

УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ

Допускається до захисту

Завідувач кафедри

Войтік А.В.

“ ” _____ 2023 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломної роботи

магістр

(освітній рівень)

на тему **«ПРОГНОЗУВАННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ КУЗОВА
ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ.»**

Виконав: студент 2 курсу, групи 21м-ім

Спеціальність 208

«Агроінженерія»

Курченко М.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник Головатюк А.А.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Володимир НОВІКОВ

(прізвище та ініціали)

м. Умань - 2023 рік

УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА

Факультет інженерно-технологічний
Кафедра агроінженерії
Спеціальність 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Войтік А.В..
« ____ » _____ **2023 р.**

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

студенту Курченку Максиму Вікторовичу

Тема роботи: Розробка енергозберігаючих технічних засобів приготування кормів в господарстві.

Керівник роботи: к. с-г. н. Головатюк Анатолій Анатолійович
затверджено наказом Уманського НУС від «14 листопада 2023 р. № 01-06/261

2. Строк подання студентом роботи – «25» листопада 2023 р.

3. Вихідні дані до роботи літературні джерела, технологічні та технічні рішення, методичні вказівки, методики.

4. Перелік питань, які потрібно розробити Вступ. 1. Огляд літератури.
2. Умови, схема та методика проведення дослідження. 3. Результати дослідження. Висновки. Список використаних джерел.

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічна ефективність	Головатюк А.А.		
Охорона праці	Прокопенко Е. В.		

6. Дата видачі завдання – «____» _____ 2023_р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів	Примітка
1.	Завершення наукових досліджень	30.08.23 р.	
2.	Вступ	04.09.23 р.	
3.	Огляд літератури	18.09.23 р.	
4.	Умови, схема і методика проведення дослідження	02.10.23 р.	
5.	Результати дослідження	16.10.23 р.	
5.1.	Технологічна частина	23.10.23 р.	
6.	Висновки	30.10.23 р.	
7.	Охорона праці	06.11.23 р.	
8.	Економічна ефективність	13.11.23 р.	
9.	Список використаних джерел	20.11.23 р.	
10.	Додатки (матеріали для презентації)	20.11.23 р.	
11.	Подання студентом роботи	25.11.23 р.	

Студент _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Реферат

Сучасні технології приготування кормів на тваринницьких фермах і комплексах мають у своєму розпорядженні широкий набір засобів механізації, які можуть формувати задану якість та прийнятну собівартість продукції на виході. Однак їх впровадження на тваринницьких підприємствах малих форм господарювання економічно недоцільно, оскільки не дозволяє отримати якісні корми при мінімальному наборі технічних засобів та їх високу вартість.

Незважаючи на велику кількість наукових робіт, що стосуються підвищення ефективності та якості приготування кормів, можна намітити ресурс, зберігаючи напрямки у розробці теоретичних основ систем машин для умов малих тваринницьких підприємств.

В роботі обґрунтовано із застосуванням системного аналізу підходи до процесу приготування кормів в умовах підприємств малих форм господарювання шляхом об'єднання технологічних операцій та розробки технічних засобів, що забезпечують вирішення проблеми якості приготування та ресурсозбереження. Розроблено для тваринницьких підприємств малих форм господарювання ресурсозберігаючі технологічні та технічні рішення, що дозволяють ефективно реалізовувати різні варіанти ліній приготування кормових сумішей. Проведено структурну та параметричну оптимізацію технологічних ліній. Отримано аналітичні залежності для проведення інженерних та технологічних розрахунків основних параметрів запропонованих машин для приготування кормів. Обґрунтовано адаптовані варіанти ресурсозберігаючих технологічних ліній приготування кормів, побудовані за блочно-модульним принципом, з комплектацією запропонованими базовими технічними засобами, що забезпечують необхідну продуктивність та високу ефективність виконання технологічних процесів при зниженні матеріальних, трудових та енергетичних витрат.

Структура та обсяг роботи. Робота складається з вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку літератури та додатків, викладена на 115 сторінках комп'ютерного тексту, у тому числі 106 сторінок основного тексту, 24 таблиці, 91 ілюстрацій, список літератури із 33 найменувань.

Зміст

ВСТУП	6
Розділ 1 ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ, ЦІЛІ ТА ЗАВДАННЯ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ...	10
1.1 Тваринницькі об'єкти малих форм господарювання у нормативних документах.	10
1.2 Технологічне забезпечення механізації процесів приготування кормів для великої рогатої худоби	11
1.3 Технологічні схеми та засоби механізації підготовки до згодовування грубих кормів.	19
1.4 Технологічні схеми та засоби механізації підготовки до згодовування коренебульбоплоди. ...	20
1.5 Технологічні схеми та засоби механізації підготовки до згодовування високобілкових кормів (на прикладі сої).....	23
1.6 Основні напрями підвищення виробництва тваринницької продукції на підприємствах малих форм господарювання.....	25
1.7 Стан наукових досліджень щодо обґрунтування ресурсозберігаючих технікотехнологічних рішень у системах механізованого приготування кормів.	26
Розділ 2 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	33
2.1 Опис експериментальних установок.....	33
2.2 Опис експериментальної установки з вивчення процесу подрібнення грубих кормів.	34
2.3 Опис експериментальної установки з вивчення процесу подрібнення білкових кормів.	35
2.4 Опис експериментальної установки з вивчення процесів одночасного подрібнення та змішування кормових компонентів.....	36
2.5 Програма та методика експериментальних досліджень.....	38
Розділ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ	51
3.1 Обґрунтування параметрів подрібнювача у процесі подрібнення замоченого зерна сої абразивними дисками у рідинному середовищі.....	51
3.2 Вплив конструктивно-режимних параметрів подрібнювача на процес виходу білка в екстрагент	59
3.3 Вплив конструктивно-режимних параметрів подрібнювача на потужність робочого процесу.	60
3.4 Вплив конструктивно-режимних параметрів подрібнювача на продуктивність.	61
3.5 Обґрунтування параметрів сепаратора у процесі сухого очищення коренеплодів	62
3.6 Обґрунтування параметрів подрібнювача у процесі подрібнення грубих кормів комбінованими різальними сегментами дискового робочого органу.....	69
3.7 Обґрунтування параметрів процесу приготування кормових сумішей із компонентів раціону пошарово завантажених у бункер подрібнювача-змішувача.	78
3.8 Вплив конструктивно-режимних факторів на процес подрібнення та змішування	81
3.10 Вплив довжини частинок на неоднорідність суміші.....	88
Розділ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	93
4.1 Аналіз умов та заходів з охорони праці.	93
4.2 Розробка організаційно-технічних заходів з охорони праці під час роздавання кормів	96
4.3 Моделювання виробничих небезпек при зварювальних роботах.....	98
5 ВИРОБНИЧА ПЕРЕВІРКА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ.....	100
5.1 Виробнича перевірка результатів досліджень.....	100
5.2 Економічна ефективність результатів досліджень.....	106
ВИСНОВКИ.....	113
Використана література.....	117

ВСТУП

Тваринництво найважливіша галузь сільськогосподарського виробництва України. Головна мета розвитку сільського господарства в країні та окремих регіонах в даний час полягає в забезпеченні продовольчої незалежності та підвищенні конкурентоспроможності вітчизняної сільгосппродукції на внутрішньому та зовнішньому ринках. Це зумовлено низкою факторів: вступ України до СОТ.

Збільшення виробництва тваринницької продукції значною мірою залежить від якісної підготовки кормів відповідно до зоотребованія [8, 14, 15]. Отже, раціональне їх використання передбачає згодовування тварин лише у підготовленому вигляді за високої якості приготування, особливо у умовах підприємств малих форм господарювання.

Особливість розвитку тваринництва полягає в багатоукладності виробництва продукції як у великих, середніх, селянських (фермерських) господарствах різних форм власності, так і особистих господарствах населення.

Концепцією соціально-економічного розвитку України у довгостроковій перспективі поставлено завдання забезпечення потреб населення продовольством за рахунок інтенсифікації вітчизняного виробництва сільськогосподарської продукції.

З урахуванням особливостей сформованих умов господарювання та запитів виробництва, потрібно забезпечити тваринників ефективними рішеннями, шляхом адаптації та проектування ресурсозберігаючих технологій, а також розроблення необхідних малогабаритних багатофункціональних засобів для механізації основних технічних процесів приготування кормів.

Інтенсивним напрямом збільшення обсягу виробництва тваринницької продукції, полягає у підвищенні якості кормів за рахунок концентрації та збереження поживних речовин в останньому. Заготівля грубих кормів у пресованому вигляді дозволяє у достатній кількості зберегти поживні та мінеральні речовини, необхідні для повноцінного годівлі тварин у зимовий період. Однак використання корму в пресованому вигляді без попередньої

підготовки (розгортання рулону, подрібнення, дозована видача) на малих фермах, по існуючим технологіям неможлива, внаслідок відсутності засобів механізації.

Різноманітність технічних засобів і робочих органів ріжучих апаратів машин для приготування кормів залежить від їх фізико-механічних властивостей, зоотехнічних вимог до кормових сумішей, виду тварин.

Повноцінна збалансована годівля залишається основним чинником успішного розвитку ефективного тваринництва [16, 17]. Оптимальні результати без витрат на додаткове розширення кормової бази та збільшення поголів'я досягаються за рахунок збалансованого годівля тварин підготовленими кормами, що забезпечують легку засвоюваність поживних речовин та використання їх організмом тварин з максимальною віддачею.

Використання мінімальної кількості компонентів у кормових сумішах, можливе при включенні та оптимальному співвідношенні в їх складі кормів з високим вмістом поживних речовин. Оскільки більша кількість компонентів ускладнює процеси механізації їх приготування, що веде до значного подорожчання кормової суміші і, як наслідок, отриманої тваринницької продукції. До того ж умови сучасного рівня розвитку колективних, селянських (фермерських) господарств не дозволяє широко впроваджувати механізацію в приготуванні кормів [13].

Технології та машини для приготування кормів, що застосовуються на фермах, часто не можна адаптувати для підприємств малих форм господарювання. У зв'язку з цим потрібно забезпечити фермерів високоефективними проектними рішеннями, що враховують особливості практики господарювання, що склалася.

На підвищення продуктивності тварин, з аналізу досвіду роботи сільськогосподарських підприємств із розвиненим тваринництвом України, обґрунтовано збільшенням у раціоні частки кормів, збагачених білками, дефіцит у якому відчувають як малі ферми, і фермерські господарства. Джерелом кормового білка, що дає 50% протеїну, переважно є бобові культури.

Аналіз роботи серійних машини для приготування кормів показав, що вони металомісткі, енергоємні і мало прийнятні в умовах підприємств малих форм господарювання, оскільки використовуються з низькою ефективністю, внаслідок недоліків організаційного, технічного та технологічного характеру [10].

Особливість малих підприємств пов'язана з наявністю диференційованості поголів'я та кормових баз, що вимагає великої кількості різноманітних технологічних ліній та технічних засобів для приготування кормів. За наявності засобів механізації виникає проблема: у зв'язку з високими питомими витратами та вартістю машин їх ефективне використання в умовах малих форм господарювання економічно недоцільно. Отже, науковотехнічна проблема полягає у розробці малогабаритних технічних засобів механізації основних процесів приготування кормів, проектуванні та адаптації технологій, орієнтованих на кормову базу малих підприємств з урахуванням показників якості та ресурсозбереження.

Для вирішення проблеми запропоновано наступну наукову гіпотезу. Проектування та адаптація технологій, розробка малогабаритних багатофункціональних технічних засобів для механізації основних процесів приготування кормів в умовах підприємств малих форм господарювання, що забезпечить ресурсозбереження та підвищення якості приготування кормів.

Мета роботи: обґрунтування технологій та технічних засобів, що забезпечують ресурсозбереження та підвищення якості приготування кормів на підприємствах малих форм господарювання.

Завдання досліджень:

розробити математичну модель вдосконалення процесу приготування кормів в умовах підприємств малих форм господарювання за показниками якості та ресурсозбереження;

розробити математичну модель оцінки ефективності функціонування ресурсозберігаючих технологічних ліній приготування кормів в умовах підприємств малих форм господарювання;

розробити узагальнену структурну схему процесів приготування основних компонентів раціону на основі принципу трансформації кормових потоків;

розробити технологічні схеми ліній приготування кормів, що забезпечують ресурсозбереження при мінімальному наборі компонентів та технічних засобів механізації основних процесів на підприємствах малих форм господарювання;

розробити необхідний мінімальний набір технічних засобів для механізації основних процесів ресурсозберігаючих технологій приготування кормів в умовах підприємств малих форм господарювання;

експериментально обґрунтувати оптимальні технологічні, конструктивні та режимні параметри розроблених технічних засобів для ліній механізованого приготування кормів;

оцінити технікоекономічну ефективність виробничої перевірки основних результатів досліджень та розробити рекомендації щодо їх використання.

Об'єкти досліджень. Технологічні лінії та технічні засоби для приготування кормів в умовах підприємств малих форм господарювання.

Предмет досліджень. Закономірності впливу адаптованих технологій та технічних засобів для приготування кормів на показники якості та ресурсозбереження в умовах підприємств малих форм господарювання.

Наукову новизну роботи складають:

Розділ 1 ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ, ЦІЛІ ТА ЗАВДАННЯ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.

1.1 Тваринницькі об'єкти малих форм господарювання у нормативних документах.

Для обґрунтування об'єкта наукового дослідження необхідно визначити вектори підвищення виробництва тваринницької продукції з класифікаційними ознаками підприємств малих форм господарювання в цілому і зокрема в аграрному секторі тваринництва.

У країнах класифікація фермерських господарств проводиться за рядом корінних ознак – розміри ферм, рівень та структура їх доходів, на підставі яких виділяють п'ять типів: особисте підсобне господарство (ЛПХ), фермерське господарство, індивідуальна сімейна ферма, сімейно-групова ферма (партнерство); акціонерна компанія (корпорація).

Неоціненна роль у виробництві тваринницької продукції, зменшенні безробіття сільського населення та сталого розвитку сільських територій. Проблема зниження виробництва продукції в умовах руйнування інтеграційних зв'язків із сільськогосподарськими організаціями зумовлена втратою важливого джерела надходження кормів і молодняку сільськогосподарських тварин, які раніше купувалися за пільговими цінами або в порядку натуральної оплати праці. Також сільськогосподарські організації нерідко брали на функції збору та реалізації продукції. В даний час значна частина продукції закуповується заїжджими скупниками за заниженими цінами, що робить виробництво товарної продукції тваринництва неефективною.

Малі господарства мають сімейноіндивідуальну форму ведення господарської діяльності головним чином за участю членів сім'ї. Категорії малих форм господарювання стикаються зі схожими проблемами при виробництві та реалізації продукції: відсутність ефективної системи збуту, низькі закупівельні та договірні ціни, проблеми при забезпеченні тварин кормами, низький рівень технічної оснащеності.

Проблемним також залишається питання застосування технологій та технічних засобів для механізованого процесу приготування та роздачі кормів, який у загальному балансі витрат праці займає до 40%. Водночас рівень механізації залишається невисоким. Якщо загалом в країнах на молочних фермах комплексна механізація становить 80 %, то малих – близько 18 %. Аналіз літературних даних показали, що найбільш трудомісткими процесами на молочних фермах залишаються доїння 37, роздача кормів 28, збирання гною 16% [7]. За витратами енергії понад 32% навантаження персоналу посідає навантаження, транспортування і роздачу кормів. При цьому 82% фізичного навантаження посідає навантаження і транспортування кормів і лише 18 % на розподіл за годівницями. На відгодівельних фермах ВРХ до 50 % від усіх витрат праці посідає процеси годівлі тварин, і до 25 % – на збирання гною [8].

Оскільки процеси годівлі менш механізовані і енергоємні, то найближчими роками у виробництві продукції тваринництва основне зниження витрат праці можна отримати у приготуванні кормів. У умовах ресурсозбереження кормовиробництві має зіграти вирішальну роль, без нього інтенсифікація тваринництва не можлива [6, 8].

Найбільш ефективним вирішенням цієї проблеми є підтримка малих підприємств і приватних подвір'їв, оскільки цей сектор економіки має великий потенціал, не потребує створення інфраструктури.

Отже, основні напрями в ресурсозбереженні необхідно направити на ті виробничі процеси, які найбільш перспективні та впливають на собівартість, якість та кількість продукції, що виробляється. Основними з яких як на великих та середніх, так і на підприємствах малих форм господарювання є технології та технічні засоби приготування кормів та повнораційних кормових сумішей.

1.2 Технологічне забезпечення механізації процесів приготування кормів для великої рогатої худоби.

Корми – у собівартості тваринницької продукції сягають 50 % і більше. При середній продуктивності корови 6520 кг молока на рік (показник по

Україні) витрати кормів становлять менше ніж 1 ц корм. од/ц молока; при середньодобовому прирості свиней на відгодівлі 308 г конверсія корму на 1 кг приросту становить 5,2 кг/кг, при 770 г 2,64 кг/кг (Нідерланди) [35].

У сфері механізації приготування кормів в Україні там інтенсивно ведуться науководослідні, дослідноконструкторські роботи з адаптації і вдосконаленню технологій і створення нових машин. Значний внесок у розвиток механізації технологічних процесів у тваринництві зробили: С. В. Мельников, В. І. Сироватка, В. Р. Алешкін, Г. М. Кукта, Б. І. Вагін, В. І., М. А. Тищенко, Л. П. Кормановський, В. В. Коновалов та ін.

Вченими і тваринниками починаючи з 70х років була доведена ефективність годівлі багатокомпонентними кормосумішами, які задовольняють фізіологічним потребам тварин, сприяють травленню і підвищують їх продуктивність за рахунок збалансованості кормового раціону за поживними речовинами, а також дозволяють повністю механізувати процес приготування кормів.

Повнораціонна годівля тварин на фермах і комплексах, охоплюючи фізіологію годівля тварин та їх утримання, організаційнотехнологічні питання польового кормовиробництва, особливості механізації процесів приготування та інші, завжди було основним фактором успішного розвитку тваринництва [8, 9, 20, 30] . Тому на тваринницьких підприємствах малих форм господарювання основним чинником зниження витрат праці та ресурсозбереження процесів годівлі тварин зумовлює складання збалансованих раціонів і машиннотехнологічне забезпечення. За ступенем впливу на продуктивність тварин технологічні процеси фермерського приготування кормів займають серед інших процесів та операцій на фермах особливе значення [1].

Стан здоров'я тварин та їх продуктивність залежать не тільки від якіснокількісних показників та повноцінності раціонів, але і від якості підготовки кормів, їх засвоюваності, яка забезпечується різними способами їх переробки [3, 5].

Розглядаючи перелічені технології для підприємств малих форм господарювання в умовах з раціонами, що складаються з основних компонентів [2, 8]: сіно, силос (сінаж), концкормів, БМД та зелена маса (у літній період) найбільш прийнятна технологія почергового згодовування компонентів у тому числі зелених кормів у літній період.

Друга технологія може бути застосована лише за умов кооперації підприємств різної спрямованості.

Впровадження третьої технології на тваринницькі підприємства малих форм господарювання можливе, за умови розробки малотоннажних технічних засобів, обладнаних пристроями для завантаження кормів і тензометричними зважувачами пристроями, які дозволять отримувати якісні кормосуміші з різним вмістом компонентів. Мобільні багатоцільові агрегати, що випускаються в даний час, знайшли широке застосування на сімейних фермах, що мають державну підтримку.

В даний час, через позбавлення важливого джерела надходження кормів від сільськогосподарських організацій, малі тваринницькі підприємства в основному застосовують цілорічне одностипну годівлю тварин сіном, концкормами та зеленою масою у літній період. У зв'язку з цим підготовка кормів обумовлена мінімальним впливом на корм, тобто. виїмка зі сховищ, транспортування та роздача кормів виробляють, як правило, вручну. Однак таке становище вимагає набагато більших трудовитрат, у той час як у третій системі витрати праці в 3 рази менше, але капітальні вкладання в 1,5 рази перевищують вкладання в першу технологію [8].

В умовах фінансової нестабільності більшість підприємств малих форм господарювання не зможе найближчими роками перейти на застосування третьої системи через відсутність вітчизняних серійних машин. Тому потрібні нові машини, які були б працездатні на всіх видах подрібнених, так і не подрібнених кормів, а також могли б змішувати кормові компоненти.

Процес приготування кормів на фермах ВРХ включає в себе операції виїмки кормів зі сховищ; транспортування, підготовку до згодовування та

розподіл готового корму по годівницях. У більшості господарств у різних природнокліматичних зонах кращі показники продуктивного тваринництва досягають при використанні систем з мобільними машинами. Проте механізація малих ферм має особливості [8,9,26].

Мобільні кормороздавачі вписуються не у всі тваринницькі приміщення [8]. У цих випадках застосовують комбіновані системи: транспортування кормів до приміщень за допомогою мобільних роздавачів, розподіл по годівницях стаціонарними роздатчиками або вручну [4].

Залежно від природнокліматичних умов, спрямованості господарювання, системи утримання тварин, габаритів та планування будівель з урахуванням найбільш раціонального використання кормів для механізації виробничих процесів їх приготування та роздачі [19] рекомендовані комплекти обладнання та окремі машини .

Проведений аналіз літературних джерел, інтернет ресурсів показав, що більшість рекомендованих комплектів обладнання не випускається або виробництво та постачання здійснюється з інших країн. Найбільш широко можливо адаптації технології послідовної видачі кормових компонентів без попередньої їх підготовки (рисунок 1.1) [8, 12, 13, 24].

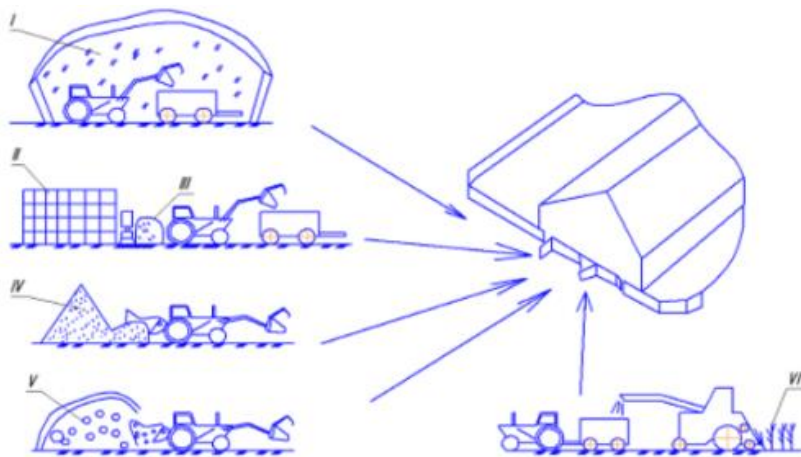


Рисунок 1.1 – Технологічна схема лінії почергового згодовування кормових інгредієнтів: I – силос (сінаж); II – грубі корми у пакунках; III – подрібнені грубі корми; IV – концкорми; V – коренеплоди; VI – зелені корми.

При використанні пристосувань для роздачі розсипних і гранульованих концкормів мобільними кормороздавачами РММ5, що дозволяють одночасно з

завантажувач; 4 – башта або бункер для зберігання кормів; 5 – виробничі приміщення; 6 – косарка-подрібнювач; 7 – пересувні кормороздавачі; 8 – навантажувач кормів; 9 – стаціонарні кормороздавачі; 10 – вагова; 11 – кормоцех.

У західноєвропейських країнах, у порівнянні з застосовуваною на наших фермах технікою, як у великих фермах, і на малих сімейних фермах для приготування та роздачі кормів застосовуються різні багатфункціональні мобільні агрегати (рисунок 1.14), які в переліку на 1 т кормів, що готуються, дозволяють скоротити витрати праці в 2–3 рази та знизити у 2 рази енерго та металоємність [13, 14, 18, 25].

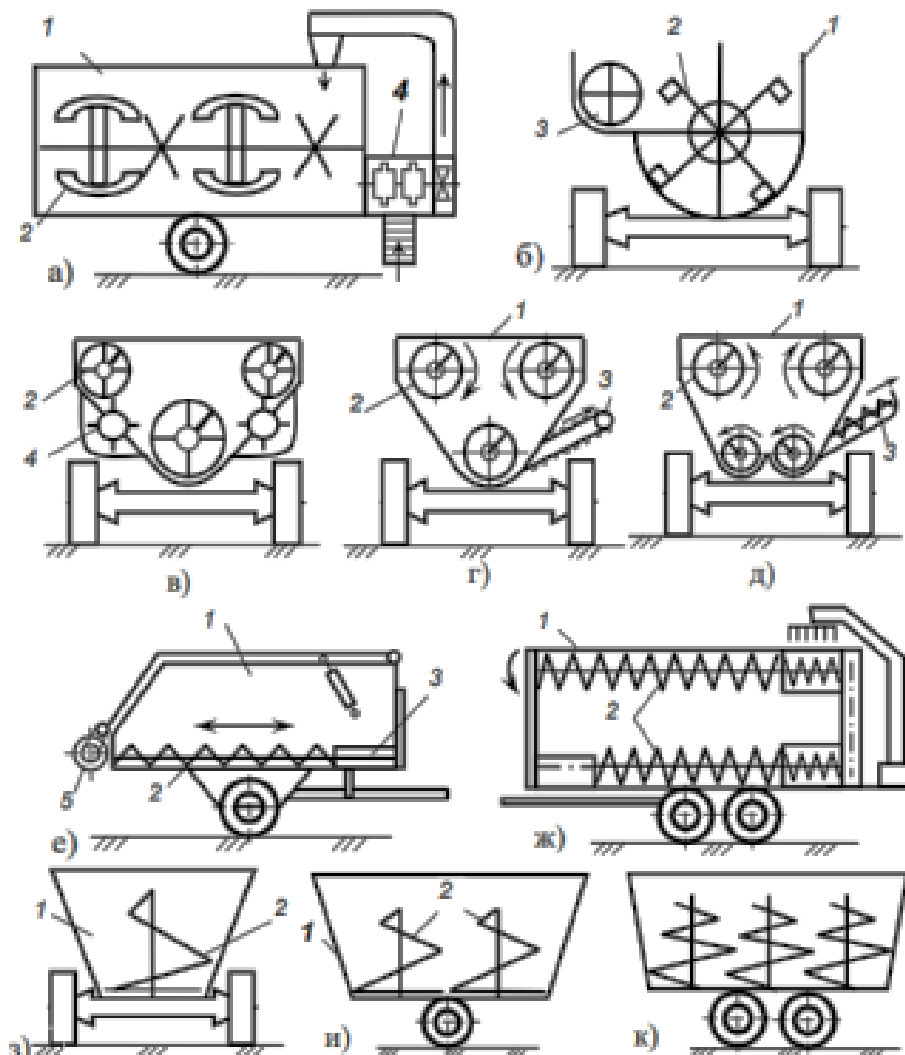


Рисунок 1.4 – Конструктивно-технологічні схеми бункерних змішувачів-роздавачів: а – лопаткового типу фірми «Dawis Sons» (США); б барабанного типу фірми Кеєпан (Великобританія); в, г, д горизонтальні три і чотирьох шнекові; е, ж самозавантажуються; з, і, к вертикальні одно, дво, трьох шнекові 1 – бункер; 2 – змішуючі органи; 3 – вивантажувальний транспортер; 4 – дробарка, 5 – фрезеруючий барабан.

Різноманітність представлених на ринку конструкцій машин пояснюється зональними особливостями, фізикомеханічними властивостями компонентів кормових раціонів, а також пошук оптимальної конструкції технічних засобів, що відповідають зоотехнічним та технікоєкономічним вимогам [5–6]. За останні роки і в нашій країні у тваринників зріс інтерес до мобільних машин та агрегатів для приготування кормів – це зарубіжні Keenan, BvL, DeLaval. Кормоприготувальні агрегати повинні відзначати сучасним вимогам [3]: мати мінімальну витрату енергії на процес, високу надійність у роботі, не створювати зайвого шуму, легко очищатися від залишків корму та інших забруднень.

Якісні та енергетичні показники роботи мобільних кормороздавачів залежать від конструктивного виконання робочих органів, тому ідей щодо створення та вдосконалення машин розвивається навколо двох принципових напрямків – горизонтального чи вертикального розташування робочих органів у бункері [5].

Наведені результати випробувань горизонтальних та вертикальних змішувачів-роздавачів у протоколах німецьких DLG та англійських фахівців дозволяють отримати рекомендації щодо можливості їх ефективної експлуатації. Так всі машини показали високу якість змішування кормів протягом 35 хв. Енергоємність дещо вище у машин з вертикальним розташуванням робочого органу. Деякі горизонтальні змішувачі-роздавачі працюють з рулонами та пакунками невеликих розмірів (максимальний розмір не більше 1,2 м), а вертикальні – з кормами, пресованими в рулони та пакунки будь-яких розмірів.

Істотним недоліком досліджених змішувачів-роздавачів є їх значна енергоємність, оскільки робочі органи розмішуються безпосередньо кормовий в середовищі і взаємодіють одночасно з усією його масою, що знаходиться в бункері. Також відзначена і висока чутливість шнекових робочих органів, виконаних без ріжучих сегментів, до ступеня подрібнення стеблових кормів [1, 5].

Проведений аналіз виявив, що для приготування кормових сумішей для ВРХ на підприємствах малих форм господарювання, найбільш перспективні змішувачі-роздавачі, що виробляють змішувати кормові компоненти, пошарово завантажені в бункер, момент відділення порції та вивантаження їх на вивантажувальний транспортер. Оскільки потужність (у середньому 11,2 кВт, табл.1.1), що витрачається на процес, у 5 разів менша порівняно зі змішуванням компонентів у бункері (у середньому 56,6 кВт, табл.1.1) [11].

Таблиця 1.1 Технічні характеристики роздатчиків-змішувачів кормів

Показники	Модель (фірма)						
	F700V (Berg mann)	V- Star9 (BvL)	FDW STA (HAME)	Futter- profi (Rohn)	Feedo 60L (Schuite marker)	FVW100 (Straut- mann)	FUW 7,5 (Tebbe)
Маса, кг	2900	2600	2840	2170	1980	2790	2500
Об'єм кузова V, м ³	10,3	8	10,2	7,1	8,5	8,6	7,4
Вантажопідйомність, кг	5100	3900	5160	2830	5520	4110	4100
Встановлена потужність, кВт	11	12,2	14	7,4	9,5	12	12

Проведений аналіз застосовуваних на фермах і комплексах технологій та технічних засобів показав, що вони високометало та енергоємні (потужність приводу машин становить 50–80 кВт); вимагають значних трудовитрат і капіталовкладень на будівництво, облаштування та експлуатацію сховищ, будівель та споруд, придбання та використання спеціальних машин та обладнання, що неприйнятно в умовах малих ферм та фермерських господарств. При цьому розмір, рівень механізації, своєчасність та якість виконання процесів підготовки кормів до згодовування значною мірою визначають продуктивність тварин, що в кінцевому підсумку позначається на собівартості продукції тваринництва.

Отже, існує проблема вдосконалення та адаптації технологій та розробки малогабаритних технічних засобів для приготування кормів великої рогатої

худоби на підприємствах малих форм господарства, що забезпечують ресурсозбереження за рахунок зниження енергоємності процесів; зменшення до мінімуму ручної праці; підвищення рівня механізації, скорочення втрат кормів та підвищення їх засвоюваності.

1.3 Технологічні схеми та засоби механізації підготовки до згодовування грубих кормів.

Заготівля сіна в тюках або рулонах має ряд переваг: мінімальні втрати врожаю не перевищують 5%; зниження втрат при заготівлі найціннішої частини рослин (листя); зниження загальних витрат на 35% і витрат праці на 39%; більш ефективно використовуються сховища та навіси; доповнить одержання з кожного гектара сіяних трав 200–250 кг корму [8].

Одним з перспективних способів заготівлі кормів є пресування. У 90% сіна пресується. В інших країнах використання цього способу стримувалося через відсутність вантажнорозвантажувальних засобів та високої вартості устаткування пресування. Переваги пресування корму – поліпшення його якості, зниження втрат, зменшення витрат праці та часу, полегшення роздачі та нормування при згодовуванні.

Грубі корми обробляють і готують для годівля худоби різними технологічними схемами [88], а число машин, що входять у потік технологічних ліній, визначають виходячи з вимог технологічного процесу та їх конструктивних особливостей. Технологічні лінії грубих кормів служать для виконання механічних операцій (нагромадження, дозування, подрібнення) термохімічної чи біологічної обробки.

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

В даний час, стосовно малих ферм, є досить обмежений вибір машин для механізації виконання технологічних операцій. В результаті практично

неможливо зробити вибір найбільш економічних процесів приготування кормів. У цьому зв'язку, використовуються існуючі технічні засоби, незалежно від економічногосподарської вигоди, а корми часто згодовують вручну без попереднього подрібнення [9].

1.4 Технологічні схеми та засоби механізації підготовки до згодовування коренебульбоплоди

Коренеплоди є необхідною, високоефективною компонентом кормового раціону великої рогатої худоби особливо в зимовий період. Правильна їх підготовка до згодовування сприяє підвищенню поживності та смакових якостей супутніх кормів, раціональному їх використанню, підвищенню засвоєння організмом тварини. Забрудненість коренебульбоплоди ґрунтоворослинними домішками викликає необхідність їх очищення перед згодовуванням. При підготовці коренебульбоплоди до згодовування необхідно дотримуватися особливості технології їх приготування.

Оскільки даний вид кормів витягується з землі та первісна за брудність після збирання досягати 10 ... 25% за масою [9].

Як показує досвід та аналіз найбільша забрудненість зберігається на коренях і бульбах, причому підвищена вологість ґрунту збільшує забрудненість. Тому перед згодовуванням тваринам всі домішки необхідно максимально прибрати, оскільки вони можуть спричинити виведення з ладу робочі органи машин, порушуючи при цьому технологічний процес, а також негативно позначитися на здоров'ї тварин [9].

Застосовувані різні способи очищення коренеплодів залежать від культури і тип ґрунту, які мають різні фізикомеханічні властивості. Суглинисті ґрунти викликають значні труднощі при їх очищенні, оскільки сила зчеплення суглинистих ґрунтів з поверхнею коренеплодів значно вища, ніж у інших типів ґрунтів (піщаних, тоУкраїни'яних) [9].

