

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**Кафедра технічного сервісу та інженерного менеджменту  
імені М.П. Момотенка**

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**

В.о. завідувача кафедри технічного  
сервісу та інженерного менеджменту  
імені М.П. Момотенка

\_\_\_\_\_ **Шатров Р.В.**

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 р.

## **МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**на тему: «УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ СОЇ З  
ОБҐРУНТУВАННЯМ ПАРАМЕТРІВ ПОДРІБНЮВАЧА»**

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

**Гарант освітньої програми:**

д.т.н., проф.

\_\_\_\_\_ «підпис»

**Братішко В.В.**

**Керівник магістерської кваліфікаційної роботи**

к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ «підпис»

**Шатров Р.В.**

**Виконав**

\_\_\_\_\_ «підпис»

**Беженар В.В.**

**Київ – 2025**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**  
Кафедра технічного сервісу та інженерного менеджменту  
імені М.П. Момотенка

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри технічного сервісу та  
інженерного менеджменту  
імені М.П. Момотенка,

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 р.  
**І.Л.Роговський**

**ЗАВДАННЯ**

**ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ**

Беженару Вадиму Володимировичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

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

**Тема магістерської кваліфікаційної роботи:** «Удосконалення процесу подрібнення сої з  
обґрунтуванням параметрів подрібнювача».

затвержені наказом ректора НУБіП України від «13» листопада 2024 року №2038 «С»

**Термін подання завершеної роботи на кафедру:** 10.11.2025 р.

**Вихідні дані до роботи:**

1. Особливості виробництва та переробки продукції рослинництва природно-кліматичних зон  
України, та організації виконання робіт.

2. Існуючі наукові дослідження процесу подрібнення сої з подальшою переробкою на соєве молоко

**Перелік питань, що підлягають дослідженню:**

1. Аналіз сучасних засобів подрібнення зерна сої і тенденції їх розвитку

2. Теоретичні передумови вдосконалення машини для подрібнення зерна сої з подальшою  
переробкою на соєве молоко

3. Методика і програма експериментальних досліджень машини для подрібнення зерна сої

4. Результати експериментальних досліджень машини для подрібнення зерна сої з подальшою  
переробкою

5. Оцінка ефективності результатів досліджень машини для подрібнення зерна сої

Дата видачі завдання 18.09.2024 р.

**Керівник магістерської кваліфікаційної роботи** \_\_\_\_\_ **Р.В. Шатров**  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

**Завдання прийняв до виконання** \_\_\_\_\_ **В.В.Беженар**  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
1. ТЕХНОЛОГІЯ ТА ТЕХНІКА ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ ВИСОКОБІЛКОВИХ КОРМІВ.....	7
1.1. Соя та її значення в агропромисловому виробництві .....	7
1.2. Аналіз способів обробки зерна сої .....	10
1.3. Технічні засоби для приготування соєвого молока .....	17
2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ ЗЕРНА СОЇ.....	34
2.1. Технологія отримання високобілкових кормів на основі зерна сої .....	34
2.2. Кінематика руху зерна сої по поверхні робочого органу .....	37
3. ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	45
3.1. Експериментальна установка .....	45
3.2. Експериментальне обладнання .....	46
3.3. Методика дослідження процесу подрібнення та переробки зерна .....	47
4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	52
4.1. Дослідження зернового матеріалу на міцність .....	52
4.2. Дослідження щільності матеріалу .....	53
4.3. Дослідження процесу виходу білка .....	54
4.4. Вплив параметрів подрібнювача на процес виходу готової продукції .....	56
4.5. Визначення характеристики механізму подрібнювача .....	59
5. ВИРОБНИЧА ПЕРЕВІРКА ОБЛАДНАННЯ ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНОСТІ.....	66
5.1. Виробничі випробування дослідного зразка .....	66
5.2. Техніко-економічна ефективність.....	68
ВИСНОВОК.....	76
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	78

## ВСТУП

Підвищення виробництва продукції птахівництва та тваринництва можливе за рахунок збільшення у кормах вмісту білкових компонентів.

Аналіз поживної цінності основних кормових культур дозволив виявити, що найбільш ефективно використовувати в раціоні годівлі тварин сою, а саме білок сої. Соя, цінна своїм унікальним за якістю та складом мінеральними речовинами, амінокислотами, рослинним білком, вміст якого багато разів перевищує інші зернові культури. Соя поширена сільськогосподарська культура і використовується як у чистому вигляді після відповідної обробки, так і в комбікормах для годування майже всіх видів сільськогосподарських тварин. Основна цінність зерна сої у порівнянні з іншими кормовими культурами полягає у низькій вартості білка, який за своїм складом є відмінним аналогом дорогого білка тваринного.

Один з дієвих способів застосування сої в годівлі тварин – це годування молодняка великої рогатої худоби соєвим молоком. Такий підхід дозволяє підвищити обсяги виробництва товарного молока за рахунок зменшення витрат на молочні корми для вигодовування одного теляти з 200-400 кг до 50-150 кг, збільшити товарність цільного молока на 15-20% та знизити собівартість продукції тваринництва на 10-15%.

Переваги використання соєвого молока в тваринництві:

- завдяки сучасному технологічному обладнанню вдається виробляти високоякісне соєве молоко, яке за енергетичною цінністю майже ідентичне до незбираного цільного молока;

- під час приготування кормової суміші можна вводити потрібні мінеральні речовини, біологічно активні компоненти та лікувальні добавки;

- застосування соєвого молока дає змогу підвищити прибутковість господарств на 15-20% завдяки зростанню приросту маси тварин і зниженню вартості кормів, а також у 3-5 разів зменшити енергозатрати на приготування рідких кормів.

Аналіз наявної техніки для приготування та роздачі кормів виявив, що

серійно вироблені машини є метало- та енергоємними, а їх використання характеризується низькою ефективністю через організаційні, технічні й технологічні недоліки, що робить їх неприйнятними для умов малих ферм, селянсько-фермерських та особистих підсобних господарств.

На основі викладеного вище, удосконалення процесу приготування високобілкових кормів на базі зерна сої є актуальною проблемою.

Ми пропонуємо конструкцію подрібнювача замоченого зерна сої, технічний ефект якого полягає в покращенні якості подрібнення та розширенні функціональних можливостей завдяки одержанню подрібненої маси в дрібнодисперсному стані, зниженню енергоємності процесу за рахунок стирання зерна сої попередньо в замоченому вигляді.

Однак виявлено, що відсутні машини для приготування кормів, придатні для умов малих і особистих підсобних господарств. Крім того, питання руху зерна в замоченому вигляді по криволінійній борозенці абразивної поверхні усіченого конуса, подрібнення (стирання) зерна в замоченому вигляді до дрібнодисперсного помелу абразивною поверхнею, екстракції білка в емульсію залишаються невирішеними.

**Предмет дослідження** - аналітичні та експериментальні залежності - процесів стирання зерна сої з подальшою екстракцією білка в рідку емульсію.

**Об'єкт дослідження** - технологічний процес приготування високобілкових кормів для сільськогосподарських тварин на основі сої.

**Мета роботи:** обґрунтування конструктивно-режимних параметрів подрібнювача замоченого зерна сої для підвищення ефективності процесу приготування високобілкових кормів.

Попереднє замочування зерна дасть змогу знизити енергоємність процесу стирання завдяки зменшенню міцності зерна через його попереднє замочування у воді, тоді як застосування абразиву на дисках із криволінійними борозенками забезпечить подрібнення до потрібного дрібнодисперсного розміру частинок, що сприятиме ефективному виділенню білка в екстрагент.

**Завдання досліджень:**

1. Виконати аналіз методів, технологічних процесів та обладнання для приготування високобілкових кормів на основі зерна сої (соевого молока), а також визначити перспективні шляхи їхнього вдосконалення.
2. Створити безвідходну технологію виробництва високобілкових кормів із розробкою конструктивно-технологічної схеми технічного пристрою, який забезпечує реалізацію запропонованої технології.
3. Обґрунтувати конструктивно-режимні параметри запропонованої машини як теоретично, так і експериментально.
4. Оцінити техніко-економічну ефективність застосування розроблюваного пристрою.

# 1. ТЕХНОЛОГІЯ ТА ТЕХНІКА ДЛЯ ПРИГОТУВАННЯ ВИСОКОБІЛКОВИХ КОРМІВ

## 1.1. Соя та її значення в агропромисловому виробництві

Соя, порівняно з іншими кормовими культурами, є головним кормовим ресурсом, який забезпечує високу продуктивність тварин і птиці. Зерно сої, збагачене білком, амінокислотами та енергією, після належної обробки застосовується як корм для більшості сільськогосподарських тварин у формі цілого зерна, соєвого молока, шроту, олії, макухи та борошна.

Соя містить численні життєво важливі для повноцінної годівлі сільськогосподарських тварин мінеральні речовини, зокрема: тіамін, рибофлавін, ніацин, піридоксин, пантотенову кислоту, біотин, фолієву кислоту, інозит, холін, альфа-токоферол, вітамін, натрій, калій, кальцій, магній, фосфор, залізо, марганець, кобальт, каротин, тіамін, рибофлавін, ніацин та багато інших мікроелементів.

Такий комплекс вітамінів і макроелементів у раціоні годівлі тварин значно підвищує біологічну цінність корму та безпосередньо позитивно впливає на зростання продуктивності сільськогосподарських тварин і птиці.

Сучасні наукові погляди одностайні щодо того, що протеїн, засвоєний організмом тварини з кормових джерел, мусить бути достатнім для підтримки функціонування мікрофлори рубця та безпосередніх потреб самої тварини. Як правило, для оптимального поглинання протеїну організмом необхідні білки з високим рівнем розчинності. Відповідно, головним фактором посилення абсорбції амінокислот твариною виступає підвищення ступеня розчинення білка.

Результати досліджень науковців демонструють, що індикатор протеїнового забезпечення при годівлі великої рогатої худоби обчислюється на основі обсягу потенційно засвоєваного протеїну на одну кормову одиницю.

Співвідношення протеїну в інтервалі 1:6–1:8 класифікується як середнє, тоді як значення нижче 1:6 чи вище 1:8 вважаються широкими. За оптимальний інтервал співвідношення протеїну в раціонах годівлі сільськогосподарських

тварин прийнято вважати 1:7. Загальновідомо, що рівень продуктивності тварин залежить від обсягу засвоєного ними протеїну. Отже, високий вміст засвоюваного протеїну в раціоні сприяє загальному покращенню перетравності органічної речовини корму, зокрема азотистих компонентів.

При цьому і надлишок, і нестача протеїну в раціоні годівлі сільськогосподарських тварин згубно впливає на продуктивність та загальний стан тварини. Так при надлишку протеїну в раціоні годівлі сільськогосподарських тварин зростає ризик виникнення авітамінозу, а за низького вмісту білка падає продуктивність.

Соя входить до четвірки світових культур, після пшениці, рису та кукурудзи. Спостерігається тенденція збільшення сівби сої у провідних світових експортерах таких як США, Бразилія, Аргентина, Парагвай, Канада і т.д. (рис. 1.1)

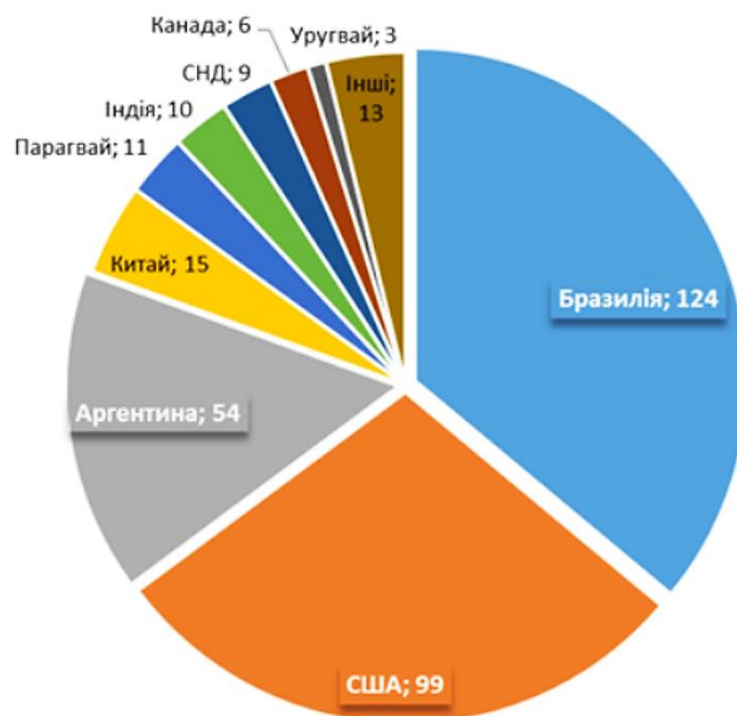


Рис. 1.1 - Виробництво сої у світі

Культивування сої на зерно набуло широкого поширення в Україні. Основними зонами вирощування сої в Україні є Лісостеп і Полісся, де формується основне виробництво цієї культури. Також значні посівні площі розташовані у Центральному та Північному Степу, тоді як у Південному Степу вирощування можливе переважно за умов зрошення..

За останнє десятиліття посівні площі та загальний валовий збір сої на зерно в Україні зросли. Так посівні площі, що віддають під посів сої зросли в 1,2 раза, а загальний валовий збір зріс у 3,4 рази. При цьому майже з кожним роком зростає врожайність. У 2024 році був зафіксований рекордний рівень валового збору сої на зерно в порівнянні з попередніми роками, він склав 6143,2 тис. тонн, правда з найбільшою площею посіву – 2537,2 тис. га.

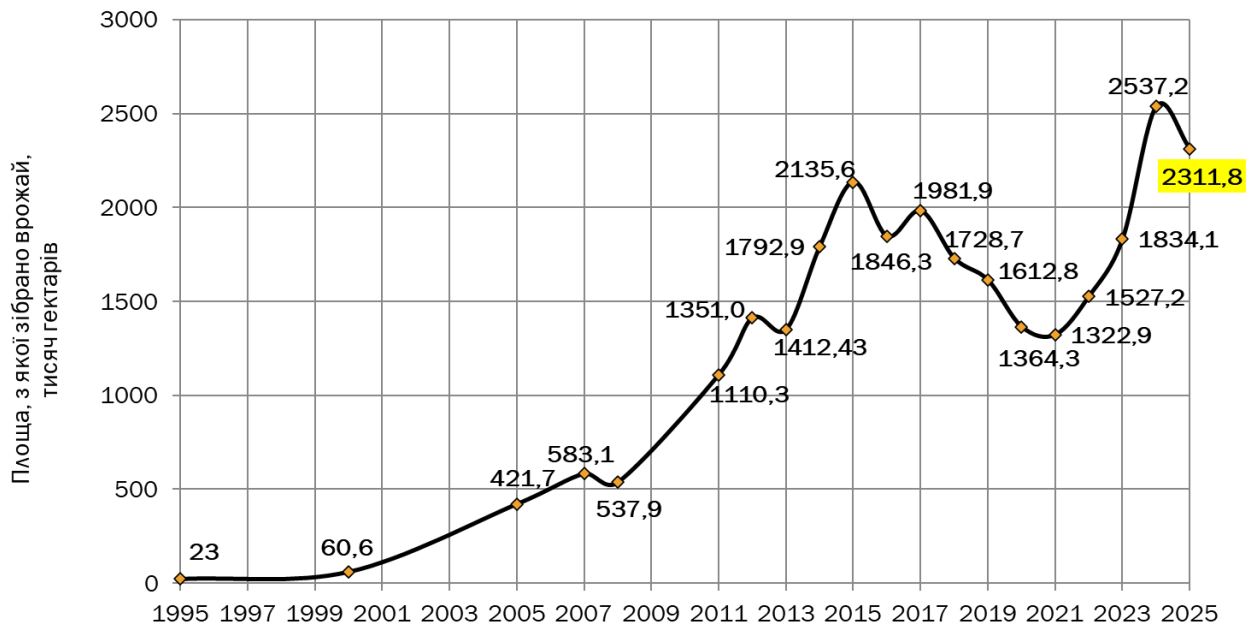


Рис. 1.2 – Площа з якої зібрано врожай сої в Україні 1995-2025 р., тис. га.

Україна у 2025 році зібрала на 470 тис. тонн сої менше, ніж у рекордному 2024 році. Такі оновлені оцінки пов'язані із скороченням посівних площ на 17% – до 2,3 млн га.

Аналітики висловлюють занепокоєння щодо наслідків такого скорочення:

- Внутрішній ринок може відчувати дефіцит сировини, що спровокує зростання цін.
- Введення 10-відсоткового експортного мита на сою, яке мало стабілізувати внутрішні ціни, може виявитись менш ефективним через зменшення пропозиції.

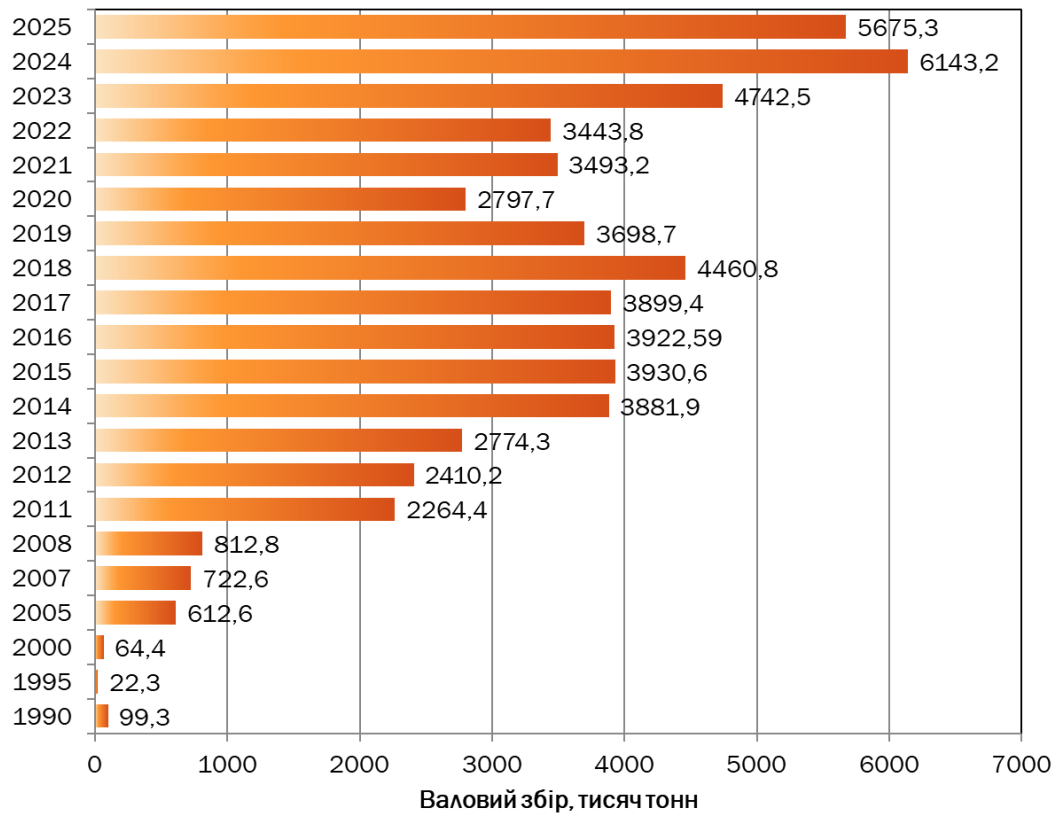


Рис. 1.3 – Валові збори сої в Україні 1990-2025 р., тис. тонн.

Нагадаємо, у 2024 році Україна збрала рекордний урожай сої завдяки розширенню посівних площ до 2,54 млн га. Нинішнє скорочення площ на 24% пов'язують із зміною пріоритетів аграріїв та погодними умовами під час сівби.

## 1.2. Аналіз способів обробки зерна сої

Соеве зерно характеризується високою концентрацією сирого протеїну, значним вмістом незамінних амінокислот, макро- та мікроелементів, а також вітамінів, що зумовлює його високу кормову та енергетичну цінність. Однак у його складі присутні антипоживні фактори (інгібітори протеолітичних ферментів, таніни, глікозиди та інші вторинні метаболіти), які істотно знижують коефіцієнт перетравності протеїну та біологічну ефективність амінокислотного складу. З огляду на це, використання сирової сої у раціонах без технологічної обробки є недопустимим.

Технологічна підготовка соєвого зерна перед згодовуванням передбачає

інактивацію антипоживних речовин та підвищення доступності протеїну для ферментативного гідролізу у травному тракті. При розробці методів обробки слід враховувати анатоמו-фізіологічні особливості травної системи різних видів тварин. Для моногастричних (свині, птиця) ключовим є підвищення доступності амінокислот у тонкому кишечнику шляхом денатурації інгібіторів трипсину та хімотрипсину. Для жуйних тварин необхідно забезпечити захист білкових фракцій від надмірної ферментації у рубці, зберігаючи їх для постферментативного розщеплення у тонкому відділі кишечника, що досягається шляхом термічної або хімічної обробки, формуванням «байпасного» протеїну.

Науково доведено, що бобові культури містять найбільшу кількість антипоживних компонентів, які негативно впливають на засвоєння протеїну. Соя, поряд із найвищим рівнем сирого протеїну серед бобових, є також лідером за концентрацією таких речовин, що підтверджується даними порівняльного аналізу (див. таблицю 1.2).

Таблиця 1.2

#### Біохімічний склад деяких зернобобових та злакових культур

Показники, %	Зерно сої	Зерно гороху	Просо	Сорго
Вміст поживних речовин				
білок	36	27,8	16,0	9,8
жири	25,0	2,2	4,0	3,4
клітковина	5,7	5,1	9,7	3,0
цукор	-	3,5	1,1	1,8
БЕВ	25,8	55,0	60,3	62,2
вітамін Е, мг/кг с. в.	124,0	110,0	60,3	185,5
Вміст антипоживних речовин				
Інгібітор трипсину, г/кг	42,2	14,7	4,8	3,7
Таніни, %	0,45	0,64	1,20	3,60

Серед антипоживних факторів бобових культур найбільш поширеним є інгібітор трипсину, який блокує активність протеолітичних ферментів, відповідальних за гідроліз білкових молекул у травному тракті. Внаслідок цього перетравність сирого соєвого борошна значно знижується, тоді як після термічної обробки (наприклад, парової) коефіцієнт перетравності підвищується приблизно

на 30%. Інші інгібітори, що містяться у зернобобових, у більшості випадків лише частково знижують ефективність засвоєння поживних речовин.

Механізм дії інгібітора сої полягає у подовженні часу відщеплення метіоніну від білкової молекули, що призводить до зменшення доступності цієї незамінної амінокислоти та загального уповільнення метаболічних процесів. Як наслідок, біологічна цінність протеїну істотно знижується. У птиці, зокрема у курчат, під впливом інгібіторів спостерігається гіпертрофія підшлункової залози, що є результатом пригнічення синтезу ендогенних амінокислот. Саме тому використання сирого соєвого зерна у раціонах сільськогосподарських тварин є неприпустимим.

Обов'язковою умовою є проведення технологічної обробки, зокрема термічної (екструзія, запарювання, тостування), яка забезпечує інактивацію антипоживних речовин та підвищує доступність протеїну для ферментативного гідролізу (див. рис. 1.4).

