кут нахилу відліковується від вертикальної осі, а не від горизонталі.

2. З формули (2.21) випливає, що нормальний тиск зникає за умови:

$$g - \omega^2 r \cos \beta = 0. \quad (2.26)$$

що відповідає моменту відриву зерна від поверхні конуса.

Критичне значення кутової швидкості при заданій геометрії абразивного диска обчислюється за виразом:

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{r \cos \beta}} \quad (2.27)$$

На нижній межі конуса досягається найбільше значення радіальної координати:

$$r_{max} = \sqrt{\left(\frac{D-d}{2}\right)^2 + h^2}, \quad (2.28)$$

що відповідає критичній швидкості обертання близько 200 рад/с.

Обрана швидкість обертання є оптимальною: її зменшення призведе до зниження продуктивності апарата, тоді як збільшення - до погіршення якості подрібнення соєвих зерен.

2.3 Визначення траєкторії руху частинки по поверхні конуса

Раніше були отримані рівняння руху (2.27; 2.22) для елементарного зерна сої, яке рухається по бічній поверхні конусного абразиву. У системі відліку, що пов'язана з обертальним конусом, рівняння руху набуває наступного вигляду:

$$r = r_0 \operatorname{ch}(bt);$$

$$\varphi = \frac{q^2 t^2}{2};$$

де $\operatorname{ch}(bt)$ – гіперболічний косинус відповідного аргументу

$$r_0 = a/e; \quad (2.29)$$

$$a = g (\cos \beta - f \sin \beta); \quad (2.30)$$

$$b = \omega \sqrt{1 + \sin \beta (\sin \beta + f \cos \beta)}; \quad (2.85)$$

$$q = \sqrt{2b\omega - f\omega^2 \sin \beta \cos \beta}; \quad (2.86)$$

де, g - прискорення вільного падіння,

β - кут нахилу конічної поверхні до осі обертання конуса,

f - коефіцієнт тертя зерна об поверхню конуса,

ω - кутова швидкість обертання конуса.

У нерухомій схемі розрахунку кут повороту зерна сої буде дорівнювати:

$$\theta = \omega t - \varphi.$$

Тобто кути θ і φ вимірюються в різні сторони.

З рівняння (2.27) отримуємо рівняння траєкторії руху зерна:

$$r = r_0(\operatorname{ch}(\frac{b}{a}\sqrt{2\varphi}) - 1). \quad (2.31)$$

Розглянемо траєкторію руху зерна за умови $\frac{b}{a} = \frac{1}{\sqrt{2}}$, оскільки значення f , $\sin\beta$ та $\cos\beta$ менші за одиницю, їх вплив на характер руху можна знехтувати при якісному аналізі (див. рис. 2.5).

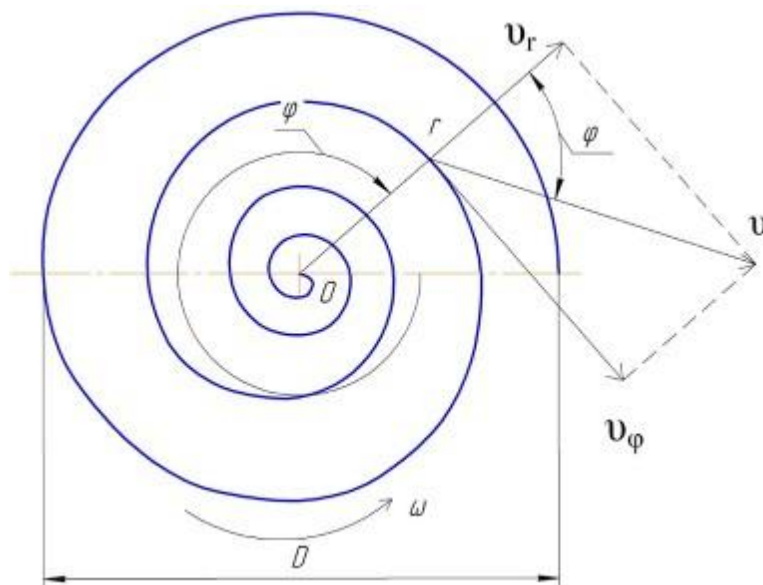


Рисунок 2.5 – Траєкторія руху зерна в системі координат, що пов'язана з обертовим конусом: D - діаметр нижньої основи конуса; r - відстань, на яку переміщується зерно вздовж твірної конуса відносно його осі обертання; v_r та v_φ - радіальна й азимутальна складові швидкості v ; ψ - кут між вектором швидкості v та твірною r .

За обраного напрямку відліку часу, кут вимірюється за годинниковою стрілкою.

Радіальна та азимутальна складові швидкості v мають наступні значення:

$$v_r = \frac{dr}{dt} = br_0 \operatorname{sh}(bt), \quad (2.32)$$

$$v_\varphi = \frac{d\varphi}{dt} = q^2 t, \quad (2.33)$$

де $\operatorname{sh}(bt)$ - гіперболічний синус відповідного аргументу.

Знайдемо залежність компонент швидкості v_r і v_φ від відстані r . Для радіальної складової швидкості v_r отримано таке рівняння:

$$v_r = \sqrt{2ar + b^2 r^2}. \quad (2.34)$$

Для визначення азимутальної складової швидкості v_φ скористаємося рівняннями, що описують азимутальний рух зерна:

$$2\dot{r}(\omega - \dot{\varphi}) - r\ddot{\varphi} = -f \sin\beta (g - \omega^2 r \cos\beta); \quad (2.35)$$

У відповідності до (2.34) и (2.27)

$$\dot{r} = v_r; \quad \ddot{\varphi} = q^2,$$

Т. як $v_\varphi = r\dot{\varphi}$, рівняння (2.35) запишемо:

$$\frac{2v_r v_\varphi}{r} = 2v_r \omega - r q^2 + f \sin\beta (g - \omega^2 r \cos\beta). \quad (2.36)$$

Тоді:

$$v_\varphi = \omega r - \frac{r^2 q^2}{2v_r} + \frac{f r \sin\beta}{2v_r} (g - \omega^2 r \cos\beta); \quad (2.37)$$

Із збільшенням r радіальна швидкість v_r зростає майже за лінійним законом: $v_r = br$. Відтак, відповідний доданок $\frac{g f r \sin\beta}{2v_r}$ залишається майже незмінним при зростанні r , тоді як інші доданки збільшуються пропорційно. У зв'язку з цим рівняння (2.37) можна подати у такому вигляді:

$$v_\varphi = \omega r - \frac{r^2 q^2}{2v_r} (q^2 + f \omega^2 \sin\beta \cos\beta). \quad (2.38)$$

Рівняння (2.38) справедливе для нерухомої системи відліку, що підтверджується наявністю доданка ωr у правій частині. З огляду на те, що $f < 1$, доданком $f \omega^2 \sin\beta \cos\beta$ можна знехтувати порівняно з q^2 . Тоді вираз для v_φ у рухомій системі відліку, яка обертається разом із конусом, набуває такого вигляду:

$$v_\varphi = -\frac{r^2 q^2}{2v_r} = -\frac{r^2 q^2}{2\sqrt{b^2 r^2 + 2ar}}. \quad (2.39)$$

вздовж борозенки дорівнює $\alpha - (\psi - \alpha) = 2\alpha - \psi$. Тоді радіальна складова швидкості зерна дорівнює:

$$v_r' = v' \cos(2\alpha - \psi) = v \cos(2\alpha - \psi) \quad (2.43)$$

Швидкість досягає свого максимального значення за умови, що $\alpha = \psi/2$; у такому випадку зерно рухається строго в радіальному напрямку, не маючи азимутальної складової, що забезпечує найвищу продуктивність.

Коли $\alpha = \psi$, тобто напрямок руху зерна збігається з напрямком борозенок, $v_r' = v_r$ залишається незмінною - зерна рухаються вздовж борозенок без помітного опору. У такій ситуації вплив борозенок на рух мінімальний, і продуктивність пристрою залишається на рівні, аналогічному випадку без борозенок.

Якщо кут нахилу борозенок α перевищує ψ , зерно починає контактувати з борозенками з їх внутрішнього боку. У цьому випадку рівняння (2.44) залишається актуальним, проте зі зростанням кута α від ψ до $\psi/2 + 45^\circ$ ефективність подрібнювача поступово знижується й досягає нуля. При $\alpha > \psi/2 + 45^\circ$ борозенки вже перешкоджають виходу зерна назовні.

Отже, найвища продуктивність подрібнювача досягається, коли борозенки нахилені під кутом $\alpha = \psi/2$, а при перевищенні цього кута, зокрема більше ніж ψ , продуктивність різко зменшується.

Об'ємна продуктивність подрібнювача Q визначається геометричними параметрами установки та радіальною складовою швидкості руху зерна:

$$Q = \pi D Z v_r = \pi D Z \sqrt{b^2 r^2 + 2ar}; \quad (2.44)$$

де Z – розмір зерен сої між робочими поверхнями дисків.

Продуктивність по масі подрібнювача сої Q визначаємо:

$$G = \rho \cdot Q. \quad (2.45)$$

Тоді отримаємо:

$$G = \rho \cdot \pi D Z \sqrt{b^2 r^2 + 2ar}, \quad (2.46)$$

де ρ – щільність зерна сої, кг/м³;

Q – продуктивність по об'єму.

