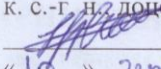


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ БІОТЕХНОЛОГІЙ ТА АКВАКУЛЬТУРИ
КАФЕДРА ГЕНЕТИКИ, РОЗВЕДЕННЯ ТА ГОДІВЛІ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ТВАРИН

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри

к. с.-г. н. доцент

 Ігор НІКОЛЕНКО

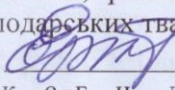
« 10 » червня 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

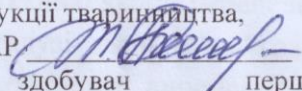
на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»
освітньої програми «Технологія виробництва і переробки
продукції тваринництва»
за спеціальністю 204 Технологія виробництва і переробки
продукції тваринництва

**АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА КОМБІКОРМУ-
КОНЦЕНТРАТУ ДЛЯ ДІЙНИХ КОРІВ В УМОВАХ ФОП РІЗНИЧУК
І.Ф.**

Науковий керівник: к. с.-г. н., доцент
кафедри генетики, розведення та годівлі
сільськогосподарських тварин

Зоя ЄМЕЦЬ 

Рецензент: к. с.-г. н., доцент, завідувач
кафедри технології виробництва і
переробки продукції тваринництва,

Тетяна ПУШКАР 

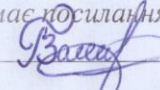
Виконав здобувач першого
(бакалаврського) рівня вищої освіти
денної форми навчання

освітньо-професійна програма «Технологія
виробництва і переробки продукції
тваринництва»

спеціальність 204 Технологія виробництва і
переробки продукції тваринництва

Володимир ГАРБАР

Засвідчую, що кваліфікаційна робота
містить результати власних досліджень.
Використання ідей і текстів інших авторів
має посилання на відповідне джерело.

 Володимир ГАРБАР

Одеса – 2026

ЗМІСТ

Реферат	4
Перелік умовних скорочень	6
Вступ	7
РОЗДІЛ 1. Огляд літератури	11
1.1.	Сучасний стан виробництва комбікормів для великої рогатої худоби в Україні та світі 11
1.2.	Породи дійних корів, їх коротка характеристика та біологічні особливості 13
1.3.	Значення комбікормів-концентратів у годівлі високопродуктивних дійних корів 16
1.4.	Потреба дійних корів у поживних, мінеральних та біологічно активних речовинах 18
1.5.	Сировина для виробництва комбікормів-концентратів та її характеристика 23
1.6.	Технології виробництва комбікормів-концентратів для великої рогатої худоби 26
1.7.	Контроль якості комбікормової продукції 29
1.8.	Перспективи удосконалення технології виробництва комбікормів для молочного скотарства 31
РОЗДІЛ 2. Матеріал, умови і методика виконання роботи	34
2.1.	Виробничо-технічна та зоотехнічна характеристика комбікормового підприємства ФОП Різничук І.Ф. 34
2.2.	Характеристика комбікормового виробництва підприємства 35
2.3.	Методи досліджень та аналізу технологічного процесу 38
2.4.	Методики визначення якості сировини та готової продукції 40
РОЗДІЛ 3. Аналіз технології виробництва комбікорму-концентрату для дійних корів	43
3.1.	Обґрунтування рецептури комбікорму-концентрату та розрахунок його повної поживної цінності 43

3.2.	Вхідний контроль та фізико-технологічна оцінка сировинних компонентів	47
3.3.	Інженерно-технологічна експертиза виробничого процесу кормоцеху	49
3.4.	Математичний аналіз та інженерна оцінка роботи основного технологічного обладнання	50
3.4.1.	Молоткова дробарка ДДМ-5 та ситовий аналіз гранулометрії	50
3.4.2.	Горизонтальний змішувач та розрахунок коефіцієнта варіації (C_v)	51
3.5.	Організація операційного контролю та критичні точки безпеки (НАССР)	53
3.6.	Зоотехнічний аналіз та моделювання впливу дисбалансу змішування на продуктивність ВРХ	54
Висновки		56
Пропозиції		58
Список використаної літератури		60

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота здобувача 4 курсу першого (бакалаврського) рівня вищої освіти Гарбара Володимира Степановича, виконана на 62 сторінках комп'ютерного тексту, містить 12 таблиць.