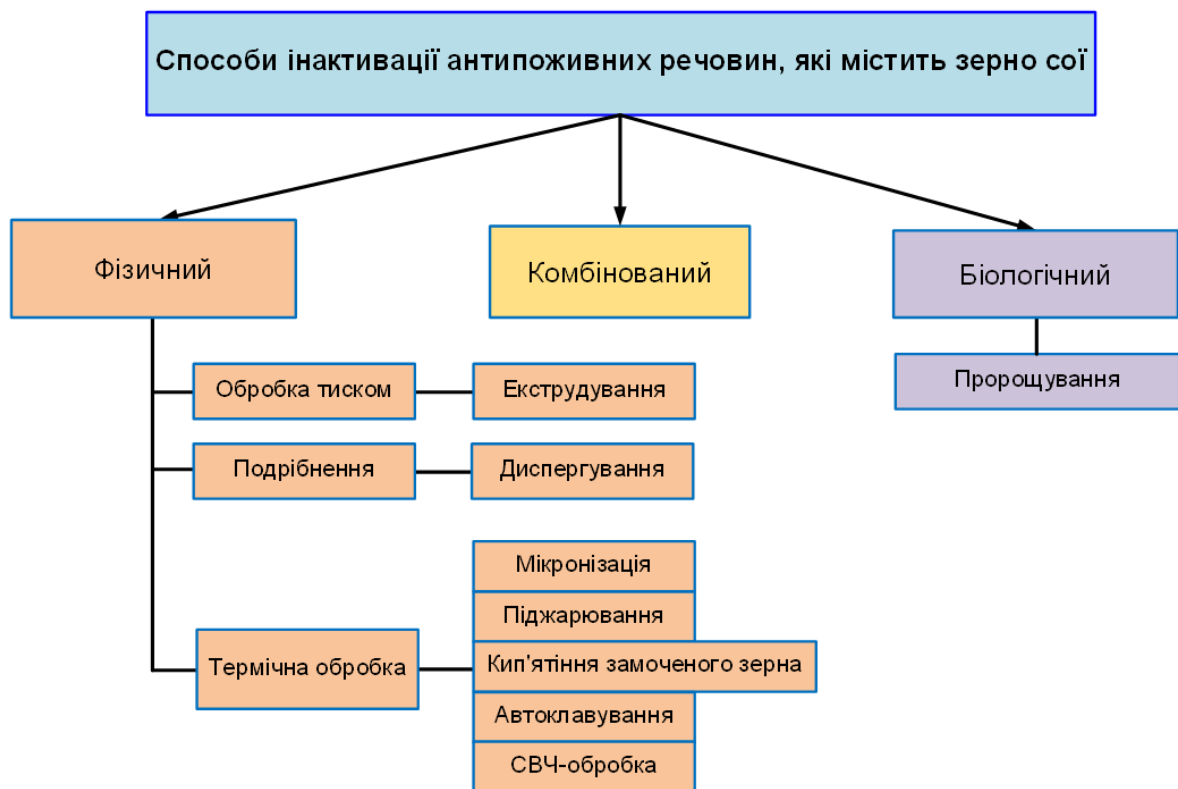


Рис. 1.4 – Класифікація способів обробки зерна сої

Вперше в Італії для підвищення загальнобіологічної цінності зерна сої і поряд з цим зниження загального вмісту антипоживних речовин здійснювали прожарювання при високій температурі, а також екструдуювання до перетворення на пластівці.

Як результат після прожарювання зерна сої кількість інгібітору трипсину впала на 2,5 мг/г, уреазу на 0,15 рН. А екструдуювання зерна дозволило скоротити час засвоєння протеїну без втрати жиру, що міститься в зерні.

Американський вчений, D.M. Thomason, стверджує, що при гранулюванні соєвого борошна найкраще проводити обробку парою з невисоким тиском (0,5 атм.) і температурі пари 126...148<sup>0</sup>С, при цьому тривалість контакту пари з соєвим борошном не повинна перевищувати 10...15 с, саме при дотриманні цих факторів спостерігається незначні втрати лізину.

В Україні найбільш поширеним і доступним методом термічної обробки соєвого зерна є підсмажування при температурі близько 240 °С протягом 5–10 хвилин. Така технологія забезпечує майже повну інактивацію антипоживних речовин та сприяє покращенню органолептичних характеристик продукту. При досягненні температури понад 130 °С відбувається практично повне руйнування уреазу, однак надмірне нагрівання призводить до підгоряння зерна, утворення золи, зниження вмісту жиру, що негативно впливає на його енергетичну цінність. Оброблене таким способом соєве борошно зберігає придатність до використання протягом приблизно шести місяців. Результати впливу різних температурних режимів підсмажування наведені у таблиці 1.3.

Наукові дослідження термічної обробки сої на пневмобарабанних установках при температурі газового середовища 105 °С засвідчили повну інактивацію антипоживних речовин, проте супроводжувалися значним зниженням вмісту альбумінів і загального протеїну. Аналіз ефективності цього методу показав, що при температурі 100–120 °С інгібітори трипсину руйнуються лише частково, а їх повна інактивація досягається при підвищенні температури до 160 °С.

Фізико-хімічні показники соєвого борошна

Показники	борошно соєве		
	без обробки	температура обробки	
		105	130
Відмінність за кольором	світло - жовтуватий	темно жовтий	світло-коричневий
Відмінність по запаху	специфічно-соєвий	кавові зерна	Шоколадний.
Вміст вологи, %	10,2	4-6	1,0-0,75
Активність уреазы, од.	24-32	сліди	ні
вміст протеїну, % альбуміни	8,2	2,6	2,2
глютеміни	10,9	9,4	9,4
проламіни	3,1	6,6	6,7
залишок	8,7	13,1	12,2

Соя використовується в годуванні всіх видів сільськогосподарських тварин у вигляді борошна, макухи, шроту, білкових концентратів, молока, зеленої маси, сіна, сінажу, трав'яного борошна і силосу (рис. 1.5).

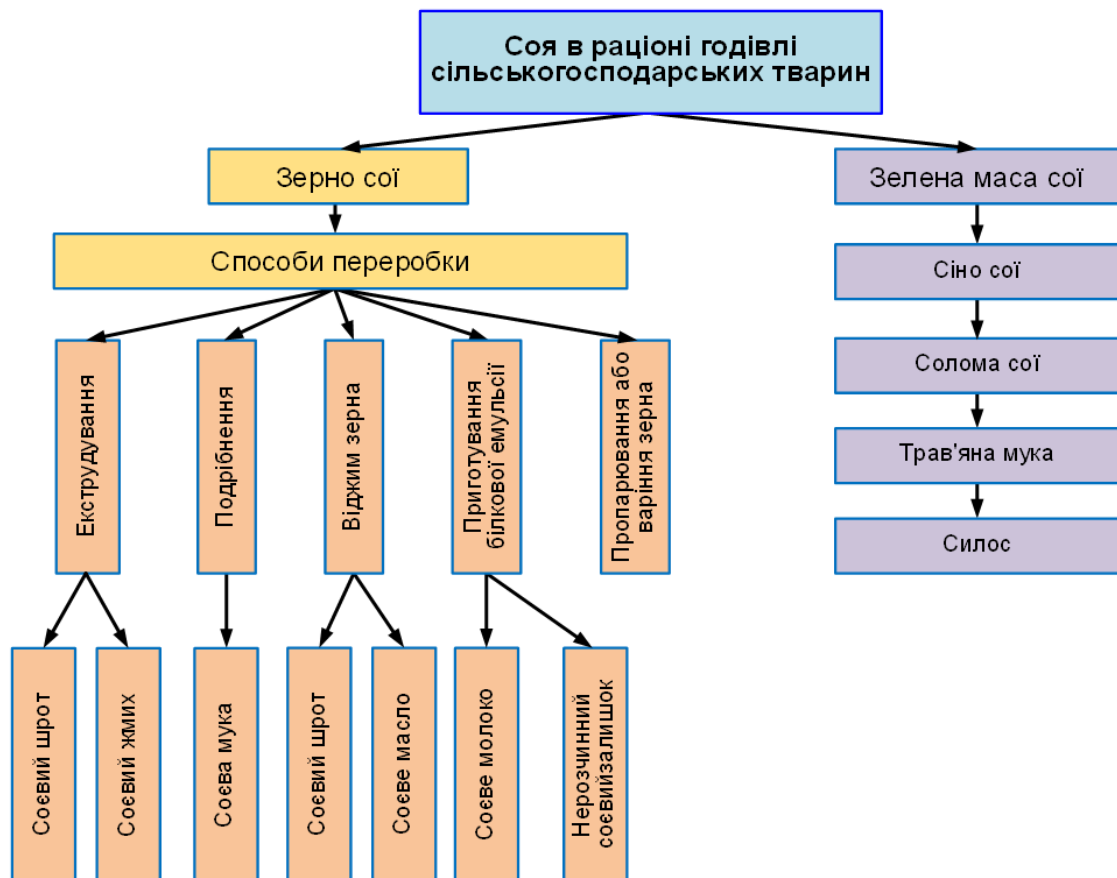


Рис. 1.5 – Класифікація кормів, отриманих з використанням зерна сої

Зелена маса сої використовується як високоякісний соковитий корм для багатьох видів сільськогосподарських тварин, як у чистому вигляді, так і в суміші з іншими кормовими культурами. У 1 ц зеленої маси сої міститься близько 22 кормових одиниць та приблизно 0,03 ц сирого протеїну, що відповідає 150–300 г перетравного протеїну на 1 кормову одиницю залежно від сорту. За вмістом протеїну зелена маса сої перевищує злакові культури у 2–5 разів.

Сіно, отримане зі стебел сої, за поживністю наближається до конюшинного: у 1 ц соєвого сіна міститься 47–54 кормові одиниці та 11–15 кг протеїну. Солома, що залишається після обмолоту бобів, також використовується як корм і характеризується високою якістю: у 1 ц соєвої соломи міститься близько 39 кормових одиниць, протеїну 3–5,8 %, жиру 2,5–3,9 %.

*Соевий шрот* - застосовують як білкову основу для приготування різного за складом комбикормів. Соевий шрот цінується за високий вміст рослинного білка і жиру і досить охоче поїдається практично всіма сільськогосподарськими тваринами. Протеїн соєвого шроту легко засвоюється організмом тварини і за біологічною цінністю не поступається білку тваринного походження і є його дешевим аналогом. За кордоном соєвий шрот має широке поширення, так, наприклад, Аргентина є одним із яскравих експортерів цього виду корму.

У процесі переробки соєвого зерна на олію або соєве молоко вихід шроту майже вдвічі перевищує аналогічний показник для інших олійних культур, таких як соняшник чи ріпак. Крім того, соєвий шрот характеризується значно вищою поживною цінністю порівняно зі шротами інших культур.

При порівнянні соєвої макухи із соняшnikовою встановлено, що валова енергія, яка виділяється під час ферментативного розщеплення корму, є приблизно однаковою, проте показник обмінної енергії у сої значно вищий – близько 2600 ккал/кг проти 1900 ккал/кг у соняшnikової макухи. За цим критерієм соєвий шрот перевершує пшеничні висівки, сухе коров'яче молоко та м'ясо-кісткове борошно. Водночас у соєвому шроті міститься менше сирієї клітковини – близько 80 г/кг, тоді як у соняшnikового шроту цей показник сягає 140 г/кг.

*Соєва макуха* - це спресоване насіння сої після виділення з них жиру, який зазвичай йде на приготування соєвої олії. Соєва макуха привертає значну увагу завдяки високому вмісту протеїну у насінні культурної сої. Білкові фракції, що містяться в макусі, відрізняються високою біологічною цінністю та коефіцієнтом засвоюваності, що робить їх незамінним компонентом у раціонах тварин. Окрім якісного протеїну, соєва макуха є джерелом важливих мікроелементів, таких як кальцій, залізо, фосфор, марганець та цинк.

Використання соєвої макухи у годівлі сприяє зниженню падежу худоби, підвищенню засвоюваності комбікормів, збільшенню надоїв та покращенню якісних показників молока, а також стимулює приріст живої маси у тварин. Експерти рекомендують включати до 20 % соєвої макухи у добовий раціон тварин. Вона може застосовуватися як у складі комбікормів, так і у чистому вигляді, причому не лише для сільськогосподарських тварин, але й для домашніх – собак, котів, декоративних птахів та риб.

*Соєве борошно* - продукт, отриманий з переробленого насіння сої (соєвих бобів), макухи та шроту. Соєве борошно за якістю амінокислотного комплексу білка і за своїм хімічним складом не поступається сухому знежиреному молоку, поступаючись лише вмістом вуглеводів, метіоніну і лізину.

Включення соєвого борошна до складу комбікормів для курей забезпечує раціональне використання кормового протеїну та дозволяє при виробництві 1 млн яєць замінити до 12 тонн рибного та м'ясо-кісткового борошна – дефіцитних джерел білка.

Згодовування соєвого борошна племінним порослятам віком 30–35 днів у кількості 100–160 г на голову на добу сприяє збільшенню живої маси при відлученні до 18–20 кг порівняно з 16–17 кг при традиційному раціоні.

Дослідження показали, що введення у раціон дійних корів червоної степової породи на 2–4 місяці лактації борошна з термічно обробленого соєвого зерна (у дозі 80 г на 1 кг молока) забезпечує приріст надоїв на 2,1 кг, або на 14,42 % і більше.

Науковці сходяться на думці, що найбільш перспективним напрямом

підготовки соєвого зерна до згодовування є виробництво рідкої білкової суспензії – соєвого молока, яке за біологічною цінністю не поступається цільному коров'ячому молоку.

Соєве молоко застосовують у годівлі молочної худоби для підвищення надоїв та жирності молока, а також при випоюванні молодняку телят і поросят як економічно вигідний замітник дорогого молозивного молока, що дозволяє суттєво знизити виробничі витрати.

За біохімічним складом соєве молоко є високоякісним кормовим продуктом. Один літр містить близько 1,73 МДж обмінної енергії та 28 г засвоюваного протеїну, що перевищує показники знежиреного коров'ячого молока. Крім того, воно містить близько 0,42 % сирової клітковини. Амінокислотний профіль соєвого молока близький до складу знежиреного незбираного молока, а за окремими амінокислотами навіть переважає його: аргінін – у 2,7 рази більше, гліцин – у 2,75 рази, лізин – на 13,9 %, треонін – на 51,5 %, а також значне зростання інших показників.

Телят привчають до споживання соєвого молока поступово, протягом 7–10 днів, збільшуючи дозу від 0,25 кг на голову на добу. Такий підхід забезпечує адаптацію травної системи до переходу з тваринного білка (коров'ячого молока) на рослинний протеїн, стимулюючи секрецію ферментів та раннє включення підшлункової залози у процес травлення. При використанні соєвого молока необхідно контролювати рівень кальцію та фосфору, оскільки їх біодоступність у сої знижена; для компенсації застосовують мінеральні добавки, зокрема крейду.

Також соєве молоко використовують для випоювання поросят. Поросят - привчають протягом 10 днів починаючи з 0,3 кг на голову на добу. Відпою виробляють окремо або з концентратами. Максимальну кількість 3 кг на голову на добу див. молока на голову. За весь час спостереження за сільськогосподарськими тваринами, що вживають, в раціон годівлі соєве молоко не було зафіксовано жодного випадку отруєння і тим більше відмінка тварин.

Соєве молоко широко застосовується у годівлі молочної худоби, забезпечуючи підвищення продуктивності без необхідності використання

додаткових вуглеводних добавок. Включення соєвого молока до раціону молочного стада сприяє збільшенню жирності молока на 1–2 % та приросту його кількості на 1,5–3 л у перші три місяці лактації, що особливо важливо в ранній період. Для покращення перетравності та засвоюваності поживних речовин, а також стимуляції молокоутворення, до соєвого молока рекомендується додавати патоку.

Результати досліджень підтверджують, що використання соєвого молока як білкової добавки у раціоні дійних корів є ефективним засобом підвищення надоїв та економічно доцільним рішенням.

### **1.3. Технічні засоби для приготування соєвого молока**

Наукові дослідження технологій та технічних засобів для приготування білкових кормів, проведені вченими, стали основою для розробки та вдосконалення серійних машин і установок, призначених для виробництва кормів. Проте встановлено, що на ринку відсутні малогабаритні пристрої та установки, здатні забезпечити отримання високобілкових кормів для всіх видів сільськогосподарських тварин, придатні для використання в умовах малих та особистих підсобних господарств.

Серед актуальних завдань залишаються питання оптимізації процесів руху замоченого зерна по криволінійній борозенці абразивної поверхні зрізаного конуса, подрібнення зерна у вологому стані до дрібнодисперсного помелу за допомогою абразивних поверхонь, а також екстракції білка у вигляді емульсії.

Відомим прикладом обладнання для подрібнення є «дисковий млин», конструкція якого включає зовнішній каркасний корпус із впускними та випускними отворами і приймальним резервуаром. Усередині корпусу діаметрально розташовані два диски з помольною поверхнею, утворюючи робочу щілину для проходження зерна. Помольна поверхня дисків виконана у вигляді різьбових насічок по всій площині, причому глибина та крок насічок одного диска збігаються з аналогічними параметрами іншого, що забезпечує ефективне стирання та подрібнення зерна.

Відомим є подрібнювальний пристрій, конструкція якого включає каркасну камеру із сепаратором, оснащеним лопатями, розташованими під певним кутом до площини горизонтального обертання, та патрубком для відведення продукту. Для запобігання забиванню сепаратора передбачено механізм струшування, встановлений на прогумованих прокладках. Основним недоліком таких подрібнювачів є низька якість помелу – отримується крупнозерниста фракція, а також відсутність можливості безперервного подрібнення великих партій зерна, що знижує ефективність процесу та продуктивність.

Інший відомий тип обладнання – подрібнювальний пристрій із циліндричним корпусом, що має отвір для надходження попередньо очищеного зерна та технологічний отвір у нижній частині для виходу подрібнених частинок. Усередині корпусу співвісно розташовані два ротори з подрібнювальними елементами, які створюють відцентрову силу для інтенсивного стирання зерна. Основним недоліком цього пристрою є високе енергоспоживання, що обумовлено подрібненням сухого зерна з високою міцністю.

Технічні засоби, призначені для виробництва соєвого молока, випускають у Канаді, Китаї, Південній Кореї та інших країнах. В Україні також існує кілька виробників соєвих кормів. Ці комплекти обладнання приблизно однакові за конструкцією та продуктивністю (40-1000 л/год).

Комплект постачання, як правило, складається з розмолочно-варочного - апарату, в який завантажується соя та інші компоненти, парогенератора, що забезпечує процес варіння та ручного фільтра-преса. До встановлення часто додається форма для виробництва соєвого сиру.

На рис. 1.6 представлена установка під назвою «Соева корова», призначена для виробництва соєвого молока. Відмінність «Соевої корови» від подібних установок полягає в тому, що соєве молоко проходить багаторазову обробку, тим самим підвищуючи собівартість 1 літра і на виході виходить продукт, рекомендований у більшій частині громадського харчування, ніж скажімо в тваринництві як кормова білкова добавка. Вартість соєвої корови – 65-110 тис. грн.



Рис. 1.6 - Мала соєва корова

Кормова соєва основа являє собою водорозчинні компоненти сої, очищені від антипоживних речовин, що забезпечує її безпечність для організму тварин. Економічні та технологічні показники виробництва соєвого молока такі: вартість установки – 50 тис. грн; собівартість 1 л соєвого молока – 0,72 грн; продуктивність обладнання – 0,1 т/год; добовий обсяг виробництва при двозмінній роботі – 1,6 т; річний – близько 580 т. Витрата сухої сої на 1 л молока становить 0,14 кг, що формує річну потребу у сировині на рівні 84 т. За врожайності сої 1,3 т/га необхідна площа посівів – близько 64 га. При добовій нормі споживання 3 л на голову вироблене молоко забезпечує відгодівлю приблизно 520 голів худоби. Характеристики готового продукту: жирність – 2,31 %, вміст сухих речовин – 9 %.

Сучасне обладнання для виробництва соєвого молока серії ETON є новітньою розробкою компанії, що відзначається компактністю, зручністю експлуатації, безпечністю, високою продуктивністю та багатофункціональністю. Основні вузли виготовлені з нержавіючої сталі, що гарантує довговічність і гігієнічність процесу. Соеве молоко, отримане на цьому обладнанні, має високий вміст поживних речовин, приємний смак і придатне для споживання тваринами різного віку. Промислова соєва машина ET-10A з робочим об'ємом варочного бака 40 літрів є новітньою розробкою компанії ETON із вбудованим млином для

помелу в загальному корпусі машини. На цій машині можна в найкоротший термін виробляти соєве молоко з потужним нагрівальним елементом 9 кВт.



Рис. 1.7 – Промислова соєва машина ET-10A

Завдяки технології використання парогенератора через весь варильний бак з рідиною проходить гаряча пара, яка дуже швидко нагріває в ньому напій, доводячи його до кипіння за дуже короткий час. Середня тривалість процесу варіння соєвого молока становить близько 25 хвилин. Також такому швидкому нагріванню сприяє енергозберігаюча конструкція варочного бака, що має подвійні стінки, відстань між якими становить 2,85 см. зберігаючи і акумулюючи температуру всередині варочного бака, особливо це буде актуально для холодного приміщення, що не опалюється.

Соєва машина марки ET-10A має цілу низку переваг, таких як невеликий розмір машини (по площі 0,5 м<sup>2</sup>), зручність експлуатації, безпека, висока продуктивність, різноманітність функцій і т.д. Все обладнання та основна її частина виготовлені з нержавіючої сталі.

Принцип роботи комплекту обладнання (рис. 1.8) СКК-60 (СКК-500) з приготування соєвого молока полягає в подрібненні сухого зерна сої до утворення дрібнодисперсного борошна, подальшого додавання води, далі рідкий екстрагент, що вийшов, проходить термічну обробку шляхом кип'ятіння.



Рис. 1.8 - Комплект обладнання для виробництва кормового соєвого молока СКК-60 (СКК-500)

Устаткування для виробництва «соєвого молока» СК-300 та інших продуктів (рис. 1.9), що містять соєвий рослинний білок, продуктивністю 300 л/год.

Комплект обладнання забезпечує виробництво високоякісних харчових продуктів на основі соєвого білка, які зберігають традиційні смакові характеристики. Ці продукти характеризуються високим вмістом протеїну, біологічна цінність якого порівнянна з білками тваринного походження. Вони не містять холестерину та лактози, легко засвоюються організмом людини та сприяють профілактиці ряду захворювань.



Рис. 1.9 - Устаткування для виробництва соєвого молока та інших соєвих продуктів СК-300

Дана установка є універсальною та ефективною для використання на будь-якому підприємстві як основне або додаткове виробництво. Вона дозволяє отримувати широкий спектр продуктів на основі сої: «соєве молоко», соєвий сир

(тофу), харчовий соєвий збагачувач (окара). Використовуючи додаткові компоненти, на цьому обладнанні можна виготовляти соєвий майонез, десерти, пюре та інші пастоподібні продукти. «Соєве молоко» слугує базою для приготування напоїв та кисломолочних продуктів, а тофу може замінювати традиційні молочні продукти (сир, творог). Окара та тофу застосовуються як добавки у виробництві напівфабрикатів, м'ясних і ковбасних виробів, паштетів, кулінарних продуктів, а також як основа для соєвої пасти та ікри. Продукти, виготовлені на установці, можуть реалізовуватися через торговельну мережу, використовуватися у закладах громадського харчування та перероблятися на підприємствах харчової промисловості.

До складу обладнання для виробництва продуктів, що містять соєвий рослинний білок, входить: 4 ванни для замочування соєвих бобів; встановлення для варіння харчової соєвої основи («соєвого молока»); парогенератор; молочний насос; центрифуга; ємність для розчину коагулянту; щит керування; ємність для коагулювання; стіл із прес-формами; прес пневматичний; ванна для промивання білка; ємність для збирання «окари»; ємність для олії; ємність для підготовки коагулянту.

Кормосуміші готуються безпосередньо у місцях вирощування тварин на основі зерна сої, гороху, люпину, пшениці, кукурудзи тощо, вирощених у самому господарстві. З цією метою розроблено десятки дешевих рецептів повноцінного збалансованого харчування молодняку та дорослих особин ВРХ та свиней.

Технологія «ТЕКМАШ» дозволяє дрібно дисперсне подрібнення, перемішування і теплову обробку сумішей за рахунок явищ гідродинаміки без традиційних теплових елементів. Це дозволяє витратити не більше 0,25 кВт\*годину електроенергії для приготування 5-6 літрів рослинного молока («пійла») на одне теля.

Запропонована технологія «ТЕКМАШ» базується на приготуванні концентрованих злакобобових добавок (переважно на основі сої) у вигляді сметано- та пастоподібних продуктів, у яких повністю зберігаються всі вітаміни та мінеральні сполуки на відміну від шроту та соєвого борошна, у яких вміст корисних речовин значно нижчий.