Для подрібнення, потужність буде становити:

$$N_n = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2 \cdot \omega^3. \quad (2.103)$$

Наведений вище висновок щодо впливу розташування борозенок на продуктивність пристрою є наближенням і базується на спрощеній моделі руху зерна [22].

Висновки по 2 розділу

Визначено технологічні та технічні підходи до розробки ефективних схем обробки соєвого зерна та виготовлення білкової основи кормів.

Обґрунтовано параметри запропонованого механізму для подрібнення замоченого соєвого зерна, що дозволяє здійснювати розрахунки та вибір елементів лінії для виробництва високоякісних кормових сумішей на основі соєвого білка під час проектування ліній обробки соєвого зерна.

Розроблені методики розрахунку параметрів робочого органу, які є достатніми для ефективного подрібнення замоченого соєвого зерна.

3 ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПОДРІБНЮВАЧА В ПРОЦЕСІ ПЕРЕРОБКИ ЗАМОЧЕНОГО ЗЕРНА СОЇ АБРАЗИВНИМИ ДИСКАМИ У РІДИННОМУ СЕРЕДОВИЩІ

3.1 Фізико-механічні властивості зерна сої

Виходячи з отриманих експериментальних даних, були встановлені та побудовані залежності зміни маси (m), об'єму (V) та довжини (L) зерна від часу (T) замочування (табл. 3.1, рис. 3.1).

Таблиця 3.1 – Залежність збільшення маси, об'єму та довжини зерна від часу замочування

Найменування показника	Час, замочування зерен сої у воді T , год								
	0	1	2	3	4	5	6	7	21
m , гр	0,177	0,275	0,317	0,321	0,338	0,347	0,361	0,37	0,434
L , мм	6	7	8	9	10	12	13	13	13
V , мл	0,14	0,24	0,26	0,3	0,3	0,32	0,34	0,34	0,38

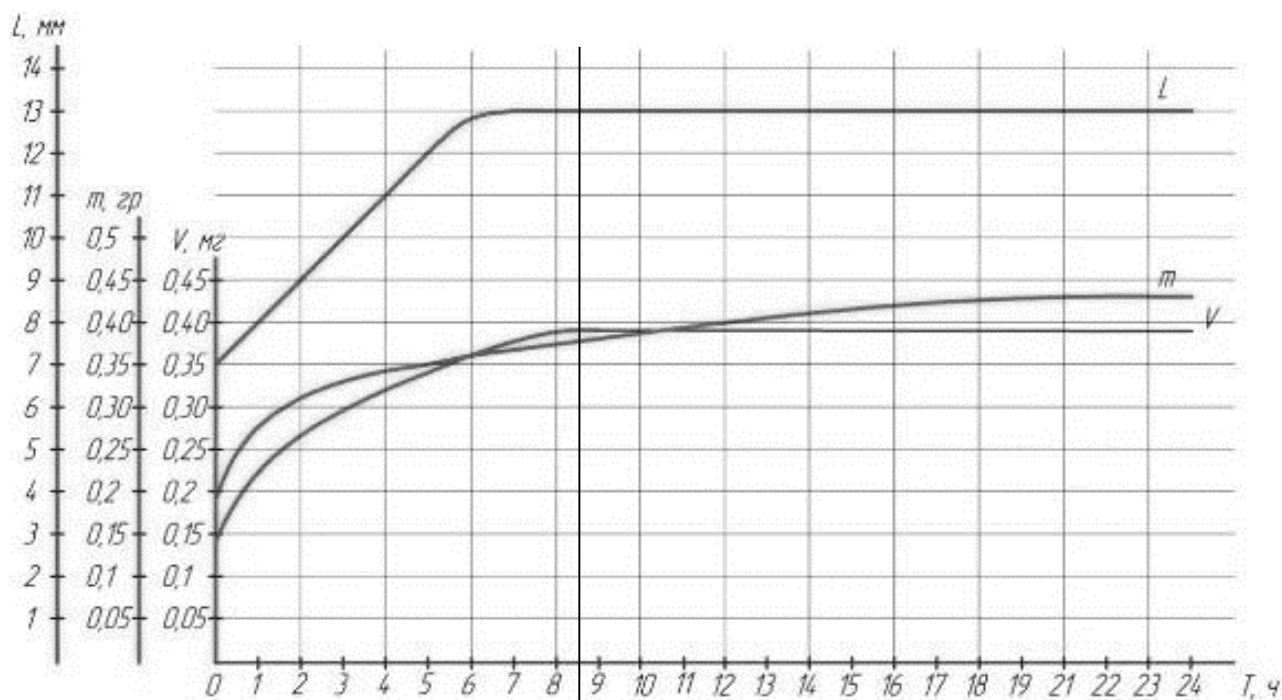


Рисунок 3.1 – Залежність зміни маси, об'єму та довжини зерна від часу замочування

Аналіз графіка залежності (рис. 3.1) дозволяє зробити такі висновки:

1. Довжина зерна протягом перших 6 годин замочування збільшилася з 6 мм до 13 мм. Подальше замочування не спричиняє суттєвих змін у геометричних розмірах сої.

2. За 6 годин замочування маса та об'єм зерна становили відповідно $m = 0,36\text{г}$ і $V = 0,34 \cdot 10^{-6}\text{ м}^3$. Подовження часу замочування є малоефективним: після 20 годин показники досягають лише $m = 0,434\text{ г}$ та $V = 0,38 \cdot 10^{-6}\text{ м}^3$.

3. Оптимальним часом замочування зерна сої є 8 годин, що підтверджується наявністю точки перегину на графіку (рис. 3.1).

Діаграма Г. Румпфа (рис. 3.2) демонструє, які сили зчеплення виникають між частинками в різних умовах і як вони залежать від їхніх геометричних характеристик.

Перша область відповідає умовам, коли контакт між частинками формується за рахунок дотику поверхонь або впливу зв'язувальних речовин. У цьому випадку міцність зв'язків визначається в основному прикладеним зовнішнім тиском, тоді як розмір частинок не має суттєвого значення.

У процесі подрібнення замоченого зерна сої така залежність пояснює, що ефективність руйнування зерна при дії абразивних дисків у рідинному середовищі значною мірою визначається не лише фізико-механічними властивостями зерна, а й умовами контакту між поверхнею диска та оболонкою зерна.

Практичне значення цього полягає в тому, що оптимальний режим подрібнення можна досягти при раціональному поєднанні прикладеного тиску та часу замочування, коли зерно набуває максимальної пластичності. Це забезпечує рівномірність руйнування структури сої й сприяє збереженню високої поживної цінності корму.

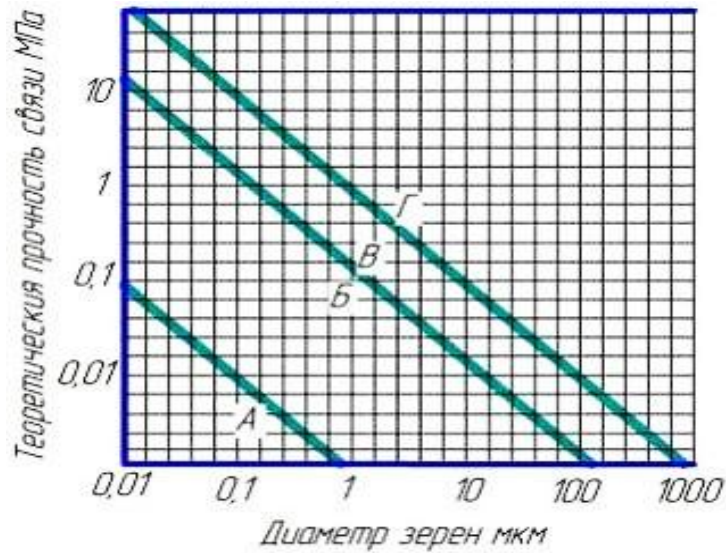


Рисунок 3.2 – Діаграма Г. Румпфа, що відображає дію різних форм зв'язків між частинками залежно від їх розмірів

Враховуючи залежність зміни маси та об'єму зерна від часу замочування, було проведено розрахунок динаміки зміни його густини [3] (табл. 3.2, рис. 3.3).