Для підготовки коренебульбоплоди до згодовування застосовують наступні технологічні схеми: прийом → миття (сухе очищення) → видача; прийом → миття (сухе очищення) → варіння → охолодження → видача;

прийом → миття (сухе очищення) → варіння → м'яття → видача; прийом → миття (сухе очищення) → подрібнення → видача; прийом → мийка (сухе очищення) → подрібнення → змішування → видача. Важливим технологічним процесом обробки коренебульбоплоди є їх очищення від забруднень (земля, пісок, каміння). Забрудненість, що допускається за зоовимогами після очищення, не повинна перевищувати 2–3 %, оскільки підвищення призводить до зниження якості кормів, їх поїдання та, як наслідок, продуктивності тварин. Аналіз схем (Рисунок 1.5) виявив основні недоліки: складність конструкцій; висока енергоємність лінії та додаткові матеріальні витрати при використанні води та її очищенні [1, 9].

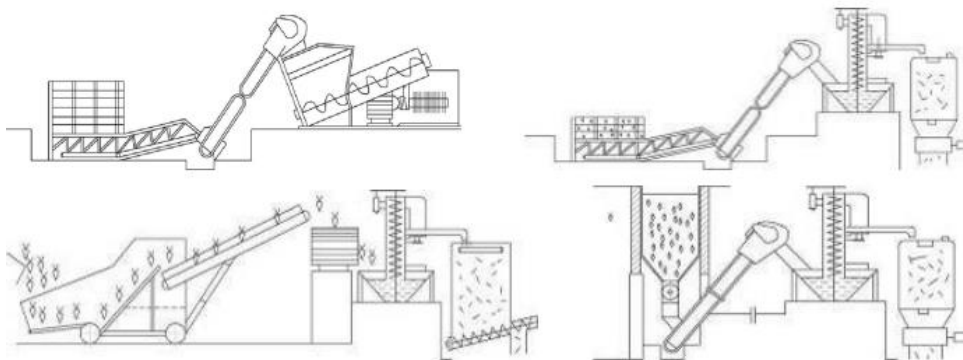


Рисунок 1.5 – Схеми поточковотехнологічних ліній підготовки коренеплодів до згодовування

Центральним технічним засобом у лінії підготовки коренебульбоплоди до згодовування є миття подрібнювач-каменевловлювач, основні схеми яких представлені на рисунку 1.6.

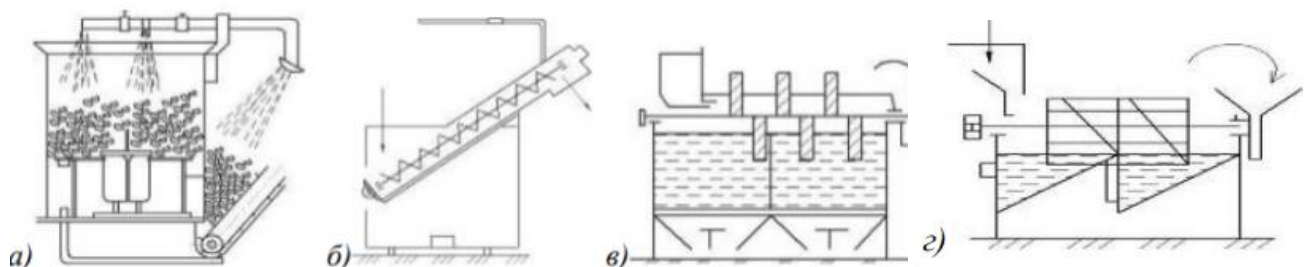


Рисунок 1.6 – Схеми коренеклубнемийок: (а) – дискова, (б) – шнекова, (в) – кулачкова, (г) – барабанна.

До основних недоліків даних пристроїв відносяться: складність конструкцій, велика витрата води, що призводить до істотних матеріальних витрат на процес очищення; великі витрати енергії при високій продуктивності, що неприйнятно для експлуатації в умовах малих ферм.

Застосування попереднього сухого очищення додаткового до миття забезпечує зниження витрати води на 50 л на 1 т коренеплодів порівняно з витратою води за традиційним миттям [9].

Огляд досліджень [9, 15] показує, що останнім часом при підготовці коренеплодів до згодовування з метою економії та ресурсозбереження переважно є сухе очищення коренеплодів. Нижче наведено аналіз основних технічних рішень (рисунок 1.7) для способу очищення.

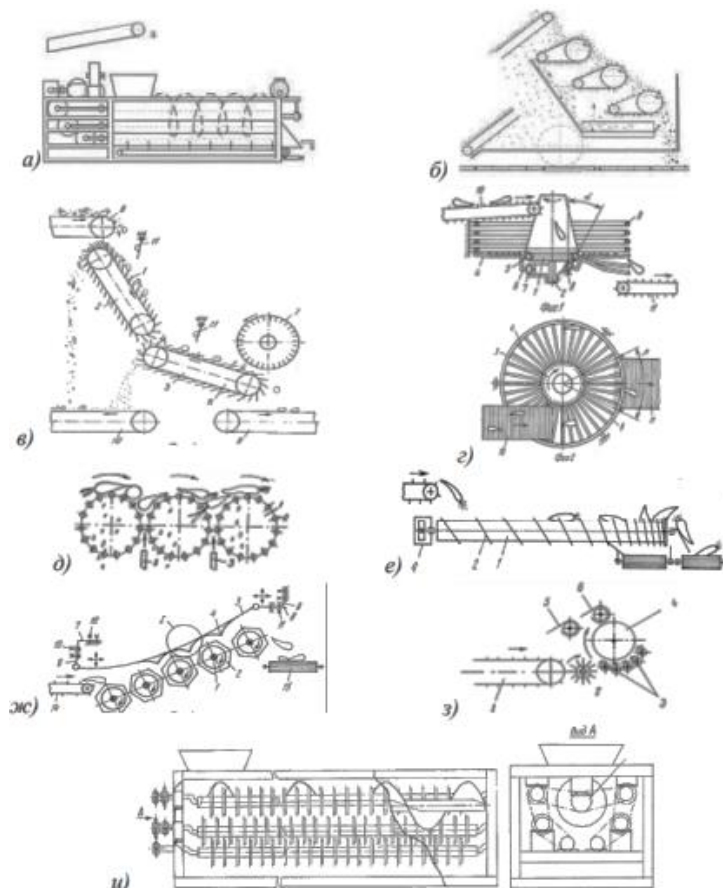


Рисунок 1.7 – Схеми робочих органів для сухого очищення коренебульбоплоди: а – циліндричні щітки; б – голчасті сепаратори; в – гірка, що транспортує, з рухомою вгору пальчастою поверхнею і щітками, що зустрічно обертаються, над подібним кінцем нижньої ділянки гірки; г – ґратчастий диск, закріплений на вертикальному валу; д – барабани, виконані з прутків та сопел для подачі стисненого повітря у вертикальній площині знизу вгору; е – валики з протилежно спрямованими спіральними навивками; ж – паралельні вали з фігурними дисками, з яких розміщений інтенсифікатор; з – лопатевий

метальник, що містить еластичні лопаті і сепаруючу поверхню, що складається з пар гумових валиків, що зустрічно обертаються, над якою встановлений шнек; і – паралельно розміщені півколом ексцентрикові вали.

Аналіз способів і технічних засобів для сухого очищення коренебульбоплоди [9] показав, що технікоекономічний ефект від застосування машини з циліндричними щітками Рисунок 1.7, а) досягається спрощенням системи видалення забруднень, зниженням експлуатаційних витрат за рахунок виключення води з процесу. Одним з найголовніших недоліків машини з голчастими сепараторами є пошкодження бульб від наколювання на голки (Рисунок 1.7, б). Аналіз (Рисунки 1.7, в, г, е, ж) показав, що очищення складний процес за конструкцією, енергоємністю, а також веде до травмування.. Завдяки використанню вертикально спрямованих пневмоструменів (рисунок 1.7, д) знижується травмування. Недостатком пристрою (рисунок 1.7, з) є те, що пасивні та активні сепарующі поверхні працюють лише за принципом решета, поділяючи порошок за розміром частинок та парусності. Недоліком конструкції (Рисунок 1.7) є неможливість через круглі форми робочих елементів очистити забруднення, що у поглибленнях і нерівностях бульб.

Аналіз машин для сухого очищення коренебульбоплоди показує, що вони поєднують в одній конструкції дві операції – очищення від домішок та сортування бульб, що можна застосовувати в господарствах пов'язаних з вирощуванням коренебульбоплоди. Однак, представлені конструкції більшості робочих органів не забезпечують збереження бульб від пошкодження, а самі машини при цьому металомісткі, енергоємні [9].

1.5 Технологічні схеми та засоби механізації підготовки до згодовування високобілкових кормів (на прикладі сої).

Відомо, що у кормовому балансі зарубіжних країн соя та продукти її переробки займають ключове місце, так як вони багаті протеїном, жиру, а також біологічно активними речовинами [8, 9]. Незважаючи на те що Краснодарський край і Далекий Схід вирощують сою, але в Україні ти переробки сої не знайшли широкого застосування у годівлі тварин.

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

Питання ефективного годівля в тваринництві завжди стояло дуже гостро. У структурі собівартості продукції даної галузі корми та годівлі ня складають за різними оцінками до 75%. Найбільший ефект підвищення продуктивності тварин досягається при збалансованості раціонів про тейновими кормами. Заміна тваринного протеїну рослинним білком досягається одним із доступних інструментів збалансованості раціонів [8].

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

Слід звернути увагу, що зерно сої містить антиживильні речовини (інгібітори, таніни, глюкозиди, алколоїди), які знижують у тварин біологічна доступність протеїну. Отже, для засвоєння поживних речовин організмом тварин та раціонального використання білка, сою піддають перед згодовуванням обробці, яка руйнує антипові речовини і підвищує доступність протеїну.

В даний час застосовується ряд способів обробки, доцільність використання яких визначаються якісними показниками та енергетичними витратами. До основних належать: екструдування, гранулювання, термічна, автоклавування, інфрачервоне, ультрафіолетове мікрохвильове (НВЧ) опромінення, використання хімічних речовин [8, 9.10].

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

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

В даний час стримуючими факторами розвитку тваринницько-господарських підприємств малих форм господарювання залишаються фінансові, технологічні, та господарські фактори.

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

Як показали аналіз раніше проведених досліджень авторами [19, 110], основними причинами зниження обсягів виробництва та низької економічної ефективності підприємств малих форм господарств є:

- диспаритет цін між продукцією господарства та промисловості;
- слабка державна підтримка даного сектора;
- необґрунтовані ціни на молоко, що закуповується, встановлені монополістичним становищем переробних підприємств;
- низька мотивація праці, не контрольована витрата ресурсів, порушення технологій, низький рівень кваліфікації та ін;
- низький технікотехнологічний рівень виробництва продукції.

Незважаючи на труднощі та складності в економіці України, перспективність розвитку малих форм існує. Цей в основному за рахунок заходів та перспективних програм державної підтримки, спрямовані на відродження ня та підвищення якості продукції вітчизняного товаровиробника.

Основним технологічним фактором, який не відповідає вимогам є відсутність малотоннажних машин даного сектора економіки.

Для придбання та оновлення технічної бази необхідні величезні кошти, тому необхідно для вирішення даної проблеми підходити наук про те, технічно та економічно обґрунтовано, не здійснюючи поспішного прийняття рішень за рахунок коштів державної підтримки закупівлі дорогого обладнання, що не принесе бажаного результату.

Усі розглянуті вдосконалення, засновані головним чином перспективної техніки, здатної при відповідному компонуванні робочих органів докорінно вдосконалювати технологію: виключити ручну працю, впорядкувати перелік і послідовність виконуваних операцій, номенклатурний перелік машин, поєднувати кілька технологічних операцій в одному технічному засобі, знизити втрати кормів, витрати та підвищення кваліфікації.

Застосування універсальних робочих органів для обробки різних кормів. Поєднання кількох операцій в одному технічному засобі багатфункціональні кормові агрегати.

Застосування машин у кількох технологічних лініях. Використання в машинах комбінованого способу приводу робочих органів (електропривід та ВВП).

Використання в машинах пристрою для безступінчастого регулювання частоти обертання робочих органів (частотний перетворювач). Використання одного електродвигуна у кількох машинах. Застосування об'ємномасового контролю скормлюваних компонентів.

1.7 Стан наукових досліджень щодо обґрунтування ресурсозберігаючих технікотехнологічних рішень у системах механізованого приготування кормів.

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

А. П. Калашніков для годівля дійних корів рекомендує силос, сінаж, сіно, частину коренеплодів і концкормів включати в основний раціон, розрахований на середній удій, і видавати всім групам тварин кормосмесі одного складу, а частина коренебульбоплоди і концкормів додавати по групах або індивідуально при доїнні. При продуктивності 4000 кг на корову грубі і соковиті корми видають досхочу і нормують лише концентрати і коренеплоди,

при продуктивності понад 4500 кг нормування слід проводити по всіх поживних речовин і добавках.

Накопичені знання з процесів: подрібнення, дозування, змішування і роздачі кормів можуть бути використані і при створенні нових технологічних і технічних рішень засобів механізації для умов підприємств малих форм господарювання.

Отримані знання з подрібнення кормових матеріалів, викладені у працях В. П. Горячкіна, Н. Є. Резніка, М. В. Саблікова, В. І. Сироватки, Є. І. Храпача, Г. І. Новікова, В. А. Голікова, В. І. Передні, В. А. Сисуєва, І. А. Долгова, М. А. Тищенко, В. І. Пахомова, А. Т. Лебедєва, та інших вчених служать основою для проектування нових кормоподрібнювальних машин.

Розробка змішувачів кормів базується на основах теорій та методик інженерного розрахунку, описаних у роботах: А. А. Лапшина, А. І. Тимофєєва, Є. А. Раскатової, П. К. Жевлакова, А. М. Ластовцева, Ф. К. Новобранцева, Б. І. Вагіна, Г. М. Кукти, Л. М. Куцина, В. А. Голікова, В. І. Передні, С. В. Євсєєнкова, А. В. Смоленського, В. Ф. Хлистунова, В. А. Максименко, С. К. Філатова, І. А. Долгова, С. М. Доценко та інших вчених.

Проведений аналіз підприємств малих форм господарювання виявив, що особливо в умови таких господарств чітко виявляється комплексний вплив факторів на кінцеву продуктивність тварин, але особливим вирішальним є фактор годівлі, який на 60-80% визначає рівень продуктивності [11 14]. Недооцінка навіть одного складового елемента підсистеми годівлі може звести до мінімуму ефективність всієї системи.

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

що підтверджують результати світової та вітчизняної науки та практики. Переваги згодовування кормів у вигляді сумішей [8]:

- зниження кратності годівлі тварин з 5 до 2 на добу, що знижує витрати праці, скорочує втрату кормів при транспортуванні;

- виключення вибіркового поїдання тваринами окремих кормових компонентів.

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

У країні в цілому широке поширення отримала технологія заготівлі сіна в рулонах і пакунках. Однак, згодовування сіна заготовленого пресованому вигляді на малих фермах затруднена через відсутність технічних засобів, а застосування існуючих технологій і машин економічно не вигідні, тому що відрізняються високою металоємністю, енергоємністю, вартістю і вимагають значних трудовитрат.

Для підвищення продуктивності тварин необхідно в раціонах годівлі застосовувати оптимальне цукрово-протеїнове співвідношення, обумовлене особливостями функціонування їх травної системи [8]. Таке співвідношення досягається формуванням сумішей з грубих (стеблових) кормів. Найбільш часто в якості соковитих кормів у використовуються коренеплоди і баштанні культури, в основному гарбуз кормовий. При цьому коренеплоди (кормовий буряк, морква, картопля) дозрівають у строки і дають економічно виправдані врожаї.

Коренеплоди, маючи у складі легкозасвоювані цукри вимагають перед згодовуванням тваринам відповідних матеріальних і трудових витрат на відділення ґрунторослинних забруднень. У зв'язку з цим, з погляду зниження

витрат та підвищення якісних показників процесів очищення та сортування коренеплодів є застосування технологій та технічних засобів сухого очищення від забруднень.

В даний час збільшує виробництво сої, яка є високобілковим кормом і дозволяє збільшити в раціонах вмісту «відносно дешевого» білка. Як показує практика, більшість малих ферм відчуває труднощі у зв'язку з нестачею в раціонах тварин високобілкових кормів, що пов'язано з відсутністю раціональних технологій і малотоннажних технічних засобів підготовки зерна до згодовування.

Нині у світі сформувалася тенденція застосування на фермах багатофункціональних кормових агрегатів. Розмаїття конструкцій агрегатів свідчить у тому, що на сьогодні світова наука і практика не відпрацювала ще оптимальні варіанти агрегатів [8]. До того умови підприємств малих форм господарювання значно відрізняються від дорожніх умов ферм і комплексів, що ускладнює їх впровадження та ефективну експлуатацію.

Тому при розробці та адаптації ефективних систем підготовки кормів для підприємств малих форм господарювання доводиться вирішувати ряд завдань, пов'язаних з вибором функціональних, конструктивнотехнологічних схем технологічних ліній, а також параметрів технічних засобів за оптимальних умов їх функціонування.

Для зниження вартості розробки технологічних ліній, виготовлення та експлуатації нових машин, слід застосовувати блочномодульний принцип побудови з уніфікованої елементноагрегатної бази.

Застосування технологій з технічним забезпеченням на фермах ВРХ забезпечує середньодобові прирости тварин до 960 г, річний надій на 1 корову – до 6000 кг. При цьому гарантується рівень рентабельності виробництва не менше 28% і ефективність праці до 40% у порівнянні з традиційною технологією з послідовним згодовуванням кормів [18].

Враховуючи високу ефективність технологій, що розробляються, необхідно виготовити зразки нових машин і довести до промислового

виробництва. Сьогоднішній стан машинотехнічної бази підприємств малих форм господарювання є головним стримуючим фактором технологічної модернізації галузі даного сектора економіки.

Підприємства випускають або морально застарілу техніку, розроблену 30-40 років тому, або високопродуктивну і дорогу, через що сільгосптоваровиробники змушені застосовувати спрощені технології, які за продуктивністю в 10-15 разів нижчі, ніж у передових країнах світу. З цієї причини неприпустимо великі втрати продукції, які стали серйозним негативним фактором низьких економічних показників галузі.

Відсутність по ряду позицій техніки конкурентоспроможної вітчизняної пропозиції не дозволяє ефективно реалізувати переваги сучасних технологій і змушує виробників купувати імпорту.

Для успішної технологічної модернізації сільськогосподарського виробництва підприємств малих форм господарювання першочерговому порядку вимагають вирішення проблеми формування машинотракторної бази, оптимальної за якісним та кількісним складом.

Тому основними напрямками ресурсозбереження в кормовиробництві на малих фермах у найближчі роки слід вважати:

- підготовка в технологічних лініях повнораційних розсипних кормосумішей;

- вдосконалення процесу подрібнення та змішування кормів;

- підвищення в раціонах тварин частки рослинних білків і легко засвоюваних вуглеводистих кормів за рахунок підготовки їх до згодовування;

- підвищення збалансованості та засвоєння поживних речовин, шляхом якісного приготування кормів та зволоження стеблових кормів рідкими білковими або іншими поживними добавками.

Відсутність комплексного підходу до адаптації технологій та розробки засобів механізації процесів підготовки кормів до згодовування та приготування кормових сумішей для підприємств малих форм господарювання вимагає пошуку шляхів їх вирішення, які мають бути спрямовані на:

структурну оптимізацію технічних засобів, що випускаються, що забезпечують процеси приготування кормів;

формування за блочномодульною системою групи машин у рамках окремих технологічних ліній;

параметрична оптимізація режимів роботи машин, що розробляються;

модернізація серійновипущених машин у рамках обраних технологій;

виконання зоотехнічних вимог у рамках кожної технологічної лінії.

На основі вищевикладеного сформульована проблемна ситуація, наукова та господарська проблеми, визначено мету та завдання дослідження.

Проблемна ситуація. Особливість малих підприємств пов'язана з наявністю диференційованості поголів'я і кормових баз, що вимагає великої кількості різноманітних технологічних ліній і технічних засобів для приготування кормів. За наявності засобів механізації виникає проблема: у зв'язку з високими питомими витратами і вартістю машин їх ефективне використання в умовах малих форм господарювання економічно недоцільно.

Науковотехнічна проблема полягає в розробці малогабаритних технічних засобів механізації основних процесів приготування кормів, проектуванні та адаптації технологій, орієнтованих на кормову базу малих підприємств з урахуванням показників якості та ресурсозбереження.

Господарська проблема. Забезпечення ефективності функціонування машиннотехнологічних систем та якісно-кількісного виконання процесів приготування кормів та кормових сумішей заданого складу та властивостей на підприємствах малих форм господарювання, за рахунок енерго та ресурсозберігаючих технологій та засобів механізації підвищить обсяг виробництва тваринницької продукції.

Мета роботи. Обґрунтування технологій та технічних засобів, що забезпечують ресурсозбереження та підвищення якості приготування кормів на підприємствах малих форм господарювання.

Завдання досліджень:

розробити математичну модель вдосконалення процесу приготування кормів в умовах підприємств малих форм господарювання за показниками якості та ресурсозбереження;

розробити узагальнену структурну схему процесів приготування основних компонентів раціону на основі принципу трансформації кормових потоків;

розробити технологічні схеми ліній приготування кормів, які забезпечують ресурсозбереження за мінімального набору компонентів та технічних засобів механізації основних процесів на підприємствах малих форм господарювання;

розробити необхідний мінімальний набір технічних засобів для механізації основних процесів ресурсозберігаючих технологій приготування кормів в умовах підприємств малих форм господарювання;

отримати аналітичні залежності для обґрунтування конструктивно-технологічних схем, режимів та параметрів робочих органів проєктованих технічних засобів;

експериментально обґрунтувати оптимальні технологічні, конструктивні та режимні параметри розроблених технічних засобів для ліній механізованого приготування кормів;

оцінити технікоекономічну ефективність виробничої перевірки основних результатів досліджень та розробити рекомендації щодо їх

Розділ 2 МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Опис експериментальних установок.

Для дослідження ефективності роботи сухого очищення бульбоплодів сепаруючих очисних робочих органів шнекового типу, розроблений експериментальний зразок очищувача-сепаратора (рис. 2.1).



Рисунок 3.1 – Загальний вигляд очищувача-сепаратора коренеплодів з робочим органом шнекового типу Навивка є роликками, встановленими на осях, і розташовуються в отворах, виконаних у вигляді напівсфер, при цьому мають можливість обертання навколо своєї осі, з метою запобігання пошкодженню і більш якісного очищення бульбоплодів.

Крок витків шнеків різний, і має співвідношення 1 : 1,5 першого ко другому. Шнеки обертаються у зустрічному напрямку один до одного при співвідношенні частот обертання 1 : 2, що створює обертальний рух бульбоплодів навколо своїх осей у процесі переміщення та сприяє ефективному очищенню від забруднень.

Під шнеками розташований вивантажувальний транспортер для видалення ґрунтово-рослинних залишків у контейнер. У зоні сепарації очищувача знаходяться приймальні лотки для збирання матеріалу різного розміру. Привід робочих органів здійснюється від електродвигуна потужністю 3 кВт через черв'яковий редуктор, ланцюгову та ремінну передачі. Для зміни числа оборотів шнеків використовувалися зірочки з різним числом зубів $Z = 16, 18$.

Очищувач бульбоплодів працює в такий спосіб. Бульбоплоди, з допомогою транспортера подаються в засипну горловину, звідки надходять на шнеки. Продукт обробки, за рахунок різниці кроку навивки та різниці частоти обертання шнеків, обертаючись навколо своєї осі, переміщається в осьовому

напрямку шнеків, очищаючись від домішок (кам'яна земля, каміння, залишки бадилля), які через зазор між шнеками прокидаються на вивантажувальний транспортер і видаляються межі очищувача. Бульбоплоди, надходячи до зони сепарації, виконану у вигляді конусоподібних шнеків, переміщаючись в осьовому напрямку, поділяються за геометричними розмірами та потрапляють у збірні лотки.

Таблиця 2.1 - Технічна характеристика очищувача коренеплодів.

Показники	Значення
Продуктивність кг/год	2500–4000
Ступінь очищення, %	95-97
Потужність, що споживається, кВт	1
Габаритні розміри, мм: дл × шир × вис	1650×700×1100

2.2 Опис експериментальної установки з вивчення процесу подрібнення грубих кормів.

Для проведення досліджень процесу подрібнення грубих кормів було розроблено експериментальну установку подрібнювача, загальний вигляд якого представлений рисунку 2.2.

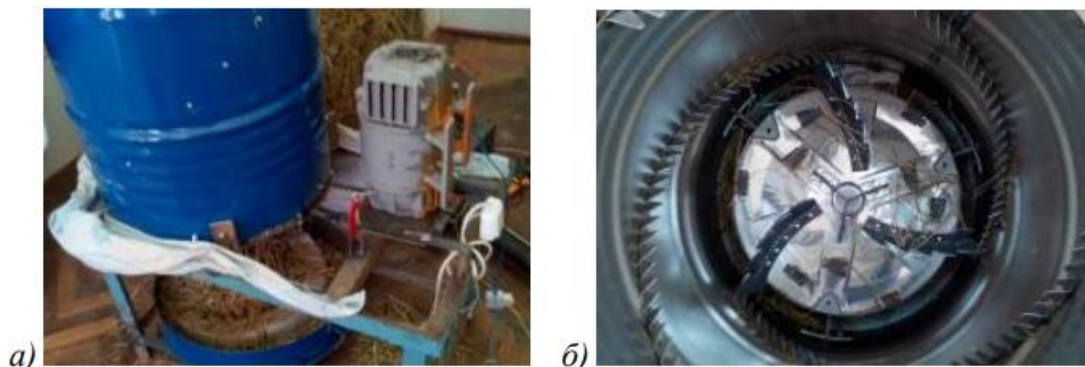


Рисунок 2.2 – Подрібнювач грубих кормів; (а) – загальний вигляд експериментальної установки; (б) – подрібнюючий робочий орган.

Подрібнювач грубих кормів виконаний на рамі і складається з вертикального циліндричного бункера, по внутрішньому периметру якого розташована шнекова навивка, в донній частині бункера в осьовому напрямку, закріплена за допомогою підшипників, на приводі шківа встановлена голка з лопатевим колесом і конусним робочим органом, по осях якого закріплені подрібнювальні двоплощинні сегменти з дуговими ріжучими кромками

(рисунок 2.2 б), а в міжосьовому просторі робочої поверхні диска радіально виконані горизонтальні зубчасті подрібнюючі елементи, у поперечному перерізі яких розташовані ромбоподібні отвори, а також забезпечений вивантажуванням повітродоводом.

Матеріал завантажують у бункер, де за рахунок сил гравітації, він примусово подається на конусний подрібнюючий робочий орган. При взаємодії матеріалу із зубчастими подрібнюючими елементами та двоплощинними сегментами з дуговими ріжучими кромками відбувається подрібнення як вздовж, і поперек волокон. Подрібнений матеріал надходить у ромбоподібні отвори, звідки подається за допомогою лопатевого колеса у вивантажний повітропровід, з якого вивантажується в борний лоток.

Привід подрібнювального конусного робочого органу на експериментальній установці здійснюється від двигуна 4A100L2Y3.

Таблиця 2.2 - Технічна характеристика подрібнювача

Показники	Значення
Продуктивність, т/год	0,5-1,5
Розмір подрібнених частинок, мм	20-70
Потужність, що споживається, кВт	5,0
Вага, кг	150

2.3 Опис експериментальної установки з вивчення процесу подрібнення білкових кормів.

Для проведення експериментальних досліджень щодо вивчення процесу подрібнювача замоченого зерна сої було виготовлено експериментальну установку (рисунок 2.3).

Технологічний процес подрібнення ось у чому. Замочене зерно сої під впливом сил гравітації із завантажувальної ємності через патрубок подається одночасно з водою у простір між дисками.

Траєкторія переміщення зерна за рахунок відцентрових сил відповідає орієнтації криволінійних борозенок. Зерна взаємодіють з абразивними поверхнями за рахунок складних деформацій (стиснення, зсуву, стирання).

Подрібнюються до однорідного дрібнодисперсійного помелу. Під дією води, що подається відбувається змив подрібнених частинок з одночасною екстракцією білка. Проходячи через сито, рідка фракція відокремлюється від окари і збирається через патрубок у спеціальну ємність. Нерозчинний залишок збирається в окрему ємність [27].



Рисунок 2.3 – Загальний вигляд експериментальної установки подрібнювача замоченого зерна сої зі змінними абразивними дисками.

Таблиця 2.3 - Технічна характеристика експериментальної установки

Показники	Значення
Продуктивність, л/год	220...230
Вага, кг	12
Потужність, що споживається, кВт	0,37

2.4 Опис експериментальної установки з вивчення процесів одночасного подрібнення та змішування кормових компонентів

Дослідження процесів одночасного подрібнення та змішування кормових компонентів проводили на експериментальній установці (рисунок 2.4).

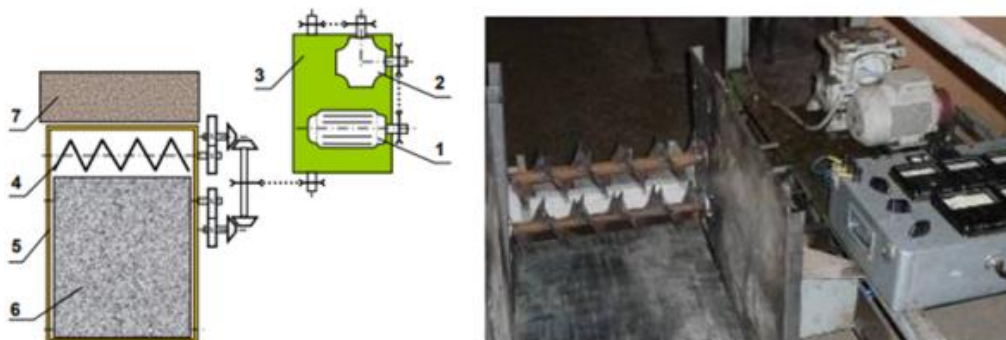


Рисунок 2.4 – Схема та загальна експериментальна установка; 1 – електродвигун; 2 – редуктор; 3 – розподільчий блок; 4 – шнековий апарат; 5 – бункер; 6 - транспортер, що подає; 7 – приймальний лоток.

Таблиця 2.4 - Технічна характеристика експериментальної установки.

Показники	Значення
Продуктивність, кг/с	1,2...1,9
Розмір подрібнених частинок, мм	20-70
Рівномірність змішування, %	85–87 %
Однорідність гранулометричного складу	85-92%
Потужність, що споживається, кВт	4,5

Експериментальна установка складається з бункера, в передній частині якого розміщені подрібнювальний шнековий апарат та вивантажувальний транспортер. Шнеки із закріпленими по зовнішньому краю гвинтових поверхонь ножами, розташовані таким чином, що гвинтова поверхня одного шнека перекриває міжвитковий простір іншого. Подрібнений матеріал або кормові компоненти суміші подаються до шнеків за допомогою поздовжнього транспортер. Привід подрібнювального апарату здійснюється електродвигуном потужністю 4,5 кВт.

Експериментальна установка працює в такий спосіб. У бункер завантажуються компоненти кормового раціону горизонтальними шарами певної висоти. Після заповнення бункера в роботу включаються подрібнювальний шнековий апарат і транспортер, що подає.

При роботі гвинтовими поверхнями шнеків, що обертаються, корми утворюють зустрічні потоки, які частково переміщаються вздовж шнеків від однієї стінки бункера до іншої. При цьому ножі, встановлені на гвинтових поверхнях шнеків, захоплюють довгостебельний корм, переміщують його в осьовому напрямку і подрібнюють, протягуючи через міжвитковий простір 6 паралельно розташованого шнека, що підвищує експлуатаційну надійність машини, оскільки шнеки, що обертаються, не дають корму затримуватися і накопичуватися. На поверхні шнека відбувається їх злиття та перемішування. Далі корми виштовхуються гвинтовими поверхнями шнеків на збірний лоток (рис. 2.5). Крім цього, корми додатково перемішуються, перебуваючи в зоні перекриття гвинтовою поверхнею шнека міжвиткового простору іншого шнека,

інтенсифікуючи тим самим процес змішування. Це підвищує ефективність подрібнення та змішування корму та відповідно знижує енергоємність робочого процесу, за рахунок горизонтального розташування робочих органів у передній частині бункера [11].



Рисунок 2.5 – Лоток для збирання порцій корму

2.5 Програма та методика експериментальних досліджень

Мета експериментальних досліджень – підтвердити достовірність теоретичних передумов і обґрунтувати оптимальні параметри та режими роботи технічних засобів у технологічних лініях приготування кормів за умови виконання необхідних зоотехнічних, техніко-економічних та якісно-кількісних показників з урахуванням ресурсозбереження.

Для реалізації експериментальних досліджень проводилася модернізація серійних, розробка та виготовлення макетних та лабораторних зразків нових машин та робочих органів (рисунок 2.1–2.5). Дослідження проводилися відповідно до РД-АПК 1.10.01.03-12, ГОСТ 27262-87, ГОСТ 27548-90, РД 10.19.2-90, та розробленою комплексною.

Кількість і тривалість дослідів вибирали відповідно до необхідного обсягу інформації, що задовольняє задане значення надійності $E = 0,95$ та помилки дослідження 5%. Повторність дослідів прийнята триразової.

Завантаження та вивантаження компонентів у кожному досвіді визначали шляхом зважування порцій на терезах за проміжок часу:

$$Q_i = \frac{G}{t},$$

де G - Маса порції корму, кг; t – час збирання проб.

Середня продуктивність пристрою на одному режимі роботи дорівнює:

$$Q_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n},$$

де n - Повторність досліджу.

Енергоємність процесу визначаємо за формулою:

$$N_{\text{ед}} = \frac{P_{cp}}{Q_{cp}},$$

де P_{cp} - середня потужність, виміряна в процесах, кВт.

Потужність визначалася за виразом:

$$P_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n}$$

де P_{cp} - поточне значення виміряної потужності, кВт; n – кількість вимірів потужності при n-кратної повторності.

Обробку даних, отриманих в результаті експерименту, проводили в відповідно до положень математичної статистики та теорії ймовірності, викладених у роботах М. М. Протодьянкової та Р. І. Гедер, Є. І. Пустельника, а також інших авторів.

1 Методика відбору кормового матеріалу.

Експериментальні дослідження процесів подрібнення, змішування розроблених технічних засобів та їх робочих органів проводили за методиками, описаними у роботах [7, 16, 27].

Кормові компоненти для випробувань вибиралися вдень, при природному освітленні, при цьому особлива увага приділялася їхньому фізикомеханічному стану, якості.