Рис. 1.10. Установка ТЕК-СМ для приготування вологих кормосумішей

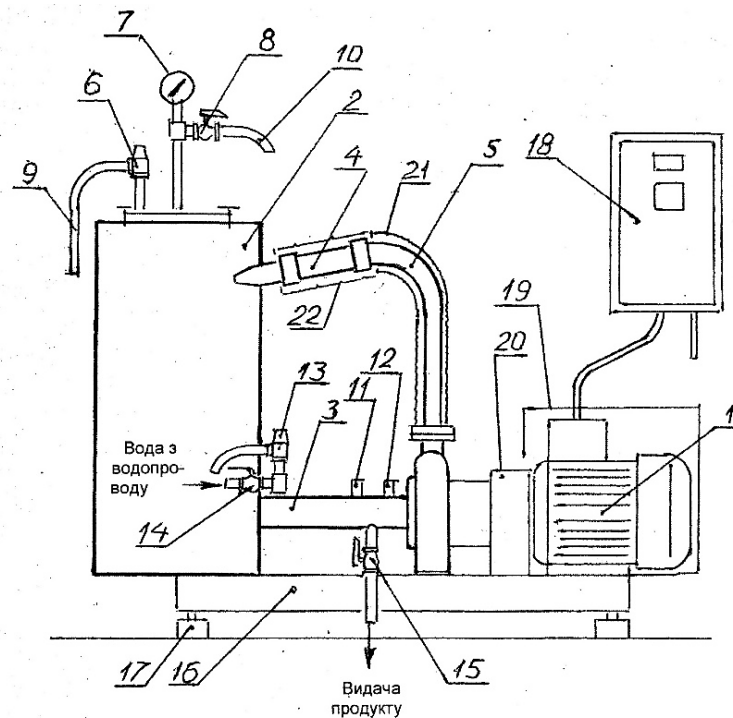


Рис. 1.11. Конструкційна схема гідродинамічної установки ТЕК-СМ

1 - насосний агрегат; 2 - резервуар; 3 - горизонтальний трубопровід; 4- сопловий апарат; 5 - напірний трубопровід; 6 - запобіжний клапан; 7 - манометр; 8 - кран для випуску повітря; 9 - дренажна трубка; 10 - трубка для відведення води; 11 - датчик дистанційного термометра; 12 - датчик дистанційного термометра (граничний); 13 - запобіжний клапан граничного тиску; 14 - кран водяний; 15 - кран випуску готового продукту; 16 - рама установки; 17 - амортизатор; 18 - шафа керування; 19 - захисний кожух електродвигуна; 20 - захисний кожух муфти; 21 - захисний кожух напірного трубопроводу; 22 - захисний кожух соплового апарату.

На відміну від сухого годування, коли корм засвоюється на 55-60%, ступінь засвоюваності кормосумішей «ТЕКМАШ» збільшується до 65-85%. Це дозволяє окупити обладнання менш ніж за 1 рік та перевести тваринницьку галузь із дотаційної до середньорентабельної.

Гідродинамічна установка для переробки зернобобових культур на вологі кормові суміші та соєве молоко ТЕК-СМ містить чотири різні за продуктивністю модифікації: ТЕК-1СМ, ТЕК-2СМ, ТЕК-3СМ і ТЕК-4СМ. Однакові за принципом дії та конструктивною схемою, вони різняться потужністю двигунів електронасосних установок (від 11 до 45 кВт), місткістю резервуарів, масою і габаритними розмірами.

Установка ТЕК-СМ (рис. 1.5) складається з насосного агрегату, резервуара й соплового апарата, з'єднаних між собою трубопроводами й арматурою і

змонтованих на рамі. Пускозахисну апаратуру електродвигуна насоса й прилади контролю параметрів технологічного процесу вмонтовано в шафі керування.

Насосний агрегат, що складається з відцентрового насоса та електродвигуна, забезпечує циркуляцію суміші соєвих бобів із водою за технологічним контуром установки.

Резервуар являє собою вертикальну циліндричну ємність із листової сталі з подвійними стінками, простір між якими заповнено теплоізоляційним матеріалом. У ньому міститься основна маса суміші соєвих бобів і води протягом усього циклу приготування порції соєвого молока.

Горизонтальний трубопровід має ніші для двох датчиків дистанційних термометрів, запобіжний клапан граничного тиску, водяний кран і кран готового продукту. Один із температурних датчиків – регульований, він повинен зупиняти насос, коли температура суміші сягає  $105^{\circ}\text{C}$ , тобто значення, передбаченого технологічним регламентом (під час роботи установки в автоматичному режимі). Другий датчик вимикає двигун насоса за найвищої допустимої температури суміші –  $115^{\circ}\text{C}$  (якщо перший датчик не спрацював або вимкнутий).

Сопловий апарат, основним елементом якого є спеціально спрофільована насадка, – це ключова складова установки. Він призначений для інтенсивного змішування потоку рідини, створеного насосом, унаслідок чого механічна енергія потоку перетворюється в теплову й рідина нагрівається, а також для забезпечення подрібнення соєвих бобів. Сопловий апарат змонтовано на кінці горизонтального відрізка Г-подібного напірного трубопроводу, що з'єднує його з насосом, вихідний отвір насадки виходить безпосередньо в резервуар біля верхнього торця по дотичній до циліндричної поверхні.

Установка ТЕК-СМ виконує технологічний процес так.

Боби сої, призначені для виробництва соєвого молока, підлягають ретельному промиванню та очищенню від твердих сторонніх домішок (металевих частинок, каміння, рослинних решток, зокрема часточок стебел). Після цього проводять замочування: у холодній воді – не менше 24 годин, у гарячій – 6–12 годин.

Технологічний процес роботи установки є циклічним. Цикл приготування соєвої суспензії включає такі етапи: Завантаження замочених бобів у резервуар через верхній люк. Додавання частини води через водяний кран, закриття люка та заповнення резервуара водою до витіснення повітря через спеціальний кран. Закриття крана та запуск насосної установки для початку процесу.

Принцип роботи установки базується на використанні явища гідродинамічної кавітації, що супроводжується комплексом фізико-механічних ефектів: ударними хвилями, кумуляцією, автоколиваннями, вібротурбулентністю, випрямленою дифузією та теплопередачою. Ці явища виникають під час утворення каверн, їх розпаду та колапсу кавітаційних пухирців, що забезпечує інтенсивне диспергування та екстракцію білкових компонентів.

Унаслідок інтенсивної циркуляції суміші сої і води по контуру: насос – трубопровід – сопловий апарат – резервуар – трубопровід – насос, механічна енергія потоку рідини перетворюється на тепло, при цьому насадка соплового апарата розділяє потік і знову з'єднує його, завдяки чому виділяється тепло (температура суміші поступово піднімається до 105°C), а соєві боби, внаслідок багаторазового проходження через насос і сопловий апарат – подрібнюються.

Процес нагрівання й подрібнення та навантаження на електродвигун контролюють за цифровим термометром і за амперметром, які встановлено на дверцях шафи керування. За технологічним регламентом подальше підвищення температури суміші не потрібне, тому насос автоматично зупиняється на 15–20 хв. За цей час закінчуються процеси перетворення суміші подрібнених бобів сої і води на соєву суспензію (пасту). Насос на короткий час запускається, щоб остаточно змішати продукт, і готове молоко (паста) за час зупинки насоса через вивантажувальний кран виливається з установки. Всі процеси виконуються автоматично, згідно з програмою, заданою під час налагодження.

Перед тривалою перервою в роботі установку промивають проточною водою.

Проведені в УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого випробування свідчать, що

одержаний продукт за органолептичними та фізико-хімічними показниками відповідає вимогам технічних умов ТУ 24110704.002–2001 “Паста соєва”. Активність уреазі (різниця рН) становить 0,08–0,11 (згідно з ДСТУ 12220–96 – не більше 0,2).

Таблиця 1.4.

## Технічні характеристики установок ТЕК-СМ

Параметр	ТЕК-1СМ	ТЕК-2СМ	ТЕК-3СМ	ТЕК-4СМ
Продуктивність (паста/молоко), кг/год	70/210	100/300	150/450	320/960
Температура теплової обробки, °С	105...110			
Тривалість циклу переробки, хв.	60			
Потужність електродвигуна, кВт	11	15	22	45
Габаритні розміри, мм	1840x570x1650	2070x660x1650	2140x900x1700	2450x960x2200
Вага, кг	480	500	620	960
Обслуживши. персонал, чол.	1	1	1 - 2	2

Таблиця 1.5.

## Порівняльна таблиця вартості молока

Найменування молока	Ціна на тону, грн.
Молоко коров'яче	2000
"Зворот" молока коров'ячого	1000
Замінник незбираного молока	1300
Рослинне молоко, отримане за технологією «ТЕКМАШ»	<b>250</b>

**Після переробки кормів за технологією «ТЕКМАШ» відбувається:**

- перетворення незасвоюваної клітковини на цукор;
- підвищення засвоюваності амінокислот на 30% і більше;
- збільшення доступності вітамінів у 2-3 рази (без додаткового внесення);
- знищення патогенної флори, а також зниження до безпечного рівня мікотоксинів, уреазі, інгібітору трипсину тощо.

**Використання технології «ТЕКМАШ» дозволяє:**

- отримати економію на одному 6-місячному теляті у розмірі 200-300 гривень за рахунок заміни «обрата» або ЗЦМ рослинним молоком

(переважно соєвим);

- збільшити середньодобовий приріст бичків на відгодівлі з 800 г до 1000 г за рахунок добавки до раціону 3-4 л 10%-ного рослинного «пійла»;
- збільшити середньодобовий приріст поросят 2-4-місячного віку на 10-15%, наприклад, з 450 до 500 г, за рахунок добавки до раціону 1-2 л рослинного молока;
- збільшити надої корів на 1-3 л за рахунок добавки до раціону 3-4 л рослинного молока;
- підняти прибутковість господарств у 2 і більше разів за рахунок збільшення приросту та зменшення собівартості кормів;
- зменшити енергоспоживання для приготування вологих кормів у 3-5 разів проти переробкою традиційним способом;
- вводити в кормову суміш у процесі її приготування необхідні мінеральні, біологічно активні та лікарські добавки.

У 2005 році державні випробування витримали установки для виробництва соєвого молока УПСМ-1, УПСМ-2 і УПСМ-3 (ПП “Монтаж-сервіс”, м. Жмеринка Вінницької обл.); далі – установка УПСМ), які призначено для переробки зерна сої на високопоживне соєве молоко в цехах харчової промисловості й кормовиробництва. В УПСМ -1 немає парогенератора – пар до пастеризатора надходить із зовнішнього джерела, крім того, вони різняться місткістю резервуара і встановленою потужністю електродвигунів і тенів.

Установка УПСМ складається з пристроїв для подрібнення й отримання соєвого молока. Пристрій для подрібнення призначено для завантаження заздалегідь замоченого й промитого зерна сої, його подрібнення у водному середовищі та спрямування через нахилений вихідний патрубок у пристрій для одержання соєвого молока. Верхня частина пристрою подрібнення – це конусна робоча камера з посадочним місцем. Нижня частина – корпус, усередині якого на підшипниках розміщено вал, на верхній консольній частині якого вмонтовано ротор і подавальний шнек. Електродвигун пристрою подрібнення розміщено по вертикальній осі під верхньою кришкою пристрою для отримання соєвого молока. Поворотна основа дає змогу встановити пристрій подрібнення в потрібному положенні та зафіксувати його за допомогою упора. Всі деталі

пристрою подрібнення, що контактують із вихідним продуктом і соєвим молоком, виготовлено з корозійностійкої сталі.

Пристрій для отримання соєвого молока складається з ємності, розміщеної у корпусі. Зовні він має теплоізоляцію. Знизу до корпусу приварено парогенератор, усередині якого є три електронагрівачі. Воду в парогенератор наливають через лійку. Ємність пристрою приготування соєвого молока закривається кришкою. На кришці встановлено клапан для регулювання тиску в ємності та мановакуумметр для контролю тиску. Межі настройки реле тиску – 0,05–0,6 кг/см<sup>2</sup>. На верхній кришці пристрою для отримання соєвого молока на стійці вмонтовано пульт управління.

Усі вузли установки розміщено на рамі, виготовленій із сталеві квадратної труби. Принцип отримання соєвого молока на установці УПСМ ґрунтується на методі помелу сої у водному середовищі. Вручну в конусний бункер пристрою подрібнення завантажують заздалегідь замочену й промиту сою (з урахуванням збільшення маси внаслідок замочування). Сюди ж подають воду. Співвідношення сої й води – від 1:3 до 1:9.

Під час вмикання електродвигуна пристрою подрібнення обертання через пасову передачу й вал передається на насадку, гвинтові поверхні лопатей захоплюють сою з водою, і в зоні між ребристою внутрішньою поверхнею кришки та зовнішньою поверхнею лопатей відбувається попереднє її подрібнення. Далі соя спрямовується до ребристої внутрішньої поверхні статора, де відбувається далі її подрібнення завдяки багаторазовому зіткненню в зустрічних потоках. Під час обертання ротора відбувається багаторазове високої частоти перекриття пазів, сходження й розходження його кромки із кромками статора – при цьому відбувається процес розчинення білка й речовин сої у воді, а також подрібнення нових порцій сої. Далі через нахилений патрубок суспензія (молоко), що утворилася, надходить у ємність пристрою для одержання соєвого молока.

Отримане молоко підлягає пастеризації парою, утвореною в парогенераторі. У процесі теплової обробки нейтралізуються інгібітори трипсину.

Вода, залита в парогенератор, нагрівається електронагрівачами до кипіння. Пар, що утворився під час кипіння води, витісняє з пароводяної сорочки повітря, яке виходить через запобіжний клапан. За закритого запобіжного клапана створюється тиск пари. По досягненні верхньої межі тиску пари електронагрівальний пристрій перемикається на 1/3 потужності. Коли тиск падає до заданої нижньої межі, пристрій автоматично перемикається на повну потужність. Далі цикл повторюється.

Температура в ємності пристрою для одержання соєвого молока задається й контролюється регулятором температури ТРМ 1А і датчиком ТСМ-50. Молоко видають за допомогою зливного крана чи молочного насоса.

Таблиця 1.6

Результати досліджень установок для приготування соєвого молока  
вітчизняного виробництва

Показник	Значення показника					
	УПСМ-2	УПСМ-3	ТЕК-1СМ	ТЕК-2СМ	ТЕК-3СМ	ТЕК-4СМ
Марка машини						
Продуктивність, кг/год	240	73,17	54,98	90,29	112,50	233,77
Встановлена потужність, кВт	32,8	17,5	11	15	22	45
Витрати електроенергії, кВт·год	7,3	4,38	9,45	14,1	20,43	34,3
Показники якості виконання технологічного процесу:						
Характеристика готового продукту:						
- вологість, %	93,0	93,4	81,1	82,1	85,5	82,7
- об'ємна маса, кг/м <sup>3</sup>	890	880	853	847	850	840
Фізико-хімічні показники готового продукту:						
масові частки, %, - вологи	93,0	93,4	81,1	82,1	85,5	82,7
- жиру	0,90	0,88	22,8	24,4	18,99	16,3
- білка	1,8	1,8	28,7	29,5	33,28	37,9
- золи	0,4	0,3	6,7	6,0	6,32	5,1
Активність уреаз, різниця рН	0,03	0,03	0,09	0,10	0,08	0,11
Місткість резервуара, л	250	60	70	120	150	330
Габаритні розміри установки, мм						
- довжина	1700	1145	2150	2150	2140	2450
- ширина	850	650	720	720	885	960
- висота	1940	1590	1650	1650	1700	2200
Маса установки, кг	450	218	480	500	620	960

Також цікаве обладнання УРВА-250 виготовляє ТОВ «Технологічний центр «Система», який входить до складу широко відомої за кордоном асоціації «Асося». За допомогою такої установки можливо готувати не лише соєве молоко, а й будь-який рідкий корм.

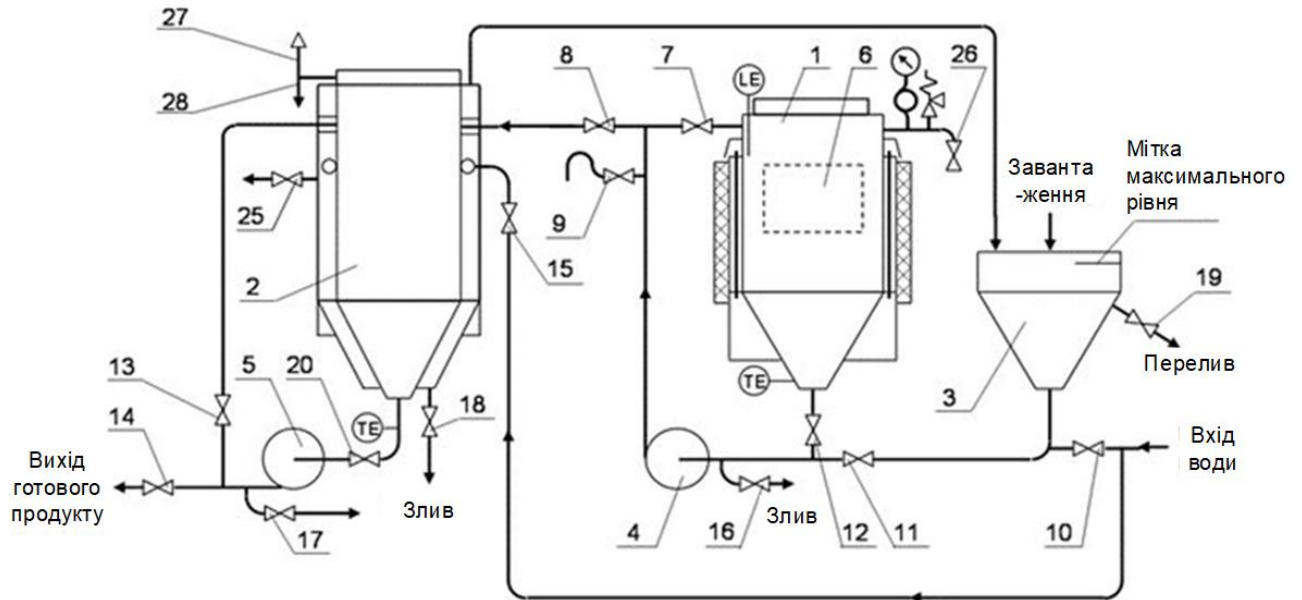


Рис. 1.12 – Конструкційна схема універсальної установки УРВА-250

1 - варильний апарат; 2 - накопичувальна місткість; 3 - завантажувальна місткість; 4 - подрібнювальний апарат; 5 - насос, з'єднаний трубопроводами з накопичувальною місткістю; 6 - корзина для добавок м'ясокісткової сировини.

На трубопроводах встановлені крани: 7 - для повернення суміші в варильний апарат при циркуляції; 8 - подачі сировини в накопичувальну місткість; 9 - рівня заповнення місткостей; 10 - подачі води у варильний апарат та завантажувальну місткість; 11 - подачі сировини в подрібнювач; 12 - запірний варильного апарата; 13 - рециркуляції готового продукту при охолодженні; 14 - виходу готового продукту; 15 - подачі води у водяний контур накопичувальної місткості; 16 - відбору проб; 17, 18 - зливи; 19, 20, 25 - переливні; 26 - зтавлення повітря при завантаженні сировини; 27 - патрубок для відводу пари; 28 - штуцер для зливання конденсату.

Залежно від наявних ресурсів та рецептури, визначеної зоотехніком, у процесі роботи обладнання можливе введення різноманітних компонентів: зернофуражу, шротів, жмиху, м'ясо-кісткової сировини, жирів, а також вітамінно-мінеральних добавок. При встановленій потужності 50 кВт установка забезпечує продуктивність близько 250 л/год високобілкової суміші, яка ефективно використовується для годівлі різних статевих-вікових груп свиней та великої рогатої худоби – від підсисного молодняка до дорослого поголів'я.

Соя є основним джерелом рослинного білка, багатого на незамінні амінокислоти, а її кормова цінність сягає 1,45 кормових одиниць. Це одна з найбільш поширених сільськогосподарських культур, яка застосовується як у чистому вигляді після відповідної обробки, так і у складі комбикормів для майже всіх видів тварин. Головна перевага сої порівняно з іншими кормовими культурами полягає у низькій вартості білка, який за амінокислотним складом є повноцінним аналогом дорогого білка тваринного походження.

Науковці одностайно вважають, що найбільш перспективним напрямом підготовки соєвого зерна до згодовування є виробництво рідкої білкової суспензії – соєвого молока, яке за біологічною цінністю не поступається цільному коров'ячому молоку. Однак у практиці особистих підсобних господарств та невеликих ферм використання соєвого зерна обмежене через відсутність універсального малогабаритного та енергоефективного обладнання для його переробки на корм.

Таким чином, виникає потреба у розробці універсальної технології приготування білкової емульсії, придатної для умов дрібнотоварного виробництва та особистих господарств.

## 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ ЗЕРНА СОЇ

### 2.1. Технологія отримання високобілкових кормів на основі зерна сої

На основі проведеного патентного пошуку та аналізу існуючих способів і технологій, що передбачають використання серійно випущеного обладнання для виробництва соєвого молока із зерна сої, було розроблено універсальний пристрій для переробки соєвого зерна на корм для сільськогосподарських тварин.

Ключовою особливістю запропонованого способу переробки, реалізованого у розроблюваному пристрої (див. рис. 2.1), є інтеграція низки технологічних операцій в єдиний процес: подрібнення зернового матеріалу; змішування з водою для екстракції білка у вигляді емульсії; розділення отриманої маси на соєве молоко та окару.

Таким чином, пристрій забезпечує безперервність технологічного циклу та підвищує ефективність виробництва високобілкових кормів.

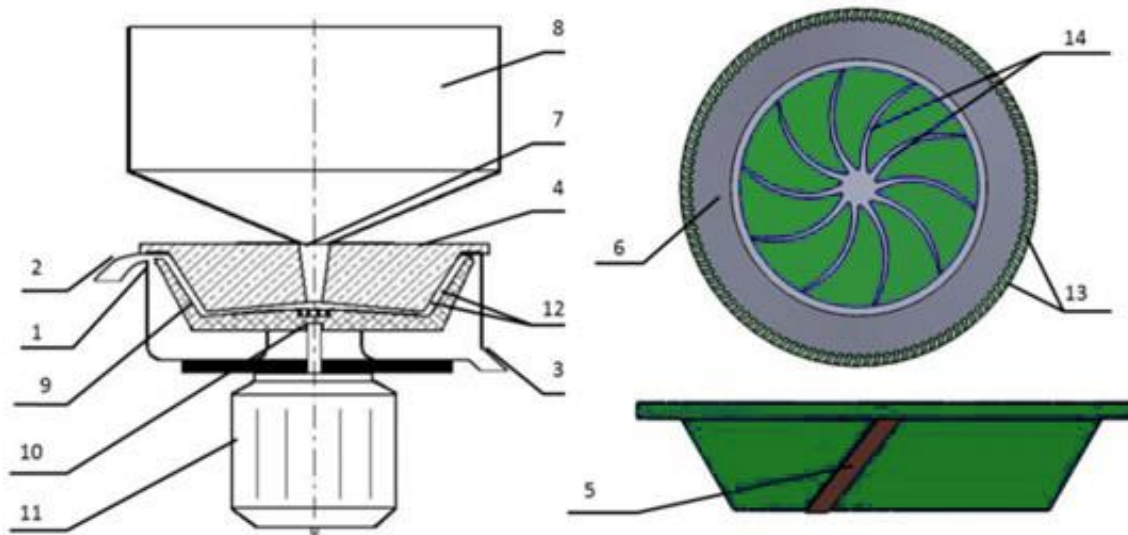


Рис. 2.1 – Конструктивно-технологічна схема подрібнювача замоченого зерна

1 - каркасний корпус, 2 - отвір для окари, 3 - отвір для збору соєвого молока, 4 - верхній статичний диск з нанесеним абразивом, 5 - подрібнювальна канавка, 6 - сито, 7 - живильник подрібнювальної камери, 8 - завантажувальна горловина ПЗЗС, 9 10 - вал електроприводу, 11 - електропривод, 12 - отвори в ситі, 13 - напрямні борозенки, 14 - криволінійні напрямні канали

Запропонована технологія дозволяє відмовитися від використання цілого комплексу машин, призначених для виконання кожної технологічної операції окремо, а також від багатотоннажних резервуарів для подрібнення, зберігання та перемішування проміжних продуктів переробки соєвого зерна. Завдяки інтеграції процесів у єдиний цикл досягається значне спрощення виробничої схеми та зниження витрат.

Кінцевими продуктами переробки соєвого зерна за цією технологією є легко засвоювані протеїнові корми з оптимальним амінокислотним складом, такі як соєве молоко, сир «Тофу» та соєва макуха. Після проведення теплової обробки ці продукти можуть використовуватися не лише як білкові добавки у раціонах годівлі сільськогосподарських тварин, але й у харчовій промисловості (див. рис. 2.2).