Таблица 3.2 – Зміна щільності зерна сої від часу замочування

Показники	Час замочування сої Т, год								
	0	1	2	3	4	5	6	7	21
m, гр	0,177	0,275	0,317	0,321	0,338	0,347	0,361	0,37	0,434
V, мл	0,14	0,24	0,26	0,3	0,3	0,32	0,34	0,34	0,38
ρ , гр/мл	1,264	1,145	1,219	1,07	1,126	1,084	1,061	1,088	1,142

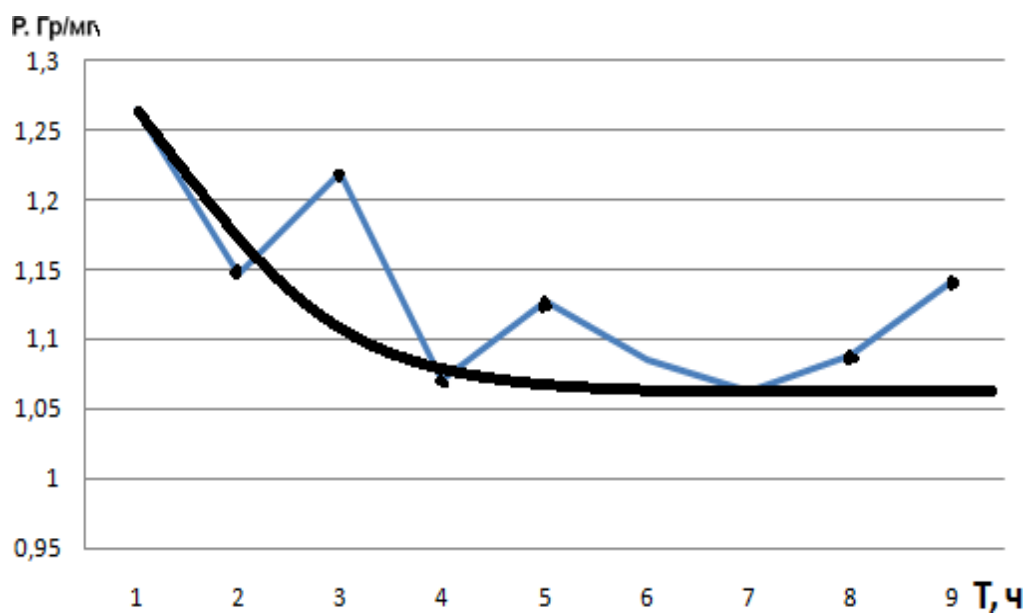


Рисунок 3.3 – Залежність густини зерна від тривалості замочування

Результати дослідження показали, що оптимальна тривалість замочування зерна сої становить близько 7–8 годин. За цей час досягаються максимальні зміни маси, об'єму та довжини зерна, зростання його вологості до 65 % та зниження густини до 1,088 г/мл. Подальше збільшення часу замочування не має істотного впливу на фізико-механічні властивості, що робить його нераціональним.

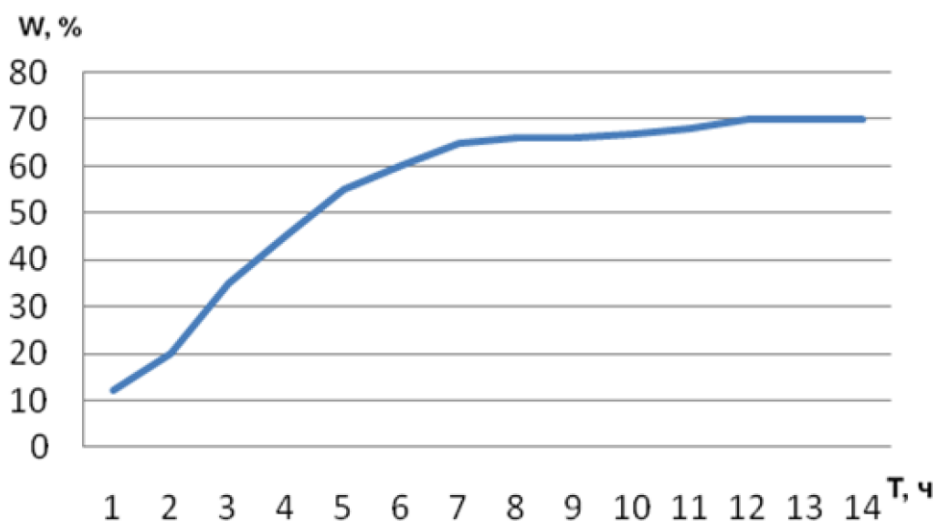


Рисунок 3.4 – Залежність вологості зерна від часу замочування

На процес приготування білкового екстракту у робочій камері подрібнювача впливає значна кількість факторів, проте кількісна взаємозалежність між ними та якісними показниками процесу досі чітко не встановлена. Для оптимізації параметрів, скорочення кількості експериментів і узагальнення отриманих результатів необхідним є побудова математичної моделі процесу.

Метод математичного планування експерименту дає змогу визначити оптимальні умови перебігу процесу отримання білкового екстракту та емпірично сформулювати його математичну модель.

На основі апріорного ранжування з урахуванням попередніх досліджень були виділені найбільш значущі фактори: шорсткість поверхні абразивних дисків; зазор між рухомим і нерухомим дисками подрібнювача (h); напрям борозен, а також частота обертання нижнього абразивного диска (ω). Рівні

варіювання зазначених факторів наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Фактори та рівні їх варіювання

Рівень	Фактори		
	Кутова швидкість диска ω , c^{-1}	Шорсткість абразиву, R_a ,	Величина зазору між дисками h , мм
	X_1	X_2	X_4
Верхній (+1)	17000	50	5
Основний (0)	16000	250	4
Нижній (-1)	14000	450	3

У таблиці подано основні параметри, які найбільше впливають на процес приготування білкового екстракту із замоченого зерна сої в робочій камері подрібнювача.

- Шорсткість абразивних дисків визначає інтенсивність механічної дії на зерно. Вищий рівень шорсткості сприяє швидшому руйнуванню оболонки, проте може призвести до надмірного подрібнення та підвищених енерговитрат.

- Зазор між рухомим і нерухомим дисками (h) впливає на силу стискання та ступінь подрібнення зерна. Оптимальне значення забезпечує ефективне відділення білкової фракції без надмірних втрат.

- Напрямок борозен на дисках визначає траєкторію руху зерна у робочій камері, що безпосередньо позначається на рівномірності подрібнення та швидкості протікання процесу.

- Частота обертання нижнього абразивного диска (ω) впливає на інтенсивність подрібнення й гідродинамічні умови в рідинному середовищі. Зі збільшенням швидкості зростає ступінь диспергування, проте одночасно підвищуються енерговитрати.

Вибрані фактори та їх рівні варіювання дозволяють у подальших експериментах побудувати математичну модель процесу та визначити оптимальні режими роботи подрібнювача.

Під час проведення експериментів контрольовані, але не регульовані

фактори змінювалися в таких межах: температура навколишнього повітря становила 17–22 °С, відносна вологість повітря – 65–85 %.

Для процесу подрібнення замоченого зерна сої були визначені критерії оптимізації: вихід білка в екстрагент (G , відгук Y_3), продуктивність подрібнювача (Q , відгук Y_2) та енерговитрати (N , відгук Y_1). За підсумками експериментів обиралися оптимальні значення цих показників.

Для оцінювання впливу факторів на результати дослідження було розраховано рівняння регресії другого порядку за допомогою програмного комплексу Statistica, які подані у закодованому вигляді:

$$Y_1 = 1,5581 - 0,00019 \omega - 0,00011 R_a - 0,1076 \alpha - 0,10863 h - 0,00001 \omega h + 0,00001 R_a \alpha + 0,0006 \alpha h + 0,00897 \alpha^2 + 0,013897 h^2 \quad (3.1)$$

$$Y_2 = 70,5946 - 0,00513 \omega + 0,0343 R_a - 10,01193 \alpha - 21,30593 h + 0,0008 \omega h + 0,0031 R_a h + 0,0134 \alpha h - 0,0001 R_a^2 + 1,0943 \alpha^2 + 1,96527 h^2 \quad (3.2)$$

$$Y_3 = -83,4565 + 0,0236 \omega + 0,017367 R_a - 8,61847 \alpha - 3,9973 h + 0,000006 \omega R_a - 0,000032 \omega \alpha - 0,001 \omega h + 0,0007 R_a \alpha - 0,016 R_a h - 0,0261 \alpha h - 0,00007 R_a^2 + 1,0806 \alpha^2 + 1,11143 h^2 \quad (3.3)$$

У розкодованому виді:

$$N = 0,36357 - 0,00147 \omega - 0,00497 R_a - 0,0858 \alpha - 0,0658 h + 0,000021 R_a \alpha + 0,0000135 \omega^2 + 0,0000348 R_a^2 + 0,00083 \alpha^2 + 0,00063 h^2 \quad (3.4)$$

$$T = 10,27083 - 1,99227 \omega + 2,36817 R_a - 2,29653 \alpha - 5,04557 h + 0,00005 \omega R_a - 0,0002 \omega \alpha + 0,0004 \omega h + 0,0002 R_a \alpha + 0,0002 R_a h + 0,0003 \alpha h + 0,019 \omega^2 - 0,0229 R_a^2 + 0,02223 \alpha^2 + 0,04897 h^2 \quad (3.5)$$

$$G = 21,35202 + 3,9244 \omega + 5,452133 R_a + 4,831567 \alpha - 5,29423 h + 0,0009 \omega R_a + 0,0005 \omega \alpha - 0,000086 \omega h + 0,0015 R_a \alpha - 0,0007 R_a h + 0,000089 \alpha h - 0,0379 \omega^2 - 0,05217 R_a^2 - 0,04760 \alpha^2 + 0,0514 h^2 \quad (3.6)$$

Після отримання придатних математичних моделей процесу, визначалися координати оптимуму та вивчалися поверхні реакції,

На основі придатних математичних моделей процесу було здійснено пошук оптимальних координат і проаналізовано поверхні реакції, також вирішувалося компромісне завдання між двома критеріями оптимізації – продуктивності та енерговитрати.