В списку літератури використано 26 джерел, із них 6 іноземних.

Метою кваліфікаційної роботи є проведення комплексного аналізу існуючої технології виробництва комбікорму-концентрату для дійних корів в умовах ФОП Різничук І.Ф.

Для досягнення поставленої мети було визначено та вирішено такі завдання:

1. Вивчити та узагальнити теоретичні та практичні підходи до годівлі дійних корів та ролі комбікормів-концентратів у забезпеченні їхньої продуктивності на основі аналізу сучасної наукової літератури.
2. Надати організаційно-економічну та господарську характеристику ФОП Ігор Федорович Різничук та проаналізувати структуру його комбікормового підрозділу.
3. Проаналізувати чинну рецептуру, сировинну базу та оцінити поживну цінність комбікорму-концентрату, що виготовляється в ФОП.
4. Здійснити детальний поопераційний аналіз технологічної схеми виробництва (приймання, сепарація, подрібнення, дозування, змішування, зберігання) з визначенням параметрів роботи основного технологічного обладнання.
5. Оцінити систему контролю якості сировинних компонентів та готової продукції, що діє на підприємстві.
6. Виявити технологічні недоліки, відхилення від нормативних показників та запропонувати шляхи модернізації або оптимізації виробничого процесу.
7. Розрахувати очікуваний зоотехнічний та економічний ефект від впровадження запропонованих рішень.

Об'єкт дослідження. Процес виробництва комбікормів-концентратів для великої рогатої худоби в умовах фермерського господарства.

Предмет дослідження. технологічні операції, рецептура, параметри роботи обладнання, показники якості сировини та готового комбікорму-концентрату для дійних корів, що виготовляється ФОП.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених завдань у роботі застосовувалися такі методи:

зоотехнічні, технологічні, порівняльно-історичні та статистичні, аналітичні, а також економіко-математичні методи.

За рахунок покращення сировинної бази для виробництва комбікормів шляхом використання якісної та збалансованої кормової сировини можливо забезпечити ВРХ поживними речовинами, що позитивно впливає на їх ріст, розвиток і подальшу продуктивність.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ФОП – фізична особа підприємець

кг – кілограм

г – грам

мг – міліграм

ДСТУ – Державний стандарт технічних умов

ВСТУП

На сучасному етапі розвитку агропромислового комплексу України молочне скотарство є однією з ключових галузей, що забезпечує продовольчу безпеку держави та постачає сировину для харчової промисловості. Ефективне ведення молочного бізнесу та підвищення конкурентоспроможності вітчизняної продукції в умовах євроінтеграції безпосередньо залежать від інтенсифікації виробництва, основою якої є повна реалізація генетичного потенціалу продуктивності великої рогатої худоби (ВРХ). Генетичний потенціал сучасних молочних порід (зокрема української чорно-рябої та червоно-рябої молочних порід, голштинізованої худоби) дозволяє отримувати понад 8 000–10 000 кг молока за лактацію. Проте рівень реалізації цього потенціалу в більшості господарств залишається недостатнім, що зумовлено передусім незбалансованістю раціонів годівлі за енергією, протеїном, макро- та мікроелементами, вітамінами.

Годівля високопродуктивних дійних корів вимагає застосування високоякісних комбікормів-концентратів, здатних компенсувати дефіцит поживних речовин, який виникає при споживанні виключно об'ємистих кормів (силосу, сінажу, сіна). Використання концентрованих кормів низької якості, незбалансованих за амінокислотним складом або з порушеннями технологічних параметрів виготовлення (наприклад, нерівномірне змішування, неоптимальний фракційний склад після подрібнення), призводить до виникнення метаболічних розладів у тварин (ацидоз, кетоз), зниження соматичного здоров'я, погіршення відтворювальної здатності та швидкого виранжування високоцінних тварин з основного стада.