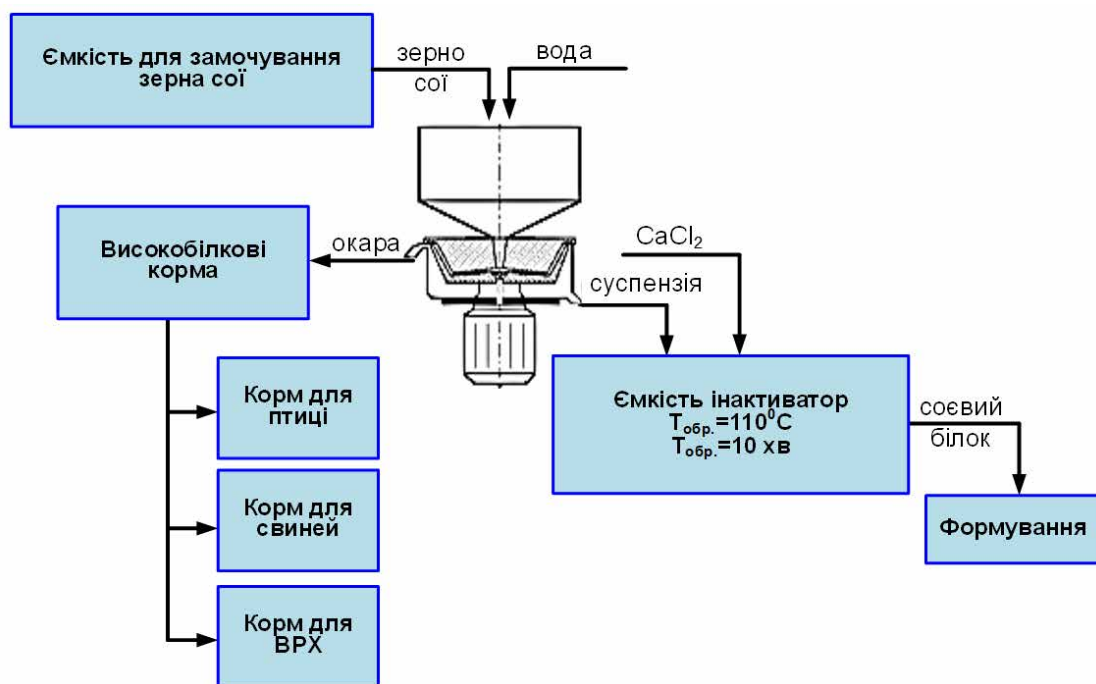


Рис. 2.2 – Технологічна схема безвідходного приготування високобілкових кормів на основі зерна сої

Технологія отримання протеїнової добавки для раціонів годівлі сільськогосподарських тварин передбачає наступну послідовність операцій:

Попередньо очищене зерно сої заливають водою у співвідношенні 1:3 (зерно:вода) та витримують протягом 8 годин. Після набухання залишкову воду

зливають, а зерно направляють у завантажувальну горловину подрібнювача замоченого зерна сої (ПЗЗС).

Під дією сили тяжіння зерно потрапляє в камеру подрібнення, де безперервно подається дистильована вода у пропорції 1:10 (зерно:вода). У камері відбувається стирання зерен до дрібнодисперсного стану за допомогою абразивних поверхонь робочих дисків та турбулентних потоків води, що забезпечує багаторазову взаємодію частинок із рідиною та повну екстракцію соєвого білка.

Для безперервного отримання білкової суспензії без окари та нерозчинених часток ПЗЗС оснащений ситом. Окара та укрупнені частинки використовуються як білковий компонент у комбікормах, а рідка протеїнова суспензія після термічної обробки – для випоювання тварин.

Додавання коагулянтів (кухонної солі, оцту, кисломолочної закваски, крейди тощо) до соєвого молока спричиняє осадження білка з утворенням соєвої сироватки, придатної для кормів. Свіжий соєвий сир «Тофу» охоче поїдається сільськогосподарською птицею будь-якого віку та є цінним білковим компонентом раціону.

Характеристика білка сої наведена у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Білок сої за ДСТУ 4964:2008

	Показники у перерахунку на суху речовину		
	Частка вмісту жиру, %	Частка вмісту золи, %	Частка вмісту засвоюваного протеїну, %
Білок сої	10	7,25	33,35

Технічний результат пристрою закладений у зменшенні енергоємності технологічного процесу подрібнення зерна, за рахунок зниження міцності вихідного зернового матеріалу шляхом попереднього багатогодинного витримування у воді, широка взаємодія подрібнених частинок з водою для виходу білка в екстрагент.

## 2.2. Кінематика руху зерна сої по поверхні робочого органу

Ключовим елементом запропонованої технології виробництва високобілкових кормів із зерна сої є подрібнювач соєвого зерна. Основна технологічна операція, що реалізується у цьому пристрої, полягає у стиранні замоченого зерна до дрібнодисперсного стану. Робочий орган виконаний у вигляді усіченого конуса з криволінійними борозенками, поверхня якого покрита абразивним шаром для забезпечення ефективного подрібнення (див. рис. 2.3).



Рис. 2.3 – Загальний вигляд. Схема рухомого абразивного диска з криволінійними борозенками

Для складання рівняння руху зерна розглянемо його відносний рух по абразивній поверхні, яка представляє собою усічений конус з нанесеним абразивом (рис. 2.3), який обертається навколо вертикальної осі з частотою  $n$  об/хв. Розмір конуса представлений на креслення, кут нахилу поверхонь утворюють конус до вертикальною осі  $\beta = \arctg \frac{D-d}{2h}$ . Кутова швидкість обертання конуса дорівнює:  $\omega = \frac{\pi n}{30}$  рад/с.

Під час роботи подрібнювача зерна розташовуються на конічній абразивній поверхні та мають дві ступені свободи. Їх положення можна описати двома узагальненими координатами: радіальною координатою  $r$  – відстань від вершини конуса до поточного положення зерна вздовж утворюючої конуса; кутовою змінною  $\theta$  – кут повороту радіус-вектора зерна при його русі по поверхні конуса.

Для спрощення розрахунків приймається допущення: розмірами верхнього горизонтального майданчика нехтують, тобто конус вважається неусіченим.

Елементарне переміщення зерна  $dS$  складається з його переміщення у радіальному напрямку  $dr$  і переміщенні в тангенціальний напрямок  $rd\theta$  (рис. 2.4).

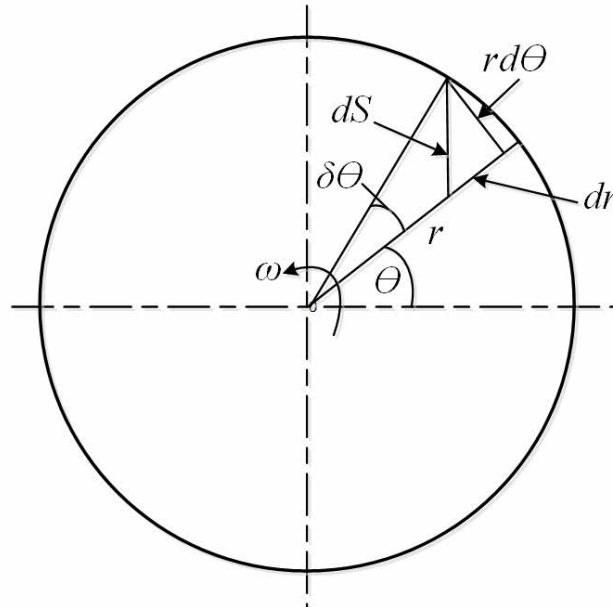


Рис. 2.4 – Елементарне переміщення зерна сої поверхнею конуса (вид зверху)

З креслення видно, що

$$dS = \sqrt{dr^2 + r^2 d\theta^2} \quad (2.1)$$

Кінетична енергія руху зерна дорівнює:

$$T = \frac{m}{2} v^2 = \frac{m}{2} \left( \frac{dS}{dt} \right)^2 \quad (2.2)$$

або

$$T = \frac{m}{2} (r^2 + r^2 \dot{\theta}^2) \quad (2.3)$$

де  $m$  – маса зерна з точкою позначення диференціала по часу.

Для складання рівняння Лагранжа у формі:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial d}{\partial r} - \frac{\partial T}{\partial r} = Q_r \quad (2.4)$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial d}{\partial \dot{\theta}} - \frac{\partial T}{\partial \dot{\theta}} = Q_\theta \quad (2.5)$$

Використовуючи явний вид кінематичної енергії (2.1),

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial d}{\partial \dot{r}} = m\ddot{r}; \quad (2.6)$$

$$\frac{\partial T}{\partial r} = mr\dot{\theta}^2; \quad (2.7)$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial d}{\partial \dot{\theta}} = \frac{d}{dt} mr\dot{\theta}^2 = 2mr\dot{r}\dot{\theta} + mr^2\ddot{\theta} \quad (2.8)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \theta} = 0 \quad (2.9)$$

Рух зерна в азимутальному напрямку (відповідають значенню кута  $\theta$  при  $r = \text{const}$ ) складається з обертання конуса разом із зерном переносного руху та руху зерна щодо конічної поверхні (відносний рух). Отже:

$$\theta = \omega t - \varphi, \quad \dot{\theta} = \omega - \dot{\varphi} \quad (2.10)$$

З урахуванням вищевикладеного запишемо рівняння руху зерна

$$m\ddot{r} - mr(\omega - \dot{\varphi})^2 = Q_r \quad (2.11)$$

$$2mrr\dot{r}(\omega - \dot{\varphi}) - mr^2\ddot{\varphi} \quad (2.12)$$

Обчислимо тепер узагальнені сили  $Q_r$  і  $Q_\theta$ , розглянемо від чого залежить положення зерна сої на конічній поверхні (рис. 2.5) вплив узагальнених сил  $Q_r$ .

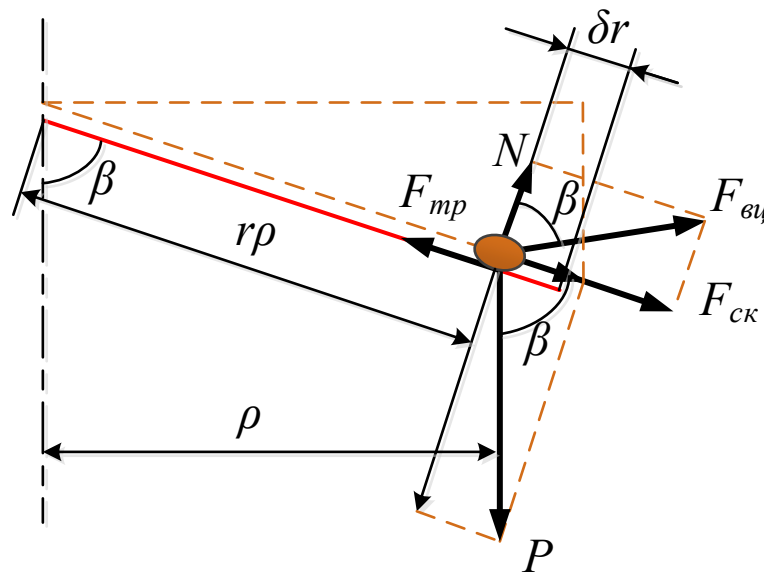


Рис. 2.5 - Сили, що діють на зерно під час його переміщення у радіальному напрямку

На зерно діє сила тяжіння  $P = mg$  ( $g$  - прискорення вільного падіння), нормального тиску з боку верхнього диска та відцентрова сила. Силу тяжіння можна розкласти на силу, що скочує  $F_{ск} = mg \cos \beta$  і на силу нормального тиску

$N = mg \cos \beta$ .

Відцентрова сила спрямована по горизонталі і дорівнює:

$$F_{\text{ВЦ}} = m\omega^2 \rho = m\omega^2 r \sin \beta \quad (2.13)$$

Цю силу також можна розкласти на складову  $F_{\text{цб}} = mg \cos \beta$ , що діє вздовж поверхні конуса і складову  $F_{\text{цб}} \cos \beta$ , що діє перпендикулярно поверхні конуса.

Отже, сумарна сила, що діє вздовж утворюючої поверхні конуса, дорівнює:

$$F_r = mg \cos \beta + m\omega^2 r \sin^2 \beta \quad (2.14)$$

Сила нормального тиску зерна на поверхню конуса дорівнює:

$$N = mg \sin \beta - m\omega^2 r \sin^2 \beta \cos \beta \quad (2.15)$$

Отже, радіальна складова сил тертя  $F_{\text{тр}}^r$  дорівнює

$$F_{\text{тр}}^r = -fN = -f(mg \sin \beta - m\omega^2 r \sin^2 \beta \cos \beta) \quad (2.16)$$

де  $f$  - коефіцієнт тертя.

Сила  $N$  роботи не виконує, тому елементарна робота  $\delta A_r$  при переміщенні зерна на відстань  $\delta r$  при  $\delta \theta = 0$ , дорівнює:

$$\begin{aligned} \delta A_r &= (F_r + F_{\text{тр}}^r) \delta r = (mg \cos \beta + m\omega^2 r \sin^2 \beta) \delta r - \\ &\quad - f(mg \sin \beta - m\omega^2 r \sin^2 \beta \cos \beta) \delta r \end{aligned}$$

Узагальнена сила  $Q_r$  пов'язана з елементарною роботою  $\delta A_r$  рівністю:

$$\delta A_r = Q_r \delta r; \quad (2.17)$$

Отже:

$$Q_r = mg \cos \beta + m\omega^2 r \sin^2 \beta - fmg \sin \beta + fm\omega^2 r \sin \beta \cos \beta \quad (2.18)$$

Сила нормального тиску  $N$  спрямована перпендикулярно до можливого переміщення тому в узагальнену силу  $Q_r$  не увійшла.

До явного виду узагальненої сили  $Q_r$  можна зробити такі зауваження:

По-перше, якщо конус не обертається, то  $\omega = 0$ , і сума узагальнених сил  $Q_r^0$  дорівнює:

$$Q_r^0 = mg \cos \beta - fmg \sin \beta; \quad (2.19)$$

тобто збігаються зі звичайним виразом для скочуючої сили при русі вантажу по похилій площині з тією лише різницею, що кут нахилу площини відраховується

від вертикалі, а не від горизонталі, як завжди.

По-друге, сили нормального тиску (2.15) обертаємо в нуль при:

$$g - \omega^2 r \cos\beta = 0; \quad (2.20)$$

остання рівність є умовою відриву зерна від поверхні конуса. Критичне значення кривої при заданій геометрії пристрою дорівнює:

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{r \cos\beta}}; \quad (2.21)$$

На нижньому краї конуса досягається максимальне значення координати  $r$ , що дорівнює:

$$r_{max} = \sqrt{\left(\frac{D-d}{2}\right)^2 + h^2}; \quad (2.22)$$

що дає для критичної швидкості обертання  $\omega$  величину близько 200 рад/с.

Таким чином, обрана швидкість обертання є оптимальною: її зниження призведе до зменшення продуктивності пристрою, а підвищення – до погіршення якості дроблення зерен.

Розрахуємо тепер узагальнену силу,  $Q_\theta$ , задавши можливе переміщення зерна, при якому  $\delta r = 0$ ,  $\delta\theta > 0$ .

Сила  $F_r$  і  $N$  роботи не виробляють, оскільки зрівняні перпендикулярно до переміщення  $r\delta\theta$ , і елементарної роботи  $\delta A_\theta$ , проводиться тільки силою тертя

$$\delta A_\theta = -fNr\delta\theta; \quad (2.23)$$

звідси випливає, що узагальнена сила  $Q_\theta$ :

$$Q_\theta = -fr(mg\sin\beta - m\omega^2 r \sin\beta \cos\beta). \quad (2.24)$$

Запишемо тепер рівняння руху зерна:

$$\ddot{r} - r(\omega - \dot{\varphi}) = g(\cos\beta - f\sin\beta) + \omega^2 r \sin\beta(\sin\beta + f\cos\beta); \quad (2.25)$$

$$2\dot{r}(\omega - \varphi) - r\ddot{\varphi} = -f\sin\beta(g - \omega^2 r \cos\beta). \quad (2.26)$$

Рівняння руху (2.25), (2.26) являють собою систему двох взаємопов'язаних нелінійних диференціальних рівнянь та її вирішення, з урахуванням усіх факторів, можливе лише чисельними методами. У зв'язку з цим вважаємо, що  $\varphi \leq \omega$ , і перепишемо точне рівняння (2.25) у вигляді:

$$\ddot{\varphi} - \omega^2 r = g(\cos\beta - f\sin\beta) + \omega^2 r \sin\beta(\sin\beta + f\cos\beta). \quad (2.27)$$

Для вирішення цього рівняння зауважимо, що радіальна складова швидкості дорівнює  $v_r = \frac{dr}{dt}$ .

Отже:

$$\ddot{r} = \frac{dv_r}{dt} = \frac{dv_r}{dr} \frac{dr}{dt} = v_r \frac{dv_r}{dr} = \frac{1}{2} \frac{d}{dr} (v_r^2); \quad (2.28)$$

Тоді рівняння (2.27) запишемо у вигляді:

$$\frac{1}{2} \frac{d}{dr} (v_r^2) = a + b_r^2; \quad (2.29)$$

де

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

$$b^2 = \omega^2(1 + \sin\beta(\sin\beta + f\cos\beta)); \quad (2.31)$$

запишемо рівняння (2.29) у вигляді

$$d(v_r^2) = 2(a + b_r^2)dr; \quad (2.32)$$

розв'язання цього рівняння має вигляд:

$$v_r^2 = 2ar + b^2r^2 + C_1; \quad (2.33)$$

Постійну інтегрування  $C_1$  знаходимо з початкових умов  $v_r = 0$  при  $r = 0$ .

Вибір початкової умови у наведеній формі пояснюється тим, що зерна сої надходять на абразивний конус через вертикальний патрубок із незначною вертикальною швидкістю, якою можна знехтувати. Залежність продуктивності та якості роботи подрібнювача є досить складною і в даному контексті не розглядається. Однак слід зазначити, що потрапляння зерен на абразивну поверхню з певною початковою швидкістю скорочує час їх перебування на конусі, що негативно впливає на якість помелу. Найвищий рівень подрібнення досягається за умови нульової швидкості попадання зерен на поверхню конуса.

У цьому випадку  $C_1=0$  і рівняння (2.33) можна записати у вигляді:

$$\frac{dr}{dt} = \sqrt{2ar + b^2r^2}; \quad (2.34)$$

Розділимо змінні

$$\frac{dr}{\sqrt{2ar+b^2r^2}} = dt; \quad (2.35)$$

де  $\frac{a}{b} = r_0$ , запишемо диференціальне рівняння руху зерна в радіальному напрямку у вигляді:

$$\frac{dr}{\sqrt{(r+r_0)^2-r_0^2}} = bdt; \quad (2.36)$$

Інтегруючи отримуємо:

$$\text{Arch}\left(1 + \frac{r}{r_0}\right) = bt + C_2; \quad (2.37)$$

де  $\text{Arch}\left(1 + \frac{r}{r_0}\right)$  - гіперболічний арча-косинус відповідного аргументу;

$C_2$  – постійна інтегралів.

З останньої рівності знаходимо:

$$1 + \frac{r}{r_0} = \text{ch}(bt + C_2); \quad (2.38)$$

де  $\text{ch}((bt) + C_2)$  - гіперболічний косинус.

Постійну інтегралів  $C_2$  знаходимо з умови:  $r = 0$  при  $t = 0$ , це призводить до рівняння  $\text{ch}(C_2) = 1$ , отже  $C_2 = 0$

Остаточно залежність радіальних координат зерна від часу дається - рівнянням:

$$r = r_0(\text{ch}(bt) - 1); \quad (2.39)$$

Оскільки кутова швидкість  $\omega \approx 20$  рад/с; то можна вважати, що  $\text{ch}(bt) \approx 1/2e^{bt}$ , і тоді закон зміни радіальної координати має вигляд:

$$r = \frac{r_0}{2} e^{bt}; \quad (2.40)$$

Розглянемо тепер рівняння (2.26) знехтуємо, як і раніше  $\dot{\varphi}$  порівняно з  $\omega$  і враховуючи, що  $\dot{r} = br$ , отримуємо замість рівняння (2.40) і (2.26) наступне наближене рівняння

$$2br\omega - r\ddot{\varphi} = f\omega^2 r \sin\beta \cos\beta; \quad (2.41)$$

в останньому рівнянні зроблено припущення про нехтування величиною  $\delta$  порівняно з  $\omega^2 r$ , тоді:

$$\ddot{\varphi} = 2b\omega - f\omega^2 \sin\beta \cos\beta; \quad (2.42)$$

Вирішивши останнє рівняння, що задовольняє початкові умови

$\varphi(0) = 0, \dot{\varphi}(0) = 0$ , має вигляд:

$$\varphi = \frac{q^2 t^2}{2}; \quad (2.43)$$

$$\text{де } q^2 = 2b\omega - f\omega^2 \sin\beta \cos\beta$$

Отже, параметричні рівняння руху зерна поверхнею конуса мають вигляд:

$$r = r_0 e^{bt}; \quad (2.44)$$

$$\varphi = \frac{q^2 t^2}{2}; \quad (2.45)$$

$$\text{де } r_0 = \frac{a}{b}.$$

Виключимо із системи рівнянь (2.44), (2.45) час і тоді рівняння переглянемо:

$$r(\varphi) = r_0 e^{\sqrt{\varphi}}; \quad (2.46)$$

Траєкторія, що описується рівнянням (2.46) має вигляд логарифмічної спіралі, як і для розглянутого раніше в роботі руху зерна по горизонтально розташованому абразиву у вигляді диска.

### **Висновки**

У результаті проведеного аналізу існуючих способів і технологій, що передбачають використання серійно випущеного обладнання для виробництва соєвого молока із зерна сої, було розроблено універсальний пристрій, який дозволяє отримувати легко засвоювані протеїнові корми з оптимальним амінокислотним складом – соєве молоко, сир «Тофу», соєву макуху. Після термічної обробки ці продукти можуть застосовуватися у раціонах годівлі сільськогосподарських тварин.

Відмінною особливістю запропонованого способу переробки зерна сої, реалізованого у розроблюваному пристрої (див. рис. 2.1), є інтеграція кількох технологічних операцій в єдиний процес:

подрібнення зернового матеріалу;

змішування з водою для екстракції білка у вигляді емульсії;

розділення отриманої маси на соєве молоко та окару.

У ході теоретичних досліджень процесу стирання набухлого зерна сої отримано низку аналітичних залежностей, що відображають функціональний взаємозв'язок між конструктивними параметрами та режимами роботи пристрою, які безпосередньо впливають на ефективність подрібнення.

### 3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1. Експериментальна установка

Було виготовлено дослідний зразок пристрою (див. рис. 3.1), на основі якого проведено серію багатофакторних експериментів. Метою досліджень стало експериментальне обґрунтування конструктивних та режимних параметрів роботи подрібнювача, що визначають ефективність процесу подрібнення та якість отриманої білкової суспензії.



Рис. 3.1. Загальний вигляд подрібнювача замоченого зерна сої



Рис. 3.2. Змінні абразивні диски з криволінійними борозенками

Експериментальна установка забезпечує можливість регулювання технологічних параметрів у визначених діапазонах, що критично впливають на

процес механічної деструкції замоченого зерна сої з подальшою екстракцією протеїнових фракцій. Така операція є ключовою у виробництві високобілкових кормових компонентів для раціонів сільськогосподарських тварин.

Кінематичний режим нижнього робочого диска, оснащеного абразивним покриттям, змінювався за допомогою частотного регулятора, що функціонує у трьох режимах, дозволяючи варіювати інтенсивність подрібнення. Для оптимізації процесу були виготовлені змінні абразивні диски з криволінійними борозенками, які формують траєкторію руху частинок та впливають на ступінь руйнування клітинної структури. Геометрія борозенок варіювалася за кутом перетину ( $\alpha = 60^\circ$ ,  $\alpha = 90^\circ$ ,  $\alpha = 120^\circ$ ), що забезпечує різний рівень зсувних напружень у зоні контакту.

Регулювання міждискового зазору здійснювалося шляхом встановлення каліброваних шайб між верхнім абразивним конусом і кришкою корпусу подрібнювача, що дозволяло задавати робочий інтервал 3, 4 та 5 мм. Шорсткість абразивної поверхні дисків формувалася нанесенням корундового абразиву на адгезивну основу, при цьому параметри мікрорельєфу були стандартизовані на рівні  $Ra = 50$ ,  $Ra = 250$  та  $Ra = 450$  мкм. Зазначені характеристики визначають інтенсивність руйнування оболонкових структур та ступінь вивільнення білкових компонентів, що є важливим для підвищення біодоступності кормових протеїнів.