3.2 Характеристика експериментальної установки, призначеної для вивчення процесу подрібнення білкових кормів

Для проведення експериментальних досліджень щодо процесу подрібнення замоченого соєвого зерна була розроблена спеціальна експериментальна установка (див. рис. 3.5).

Процес подрібнення відбувається за таким принципом: замочене зерно сої, під дією гравітації, з завантажувальної ємності через патрубок подається разом із водою в простір між дисками. Траєкторія руху зерна завдяки центробіжним силам відповідає орієнтації криволінійних борозен. Зерна взаємодіють з абразивними поверхнями, де через складні деформації (компресія, зсув, стирання) вони подрібнюються до однорідного дрібнодисперсного помелу. Вода, що подається, допомагає змити подрібнені частинки, одночасно сприяючи екстракції білка. Рідка фракція, проходячи через сито, відокремлюється від окари і збирається через патрубок в окрему ємність. Нерозчинний залишок збирається в іншій ємності.



Рисунок 3.5 – Загальний вигляд експериментальної установки для подрібнення замоченого соєвого зерна з змінними абразивними дисками

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики експериментальної установки

Основні показники	Значення
Продуктивність установки, л/год	225-230
Маса, кг	12,5
Потужність електродвигуна, кВт	0,4

3.3 Вплив конструктивно-режимних параметрів подрібнювача сої на інтенсивність виходу білка в екстрагент

З метою зручності інтерпретації експериментальних результатів було проведено диференціювання рівнянь (3.1–3.3) за окремими змінними, після чого розв’язано відповідні системи лінійних рівнянь. Це дозволило встановити оновлені координати центрів поверхонь відгуку. На основі оптимальних комбінацій досліджуваних факторів побудовано поверхні відгуку Y_1 , Y_2 та Y_3 , а також їх графічні перерізи (рис. 3.6–3.8).

З аналізу залежностей, наведених на рис. 3.6, встановлено, що вихід білка в екстрагент зростає з 18 до 24 г при підвищенні швидкості обертання абразивного диска від 14100 до 17200 хв^{-1} , а також при збільшенні міждискового зазору в межах від 3,0 до 3,7 мм.

Результати, що отримані, пояснюються тим, що збільшення швидкості обертання диска сприяє подовженню траєкторії руху частинок матеріалу по абразивній поверхні, що забезпечує інтенсивніше подрібнення та підвищення ефективності процесу стирання.

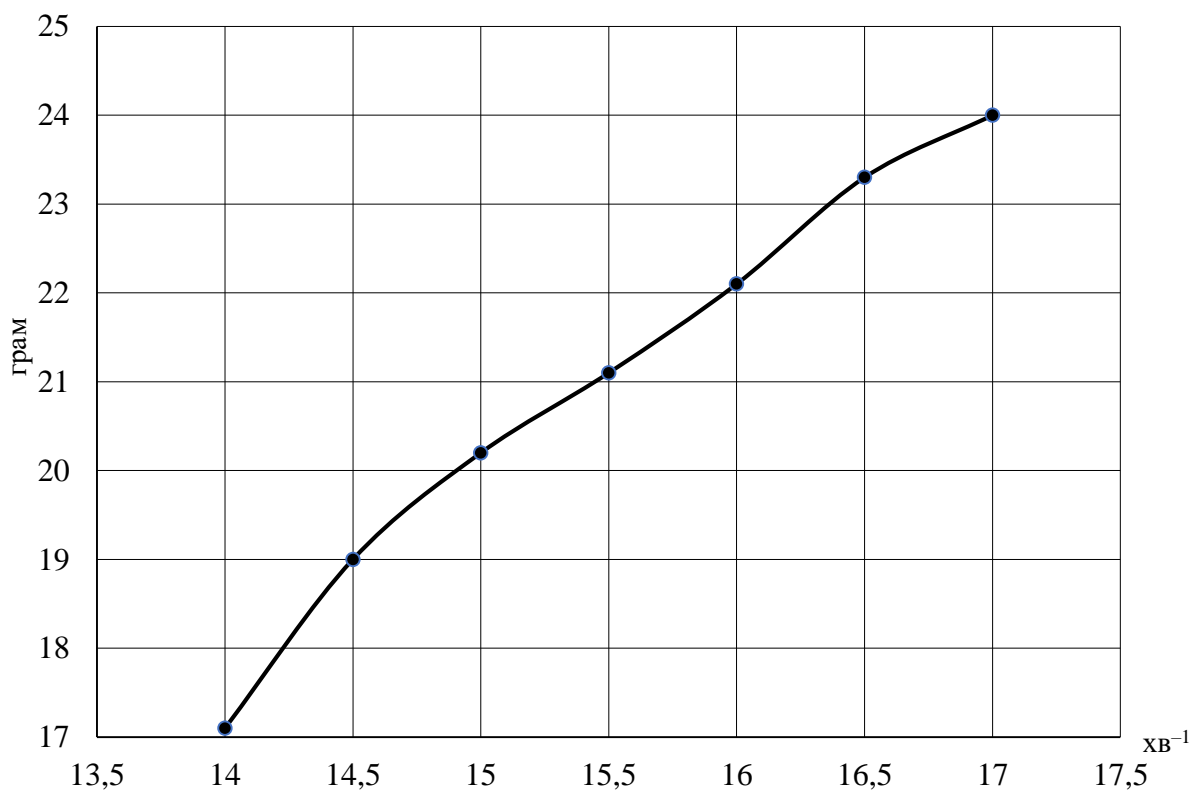


Рисунок 3.6 – Залежність виходу білка в екстрагент від частоти

обертання абразивного диска

Аналіз результатів дослідження (рис. 3.7) показує, що укрупнення зерна нанесеного абразиву позитивно впливає на інтенсивність виходу білка в екстрагент. Зростання цього показника зумовлене тим, що при збільшенні розміру абразивних частинок зростає глибина їх проникнення у структуру подрібнюваного матеріалу. Внаслідок цього посилюється механічний вплив на клітинні стінки, що сприяє більш ефективному руйнуванню тканинної структури та полегшує вивільнення білкових сполук у рідке середовище.

Експериментально встановлено, що при зміні розміру зерна абразиву від 50 до 450 мкм кількість білка, що переходить у екстрагент, зростає з 14 до 24 г. Така закономірність свідчить про суттєву роль морфологічних характеристик абразивної поверхні у формуванні умов масопереносу під час процесу екстрагування.

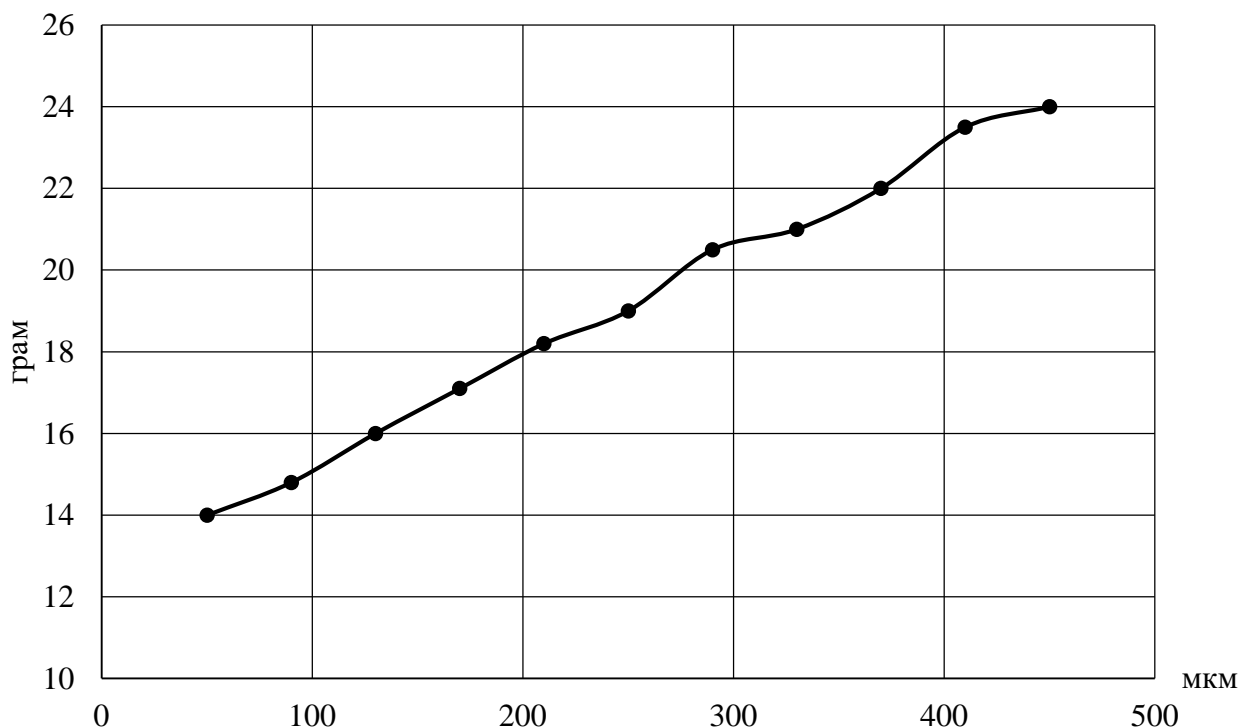


Рисунок 3.7 – Залежність виходу білка в екстрагент від укрупнення зерна нанесеного абразиву

Як показують експериментальні дані (рис. 3.8), зменшення міждискового зазору з 3,8 до 3,0 мм сприяє зростанню виходу білка в екстрагент. Така закономірність пояснюється тим, що при зменшенні відстані між абразивними

дисками інтенсивність механічної дії на оброблюваний матеріал значно зростає. Частинки зазнають більш сильного стирання та деформації, що сприяє глибшому руйнуванню клітинних стінок і, як наслідок, полегшує вивільнення білкових сполук у рідке середовище.