Середня проба для випробувань машини кожного кормового компонента раціону відбиралася так, що вона точно та об'єктивно характеризувала всю партію матеріалу.

Критеріями оцінки стала працездатність робочих органів, якісні показники та енергоємність процесів.

2 Методика визначення гранулометричного складу та середньозваженої довжини подрібненого продукту.

Для визначення гранулометричного складу та середньозваженої довжини подрібненого корму було виготовлено збірний лоток. Приготовлений кормовий продукт збирався при встановленому режимі робочих органів.

Проби збиралися методами квартування, суть якого полягає у усередненні результатів при відборі 3...4 проб із заздалегідь передбаченим обсягом з рівномірно розподіленого шару готового продукту, який накладається сітка. Проби поміщаються в поліетиленові пакети, забезпечені бирками із зазначенням номера досвіду та дати. Потім зібрані проби, за допомогою сит і ручного розбирання, поділяються на компоненти та фракції по довжині частинок: до 10 мм, 10...20, 20...30,..., 100...150, більше 150 мм.

Кожна з фракцій зважується на терезах марки ВЛТК-500. Потім середня довжина частинок, що характеризує ступінь подрібнення, визначалася середньоарифметичною величиною варіаційного ряду.

Для оцінки подрібненого корму за однорідністю складу відповідно до ОСТ 70.19.2–83 розраховували середньоквадратичне відхилення розміру частинок та коефіцієнт варіації.

3 Методика визначення вологості кормів.

Вологість змішуваних компонентів визначали прямим способом - виділенням води шляхом висушування попередньо подрібнених зразків на частинки 10–20 мм у сушильній шафі (мікрохвильовій машині). Потім зразки зважували на електронних терезах.

Відносна вологість визначалася за формулою:

$$W = \frac{(P_1 - P_2)}{P_1} \cdot 100\%,$$

де P_1 , P_2 – маса корму до та після висушування, р.

4 Методика визначення однорідності суміші.

Ступінь перемішування двох і більше компонентів оцінюємо за допомогою коефіцієнта варіації кількості в пробах контрольованого компонента (що входить до суміші в меншій дозі). Як контрольний компонент використовували насіння гороху розмірами 3...5 мм. При дискретному рахунку

зерен гороху вводили з розрахунку 10 зерен на пробу, що дозволяє уявити їх розподіл, як нормальним законом, і законом Пуассона.

Аналіз процесу змішування проводили за статистичними характеристиками: середньоквадратичним відхиленням σ і коефіцієнтом варіації розподілу в суміші контрольованого (контрольного компонента), якість якого взяті зерна гороху. Масу проби для аналізу кормосумішей для великої рогатої худоби встановив у розмірі $q_i = 300-400$ г [27].

5 Методика дослідження процесу очищення, сепарування коренебульбоплоди.

Якість процесу очищення оцінюємо показником повноти виділення домішок η :

$$\eta = \frac{m}{m_0} 100\%,$$

де m - Маса виділених домішок, кг; m_0 - маса домішок, що містяться в купі (у вихідному матеріалі), кг.

Точність сепарування оцінюємо загальним коефіцієнтом точності сортування r :

$$r = \frac{100(\sum_{i=1}^n m_i)}{\sum m_k}$$

де n – число фракцій; m_i - маса коренеплодів, що опинилися в даній фракції та відповідають її вимогам, кг; $\sum_{\text{тк}}$ – сумарна маса коренеплодів усіх фракцій, кг.

Щільність кормів визначалася шляхом насипання корму ємність місткістю $0,125 \text{ м}^3$ із висотою 500 мм, зайвий корм знімався лінійкою. Потім ємність із кормом зважувалася з точністю до 10 г.

Кут природного укосу кормів визначали шляхом обвалення. Накопичувальний ящик заповнювали наполовину кормом, потім масу корму вирівнювали і плавно перекидали. Кут між горизонтальною площиною та вертикальною поверхнею корму заміряли кутоміром та лінійкою.

Для визначення ступеня очищення коренеплодів використовувалися ваги марки РН-10Ц13У, які дозволяли зважити масу коренеплодів до та після очищення.

Зняття та контроль енергетичних характеристик здійснювався за допомогою комбінованого приладу К-51 (рисунок 2.6).



Рисунок 2.6 – Комбінований прилад К-51;



Рисунок 2.7 – Перетворювач частоти струму в комплекті з струмовими кліщами «Актакон АТК-2200».

З метою зменшення кількості оборотів подрібнювального робочого органу шляхом зміни частоти обертання ротора електродвигуна в межах від 500 об/хв до 3000 об/хв, регулювання продуктивності та зміни гранулометричного складу грубого корму, заготовленого в пресованому вигляді, в електричний ланцюг приводу включений перетворювач частоти струму в комплекті з кліщами струмовими «Актакон АТК-2200» (рисунок 2.7) які використовувалися для зняття енергетичних характеристик.

Для контролю за подрібненням грубого корму на установці (рисунок 2.8) кута атаки горизонтальних зубчастих подрібнювальних елементів застосовували транспортер та лінійку (рисунок 2.9).



Рисунок 2.8 – Вимірювання кута атаки горизонтальних зубчастих подрібнюючих елементів.



Рисунок 2.9 – Решетний класифікатор.

Для визначення довжини фракційного складу подрібненого корму використовувалася звичайна лінійка. Для визначення середньозваженої довжини кормової маси використовувалися електронні ваги марки KERN.

Контроль зміни гранулометричного складу корму здійснювався шляхом розбору отриманих порцій корму понад 20 мм вручну, а фракцій від 2 до 20 мм на решітному класифікаторі з наступним зважуванням кожної фракції на терезах марки «KERN» (рисунок 2.9).

6 Методика визначення найбільш значимих факторів, що впливають на досліджувані процеси Для виділення найбільш значущих факторів, що впливають на досліджувані процеси, використовуємо метод планування експерименту [14-15].

Аналіз літературних джерел дозволив виділити найбільш значущі фактори, що впливають на процеси сухого очищення (таблиця 2.5), подрібнення зерна сої та екстракції білка (таблиця 2.6), подрібнення грубих кормів (таблиця 2.7), одночасного подрібнення та змішування компонентів (таблиця 2.8) та прийняті рівні варіювання. На підставі попереднього вивчення об'єкта дослідження було обрано параметри оптимізації [9, 13].

Усі перелічені чинники відповідають вимогам керованості, операційності, однозначності та незалежності. Некеровані, але контрольовані – вологість навколишнього повітря, його температура та барометричний тиск враховувалися перед початком експерименту.

Детальне вивчення всіх виділених факторів зажадало б великої кількості дослідів, тому відповідно до [150] провели відсіюючий експеримент, який дозволяє виділити фактори, найбільш суттєво що впливають величини критеріїв оптимізації. Результати однофакторних експериментів дозволили вибрати рівні та інтервали варіювання факторів під час проведення планування експерименту.

7 Методика проведення експерименту, що відсіює Для виділення істотних факторів проводився експеримент, що відсіює, що являє собою насичений план з матрицею спеціальної конструкції [9, 18].

Таблиця 2.5 - Фактори, що впливають на процес сухого очищення коренеплодів.

Фактори	Значення	Розмірність	Рівень варіювання		
			-1	0	+1
Кінематичний режим	X_1		1,5	2	2,5
Відношення кількості заходів навивки шнеків швидкохідного до тихохідного	X_2		10/6	10/7	10/8
Діаметр шнеків м	X_3	м	0,17	0,18	0,19
Крок шнекової навивки	X_4	м	0,6	0,7	0,8
Кількість сфер на витку шнека	X_5	шт	15	20	25
Робоча зона очищення коренеплодів	X_6	м	1,3	1,5	1,7
Вологість ґрунту на коренеплодах	X_7	%	20	25	30
Об'ємна маса	X_8	кг/м ³	200	300	400

Таблиця 2.6 - Фактори, що впливають на процес подрібнення грубих кормів

Фактори	Значення	Розмірність	Рівень варіювання		
			-1	0	+1
Вологість сіна	X_1	%	10	15	20
Кількість пазів на диску	X_2	шт	2	3	4
Кількість робочих сегментів по крнтуру робочого органу,	X_3	шт	3	6	9
Кількість V подібних сегментів	X_4	шт	3	6	9
Кут між робочим органом і горизонтальним зубчатим подрібнюючими елементами	X_5	град	30	35	40
Кутова швидкість робочого органу	X_6	с ¹	1,6	3,2	4,8
Виліт сегментів	X_7	м	0,01	0,03	0,05
Діаметр робочого диску	X_8	м	55	65	75
Кількість шнекової навивки прийомного бункера	X_9	шт	2	3	4
Кут підйому	X_{10}	град.	30	35	40

Таблиця 2.7 – Фактори, що впливають на процес подрібнення зерна у замоченому вигляді та подальшої екстракції білка в емульсію.

Фактори	Значення	Розмірність	Рівень варіювання		
			-1	0	+1
Вологість	X_1	%	20	60	100
Кількість обертів диска	X_2	c^{-1}	1800	2200	2600
Гідромодуль	X_3	-	1:4	1:9	1:14
Зазор між дисками	X_4	мм	3	4	5
Температура	X_5	$^{\circ}C$	20	45	70
Напрямок бороздок	X_6	-	60	90	120
Шершавість абразиву	X_7	-	50	250	450

Таблиця 2.8 – Фактори, що впливають на процес одночасного подрібнення та змішування компонентів

Фактори	Значення	Розмірність	Рівень варіювання		
			-1	0	+1
Вологість силосу, $W_{\text{сил}}$	X_1	%	70	80	90
Вологість грубих кормів, W_c	X_2	%	15	20	25
Частота обертання шнеків, ω	X_3	c^{-1}	5	10	15
Діаметр витків шнека, D_1	X_4	М	0,3	0,4	0,5
Крок витка шнека, S	X_5	М	0,2	0,3	0,4
Виліт сегментів на шнеку, n	X_6	м	0,01	0,03	0,05
Кількість сегментів на одному витку, Z_1	X_7	шт	8	11	14
Лінійна швидкість транспортера, що подає, v_n	X_8	м/с	0,005	0,025	0,045
Висота шару компонентів суміші	X_9	М	0,1	0,2	0,3
Середньозважена довжина частинок	X_{10}	м	0,04	0,06	0,08

Матриця плану конструюється за заданим першим рядком шляхом зсуву наступних рядків елементів попереднього рядка на одну позицію вправо та перестановки першого елемента останню позицію. Останній, 12-й рядок включає лише елементи (–). Для дослідження восьми факторів використовувався план із кількістю експериментів – 12. Для визначення дисперсії оцінок факторів до досліджуваних факторів у матриці плану було додано три фіктивні фактори.

При цьому передбачалося, що домінуюче значення, що впливає на відгук мають лінійні фактори. Завдяки ортогональності цих планів, їх результати легко піддаються обробці, а лінійні ефекти розраховуються незалежно один від одного.

Число експериментів у цих матрицях кратно чотирьом ($N = 4k$) і з їх допомогою можна досліджувати вплив $(4k-1)$ факторів (k – кратність матриці).

Число експериментів вибирали з умови $N > l$, де l – кількість факторів, що оцінюються.

$$k = \frac{N}{4} = 3$$

Перед початком експериментальних досліджень фактори кодувалися.

Кодування факторів здійснювали за формулою:

$$\chi_i = \frac{X_i - X_{oi}}{\varepsilon_i},$$

де X_i – кодоване значення фактора (безрозмірна величина); X_i – натуральне значення фактора; X_{oi} – натуральне значення фактора на нульовому

$$\varepsilon = \frac{X_{iv} - X_{in}}{2}$$

рівні; ε_i – натуральне значення інтервалу варіювання фактора.

де X_{iv} – натуральне значення фактора на верхньому рівні (+1); X_{in} – натуральне значення фактора на нижньому рівні (-1).

Порядок проведення дослідів полягав у наступному. Відповідно до матриці планування на експериментальному зразку встановлювалося одне з поєднань рівнів факторів, проводився пуск і, в режимі, що встановився, відбиралися на аналіз проби. Досліди проводилися із триразовою повторністю.

Після реалізації плану експерименту визначалася сума $\sum_j X_{ij}$ значень щодо кожного X_i , оцінки ефектів окремих факторів α_i та розраховувалися значення α_i .

. Число ступенів свободи $f = N - (l + 1) = 12 - (10 + 1) = 1$. Коефіцієнти фіктивних факторів використовуються для розрахунку оцінки дисперсії спостереження.

$$S_l^2 = \frac{4k(\alpha_{l+1}^2 + \alpha_{l+2}^2 + \dots + \alpha_{N-1}^2)}{4k - l - 1}$$

$\alpha_{l+1}, \dots, \alpha_{N-1}$ – коефіцієнти фіктивних факторів; S_l – залишкова дисперсія; l – Число досліджуваних факторів; k – кратність матриці плану; $f = 4k - l - 1$ – число ступенів свободи.

Дисперсія оцінок факторів розраховувалася за формулою

$$S_{(vi)} = \frac{S_l}{4k}$$

Розрахунок ефектів окремих факторів проводився за формулою

$$B_i = \frac{\sum_{j=1}^N \bar{y}_j X_{ij}}{0,5N}$$

де $\bar{y}_j$ – Середнє значення відгуку в досвіді; X_{ij} – кодоване значення рівня i -го фактора в j -тому рядку матриці.

Коефіцієнти ефектів окремих факторів

$$a_i = \frac{B_i}{2}$$

Значимість факторів визначали за t – критерієм із умови/

$$|\alpha_i| \geq t_{кр} S_i$$

де $t_{кр}$ – критичне значення розподілу для рівня значущості $\alpha = 0,05$ та ступеня свободи $f \approx 3$; S_i – дисперсія коефіцієнта.

$$S_i = \sqrt{\frac{S_l^2}{4k}}$$

Визначивши ступеня значущості факторів і виявивши з них суттєві фактори, що впливають на критерій оптимізації, переходимо до побудови математичної моделі досліджуваного процесу, оптимізації технологічних та конструктивно-режимних параметрів технічних засобів та робочих органів.

8 Методика планування екстремального експерименту.

Різні дослідження [14-15] показують, що оптимальна умова перебіг процесів описується поліномом другого порядку.

Для опису поверхні відгуку, виходячи з істотних факторів, застосовуємо композиційний симетричний трирівневий план Бокса (В4) [15] для чотирьох факторів. Планом В4 передбачено провести 24 досвіди з варіюванням факторів на трьох рівнях.

Кількість повторних дослідів m визначено на основі прийнятої припустимої помилки $\Delta p = 3\sigma$, де σ – середньоквадратичне відхилення відгуку та довірчої ймовірності σ .

Матриця планування другого порядку В4 наведена у таблицях 2.9–2.13.

Після проведення дослідів з матриці плану В4 результати експериментів оброблялися в такий спосіб. Виняток результатів хибних дослідів здійснювалося за критерієм Стюдента.

Таблиця 2.9 – Матриця планування та результати експерименту процесу сухого очищення.

	X_1	X_2	X_3	X_4	Y_1	Y_2	Y_3
1	+	+	+	+	109,5	4877	0,968
2	+	+	+	-	109,2	3730	0,960
3	+	+	-	+	109	3658	0,964
4	+	+	-	-	108,8	2797	0,965
5	+	-	+	+	75	4364	0,955
6	+	-	+	-	74,9	3337	0,953
7	+	-	-	+	74,8	3273	0,954
8	+	-	-	-	74,5	2503	0,948
9	-	+	+	+	74,9	1626	0,950
10	-	+	+	-	74,8	1243	0,947
11	-	+	-	+	74,6	1219	0,952
12	-	+	-	-	74,4	932,4	0,949
13	-	-	+	+	40,8	1455	0,944
14	-	-	+	-	40,6	1122	0,938
15	-	-	-	+	40,4	1091	0,940
16	-	-	-	-	40,2	834	0,948
17	+	0	0	0	40,1	4043	0,0943
18	-	0	0	0	40	1031	0,936
19	0	+	0	0	74,9	2510	0,949
20	0	-	0	0	74,7	2246	0,943
21	0	0	+	0	91,4	2718	0,956
22	0	0	-	0	57,7	2039	0,949
23	0	0	0	+	91,9	2695	0,957
24	0	0	0	-	57,5	2061	0,945

де X_1 - (λ) показник кінематичного режиму; X_2 - (D) діаметр шнеків, м; X_3 - (l) крок шнекової навивки, м; X_4 - ($L_{тр}$) довжина зони очищення, м; Y_1 - (N) енерговитрати, кВт; Y_2 - (Q) продуктивність, кг/год; Y_3 - (ξ) ступінь очищення.

Таблиця 2.10 – Матриця планування та результати експерименту процесу подрібнення грубих кормів.

№	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Y ₁	Y ₂	Y ₃
1.	+	–	–	–	1,5	15	12
2.	–	+	–	–	1,3	30	7,8
3.	–	–	+	–	1,4	35	9
4.	+	+	+	–	1,42	6	4,8
5.	+	–	–	+	3,8	15	14
6.	–	+	–	+	1,29	29	7,7
7.	–	–	+	+	1,33	32	8,2
8.	+	+	+	+	1,45	8	6,0
9.	0	0	0	0	2,07	20	6,1
10.	0	+	–	+	2,01	19	6,0
11.	–	0	–	–	1,41	29	7,8
12.	+	0	+	+	4,8	6	6,1
13.	–	+	–	0	1,3	32	7,9
14.	–	0	+	+	1,6	33	8,2
15.	0	+	+	–	2,02	20	5,4
16.	+	–	+	0	3,8	7	7,4
17.	+	–	0	+	4,0	9	7,5
18.	0	–	+	–	2,05	20	6,0

де X₁ – кутова швидкість обертання робочого органу, с⁻¹; X₂ – у зубчастих сегментів по периметру робочого органу, Z – кількість двоплощинних дугового профілю сегментів, n – кут між робочим органом та горизонтальними зубчастими подрібнюючими елементами, α, град; Y₁ – енерговитрати, кВт; Y₂ – час подрібнення матеріалу; Y₃ – середньозважена довжина частинок.

Таблиця 2.11 – Матриця планування та результати експерименту процесу подрібнення зерна сої в замоченому вигляді з подальшою екстракцією білка в емульсію.

№	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Y ₁	Y ₂	Y ₃
1.	+	–	–	–	0,41	0,156	22,35
2.	–	+	–	–	0,323	0,0647	22,68
3.	–	–	+	–	0,323	0,0647	22,0
4.	+	+	+	–	0,408	0,156	24,93
5.	+	–	–	+	0,383	0,15	21,16
6.	–	+	–	+	0,298	0,058	21,49
7.	–	–	+	+	0,298	0,058	20,81
8.	+	+	+	+	0,383	0,15	23,74
9.	0	0	0	0	0,35	0,102	22,95
10.	0	+	–	+	0,338	0,1005	22,24
11.	–	0	–	–	0,323	0,0647	22,43
12.	+	0	+	+	0,383	0,15	23,49
13.	–	+	–	0	0,31	0,157	21,68
14.	–	0	+	+	0,298	0,058	22,19
15.	0	+	+	–	0,363	0,107	24,38
16.	+	–	+	0	0,395	0,151	22,3
17.	+	–	0	+	0,383	0,15	21,99
18.	0	–	+	–	0,363	0,107	22,75

де X₁ – (ω) частота обертання абразивного рухомого диска, -1; X₂ – (η) гідромодуль, м; X₃ – (T) температура екстрагента, °C; X₄ – (h) зазор між

рухомим та нерухомими абразивними дисками, м; Y_1 - (N) енерговитрати, кВт; Y_2 - (Q) продуктивність, кг/с; Y_3 - (G) виходу білка в екстрагент, р.

Таблиця 2.12 – Матриця планування та результати експерименту процесу одночасного подрібнення та змішування компонентів.

№	X_1	X_2	X_3	X_4	Y_1	Y_2	Y_3
1	+	+	+	+	8,34	1,76	76,27
2	+	+	+	-	9,07	2,13	79,13
3	+	+	-	+	10,57	1,73	62,49
4	+	+	-	-	11,59	1,88	63,91
5	+	-	+	+	8,23	2,11	88,25
6	+	-	+	-	11,05	2,24	89,42
7	+	-	-	+	9,05	1,85	67,51
8	+	-	-	-	10,13	2,36	69,32
9	-	+	+	+	11,31	1,37	84,76
10	-	+	+	-	11,98	1,72	85,92
11	-	+	-	+	12,89	1,35	63,72
12	-	+	-	-	13,24	1,39	69,47
13	-	-	+	+	12,07	1,31	92,38
14	-	-	+	-	12,18	1,57	94,63
15	-	-	-	+	11,24	1,41	72,44
16	-	-	-	-	12,03	1,5	73,92
17	+	0	0	0	12,31	1,86	71,46
18	-	0	0	0	13,08	1,44	74,22
19	0	+	0	0	13,66	1,63	72,96
20	0	-	0	0	12,11	1,81	75,64
21	0	0	+	0	12,15	1,63	91,26
22	0	0	-	0	11,24	1,57	68,41
23	0	0	0	+	11,42	1,58	76,29
24	0	0	0	-	12,14	1,69	79,32

де X_1 - (W_c) вологість грубих кормів; X_2 - (S) крок витка шнека, м; X_3 - (Z_1) кількість сегментів на одному витку шнека, шт.; X_4 - (v_n) лінійна швидкість транспортера, що подає, м/с; Y_1 - (δ) неоднорідність суміші, %; Y_2 - ($\square$) однорідність гранулометричного складу, %; Y_3 - (N) енерговитрати, кВт.

9 Методика обробки експериментальних даних, апроксимація кривих.

Обробка даних, отриманих в ході експерименту, проводилася відомим методикам математичної статистики [16-19] з використанням ПЕОМ та програми «Statistika».

Перевірка однорідності дисперсій здійснюється за допомогою критерію Кохріна.

Оцінка значимості коефіцієнтів регресії проводилася незалежно один від

$$b_i > t_{кр} S_{bi},$$

одного за t – критерієм шляхом знаходження довірчого інтервалу і $k p S_{bi} b \leq t$,

$$S_{bi} = \frac{S_Y^2}{\sum_{n=1}^N X_{in}^2},$$

$$S_Y^2 = \frac{\sum_j^N \sum_i^k (Y_{ij} - \bar{Y}_j)^2}{N(k-1)}$$

де S_{bi} – вибіркова дисперсія коефіцієнтів регресії; де $S_{2/Y}$ – дисперсія помилки

Для перевірки адекватності отриманої математичної моделі процесу обчислювався F-критерій Фішера.

Після отримання адекватних математичних моделей проводився їх аналіз та вивчення поверхні відгуку методом невизначених множників Лагранжа другого порядку. Система рівнянь вирішувалася методом якнайшвидшого спуску за спеціальною програмою на ЕОМ шляхом вирішення компромісного завдання.

Визначення значень параметрів оптимізації проводилося методом нелінійне програмування – метод сканування з обмеженнями. При оптимізації використовувався принцип виділення одного основного фактора, а інші як обмеження в межах варіювання певними умовами раціонального функціонування технічних засобів.

При обробці експериментальних даних для двох функціонально пов'язаних величин x і y , отримані n пар відповідних значень, які представлені у вигляді таблиці $(x_1, y_1) \dots (x_n, y_n)$. Потрібно в заздалегідь заданій формулі, $y = f(x, \dots)$ α1 αm визначити m параметрів так, щоб у цю формулу найкраще «укладалися» відомі n пар значень x і y .

При визначенні використовуємо принцип найменших квадратів. Він заснований на тому, що з цієї множини формул видів $y = f(x, \dots)$ α1 αm найкращим Таким чином, що зображує дані спостерігаються значення вважається та, для якої сума квадратів відхилень цих значень від обчислених, є

найменшою. Найкращим значенням будуть значення $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m$, які обертають мінімум суму:

$$\sum_{k=1}^n (f(x_k, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m) - y_k)^2$$

Умова дає систему m рівнянь, у тому числі визначаються $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m$:

$$\sum_{k=1}^n (f(x_k, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m) - y_k)^2 \frac{\partial f(x_k, \alpha_1, \dots, \alpha_m)}{\partial \alpha_i} = 0$$

1. Лінійна функція виду $y = \alpha_1 x + \alpha_2$

Сума набуде вигляду:

$$S = \sum_{k=1}^n (\alpha_1 x_k + \alpha_2 - y_k)^2$$

Вона є функцією двох змінних α_1 та α_2 . Тому вона прийме мінімальне

$$\frac{\partial S}{\partial \alpha_1} = 2 \sum_{k=1}^n (\alpha_1 x_k + \alpha_2 - y_k) x_k = 2(\alpha_1 \sum_{k=1}^n x_k^2 + \alpha_2 \sum_{k=1}^n x_k - \sum_{k=1}^n x_k y_k) = 0$$

$$\frac{\partial S}{\partial \alpha_2} = 2 \sum_{k=1}^n (\alpha_1 x_k + \alpha_2 - y_k) = 2(\alpha_1 \sum_{k=1}^n x_k + \alpha_2 n - \sum_{k=1}^n y_k) = 0$$

значення при тих значеннях α_1 та α_2 , при яких утворюються в нуль приватні похідні цієї функції за кожною змінною:

Система прийме вигляд:

$$\alpha_1 \sum_{k=1}^n x_k^2 + \alpha_2 \sum_{k=1}^n x_k = \sum_{k=1}^n x_k y_k$$

$$\alpha_1 \sum_{k=1}^n x_k + \alpha_2 n = \sum_{k=1}^n y_k$$

2. Показова функція виду $y = ab^x$

Для спрощення системи ця формула попередньо логарифмується та замінюється формулою:

$$\lg y = x \lg b + \lg a.$$

При цьому $\lg b = 1$ а та $\lg a$.

Система набуде вигляду:

$$\lg b \sum_{k=1}^n x_k^2 + \lg a \sum_{k=1}^n x_k = \sum_{k=1}^n x_k \lg y_k$$

$$\lg b \sum_{k=1}^n x_k + n \lg a = \sum_{k=1}^n \lg y_k$$

Висновки по розділу.

1. Розроблено програму досліджень щодо виявлення закономірностей зміни якісних показників машин та їх робочих органів у процесі приготування кормів, куди входять стандартні методи досліджень.

2. Для визначення ступеня впливу на кормові компоненти робочих органів запропонованих технічних засобів виготовлені експериментальні установки, що дозволяють визначити ступінь впливу конструктивно-режимних параметрів та продуктивності на показники якості приготованого корму.

3. Під час проведення експерименту застосовувалися методи моделювання, планування багатофакторного експерименту, методика багатокритеріальної оцінки раціональних факторів та метод нелінійного програмування (метод сканування з обмеженнями). Обробка даних здійснювалася на персональних комп'ютерах з використанням методів математичної статистики.

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ

3.1 Обґрунтування параметрів подрібнювача у процесі подрібнення замоченого зерна сої абразивними дисками у рідинному середовищі

3.1.1 Фізико-механічні властивості зерна сої.

На основі отриманих значень результатів обробки експериментальних даних були побудовані залежності зміни маси (m), обсягу (V) і довжини (L) зерна від часу (T) замочування (таблиця 3.1, Рисунок 3.1).

Таблиця 3.1 - Залежність збільшення маси, обсягу і довжини зерна від часу замочування

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

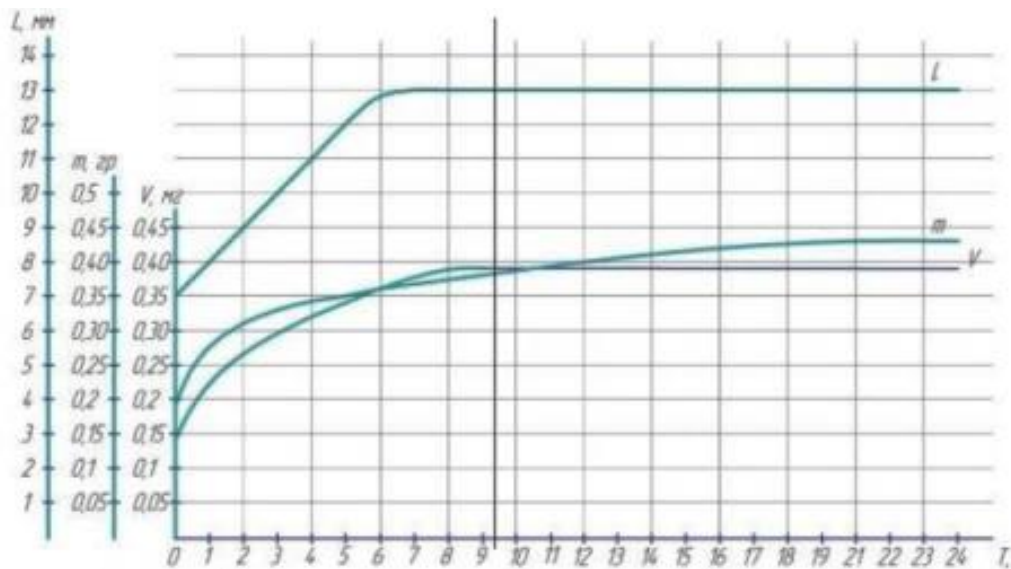


Рисунок 3.1 – Залежність збільшення маси, обсягу та довжини зерна від часу замочування.

Аналізуючи графік залежності (рисунок 3.1) можна зробити висновок, що: 1. Довжина зерна протягом 6 годин замочування збільшилася з 6 мм до 13

мм. Подальший час замочування істотного впливу зміна геометричних розмірів сої немає.

2. Маса та обсяг зерна сої протягом 6 годинного замочування складає $m = 0,36$ г, $V = 0,34 \cdot 10^{-6}$ м³. Подальше збільшення часу замочування зерна сої є малоефективним, т.к. при 20-годинному замочуванні $m = 0,434$ г., $V = 0,38 \cdot 10^{-6}$ м³.

3. Оптимальний час (Т) замочування зерна сої становить 8 годин (лінія перегину рисунку 3.1).

На рисунку 3.2 представлена діаграма Г. Румпфа, що характеризує дію різних форм зв'язків між частинками в залежності від їх розмірів. Область І відбиває умови зв'язків, що виникають при зіткненні поверхонь і зв'язуючих речовин. У цій галузі міцність зв'язків залежить головним чином від прикладеного тиску, а не від розмірів частинок.

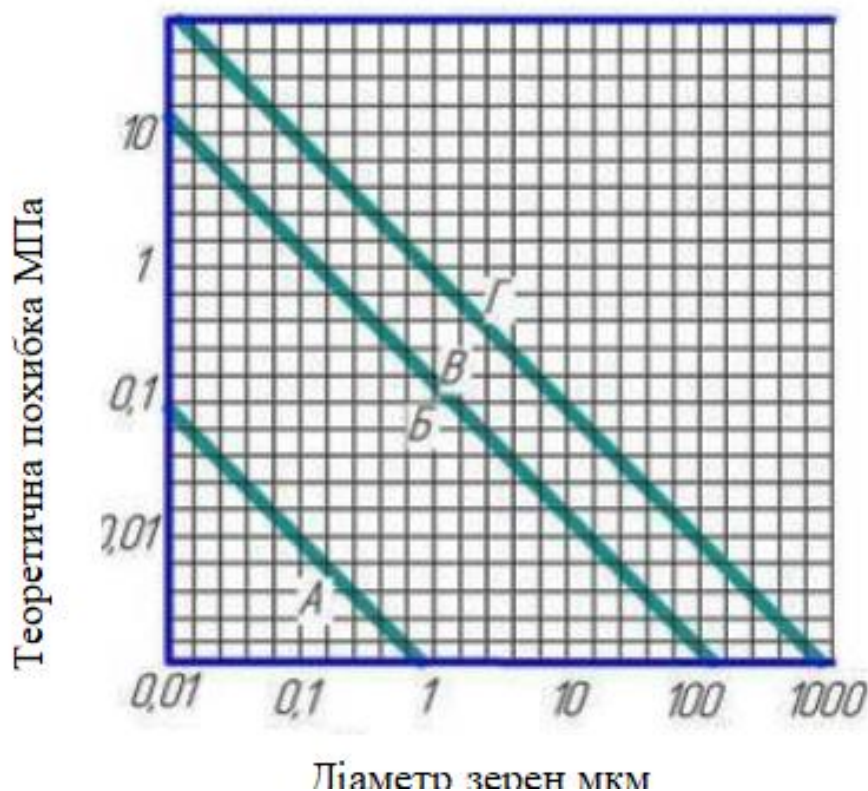


Рисунок 3.2 – Теоретична міцність та характер зв'язку частинок залежно від їх розмірів (за Г. Румпфом).

Аналізуючи графічні залежності рисунка 3.1 і 3.2 можна дійти невтішного висновку, що зусилля руйнування замоченого зерна сої від 1 години до 7 годин варіюється не більше від 0,5 до 0,01 МПа.

З усіх відомих методів експериментального визначення густини найпростішим є пікнометричний метод. У цьому щільність рс.в. сухої речовини кормів визначається за формулою

$$\rho_{\text{с.в.}} = \rho_{\text{ж.}} \cdot G_2 / (G_1 - G_2 + G_3)$$

де $\rho_{\text{ж.}}$ – щільність рідини, що заповнює пікнометр, кг/м³; G_1 – маса пікнометра, заповненого рідиною, кг; G_2 – маса зразка, кг; G_3 – маса пікно-метра із зразком та рідиною, кг.

Знаючи зміну маси та об'єму зерна в залежності від часу замочування, розрахуємо зміну щільності зерна [3] (таблиця 3.2, Рисунок 3.3).