### **3.2. Експериментальне обладнання**

Для визначення енергетичних параметрів процесу застосовувався спеціалізований вимірювальний прилад. Кількісний вихід білкових фракцій оцінювався за допомогою лабораторних колб та високоточних електронних ваг ВЛТК-500. Регулювання частоти обертання електродвигуна здійснювалося через реостат, інтегрований у конструкцію експериментальної установки. Температура робочої рідини, що подавалася в зону подрібнення, контролювалася електронним безконтактним термометром. Об'єм отриманої білкової суспензії визначався за допомогою мірної склянки.

Зміна міждискового зазору абразивних елементів проводилася шляхом

встановлення додаткових шайб під кріпильні болти, що дозволяло варіювати інтервал у межах від 1 мм до 15 мм. Фактичне значення зазору визначалося методом пластилінових відбитків: у робочий проміжок закладалися пластилінові кульки, після деформації яких проводили вимірювання штангенциркулем для встановлення реальної величини зазору.



Рис. 3.3 - Прилад для вимірювання характеристик потужності

Лабораторні ваги



Рис. 3.4 - Лабораторні ваги ТВЕ-0,5-0,01/2

### 3.3. Методика дослідження процесу подрібнення та переробки зерна

Для дослідження процесу подрібнення гідратованого зерна до необхідного ступеня дисперсності та визначення виходу білка в екстрагент застосовувалися лабораторні мензурки з градусованою шкалою в мілілітрах, а також комплект пробивних решіт для фракційного відбору нездрібнених частинок (окари). Кількісний аналіз здійснювався за допомогою високоточних ваг.

Середньоквадратичне відхилення визначалося за формулою:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(m_i - m_{cp})^2}{n-1}}; \quad (3.2)$$

де  $m_i$  - маса однієї проби екстракту білкового, гр.;

$m_{cp}$  – середн. арифм. маса всіх проб, гр.;

$n$  – кількість проб.

$$m_{cp} = \frac{\sum m_i}{n}. \quad (3.3)$$

Коефіцієнт варіації визначався за виразом [47]:

$$\vartheta = \frac{\sigma}{m_{cp}} 100\%; \quad (3.4)$$

На етапі дослідження робочого процесу абразивних дисків першочерговим завданням було визначення найбільш значущих факторів, що впливають на інтенсивність одночасного стирання гідратованого зерна, формування білкової емульсії та отримання кінцевого продукту – соєвого молока. Для цього застосовувалося апріорне ранжування параметрів з метою обчислення їхнього впливу на технологічний результат.

На основі аналізу літературних джерел, а також результатів теоретичних і експериментальних досліджень була розроблена структурно-технологічна схема лінії роздачі кормових сумішей для малих фермерських господарств (рис. 3.5).

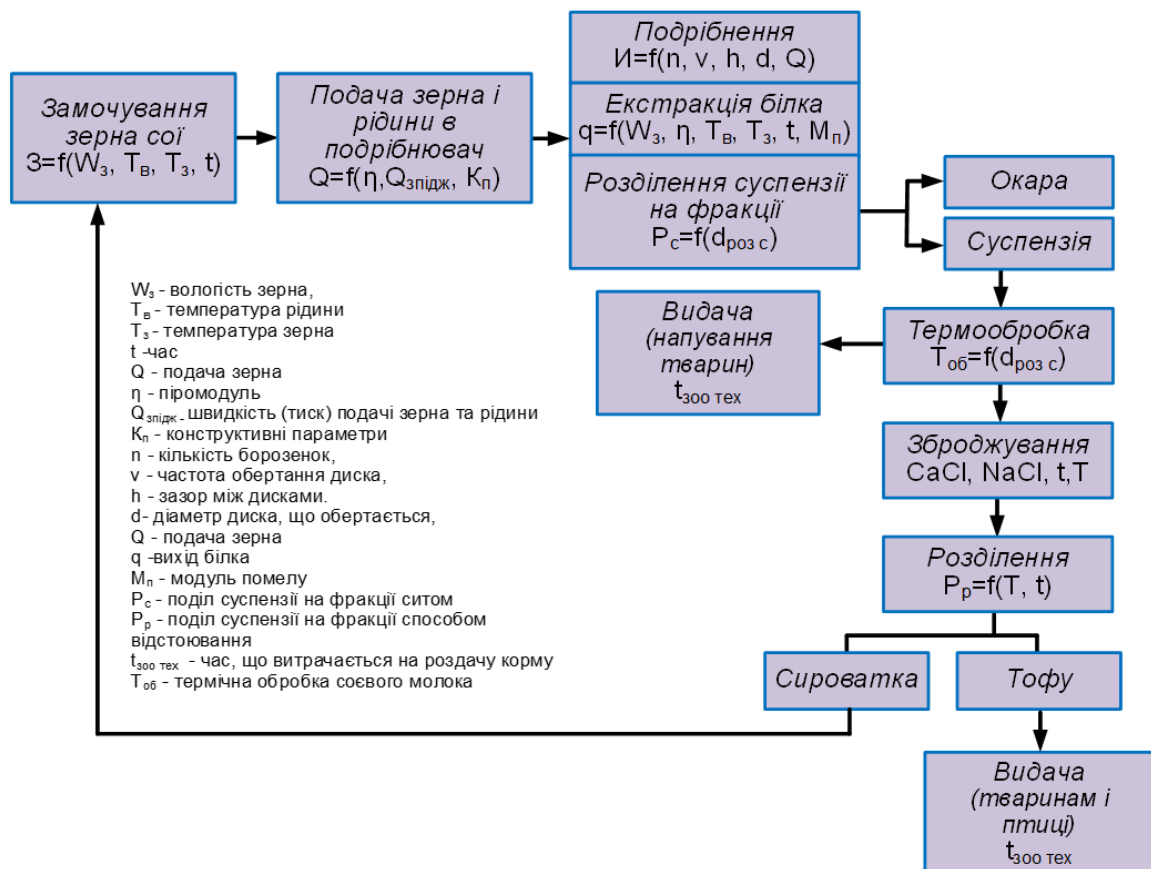


Рис. 3.5 - Структурно-технологічна схема лінії одержання соєво-білкового екстракту

Апріорне ранжування факторів, проведене з урахуванням попередніх досліджень, дозволило ідентифікувати найбільш значущі параметри, що визначають ефективність процесу. До основних факторів віднесено: величину абразивного покриття на робочих дисках; міждисковий зазор подрібнювача ( $h$ ); орієнтацію борозенок ( $\alpha$ ) та частоту обертання нижнього абразивного диска ( $\omega$ ). Їхній вплив на процес подрібнення гідратованого зерна та подальше екстрагування білка в емульсію встановлено на основі аналізу структурно-технологічної схеми (рис. 3.6) лінії роздачі кормових сумішей для малих фермерських господарств і узагальнено в таблиці 3.1.

Крім того, для процесу подрібнення замоченого соєвого зерна визначено критерії оптимізації робочого режиму: вихід білка в екстрагент ( $G$ ), продуктивність подрібнювача ( $Q$ ) та енергоємність процесу ( $N$ ).

Таблиця 3.1

## Фактори та рівні їх варіювання

Рівень	Чинники			
	Кутова швидкість обертання нижнього диска з нанесеним абразивом, $\omega$ рад/с	Шорсткість абразиву $R_a$ , мкм	Кут спрямування борозенок $\alpha$	Зазор між дисками $h$ , мм
	X1	X2	X3	X4
Верхній (+1)	172	50	$\alpha-120^\circ$	5
Основний (0)	169	250	$\alpha-90^\circ$	4
Нижній (-1)	141	450	$\alpha-60^\circ$	3

Математичну модель процесу стирання зернового матеріалу отримуємо - емпіричним шляхом.

Після визначення та подальшого вибракування малозначущих факторів, описуємо області оптимуму рівняннями регресії другого порядку

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i<j}^k b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2;$$

де  $b_0$  - вільний член;

$b_i$ ,  $b_{ii}$ ,  $b_{ij}$  - теоретичні коефіцієнти регресії;

$x_i, x_j$  – незалежні фактори.

Виходячи з поставленого завдання та відповідно до вимог планування експерименту було застосовано D-оптимальний план Кіфера. Використання цього плану забезпечує отримання оцінок із мінімально можливим розсіюванням відносно центру розподілу.

У ході досліджень контрольовані, але некеровані фактори змінювалися в межах: температура навколишнього середовища – 17...22 °С, барометричний тиск – 700...725 мм рт. ст., відносна вологість – 65...85%. Експерименти проводилися на спеціалізованій установці.

Як критерії оптимізації процесу прийнято: вихід білка в екстрагент (С), продуктивність подрібнювача (О) та енергоємність процесу (А). Розрахунок коефіцієнтів рівнянь регресії здійснювався за стандартною методикою з використанням персонального комп'ютера. Досліди виконувалися з триразовою повторністю. Однорідність дисперсій перевіряли за критерієм Кохрена при рівні значущості 5% та числі ступенів свободи  $f = n-l$ , де  $n$  – кількість паралельних дослідів.

Після побудови математичних моделей процесу подрібнення зерна та екстракції білка з моделі вилучали малозначущі коефіцієнти регресії та формували поверхні відгуків. Аналіз рівнянь регресії та поверхонь відгуків дозволив визначити оптимальні параметри факторів, що впливають на процес.

Продуктивність визначали шляхом збору соєвого молока у мірну склянку за проміжок часу  $t = 1$  с. Ступінь руйнування антипоживних речовин оцінювали за активністю уреаз, що побічно свідчить про їх інактивацію. Визначення проводили відповідно до вимог ДСТУ.

З середньої проби відбираємо невелику кількість соєвого зерна та здрібнішаємо їх з діаметром отворів 0,25 мм.

У пробірку заливаємо 10 мл фосфатно-буферного розчину (рН-7,0), додаємо 0,3 г карбаміду, 2 краплі фенолового червоного і 0,2 г подрібненого соєвого зерна. Суміш періодично струшують при температурі 20-25<sup>0</sup>С протягом 30 хвилин. Показник рН-середовища визначаємо за допомогою потенціометра

або рН-метра.

Активність уреазі (А) визначаємо щодо зміни рН протягом 30 хвилин

$$A = \text{pH}_1 - \text{pH}_0,$$

де  $\text{pH}_1$  – рН розчину з наважкою соєвого зерна після 30 хвилинного витримування при температурі 20-25°C;

$\text{pH}_0$  – рН – вихідного буферного розчину.

Оптимальна активність уреазі має місце в тому випадку, якщо розбіжність між двома паралельними визначеннями не перевищує 0,05 рН.

Еквівалентний діаметр зерна визначаємо шляхом попереднього - завантаження 100 шт. зерен у бензин налитий у метровий циліндр і визначаємо об'єм одного зерна  $V_e$  з наступним обчисленням за формулою

$$D_e = 1.24 \sqrt[3]{V_e}. \quad (3.5)$$

Енергетичну оцінку проводимо за енергоємністю процес подрібнення - зерна з подальшою екстракцією та поділом на фракції.

Енергоємність процес подрібнення зерна та отримання соєвого молока:

$$N_{\text{пит}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \vartheta_i}{Q} = \frac{N_{\text{ср}}}{Q}. \quad (3.6)$$

де  $N_{\text{пит}}$  – питомі енерговитрати, кДж/л;

$N_{\text{ср}}$  – Потужність приводу робочих органів, кВт;

$Q$  – продуктивність, л/год.

Обробка даних, отриманих під час експериментальних досліджень, проводилася відомими методами математичної статистики.

## 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 4.1. Дослідження зернового матеріалу на міцність

Зростання тиску сприяє ущільненню матеріалу за рахунок видалення повітряних пор і порожнин, а також збільшення площі контактів між частинками, що зумовлює підвищення сил молекулярного зчеплення. Після досягнення безпористої структури подальше збільшення тиску не забезпечує істотного ефекту.

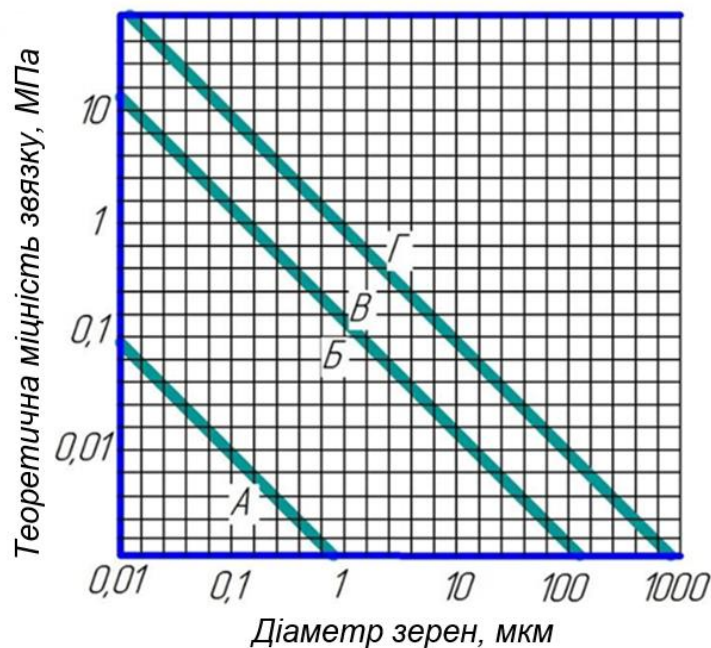


Рис. 4.1 - Теоретична міцність та характер зв'язку частинок залежно від їх розмірів

На рис. 4.1 наведено діаграму Г. Румпфа, яка відображає характер дії різних типів зв'язків між частинками залежно від їх розмірів. Область I описує умови пресування, характерні для процесів брикетування та гранулювання, де формуються контакти між поверхнями та зв'язуючими речовинами. У цій зоні міцність зв'язків визначається переважно величиною прикладеного тиску, а не розмірами частинок.

Аналіз залежностей, представлених на рис. 4.2, свідчить, що прикладений механічний тиск на окреме набрякле зерно сої зменшується від 0,5 МПа до 0,01 МПа зі збільшенням ступеня набухання зерна (час гідратації від 1 до 6 годин відповідно).

## 4.2. Дослідження щільності матеріалу

Фізико-механічні характеристики зернистих і волокнистих твердих тіл визначаються розмірами та формою частинок, станом їх поверхні, а також внутрішньою структурою матеріалу. Ці властивості утворюють широку групу показників, для оцінки яких необхідні спеціальні методики та відповідне вимірювальне обладнання. До основних належать: щільність, пористість, коефіцієнт тертя тощо.

Враховуючи зміну об'єму та маси зерна залежно від тривалості замочування (табл. 4.1), можна розрахувати його щільність і графічно відобразити залежність щільності від часу гідратації (рис. 4.2).

Таблиця 4.1

Зміна густини зерна від часу набухання зернового матеріалу

Показник	Тривалість витримування зерна 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	0,34	0,36	0,37	0,434
L, мм	0,14	0,24	0,26	0,3	0,3	0,32	0,34	0,34	0,38
V, мл	1,264	1,145	1,219	1,07	1,12	1,08	1,06	1,08	1,142

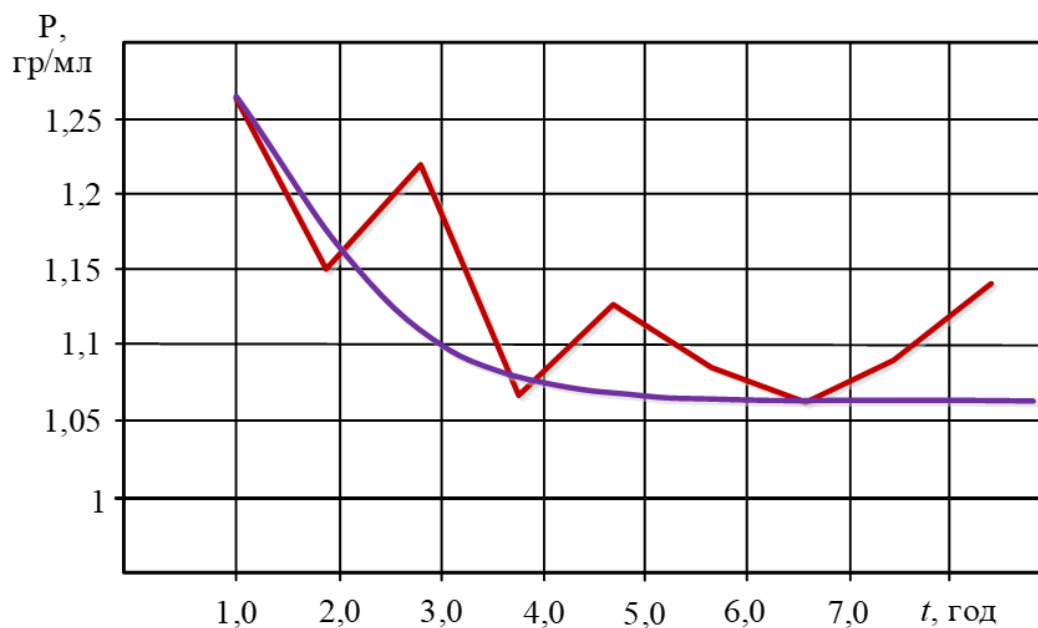


Рис. 4.2 - Графік зміни густини зерна сої від тривалості набухання зернового матеріалу

Зі збільшенням тривалості замочування, а відповідно й вологості зерна, його щільність поступово знижується. Так, після семигодинного замочування у воді щільність становить  $\rho = 1088$  г/мл. Подальше витримування у питній воді є недоцільним, оскільки зниження щільності надалі стабілізується.

#### Дослідження вологості матеріалу

Зерно сої характеризується високою гігроскопічністю. Експериментальні дані свідчать, що після семигодинного витримування у воді воно здатне поглинути до 65% води. Надалі процес гідратації стабілізується (рис. 4.3).

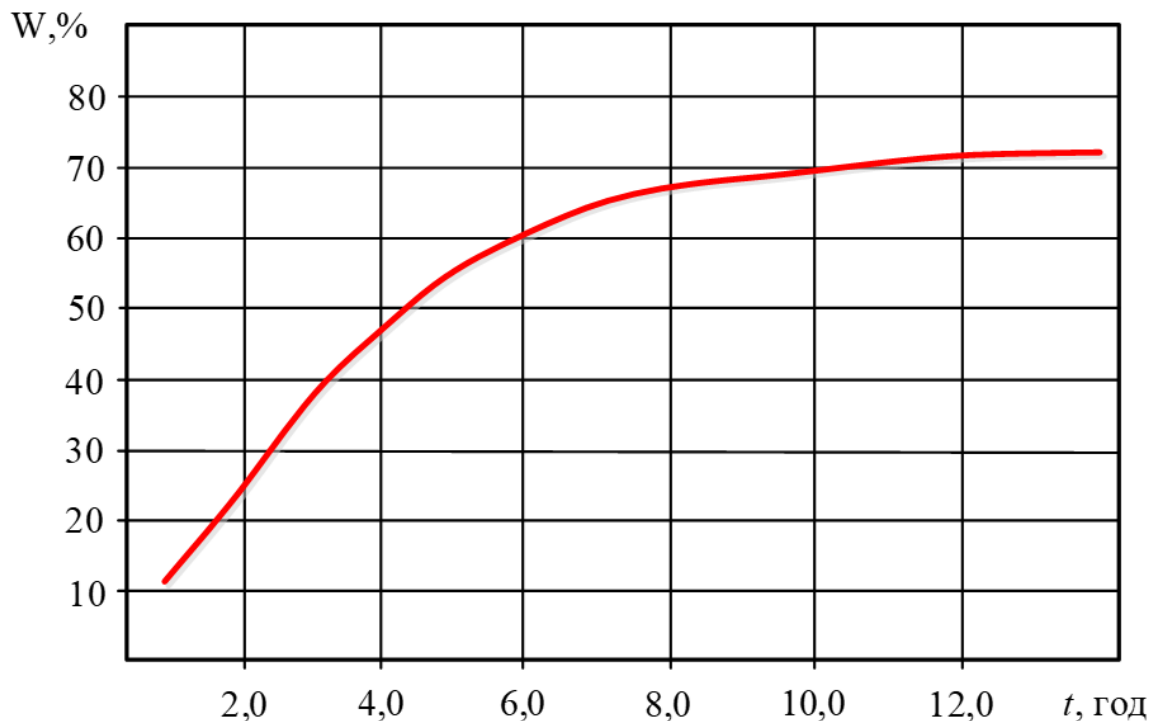


Рис. 4.3 – Графік залежності зміни вологості залежно від часу замочування.

#### 4.3. Дослідження процесу виходу білка

Процес екстракції білка базується на фізико-хімічних закономірностях дифузійного розчинення органічних сполук. У запропонованій технології екстрагентом виступає питна вода.

Під час експериментальних досліджень та оптимізації робочого процесу подрібнення оцінювали якість кінцевого продукту, а також технологічні параметри виробництва соєвого молока та сиру «Тофу». На основі отриманих

даних побудовано залежності, що дозволили визначити оптимальні значення частоти обертання рухомого абразивного диска, міждискового зазору, гідромодуля, а також оптимізувати температуру води, що подається в приймальну камеру подрібнювача.

Результати експериментів щодо впливу гідромодуля наведено на рис. 4.4, а графік залежності виходу білка в екстрагент від температури суспензії – на рис. 4.5.

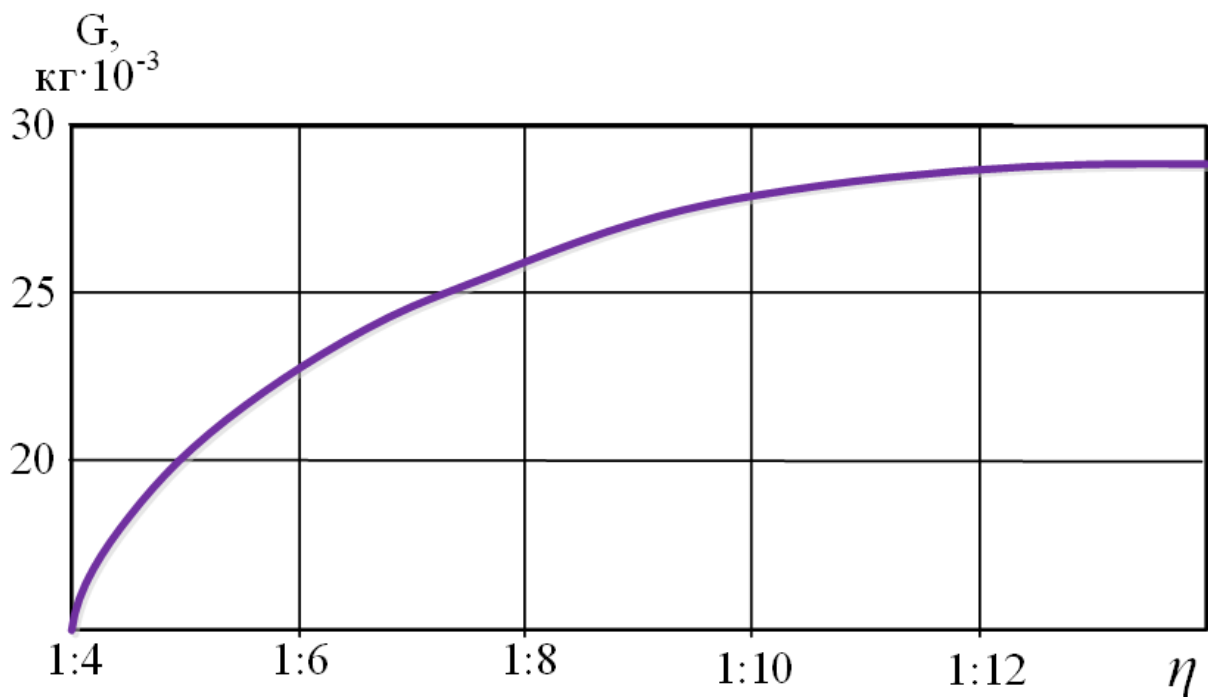


Рис. 4.4 - Залежність зміни виходу білка в екстрагент від гідромодуля  $\eta$

Аналіз графіка (рис. 4.5) показує, що інтенсивне насичення екстрагента білком відбувається до досягнення гідромодуля 1:10. Подальше збільшення гідромодуля не сприяє підвищенню концентрації білка в екстрагенті, а лише призводить до зростання загального об'єму води, що, у свою чергу, збільшує енерговитрати. Тому раціональним прийнято співвідношення води до зерна на рівні 1:10.

Температура рідини, що подається під час процесу стирання зернового матеріалу, має суттєвий вплив на якість та кількість білка, екстрагованого водою (рис. 4.5).