Зокрема, зменшення зазору забезпечує підвищення ефективності подрібнення завдяки подовженню контакту матеріалу з робочою поверхнею абразиву та збільшенню сили тиску. Це створює оптимальні умови для процесів масопереносу та призводить до помітного зростання кількості екстрагованого білка.

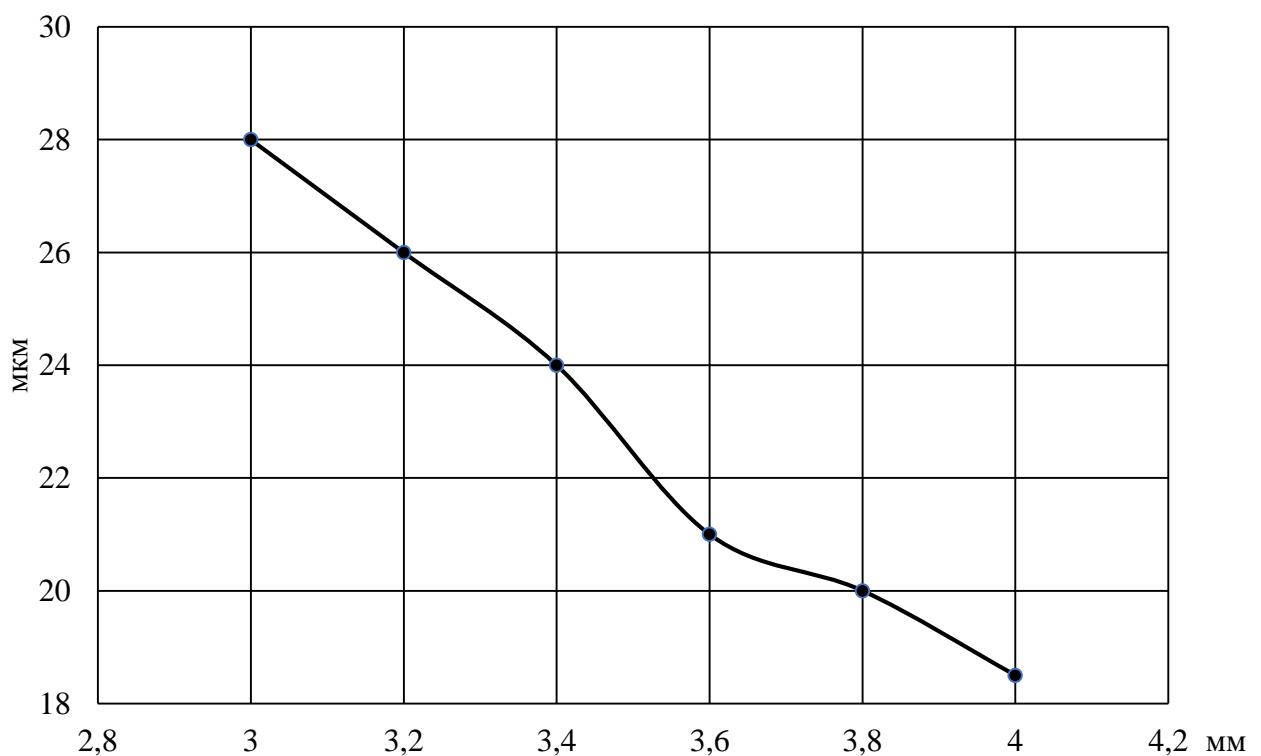


Рисунок 3.8 – Залежність виходу білка в екстрагент від зменшення міждискового зазору

3.4 Вплив конструктивно-режимних параметрів подрібнювача на потужність робочого процесу

Аналіз залежностей, наведених на рис. 3.9–3.11, свідчить, що зі зменшенням зазору між абразивними дисками енергетичні витрати на подрібнення матеріалу зростають. Це пояснюється тим, що при зменшенні міждискової відстані підвищується ущільнення зволжених зерен і їх взаємодія

між собою, що призводить до зростання коефіцієнта тертя в робочій камері та виникнення складних деформацій зерна - зсуву, кручення та вигину.

Експериментально встановлено, що при зменшенні зазору від 4,0 до 3,0 мм і частоті обертання абразивного диска в межах 14000 – 17000 хв⁻¹, потужність процесу змінюється в діапазоні від 0,32 до 0,37 кВт (рис. 3.9).

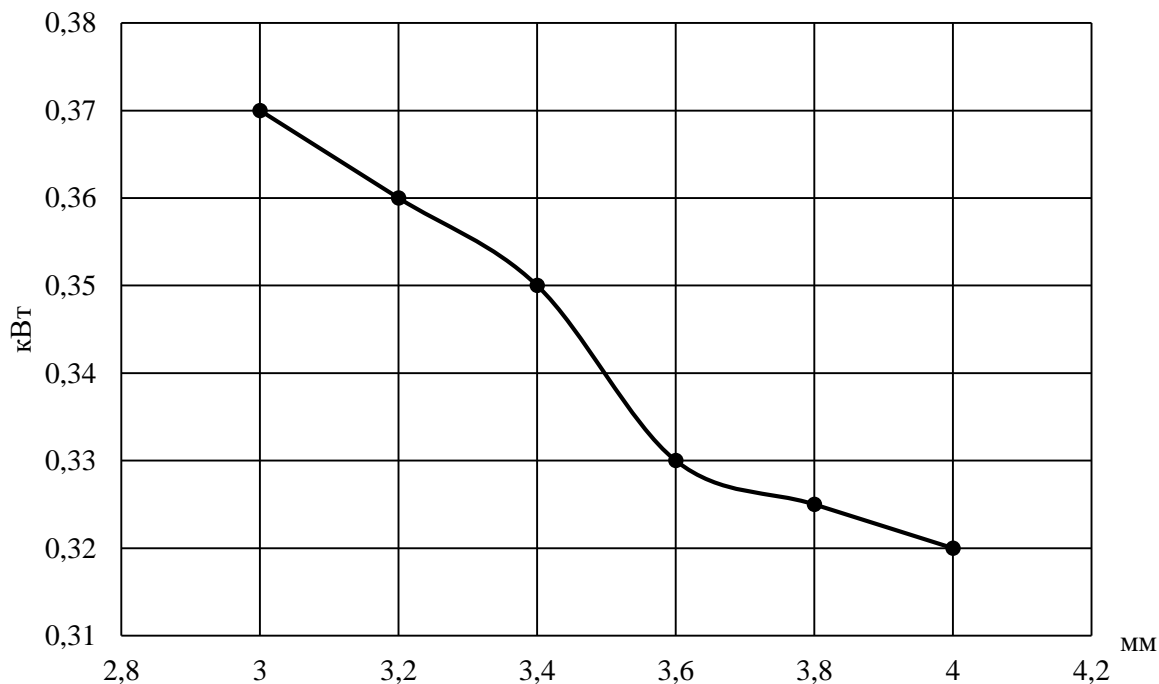


Рисунок 3.9 – Залежність потужності на подрібнення сої від міждискового зазору

При укрупненні зерна нанесеного абразиву з 360 до 450 мкм енергетичні витрати знижуються і становлять 0,34–0,38 кВт (рис. 3.10).

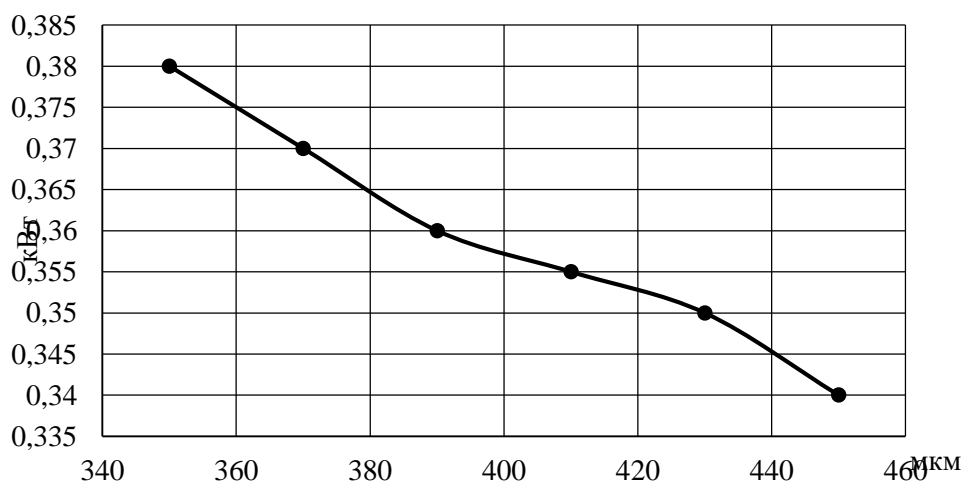


Рисунок 3.10 – Залежність потужності на подрібнення сої від укрупнення зерна абразиву

Зі збільшенням частоти обертання абразивного диска з 14000 до 17000 хв^{-1} , навпаки, відзначається зростання витрат потужності з 0,38 до 0,46 кВт (рис. 3.11).