Таблиця 3.2 - Зміна щільності зерна від часу його витримування у воді

Найменування показника	Час замочування зерна сої у воді Т, год								
	0	1	2	3	4	5	6	7	21
m, гр	0,177	0,275	0,317	0,321	0,338	0,347	0,361	0,37	0,434
V, мл	0,14	0,24	0,26	0,3	0,3	0,32	0,34	0,34	0,38
ρ , Гр/мл	1,261	1,145	1,219	1,07	1,126	1,084	1,061	1,088	1,142

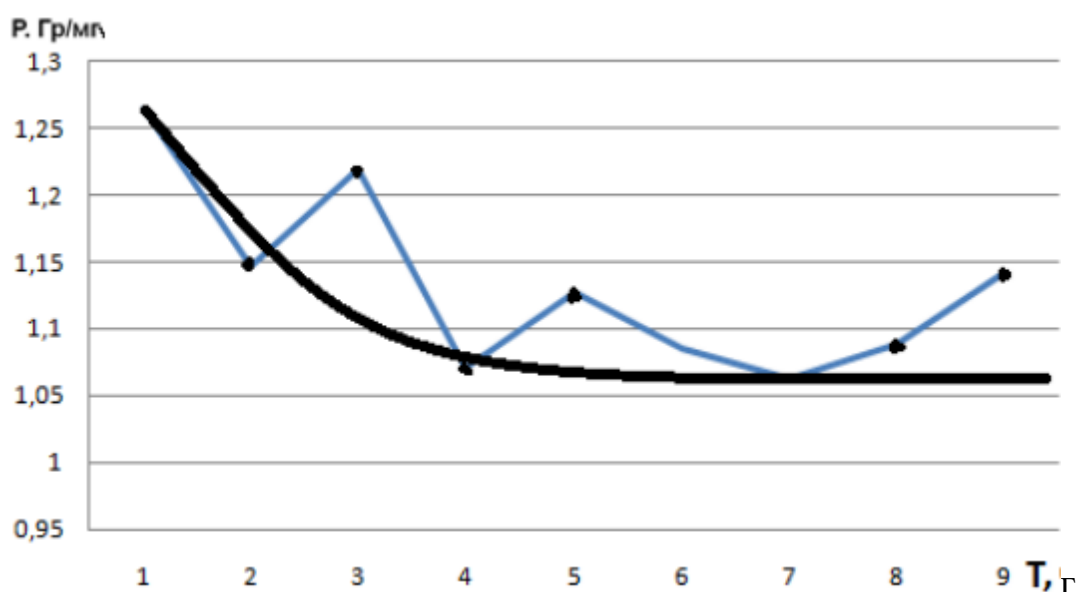


Рисунок 3.3 – Графік залежності зміни густини від часу замочування.

Зі збільшенням часу замочування щільність зерна знижується і становить $\rho = 1,088$ г/мл (7 годин). Подальше збільшення часу замочування недоцільно, т.к. надалі зниження щільності дещо стабілізується.

Аналізуючи Рисунок 3.4 можна зробити висновок, що зі збільшенням часу замочування вологість зерна з 12% зростає до 65% після 7 години замочування.

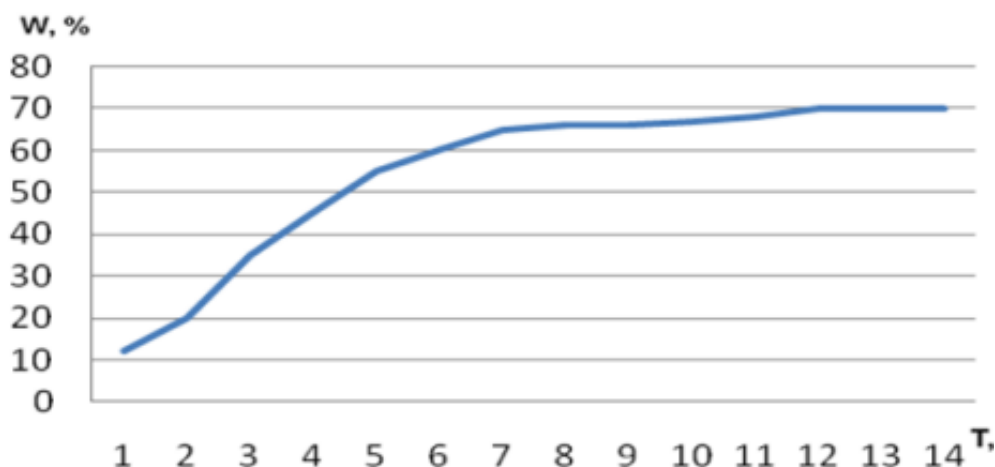


Рисунок 3.4 – Графік залежності зміни вологості зерна від часу замочування.

На процес приготування білкового екстракту в робочій камері подрібнювача впливає велика кількість факторів, кількісного взаємозв'язку між ними та якісними показниками процесу не встановлено. Для оптимізації процесу, скорочення числа дослідів та узагальнення матеріалів дослідження необхідно побудова його математичної моделі.

Методика математичного планування експерименту дозволяє визначити оптимальні умови протікання процесу приготування білкового екстракту і побудувати математичну модель емпіричним шляхом.

Апріорне ранжування, з урахуванням проведених раніше досліджень, дозволило виділити найбільш значущі фактори: величина шорсткості абразивних дисків; зазор між рухомим і нерухомим дисками подрібнювача (h); напрям борозенок, частота обертання нижнього абразивного диска (?). Рівні варіювання факторів наведено у таблиці 4.3.

Таблиця 3.3 – Фактори та рівні їх варіювання

Рівень	Фактори			
	Кутова швидкість обертання нижнього абразивного диска ω , с^{-1}	Шероховатість абразива, R_a	Напрямок бороздок	Зазор між дисками h , мм
	X_1	X_2	X_3	X_4
Верхній (+1)	17200	50	$\alpha-120^\circ$	5
Основний (0)	16900	250	$\alpha-90^\circ$	4
Нижній (-1)	14100	450	$\alpha-60^\circ$	3

Під час дослідів контрольовані, але некеровані чинники змінювалися у межах: температура навколишнього повітря – $17-22^\circ\text{C}$, відносна вологість повітря 65–85%.

Для процесу подрібнення замоченого соєвого зерна були обрані критерії оптимізації: вихід білка в екстрагент - G (відгук Y_3), продуктивність подрібнювача - Q (відгук Y_2) і енерговитрати - N кВт (відгук Y_1). За результатами досліджень вибиралися оптимальні значення.

З метою обґрунтування оцінки впливу факторів за результатами експерименту мента були розраховані рівняння регресії другого порядку (програма Sta-tistica), які мають такий вигляд у кодованому вигляді:

$$Y_1 = 1,5581 - 0,00019 \omega - 0,00011 R_a - 0,1076 \alpha_3 - 0,10863 h - 0,00001 \omega h + 0,00001 R_a \alpha + 0,0006 \alpha h + 0,00897 \omega, 0,013897 h^2$$

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

$$Y_3 = -83,4565 + 0,0236 \omega + 0,017367 R_a - 8,61847 \alpha - 3,9973 h + 0,000006 \omega R_a - 0,000032 \omega \alpha - 0,001 \omega h + 0,007 \omega, 0,016 R h - 0,0261 \alpha h - 0,00007 R_a^2 + 1,0806 \alpha^2 + 1,11143 h^2$$

та розкодованому вигляді:

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

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

$$G = 21,35202 + 3,9244\omega + 5,452133Ra + 4,831567h - 5,29423\alpha + 0,0009Ra^2 + 0,0005\omega^2 - 0,0379\omega Ra - 0,05217Ra^2 - 0,04760\alpha^2 + 0,0514h^2.$$

Після отримання адекватних математичних моделей процесу, визначалися координати оптимуму і вивчалися поверхні відгуку, також вирішувалося компромісне завдання між двома критеріями оптимізації - продуктивності та енерговитрати.

3.2 Вплив конструктивно-режимних параметрів подрібнювача на процес виходу білка в екстрагент.

Для зручності обробки результатів, продиференціювавши рівняння по кожній із змінних і вирішивши кожну систему лінійних рівнянь, визначили нові координати центрів поверхонь відгуків. При оптимальному поєднанні факторів на процес були побудовані поверхні відгуків Y_1 , Y_2 та Y_3 та їх перерізи (рисунки 3.5–3.7).

З аналізу залежності представленої рисунку 4.5 а можна зробити висновок, що вихід білка в екстрагент зростає з 18 до 24 г зі збільшенням швидкості обертання абразивного диска з 14100 до 17200 хв-1 і величині зазору між абразивними дисками від 3 до 3.7 мм.

Пояснюється це тим, що за рахунок збільшення швидкості обертання диска подовжується траєкторія руху оброблюваного матеріалу за абразивом, тим самим підвищується якість подрібнення (стирання).

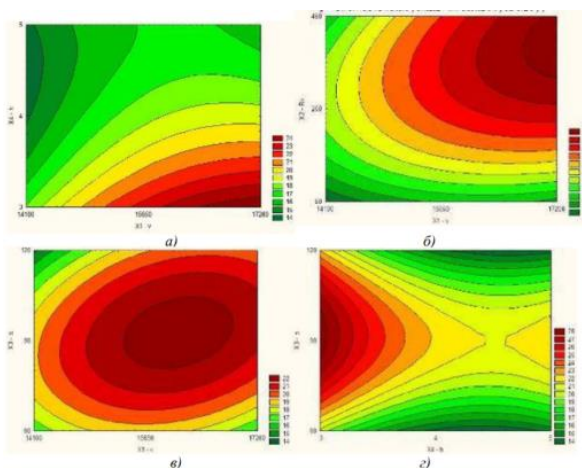


Рисунок 3.5 – Перетин поверхні виходу білка на екстрагент.

Вихід білка в екстрагент зростає при укрупненні зерна нанесеного абразиву (рисунок 3.5 б), що обумовлено збільшенням глибини порізу подрібненого матеріалу абразивною частинкою. Так при укрупненні зерна нанесеного абразиву від 130 до 450 мкм вихід білка в екстрагент зростає з 21 до 24 г.

При цьому максимальний вихід білка в екстрагент від 24 до 28 г спостерігався при прямому куті нахилу абразивної борозенки (рисунок 3.5 в) і при зменшенні величини зазору між абразивними дисками від 3,7 до 3 мм (рисунок 3.5 г).

3.3 Вплив конструктивно-режимних параметрів подрібнювача на потужність робочого процесу.

Аналіз залежностей на рисунку 3.6 показує, що при зменшенні зазору між абразивними дисками витрати потужності на подрібнення обробленого матеріалу зростають. Це пов'язано з тим, що із зменшенням зазору між абразивними дисками збільшується ущільнення та взаємодія замочених зерен один з одним, що веде до підвищення коефіцієнта тертя в камері подрібнення та виникнення складних деформацій зерна (зсуву, кручення, вигину). Так при величині зазору від 3,7 до 5 мм і частоті обертання абразивного диска від 14100 до 16167 хв.⁻¹ витрати потужності лежать в межах від 0,37 до 0,32 кВт (рисунок 3.6 а), при укрупненні зерна нанесеного абразиву від 360 до 450 мкм витрати потужності на процес зменшуються і лежать в межах від 0,38 до 0,34 кВт (рисунок 3.6 б).

Зі збільшенням частоти обертання абразивного диска з 14100 до 17200 хв.⁻¹ витрати потужності також зростають з 0,39 до 0,47 кВт. При цьому для досягнення мінімальних витрат потужності 0,34–0,36 кВт на процес, кут кривизни борозенки має бути в межах від 80–105° (рисунок 3.6 в).

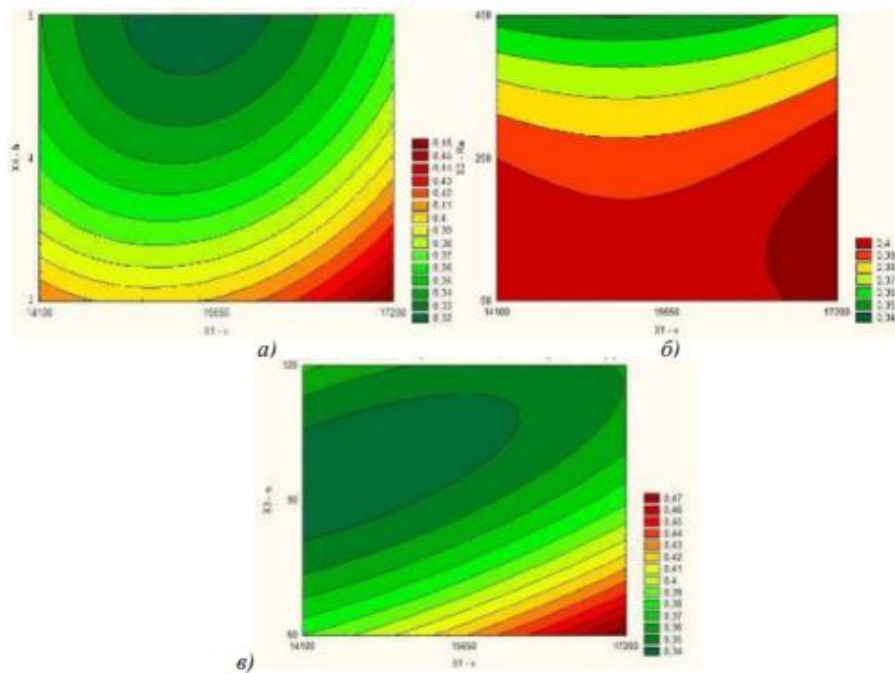


Рисунок 3.6 – Перетин поверхні потужності.

3.4 Вплив конструктивно-режимних параметрів подрібнювача на продуктивність.

Аналіз залежностей на рисунку 3.7 показує, що збільшення швидкості обертання абразивного диска, так само як і збільшення зазору між дисками, впливає зниження часу, затрачуване на процес. Так мінімальний час дорівнює 7 сек. при швидкості обертання абразивного диска від 16842 до 17200 хв^{-1} при зазор між дисками від 3,9-4,2 мм (рисунок 3.7 а).

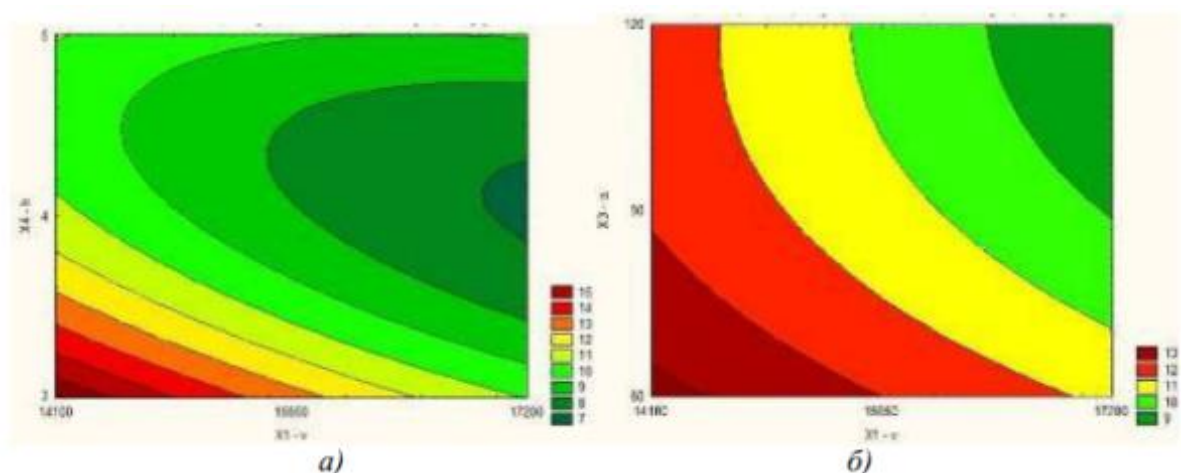


Рисунок 3.7 – Перетин поверхні часу процесу.

Зі збільшенням кута кривизни борозенки час, що витрачається на процес, зменшується. Це тим, що борозенки з кутом нахилу більше 90° виступають у ролі напрямних канавок, напрям яких збігається з ходом обертання диска, що у свою чергу сприяє прискореному сходу подрібненого зерна в зону сепарації. У зв'язку з цим оптимальний за часом кут кривизни борозенки має бути в межах $90-120^\circ$ (рисунок 3.7 б).

На підставі теоретичних досліджень побудована залежність продуктивності подрібнювача від частоти обертання рухомого диска, яка добре узгоджується з експериментальними даними (рисунок 3.8). Аналіз залежності показує, що зі збільшенням частоти обертання рухомого диска продуктивність збільшується з $0,1 \text{ кг/с}$ при $n = 1800 \text{ хв}^{-1}$ до $0,25 \text{ кг/с}$ при 2600 хв^{-1} . Розбіжність результатів вбирається у $4,5-6\%$.

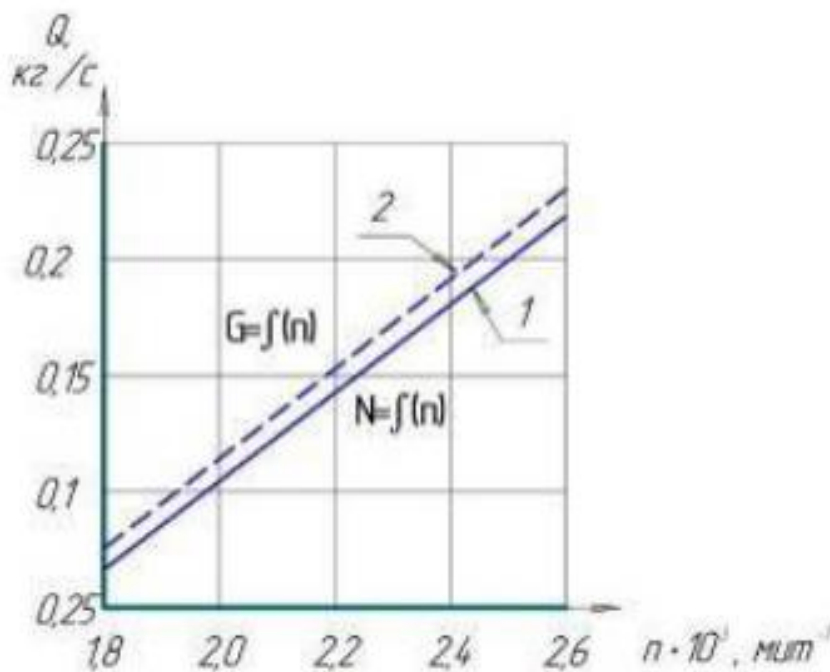


Рисунок 3.8 – Вплив частоти обертання рухомого диска n на продуктивність подрібнювача: 1 — експериментальна; 2 — — — теоретична.

3.5 Обґрунтування параметрів сепаратора у процесі сухого очищення коренеплодів

На основі попередніх дослідів було обрано центр експерименту (x_0) та інтервали варіювання (E) (таблиця 3.4).

Таблиця 3.4 – Фактори та рівні їх варіювання

Фактори та позначення рівня	λ – показник кінематичного режиму	D – діаметр шнеків, м	t - крок навивки шнеків, м	Lтр - довжина робочої зони очищення коренеплодів, м
	x_1	x_2	x_3	x_4
Верхній рівень	2,5	0,19	0,8	1,7
Основний рівень	2	0,18	0,7	1,5
Нижній рівень	1,5	0,17	0,6	1,3
Інтервал варіювання	0,5	0,01	0,1	0,2

Для оцінки об'єкта, що вивчається, і оцінки ефективності процесу вибрано три критерії оптимізації: продуктивність Q , питома потужність N , що витрачається на процеси сепарації і ступінь очищення ξ .

Для опису процесу було обрано композиційний симетричний трирівневий план Бокс (В4) для чотирьох факторів. Планом В4 передбачено провести 24 досвіду з варіюванням факторів на трьох рівнях. Матриця планування та результати експерименту представлені у 3 розділі.

За результатами дослідження було отримано дані та оброблено у програмі Statistika 6.0 фірми StatSoft (USA) (рисунок 3.9–3.11).

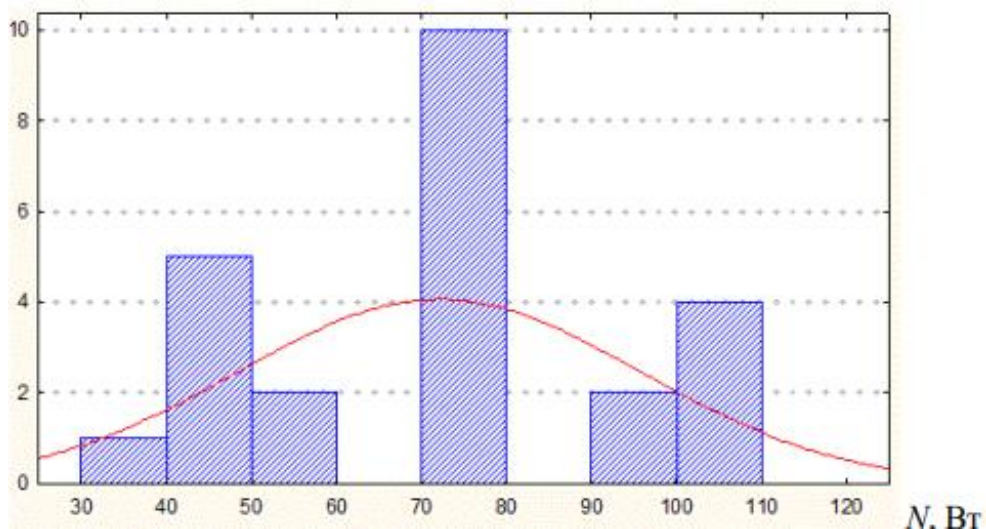


Рисунок 3.9 – Графік витрат енергії на процес очищення.

Аналіз графіків результатів повторностей експериментів на рисунку 4.9 показує, що максимальна кількість результатів повторностей за енерговитратами склала від 70–80 Вт, продуктивність – 2500–3000 т/год, ступінь очищення – 0,94–0,95.

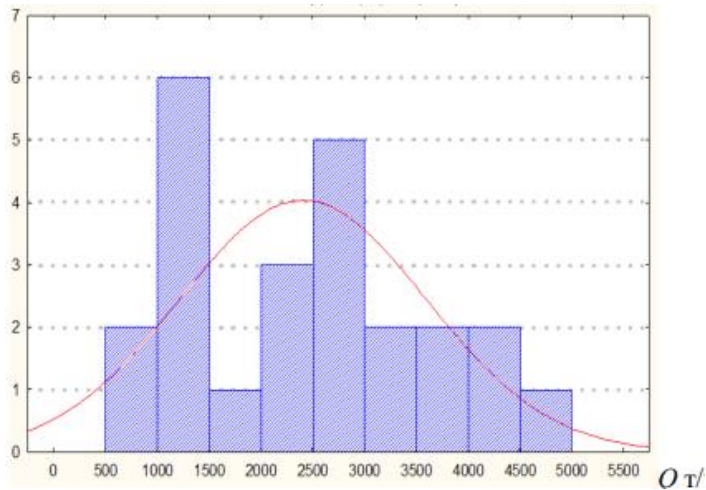


Рисунок 3.10 – Графік продуктивності очищувача коренеплодів.

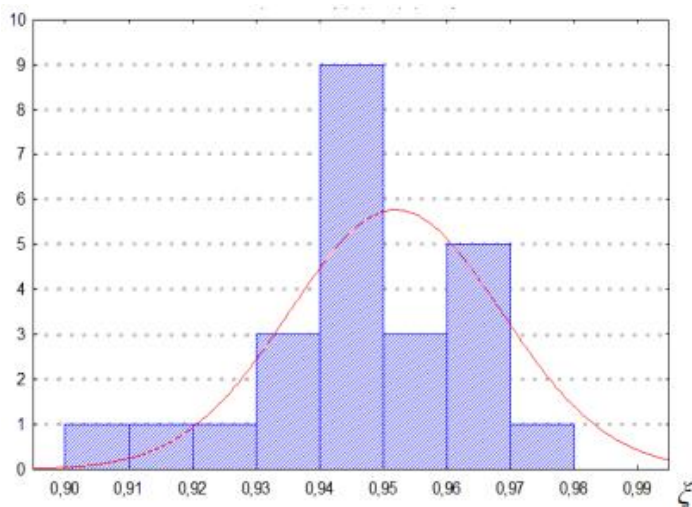


Рисунок 3.11 – Графік ступеня очищення.

Для оцінки впливу факторів за результатами експерименту були напіврегресійні рівняння в розкодованому вигляді:

– для енерговитрат:

$$N = 2265,6 + 266,7 + 12,5D_{шл} - 0,6L_{тр} - 59,16\lambda + 116857,6D_{ш} + 1149,51 + 290,24L_{тр};$$

– для продуктивності:

$$Q = -10766,556 - 1032,7\lambda + 185133,3D_{ш} + 6254,88l + 3407,45L_{тр} +$$

$$+ 13332,5\lambda D_{\text{ш}} + 3384,25\lambda l + 1590,87\lambda L_{\text{тр}} + 18287,5D_{\text{ш}}l + 9081,25D_{\text{ш}}L_{\text{тр}} + 2235,63lL_{\text{тр}} + 273,82\lambda - 526883,3D_{\text{ш}} - 5230,7l - 1317,2L_{\text{тр}},$$

– для ступеня очищення:

$$\xi = 37,36 + 12,7\lambda + 1137,99D_{\text{ш}} + 9,58l - 25L_{\text{тр}} - 25\lambda D_{\text{ш}} + 5\lambda l - 1,25\lambda L_{\text{тр}} - 250D_{\text{ш}}l - 62,5D_{\text{ш}}L_{\text{тр}} - 12,5lL_{\text{тр}} - 2,57\lambda - 2619,1D_{\text{ш}} + 11,9l + 12,5L_{\text{тр}}$$

У кодованому вигляді рівняння регресії мають вигляд:

– для енерговитрат:

$$Y_1 = 64,42113 + 29,06X_1 + 3,1952X_2 - 9,06323X_3 - 9,20507X_4 + 0,0015X_1X_2 + 0,0005X_1X_3 + 0,0005X_1X_4 - 0,0002 X_3X_4 - 0,2797X_1 - 0,02813X_2 + 0,0894X_3 + 0,090767X_4$$

– для продуктивності:

$$Y_2 = 2434,09 + 1121,689367X_1 + 176,6892667X_2 + 372,133X_3 - 0,13977X_4 + 0,0071X_1X_2 + 0,0371X_1X_3 + 0,0341X_3X_3 + 2,0142X_3X_4 - 10,67536667X_1 - 1,677966667X_2 - 3,592833333X_3 - 3,3789X_4$$

– для ступеня очищення:

$$Y_3 = 0,9527 + 0,013267X_1 + 0,0115X_2 + 0,0071X_3 + 0,0053X_4 - 0,0001X_{12}$$

Адекватність отриманих рівнянь підтверджується критерієм Кохрену, при триразовій повторності дослідів і ступеня свободи рівним 24, таб-особисте значення дорівнює $G_T = 0,52147$, а для отриманих моделей відповідно $G_N = 0,2758$, $G_Q = 0,13816$ і $G_\xi = 0,0175$.

Продиференціювавши рівняння по кожній із змінних і прирівнявши їх до нуля, отримали системи лінійних рівнянь, що складаються з чотирьох рівнянь. Вирішивши кожну систему лінійних рівнянь, визнали нові координати центрів поверхонь відгуків.

При оптимальному поєднанні факторів на процес були побудовані поверхні відгуків Y_1 , Y_2 та Y_3 та їх перерізи (рисунки 3.12–3.17). І тому рівняння регресії зводилися до рівнянь із двома чинниками, фіксуючи інші постійних рівнях.

Аналіз перерізів (рисунки 4.12–4.17) показує підвищення продуктивності очищувача-сепаратора і коефіцієнта очищення відбувається з збільшенням

кінематичного режиму (λ) від 2 до 2,25 і діаметра шнеків (D) від 0,17 до 0,18 м. При цьому енерговитрати процесу не змінені. Це пояснюється тим, що при збільшенні кінематичного параметра зростає лінійне рух коренеплоду вздовж зони очищення. Подальше збільшення кінематичного режиму від 2,25 до 2,5 і діаметра шнеків від 0,18 до 0,19 м призводять до зниження продуктивності та зростання енерговитрат і коефіцієнта очищення. Встановлено, що на продуктивність, енерговитрати та коефіцієнт очищення великий вплив надає діаметр і крок навивки шнеків.

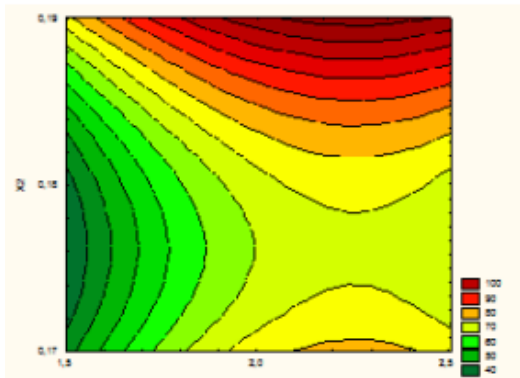


Рисунок 3.12 – Перетин поверхні енерговитрат на площину $X1(\lambda)X2(D)$ при $X3 = -1$ ($t = 0,6$ м) та $X4 = 0$ ($L_{тр} = 1,5$ м)

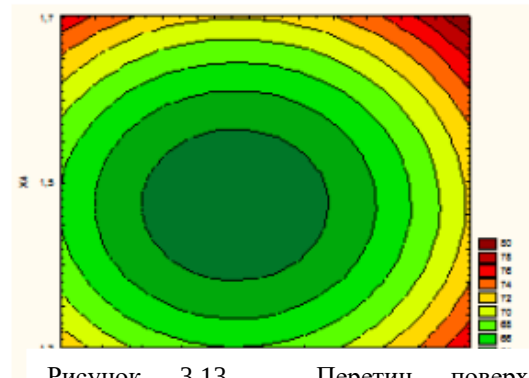


Рисунок 3.13 – Перетин поверхні енерговитрат на площину $X3(t)X4(L_{тр})$ при $X1 = -1$ ($\lambda = 1,5$) та $X2 = 0$ ($D = 1,8$ м)

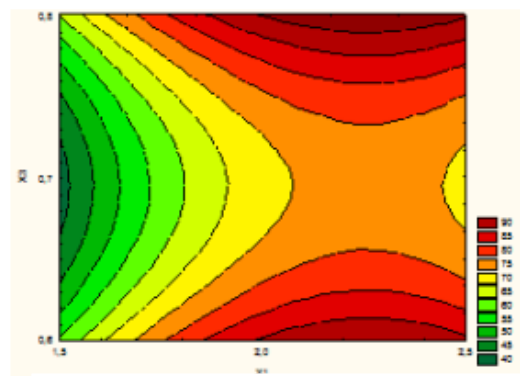


Рисунок 3.14 – Перетин поверхні енерговитрат на площину $X1(\lambda)X3(t)$ при $X2 = -1$ ($D = 0,17$ м) та $X4 = 0$ ($L_{тр} = 1,5$ м)

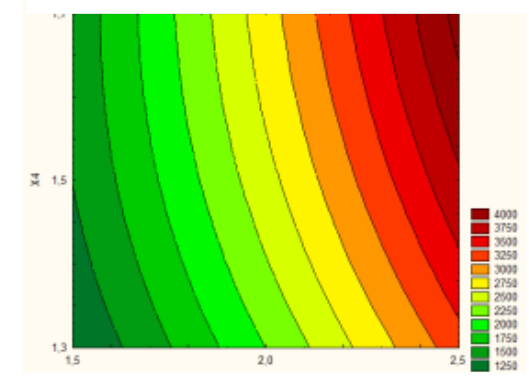


Рисунок 3.15 – Перетин поверхні продуктивності на площину $X1(\lambda)X4(L)$ при $X2 = -1$ ($D = 0,17$ м) та $X3 = 0$ ($L_{тр} = 1,5$ м)

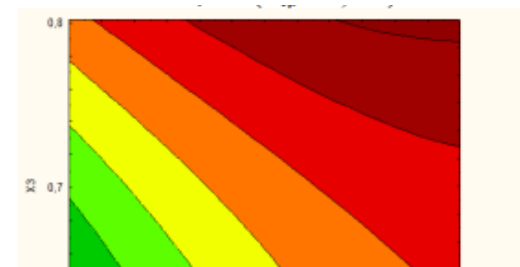


Рисунок 3.16 – Перетин поверхні коефіцієнта очищення на площину $X2(D)X3(t)$ при $X1 = -1$ ($\lambda = 1,5$) та $X4 = 0$ ($L_{тр} = 1,5$ м)

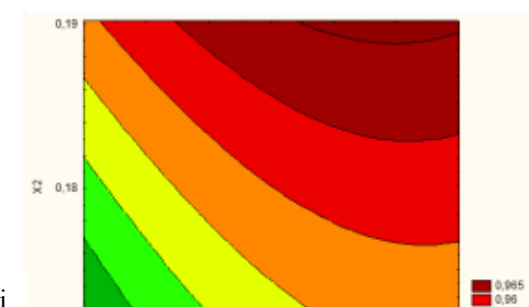


Рисунок 3.17 – Перетин поверхні коефіцієнта очищення на площину $X1(\lambda)X2(D)$ при $X3 = -1$ ($t = 0,6$ м) та $X4 = 0$ ($L_{тр} = 1,5$ м)

Були побудовані графіки розсіювання результатів експериментів рисунки 3.18, 3.19, 3.20.

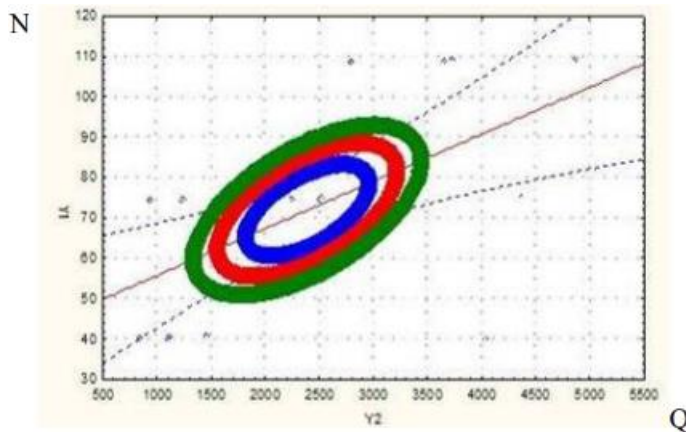


Рисунок 3.18 – Графік розсіювання для критеріїв оптимізації енерговитрат та продуктивність

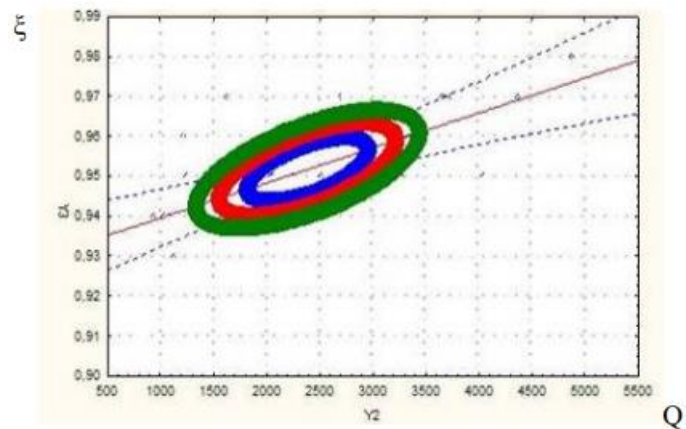


Рисунок 3.19 – Графік розсіювання для критеріїв оптимізації ступінь очищення та продуктивність

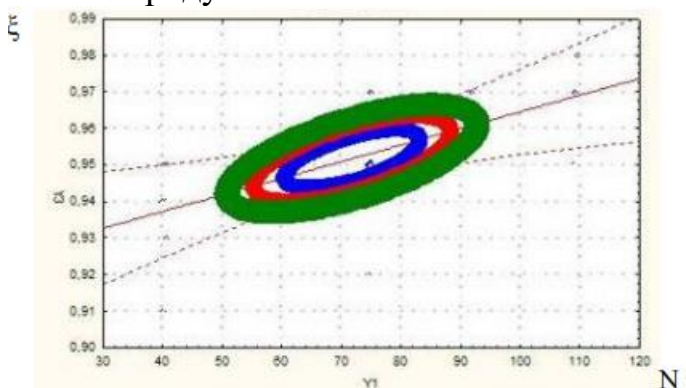


Рисунок 3.20 – Графік розсіювання для критеріїв оптимізації ступінь очищення та енерговитрат.