В умовах малого та середнього агробізнесу, яскравим представником якого є ФОП Різничук І.Ф., організація власного або локального виробництва комбікормів-концентратів є економічно виправданим кроком, що дозволяє знизити собівартість кінцевої продукції скотарства, оперативно реагувати на зміну фізіологічного стану тварин та гнучко корегувати рецептуру кормів

залежно від наявної власної сировинної бази. Разом з тим, ефективність такого виробництва повністю залежить від суворого дотримання технологічного регламенту на кожному етапі — від приймання та очищення зернової сировини до фінішного дозування, змішування та пакування. Проведення детального аналізу діючої технологічної лінії виробництва комбікормів-концентратів на підприємстві є критично важливим для виявлення "вузьких місць" процесу, мінімізації витрат енергоресурсів, запобігання втратам сировини та підвищення загальної поживної цінності кормів. Все це обумовлює високу актуальність обраного напрямку дослідження.

Мета і завдання роботи. Метою кваліфікаційної роботи є проведення комплексного аналізу існуючої технології виробництва комбікорму-концентрату для дійних корів в умовах ФОП Різничук І.Ф., оцінка відповідності готової продукції сучасним зоотехнічним вимогам та розробка науково обґрунтованих пропозицій щодо вдосконалення технологічного процесу для підвищення якості кормів та ефективності їх використання.

Для досягнення поставленої мети було визначено такі основні завдання:

- Вивчити та узагальнити теоретичні та практичні підходи до годівлі дійних корів та ролі комбікормів-концентратів у забезпеченні їхньої продуктивності на основі аналізу сучасної наукової літератури.
- Надати організаційно-економічну та господарську характеристику ФОП Різничук І.Ф. та проаналізувати структуру його комбікормового підрозділу.
- Проаналізувати чинну рецептуру, сировинну базу та оцінити поживну цінність комбікорму-концентрату, що виготовляється в ФОП.
- Здійснити детальний поопераційний аналіз технологічної схеми виробництва (приймання, сепарація, подрібнення, дозування, змішування, зберігання) з визначенням параметрів роботи основного технологічного обладнання.
- Оцінити систему контролю якості сировинних компонентів та готової продукції, що діє на підприємстві.

- Виявити технологічні недоліки, відхилення від нормативних показників та запропонувати шляхи модернізації або оптимізації виробничого процесу.

- Розрахувати очікуваний зоотехнічний та економічний ефект від впровадження запропонованих рішень.

Об'єкт та предмет дослідження.

- *Об'єкт дослідження* — процес виробництва комбікормів-концентратів для великої рогатої худоби в умовах фермерського господарства.
- *Предмет дослідження* — технологічні операції, рецептура, параметри роботи обладнання, показники якості сировини та готового комбікорму-концентрату для дійних корів, що виготовляється ФОП Ігор Федорович Різнічук.

Методи дослідження. При виконанні роботи було застосовано комплекс методів досліджень: зоотехнічні (оцінка поживності раціонів та хімічного складу кормів), технологічні (визначення гранулометричного складу, однорідності змішування, щільності та вологості сировини), порівняльно-історичні та статистичні (аналіз виробничих показників за останні роки), аналітичні (моделювання рецептур кормів), а також економіко-математичні методи для оцінки ефективності виробничих процесів та капіталовкладень.

Практичне значення роботи. Сформульовані за результатами аналізу висновки та розроблені рекомендації мають безпосереднє практичне значення для ФОП Різничук І.Ф.. Оптимізація фракційного складу подрібнення компонентів та підвищення коефіцієнта однорідності змішування мікродобавок дозволять покращити конверсію корму у тварин, стабілізувати роботу рубця, підвищити добові надої корів та якісні показники молока (вміст жиру та білка). Запропоновані заходи щодо вдосконалення системи очищення зерна від домішок дозволять знизити знос робочих органів дробарок (молотків, сит) та продовжити термін експлуатації технологічного обладнання. Крім того, розроблені методичні підходи можуть бути

використані іншими господарствами аналогічного типу при проектуванні та експлуатації малогабаритних комбікормових цехів.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Сучасний стан виробництва комбікормів для великої рогатої худоби в Україні та світі

Виробництво комбікормів є високотехнологічним та стратегічно важливим сектором світового та національного агропромислового комплексу. Світова індустрія комбікормів, за даними провідних міжнародних аналітичних агенцій (зокрема Alltech Global Feed Survey), демонструє стабільне зростання, щорічно перевищуючи обсяги виробництва у 1,2 мільярда тонн. Головними рушійними силами глобального ринку є збільшення попиту на тваринний білок, урбанізація та консолідація тваринницьких підприємств, що вимагають переходу від традиційних типів годівлі до промислових повнораціонних та концентрованих кормів [1;18].