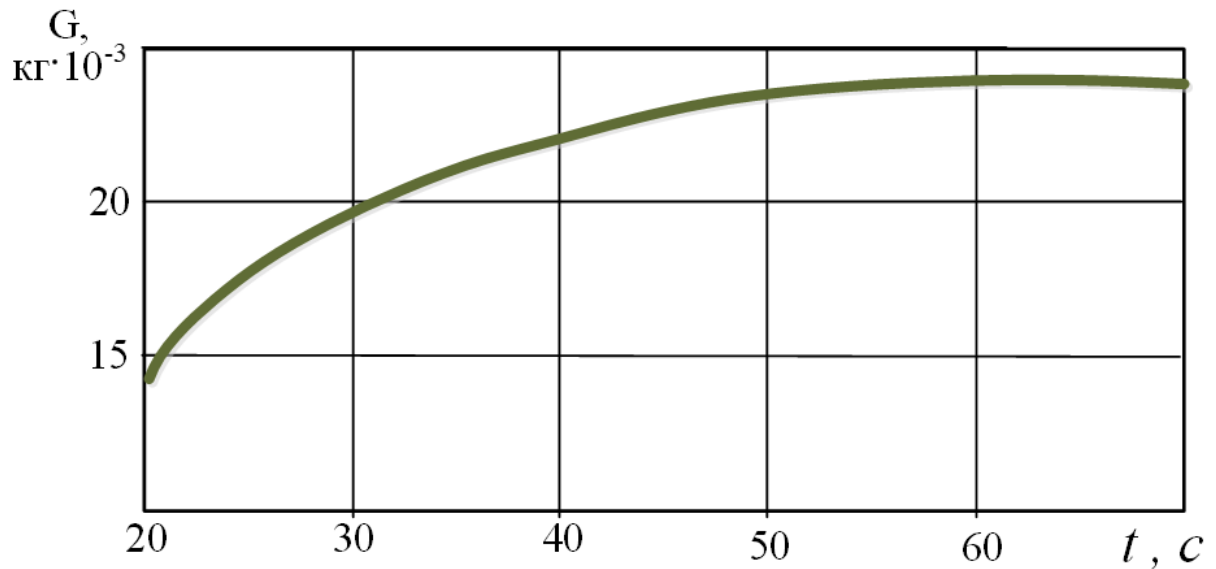


Рис. 4.5 - Залежність виходу білка в екстрагент від температури  $t$

Аналіз експериментальних даних щодо впливу температури рідини, яка використовується як білковий екстрагент (рис. 4.5), показав, що зі зростанням температури кількість білкових сполук, що переходять у розчин, збільшується.

Однак слід враховувати, що при досягненні гранично допустимого нагріву (для соєвого білка пороговим значенням є приблизно  $70^{\circ}\text{C}$ ) відбувається денатурація білка, внаслідок чого він набуває форми, що не засвоюється травною системою сільськогосподарських тварин. Тому оптимальним діапазоном температури для процесу екстракції слід вважати  $55\text{--}60^{\circ}\text{C}$ .

#### 4.4. Вплив параметрів подрібнювача на процес виходу готової продукції

З аналізу залежності представленої на рис. 4.7 можна зробити висновок, що вихід білка ( $G$ ) в екстрагент зростає з 14 гр до 24 гр за рахунок збільшення швидкості обертання ( $\omega$ ) абразивного диска від 141 рад/с до 172 рад/с. Пояснюється це тим, що за рахунок збільшення швидкості обертання абразивного диска подовжується траєкторія руху оброблюваного матеріалу абразивом, тим самим підвищується якість подрібнення.

Аналізуючи залежність представлену рис. 4.6 можна дійти невтішного

висновку, що максимальний вихід білка ( $G$ ) в екстрагент від 23 гр до 24 гр спостерігається при частоті обертання абразивного диска  $\omega = 157 \dots 172$  рад/с і величині зазору між абразивними дисками  $h = 3 \dots 3.26$  мм.

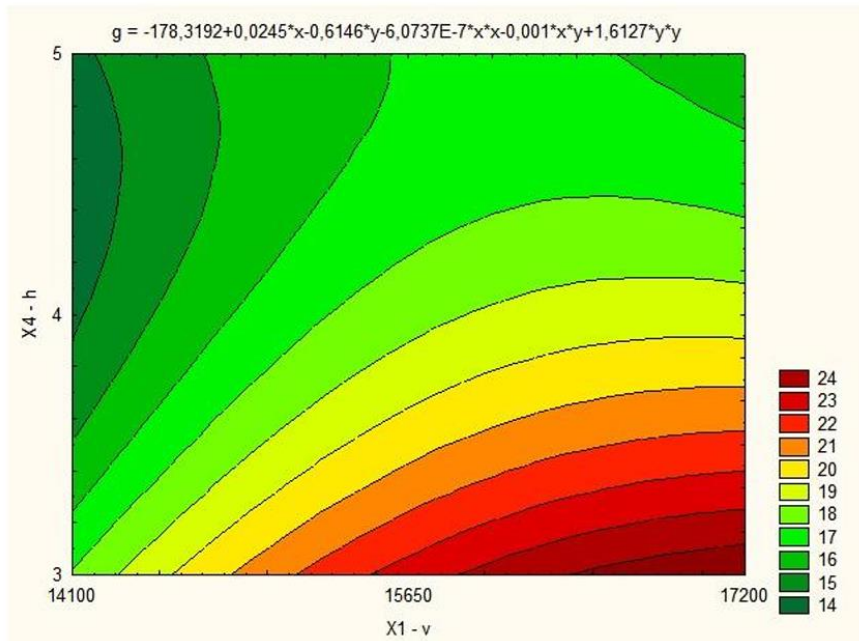


Рис. 4.6 - Перетин поверхні виходу білка в екстрагент на площину  $X_1(\omega)$  від  $X_4(h)$

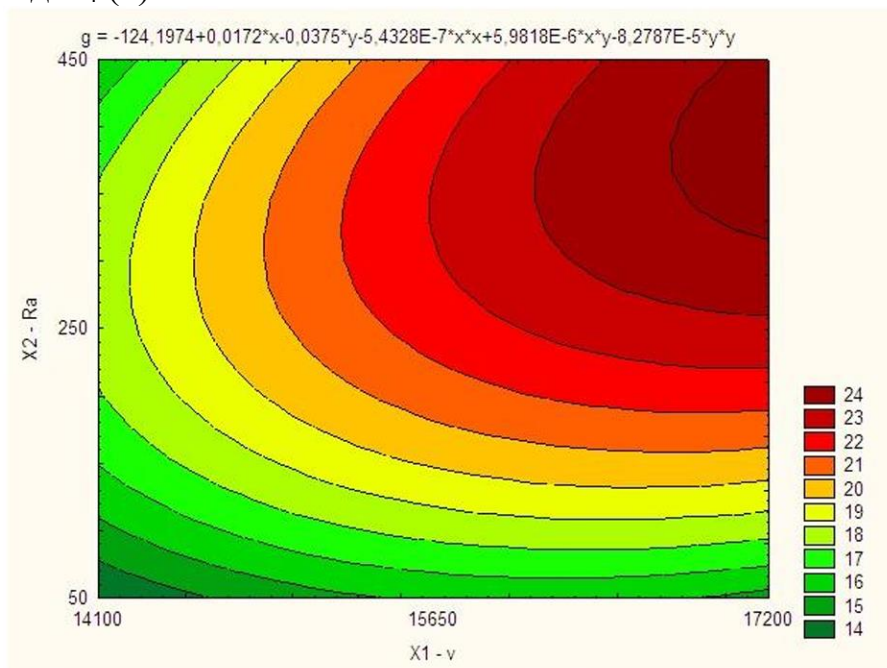


Рис. 4.7 - Перетин поверхні виходу білка в екстрагент на площину  $X_1(\omega)$  від  $X_2(R_a)$

Аналіз залежності, наведеної на рис. 4.7, показує, що вихід білка ( $G$ ) в екстрагент збільшується зі зростанням розміру зерна абразивного покриття ( $R_a$ ). Це пояснюється підвищенням інтенсивності деформації матеріалу під дією більш

крупних абразивних частинок. Зокрема, при збільшенні Ra з 260 мкм до 450 мкм вихід білка варіюється в межах 23–24 г. Таким чином, оптимальним діапазоном величини абразивного зерна слід вважати  $Ra = 260\text{--}450$  мкм.

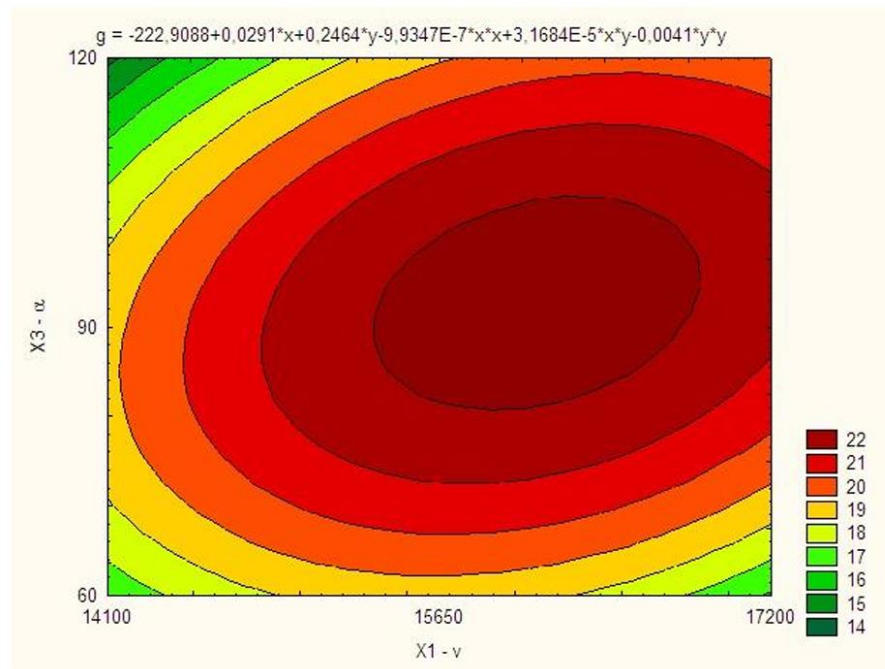


Рис. 4.8 - Перетин поверхні виходу білка в екстрагент на площину  $X1(\omega)$  від  $X3(\alpha)$

Аналіз залежності, наведеної на рис. 4.8, дозволяє зробити висновок, що для досягнення максимального виходу білка (G) в екстрагент оптимальний кут нахилу абразивних борозенок має знаходитися в межах  $\alpha = 80\text{...}105^\circ$ .

Дослідження графіка залежності (рис. 4.9) показує, що максимальний вихід білка (G), який становить від 24 г до 28 г, спостерігається при зменшенні міждискового зазору (h) з 3,7 мм до 3 мм. При цьому кут нахилу криволінійних борозенок також має залишатися в межах  $\alpha = 80\text{...}105^\circ$ .

Аналіз залежностей, наведених на рис. 4.6–4.9, свідчить, що для забезпечення максимального виходу білка (G) в екстрагент оптимальні параметри робочого процесу повинні бути такими: швидкість обертання нижнього абразивного диска –  $\omega = 157\text{...}172$  рад/с; міждисковий зазор –  $h = 3,0\text{...}3,26$  мм; розмір абразивного зерна –  $Ra = 260\text{...}450$  мкм; кут кривизни борозенок –  $\alpha = 80^\circ\text{...}105^\circ$ .

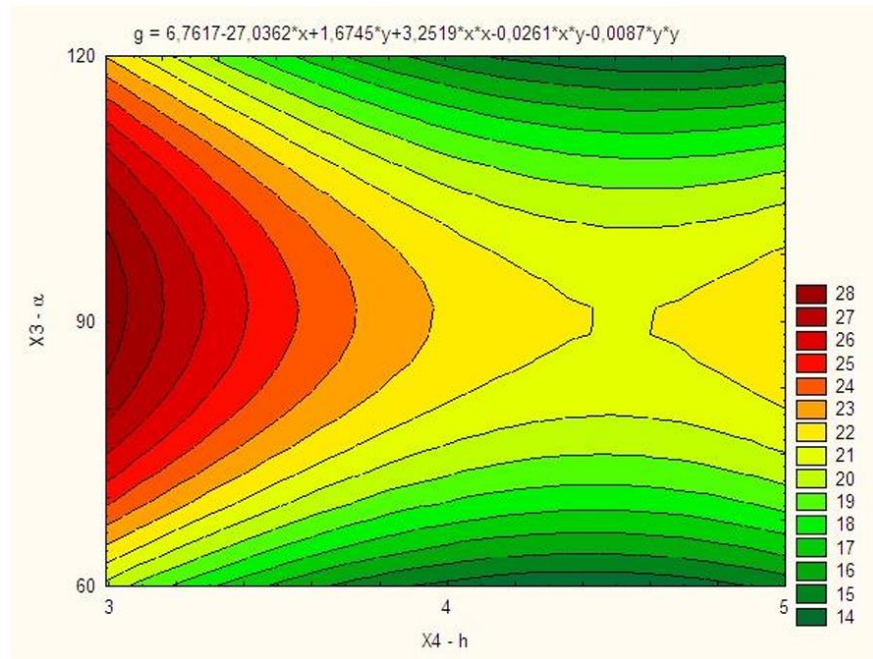


Рис. 4.9 - Перетин поверхні виходу білка в екстрагент на площину  $X_4(h)$  від  $X_3(\alpha)$

#### 4.5. Визначення характеристики механізму подрібнювача

Характеристика холостого ходу визначає якісний та кількісний взаємозв'язок між магнітною та електричною підсистемами. Аналіз цієї характеристики показує, що напруга автономного генератора може плавно регулюватися в діапазоні від 0 до  $1,35 U_n$  шляхом зміни струму збудження. Регулювання напруги здійснюється за допомогою мікроконтролерної системи керування. Фіксуючи показання амперметра, вольтметра та швидкість обертання, отримують дані для побудови механічної характеристики.

Обчислюємо електрорушійну силу по формулі

$$E = U_{\text{я}} - \Delta U_{\text{я}}, \quad (4.1)$$

падіння напруги в якірній ланцюги

$$\Delta U_{\text{я}} = I_{\text{я}} R_{\text{я}} + 2\Delta U_{\text{щ}} \quad (4.2)$$

де  $R_{\text{я}}$ , - опір ланцюга якоря, Ом;

$\Delta U_{\text{щ}}$  – втрати напруги у щітковому контакті, В.

Втрати напруги у щітковому контакті  $\Delta U_{\text{щ}}$  зазвичай приймають рівними

1,5...2 В.

Вимірний опір якоря  $R_{\text{я}} = 2,5$  Ом постійну  $C$  обчислюють як середнє значення на підставі отриманих даних при регулюванні напруги на якорі двигуна

$$C = 1/K \cdot (E_1/\omega_1 + E_2/\omega_2 + E_3/\omega_3 + \dots + E_k/\omega_k), \quad (4.3)$$

де  $K$  – число дослідів.

Обчисливши  $C$ , визначаємо момент холостого ходу, що тарується машини

$$M_{\text{хтм}} = CI_{\text{я}} \quad (4.4)$$

Результати досвіду записуємо в таблиці. За даними  $\omega_{\text{я}}$  і  $M_{\text{хтм}}$  будують тарувальну характеристику електродвигуна.

Далі здійснюється процес подрібнення із варіюванням напрямку борозенок, шорсткості абразивної поверхні та величини міждискового зазору. Для цього необхідно розкрутити ПЗЗС (подрібнювальний вузол з абразивними дисками) на різних кутових швидкостях у діапазоні від 0 до  $\omega_{\text{н}}$  при підключеній тарованій машині. У ході експерименту реєструються значення напруги  $U_{\text{я}}$ , струму  $I_{\text{я}}$  та кутової швидкості обертання якоря  $\omega_{\text{я}}$ . Момент опору робочої машини на кожній швидкості підраховують формулі

$$M_{\text{с}} = CI_{\text{я}} - M_{\text{хтм}} \quad (4.5)$$

де  $CI_{\text{я}}$  – електромагнітний момент.

Результати випробувань записані у таблицях.

За даними колонок  $\omega_{\text{я}}$  і  $M_{\text{срм}}$  будують механічну характеристику робочої машини, наведену до валу двигуна.

Момент торкання машини визначається за значенням струму якоря двигуна. Збільшуючи напруга на якорі, визначають струм двигуна, при якому вал подрібнювача починає обертатися. Для достовірності досвід проводять з триразовою повторністю і обчислюють середнє значення струму торкання  $I_{\text{тр}}$ . Цей струм відповідає струму якоря. При цьому момент рушання обчислюють за формулою.

$$M_0 = CI_{\text{тр}} = P_{\text{н}} \cdot I_{\text{тр}} / (I_{\text{н}} \cdot \omega_{\text{н}}) \quad (4.6)$$

де  $P_{\text{н}}$ ,  $I_{\text{н}}$ ,  $\omega_{\text{н}}$  - паспортні номінальні дані електродвигуна.

Далі будують механічну характеристику моменту опору подрібнювача в залежності від напрямку борозенок, шорсткості абразиву та зазору між дисками.

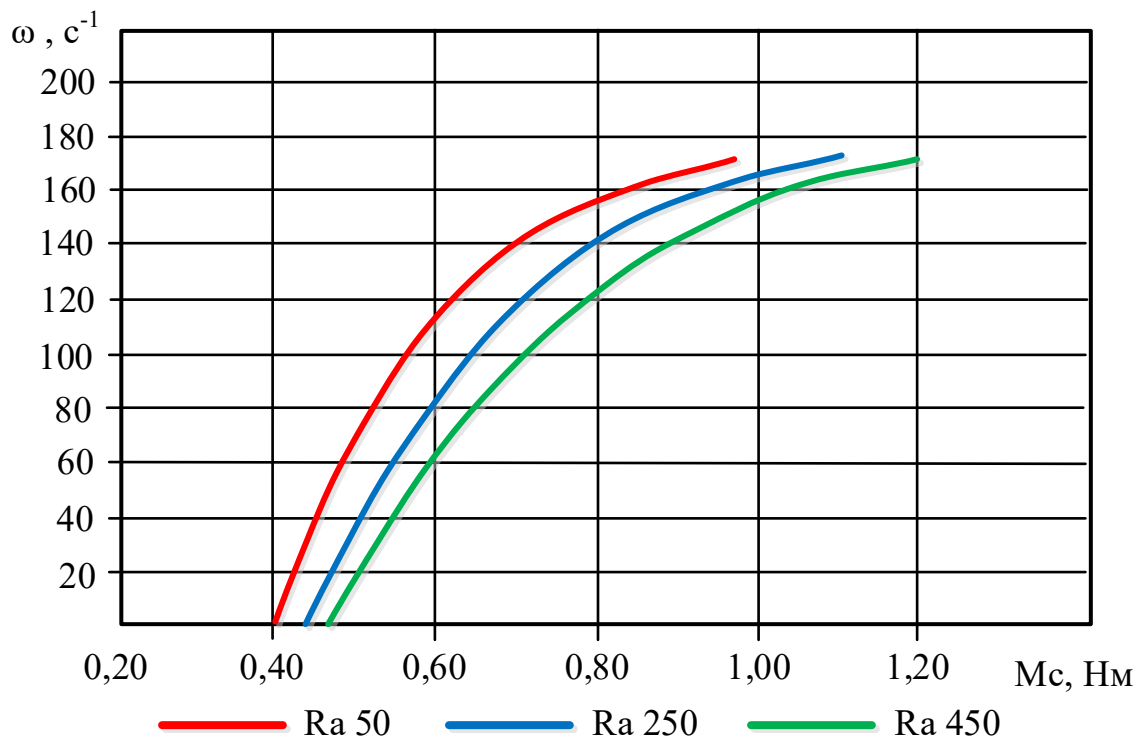


Рис. 4.10 - Механічна характеристика подрібнювача залежно від шорсткості абразиву

Слід відзначити значну інерційну складову подрібнювальних механізмів, яка істотно впливає на тривалість пуску та гальмування електроприводу. Кількісна оцінка махових мас є необхідною для коректного проектування електроприводів, а також для аналізу їх роботи в процесі експлуатації. Момент інерції приводу може бути виражений як:

$$J = m\rho^2 = \frac{GD^2}{4g}. \quad (4.7)$$

де  $\rho$  і  $D$  – радіус та діаметр інерції, м;

$G$  – сила тяжіння, Н;

$g$  – прискорення сили тяжіння,  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ ;

$GD^2$  – маховий момент.

Загальний вигляд рівняння руху:

$$\pm M_{\text{дв}} \mp M_c = J \frac{d\omega}{dt}. \quad (4.8)$$

де  $M_{\text{дв}}$  - крутний момент двигуна;

$M_c$  – момент статичного опору приводу.

При самогальмуванні, коли  $M_{дв} = 0$ , останнє рівняння має вигляд:

$$M_c = J \frac{d\omega}{dt}. \quad (4.9)$$

Для визначення інерційної характеристики або моменту інерції подрібнювача проводиться зняття кривої вибігу (рис. 4.11). Процедура виконується наступним чином: агрегат розганяють до швидкості обертання, що становить  $1,1 \omega_n$ , після чого двигун відключають від мережі за допомогою вимикача QF. Далі через рівні інтервали часу ( $\Delta t = 2$  с) фіксують значення кутової швидкості обертання вала машини до повної зупинки електроприводу. У роботі експериментально досліджується метод визначення махових мас  $GD^2$  і моменту інерції  $J$  по кривій вибігу, що дає залежність  $\omega = f(t)$ . Для цього випадку:

$$tg\alpha = \frac{\omega_0}{t_{під}} = \frac{d\omega}{dt}. \quad (4.10)$$

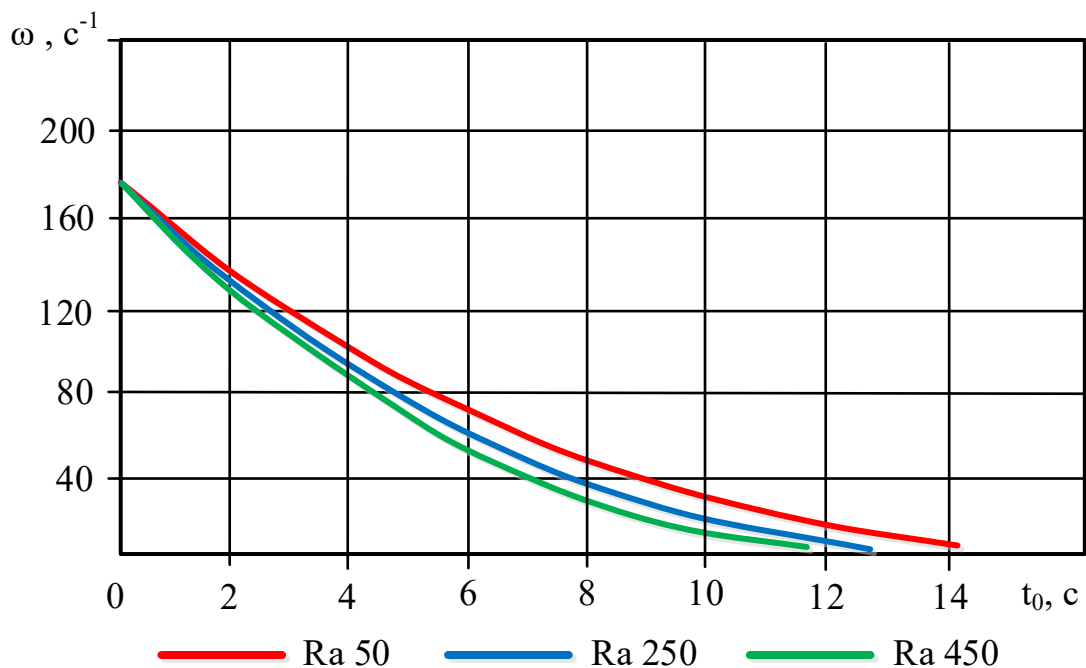


Рис. 4.13 - Крива вибігу подрібнювача залежно від шорсткості абразиву (1-400, 2) - 250, 3) - 50)

Статичний момент  $M_c$  опору вибирається з таблиць за номінальної частоти обертання.

На підставі виразу (4.2), отримаємо:

$$J_{пр} = \frac{M_c t_{під}}{\omega_0}, \text{ кГм}^2. \quad (4.11)$$

Таким чином, механічні характеристики при пуску без навантаження мають вентиляторний характер. При надходженні продукту на підвищених частотах обертання спостерігається зростання моменту опору. Збільшення кута орієнтації борозенок, шорсткості абразивної поверхні та зменшення міждискового зазору може призвести до підвищення моменту опору до 20%. Значний момент інерції механізму подрібнювача підтверджується даними кривої вибігу.