На рисунку 3.21 представлені залежності $Q = f(\lambda)$ продуктивності очищувача коренеплодів шнекового типу від показника кінематичного режиму. Аналіз залежності $Q = f(\lambda)$ показує, що продуктивність машини зі збільшенням

показника кінематичного режиму безперервно зростає до значення 2450...2500 кг/год при $\lambda = 2,1...2,2$.

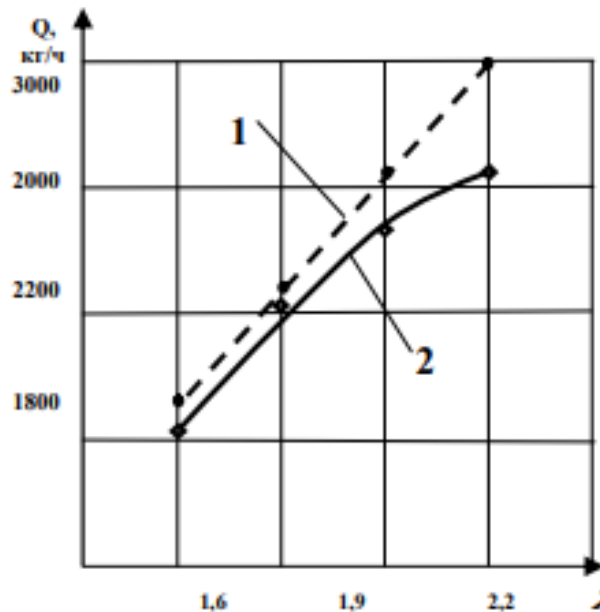


Рисунок 3.21 – Залежність продуктивності Q від кінематичного режиму λ (- - - розрахункова $Q = f(\lambda)$ за виразом (2.194), практична)

Потім спостерігається зниження фактичної продуктивності до значення $Q = 2500$ кг/год при $\lambda = 2,5$. Це пояснюється тим, що час взаємодії напівсфер навивки з поверхнею коренеплоду, знижується, в результаті чого останній «перескакує» через виток навивки шнека і тим самим уповільнює переміщення в осьовому напрямку шнеків, що в свою чергу веде до зниження продуктивності та підвищення травмування коренеплодів.

В результаті проведеного аналізу можна зробити висновок, що оптимальні значення факторів лежать у межах:

- Для кінематичного режиму від 2 до 2,25 ($x_1 = -0,154...0,222$);
- Для діаметра шнеків D від 0,175 до 0,185 м ($x_2 = -0,437 ... 0,079$);
- Для кроку шнекової навивки t від 0,7 до 0,8 м ($x_3 = -0,059 ... 0,199$);
- Для довжини робочої зони очищення LTP від 1,5 до 1,6 м ($x_4 = -8,234 \cdot 10^{-3} ... 0,035$).

У процесі експериментальних досліджень вирішувалося компромісне завдання, з метою вирішення компромісу між критеріями оптимізації – продуктивністю та енерговитратами та були отримані оптимальні значення:

- кінематичний режим $\lambda = 2,2$ ($x_1 = 0,068$);
- Діаметр шнеків $D = 0,178$ м ($x_2 = -0,179$);
- крок навивки шнеків $t = 0,71$ м ($x_3 = 0,07$);
- Довжина робочої зони очищення $LTP = 1,5$ м ($x_4 = 0,013$).

Значення критеріїв оптимізації при оптимальному поєднанні факторів такі: продуктивність $Q = 2500$ кг/год; ступінь очищення $\xi = 0,9554\%$; енерговитрати $N = 71$ Вт · год/кг.

3.6 Обґрунтування параметрів подрібнювача у процесі подрібнення грубих кормів комбінованими різальними сегментами дискового робочого органу

При дослідженні процесу подрібнення вирішувалося завдання визначення найбільш значущих факторів, побудови математичної моделі та оптимізація ція конструктивно-режимних параметрів подрібнювача. Аналіз апріорної інформації та пошукових досліджень показав, що найбільш значущими є ляються такі фактори: кутова швидкість обертання робочого органу (?), кількість зубчастих сегментів, розташованих по периметру робочого органу (N), кількість двоплощинних дугового профілю сегментів (n) і кут між поверхнею робочого органу та горизонтальними зубчастими елементами (α). Рівні варіювання факторів наведено у таблиці 3.5. Як критеріїв оптимізації були обрані: енерговитрати (Y1); час подрібнення матеріалу (Y2); середньозважена довжина частинок (Y3) методами.

Таблиця 3.5 – Фактори та рівні їх варіювання.

Фактори та позначення рівня	Кутова швидкість обертів робочого органу	Кількість зубчастих сегментів, розташованих по периметру робочого органу, Z	Кількість двохплощинних дугового профілю сегментів, n	Кут між поверхнево-двоплощинністю робочого органу зубчастими елементами, α , град
	X_1	X_2	X_3	X_4
Верхній (+)	1,6	9	9	40
Основний (0)	3,2	6	6	35
Нижній (–)	4,8	3	3	30

Для оцінки впливу факторів за результатами експерименту були отримані регресійні рівняння в кодованому вигляді:

- Енерговитрати (Y1):

$$Y1 = - 8,26028 - 0,00037X1 + 0,7526667X2 + 1,0124X3 + 0,857933X4 - 0,0001X1X2 + 0,0000036X1X3 + 0,000099X - 0,0232X2X4 - 0,0071X3X4 - 0,05X22 - 0,0773667X32 - 0,01103X42$$

– час подрібнення матеріалу (Y2):

$$Y2 = 51,323167 - 0,011167X1 + 3,432033X2 - 5,7651X3 - 1,7806X4 - 0,0001X1X2 - 0,001X1X3 - 0,00004X1X4 - 2,000559X3X4 + 0,00000063X12 - 0,2463X22 + 0,5349X32 + 0,018766667X42$$

- Середньозважена довжина частинок (Y3):

$$Y3 = 25,83167 - 0,00647X1 - 1,115967X2 - 2,3392X3 - 1,224367X4 - 0,0004X1X2 - 0,0006X1X3 + 0,000013X1X5 + 0,013X3X4 + 0,0000023X12 + 0,0616X22 + 0,1638X32 + 0,01767X42$$

Адекватність моделей підтверджується з ймовірністю $R_d = 0,965$ при коефіцієнтах кореляції $R_1 = 0,94203$ і $R_2 = 0,98269$.

Переходячи від кодованих значень факторів (X_1, X_2, X_3, X_4) до натуральних (α, Z, n, α) Отримані наступні рівняння:

- Енерговитрати (Y1):

$$N = 2,57 + 0,58\alpha + 0,06Z + 0,8n + 0,75\alpha - 0,0002\alpha Z + 0,0001 - 0,0055 \alpha^2 - 0,0006 Z^2 - 0,0077n^2 - 0,007\alpha^2,$$

- час подрібнення матеріалу (Y2):

$$T = 18,44 - 11,41\alpha + 1,47Z - 5,34n - 1,9\alpha - 0,0017Zn + 0,001n\alpha + 0,109\alpha^2 - 0,014Z^2 + 0,0521667n^2 + 0,0184667\alpha^2,$$

-Середньозважена довжина частинок (Y3):

$$L_{cp} = 5,63 - 1,95\alpha - 1,9Z - 2,91n - 0,25\alpha - 0,0003\alpha Z - 0,0005 + 0,0002Zn + 0,019\alpha^2 + 0,018Z^2 + 0,028n^2 + 0,00247\alpha^2.$$

Після отримання адекватних математичних моделей процесу, визначилися координати оптимуму та вивчалися поверхні відгуку.

У процесі експериментальних досліджень вирішувалося компромісне завдання, результатом вирішення якого з'явилися незалежні змінні, що мають наступні значення: кутова швидкість обертання подрібнюючого робочого органу $\omega = 4,6 \text{ с}^{-1}$ ($X_1 = -0,16$); кількість зубчастих сегментів, розташованих по периметру подрібнюючого робочого органу $Z = 9$, ($X_2 = 0,89$); кількість подрібнювальних двоплощинних дугового профілю сегментів $n = 9$ ($X_3 = 0,87$); кут між поверхнею робочого органу та горизонтальними зубчастими елементами $\alpha = 300$ ($X_4 = 0,5$). В результаті досліджень було обрано оптимальна кількість зубчастих сегментів, розташованих по периметру робочого органу $Z = 6-9$; кількість двоплощинних дугового профілю сегментів $n = 7-9$; кут між подрібнюючим робочим органом конусного типу і горизонтальними зубчастими подрібнюючими елементами $\alpha = 30 \dots 350$. І для подальших експериментальних досліджень оптимізації параметрів подрібнювача використовували прийняті значення. В результаті обробки отриманих даних було побудовано графік впливу обраних параметрів на продуктивність і потужність досліджуваного подрібнювача (рисунки 3.22-3.23). Аналізуючи графік залежності рисунку 4.22 можна побачити, що з низької кутової швидкості $\omega = 1,6 \text{ с}^{-1}$ розмір частинок становить від 80 мм і від, що з силами опору тертя, інерційністю робочого органу. У міру збільшення кутової швидкості, під дією відцентрових сил, корм потрапляє на подрібнюючі двоплощинні дугового профілю елементи та зубчасті сегменти, розташовані по периметру робочого органу, на ріжучих кромках яких відбувається подрібнення вздовж так і впоперек волокон. При кутовій швидкості обертання $\omega = 3,14 \text{ с}^{-1}$ і вище, середньозважена довжина частинок становить $L_{\text{ср}} = 45 \text{ мм}$, що відповідає зоотехнічних вимог. При кутовій швидкості обертання робочого органу від 2,1 до 5,2 с^{-1} , продуктивність машини збільшуються від 110 до 800 кг/год. Це зумовлено центробежними силами і повітряним потоком, що створює ефект, що створює ефект всмоктування, що забезпечує збільшення швидкості подрібнення корму, ніж на низьких частотах обертання робочого органу.

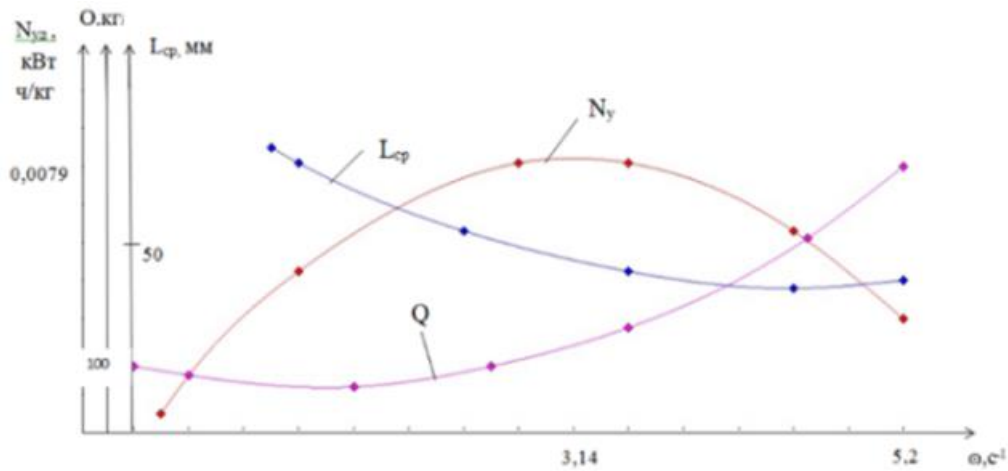


Рисунок 3.22 – Графіки залежностей середньозваженої довжини частинок, питомих енерговитрат, продуктивності від кутової швидкості робочого органу.

Залежність питомих енерговитрат $N_{уд}$ на рисунку 4.22 показує, що максимальне значення $N_{уд} = 0,0079$ кВт год/кг знаходиться при кутовій швидкості робочого органу рівної $\omega = 3,14$ с^{-1} . У початковий момент часу значення мінімальні і становлять $N_{уд} = 0,005$ кВт год/кг, у своїй довжина частинок становить $L_{cp} = 70-80$ мм.

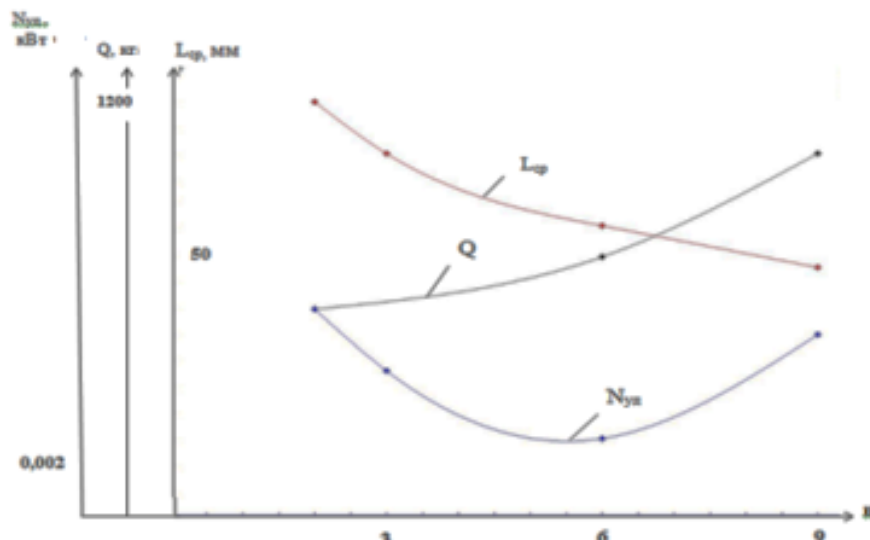


Рисунок 3.23 – Графіки залежностей середньозваженої довжини частинок, питомих енерговитрат, продуктивності від кількості подрібнювальних двоплощинних дугового профілю сегментів, n .

Аналізуючи залежність (рисунок 3.23) можна відзначити, що за кількості двоплощинних дугового профілю сегментів, $n = 6$ шт. значення продуктивності склала $Q = 1100$ кг/год, при цьому середньозважена довжина частинок $L_{cp} = 50$

мм, а питомі енерговитрати мінімальні $N_{уд} = 0,002$ кВт год/кг, що узгоджується з попередніми графіками.

При оптимальному поєднанні факторів на процес були побудовані поверхні відгуків Y_1 , Y_2 та Y_3 та їх перерізи (рисунки 3.24–3.27). І тому рівняння регресії зводилися до рівнянь із двома чинниками, фіксуючи інші постійних рівнях.

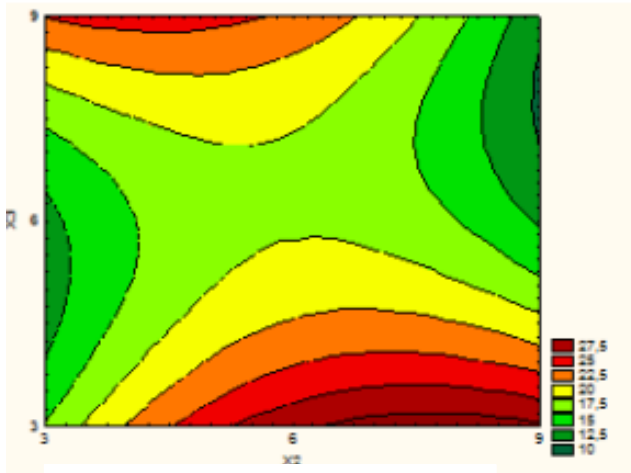


Рисунок 3.24 – Перетин поверхні часу подрібнення матеріалу на площину $X = +1$ ($? = 4,8$ с) і $X_4 = +1$ ($\alpha = 40$)

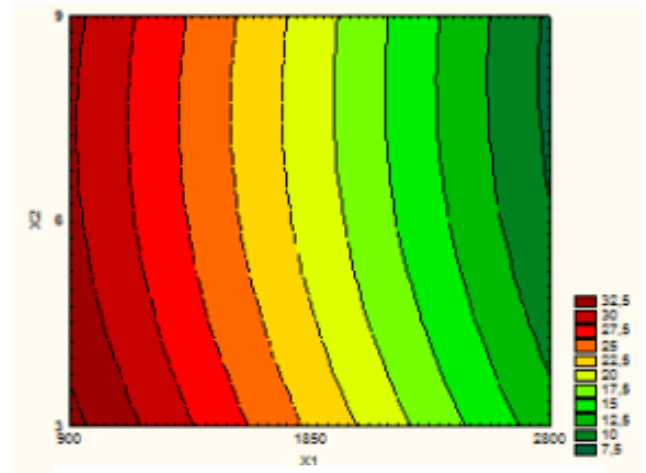


Рисунок 3.25 – Перетин поверхні часу подрібнення матеріалу на площину $X = +1$ ($n = 9$ прим.) і $X_4 = -1$ ($\alpha = 30$)

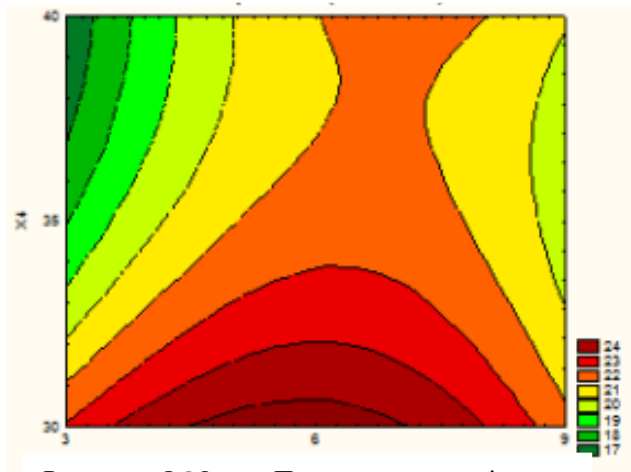


Рисунок 3.26 – Перетин поверхні часу подрібнення матеріалу на площину $X = 0$ ($? = 3,2$ с) і $X_3 = -1$ ($n = 3$ шт.)

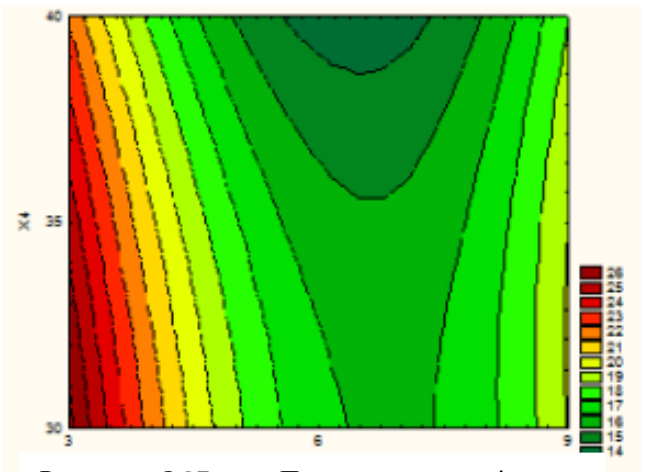


Рисунок 3.27 – Перетин поверхні часу подрібнення матеріалу на площину $X = 0$ ($Z = 6$) та $X_3 = +1$ ($n = 9$ шт.)

Аналіз перерізів (рисунки 3.24-3.27) показує, що час подрібнення матеріалу масою 1 кг варіюється в межах від 10 до 28 с. При кількості зубчастих сегментів, розташованих по периметру подрібнювального робітника органу $Z = 9$ шт., кількістю подрібнювальних двоплощинних дугового профілю сегментів $n = 8$ шт. і кутова швидкість обертання подрібнювального робочого органу змінюється в межах від 4,6 до 4,8 с-1, час подрібнення $T = 10$ с, що є оптимальним показником.

Аналіз залежностей представлених на рисунках 4.28–4.31 показує, що при середньозваженій довжині частинок подрібненого корму $L_{\text{ср}} = 50\text{-}60$ мм, оптимальною є кутова швидкість обертання робочого органу в межах від 3,2 до 3,89 с-1, кількість зубчастих сегментів, розташованих по периметру подрібнюючого робочого органу $Z = 7\text{--}9$. Тоді необхідною кількістю подрібнювальних двоплощинних дугового профілю сегментів $n = 7\text{--}9$. при вугіллі α , що змінюється від 330 до 350. При цьому ці значення підтверджуються аналізом залежностей, представлених на рисунках 3.24–3.27.

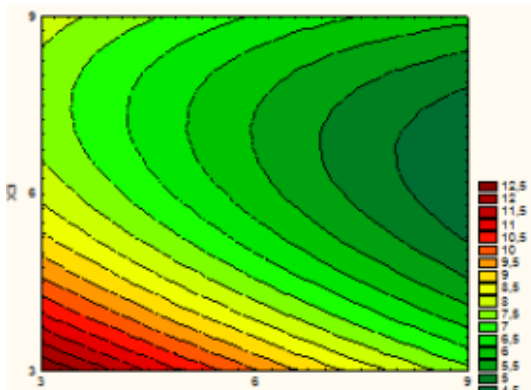


Рисунок 3.28 – Перетин поверхні середньозваженої довжини на площину $X1 = 0$ ($\omega = 3,2$ с-1) та $X4 = -1$ ($\alpha = 300$)

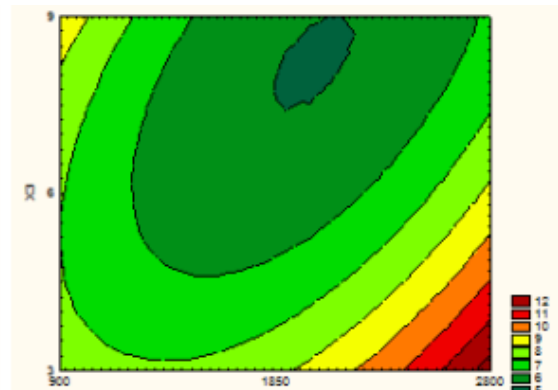


Рисунок 4.29 – Перетин поверхні середньозваженої довжини на площину $X2 = -1$ ($Z = 3$) та $X4 = -1$ ($\alpha = 300$)

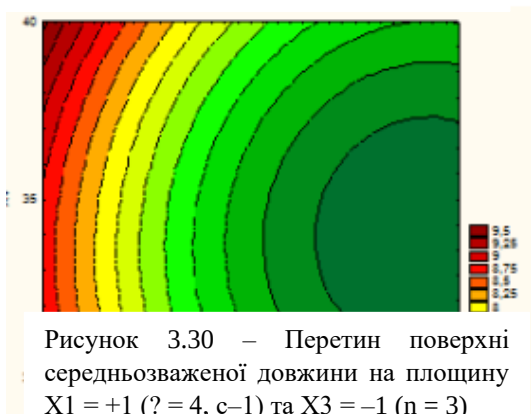


Рисунок 3.30 – Перетин поверхні середньозваженої довжини на площину $X1 = +1$ ($\omega = 4$, с-1) та $X3 = -1$ ($n = 3$)

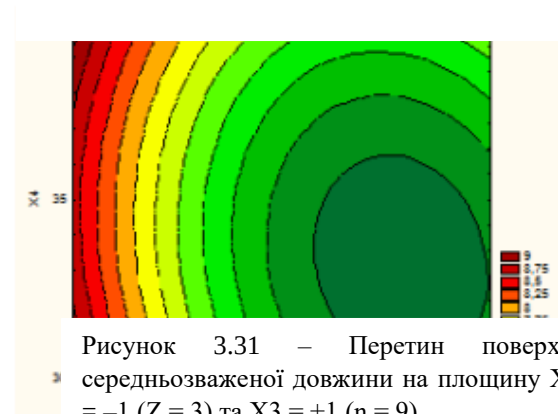


Рисунок 3.31 – Перетин поверхні середньозваженої довжини на площину $X2 = -1$ ($Z = 3$) та $X3 = +1$ ($n = 9$)

Аналіз залежностей (рисунки 3.32–3.31) показує, що мінімальні енерговитрати склали $N = 1,5$ кВт, при кутовій швидкості обертання робочого органу в межах від 1,6 до 2,2 с^{-1} , при кількості зубчастих сегментів, розташованих по периметру робочого органу $Z = 6\text{--}9$, при двоплощинних дугового профілю сегментів $n = 3$, а кут між поверхнею робочого органу та горизонтальними зубчастими подрібнюючими елементами $\alpha = 30\text{--}320$.

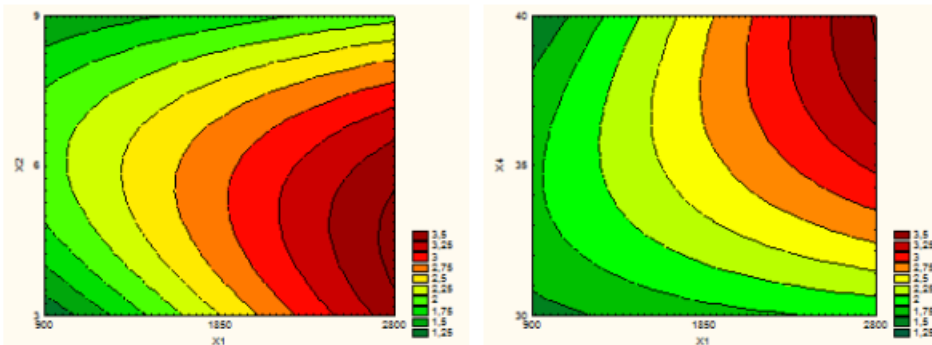


Рисунок 3.32 – Перетин поверхні енерговитрат на площину $X1 = -1$ ($? = 1,6 \text{ с}$) і $X4 = -1$ ($? = 30$)

Рисунок 3.33 – Перетин поверхні енерговитрат на площину $X2 = +1$ ($Z = 9$ шт.) і $X3 = -1$ ($n = 3$ шт.)

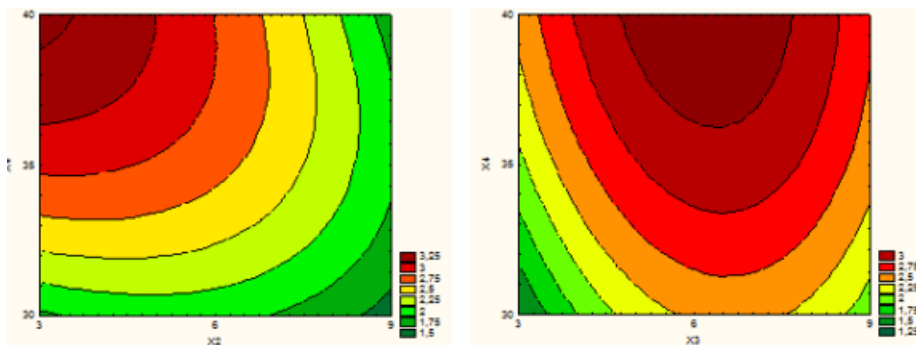


Рисунок 3.34 – Перетин поверхні енерговитрат на площину $X1 = +1$ ($? = 4,6 \text{ с}$) і $X3 = +1$ ($n = 9$ шт.)

Рисунок 3.35 – Перетин поверхні енерговитрат на площину $X2 = -1$ ($Z = 3$ шт.) і $X3 = 0$ ($n = 6$ шт.)

У ході досліджень встановлено суттєвий вплив на процес подрібнення наступних факторів: кутова швидкість робочого органу ($?$); кількість зубчастих сегментів, розташованих по периметру робочого органу (Z); кількість двоплощинних дугового профілю сегментів (n).

Найменший вплив досліджуваних факторів на процес подрібнення надає кут між подрібнюючим робочим органом і горизонтальними зубчастими подрібнюючими елементами (α).

Виходячи з аналізу вищезазначених залежностей, визначено оптимальні значення чинників, у яких $L_{cp} = 50$ мм, $T = 10$ секунд, а $N = 2,75$ кВт; кутова швидкість робочого органу в межах від 3,2 до 4,6 с-1; кількість зубчастих сегментів, розташованих за периметром робочого органу $Z = 6-9$; кількість двоплощинних дугового профілю сегментів $n = 7-9$; кут між подрібнюючим робочим органом і горизонтальними зубчастими подрібнюючими елементами в межах від 300 до 350.

З аналізу графіка розсіювання для критеріїв оптимізації середньозваженої довжини частинок (L_{cp}) і енерговитрати (N) (рисунок 3.36) можна зробити висновок про те, що L_{cp} змінюється в межах від 50 до 100 мм, що забезпечується N , що змінюється в межах від 0,5 до 3,4 кВт.

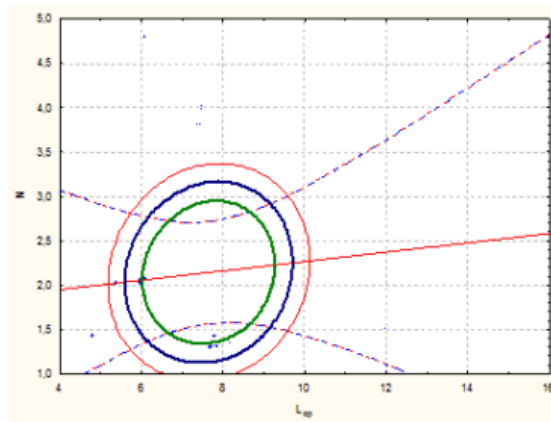


Рисунок 3.36 – Графік розсіювання для критеріїв оптимізації середньозважена довжина частинок (L_{cp}), енерговитрати (N)

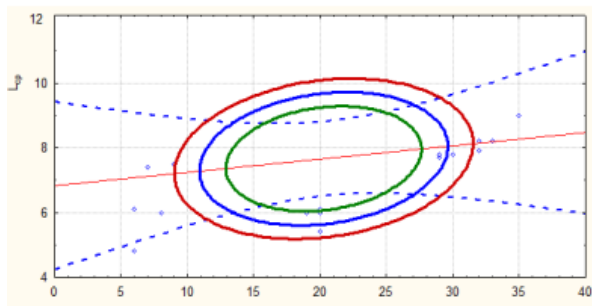


Рисунок 3.37 – Графік розсіювання для критеріїв оптимізації час подрібнення матеріалу (T), середньозважена довжина частинок (L_{cp}).

З аналізу графіка розсіювання для критеріїв оптимізації часу подрібнення матеріалу (T) середньозваженої довжини частинок (L_{cp}) (рисунок 3.37) можна зробити висновок про те, що L_{cp} змінюється в межах від 50 до 100.

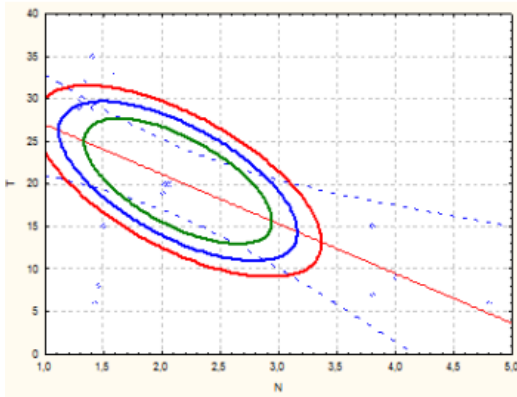


Рисунок 3.38 – Графік розсіювання для критеріїв оптимізації енерговитрати (N), час подрібнення матеріалу (T).

З аналізу графіка розсіювання для критеріїв оптимізації: енерговитрати (N), час подрібнення матеріалу (T), (рисунок 3.38) можна зробити висновок про те, що N змінюється в межах від 0,5 до 3,4 кВт, що відповідає часу подрібнення матеріалу від 10 до 30 с.

Збіжність результатів продуктивності подрібнювача (рисунок 3.39), отриманих експериментальним і теоретичним шляхом визначається відповідно до критерію Фішера і не перевищує 7%.

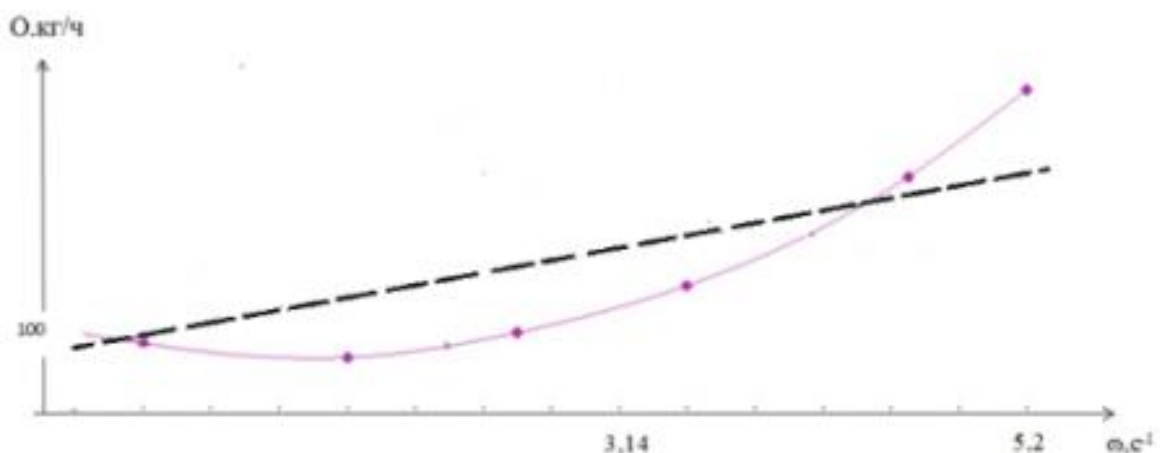


Рисунок 3.39 – Графік залежності продуктивності Q від кутової швидкості обертання робочого органу ω : (--- теоретична $Q = f(\omega)$ за виразом; - експериментальна).