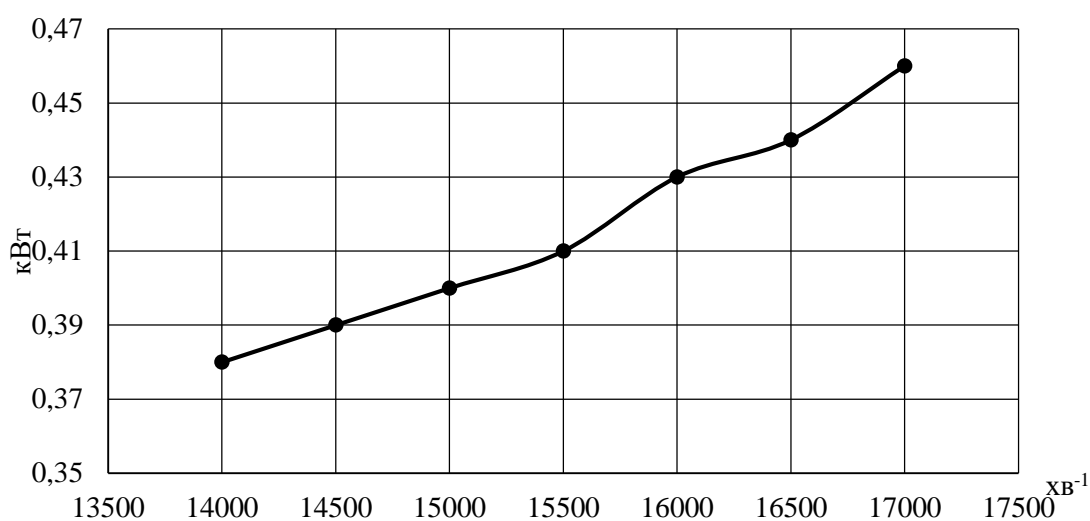


Рисунок 3.11 – Залежність потужності на подрібнення сої від частоти обертання абразивного диска

Висновки по розділу 3

1. Встановлено, що конструктивно-режимні параметри подрібнювача мають суттєвий вплив як на вихід білка в екстрагент, так і на енергетичні витрати процесу.

2. Підвищення швидкості обертання абразивного диска сприяє інтенсифікації подрібнення та збільшенню виходу білка, проте одночасно призводить до зростання витрат потужності.

3. Збільшення розміру зерна нанесеного абразиву забезпечує більш глибоке руйнування клітинних структур і підвищення ефективності екстрагування білка, при цьому сприяє зниженню енергетичних витрат.

4. Зменшення міждискового зазору позитивно впливає на інтенсивність подрібнення та кількість білка, що переходить у екстрагент, однак супроводжується підвищенням навантаження на робочий процес.

5. Мінімальні енергетичні витрати досягаються за умови оптимального поєднання досліджених параметрів, зокрема при укрупненні зерна абразиву до 360–450 мкм, частоті обертання диска в межах 14000–17000 хв^{-1} .

4 ОХОРОНА ПРАЦІ. БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Загальні положення

Охорона праці щодо підприємств тваринницького профілю, зокрема малих форм господарювання, є однією з ключових складових ефективного функціонування виробництва [13]. Умови праці при розробці та використанні ресурсозберігаючих технологій приготування кормів характеризуються низкою специфічних небезпек, що зумовлює необхідність дотримання комплексу організаційних, технічних та санітарно-гігієнічних заходів.

Нормативну базу складають: Закон України «Про охорону праці»; ДСТУ і галузеві стандарти безпеки праці; Кодекс цивільного захисту України; Правила улаштування електроустановок (ПУЕ); Правила пожежної безпеки в Україні (НАПБ А.01.001-2014); Санітарні норми допустимого рівня шуму, вібрації та запиленості.

4.2 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів

У процесі підготовки кормів для тварин використовуються дробарки, подрібнювачі, мішалки, транспортери та інше обладнання. Його експлуатація пов'язана з такими небезпечними і шкідливими факторами:

- Механічні – рухомі частини обладнання (ножі, вали, шнеки), що можуть спричинити травмування у разі потрапляння одягу чи кінцівок працівника.
- Електричні – небезпека ураження струмом при пошкодженні кабелів, неякісному заземленні чи експлуатації обладнання у вологих умовах.
- Фізичні – шум (понад 80 дБ при роботі дробарок), вібрація, підвищене чи знижене освітлення, вплив низьких або високих температур.
- Хімічні та біологічні – запиленість кормами та домішками, що може спричинити захворювання дихальних шляхів та алергічні реакції; присутність пліснявих грибів у сировині; використання мікродобавок.
- Пожежо- та вибухонебезпечні – кормовий пил здатен утворювати вибухонебезпечні суміші в повітрі; додаткову загрозу створює іскроутворення у двигунах та електропроводці.

- Психофізіологічні – статичні та динамічні навантаження, монотонність процесів, що знижує концентрацію уваги і може сприяти виникненню нещасних випадків [13].

4.3 Організаційні заходи по охороні праці

Для мінімізації дії небезпечних факторів необхідно [14]:

- розробити та впровадити інструкції по охороні праці кожному виду обладнання;
- проводити первинний, повторний та позаплановий інструктаж з безпеки працівників;
- організувати навчання персоналу засадам надавання домедичної допомоги;
- регулярно вести журнали обліку інструктажів та технічного обслуговування обладнання;
- визначити відповідальних осіб за дотримання правил техніки безпеки.

4.3.1 Технічні заходи

Обладнання повинно мати захисні кожухи, блокування та аварійні вимикачі.

Всі електроприлади підлягають регулярній перевірці ізоляції та заземлення.

Забезпечується загальнообмінна і місцева вентиляція, що зменшує концентрацію пилу у робочій зоні.

Використання систем аспірації та фільтрації повітря при дробленні та змішуванні кормів.

Освітлення має відповідати нормам (не менше 200 лк для приміщень механічної обробки кормів).

Передбачення сигнальних та блокувальних систем, що попереджають запуск обладнання при відкритих люках або несправностях.

4.3.2 Засоби індивідуального захисту [14]

Працівники мають бути забезпечені:

- для захисту органів дихання респіраторами;
- протишумовими навушниками або берушами;
- захисними окулярами;
- спецодягом з щільної тканини, рукавицями та взуттям з неслизькою підошвою;
- при роботі з хімічними добавками – гумовими рукавичками і халатами.

4.4 Пожежна безпека та безпека в надзвичайних ситуаціях

Приміщення повинні бути обладнані порошковими та вуглекислотними вогнегасниками.

Проводиться регулярне прибирання пилу та очищення повітроводів.

Забороняється паління, використання відкритого вогню чи зберігання паливно-мастильних матеріалів поруч з обладнанням.

Усі працівники повинні знати порядок дій при пожежі та місця розташування засобів пожежогасіння.

Надзвичайні ситуації на тваринницьких підприємствах можуть виникати унаслідок [13]:

- пожеж та вибухів кормового пилу;
- аварій енергопостачання;
- витоків хімічних речовин (дезінфектантів, мікродобавок);
- стихійних лих (бурі, підтоплення, зледеніння).

У випадку НС передбачено:

- аварійне відключення обладнання та електроживлення;
- організовану евакуацію працівників за планом евакуації;
- негайне повідомлення ДСНС та місцевих органів влади;
- надання домедичної допомоги постраждалим та транспортування їх до медичного закладу;

- використання резервних джерел енергії (дизель-генераторів) для підтримання життєво важливих систем підприємства (вентиляція, освітлення).

4.5 Система заходів безпеки на підприємстві

Центральний елемент – «Охорона праці та безпека». Від нього йдуть три напрямки [14]:

- Організаційні заходи → (інструктаж, навчання, контроль).
- Технічні заходи → (захисні кожухи, вентиляція, блокування).
- Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) → (респіратори, навушники, спецодяг).

Усі ці напрями зводяться до «Пожежної безпеки та дій у надзвичайних ситуаціях», що забезпечує комплексний захист працівників і стабільність виробничого процесу.