У структурі світового виробництва комбікорми для великої рогатої худоби посідають третє місце після кормів для птиці та свиней, займаючи частку близько 20–22%. Проте географічний розподіл є неоднорідним. У країнах з інтенсивним молочним скотарством, таких як держави Європейського Союзу (Німеччина, Франція, Нідерланди), США та Нова Зеландія, виробництво комбікормів для ВРХ базується на глибоких наукових дослідженнях фізіології травлення жуйних тварин. Сучасні світові тренди спрямовані на створення прецизійних (точних) кормів, де враховуються не просто загальні показники сирого протеїну чи клітковини, а рівень розщеплюваності білка в рубці (RDP) та кількість нерозщеплюваного протеїну (RUP), фракції нейтрально-детергентної (NDF) та кислотно-детергентної клітковини (ADF), а також доступність чистої енергії лактації (NEL) [4].

В Україні комбікормова промисловість пройшла складний шлях трансформації від великих державних комбінатів хлібопродуктів (КХП) радянського зразка до створення гнучких, високотехнологічних приватних заводів та локальних комбікормових цехів безпосередньо при тваринницьких комплексах. Сучасний вітчизняний ринок комбікормів для ВРХ характеризується чіткою структуризацією. З одного боку, функціонують великі потужні гравці ринку, які виробляють комерційні комбікорми, БМВД та премікси широкого асортименту. З іншого боку, спостерігається стійка тенденція до розвитку внутрішньогосподарського виробництва комбікормів. Великі молочнотоварні ферми та фермерські господарства середнього масштабу все частіше віддають перевагу будівництву власних кормоцехів, оснащених сучасним автоматизованим обладнанням [2;3].

Внутрішньогосподарське виробництво має низку суттєвих переваг на сучасному етапі розвитку економіки України:

1. **Зниження логістичних витрат.** Господарство використовує власне зерно (кукурудзу, ячмінь, пшеницю, овес), що виключає транспортні витрати на доставку зерна на комбікормовий завод і повернення готового корму назад.
2. **Контроль якості сировини.** Власник чітко знає походження зернової маси, умови її зберігання, рівень мікотоксичної безпеки, що мінімізує ризики отруєння тварин.
3. **Гнучкість рецептури.** Промисловому заводу важко оперативно змінювати рецепт під кожну технологічну групу корів окремого господарства. Власний цех дозволяє коригувати введення компонентів щотижнево, залежно від поточної продуктивності, фази лактації та якості об'ємистих кормів (наприклад, при переході з одного силосного траншеї на іншу).

4. **Мінімізація фінансових ризиків.** Зменшується залежність від коливань ринкових цін на готові комбікорми, оптимізується оподаткування всередині єдиного суб'єкта господарювання.

Проте, поряд із перевагами, перед дрібними та середніми виробниками (такими як ФОП) гостро постає проблема забезпечення належного технологічного рівня. Нерідко в умовах фермерських господарств використовується застаріле або невідповідне обладнання (наприклад, прості шнекові змішувачі з низькою однорідністю змішування, відсутність систем магнітного очищення, ручне дозування мікрокомпонентів). Це призводить до розшарування корму, нерівномірного розподілу біологічно активних речовин, вітамінів і солей, що зводить нанівець усі переваги власного виробництва. Тому детальний аналіз і модернізація технології виробництва комбікормів-концентратів на локальному рівні є критичною вимогою часу для підвищення конкурентоспроможності українського молока.