3.7 Обґрунтування параметрів процесу приготування кормових сумішей із компонентів раціону пошарово завантажених у бункер подрібнювача-змішувача

Аналіз раніше проведених досліджень процесів подрібнення та змішування кормів дозволив з усього різноманіття факторів, що впливають на ці процеси, виділити чотири найбільш значущі і призначити рівні їх варіювання.

Для оцінки ефективності процесу одночасного подрібнення та змішування вибрано три критерії оптимізації: δ – неоднорідність суміші, λ – однорідність гранулометричного складу та $N_{уд}$ – енергія, що витрачається на подрібнення та змішування матеріалу.

Загальний характер функціональної залежності протікання процесу одночасного подрібнення та змішування продукту було визначено пошуковими експериментами. При цьому з'ясувалося, що в області, близькій до екстремуму, математична модель відгуку не є лінійною, тому для її адекватного опису необхідно використовувати нелінійні поліноми. З цією метою використовували поліном другого порядку, який досить повно описує процес одночасного подрібнення та змішування компонентів. Дослідження характеру впливу основних факторів на критерій оптимізації дозволить обґрунтувати вид математичної моделі, що описує процес, оцінити ступінь достовірності теоретичної моделі та вибрати центр багатофакторного експерименту [11].

За результатами дослідження умові значущості задовольняють чотири фактори: $W_c - x_1$ – вологість грубих кормів, %; $S - x_2$ – крок витка шнека, м; $Z_1 - x_3$ – кількість сегментів однією витку шнека, прим; $v_n - x_4$ – лінійна швидкість подає транспортера, м / с.

На основі попередніх дослідів були обрані інтервали варіювання факторів, що відповідають стаціонарній області функції відгуку. Подальші дослідження з вивчення процесу одночасного подрібнення та змішування проводилися за вищевказаними факторами (таблиця 3.6).

Таблиця 3.6 – Рівні та інтервали варіювання факторів

Чинники	Позначення	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄
Центр експерименту	X ₀	20	0,3	11	0,025
Інтервал варіювання	E	5	0,1	3	0,020
Верхній рівень	+1	25	0,4	14	0,045
Нижній рівень	-1	15	0,2	8	0,005

Експериментальні дослідження проводилися на підставі відомих методик [1, 83]. Для опису процесу поліномом другого порядку обраний ортогональний план повного факторного експерименту [8].

Після обробки даних повного факторного експерименту (програма Statistica 6.0 фірми StatSoft (USA)) отримали рівняння регресії математичної моделі другого порядку, розрахункові значення коефіцієнтів регресії.

Регресійна модель, після виключення з неї статистично не значних коефіцієнтів за критерієм Стюдента, представиться у вигляді:

– для неоднорідності суміші:

$$Y_1 = 12,4663 - 0,5613X_1 + 0,6283X_2 + 0,9853X_3 + 0,7088X_4 - 0,095258X_1X_2 - 0,001X_1X_4 - 0,02X_2X_3 - 0,56885X_2X_{1/2} - 0,00593X_2^2 - 0,0096667X_3^2 - 0,007X_4^2$$

– для однорідності гранулометричного складу:

$$Y_2 = 87,02 + 1,335X_1 - 1,64X_2 + 0,9X_3 - 2,665X_4 - 0,2X_1X_3 - 0,25X_1X_4 - 0,1X_2X_3 + 0,07X_2X_4 - 0,063X_3X_4 - 0,013X_1^2 + 0,016X_2^2 - 0,0085X_3^2 + 0,026X_4^2$$

– для витрат енергії на процес подрібнення та змішування:

$$Y_3 = 1,6 + 0,23X_1 - 0,16X_2 + 0,03X_3 - 0,14X_4 - 0,02X_1X_2 - 0,01X_1X_4 + 0,01X_2X_3 + 0,03X_2X_4 - 0,005X_3X_4 + 0,0015X_2^2 \quad (4.3)$$

Адекватність моделі оцінювалася за критерієм Фішера [92]

$$F = S_{2lf} / S_{2y}$$

Табличне значення критерію Фішера з рівнем значущості $\Delta = 0,05$ дорівнює $F = 2,8$. Значення критерію Фішера у моделях:

- неоднорідність суміші $F = 2,72$;

– однорідність гранулометричного складу $F = 2,67$;

-енергія, що витрачається на процес подрібнення і змішування: $F = 2,63$. Порівняння розрахункових значень із табличними показало, що розрахункове менше табличного. Отже, регресійні моделі є адекватними.

При оптимізації факторів (вологість кормів, крок витка шнека, кількість сегментів на одному витку шнека і швидкість транспортера, що подає), що валять на процес одночасного подрібнення і змішування використовувалася методика багатокритеріальної оцінки раціональних факторів. Розглядалися критерії: неоднорідність суміші, однорідність гранулометричного складу та енерговитрати. При оптимізації використовувався принцип виділення одного основного фактора неоднорідність суміші, а інші (однорідність гранулометричного складу та енерговитрати) як обмеження в межах варіювання певними умовами раціонального функціонування роздавача-змішувача.

$$\begin{aligned}
 &\delta = 12,5 - 0,56W_c + 0,63S + 0,99Z_1 + 0,7v_n - \\
 &\quad - 0,095W_c S - 0,001W_c v_n - 0,02SZ_1 - 0,57Sv_n - \\
 &\quad - 0,048Z_1 v_n + 0,005W_c^2 - 0,006S^2 - 0,01Z_1^2 - 0,007v_n^2 \\
 &\quad \text{Обмеження} \\
 &\lambda = 87,02 + 1,335W_c - 1,64S + 0,9Z_1 - 2,665v_n - \\
 &\quad - 0,2W_c Z_1 - 0,25W_c v_n - 0,1SZ_1 + 0,07Sv_n - 0,063Z_1 v_n - \\
 &\quad - 0,013W_c^2 + 0,016S^2 - 0,0085Z_1^2 + 0,026v_n^2 \\
 &N_{yd} = 1,64 + 0,23W_c - 0,16S + 0,03Z_1 - 0,14v_n - 0,02W_c S - \\
 &\quad - 0,01W_c v_n + 0,01SZ_1 + 0,03Sv_n - 0,005Z_1 v_n + 0,0015S^2
 \end{aligned}
 \quad \left. \begin{array}{l} \delta \rightarrow \min \\ 85 \leq \lambda \leq 98\% \\ N_{yd} \rightarrow \min \end{array} \right\} (A)$$

Розроблено програми для пошуку потрібних раціональних параметрів. При вирішенні встановлено, що мінімальна неоднорідність суміші $\delta = 9,7 \%$ буде досягнута за наступних умов: крок навивки шнека $S = 0,2$ м, кількість сегментів на одному витку шнека $Z_1 = 8$, швидкість транспортера $v_n = 0,005$ м/с, при максимальній вологості $W = 17 \%$ (за вимогами). Рішив систему рівнянь, підставивши отримані оптимальні значення факторів і ввівши обмеження, отримали однорідність гранулометричного складу $\lambda = 89,264\%$; розрахункова енерговитрати $N = 7,8$ кВт, менше аналога СРК-11В-8, у якого вона становить

15 кВт. Отримані результати оптимізації задовольняють рішення системи (А) із заданими обмеженнями.

Переходячи від кодованих значень факторів (X_1 , X_2 , X_3 , X_4) до натуральних (W_c , S , Z_1 , v_n) отримані залежності показників неоднорідності суміші (δ , %), однорідності гранулометричного складу (λ , %) та енергозатрати ($N_{уд}$, кВт) від основних технологічних факторів, які набули вигляду:

– для неоднорідності суміші:

$$\delta = 8825,429 - 9,99114W_c + 163,358S + 10,8383Z_1 + 9,9232v_n - 440,854W_cS - 0,2492W_cv_n - 57,2SZ_1 - 2070,4684Sv_n - 7,37567Z_1v_n + 1,6793W_c^2 - 400,868S^2 - 1,16967Z_1^2 - 1,372v_n^2;$$

– для однорідності гранулометричного складу:

$$\lambda = 357,201 + 23,7612W_c - 425,984S + 10,164Z_1 - 37,31v_n + 18,512W_cS - 39,16W_cZ_1 - 62,88562W_cv_n - 286,1SZ_1 + 251,382Sv_n - 9,65765Z_1v_n - 4,0872W_c^2 + 1047,8S^2 - 1,02487Z_1^2 + 5,0901v_n^2;$$

– для енергоспоживання:

$$N_{уд} = 1777,107 + 4,07086W_c - 41,8262S + 0,3773Z_1 - 1,95678v_n - 78,676W_cS - 1,52635W_cv_n + 32,604SZ_1 + 94,64Sv_n - 0,76692Z_1v_n - 0,6865W_c^2 + 101,4S^2 - 0,040293Z_1^2 + 0,26786v_n^2;$$

В результаті теоретичних та пошукових досліджень були встановлені основні фактори, що впливають на процес одночасного подрібнення та змішування: вологість грубих кормів $X_1(W_c)$, крок витка шнека $X_2(S)$, кількість сегментів на одному витку шнека $X_3(Z_1)$ та швидкість подає транспортера $X_4(v_n)$.

Методика дослідження поверхні відгуку за допомогою двовимірних перетинів докладно викладена в роботах [3, 9, 16, 32].

Результати досліджень впливу вищезгаданих факторів на процес подрібнення представлені на рисунках 4.40–4.43.

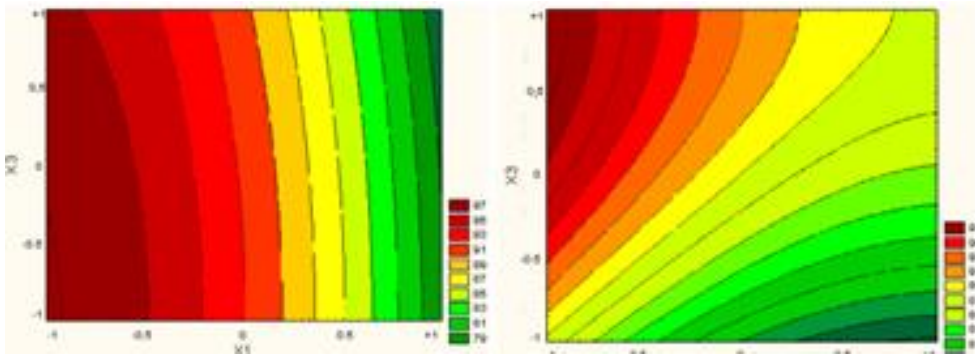


Рисунок 3.40 – Перетин поверхні однорідності гранулометричного складу на площину $X(W)X(Z)$ при $X_2=-1$ ($S=0,2$ м) та $X_4=0$ ($v_n=0,025$ м/с)

Рисунок 3.41 – Перетин поверхні однорідності гранулометричного складу на площину $X(S)X(Z)$ при $X_1=-1$ ($W_c=15\%$) та $X_4=0$ ($v_n=0,025$ м/с)

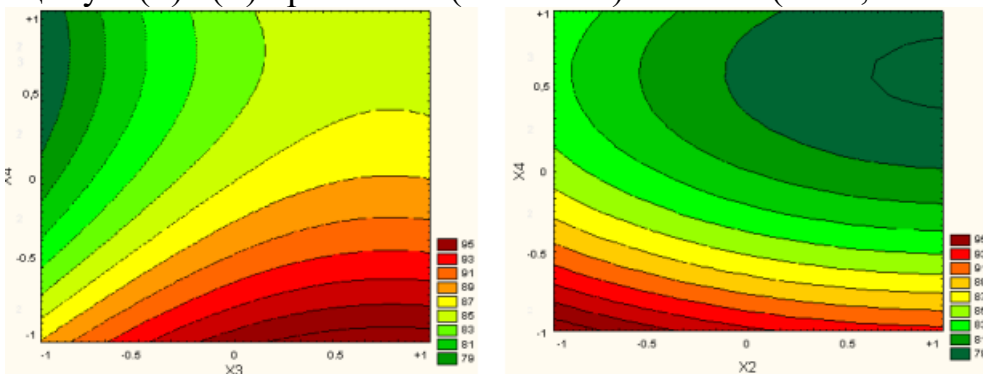


Рисунок 3.42 – Перетин поверхні однорідності гранулометричного складу на площину $X(Z)X(v)$ при $X_1=-1$ ($W_c=15\%$) і $X_2=0$ ($S=0,3$ м)

Рисунок 3.43 – Перетин поверхні однорідності гранулометричного складу на площину $X(S)X(v)$ при $X_1=-1$ ($W_c=15\%$) та $X_3=0$ ($Z_1=11$ шт.)

Аналіз впливу вологості грубих кормів W_c на процес подрібнення (рисунок 4.40) показує, що зі збільшенням W_c до 25% стебла стають гнучкими і еластичними що призводить до їх намотування на сегменти подрібнювально-змішувального апарату, а це веде до зниження однорідності гранул до 80%.

Аналіз залежностей (рисунки 3.41 і 3.42) показує, що вплив кроку витка шнека $X_2(S)$ на процес подрібнення відносно не суттєвий, порівняно з впливом кількості сегментів $X_3(Z_1)$ та швидкістю транспортера, що подає $X_4(v_n)$. Зниження кількості сегментів до 8 прим. веде до зниження однорідності гранулометричного складу до 86%. Це обумовлено мінімальним впливом подрібнювальних сегментів на компоненти кормів, що подаються.

При збільшенні кількості сегментів до 14 штук однорідності гранулометричного складу зростає до 95%. Як показав експериментальний

аналіз, однорідність гранулометричного складу знаходиться в межах зоотехнічних вимог при кількості сегментів $Z1 = 11$ шт.

Для обґрунтування конструктивно-режимних параметрів установки лінійна швидкість транспортера, що подає, змінювалася від 0,005 м/с до 0,045 м/с.

Аналіз впливу лінійної швидкості транспортера, що подає (рисунки 3.42 і 3.43) показав, що при мінімальних значеннях швидкостей $v_n = 0,005 - 0,017$ м/с однорідність гранулометричного складу становить від 85 до 95 %. Це можна пояснити тим, що до подрібнювально-змішуючого апарату подається мінімальна кількість корму в одиницю часу, що призводить до активного впливу сегментів з компонентами, що подаються кормової суміші. на

ділянці швидкостей 0,018-0,045 м/с однорідність гранулометричного складу знаходиться нижче 85%, що не задовольняє зоотехнічні вимоги.

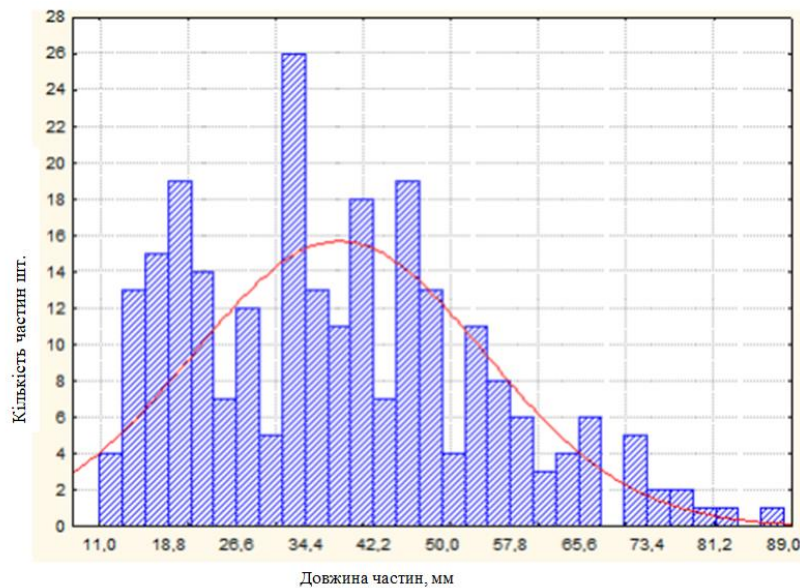
Як показав аналіз залежностей $X1(W_c)$, $X2(S)$, $X3(Z1)$ і $X4(v_n)$ максимально необхідна однорідність гранулометричного складу знаходиться на оптимальному рівні, необхідному для виконання технологічного процесу приготування кормової суміші $Y2 = 89-93\%$ при кроці витка шнека ($X2$) $S = 0,22-0,24$ м, вологості грубих кормів ($X1$) $W_c = 17 \dots 21\%$, кількості сегментів на одному витку шнека ($X3$) $Z1 = 11$ шт. і швидкості транспортера, що подає ($X4$) $v_n = 0,14 - 0,17$ м/с.

Результати однорідності гранулометричного складу обробляли у програмі Statistica 6.0 фірми StatSoft (USA). Стовпчасті діаграми розподілу частинок грубих кормів по довжині представлені рисунку 3.44.

Аналіз розмірів частинок грубих кормів показує: Довжина варіює від 11 до 89 мм.

2. Розміри частинок грубих кормів розподілені за нормальним законом.

3. Середня довжина частинок становить: від 10 до 20-15%, від 20 до 50-70%, від 50 до 70-13%, понад 70 мм - 2%, що відповідає зоотехнічним вимогам, що пред'являються до процесу подрібнення.



робочими елементами подрібнювально-змішуючого апарату, що виходить за норми зоотехнічних вимог.

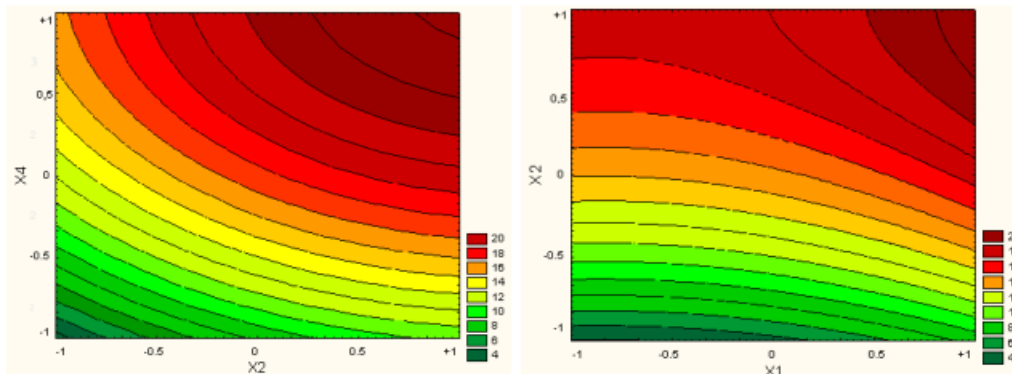


Рисунок 3.45 – Перетин поверхні неоднорідності суміші на площину $X2(S)X4(vn)$ при $X1 = -1$ ($Wc = 15\%$) та $X3 = 0$ ($Z1 = 11$ шт.)

Рисунок 3.46 – Перетин поверхні неоднорідності суміші на площину $X1(Wc)X2(S)$ при $X3 = -1$ ($Z1 = 8$ шт.) та $X4 = 0$ ($vn = 0,025$ м/с)

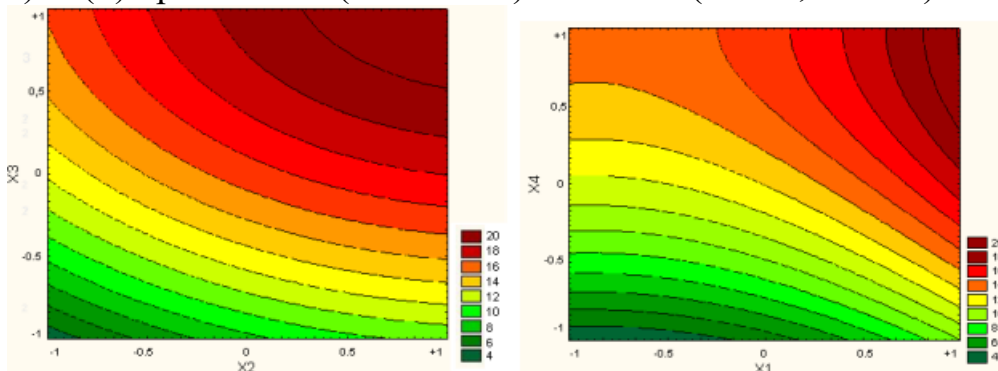


Рисунок 3.47 – Перетин поверхні неоднорідності суміші на площину $X2(S)X3(Z1)$ при $X1 = -1$ ($Wc = 15\%$) та $X4 = 0$ ($vn = 0,025$ м/с)

Рисунок 3.48 – Перетин поверхні неоднорідності суміші на площину $X1(Wc)X4(vn)$ при $X2 = -1$ ($S = 0,2$ м) та $X3 = 0$ ($Z1 = 11$ шт.)

При кроці витка шнека $X2(S)$ 0,20-0,25 м (рисунок 3.45) значення показника неоднорідності суміші знаходиться в межах 15%. Збільшення кроку витка шнека від 0,25 до 0,36 м призводить до підвищення неоднорідності суміші до 20%, що не задовольняє зоотехнічних вимог.

Аналіз залежності (рисунок 3.46) вплив кількості сегментів пояснюється лише відокремленням порцій корму від загального обсягу кормової маси. За кількості сегментів $Z1 = 8$ шт. відбувається мінімальна взаємодія сегментів на кормові компоненти, що відокремлюються. При максимальній кількості сегментів $Z1 = 12-14$ шт. відбувається заповнення простору між сегментами і накопичення маси, що у свою чергу підвищує неоднорідність суміші до 20%.

Аналіз впливу вологості грубого корму показав, що підвищення вологості кормів призводить до збільшення неоднорідності суміші (рис. 3.46 та 3.48). Пояснення очевидно, чим більша вологість корму, тим менша рухливість частинок і, отже, менша здатність їх до змішування.

Аналіз залежностей представлених на рисунках 3.45–3.48 показує, що оптимальні значення кроку витка шнека знаходяться в межах $S = 0,23 \dots 0,25$ м, лінійної швидкості транспортера, що подає $v_n = 0,008 \dots 0,013$ м/с, при цьому вологість грубих кормів знаходиться в межах $W_c = 17 \dots 21\%$, а кількість сегментів на одному витку шнека (X_3) $Z_1 = 11$ шт. При даних значеннях вищевикладених показників критерій оптимізації неоднорідності суміші знаходиться на оптимальному рівні необхідному для виконання технологічного процесу змішування кормових компонентів $= 12,3\%$, що відповідає зоотехнічним вимогам.

Вплив конструктивно-режимних факторів на витрати енергії робочого процесу.

Аналіз залежності на рисунках (3.49), (3.50) і (3.51) показує, що показники енерговитрат мінімальні і дорівнюють $N_{уд} = 1,1 \dots 1,7$ кВт при вологості грубих кормів $W_c = 15-17\%$. Збільшення вологості X_1 (W_c) до 25%, при постійному кроці витка $S = \text{const}$, веде до зростання енерговитрат на процес до 2,7 кВт. Це обумовлено збільшенням сили різання, що припадає на один сегмент, за рахунок збільшення щільності корму, що проходить через подрібнююче-змішувальний апарат за одиницю часу (рисунок 3.50).

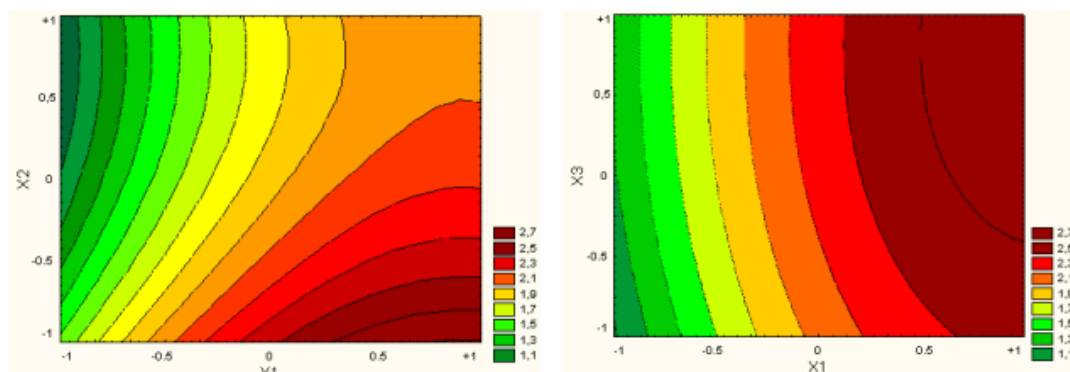


Рисунок 3.49 – Перетин поверхні енерговитрат на площину $X_1(W_c)X_2(S)$ при $X_3 = -1$ ($Z_1 = 8$ шт.) та $X_4 = 0$ ($v_n = 0,025$ м/с)

Рисунок 3.50 – Перетин поверхні енерговитрат на площину $X1(W_c)X3(Z1)$ при $X2 = -1$ ($S = 0,2$ м) та $X4=0$ ($v_n = 0,025$ м/с)

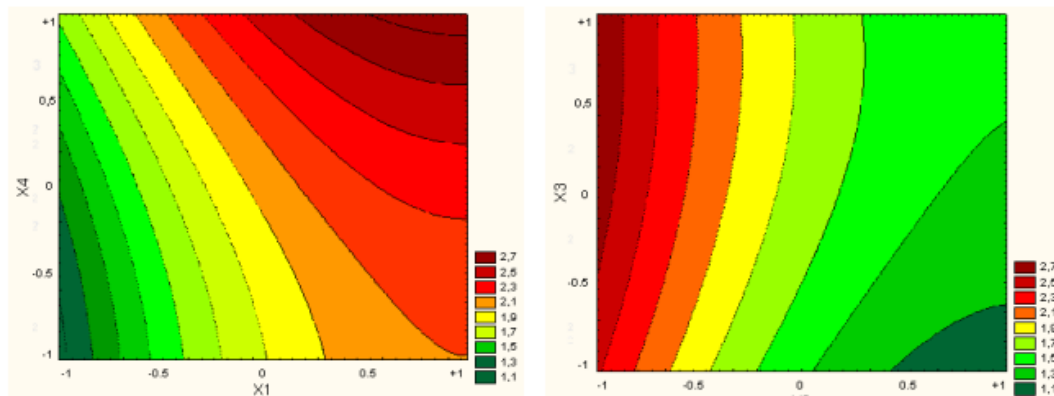


Рисунок 3.51 – Перетин поверхні енерговитрат на площину $X1(W_c)X4(v_n)$ при $X2=-1$ ($S=0,2$ м) та $X3=0$ ($Z1=11$ шт.)

Рисунок 3.52 – Перетин поверхні енерговитрат на площину $X2(S)X3(Z1)$ при $X1=-1$ ($W_c=15$ %) та $X4=0$ ($v_n=0,025$ м/с)

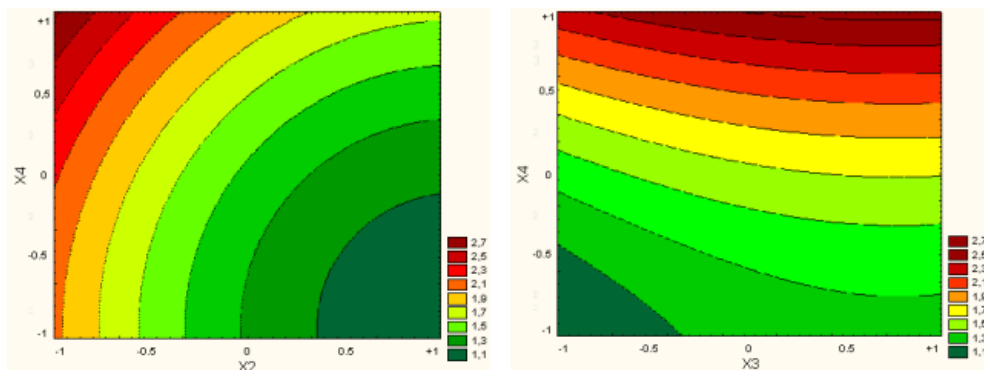


Рисунок 3.53 – Перетин поверхні енерговитрат на площину $X2(S)X4(v_n)$ при $X1=-1$ ($W_c=15$ %) та $X3=0$ ($Z1=11$ шт.)

Рисунок 3.54 – Перетин поверхні енерговитрат на площину $X3(Z1)X4(v_n)$ за $X1=-1$ ($W_c=15$ %) та $X2=0$ ($S = 0,3$ м)

Результати досліджень впливу кроку витка шнека на енергію, що витрачається на процес одночасного подрібнення і змішування, представлені на рисунках (3.52) і (3.53), показали, що при кроці (S) = 0,25-0,35 м значення потужності знаходиться в межах 1,6 кВт на одній фазі електродвигуна, а при (S) 0,2-0,25 видно збільшення потужності до 2,7 кВт. Це можна пояснити збільшенням сил тертя, викликаних підвищенням площі контакту шнекової навівки з компонентами кормової суміші, а також збільшенням щільності корму біля стінок бункера.

Як показав аналіз поверхонь двовимірних перерізів (рисунок 3.50, 3.52 і 3.54) кількість сегментів X_3 (Z_1) надає мінімальний вплив на показники енерговитрат. Лінійна швидкість транспортера, що подає, $X_4(v_n)$ чинить істотний вплив на енерговитрати подрібнювально-змішувального шнекового апарату. Аналіз даних залежностей показує, що зі збільшенням подачі в п'ять разів, витрати енергії зростають у 2 ... 2,5 рази. Це пояснюється тим, що за той самий проміжок часу до подрібнювально-змішувального апарату надходить різний обсяг кормового продукту, що зумовлює різні енергетичні витрати для його подрібнення і змішування. При максимальній лінійній швидкості транспортера, що подає X_4 ($v_n = 0,045$ м/с) потужність витрачається на процес становить 2,7 кВт.

Аналіз залежностей представлених на рисунках 3.49–3.54 показує, що оптимальні значення енерговитрат $N_{уд}$ знаходиться в межах 1,2–1,6 кВт при кроці витка шнека $S = 0,24 \dots 0,28$ м, лінійної швидкості транспортеру $v_n = 0,008 \dots 0,013$ м/с, кількості сегментів однією витку шнека $Z_1 = 10 \dots 11$ прим. і вологості грубих кормів $W_c = 17\% \dots 21\%$.

Аналіз поверхонь перерізів на околицях оптимуму показав, що найбільший вплив на процес одночасного подрібнення та змішування надає лінійна швидкість транспортера, що подає. Підвищення лінійної швидкості транспортера, що подає, до 0,045 м/с призводить до збільшення енерговитрат процесу до $N_{уд} = 2,7$ кВт, зниження однорідності гранулометричного складу до 80% і підвищення неоднорідності суміші до 20%, що є очікуваним через підвищену кількість кормового матеріалу, що подається до подрібнювально-змішувального апарату.

3.10 Вплив довжини частинок на неоднорідність суміші

Відомо, що основними факторами, що впливають на якість приготування суміші, що ливається, є вологість і ступінь подрібнення змішуваних компонентів.

На рисунку 3.55 представлено експериментально отриману залежність впливу довжини подрібнених частинок грубих кормів $l_{\text{ср}}$ на неоднорідність суміші, що отримується при змішуванні їх з силосом.

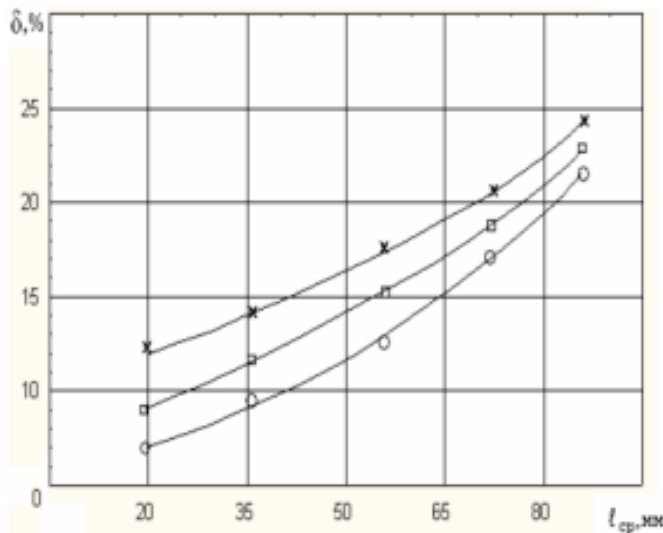


Рисунок 3.55 – Залежності неоднорідності суміші від довжини частинок грубих кормів: о - о - о - 10% грубих кормів у суміші (за масою); □ - □ - □ – 20 % грубих кормів у суміші; х - х - х - 30% грубих кормів у суміші.

За результатами експериментальних досліджень можна зробити висновок, що при збільшенні середньої довжини частинок грубих кормів понад 70-80 мм якість суміші, що готується, помітно знижуватися. Як показують спостереження, при довжині частинок понад 300 мм подрібнювально-змішувачий робочий орган є не працездатним, оскільки шари корму сходять без подрібнення і лише частково змішуються, при цьому спостерігається часткове намотування стебел.

3.4.5 Результати дослідження подачі та енерговитрат

При вивченні впливу подачі кормового моноліту на потужність, що витрачається на подрібнення і змішування компонентів кормової суміші, експеримент проводився при стабілізації конструктивно-режимних параметрів експериментальної установки на оптимальні значення. Залежність енерговитрат і однорідності гранулометричного складу (λ), що витрачається на подрібнення та змішування, від швидкості руху транспортера, що подає, представлені на рисунку 3.56.

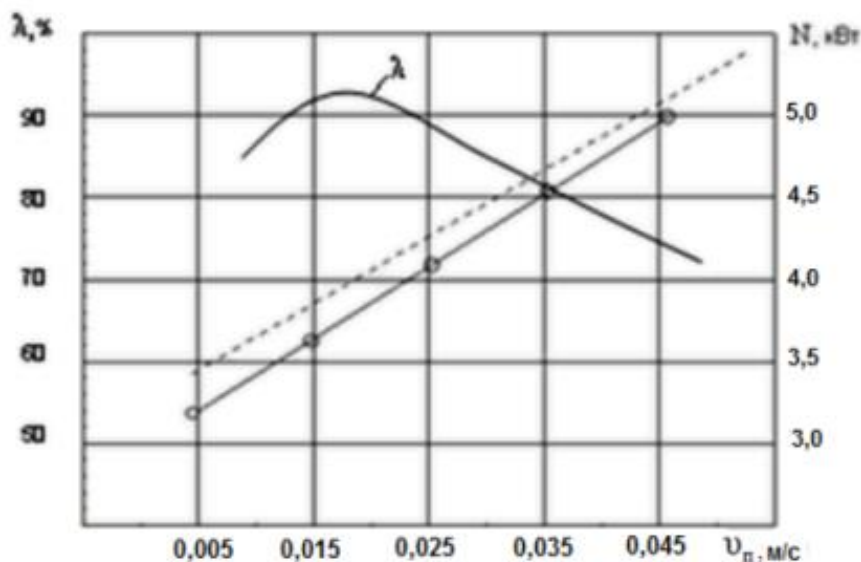


Рисунок 3.56 – Залежності енерговитрат і однорідності гранулометричного складу (λ) від швидкості транспортера, що подає: ооо - фактична, ----- - розрахункова.