Таблиця 4.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів при приготуванні кормів на тваринницьких підприємствах малих форм господарювання [13]

Небезпечний/шкідливий фактор	Можливі наслідки для працівників	Засоби колективного захисту	Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)
Рухомі частини машин (ножі, дробарки, мішалки, транспортери)	Травмування рук, кінцівок, зтягування одягу, ампутації	Захисні кожухи, блокувальні пристрої, аварійні вимикачі	Спецодяг без вільних деталей, рукавиці, захисне взуття
Електричний струм (пошкоджена ізоляція, відсутність заземлення)	Ураження електрострумом, опіки, летальні випадки	Справна електропроводка, захисні автомати, заземлення	Діелектричні рукавиці та килимки (при роботах з електрообладнанням)
Шум понад 80 дБ (дробарки, подрібнювачі)	Зниження слуху, головний біль, втома	Шумоізоляція обладнання, встановлення глушників шуму	Протишумні навушники або беруші
Вібрація (передається через обладнання)	Порушення опорно-рухового апарату, хвороби судин	Антивібраційні основи, гумові прокладки під машинами	Антивібраційні рукавиці, зручне взуття
Запиленість кормами	Алергії, хвороби дихальних шляхів (бронхіти, астма)	Системи вентиляції та аспірації, фільтри	Респіратори, захисні окуляри
Пожежо- та вибухонебезпека кормового пилу	Пожежа, вибух, опіки, загибель працівників	Іскробезпечне обладнання, прибирання пилу, вогнегасн.	Вогнезахисний спецодяг
Недостатнє освітлення	Зниження продуктивності, підвищення ризик травм	Додаткове освітлення, відповідність нормам ДБН	Ліхтарики налобні (при аварійних роботах)
Психофізіологічні фактори (монотонність, навантаження)	Зниження уваги, підвищення ризику	Раціональний режим праці та	–

	помилки, перевтома	відпочинку, механ. процесів	
--	-----------------------	--------------------------------	--

Висновки по 4 розділу

Дотримання вимог охорони праці та засад безпеки в надзвичайних ситуаціях забезпечить не лише захист життя та здоров'я працівників, але й безперебійну роботу підприємства. Системний підхід до безпеки дозволяє мінімізувати виробничі ризики, знизити рівень травматизму, запобігти аваріям та зберегти економічну стабільність господарства.

5 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для визначення річного економічного впливу від застосування результатів наукових досліджень було використано відомі методики оцінювання ефективності впровадження нової техніки [15-16].

Головними джерелами одержання економічного ефекту являється:

- зниження матеріальних і трудових витрат завдяки поєднанню ряду технологічних операцій та застосуванню раціональних способів обробки сировини і компонентів;
- ресурсозбереження за рахунок скорочення металомісткості та енергоємності;
- підвищення якості приготування кормів.

Загальна економічна ефективність від впровадження та експлуатації запропонованих варіантів ліній приготування кормів у тваринницьких господарствах малих форм визначається шляхом порівняння їх із технологіями, що застосовуються нині.

Оскільки на ринку відсутні серійні комплексні рішення для приготування кормів, на першому етапі доцільно проводити порівняння основних операцій технологічних ліній (табл. 5.1).

Як видно по даним таблиці 5.1, процеси приготування концентрованих кормів у базовому та запропонованих варіантах є ідентичними, оскільки на ринку сільськогосподарської техніки представлено широкий спектр технологічних ліній і технічних засобів, які здатні задовольнити потреби споживачів як за продуктивністю, так і за вартістю машин.

Разом з тим, у тваринницьких підприємствах малих форм господарювання лінії приготування кормових сумішей поширені недостатньо. Це зумовлено тим, що застосовувані технології та засоби механізації складно адаптувати до умов малих господарств. У результаті вони не завжди забезпечують своєчасне та якісне приготування кормів відповідно до зоотехнічних вимог.

Ще однією причиною є слабка організація процесу освоєння нової техніки для механізації й автоматизації виробничих процесів, що пов'язано з високою

вартістю обладнання.

Таблиця 5.1 – Технологічне обладнання

№ п/п	Операції технологічних ліній	Варіанти	
		Базовий	Пропонований
1.	Корнеклубнеплодів		
	зберігання	+	+
	сепарація	+	-
	очистка + сепарація	+	+
	подрібнення	+	+
	перемішування	+	+
	роздача	+	+
2.	Грубих кормів		
	зберігання	+	+
	подрібнення	-	+
	перемішування	-	+
	підвищення поживності	+	+
	роздача	+	+
3.	Концкормів		
	зберігання	+	+
	подрібнення	+	+
	перемішування	+	+
	роздача	+	+
4.	Білкових кормів		
	зберігання	+	+
	замочування	+	+
	подрібнення + екстракція + розпод. на фракції	-	+
	теплова обробка	+	+
	роздача	+	+
5.	Приготування корм. сумішок		
	Завантаження раціону	-	+
	подрібнення + змішуван. + дозована роздача	-	+

Аналіз даних таблиці 5.1 свідчить, що основним джерелом отримання економічного ефекту є удосконалення технологій та технічних засобів за рахунок скорочення енерговитрат і тривалості циклу приготування кормів за таких умов:

- згодовування тваринам якісних кормів та кормових сумішей;
- об'єднання кількох технологічних операцій в одному технічному засобі: сухе очищення і сепарацію під час підготовки коренебульбоплодів; подрібнення, екстракцію білка та фракціонування під час приготування білкових кормів;
- зниження міцності соєвого зерна шляхом попереднього замочування.

У розрахунках як порівняльні варіанти розглядалися різні комплектації обладнання, сформовані на основі розроблених технологічних схем. Склад і технічна характеристика комплектів обладнання технологічних ліній наведені у таблицях 5.2–5.5.

Відпускна ціна модернізованої машини визначалася як сума вартості прототипу та витрат на її модернізацію:

$$\text{ЦМ} = \text{ЦПР} + \text{М} + \text{П} + \text{ТЗ} + \text{ОЗ} + \text{ДЗ} + \text{ВС} + \text{ЗВ} + \text{ЗГ}, \text{ грн},$$

де, ЦМ – відпускна ціна модернізованої машини, грн;

ЦПР – відпускна ціна прототипу, грн;

М – витрати на матеріали, грн;

П – витрати на куповані вироби, грн;

ТЗ – транспортно-заготівельні витрати, грн;

ОЗ – основна заробітна плата, грн;

ДЗ – додаткова заробітна плата, грн;

ВС – відрахування на соціальні потреби, грн;

ЗВ – загальновиробничі витрати, грн;

ЗГ – загальногосподарські витрати, грн.

У більшості, агропідприємства малих форм господарювання виконують діяльність силами членів сім'ї, то затрати на основні технологічні процеси приготування кормів розподіляєм наступним чином:

- закупівлю машин та обладнання;

- ел. енергію;
- амортизаційні відрахування та ТР.

Таблиця 5.2 – Характеристика обладнання приготування грубих кормів

№ п/п	Обладнання	Кількість, шт.	Установлена потужність, кВт	Оптова ціна, грн.
1.	Подрібнювач	1	3	20000
2.	Накопичувач, 0,8 м ³	1	-	5500
3.	Вантажний візок вантажністю 700 кг	1	-	7000
Вид затрат				
Закупівля машин та обладнання				32500
Ел. енергія				3200–6200
Аморт. та поточний ремонт				9100
Всього				44000–47800

Таблиця 5.3 – Характеристика обладнання лінії приготування корененебульбоплодів

№ п/п	Обладнання	Кількість, шт.	Установлена потужність, кВт	Оптова ціна, грн.
1.	Очисник (5 т/час)	1	0,5	25000
2.	Накопичувач, 20 л	4	-	150
3.	Вантажний візок вантажністю 700 кг	1	-	7000
4.	Подрібнювач	1	-	1500
5.	Подрібнювач	1	0,5	2500
Вид затрат				
Закупівля машин та обладнання				36600
Ел. енергія				2100
Аморт. та поточний ремонт				14300
Всього				53000

Таблиця 5.4 – Характеристика обладнання для приготування білкових кормів

№ п/п	Обладнання	Кількість, шт.	Установлена потужність, кВт	Оптова ціна, грн
1.	Накопичувач, 0,8 м ³	1	0,5	5500
2.	Бункер	1	-	3000
3.	Вантажний візок вантажністю 700 кг	1	-	7000
4.	Подрібнювач	1	1	7500
5.	Накопичувач, 20 л	4	-	150
Вид затрат				
Закупівля машин та обладнання				16100
Ел. енергія				600
Аморт. та поточний ремонт				6300
Всього				23000

Таблиця 5.5 – Характеристика обладнання для приготування кормових сумішок

№ п/п	Обладнання	Кільк., шт.	Установлена потужність, кВт	Оптова ціна, грн
1.	Подрібнювач	1	5	70000
2.	Бункер-дозатор	1	-	5500
3.	Бункер рідких добавок	1	-	1500
Вид затрат				
Закупівля машин та обладнання				77000
Ел. енергія				36000
Аморт. та поточний ремонт				21600
Всього				134600

Виробнича перевірка, проведена на тваринницьких підприємствах Сумської області, підтвердила надійність функціонування запропонованих адаптованих технологічних ліній та розроблених базових технічних засобів, а також їх можливість досягати високої продуктивності у виконанні процесів приготування кормів відповідно до зоотехнічних вимог. Встановлено, що витрати ручної праці на приготування кормів зменшуються у 2,2 рази, а продуктивність ліній підвищується на 14–17 %. Отримані результати стали основою для розрахунку та обґрунтування техніко-економічної ефективності.

Оцінку економічної ефективності здійснювали на основі розробленої математичної моделі методом накладання на модельні господарства: особисті підсобні з поголів'ям ВРХ 5 і 15 голів та фермерські господарства з поголів'ям 50 голів.

Сукупні витрати коштів на одиницю напрацювання ($I_{сз}$, грн/од.) визначали за формулою:

$$I_{сз} = (I + I_{кп} + I_e), \quad (5.2)$$

де, I – прямі експлуатаційні витрати, грн/од. напрацювання;

$I_{кп}$ – витрати, що враховують зміну кількості та якості продукції, грн/од. напрацювання;

I_e – витрати, пов'язані з негативним впливом на навколишнє середовище, грн/од. напрацювання.