### Статистична обробка отриманих даних

Регресійний аналіз застосовується для оцінки величини моменту опору подрібнювача при заданих значеннях шорсткості абразивної поверхні та частоти обертання. Для побудови регресійної моделі механічної характеристики та перевірки її адекватності були визначені залежні та незалежні змінні:  $x_1$  – частота обертання  $s^{-1}$ ;  $x_2$  - шорсткість абразиву,  $г/см^3$ ;  $y_1$  – момент опору, Нм.

Таблиця 4.4

Дані, отримані з лабораторних дослідів

№ п/п	$x_1$	$x_2$	$x_1^2$	$x_2^2$	$x_1x_2$	$y_1$
	$\omega, s^{-1}$	$\rho, г/см^3$				$M_c, Нм$
1	0	50	0	2500	0	0,30
2	141	50	19881	2500	7050	0,40
3	157	50	24649	2500	7850	0,73
4	172	50	29584	2500	8600	0,96
5	0	250	0	62500	0	0,30
6	141	250	19881	62500	35250	0,51
7	157	250	24649	62500	39250	0,96
8	172	250	29584	62500	43000	1,10
9	0	450	0	202500	0	0,30
10	141	450	19881	202500	63450	0,70
11	157	450	24649	202500	70650	1,01
12	172	450	29584	202500	77400	1,20

Рівняння регресії, що описує вплив частоти обертання та шорсткості абразиву на момент опору отримано на підставі регресійного аналізу

представленого в таблиці 4.5:

Таблиця 4.5

Регресійний аналіз залежності напруги  $y_1$  від навантаження  $x_1$  та ємності  $x_2$

коефіцієнт кореляції $R = 0,98818000$ ; коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,97649970$ ; критерій Фішера $F(5,6) = 49,863$ ; значення рівня значущості моделі $p < 0,0008$ ; стандартна помилка оцінки рівняння регресії: $0,06984$						
	Коефіцієнт регресії при змінній	Стандартна помилка оцінки коефіцієнта в регресії	Зсув і не-стандартизований коефіцієнт	Стандартна помилка оцінки зсуву та нестандартизованого коефіцієнта емпіричної формули	Критерій Стьюден-та $t(3)$	$p$ - рівень - значимості
Зрушення			0,278270	0,082650	3,36684	0,015101
$x_1$	-2,53539	0,428891	-0,011885	0,002011	-5,91150	0,001043
$x_2$	0,11540	0,298004	0,000228	0,000588	0,38723	0,711951
$x_1^2$	3,16276	0,418052	0,000091	0,000012	7,56548	0,000277
$x_2^2$	-0,10459	0,278128	-0,000000	0,000001	-0,37606	0,719809
$x_1 x_2$	0,36318	0,156677	0,000004	0,000002	2,31804	0,059609

$$y_1 = 0,278270 - 2,53539 x_1 + 0,11540 x_2 + 0,36318 x_1 x_2 + 3,16276 x_1^2 - 0,10459 x_2^2 \quad (4.12)$$

Коефіцієнти рівнянь адекватно показують, що зі зростанням частоти обертання збільшується момент опору, а при зменшенні шорсткості абразиву - зменшується.

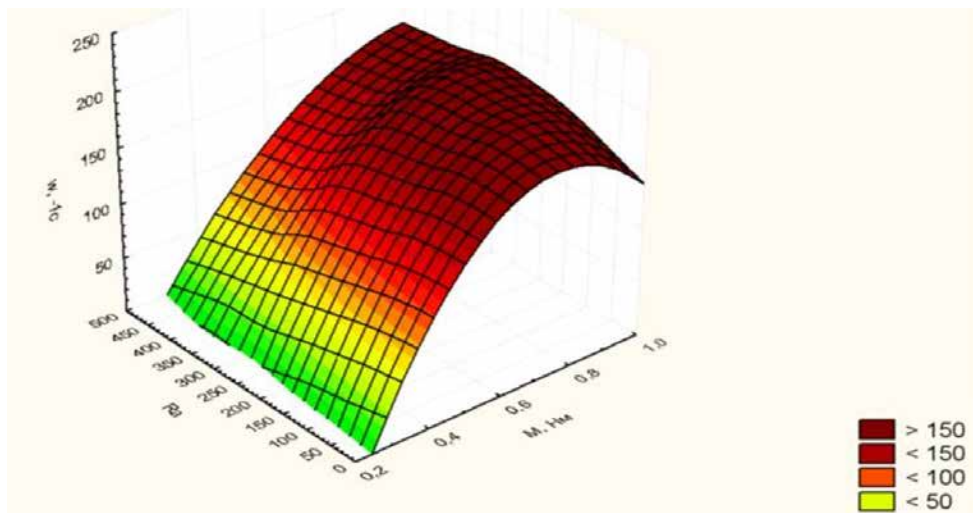


Рис. 4.14 - Вплив частоти обертання ( $x_1$ ) та шорсткості абразиву ( $x_2$ ) на момент опору подрібнювача ( $y$ )

Коефіцієнт визначення сумарного розкиду вибірових точок показує, що 99% дисперсії залежної змінної  $y_1$  обумовлено варіацією незалежних змінних

$x_1$ ,  $x_2$  і їх комбінацією. Стандартна помилка уніфікованого коефіцієнта регресії 0,6984%. Коефіцієнти регресії статистично значущі та відрізняються від 0 ( $p \ll 0,00008$ ), а регресійна модель описує залежність між щільністю набряклого зерна сої, швидкістю обертання та моментом опору ( $R_2 = 99\%$ ).

### **Висновки**

Експериментальні дослідження дозволили обґрунтувати конструктивні та режимні параметри робочого органу пристрою (частоту обертання нижнього абразивного диска, продуктивність ПЗЗС, енерговитрати на здійснення процесу) для приготування білкових кормів із використанням зерна сої. На основі отриманих даних побудовано залежності, що дали змогу визначити раціональні значення гідромодуля –  $\eta = 1:10$  та температури води, яка подається для екстракції білка –  $t = 55\text{--}60$  °С.

Оптимізовано основні фактори, що впливають на процес подрібнення гідратованого зерна: шорсткість абразивних дисків ( $R_a = 360\text{...}450$  мкм), міждисківий зазор ( $h = 3,7\text{...}5$  мм), напрям борозенок ( $\alpha = 80\text{...}105^\circ$ ) та частоту обертання нижнього абразивного диска ( $\omega = 141\text{...}161$  рад/с). У зазначених межах критерій енергоспоживання (N) знаходиться на мінімальному рівні – 0,34...0,36 кВт.

## 5. ВИРОБНИЧА ПЕРЕВІРКА ОБЛАДНАННЯ ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНОСТІ

### 5.1. Виробничі випробування дослідного зразка

Виробничі випробування дослідного зразка подрібнювача зерна сої в замоченому вигляді (ПЗЗС) проводилися на фермі великої рогатої худоби. Загальний вид подрібнювача зерна у замоченому вигляді представлений рис. 5.1.



Рис. 5.1 - Загальний вид установки подрібнювача зерна у замоченому вигляді

Соеве молоко виготовлялося за запропонованою технологічною лінією, яка реалізує принцип безвідходного виробництва високоякісних, високобілкових кормів на основі соєвого зерна. Лінія включає принципово новий подрібнювач гідратованого зерна сої, основними елементами якого є: завантажувальна горловина, два абразивні диски з криволінійними борозенками, сито для відокремлення фракцій, що дозволяє отримати кінцеві продукти – соєве молоко, сир «Тофу» та високобілкові кормові компоненти.

Прийняті конструктивні рішення забезпечують суттєве зниження енерговитрат на виробництво соєвої емульсії порівняно з вітчизняними та зарубіжними аналогами завдяки інтеграції кількох технологічних операцій (подрібнення, екстракція білка, розділення суспензії на фракції) в єдиний процес.

Установка розроблена з урахуванням специфіки переробки насіння, що характеризується високим вмістом білка та олії у вихідному стані.

На основі проведених досліджень і виробничих випробувань розроблено структурно-технологічну та конструктивно-технологічну схеми процесу приготування соєвого молока (рис. 5.2).

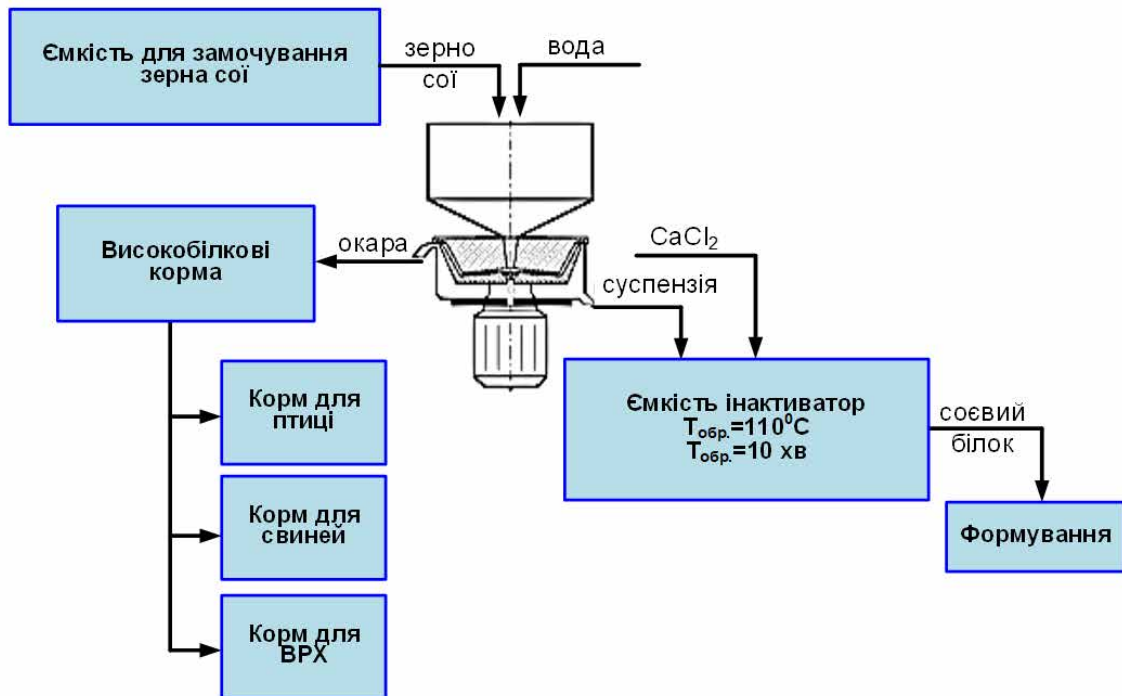


Рис. 5.2 – Технологічна схема запропонованої лінії отримання соєвого молока

Технічна характеристика установки подрібнювача зерна у замоченому вигляді представлена у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

Технічна характеристика установки подрібнювача зерна у замоченому вигляді

№ п/п	Показник	Од. вимірювання	Параметри
1	Продуктивність	л/год	230
2	Габаритні розміри ПЗЗС: довжина×ширина×висота	мм	2100×700×800
3	Обслуговуючий персонал	чол	1
4	Маса	кг	12
5	Потужність, потрібна для здійснення робочого процесу	кВт	0,38

## 5.2. Техніко-економічна ефективність

Розрахунок техніко-економічної ефективності передбачає наявність базового варіанта для порівняння. Як еталон було обрано установку для виробництва соєвого молока типу «Соєва корова».

Основні техніко-економічні показники порівнюваних варіантів наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2

Техніко-економічні показники порівнюваних варіантів

Показники	Од. змін.	Порівнювані варіанти		Ступінь перевищення разів
		Соєва корова	Пропонований пристрій ПЗЗС	
Продуктивність	л/год	50	при Ø робочого органу 12-13 мм 220-250	4,4-5
Встановлена потужність				
Електропарогенератор	кВт	10,5		
Диспергатор малогабаритний		3,5	1,1	
Варильний модуль		12,0		
<b>Усього</b>		<b>30,0</b>	<b>1,1</b>	<b>23,2</b>
Маса обладнання	кг	400	12	16,7
Енергоємність		0,51	0,005	102
Металоємність	кг/кг/л	8,0	0,055	145

Економічний ефект за приведеними витратами порахований за відомими методиками.

Приведені витрати за базовим та новим варіантами - ПЗ<sub>i</sub> порахуємо за виразом:

$$ПЗ_i = EЗ_i + E_n K_i, \quad (5.1)$$

де EЗ<sub>i</sub> - експлуатаційні витрати за рік, грн.;

E<sub>n</sub> - нормативний коефіцієнт E<sub>n</sub> = 0, 15;

K<sub>i</sub> - капітальні вкладення за варіантами, грн.;

Річні експлуатаційні витрати, за порівнюваними варіантами - EЗ<sub>i</sub> визначимо за виразом:

$$ПЗ_i = АО+ПР+ВЕ+ФЗ , \quad (5.2)$$

де АО - відрахування на амортизацію обладнання, грн.;

ПР – поточний ремонт обладнання, грн.;

ВЕ – витрати на електроенергію, грн.;

ФЗ – фонд зарплати, грн.

Амортизаційні відрахування (грн./рік) визначаються за формулою:

$$АО = (Б \times a_a) / 100, \quad (5.3)$$

де Б - балансова вартість обладнання, грн.;

$a$  - річна норма амортизаційних відрахувань (14% від балансової вартості).

У таблиці 5.3 наведено перелік та вартість порівнюваного обладнання для отримання соєвого молока для ВРХ.

Тоді  $АТ_{баз} = (501125 \cdot 14) / 100 = 70157$  грн.

Тоді  $АО_H = (11400 \cdot 14) / 100 = 1596$  грн.

Таблиця 5.3

Склад обладнання порівнюваних технологічних ліній приготування соєвого молока

№ п/п	Найменування обладнання	Кількість	Встановлена потужність електродвигунів, кВт	Балансова вартість, грн.
1	Електропарогенератор	1	10,5	90250
2	Диспергатор малогабаритний	1	3,5	149625
3	Варильний модуль	1	12,0	147250
4	Прес віджимний	1		114000
	<b>Усього</b>	<b>4</b>	<b>30,0</b>	<b>501125</b>
5	Комплект пропонованого обладнання ПЗЗС	1	1,2	11400
	<b>Усього</b>	<b>4</b>	<b>1,2</b>	<b>11400</b>

Витрати на поточний ремонт (грн./рік) за базовим та новим варіантами:

$$ПР = (Б \times a_p^H) / 100, \quad (5.4)$$

де  $a_p^H$  - відрахування на ремонт (15% від балансової вартості).

$АО_{баз} = (501125 \cdot 15) / 100 = 75168$  грн.

$АО_H = (11400 \cdot 15) / 100 = 1710$  грн.

Річний фонд заробітної плати визначається як:

$$\Phi Z = \text{ООП} \times ZT \times PK \times H \times N, \quad (5.5)$$

де ООП - основний оклад працівника, грн.;

ZT – витрати праці, міс;

PK – районний коефіцієнт, PK = 1,5;

H - нарахування на оплату праці, H = 1,4;

N – чисельність обслуговуючого персоналу, чол.

$$\Phi Z_{\Gamma} = 14600 \cdot 12 \cdot 1,5 \cdot 1,4 \cdot 2 = 735840 \text{ грн.}$$

Витрати на оплату електроенергії за базовим та новим варіантами:

$$ZE = N_e \times C_e, \quad (5.6)$$

де  $N_e$  - витрата електроенергії за календарний рік, кВт-год;

$C_e$  - ціна 1 кВт-год (6,90 грн.) електроенергії, грн.

При цьому

$$ZE = \left( \sum_{n=1}^i N_{\text{ном}} \eta_i t_{\Gamma} \right) D C_e, \quad (5.7)$$

де  $N_{\text{ном}}$  – номінальна потужність споживання електроенергії, кВт;

$\eta_i$  – коефіцієнт використання номінальної потужності;

$t_{\Gamma}$  – тривалість роботи споживача електроенергії;

D - кількість робочих днів у році;

$$ZE_{\text{баз}} = (30,0 \cdot 0,9 \cdot 7) \cdot 365 \cdot 6,90 = 475996,5 \text{ грн.}$$

$$ZE_{\text{н}} = (1,2 \cdot 0,9 \cdot 7) \cdot 365 \cdot 2,0 = 19039,86 \text{ грн.}$$

Річні експлуатаційні витрати рівні:

$$EZ_{\text{баз}} = 70157 + 75168 + 735840 + 475996,5 = 1357161 \text{ грн./рік}$$

$$EZ_{\text{н}} = 1596 + 1710 + 735840 + 19039,86 = 758186 \text{ грн./рік}$$

Приведені витрати дорівнюють:

$$PZ_{\text{баз}} = 1357161 + 0,15 \cdot 501125 = 1432330 \text{ грн./рік}$$

$$PZ_{\text{н}} = 758186 + 0,15 \cdot 11400 = 759896 \text{ грн./рік}$$

Собівартість виробництва дорівнює:

За новим:

$$C_c = 19039,86 / 510,0 = 27,63 \text{ грн./л}$$

За базовим:

$$C_c = 475996,5/510,0 = 433,23 \text{ грн./л}$$

Річний економічний ефект складе:

$$EP_c = ПЗ_{\text{баз}} - ПЗ_{\text{н}}, \quad (5.8)$$

$$EP_c = 1432330 - 759896 = 672434 \text{ грн./рік}$$

Науково обґрунтовано та підтверджено виробничою практикою, що застосування повнораціонних комбінованих кормових сумішей, збалансованих за енергетичною цінністю, протеїном, амінокислотним складом, макро- та мікроелементами, а також біологічно активними речовинами, забезпечує підвищення продуктивності сільськогосподарських тварин на рівні 5–30%. Такий підхід сприяє інтенсифікації процесів метаболізму, оптимізації коефіцієнта перетравності сухої речовини та підвищенню конверсії корму, що, у свою чергу, призводить до скорочення тривалості відгодівлі та зниження питомих витрат кормів на 15–20%.

У цьому контексті формується так званий технологічний ефект, який кількісно виражається через економічну оцінку додаткової продукції, отриманої внаслідок використання кормових добавок для великої рогатої худоби (ВРХ) та свиней у період відгодівлі. Розрахунок вартості додаткової продукції здійснюється відповідно до методики визначення економічної ефективності технологічних процесів у тваринництві, що враховує енергетичний еквівалент приросту живої маси, збалансованість раціону за протеїном та лізином, а також коефіцієнт використання обмінної енергії корму.

Вартість додаткової продукції, отриманої в результаті реалізації технології приготування кормової добавки за нормативною методикою, становить величину, яка відображає інтегральний економічний ефект від впровадження інноваційних рішень у систему годівлі.

$$\Delta C_i = \frac{\sum_{n=1}^n R_i q N_{\phi} DE_{\kappa} \Pi_p}{E_n}, \quad (5.9)$$

де  $R_i$  - коефіцієнт, що враховує підвищення продуктивності, засвоюваності, зниження непродуктивної витрати і т.д. кормів;

$q$  - поживність добового раціону, що припадає на одну голову тваринного;

$N_{\phi}$  – кількість голів тварин;

$D$  – період годування сільськогосподарських тварин, дн.;

$\Pi_p$  - вартість реалізації кінцевої продукції, грн.;

$E_k$  – енергетична цінність корм. од., МДж ( $E_k = 6\text{МДж}$ );

$E_n$  -енергія витрачається отримання одиниці продукції, МДж.

Поживність добового раціону визначається як:

$$q = \frac{\sum_{n=1}^n a_i m_i}{\sum_{n=1}^n a_i}, \quad (5.10)$$

де  $a$  - кількість  $i$  - того компонента суміші, кг;

$m_i$  - поживність компонента, к.од.

З урахуванням вищенаведеного вартість додаткової продукції становить:

- при виробництві молока:

$$\Delta C_m = \frac{0,15 \cdot 1,25 \text{ к.од. на 1 гол.} \cdot 300 \text{ дн.} \cdot 6,0 \text{ МДж} \cdot 14,0 \text{ грн/кг}}{3,0 \text{ МДж}} = 1566 \text{ грн/гол.}$$

- при виробництві м'яса ВРХ:

$$\Delta C_b = \frac{0,15 \cdot 0,90 \text{ к.од. на 1 гол.} \cdot 365 \text{ дн.} \cdot 6,0 \text{ МДж} \cdot 125,0 \text{ грн/кг}}{5,0 \text{ МДж}} = 738,75 \text{ грн/гол.}$$

- при виробництві свинини:

$$\Delta C_c = \frac{0,15 \cdot 8,0 \text{ к.од. на 1 гол.} \cdot 250 \text{ дн.} \cdot 6,0 \text{ МДж} \cdot 100,0 \text{ грн/кг}}{29,75 \text{ МДж}} = 605,04 \text{ грн/гол.}$$

Річний обсяг виробництва соєвого молока становитиме:

$$G_{kq} = 0,23 \cdot 14 \cdot 300 \text{ днів} = 966 \text{ т.}$$

Цю кількість кормової добавки можна використовувати при годівлі наступної кількості тварин:

- корів:

$$N_k = 966000 / (300 \text{ дн.} \cdot 2,0 \text{ кг}) = 1610 \text{ корів};$$

- бичків:

$$N_b = 966000 / (365 \cdot 2,0) = 1323 \text{ голів};$$

- свиней:

$$N_c = 966000 / (250 \cdot 1,0) = 3864 \text{ голів};$$

У грошах, на це поголів'я, ефект складе:

- по молоку:

$$\sum \Delta C_m = 1610 \text{ корів} \cdot 1566 \text{ грн./гол.} = 2521260 \text{ грн.}$$

- з м'яса ВРХ:

$$\sum \Delta C_6 = 1323 \text{ гол.} \cdot 738,75 \text{ грн./гол.} = 977366 \text{ грн.}$$

- з м'яса свинини:

$$\sum \Delta C_c = 3864 \text{ гол.} \cdot 605,04 \text{ грн./гол.} = 2337874 \text{ грн.}$$

Верхню лімітну ціну обладнання технологічної лінії з виробництва соєвого молока визначимо за відомою формулою:

$$C_{\text{ВЛ}} = \frac{E_r \cdot 0,5}{\varepsilon(P_2 + E_n)}, \quad (5.11)$$

де  $E_r$  - річний економічний ефект від впровадження технології, за рахунок реалізації додаткової продукції;

$\varepsilon$  - коефіцієнт переведення оптової ціни в балансову вартість,  $\varepsilon = 1,2$ ;

$P_2$  - коефіцієнт відрахування на амортизацію,  $P_2 = 0,12$ ;

$E_n$  - нормативний коефіцієнт, що дорівнює 0,15.

Тоді для молочної ферми верхня лімітна ціна становитиме:

$$C_{\text{ВЛ}}^m = \frac{2521260 \cdot 0,5}{1,2(0,12 + 0,15)} = 7203600 \text{ грн.},$$

$$\text{- для ферми ВРХ: } C_{\text{ВЛ}}^6 = \frac{977366 \cdot 0,5}{1,2(0,12 + 0,15)} = 2792472 \text{ грн.},$$

- для свиноферми:

$$C_{\text{ВЛ}}^c = \frac{2337874 \cdot 0,5}{1,2(0,12 + 0,15)} = 6679640 \text{ грн.},$$

Економічну доцільність виробництва та застосування соєвого молока визначимо як:

$$E_{cc} = G_{kq}(k \cdot D_{1,2}), \quad (5.12)$$

де  $G_{kq}$  - річний обсяг виробництва кормового соєвого молока;

$k$  - коефіцієнт, що враховує податкові відрахування;

$D_{1,2}$  - дохід від виробництва та застосування кормового соєвого молока

Дохід від виробництва складає:

$$D_1 = (C_p - C_e - C_n), \quad (5.13)$$

а від застосування:

$$D_2 = (C_n' - C_p), \quad (5.14)$$

де  $C_p$  – ціна реалізації;

$C_e$  – експлуатаційні витрати;

$C_n$  – вартість вихідної сировини;

$C_n'$  – вартість кормового продукту, що замінюється соєвим молоком.