З рисунка видно, що зі збільшенням швидкості транспортера, що подає, енергія, що витрачається на процеси подрібнення і змішування компонентів кормової суміші, зростає. Аналіз залежності показав, що потужність, що витрачається на процес мінімальна 3,2 кВт при швидкості транспортеру $v_n=0,01$ м/с.

На рисунку 3.57 представлені експериментальні залежності продуктивності установки Q від швидкості транспортера, що подає.

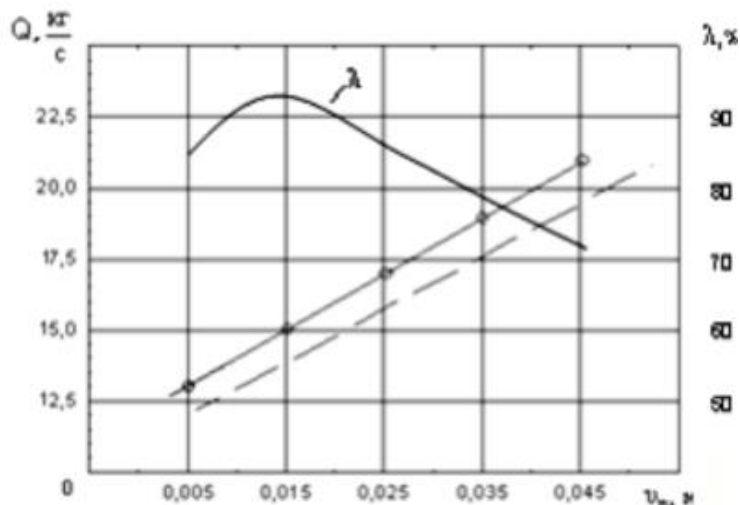


Рисунок 3.57 – Залежності продуктивності Q і однорідності гранулометричного складу (λ) від швидкості транспортера, що подає v_n : ооо – фактична, ----- – розрахункова $Q = f(v_n)$

Аналіз залежності (рисунок 3.57) показує, що продуктивність установки прямо пропорційно залежить від швидкості подачі і має пряmlinійний характер. Однак збільшення швидкості транспортера, що подає, веде до зниження однорідності гранулометричного складу (λ). Оптимальні значення швидкості знаходяться в межах $0,005 \leq (v_n) \leq 0,022$ м/с.

На надано залежності нерівномірності дозування σ від швидкості транспортера, що подає v_n . Аналіз залежності показує, що збільшення швидкості транспортера, що подає, знижує нерівномірність видачі кормів до 8-10%, за рахунок вирівнювання щільностей в бункері, як за його довжиною, так і за шириною. Шнековий апарат знижує нерівномірність дозування на 5-8% за рахунок активного впливу навивки шнека на кормовий моноліт і вирівнювання щільності по ширині бункера.

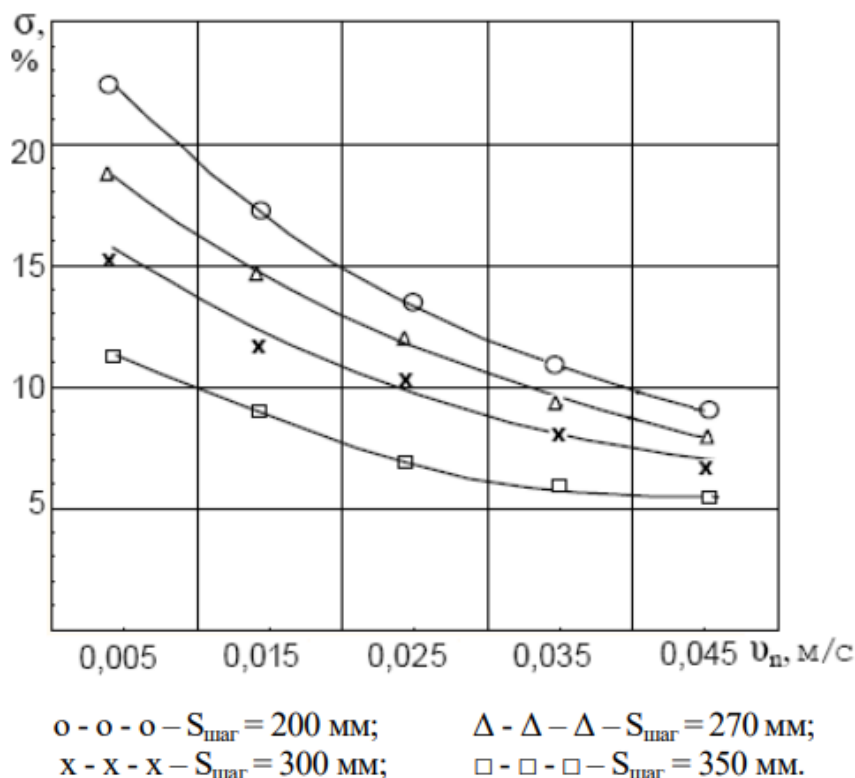


Рисунок 3.58 – Графіки залежності нерівномірності дозування від швидкості подачі v_n .

Результати дослідження залежності неоднорідності суміші та однорідності гранулометричного складу від кутової швидкості подрібнювально-змішувального апарату, представлені на рисунку 3.59, показують, що мінімальна однорідність суміші та максимальна однорідність

гранулометричного складу для всіх пропорцій вмісту грубих кормів знаходиться приблизно на одному рівні при $3,82 \leq \omega \leq 8,7 \text{ с}^{-1}$, що дозволяє якісно готувати кормові суміші.

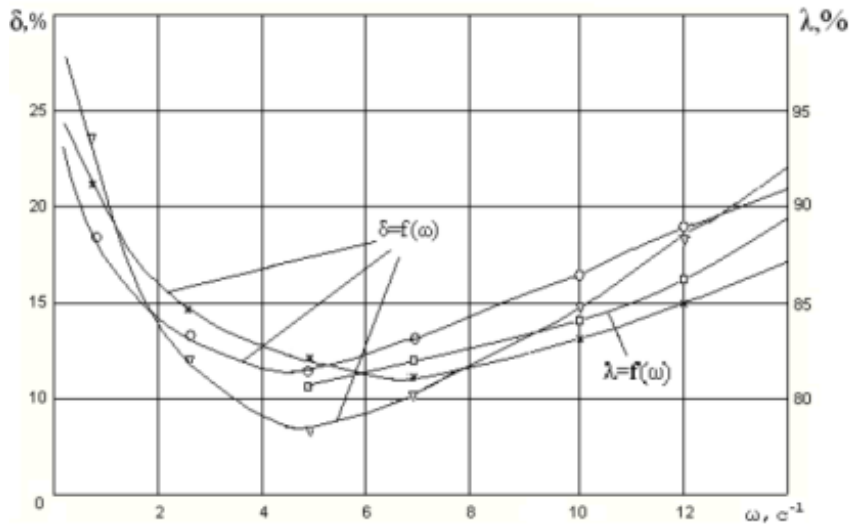


Рисунок 3.59 – Залежність неоднорідності суміші δ і однорідності гранулометричного складу від кутової швидкості шнека ω : о - о - о - 10% грубих кормів у суміші (за масою); Δ - Δ - Δ - 20% грубих кормів у суміші; х - х - х - 30% грубих кормів у суміші

Висновки по розділу.

1. На підставі проведених досліджень із застосуванням теорії планування багатофакторного експерименту вдалося отримати рівняння регресії, що описують взаємозв'язок конструктивно-режимних і технологічних параметрів розроблених технічних засобів, а також виявити ступінь їх впливу (окремо і в сукупності) на якість виконання процесів.

2. Отримано графічні залежності від основних критеріїв оптимізації, що визначають працездатність конструкцій. Експериментальні дані підтвердили основні теоретичні передумови для процесів приготування кормосумішей і дозволили уточнити окремі теоретичні аспекти зазначених процесів.

3. В результаті експериментальних досліджень встановлено, найбільш суттєвого впливу на процес подрібнення стебельчастих кормів мають такі фактори як кутова швидкість обертання подрібнювального робочого органу, кількість зубчастих сегментів, розташованих по периметру подрібнювального робочого органу, кількість подрібнюючих двоплощинних дугового профілю сегментів. Найменший вплив досліджуваних факторів, на процес подрібнення

надає кут між подрібнюючим робочим органом конусного типу і горизонтальними зубчастими подрібнюючими елементами.

В результаті з аналізу залежностей, визначено оптимальні значення факторів: кутова швидкість робочого органу $\omega = 3,2-4,6 \text{ с}^{-1}$; кількість зубчастих сегментів, розташованих по периметру подрібнювального робочого органу $Z = 6-9$; кількість подрібнювальних двоплощинних дугового профілю сегментів $n = 7-9$; кут між подрібнюючим робочим органом і горизонтальними зубчастими подрібнюючими елементами $\alpha = 300-350$, при яких середня вага довжина частинок $L_{\text{ср}} = 50 \text{ мм}$, час подрібнення $T = 10 \text{ секунд}$, а витрати енерговитрати на процес $N = 2,75 \text{ кВт}$.

4. Експериментально обґрунтовано параметри робочих органів технічного засобу для приготування високобілкових кормів з використанням соєвого зерна (частота обертання рухомого диска, продуктивність, енерговитрати). Оптимальний час замочування слід рахувати 6-7 годин. При цьому зусилля, необхідне для руйнування зерна становить $0,01 \text{ МПа}$, густина зерна при 7 годинному замочуванні становить $\rho = 1,088 \text{ г/мл}$; вологість $W = 65 \%$, середня маса зерна $m = 0,37 \text{ г}$, $V = 0,34 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$.

Отримано експериментальні залежності та раціональні значення гідромодуля $\eta = 1:10$; температури екстрагенту $t = 55-60^\circ\text{C}$. При даних значеннях питомі енерговитрати становлять $N = 0,0165 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{кг}$, а продуктивність $Q = 0,24 \text{ кг} / \text{с}$.

5. В результаті експериментальних досліджень встановлені розмірні характеристики коренеплодів, що дозволило зробити вибір значення зазору між шнеками.

Експериментально отримані значення продуктивності та енерговитрат очисника коренеплодів, а також ступеня очищення при різному поєднанні конструктивних і режимних параметрів дозволили визначити область їх раціональних значень, які мають наступні значення:

- Кінематичний режим $\lambda = 2,2-2,26$;
- Діаметр шнеків $D_{\text{ш}} = 0,177-0,178 \text{ м}$;

- Крок шнекової навивки $t = 0,69-0,71$ м;
- Довжина робочої зони очищення $LTP = 1,49-1,5$ м.

6. У процесі експериментальних досліджень процесу приготування кормових сумішей встановлена доцільність використання подрібнювально-змішувальних шнекових робочих органів у конструкції мобільного бункерного роздавача-змішувача, при укладанні в його бункері компонентів комового раціону пошарово і одночасним подрібненням і змішуванням частинок відокремлення від основного моноліту при видачі їх тваринам.

Аналіз результатів експериментальних досліджень показав, що, при подрібненні та змішуванні компонентів кормової суміші, неоднорідність суміші, однорідність гранулометричного складу та енерговитрати залежать від початкових фізико-механічних властивостей кормових продуктів і конструктивно-режимних параметрів подрібнювально-змішувальних органів.

Реалізація методики експериментальних досліджень подрібнення та змішування кормів за допомогою макетного зразка роздавача-змішувача та аналіз отриманих рівнянь регресії дозволили виявити оптимальні конструктивно-режимні та кінематичні параметри:

- Частота обертання шнеків $\omega = 3,82-8,7$ с⁻¹;
- Кількість сегментів на одному витку шнека - $Z_1 = 8-11$ шт.;
- Виліт сегментів на шнеку - $l_p = 0,042-0,048$ м;
- Швидкість транспортера, що подає $v_p = 0,005-0,014$ м/с.

При зазначених значеннях параметрів неоднорідність суміші, однорідність гранулометричного складу і енерговитрати становлять відповідно $\delta=9,7\%$, $\lambda=89,26\%$, $N_{уд}=7,8$ кВт.

7. Порівняння результатів експериментальних досліджень з теоретичними за основними функціональними залежностями для запропонованих технічних рішень показало їх збіжність в межах 5-8%.

8. Перевірка виявлених оптимальних параметрів на експериментальних зразках запропонованих розробок підтвердила відповідність отриманих значень критеріїв оптимізації зоотехнічних норм.

РОЗДІЛ 4. Охорона праці.

4.1 Аналіз умов та заходів з охорони праці.

Умови праці визначаються, в основному, станом повітряного середовища робочих приміщень. Значне місце серед шкідливих виробничих факторів займає контакт з водою, подразнюючими і токсичними речовинами.

Мікроклімат у приміщеннях молочно-товарних ферм залежить від призначення приміщення і характеру технологічного процесу. Приміщення, де утримуються тварини, не опалюються. Опалення обладнують у доїльних залах, профілакторії для телят, допоміжних та санітарно-побутових приміщеннях.

У корівниках при глибокій підстилці при зовнішній температурі -25°C і нижче за розрахункову приймають температуру $+10^{\circ}\text{C}$ і відносну вологість 75%. Поєднання низької температури, високої вологості і значної швидкості руху повітря сприяє переохолодженню організму.

Забруднення повітря в корівниках відбувається за рахунок накопичення двоокису вуглецю, аміаку та сірководню, які виділяються при розкладанні гною. Найбільша кількість газів буває в корівниках вранці в зимовий період, коли закриті всі віконні та дверні пройоми.

У процесі обслуговування тварин, у найбільшій мірі в корівниках та кормоцехах, працівника підлягають впливу ще двох шкідливих факторів повітряного середовища – пилу і мікробній (грибковій) забрудненості. У приміщеннях ферм підвищення концентрації пилу на робочих місцях спостерігається при роздачі сухих концентрованих кормів та прибиранні приміщень, у кормоцехах – при обробці і навантаженні в кормороздавачі грубих і сипучих кормів. Склад пилу не однорідний і не постійний. У ньому можуть бути частинки ґрунту, рослин, мінеральних добрив, пестициди, усі складові частини комбікормів, у тому числі і різні добавки (мікроелементи, вітаміни, антибіотики, гормони та ін.). Якісний склад пилу обумовлює ступінь її алергентності і при відповідних умовах може стати причиною розвитку алергічних захворювань у тваринників.

Прибирання приміщень, а також догляд за тваринами можуть обумовити зараження працівників такими інфекційними захворюваннями, як бруцельоз, туберкульоз, ящур та ін.

Мікрофлору тваринницьких приміщень складають гноєрідні коки, стафілококи, палички кишкової групи, плісняві гриби та інші. Джерелами бактеріального та грибкового забруднення повітря є корми та гній. Число мікробів в приміщеннях молочних комплексів і ферм коливається від десятків до сотень тисяч в 1м³ повітря, що більше норми.

Велике значення для праці робітників молочних ферм має достатня освітленість робочих місць та поверхонь. Ряд робіт по догляду за тваринами та отриманню молока відноситься до робіт середньої точності. Необхідно розрізняти дрібні деталі – забруднення вимені, деталі молочної апаратури і ін. У відповідності з галузевими нормами штучне освітлення при прив'язному та безприв'язному утриманні корів повинно складати 30 лк., в пологовому відділенні – 100лк. КПО повинен бути 0,5%. Під час доїння освітленість на вимені корови повинна складати 150 лк., а КПО – 0,7-0,9%.

4.2 Розробка організаційно-технічних заходів з охорони праці під час роздавання кормів

Кормоприготувальні машини в цеху треба встановлювати так, щоб технологічні проходи відповідали нормам

У кормоцехах, де розташовані коренемийки, мийки-подрібнювачі, влаштовують загальну і місцеву каналізацію, бетонують поли з похилом до відстійників, біля машин розмішують гумові килими або дерев'яні настили.

Приміщення, де встановлені кормодробарки, обладнують вентиляцією.

Робочі місця, розташовані від рівня підлоги на висоті понад 1 м, повинні мати бар'єри висотою не менше 1 м. Східці драбин і металеві площадки виконують із рифленої сталі.-

При обслуговуванні кормозапарників необхідно дотримувати таких вимог: чани щільно закривати кришками і обладнувати пристроєм для легкого їх відкривання; знімати кришку з чана, наповненого готовим продуктом, можна

після того, як буде закритий паровий кран чана; чани значної місткості і висоти обладнувати драбинами, перилами і огорожею люків; перед навантаженням запареного продукту конденсат з чана слід зливати через стічний отвір.

Для механізації транспортування і роздавання кормів використовують мобільні й стаціонарні роздавачі.

Перед в'їздом у приміщення необхідно переконатися, що поблизу немає людей, і сигналом попередити про рух машини.

Під час роботи кормороздавачів у кормових проходах забороняється перебувати людям.

Щоб запобігти отруєнню людей і тварин випускними газами від працюючого трактора, треба швидко роздати корм, вивести трактор із приміщення і провентилювати останнє.

При застосуванні норій, стрічкових транспортерів необхідно стежити за тим, щоб люки, натяжні пристрої були закриті захисними ґратами, кожухами, приводні станції транспортерів і норій огорожені, металеві частини – заземлені.

При експлуатації кормороздавачів, які рухаються по рейках у кормових проходах, необхідно також дотримувати правил техніки безпеки, стежити, щоб разом з кормом не потрапили металеві предмети, що можуть стати причиною аварії.

Корпуси електродвигунів і пускових апаратів, напрямні рейки надійно заземляють четвертою жилою кабелю-штори. Періодично перевіряють цілісність кабелю-штори, справність лотка для кабеля.

Електрострум подають у кабель-штору тільки на період роздавання кормів.

При пневмо-, гідророздачі кормів не можна допускати псування залишків корму в трубах^

При роздачі сипких кормів вимоги безпеки регламентуються ОСТ 463.113–81. (При завантаженні (розвантаженні) бункери, башти, силосні та інші місткості повинні бути закриті на замок.

Слід бути особливо обережними при очищенні каналів із щільними підлогами. Засмічені канали мають очищати два працівника. У місцях над каналом, де решітки тимчасово зняли, слід установити огороження.

При експлуатації гноєзбирального обладнання і транспортерів біля пускових кнопок гноєзбирального обладнання вішають таблички з попереджувальними написами: «Стороннім особам включати установку (транспортер) забороняється!», «При роботі з машиною будь обережним» та інші.

Забороняється виконувати ремонтні й регульовальні роботи, а також змащувати поворотні зірочки в період роботи транспортера.

Після монтажу пневмоустановку необхідно зареєструвати в органах Державного нагляду за охороною праці.

Під час видалення гною трактор з бульдозером має рухатися по проході прямолінійно зі швидкістю не більше 4–5 км/год. У проходах не повинно бути людей і тварин.

4.3 Моделювання виробничих небезпек при зварювальних роботах.

Для покращення умов праці, приведення у відповідність технічного стану робочих місць та нормалізації параметрів виробничого середовища складається план заходів. Він повинен бути комплексним, всебічним та реальним, а хід його виконання постійно підлягати контролю з боку посадових осіб підприємства. Розробка заходів ведеться за трьома напрямками: організаційним, технічним, санітарно-гігієнічним, для кожного з яких визначаються відповідальні за це особи та прогнозується очікувана соціальна ефективність від їх запровадження. За результатами виявлених у підрозділі недоліків 83 складемо перелік заходів, спрямованих на їх усунення чи мінімізацію їх наслідків та впливу на працівників.

Якщо стався нещасний випадок, а також при раптовому захворюванні необхідно:

- усунути дію на організм потерпілого небезпечних та шкідливих факторів, які загрожують його здоров'ю і життю;
- надати потерпілому домедичну допомогу, а в разі потреби викликати швидку медичну допомогу.

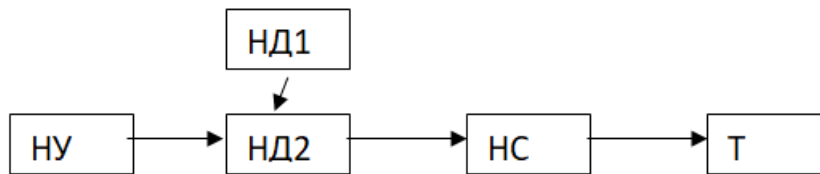


Рис. 4.1 Моделювання небезпечної ситуації під час роботи на СТО

НУ – Невиділені частини механізмів які мають підвищену безпеку.

НД 1 – Розпізнавальні знаки погано розпізнаються;

НД 2 – Працівники близько знаходяться біля обертових деталей, що мають підвищену безпеку.

НС – Попадання частин одягу в механізми, що рухаються.

Т – Травма.

Висновки по розділу.

Для запобігання травмам, пов'язаним з роздавання кормів і транспортними операціями (травми механічного характеру), важливе значення має впровадження комплексної механізації та автоматизації.

Крім цього, керівники повинні знати, що зварювальні роботи належать до робіт підвищеної небезпеки, виконання яких здійснюється роботодавцем на підставі декларації відповідності матеріально-технічної бази вимогам законодавства з питань охорони праці. Декларація видається у встановленому порядку Головним управлінням Держпраці та її територіальними органами.

5 ВИРОБНИЧА ПЕРЕВІРКА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

5.1 Виробнича перевірка результатів досліджень.

Для проведення виробничих перевірок, розроблених та адаптованих технологічних ліній та технічних засобів, потрібно вирішити організаційні питання з вибором господарств, відповідної кормової та виробничої бази, і навіть ряд технічних питань, що з безпосередньої виробничої перевіркою.

Економічна та виробнича оцінка запропонованих технікотехнологічних рішень проводилася на основі їх впровадження на тваринницькі підприємства різних форм господарювання у наступній послідовності (рис. 5.1).

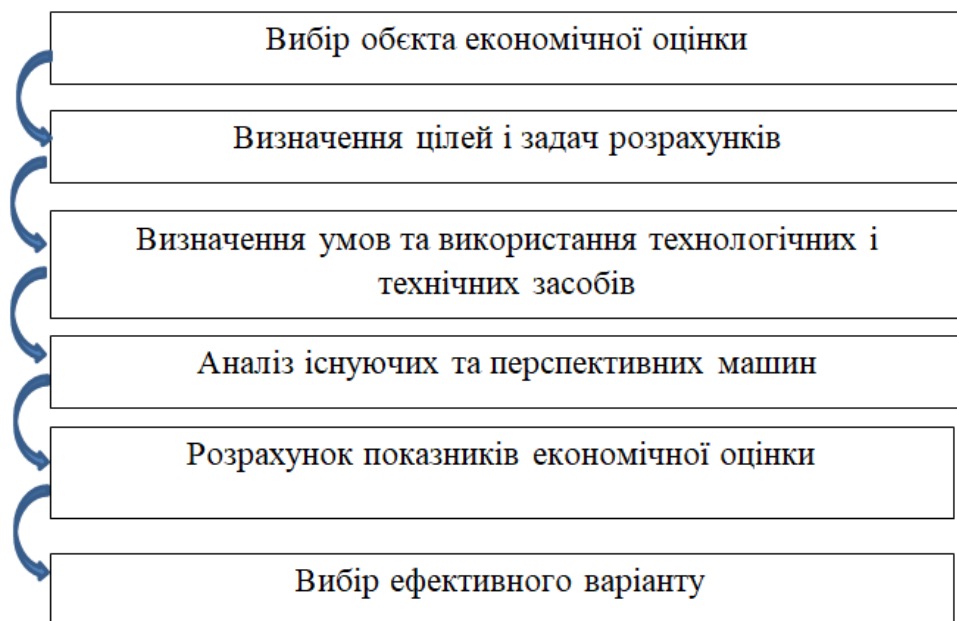


Рисунок 5.1 – Етапи економічної оцінки розробки та впровадження технологій та технічних засобів Розроблені схеми ПТЛ приготування кормів (рис. 2...)

Вибір об'єкта економічної оцінки
Визначення мети та завдань розрахунків, що проводяться. Аналіз техніко-економічних показників існуючих та пропонуєваних засобів механізації
Визначення умов застосування технологій та технічних засобів
Вибір найбільш ефективного варіанта
Розрахунок показників економічної оцінки .

Узагальнена ресурсозберігаюча конструктивно-технологічна схема ліній приготування кормів (рисунок 5.2) для тваринницьких підприємств ВРХ малих форм господарювання включає такі базові технічні засоби: подрібнювач грубих

кормів з дисковим робочим органом та ріжучими комбінованими сегментами; подрібнювач замоченого зерна сої з абразивними нерухомим та рухомим дисками, малогабаритний подрібнювач соковитих кормів, а також подрібнювач-змішувач кормів зі шнековими робочими органами, по периметру гвинтових поверхонь яких закріплені подрібнюючі сегменти.

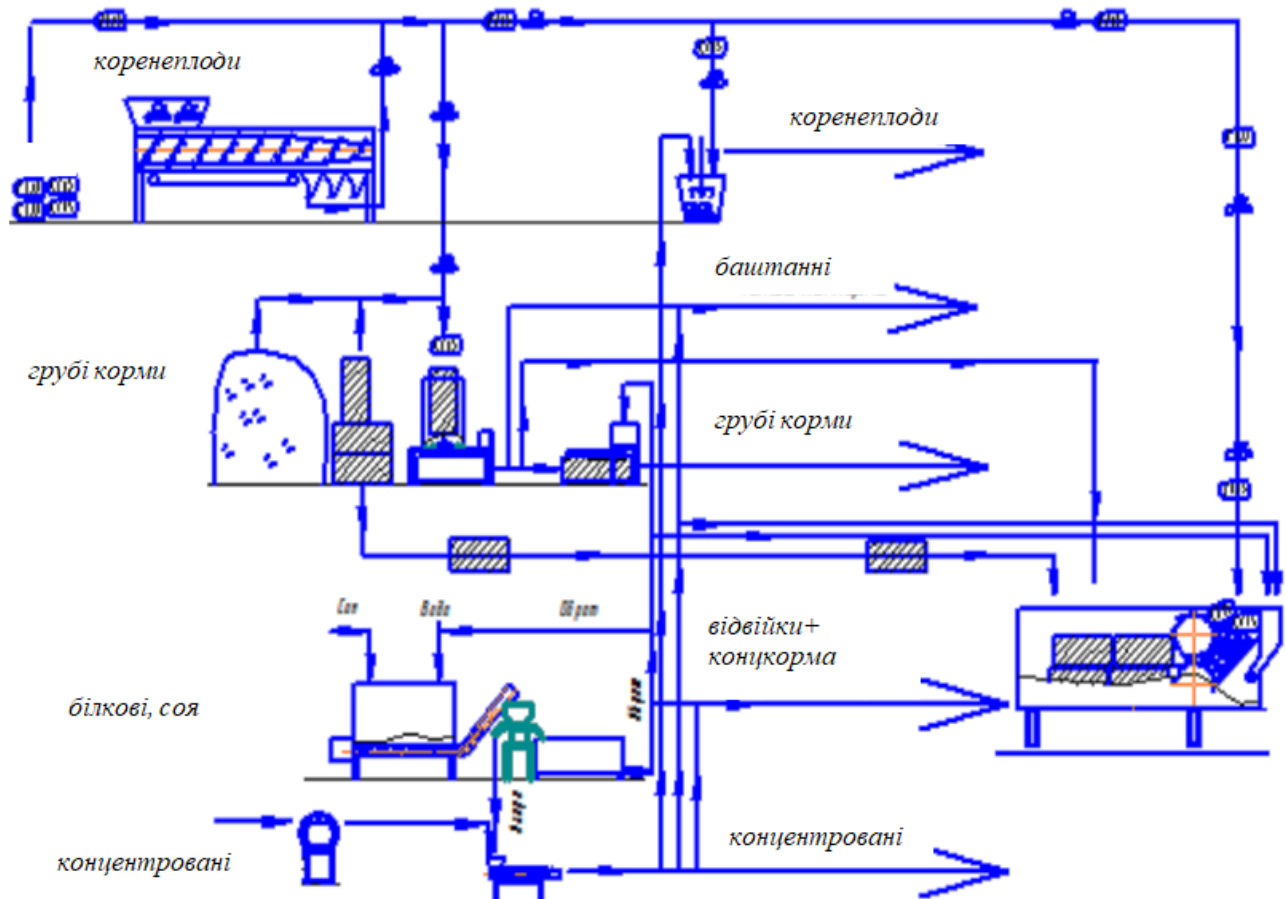


Рисунок 5.2 – Конструктивно-технологічна схема лінії приготування кормів та кормових сумішей на тваринницьких підприємствах малих форм господарювання. Блочно-модульний підхід, враховуючи спеціалізацію та кормові бази як особистих підсобних господарств (з поголів'ям ВРХ до 15 голів), малих, а також сімейних ферм з поголів'ям від 15 до 50 голів, дозволив спроектувати та обґрунтувати варіанти реалізації адаптованих технологій (рисунки 5.3-5.6).

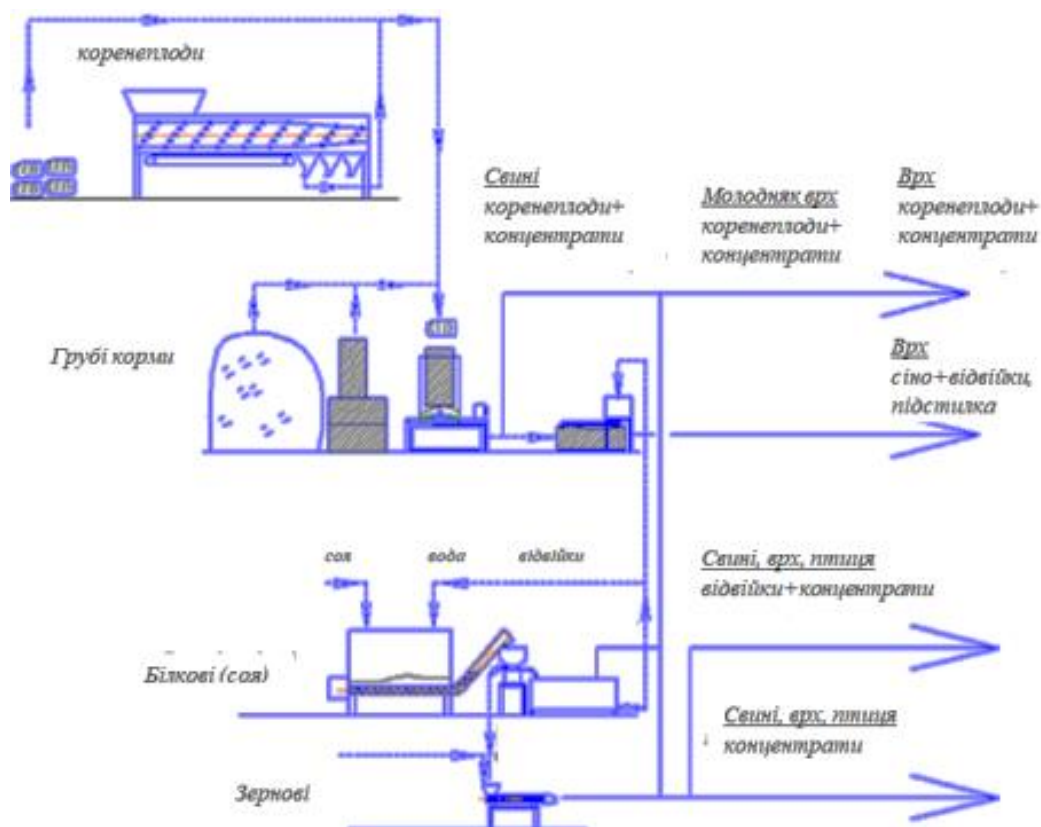


Рисунок 5.3 – Конструктивно-технологічна схема лінії приготування кормів та кормових сумішей:

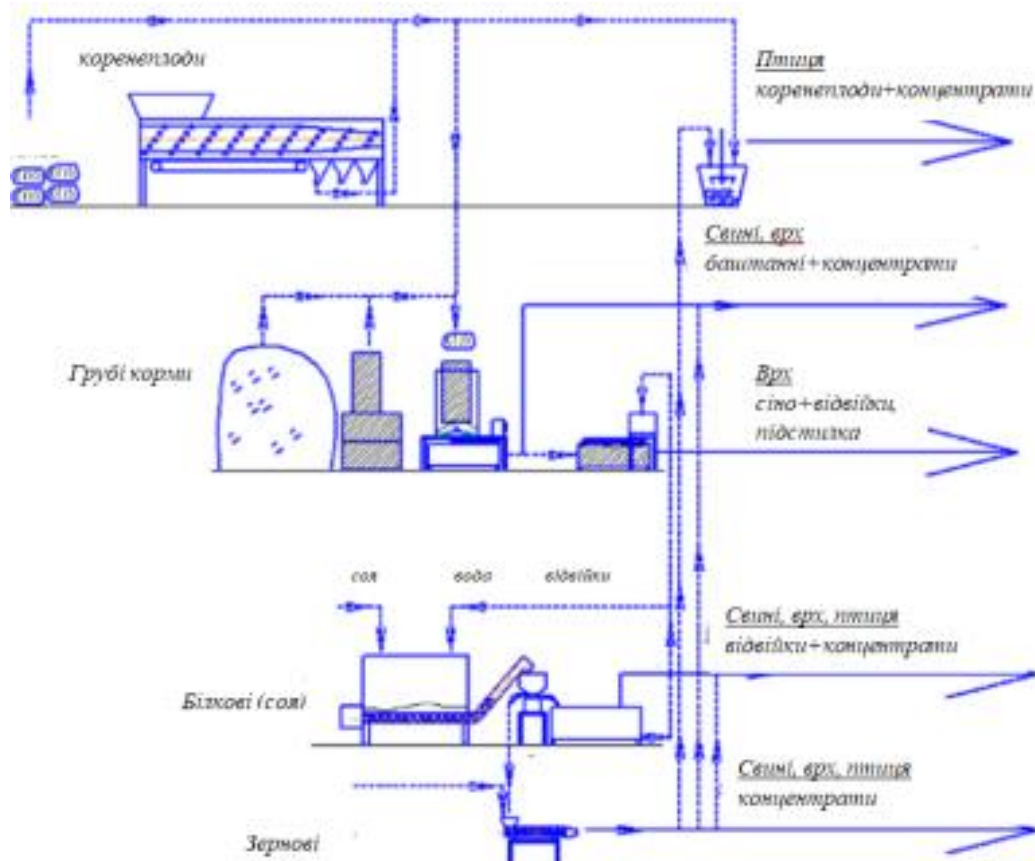


Рисунок 5.4 – Конструктивно-технологічна схема лінії приготування кормів та кормових сумішей.