Практика свідчить, що згодовування тваринам сумішей подрібнених грубих і соковитих кормів забезпечує приріст надоїв $\Delta_{г.с.} = 0,025$; при додаванні концентрованих та вуглеводних кормів – $\Delta_{г.с.кк.у.} = 0,05–0,075$; термохімічна обробка грубих кормів дає $\Delta_{г^o} = 0,15–0,18$; приготування повнораціонної кормової суміші – $\Delta_{сб.р.} = 0,18–0,24$.

Отримана фактична продуктивність залежить від матеріальних можливостей господарств щодо механізації основних операцій приготування кормів. Так, при середньому надої 3200 кг/голову продуктивність можна підвищити на 80–240 кг, що забезпечує додатковий прибуток 8–24 тис. грн для

поголів'я 5 голів ВРХ. За аналогією розраховується додатковий прибуток і для інших варіантів технологічних ліній. Крім того, використання окремих машин і обладнання у різних лініях дає можливість додатково скоротити витрати на придбання техніки.

Річну економію від заміни у наявних технологічних лініях приготування кормів розроблених машин замість базових визначали за виразом:

$$E_r = P_6 - P_n, \quad (5.3)$$

де, P_6 , P_n – прямі витрати на виконання річного обсягу робіт у базовому та пропонованому варіантах відповідно, грн.

З урахуванням сукупних витрат і отриманого прибутку фермер має можливість обирати комплект машин для приготування кормових сумішей із наявних компонентів раціону.

Сумарні витрати на механізацію основних процесів приготування кормів становлять: для 5 голів ВРХ – 25 тис. грн (підготовка грубих і зернових кормів), для 15 голів – 65 тис. грн (грубі, зернові та білкові корми), для 50 голів – 120 тис. грн (грубі, зернові, білкові корми, коренебульбоплоди).

Виявлено, що використання розробленого комплексу машин забезпечує підвищення якості приготування кормів у порівнянні з базовим варіантом на 4–23 %, а також збільшення виробництва основної продукції на 1,1–2,7 %.

Термін окупності витрат у всіх досліджених варіантах не перевищує 3,8 року.

Висновки по 5 розділу

Встановлено, що використання запропонованих технологічних ліній підвищує якість кормів на 4–23 % та збільшує виробництво основної продукції на 1,1–2,7 %.

Розрахунки показали, що строк окупності інвестицій у придбання та експлуатацію нових машин для приготування кормів не перевищує 3,8 року, що підтверджує доцільність їх запровадження в практику.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Встановлено закономірності впливу конструктивно-режимних параметрів подрібнювальних машин на вихід білка в екстрагент та енергетичні витрати процесу. Оптимізація швидкості обертання абразивного диска, розміру абразивного зерна та міждискового зазору дозволяє підвищити ефективність подрібнення і забезпечити раціональне використання енергоресурсів.

2. Доведено, що збільшення швидкості обертання диска та розміру абразивних зерен, а також зменшення міждискового зазору сприяють інтенсифікації подрібнення та зростанню виходу білка в екстрагент, при цьому обґрунтовано оптимальні поєднання параметрів, які забезпечують найкращий результат.

3. Експериментально підтверджено, що застосування розроблених машин у складі технологічних ліній дозволяє знизити витрати ручної праці у 2,2 раза та підвищити продуктивність на 14–17 %, що створює передумови для підвищення економічної ефективності господарств малих форм.

4. Розроблена математична модель оцінки економічної ефективності дала змогу визначити додатковий прибуток від впровадження нових машин: для господарств із поголів'ям 5 голів ВРХ – 8–24 тис. грн, при більшому поголів'ї цей показник зростає.

5. Встановлено, що використання запропонованих технологічних ліній підвищує якість кормів на 4–23 % та збільшує виробництво основної продукції на 1,1–2,7 %.

6. Розрахунки показали, що строк окупності інвестицій у придбання та експлуатацію нових машин для приготування кормів не перевищує 3,8 року, що підтверджує доцільність їх упровадження в практику.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Vlaicu P. A. et al. Feeding strategies and nutritional quality of animal products. – *Agriculture*, 2023, Vol. 13, Issue 9, 1788 p. – DOI: 10.3390/agriculture13091788.
2. Сільськогосподарські і меліоративні машини: Навчальний посібник / Кошук О. Б., Лузан П. Г., Мося І. А., Герлянд Т. М., Романов Л. А. – К. : ІПТО НАПН України, 2015. – 291 с.
3. Farm Machinery and Processes Management in Sustainable Agriculture / S. Pascuzzi, F. Santoro (eds.). – Springer, 2022. – 340 p. – DOI: 10.1007/978-3-031-13090-8
4. Технологія кормів та кормових добавок. / К.М. Сироватко, М.О. Зотько. – Вінниця: ВНАУ, 2020.- 263 с.
5. Підвищення ефективності використання кормів / В. С. Бомко, Л. Г. Бомко, С. П. Бабенко. – Біла Церква: ВТД «Університетська книга», 2019. – 310 с.
6. Сучасні технології заготівлі кормів: автоматизація та механізація / Л. Філоненко, О. Тихоненко. – Журнал «Агробізнес сьогодні», №10, 2021. – С. 12–17. – URL: example.com
7. Розширення функціональності кормозбиральної техніки / М. Карпенко. – Журнал «Пропозиція», №4, 2020. – С. 118–124. – DOI: 10.1234/prop.2020.04
8. Сучасна техніка для заготівлі кормів / Л. Філоненко, О. Тихоненко. – Журнал «Пропозиція», №6, 2022. – С. 105–112. – DOI: 10.1234/prop.2022.06
9. Закон України «Про фермерське господарство» (оновлена редакція) / Верховна Рада України, 2023. – URL: zakon.rada.gov.ua
10. Прогресивні технології заготівлі, приготування і роздавання кормів / В. І. Кравчук. – Київ: «Аграрна наука», 2021. – 140 с.
11. Питання заготівлі, зберігання та використання кормів при промисловій технології виробництва молока / Л. І. Подобєд, О. М. Курнаєв. – Одеса: ОДАУ, 2022. – 460 с.
12. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів / А. С. Кобець, Т. Д. Іщенко, Б. А. Волик, О. А. Демидов. – Дніпро: РВВ ДДАУ, 2020. – 85 с.
13. Pilarczyk M. et al. The Impact of Agriculture 4.0 on Workplace Safety in Animal Handling / *System Safety: Human – Technical Facility – Environment*. 2024, Vol. 6, Issue 1. С. 60–68. – DOI: 10.2478/czoto-2024-0008.

14. Hayden M. A., Barim M. S., Weaver D. L. та ін. Occupational Safety and Health with Technological Developments in Livestock Farms: A Literature Review. 2022. – Int. J. Environ. Res. Public Health, 19(24), 16440. – DOI: 10.3390/ijerph192416440
15. Економіка сільського господарства: Навчальний посібник / С. М. Рогач, Н. М. Суліма, Т. А. Гуцул, Л. В. Ярема. – Київ: ЦП "Компринт", 2018. – 517 с.
16. Тарельник Н.В. Методичні вказівки до виконання розділу «Техніко-економічне обґрунтування магістерської роботи. Для спеціальності 208 «Агроінженерія». Суми: СНАУ, 2020.-20с.
17. Die Warmlufttrocknung von naturfeuchtem Weizen – Einzelkorn / N. Ditrich. — Landtechnische Forschung, 2021, №5. – S. 142–147.
18. Mechanische und dielektrische Zerkleinerung von Getreide- und Ölsaaten / I. Gongar. – Anstrichmittee, 2020, №6. – P. 30–33.
19. Einsatz thermischer Verfahren zur Abtötung von Phoma betae in Zuckerrübensaatgut / H.-P. Grothaus. – Diss. Göttingen, 2021. — 140 p.
20. Liepe M. Paddewellenmischer als einfache Mechanischemittel zum kontinuierlichen Mischen / NiUepe // Agrartechnik. – 2020. – Ks 12. – S.323–325.
21. Breaking behaviour and interactions in maize and soybean meal while grinding of a hammer mill. F. Lyu, W. Hendriks, A.F.B. van der Poel та ін.; Advanced Powder Technology (2022)
22. Milchviehfütterung heute leistungs- und kostenorientiert / E. Roesicke. — Bonn: aid, 2022. – 65 S.
23. Fuldfoderblandere – bilag / FarmTest – Kvæg №6, 2023. — 95 s. [Статистичний збірник Регіони України книга 1.pdf https://stat.gov.ua/sites/default/files/2023-07](https://stat.gov.ua/sites/default/files/2023-07)
24. Термоштанга електронна ТЦ-3М [Електронний ресурс] / Standart-M. – URL: <https://standart-m.com.ua/ispytatelnoe-oborudovanie/picshevyh-laboratorij/termoshtanga-elektronnaya-tc-3m> (дата звернення: 06.10.2025)
25. Іваницький Г. К., Целень Б. Я., Недбайло А. Є., Радченко Н. Л. Вплив екструзійної обробки на стан жирів кормових сумішей / Світ нафтопереробки та нафтогазової інженерії. 2023. № 1 (87). DOI: <https://doi.org/10.15673/swonaft.v87i1.2687>

ДОДАТКИ