Тоді

$$D_1 = (24000 - 4675,2 - 16100) = 3024,8 \text{ грн./т};$$

$$D_2 = (26500 - 23000) = 3500 \text{ грн./т}.$$

$$E_{cc}^1 = 510,0 (0,8 \cdot 3024,8) = 1233792 \text{ грн.}$$

$$E_{cc}^2 = 510,0 (0,8 \cdot 3500) = 1428000,0 \text{ грн.}$$

Розрахунки економічної ефективності результатів досліджень наведено в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3

Економічна ефективність результатів досліджень

№ п/п	Показники	Од. вимірювання	Значення показника
1	Зниження енергоємності	разів	23,4
2	Зниження металоємності	разів	16,9
3	Вартість обладнання: - з комплектом соєва корова - з комплектом ПЗЗС	грн.	501125,0 11400,0
4	Приведені витрати: - за базовим варіантом соєва корова - за новим варіантом з ПЗЗС	грн.	1432330,0 759894,0
5	Річний економічний ефект	грн.	672434,0
6	Вартість додаткової продукції: - молока - яловичини - свинини	грн./гол.	2521260,0 977366,0 2337874,0
7	Верхня лімітна ціна: - для молочної ферми - для ферми ВРХ - для свинарської ферми	грн.	7203600,0 2792472,0 6679640,6
8	Дохід виробника соєвого молока	грн./т	3024,80
9	Дохід споживача соєвого молока	грн./т	3500,00
10	Економічна доцільність виробництва соєвого молока - для виробника - для споживача	грн.	1233792,00 1428000,00

Результати проведених техніко-економічних розрахунків підтвердили високу ефективність потенційного впровадження технології виробництва соєвого молока із застосуванням інноваційного подрібнювача зерна сої, що знаходиться на стадії розробки. Використання даного обладнання забезпечує зниження питомих енерговитрат на процес приготування білкової суспензії у 23,4 раза, що свідчить про суттєву оптимізацію енергетичного балансу технологічного циклу. Крім того, спостерігається зменшення металомісткості конструкції у 16,9 раза, що позитивно впливає на ресурсозбереження та зниження капітальних витрат на виготовлення обладнання.

У результаті впровадження запропонованої технології формується значний річний економічний ефект, який за розрахунками становить 672 434,00 грн, що відображає інтегральний показник економічної доцільності інноваційного рішення. Даний ефект враховує зниження собівартості виробництва, оптимізацію енергоспоживання, а також зменшення витрат на матеріали та амортизацію обладнання.

## ВИСНОВОК

1. Аналіз поживної цінності кормів показав, що найбільш раціональним напрямком у годівлі сільськогосподарських тварин і птиці є використання високобілкових кормів на основі сої, зокрема соєвого молока. Соєве зерно характеризується високим вмістом жиру (17,3%), вуглеводів (26,5%) та білка (34,9%), а його енергетична кормова цінність становить 1,45 кормових одиниць, що забезпечує оптимальне співвідношення поживних речовин для інтенсифікації обмінних процесів.

2. Аналіз існуючих технологій та обладнання для приготування білкових кормів із застосуванням сої дозволив визначити перспективний напрям удосконалення – введення стадії попереднього замочування зерна, що сприяє підвищенню ефективності екстракції білка та зниженню енерговитрат.

3. На основі проведених досліджень запропоновано безвідходну технологію приготування високобілкових кормів із зерна сої, ключовим елементом якої є подрібнювач замоченого зерна, що забезпечує інтенсифікацію процесу руйнування клітинної структури та підвищення доступності білкових компонентів.

4. Теоретичні дослідження дозволили встановити основні конструктивно-режимні параметри подрібнювача, а також отримати рівняння руху зерна по криволінійних борозенках робочої поверхні зрізаного конуса, що є базою для оптимізації конструкції.

5. Експериментальні дослідження визначили раціональні параметри технологічного процесу:

Час замочування зерна – 6–7 годин;

Гідромодуль  $\eta = 1:10$ ;

Температура води для екстракції білка  $t = 55\text{--}60$  °С;

Шорсткість абразивного шару  $R_a = 420\text{--}450$  мкм;

Зазор між абразивними дисками  $h = 3,7$  мм;

Кут напрямку борозенок  $\alpha = 95^\circ$ ;

Частота обертання нижнього диска  $\omega = 141$  рад/с.

Ці параметри забезпечують оптимальну інтенсифікацію процесу подрібнення та екстракції білка.

6. Для підтвердження теоретичних передумов проведено експериментальні дослідження впливу частоти обертання диска ( $n$ ) на продуктивність ( $Q$ ), при цьому розбіжність між теоретичними та експериментальними даними не перевищує 5%, що свідчить про високу достовірність розрахункової моделі.

7. Розрахунки економічної ефективності показали, що річний економічний ефект від використання розробленого пристрою становить 672 434,00 грн, а додаткова вартість продукції по молоку – 2 521 260 грн/гол, по яловичині – 977 366 грн/гол, по свинині – 2 337 874 грн/гол, що підтверджує високу економічну доцільність впровадження технології.

Запропоновані параметри та режими роботи подрібнювача замоченого зерна сої можуть бути використані конструкторськими організаціями при проектуванні обладнання з робочими органами у вигляді абразивних дисків, а також сільськогосподарськими підприємствами для модернізації існуючих систем кормоприготування.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. <https://agro-business.com.ua/agro/mekhanizatsiia-apk/item/824-pererobka-soi.html>
2. <https://landlord.ua/news/analitika/vyrobnytstvo-soyi-v-ukrayini-vpade-na-17-yaki-naslidky-dlya-rynku-doslidzhennya/>
3. <https://propozitsiya.com/articles/tekhnika-ta-obladnannya/obladnannya-dlya-vyrobnytstva-soyevoho-moloka-0>
4. <https://www.apk-inform.com/uk/exclusive/topic/1504880>
5. Технологічно-транспортні процеси у виробництві продукції рослинництва: навчальний посібник. В.Д.Войтюк, В.Д.Гречкосій, Р.В.Шатров, В.Г.Опалко, О.А.Бешун, І.І.Чвартацький, В.В.Марченко. Навчальний посібник - Ніжин: ТОВ «Видавництво «Аспект-Поліграф», 2017.- 928 с.
6. Гречкосій В.Д., Войтюк В.Д., Шатров Р.В., Дмитришак М.Я., Опалко В.Г. та ін. Проектування технологічних процесів у рослинництві. За ред. Гречкосія В.Д. Навчальний посібник. - Ніжин: ПП Лисенко М.М., 2014. – 392 с.
7. Експлуатація машинно-тракторного парку в агропромисловому комплексі. В.Д.Войтюк, І.І.Мельник, Р.В.Шатров, В.Г.Опалко, В.І. Солтисюк, В.В. Марченко, Л.С.Шимко. Навчальний посібник - Ніжин: ТОВ «Видавництво «Аспект-Поліграф», 2016, – 632 с.: іл.
8. Комплексна механізація виробництва зерна: Навчальний посібник / В.Д.Гречкосій, М.Я.Дмитришак, Р.В.Шатров та ін.. За ред. В.Д.Гречкосія, М.Я.Дмитришака. – Київ: ТОВ «Нілан-ЛТД», 2012. – 288 с.
9. Мельник І.І., Гречкосій В.Д., Бондар С.М. Проектування технологічних процесів у рослинництві. – Ніжин: «Видавництво «Аспект-Поліграф». 2005.– 189 с.
10. Проектування технологічних процесів у рослинництві: навчальний посібник / В.Д.Гречкосій, В.Д.Войтюк, Р.В.Шатров, М.Я. Дмитришак, В.І. Василюк, В.Г.Опалко. – Видавець: ПП Лисенко М.М., 2014, – 392 с.: іл.
11. Боровський В. Соя – їжа, ліки, корми [Електронний ресурс] / В. Боровський // Вісник Національної академії наук України. - 2001. - № 3. - С. 43-46. - Режим

- доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/vnanu\\_2001\\_3\\_12](http://nbuv.gov.ua/UJRN/vnanu_2001_3_12)
12. Жуков В.П. Екструдована соя в замінниках незбираного молока для телят молочного періоду вирощування [Електронний ресурс] / В.П. Жуков, І.В. Данилишен // Корми і кормовиробництво. - 2012. - Вип. 71. - С. 89-93. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/kik\\_2012\\_71\\_13](http://nbuv.gov.ua/UJRN/kik_2012_71_13)
  13. Безручко О.І. Поповнення ринку сортів: соя культурна (Glucine max. (L.) Merrill) [Електронний ресурс] / О.І. Безручко, О.В. Колесніченко, Т.М. Лазоренко // Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин. - 2013. - № 4. - С. 54-61. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/stopnsr\\_2013\\_4\\_12](http://nbuv.gov.ua/UJRN/stopnsr_2013_4_12)
  14. Чалий В.Г. Мікробіологічні характеристики кормової добавки «Соя повножирова екструдована» [Електронний ресурс] / В.Г. Чалий, Я.П. Богатиренко, В.П. Денисенко, С.А. Ничик, В.Л. Коваленко, А.І. Чехун // Ветеринарна біотехнологія. - 2013. - Вип. 22. - С. 660-662. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/vbtb\\_2013\\_22\\_113](http://nbuv.gov.ua/UJRN/vbtb_2013_22_113)
  15. Баль-Прилипко Л. Соя у виробництві плавлених молоковмісних продуктів [Електронний ресурс] / Л. Баль-Прилипко, Л. Шевченко, Е. Старкова // Продовольча індустрія АПК. - 2014. - № 5. - С. 4-7. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Piapk\\_2014\\_5\\_3](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Piapk_2014_5_3).
  16. Ружицька В. Гостована експандована повножирова соя – цінний компонент комбікормів для птиці [Електронний ресурс] / В. Ружицька // Сучасне птахівництво. - 2014. - № 12. - С. 13-14. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Sps\\_2014\\_12\\_5](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Sps_2014_12_5)
  17. Тимчук В. М. Соя в системі стандартизованих сировинних ресурсів і трансферу цілісних технологій [Електронний ресурс] / В. М. Тимчук, М. Г. Цехмейструк, В. Г. Матвієць // Вісник аграрної науки. - 2016. - № 2. - С. 42-47. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/vaan\\_2016\\_2\\_11](http://nbuv.gov.ua/UJRN/vaan_2016_2_11)
  18. Наумов О. Б. Соя як економічна та сировинна складова олієжирового комплексу України [Електронний ресурс] / О. Б. Наумов, О. М. Білоусов // Бізнес-навігатор. - 2011. - № 1. - С. 71-73. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/bnav\\_2011\\_22\\_15](http://nbuv.gov.ua/UJRN/bnav_2011_22_15)

19. А. Маньковський, Г.Бондаренко і ін. Замінники незбираного молока // Тваринництво України Науковий журнал. – 2011, №4
20. Вплив режимів теплової обробки молока на масообмін при термокислотній коагуляції білків [Електронний ресурс] / Ю. Т. Орлюк // Вісник аграрної науки. - 2010. - № 5. - С. 64-65. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/vaan\\_2010\\_5\\_13](http://nbuv.gov.ua/UJRN/vaan_2010_5_13)
21. Стегней М. М. Молочна справа і ветеринарно-санітарна експертиза молока на Київщині кінця XIX – початку XX ст. [Електронний ресурс] / М. М. Стегней // Наукові праці Південного філіалу Національного університету біоресурсів і природокористування України «Кримський агротехнологічний університет». Сер. : Ветеринарні науки. - 2008. - Вип. 111. - С. 158-162. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npkau\\_2008\\_111\\_39](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npkau_2008_111_39)
22. Іванова Л. С. Організаційно-економічні засади функціонування молокопереробної промисловості Київської області [Електронний ресурс] / Л. С. Іванова // Продуктивність агропромислового виробництва. економічні науки. - 2013. - № 23. - С. 57-61. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pav\\_2013\\_23\\_11](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Pav_2013_23_11)
23. Єфимчук В. М. Напрямки та тенденції нарощування обсягів виробництва і споживання молока [Електронний ресурс] / В. М. Єфимчук, Т. С. Непомняща // Вісник Східноєвропейського університету економіки і менеджменту. Сер. : Економіка і менеджмент. - 2012. - № 3. - С. 86-94. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vsuem\\_2012\\_3\\_14](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vsuem_2012_3_14).
24. Смоляр В. І. Комплекс заходів з підвищення якості молока [Електронний ресурс] / В. І. Смоляр. // Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. - 2011. - № 2. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/vddau\\_2011\\_2\\_39](http://nbuv.gov.ua/UJRN/vddau_2011_2_39)
25. Шваб О. В. Зарубіжний досвід у сфері діяльності молокопереробних акціонерних компаній на фондовому ринку [Електронний ресурс] / О. В. Шваб // Економіка АПК. - 2013. - № 7. - С. 126-133. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/E\\_apk\\_2013\\_7\\_20](http://nbuv.gov.ua/UJRN/E_apk_2013_7_20)

26. Куліш К. М. Вплив логістики на розвиток молокопереробної промисловості України [Електронний ресурс] / К. М. Куліш // Економіка АПК. - 2013. - № 9. - С. 113-118. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/E\\_apk\\_2013\\_9\\_20](http://nbuv.gov.ua/UJRN/E_apk_2013_9_20)
27. Чан-хі О. С. Використання матриці політичного аналізу в оцінці ефективності державного регулювання ринку молока та молокопродуктів [Електронний ресурс] / О. С. Чан-хі // Економіка АПК. - 2013. - № 10. - С. 123-131. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/E\\_apk\\_2013\\_10\\_22](http://nbuv.gov.ua/UJRN/E_apk_2013_10_22)
28. Бережний І.І. Удосконалення технології переробки сої. Харків: ХНАУ, 2019. 124 с.
29. Гордієнко О.В. Технологічні процеси переробки сої. Київ: УкрНДІ, 2018. 136 с.
30. Коваль П.П. Сучасні методи подрібнення соєвих бобів. Львів: ЛНУ, - 2017. 142 с.
31. Лисенко А.А. Обладнання для переробки сої: Технічні рішення. Одеса: ОНАХТ, 2019. 130 с.
32. Мартинюк В.В. Технологія подрібнення соєвих бобів. Дніпро: ДНУ, - 2018. 128 с.
33. Науменко Ю.Ю. Інноваційні підходи до переробки сої. Полтава: ПДАА, 2017. 139 с.
34. Олійник І.М. Перспективи розвитку технологій переробки сої. Житомир: ЖНАЕУ, 2020. 147 с.
35. Павленко М.М. Ефективність подрібнення соєвих бобів. Запоріжжя: ЗНУ, 2018. 132 с.
36. Романюк Т.Т. Технологічні інновації в переробці сої. Вінниця: ВІТУ, 2019. 125 с.
37. Савченко Д.Д. Удосконалення процесів подрібнення соєвих бобів. Черкаси: ЧДТУ, 2017. 134 с.
38. Тимошенко О.О. Технологічні аспекти переробки сої. Суми: СНАУ, 2018. 129 с.
39. Федоренко Н.Н. Підвищення ефективності подрібнення соєвих бобів. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2019. 140 с.
40. Хоменко П.П. Технологія переробки соєвих бобів. Тернопіль: ТНТУ, 2018. 137 с.
41. Червяк М.М. Механічне подрібнення соєвих бобів. Ужгород: УжНУ, 2017.

- 131 с.
42. Шевченко О.О. Технології переробки сої: сучасний стан та перспективи. Миколаїв: НУК, 2019. 143 с.
  43. Яковенко С.С. Технічне забезпечення процесів подрібнення сої. Чернівці: ЧНУ, 2018. 138 с.
  44. Заболотний В.В. Новітні методи переробки соєвих бобів. Луцьк: ЛНТУ, 2019. 144 с.
  45. Іванченко Г.Г. Технологічні рішення для подрібнення сої. Кропивницький: ЦНТУ, 2018. 133 с.
  46. Кириленко Л.Л. Сучасне обладнання для переробки сої. Рівне: НУВГП, 2017. 135 с.
  47. Кравчук Н.Н. Удосконалення процесів подрібнення сої. Хмельницький: ХНУ, 2019. 126 с.
  48. Класнер Г.Г. Конструктивно-режимні параметри подрібнювача замоченого зерна сої. – дис. на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. – 2018.
  49. Литвинов, О. І., Михайлович, Я. М., Бойко, А. В., Березовий, М. Г. Теоретична механіка: підручник у двох частинах. Ч. І. Статика. Кінематика. Київ: Агроосвіта, 2013. 576 с. (ISBN 978-966-2007-29-9)
  50. Литвинов, О. І., Михайлович, Я. М., Бойко, А. В., Березовий, М. Г. Теоретична механіка: підручник у двох частинах. Ч. ІІ. Динаміка. Основи аналітичної механіки. Київ: Агроосвіта, 2013. 576 с. (ISBN 978-966-2007-30-5)
  51. Черниш, О. М., Березовий, М. Г., Яременко, В. В., Головач, І.В. Теоретична механіка: навч. посібник. Київ: Центр учбової літератури, 2018. 760 с. (ISBN 978-611-01-1246-8).
  52. Технологічно-транспортні процеси у виробництві продукції рослинництва: навч. посібник / Опалко, В. Г., Шатров, Р. В., Марченко, В. В., Дев'ятко, О. С., Шимко, Л. С., Березовий, М. Г., Чвартацький, І.І. Київ: ТОВ «ТРОПЕА», 2023. 960 с. (ISBN 978-617-8268-13-8)
  53. Теорія механізмів і машин. Ч. І. : навч. посібник. Черниш, О. М., Березовий,

- М. Г., Яременко, В. В. Київ: Центр учбової літератури, 2018. 464 с.(ISBN 978-611-01-1238-3
54. Теорія механізмів і машин. Ч. II. : навч. посібник. Черниш, О. М., Березовий, М. Г., Яременко, В. В. Київ: Видавничий центр НУБіП України, 2021. 614 с.
  55. Зубець В.М. Стратегія розвитку м'ясного скотарства в Україні у контексті національної продовольчої безпеки / В.М. Зубець, І.В. Гусєва. – К.:Аграрна наука, 2005. – 174 с.
  56. Іванух Р.А. Аграрна економіка і ринок./ Р.А. Іванух, Є.М. Білан, С.Л. Дусановський[Електронний ресурс]. – Тернопіль: «Збруч», 2003. – 305 с. – Режим доступу:<http://buklib.net/books/21882/>
  57. Кернасюк Ю.В. Ринок тваринництва: тенденції та проблеми галузі/ Ю.В. Кернасюк [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://agro-business.com.ua/ostannia-vip-novyna/6028-rynok-tvarynyystva-tendentsiii-ta-problemy-galuzi.html>
  58. Сільське господарство України за 2015 рік. // Статистичний збірник. – К.: Держкомстат України, 2015. – 307 с.
  59. Пуцентейло П.Р. Особливості функціонування галузі м'ясного скотарства в умовах кризи / П.Р. Пуцентейло // зб. наук. праць Таврійського державного агротехнологічного університету (ек. науки) / За ред.. В.А. Рульєва. – В.: Вид-во Мелітопольська типографія «Люкс», 2010. – №2 (10). – 446 с.
  60. Економіка підприємства: Підручник / за ред. С. Ф. Покропивного. - К.: КНЕУ, 2001, 528с.
  61. Задорожній А. А., Туринський В. М. Тенденції розвитку племінного птахівництва / А. А. Задорожній, В. М. Туринський [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://archive.nbu.gov.ua/portal/chem\\_biol/Sp/2012\\_2/12aazrpp.pdf](http://archive.nbu.gov.ua/portal/chem_biol/Sp/2012_2/12aazrpp.pdf)
  62. Рибаченко О. М. Основні проблеми розвитку кормо виробництва в Україні / О. М. Рибаченко [Електронний ресурс] // Агро інком. – 2011. - № 10-12. Режим доступу: [http://archive.nbu.gov.ua/portal/chem\\_biol/agroin/2011\\_10-12/RUBAHENK.pdf](http://archive.nbu.gov.ua/portal/chem_biol/agroin/2011_10-12/RUBAHENK.pdf)

63. Стратегія розвитку м'ясного скотарства в Україні у контексті національної продовольчої безпеки/Укр. акад. аграр. наук, Ін-т розведення і генетики тварин; за ред. М.В. Зубця, І.В. Гусєва. – К.: Аграрна наука, 2005. – 174с., с.19
64. Технологія м'яса та м'ясних продуктів / [Береза І.Г., Гончаров Г.І., Кишенько І.І. та ін.]; за ред. М.М. Клименка. – К.: Вища освіта, 2006. – 640с.  
<http://buklib.net/books/34793/>
65. Тваринництво України за 2011 рік. Статистичний збірник / [За ред. Н. С. Власенко]. – К.: Державний комітет статистики України, 2012. – 211 с.
66. Актуальні проблеми підвищення якості та безпека виробництва й переробки продукції тваринництва та аквакультури : Матеріали міжнар. наук.-практ. конф. ( Дніпро, 20 жовт. 2022 р.) / Дніпровський ДАЕУ. – Дніпро, 2022. – 191 с. – Режим доступу : <http://dspace.dsau.dp.ua/jspui/handle/123456789/7072>
67. Баранов Н.Ф. Удосконалення технологічних процесів та технічних засобів приготування кормів для сільськогосподарського виробництва на базі роторних подрібнювачів: автореф. дис.д-ра. техн. наук / Н.Ф. Баранов. К., 2001. -41 с.
68. Доценко С.М. Обґрунтування параметрів приготування білково-мінеральних кормових продуктів в вигляді пасти і суспензії на основі сої / Доценко С.М., Вараксин С.В., Апєвалов О.В. // Техніка і обладнання для села. 2015. № 9. С. 18-23.
69. Доценко С.М. Використання сої у технології білково-вітамінних та білково-вуглеводних продуктів / Доценко С.М., Скрипка О.В., Тільба В.А. // Зберігання і переробка сільгоспсировини. 2014 року. № 4. З. 45-49.
70. Доценко С.М. Проблеми переробки сої на харчові цілі. Доценко С.М., Тільба В.А., Скрипка О.В. // Харчова промисловість. 2012 року. № 7. З. 18-21.
71. Доценко, С.М., Іванов С.А., Морозова О.І. Технологічна лінія виробництва білкового компонента. Журнал «Комбікорми» № 3 2002 с.
72. Доценко, С.М., Іванов С.А., Філон Р.Ф. Вдосконалення процес подрібнення сої // Журнал «Механізація і електрифікація сільського господарства» - №5, 2004, с. 19-20.

73. Жеруков, Б.Ч., Токбаєв М.М., Виробництво соєвих бобів і продуктів їх переробки//Харчова промисловість. 2007. № 2. С.60-61.
74. Курков Ю.Б. Перспективна технологія приготування та роздачі високобілкових повнораційних кормових сумішей великої рогатої худоби / Ю.Б. Курков, Т.А. Краснощоківа, В.В Єпіфанцев, А.Ю. Курков, Т.П. Кулагіна. Досягнення науки та техніки в АПК, 2013 - №12 - С. 62–66.
75. Фролов, В.Ю. Ресурсозберігаюча, безвідходна технологія глибокої переробки сої / Фролов В.Ю., Сисоєв Д.П., Класнер Г.Г // У збірнику: Актуальні питання ветеринарної і зоотехнічної науки і практики - 2015 року. с. 344-350.
76. Nazarenko, I., Shatrov, R. Mishchuk, Y., Mishchuk, D., Ruchynskiy, M., Rogovskii, I., Mikhailova, L., Titova, L., Berezoviy, M. (2021). DETERMIANTION OF ENERGY CHARACTERISTICS OF MATERIAL DESTRUCTION IN THE CRUSHING CHAMBER OF THE VIBRATION CRUSHER. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2021, 4(7-112), 41-49. Scopus Q2 (<https://www.scopus.com/sourceid/21100450083#tabs=1>) DOI 10.15587/1729-4061.2021.239292 <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85119406413&origin=resultslist>
77. Shatrov, R.V. Chvartatskiy, I.I., Flonts, I.V., Grabar, A.V., SYNTHESIS OF ENERGY-SAVING TRANSPORT-TECHNOLOGICAL SYSTEMS WITH SCREW WORKING BODIES Machinery and Energetics, 2021, 12(4), pp. 77–84 DOI 10.31548/machenergy2021.04.077 <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85179969419&origin=resultslist>
78. Rogovskii, I., Shatrov, R., Titova, L., Bannyi, O., Nadtochiy, O. TECHNOLOGICAL EFFECTIVENESS OF MACHINE FOR DIGGING SEEDLINGS IN NURSERY GROWN ON VEGETATIVE ROOTSTOCKS. International Scientific Conference Engineering for Rural Development 2022 (llu.lv) Engineering for Rural Development Open Access Volume 21, Pages 924 - 929 2022 21st International Scientific Conference Engineering for Rural Development, ERD 2022 Jelgava 25 May 2022 through 27 May 2022 Code 181944 DOI 10.22616/ERDev.2022.21.TF290 <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85137114527&origin=resultslist>.