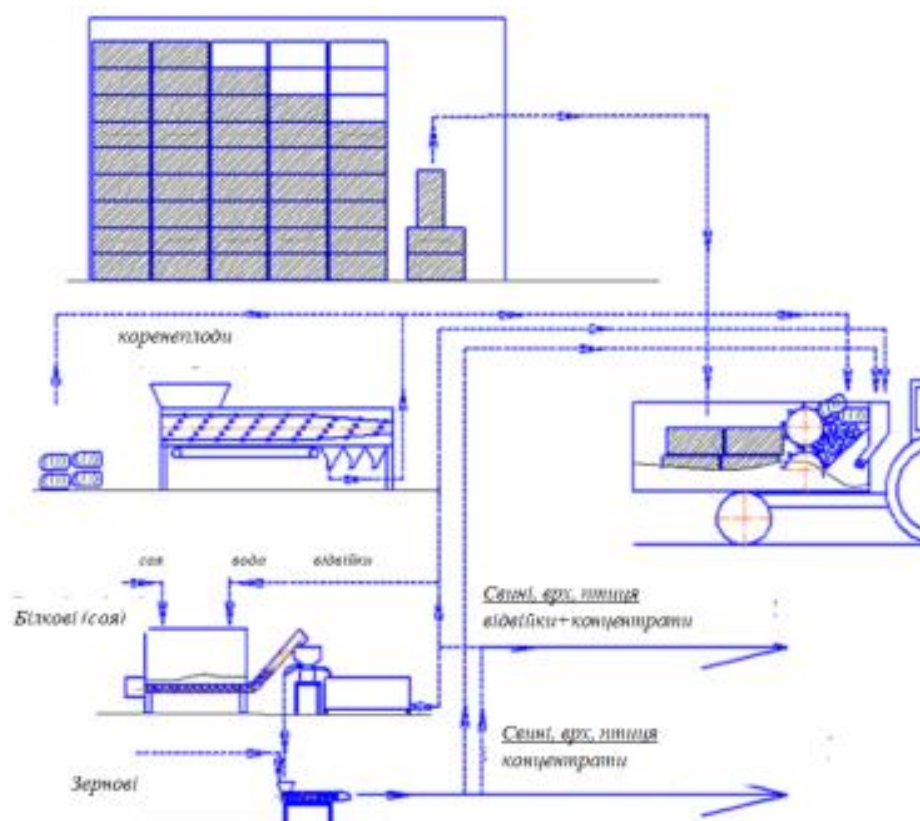


Рисунок 5.5 – Конструктивно-технологічна схема лінії приготування кормів та кормових сумішей.

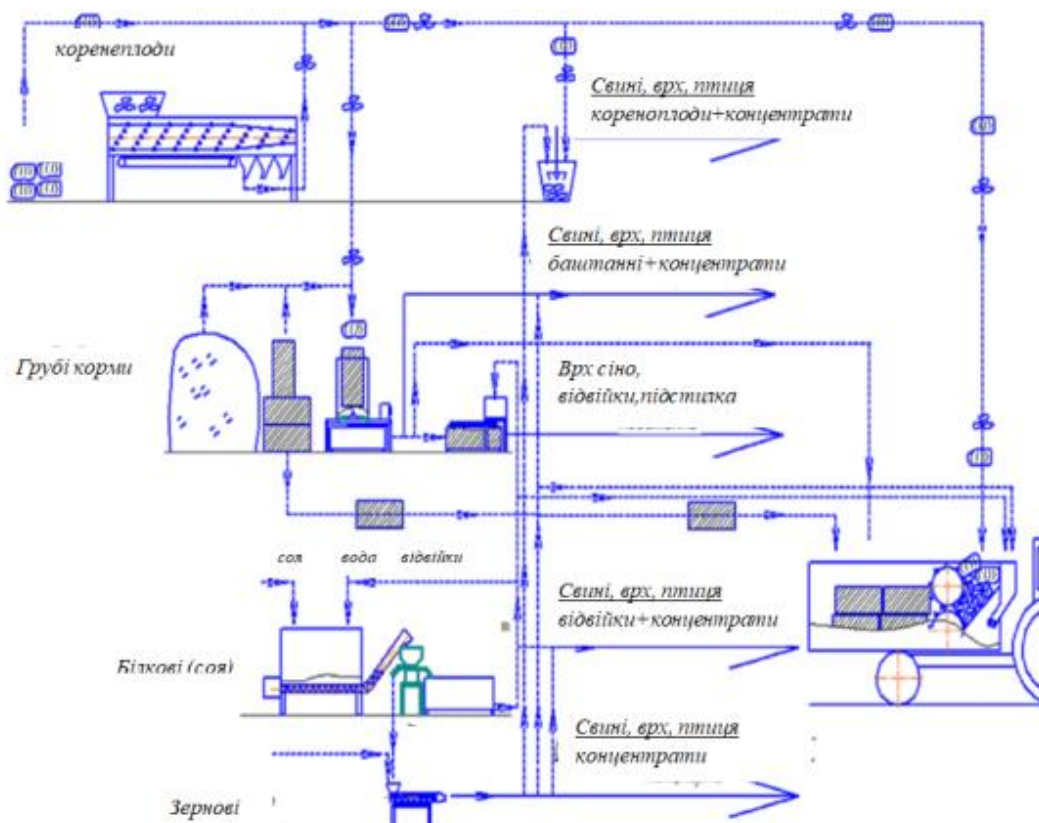


Рисунок 5.6 – Конструктивно-технологічна схема лінії приготування кормів та кормових сумішей.

При роботі технічних засобів у ході виробничої перевірки конструктивні та режимні параметри відповідали оптимальним значенням, отриманим під час теоретичних та експериментальних досліджень. Для подрібнювача замоченого зерна сої: час замочування зерна 6-7 год; гідромодуль $= 1 : 10$; температура води, що подається $t = 55\text{--}60^\circ\text{C}$; величина зерна абразиву $Ra = 420\text{--}450$ мкм; зазор між абразивними дисками $h = 37$ мм; кут напрямки борозенок $\alpha = 95^\circ$, частота обертання нижнього абразивного диска $\omega = 141$ рад/с. Для подрібнювача грубих кормів дискового типу з комбінованими різальними сегментами: кутова швидкість робочого органу $\omega = 4,6$ с⁻¹; кількість зубчастих сегментів, розташованих по периметру подрібнювального робочого органу $Z = 9$ прим.; кількість двоплощинних сегментів з дуговим профілем $n = 9$ шт.; кут між поверхнею робочого органу та горизонтальними зубчастими елементами $\alpha = 300$. Для сепаратора-очисника коренеплодів: показник кінематичного режиму $= 2,2$; діаметр шнеків $D_{\text{ш}} = 0,178$ м; крок навивки шнека $l = 0,68$ м; довжина робочої зони очищення $L_{\text{тр}} = 1,5$ м. Для шнекових робочих органів подрібнювача-змішувача: крок витків шнека $S = 0,2$ м; кількість сегментів на одному витку $Z_1 = 8$ шт.; лінійна швидкість подає транспортера $v_{\text{п}} = 0,005$ м/с, за вологості грубих кормів до $W_{\text{с}} < 17\%$.

При даних значеннях факторів встановлено, що грубий подрібнювач кормів забезпечує середньозважену довжину частинок $L_{\text{ср}} = 50$ мм за витрат потужності процес $N = 2,75$ кВт; сепаратор-очисник забезпечує ступінь очищення $\xi = 95,5\%$ при енергоємності $N = 0,71$ кг.

Вт год з продуктивністю Q від 2450 до 2500 кг/год. У процесі роботи подрібнювача-змішувача, приготовані кормові суміші відповідають зоотехнічним вимогам, неоднорідність суміші склала $\delta = 9,7\%$; однорідність гранулометричного складу грубих кормів $\lambda = 89,26\%$ за витрат потужності на привід $N = 7,8$ кВт.

Дана ПТЛ, розроблена на основі базової блочно-модульної схеми функціонування технологічної лінії приготування кормів та кормових сумішей у машинно-технологічній системі, є універсальною і може бути реалізована в

умовах тваринницьких підприємств малих форм господарювання різної спеціалізації, оскільки дозволяє виконувати операції: подрібнення замоченого зерна сої абразивними дисками рідинному середовищі; подрібнення грубих кормів комбінованими ріжучими сегментами дискового робочого органу; сухе очищення коренеплодів напівсферами, виконаними у вигляді шнекової навивки на робочих органах; доподрібнення та взаємного перерозподілу в процесі відділення та подачі на вивантажувальний транспортер шнековими робочими органами з подрібнюючими сегментами частинок компонентів раціону пошарово завантажених у бункері подрібнювача-змішувача.

Матеріали досліджень використовуються рядом навчальних та проектних інститутів сільськогосподарського профілю.

На підставі даних досліджень із застосуванням блочно-модульного підходу з ресурсозбереженням розроблені технології та технологічні схеми приготування кормових сумішей тварин. Порядок роботи обладнання в залежності від спрямованості наявної кормової бази з урахуванням сезонності визначено запропонованими варіантами (рисунки 5.2-5.6).

Згідно з наданими варіантами, з'являється можливість в умовах тваринницьких підприємств малих форм господарювання забезпечити своєчасну та якісну підготовку кормів та збалансованих сумішей з включенням білкових та вуглеводистих культур до раціонів годівлі тварин та птиці для повної реалізації їх генетичного потенціалу, підвищити ефективність функціонування системи їх годування, за рахунок зниження матеріальних та трудових витрат. Оптимальні результати досягаються за рахунок збалансованого годівлі тварин та птиці, без збільшення їх поголів'я та додаткових витрат на розширення кормової бази.

Нижче наведено методику розрахунку параметрів лінії та обладнання.

Вихідними даними для розрахунку лінії даного типу і входить до неї технологічного обладнання є:

– поголів'я тварин, що обслуговується;

– фізико-механічні показники, а також властивості сировини та кінцевої продукту.

Для лінії подрібнення білкових кормів мінімальний час циклу визначається за виразами для чого необхідно визначити продуктивність подрібнювача згідно з виразом потужності.

Щодо ліній підготовки грубих кормів, необхідно скоротити втрати корму і підвищити поїдання з урахуванням виразу забезпечивши максимальну продуктивність подрібнювача, яку можна порахувати за формулою з урахуванням мінімальної потужності, що витрачається на процес подрібнення, що розраховується за виразом.

Для ефективної роботи технологічної лінії післяжнивної обробки коренебульбоплоди необхідно звести до мінімуму час циклу, згідно з умовою. Для цього розраховується пропускна спроможність (продуктивність) очищувача-сепаратора коренеплодів за формулою, а також значення потужності за формулою.

Для ліній приготування та видачі кормових сумішей із компонентів пошарово завантажених у бункер, необхідно, згідно з умовою, звести до мінімуму час циклу, при цьому залежно від конструктивних параметрів шнекових робочих органів продуктивність визначимо за формулою, а енергія, що витрачається на процес подрібнення – за виразом, процес змішування – .

Техніко-економічну оцінку розроблених технологічних ліній визначають розрахунком на стадії проектування за допомогою рішення системи рівнянь та наявної сукупності експериментальних даних.

5.2 Економічна ефективність результатів досліджень.

При визначенні річного економічного ефекту від запровадження результатів наукових досліджень використовувалися відомі відповідні методики визначення економічної ефективності впровадження нової техніки [27-28].

Джерелами отримання економічного ефекту є:

- зниження матеріальних та трудових витрат, за рахунок поєднання ряду технологічних операцій, а також застосування раціональних способів обробки вихідної сировини та компонентів;

- ресурсозбереження метало- та енергоємності;

- підвищення якості приготування кормів.

В цілому, економічна ефективність від впровадження та експлуатації розроблених варіантів ліній приготування кормів в умовах тваринницьких підприємств малих форм господарювання з урахуванням поголів'я та спрямованості може визначитися за рахунок порівняння її з застосовуваною технологією приготування кормів.

Оскільки на ринку відсутні серійно-випущені комплексні рішення для приготування кормів, то в якості бази пропонується на першому На етапі порівняти основні операції технологічних ліній (таблиця 5.1).

Як видно з таблиці 5.1 лінія концкормів для базового та пропонованих варіантів ідентичні щодо процесу приготування, оскільки технологічних ліній та технічних засобів для її реалізації досить широко представлені на ринку виробників сільськогосподарської техніки, які можуть задовольнити споживачів як по продуктивності, так і по вартості машин. При цьому на тваринницьких підприємствах малих форм господарювання лінії приготування кормових сумішей поширені не досить широко, через неможливість адаптувати застосовувані технології та засоби механізації для приготування кормових сумішей у малі господарства, при цьому вони не завжди здатні забезпечити своєчасну та якісну підготовку кормів, яка відповідає зоотехнічним нормам.

Ще однією причиною є незадовільна організація освоєння нової техніки для механізації та автоматизації виробничих процесів, пов'язана з їхньою високою вартістю.

Таблиця 5.1 - Склад технологічного обладнання за процесами

№ п/п	Перелік операцій технологічних ліній	Варіанти	
		базовий	пропонований
1.	Лінія коренебульбоплоди		
	зберігання	+	+
	сепарація ручна	+	-
	очищення від забруднень мийка. сухе очищення + сепарація	+	+
	подрібнення	+	+
	змішування	+	+
	роздача	+	+
2.	Лінія грубих кормів		
	зберігання	+	+
	подрібнення	-	+
	змішування	-	+
	підвищення поживної цінності	+	+
	роздавання	+	+
3.	Лінія концкормів		
	зберігання	+	+
	подрібнення	+	+
	змішування	+	+
	роздача	+	+
4.	Лінія білкових кормів		
	зберігання	+	+
	замочування	+	+
	подрібнення + екстракція + поділ на фракції	+	+
	теплова обробка	+	+
	роздача	+	+
5.	Лінія приготування кормових сумішей		
	завантаження компонентів раціону	-	+
	подрібнення + змішування + дозована видача	-	+

Аналіз таблиці 5.1 показує, що джерелом отримання економічного ефекту є вдосконалення технологій та технічних засобів за рахунок скорочення енерговитрат та часу циклу приготування кормів при:

- згодовуванні тваринам якісних кормів та кормових сумішей;
- об'єднанні в один технічний засіб кілька технологічних операцій: сухого очищення та сепарації при підготовці коренебульбоплоди; подрібнення, екстракції білка та поділу на фракції при підготовці білкових кормів;
- зниження міцності зерна сої шляхом попереднього замочування.

При розрахунках як варіанти порівняння прийнято різні комплектації обладнання на основі розроблених технологічних схем (рисунок 5.2–5.6). Склад та характеристика порівнюваних комплектів обладнання технологічних ліній наведені у таблицях 5.2–5.5.

Відпускна ціна модернізованої машини визначалася як сума ціни прототипу та витрат на модернізацію

$$\text{ЦМ} = \text{ЦПР} + \text{М} + \text{П} + \text{ТЗ} + \text{ОЗ} + \text{ДЗ} + \text{ОС} + \text{ВП} + \text{ОХ}, \text{ грн.}$$

де ЦМ - відпускна вартість модернізованої машини, грн.; ЦПР - відпускна вартість прототипу, грн.; М - Витрати на матеріали, грн.; П – витрати на покупні вироби, грн.; ТЗ - транспортно-заготівельні витрати, грн.; ОЗ – основна зарплата, грн.; ДЗ - додаткова зарплата, грн.; ОС - відрахування на соціальні потреби, грн.; ОП - загальновиробничі витрати, грн.; ОХ - загальногосподарські витрати, грн.

Оскільки тваринницькі підприємства малих форм господарювання в основному здійснюють діяльність силами членів сім'ї, без застосування найманої праці, то витрати на основні процеси приготування кормів можна розподілити за такими статтями: на закупівлю машин та обладнання; електроенергію; амортизацію та поточний ремонт.

Таблиця 5.2 – Склад та характеристика обладнання лінії приготування грубих кормів

№ п/п	Найменування обладнання	Кількість, шт.	Встановлена потужність приводу, кВт	Оптова ціна, грн.
1.	Подрібнювач	1	3	20000
2.	Накопичувальна ємність, 0,8 м ³	1	-	5500
3.	Вантажний платформний візок (ТПУ-10 (800х1800мм) г/п 700 кг)	1	-	7000
СТАТТІ ВИТРАТ				
	На закупівлю машин та обладнання			32500
	Електроенергію			3200-6200
	Амортизацію та поточний ремонт			9100
	РАЗОМ			44000-47800

Таблиця 5.3 – Склад та характеристика обладнання лінії приготування коренеплодів.

№ п/п	Найменування обладнання	Кількість, шт.	Встановлена потужність приводу, кВт	Оптова ціна, грн.
1.	Очищувач-сепаратор (продуктивність, 5 т/год)	1	0,5	25000
2.	Накопичувальна ємність, 20 л	4		150
3.	Вантажний платформний візок (ТПУ-10) (800х1800мм) г/п 700 кг)	1		7000
4.	Подрібнювач	1		1500
5.	Привід подрібнювача (дриль)	1	0,5	2500
СТАТТІ ВИТРАТ				
	На закупівлю машин та обладнання			36600
	Електроенергію			3100
	Амортизацію та поточний ремонт			14300
	РАЗОМ			53000

Таблиця 5.4 – Склад та характеристика обладнання лінії приготування білкових кормів.

№ п/п	Найменування обладнання	Кількість, шт.	Встановлена потужність приводу, кВт	Оптова ціна, грн.
1.	Накопичувальна ємність, 0,8м ³	1	0,5	5500
2.	Бункер-дозатор	1	-	3000
3.	Вантажний платформний візок (ТПУ-10) (800х1800мм) г/п 700 кг)	1	-	7000
4.	Подрібнювач	1	1	7500
5.	Накопичувальна ємність, 20 л	4	-	150
СТАТТІ ВИТРАТ				
На закупівлю машин та обладнання				16100
Електроенергію				600
Амортизацію та поточний ремонт				6300

Таблиця 5.5 – Склад та характеристика обладнання лінії приготування кормових сумішей.

№ п/п	Найменування обладнання	Кількість, шт.	Встановлена потужність приводу, кВт	Оптова ціна, грн.
1.	Подрібнювач-змішувач	1	5	70000
2.	Бункер дозатор концкормів	1	-	5500
3.	Бункер рідких добавок	1	-	1500
СТАТТІ ВИТРАТ				
На закупівлю машин та обладнання				77000
Електроенергію				36000
Амортизацію та поточний ремонт				21600
РАЗОМ				134600

Виробнича перевірка, проведена на тваринницьких підприємствах Краснодарського та Ставропольського країв запропонованих адаптованих технологічних ліній та розроблених базових технічних засобів показала надійність їх функціонування та забезпечення високої ефективності виконання процесів приготування кормів, що відповідають зоотехнічним вимогам. Встановлено зниження витрат ручної праці на приготування кормів у 2,2 рази, підвищення продуктивності ліній на 14–17 %.

В результаті виробничої перевірки розроблених технічних коштів у складі запропонованих варіантів ліній приготування кормів, отримано дані для розрахунку та обґрунтування техніко-економічної ефективності.

Оцінка економічної ефективності проведена з урахуванням розробленої математичної моделі методом накладення на модельні господарства, як який був використаний розмірний ряд. Особисті підсобні господарства з поголів'ям ВРХ 5, 15 голів та селянські (фермерські) господарства з поголів'ям 50 голів.

Абсолютні економічні показники з розробленої, спеціалізованої та універсальної техніки на окремих технологічних операціях визначимо відповідно до ДСУ у розрахунку на одиницю виробленої продукції..

Сукупні витрати коштів на одиницю напрацювання ІЗЗ, грн./од., обчислимо за формулою:

$$I_{\text{ЗЗ}} = (I + I_{\text{кп}} + I_{\text{е}}), (5.2)$$

де I – прямі експлуатаційні витрати коштів, грн./од. напрацювання; $I_{\text{кп}}$ - витрати коштів, що враховують зміну кількості та якості продукції, грн. / Од. напрацювання; $I_{\text{е}}$ - витрати коштів, що враховують негативне вплив на довкілля, грн./од. напрацювання.

Як показує практика, згодовування суміші подрібнених грубих і соковитих кормів забезпечить $\square_{\text{г.с.}} = 0,025$, а з додаванням концентрованих і вуглеводистих $\square_{\text{г.с.кк.у.}} = 0,05-0,075$; термохімічна обробка грубих кормів $\square_{\text{г}^{\circ}} = 0,15-0,18$; приготування повнораційної кормової суміші $\square_{\text{сб.р.}} = 0,18-0,24$.

Отримана фактична продуктивність обумовлена матеріальними можливостями підприємств із механізації основних операцій приготування кормів. Так при надої 3200 кг/гол. продуктивність можна збільшити на 80–240 кг, що забезпечить отримання додаткового прибутку у розмірі 8–24 тис. руб на 5 гол. ВРХ. Аналогічно розраховується додатковий прибуток за іншими лініями. Додатково до цього, з урахуванням застосування окремих машин та обладнання у різних лініях, можливо додатково скоротити витрати на придбання машин.

Річна економія від впровадження в існуючу технологічну лінію приготування кормів розроблених машин замість базових визначали з виразу:

де i – прямі витрати на виконання річного обсягу робіт у базовому і запропонованому варіантах відповідно, грн.

Враховуючи сукупні витрати та отримуваний прибуток, фермер може вибирати комплект машин, необхідні приготування сумішей з наявних кормових компонентів раціону.

Сумарні витрати на механізацію основних процесів приготування кормів склали 5 голів ВРХ - 25 тис. грн. для підготовки грубих і зернові кормів, на 15 – 65 тис. крб. (грубі, зернові, білкові корми), для 50 - 120 тис. грн. (грубі, зернові, білкові корми, коренеплоди).

Виявлено, що застосування розробленого комплексу машин збільшує якість приготування кормів у порівнянні з базовим варіантом від 4 до 23 %, та підвищує на 1,1–2,7 % отримання основної продукції. Термін окупності витрат за всіма варіантами вбирається у 3,8 роки.

ВИСНОВКИ

1. На основі розробленої математичної моделі виробництва продукції тваринництва обґрунтовано із застосуванням системного підходу методи підвищення якості приготування основних кормів раціону ВРХ в умовах підприємств малих форм господарювання та проведено аналітичну

оцінка впливу їхньої сукупності на показники ефективності. Встановлено, що коефіцієнт ефективності підсистеми «корма, годування» мінімальний і знаходиться в межах $0,05 \leq k \leq 0,15$.

2. Розроблена математична модель оцінки ефективності роботи ліній приготування кормів на підприємствах малих форм господарювання дозволяє на стадії проектування враховувати сукупність основних факторів, що впливають на склад та функціонування системи, що оцінюється, а також сумірність матеріально-трудових витрат та отримання додаткової прибутку і під час певних технологічних заходів, вкладених у підвищення якості приготування кормів.

3. Узагальнена структурно-технологічна схема процесів приготування основних компонентів раціону на основі принципу трансформації кормових потоків дозволяє використовувати окремі блоки, а для реалізації адаптованих ресурсозберігаючих технологій механізованого приготування кормів в умовах тваринницьких підприємств малих форм господарювання розроблено та вдосконалено базові конструкції машин основного складу: подрібнювач грубих кормів, коренебульбоплоди, замоченого зерна сої; очищувач сепаратор коренебульбоплоди; подрібнювач-змішувач кормів, та ін.

4. У результаті теоретичних досліджень встановлено такі математичні залежності:

- продуктивності та споживаної енергії від конструктивнорежимних параметрів подрібнювача з абразивними дисковими робочими органами в процесі стирання замоченого зерна сої в рідинному середовищі з одночасною екстракцією білка та поділом рідкої та твердої фракцій;

- пропускної спроможності та потужності подрібнювача грубих кормів від конструкції дискового робочого органу та конфігурації та кількості комбінованих ріжучих сегментів;

- оцінки якості сухого очищення бульбоплодів напівсферами, виконаними у вигляді шнекової навивки на робочих органах, та визначення пропускної спроможності та потужності сепаратора;

- конструктивних параметрів та оцінки подрібнювально-змішувальної здатності шнекових робочих органів з подрібнюючими сегментами, що забезпечують ефективне перерозподіл частинок компонентів між собою при «пошаровому» формуванні кормового моноліту в бункері подрібнювача-змішувача.

5. Експериментальні дослідження дозволили одержати моделі у вигляді адекватних рівнянь регресії, на основі яких визначено оптимальні (раціональні) значення параметрів, розроблених технічних засобів у потокової лінії, що забезпечують показники якості приготування кормів:

□ для подрібнювача замоченого зерна сої: час замочування зерна 6–7 год; гідромодуль = 1 : 10; температура води, що подається $t = 55\text{--}60\text{ }^{\circ}\text{C}$; величина зерна абразиву $Ra = 420\text{--}450\text{ мкм}$; зазор між абразивними дисками $h = 3,7\text{ мм}$; кут напрямку борозенок $\alpha = 95^{\circ}$, частота обертання нижнього абразивного диска $\omega = 141\text{ рад/с}$;

□ для подрібнювача грубих кормів з комбінованими ріжучими сегментами: кутова швидкість робочого органу $\omega = 3,2\text{--}4,6\text{ с}^{-1}$; кількість сегментів, розташованих за периметром робочого органу $Z = 9\text{ шт.}$; кількість двоплощинних сегментів із дуговим профілем $n = 9\text{ шт.}$; кут між поверхнею робочого органу та горизонтальними подрібнюючими елементами $\alpha = 30^{\circ}$.

□ для сепаратора-очисника коренеплодів: показник кінематичного режиму = 2,2; діаметр шнеків $D_{ш} = 0,178\text{ м}$; крок навивки шнеків $l = 0,68\text{ м}$; довжина робочої зони очищення $L_{тр} = 1,5\text{ м}$;

□ для шнекових робочих органів, що відокремлює-змішують, подрібнювача-змішувача: крок витків шнека $S = 0,2\text{ м}$; кількість сегментів на одному витку $Z_1 = 8\text{ шт.}$; лінійна швидкість транспортера, що подає $v_n = 0,005\text{ м/с}$, при допустимій вологості грубих кормів $W_c < 17\%$.

6. У ході виробничої перевірки технологічних ліній та технічних засобів, проведеної в ряді господарств, підтверджено отримані результати теоретичних та експериментальних досліджень, на основі яких встановлено, що подрібнювач забезпечує рівномірність та якість подрібнення грубих кормів при середньозваженій довжині фракції $L_{ср} = 50\text{ мм}$ та витратах потужності на процес $N = 2,75\text{ кВт}$; сепаратор-очисник забезпечує ступінь очищення $\xi = 95,5\%$ при енергоємності $N = 0,71\text{ Вт}\cdot\text{ч/кг}$ з продуктивністю Q від 2450 до 2500 кг/год.

Підготовлені в процесі роботи подрібнювачі-змішувачі кормові суміші відповідають зоотехнічним вимогам, нерівномірність змішування компонентів склала $\delta = 9,7\%$; однорідність складу частинок подрібненого корму $\gamma = 89,26\%$ при витратах потужності на привід $N = 7,8\text{ кВт}$.

7. На основі отриманих даних за блочно-модульною схемою для умов тваринницьких підприємств малих форм господарювання різної спеціалізації

запропоновано варіанти конструктивно-технологічних схем ліній приготування кормів та розроблено рекомендації щодо їх ефективного використання. Реалізація комплексу запропонованих рішень дозволила збільшити коефіцієнт ефективності системи до $0,18 \leq k \leq 0,24$. При визначенні техніко-економічної ефективності розроблених технологічних рішень та технічних засобів для різного поголів'я, раціонів та складу машин виявлено скорочення витрат ручної праці від 7 до 24 %, підвищення продуктивності праці на 14–17 % та збільшення обсягу виробництва додаткової продукції на 2,7 %.

Використана література.

1. Адмін О.Є., Гребень Л.Г. Технологія приготування та згодовування кормових сумішей для великої рогатої худоби / Матеріали міжнародної науково-практична конференції “Стратегічні напрями розвитку тваринництва в Україні к контексті національної продовольчої безпеки”, 30-31 жовтня 2012 року. – Біла Церква, 2014.
2. Бузун І.А. Потоківі технології виробництва молока. - К.: Урожай, 1989. - 192 с.
3. Войналович О.В. Безпека виробничих процесів у сільськогосподарському виробництві. / Войналович О.В., Марчишина Є.І., Кофто Д. Г. / - К.: Видавничий центр НУБіП України, 2015. – 418
4. Галкін А.Ф. Основи проектування тваринницьких ферм.- М.: Колос, 1978 - 367 с.
5. Гребень Л., Адмін О., Балащенко С. Технологія приготування кормів // Пропозиція - 2013. - №6. – С.182-183.
6. Гриник Г.М., Лехман С.Д., Бутко Д.А. та ін. Охорона праці. – К.: Урожай, – 287с.
7. Егорченков М.Н., Шамоу Н.Г. Кормоцехи тваринницьких ферм. - М: Колос, 1983.- 175 с.
8. Завражнов А.И., Николаев Д.И. Механізація приготування і зберігання кормів.-М.: Агропромиздат, 1990 - 336 с.
9. Справочник по ремонту машин для ферм /Д.Н. Мурусидзе, В.В. Кирсанов, А.И. Чугунов ті інш. – М.:Колос, 2005. – 296с.
10. Луценко М.М., Іванишин В.В., Смоляр В.І. Перспективні технології виробництва молока. - Монографія. - К.: ВЦ «Академія». - 2006. - 192 с.
11. Машини для тваринництва та птахівництва. Посібник: За ред. Кравчука В.І., Мельника Ю.Ф. – Дослідницьке: УкрНЖПВТ ім. Л.Погорілого. – 2009. – 207 с.
12. Машини та обладнання для тваринництва: Посібник практикум / І.І.Ревенко, М.В.Брагінець, О.О.Заболотько та ін.; К.: Кондор, 2012. – 562 с.

13. Машинне доїння корів і первинна обробка молока /А.І. Фененко, С.П. Москаленко, В.Д. Роговий, К.Ф. Слободяник; За ред. А.І. Фененка. .- К.: Урожай, 1990.-216 с. 269
14. Машиновикористання у тваринництві: Підручник для студентів вищих аграрних навчальних закладів III-IV рівнів акредитації / І.І.Ревенко, О.О. Заболотько, В.С. Хмельовський. – К. : ЦП «Компринт», 2016. – 260 с
15. Монтаж і пусконаладження фермської техніки / І.І. Ревенко, М.В. Брагінець, В.Д. Роговий та ін. ; За ред. І.І. Ревенка.-К.: Кондор, 2004. - 400 с.
16. Носов Ю.М. Проектування технологічних процесів у тваринництві і птахівництві. – Львів: «Новий Світ - 2000», 2014. – 498с.
17. Підприємства птахівництва. ВНТП - АПК - 02.05, Київ, 2005. 25. Проектування механізованих технологічних процесів тваринницьких підприємств /І.І.Ревенко, В.Д.Роговий, В.І.Кравчук та ін.; За ред. І.І.Ревенка. - К: Урожай, 1999.- 192 с
18. Проектування механізованих технологічних процесів у тваринництві. За ред. І.М. Бендери, В.П. Лаврука – Кам'янець-Подільський: ФОП Сисин О.В., 2011. – 564с.
19. Проектування технологій і технічних засобів для тваринництва. За ред. Скорика О.П., Полупанова В.М. – Харків: ХНТУСГ, 2009.-429с.
20. Ревенко І.І., Мозоленко С.М., Чос М.М. Посібник майстра–наладчика обладнання тваринницьких ферм і комплексів. – К.: Урожай, 1992. – 264 с.
21. Сироватка В.И., Теплицкий С.Г., Карташов С.Г. Применение ЭВМ при оптимизации технологических линий в животноводстве. - М.: Агропромиздат, 1988,- 70 с. 32. Скотарські підприємства (комплекси, ферми, малі ферми) ВНТП - АПК -01.05. Мінагрополітики України. - Київ, 2005.
22. Чубов Д.С., Авраменко О.А., Пономарьов П.І. Посібник слюсаря–механізатора тваринницьких ферм і комплексів. – К.: Урожай, 1985. – 272 с.
- 23.Ревенко І.І., Щербак В.М. Обладнання тваринницьких ферм і комплексів. – К.: Кондор, 2010. – 164 с. 30. Свинарські підприємства (комплекси, ферми, малі ферми) ВНТП - АПК - 02.05. Мінагрополітики України. - Київ, 2005.

24. Sysoev D. P. Improvement of the livestock production efficiency / V. Yu. Frolov, D. P. Sysoev, M. I. Tumanova // *British Journal of Innovation in Science and Technology*. – 2016. – T. 1. № 1. – С. 25–34.
25. Sysoev D. P. Improvement of the feed preparation and distribution processes on small farms / D. P. Sysoev, V. Yu. Frolov, I. S. Ponomarenko // *British Journal of Innovation in Science and Technology*. – 2016. – T. 1. № 2. – С. 39–48.
26. Van der Maas J., Jakob R., Ammann H. Mobile Futterungssysteme. // *FAT – Tanikon*. – 1998. – № 522. – P. 1 – 14.
27. Liepe M. Paddewellenmischer als einfache Mechanischemittel zum kontinuierlichen Mischen / NiUepe // *Agrartechnik*. – 1990. – Ks 12. – S.323–325.
28. Fuldfoderblandere – bilag. FarmTest – Kvæg № 6. – 2001. – 93 s.
29. Fehnlauer M. Hinweise zur Entwicklung und zum Betrieb von Futtermischen / M. Fehnlauer, M. Albert // *Agrartechnik*. – № 9. – S. 398–400.
30. Machinery for Livestock Production Manufactured by Leading Foreign Companies / Catalogue. – M. : FGNU «Rosinformagrotekh», 2002. – 84 s.
31. Roesicke E. Milchviehfütterung heute leistungs- und kostenorientiert / E. Roesicke. – Bonn. : aid, 2000. – 62 S.
32. Mica OPTIMIX foderblander // *Proverapp Stat jozolzbugstekn forsog*, 1986. – №739-756. – С. 742/1–742/7.
33. Feed grindez – mixers – Implem and Tract, 1994. № 3.