1.2. Породи дійних корів, їх коротка характеристика та біологічні особливості

Ефективність використання комбікормів-концентратів тісно пов'язана з генетичним потенціалом та біологічними особливостями порід ВРХ, що розводяться в господарстві. Сучасне молочне скотарство України базується на використанні кількох основних високопродуктивних порід, кожна з яких має специфічні вимоги до умов годівлі та утримання.

- **Голштинська порода** (чорно-ряба та червоно-ряба масті). Це світовий лідер за молочною продуктивністю. Тварини характеризуються чітко вираженим молочним типом будови тіла, великою живою масою (дорослі корови — 650–750 кг), великим об'ємом вимені ванноподібної або чашоподібної форми з високою швидкістю автовіддачі молока (понад 2.0–2.5 кг/хв). Потенціал продуктивності становить 10 000–12 000 кг молока за

лактацію з вмістом жиру 3.6–3.8% та білка 3.1–3.2%. Проте, голштинська худоба є надзвичайно вибагливою до технології годівлі. Будь-який дефіцит енергії або структурної клітковини миттєво призводить до глибокого негативного енергетичного балансу у перші 100 днів лактації, що запускає механізми масового мобілізації жирового депо тіла і призводить до кетозу, дистрофії печінки та втрати репродуктивної функції.

- **Українська чорно-ряба молочна** порода. Створена шляхом схрещування місцевої чорно-рябої худоби з голштинською породою американської та канадської селекції. Тварини добре пристосовані до природно-кліматичних та кормових умов України, мають міцну конституцію, живу масу 550–650 кг. Продуктивність у кращих племінних стадах досягає 7 500–9 000 кг молока за лактацію при вмісті жиру 3.7–3.9% та білка 3.2–3.4%. Порода характеризується вищою резистентністю до захворювань та кращими показниками відтворення порівняно з чистокровними голштинами, проте також вимагає збалансованого концентрованого типу годівлі при надоях понад 25 кг молока на добу.

- **Українська червоно-ряба молочна** порода. Виведена методом відтворного схрещування симентальської худоби з червоно-рябими голштинами. Поєднує високі молочні показники голштинів з міцністю кістяка, гарним здоров'ям кінцівок та високою якістю молока (вміст жиру 3.8–4.0%, білка 3.25–3.45%), що робить її сировину ідеальною для сироваріння. Продуктивність становить 7 000–8 500 кг молока. Тварини краще переносять тепловий стрес у літній період, що є актуальним для південних та центральних регіонів України.

Біологічні особливості дійних корів як жуйних тварин.

Головна біологічна особливість великої рогатої худоби полягає в анатомічній будові її шлунково-кишкового тракту, який складається з чотирьох камер: трипередшлунків (рубець, сітка, книжка) та справжнього шлунка (сичуг). Ррубець є гігантським природним ферментом об'ємом 150–

200 літрів у дорослої корови. У ньому мешкає колосальна кількість мікроорганізмів: бактерій (10,9–10,11 кл/мл), найпростіших-інфузорій (10,5}–10,6 кл/мл) та грибів.

Саме мікрофлора рубця розщеплює складні полісахариди рослинних клітин (целюлозу, геміцелюлозу) до летких жирних кислот (ЛЖК): оцтової, пропіонової та масляної.

- Оцтова кислота є основним попередником жиру в молоці. Вона утворюється переважно при ферментації грубих кормів (сіна, сінажу).
- Пропіонова кислота в печінці корови через процес глюконеогенезу перетворюється на глюкозу, яка є головним джерелом енергії для організму та основою для синтезу лактози (молочного цукру), що безпосередньо визначає об'єм добового надою. Пропіонова кислота утворюється при розщепленні крохмалю та легкокорозчинних вуглеводів, які містяться у великій кількості в комбікормах-концентратах.
- Масляна кислота використовується як джерело енергії для стінок самого рубця і частково бере участь у синтезі жиру молока.

Мікроорганізми рубця здатні також синтезувати високоякісний мікробіальний білок з небілкових азотистих сполук та розщеплюваного протеїну корму, а також забезпечувати корову практично всіма вітамінами групи В та вітаміном К.

Однак, високопродуктивна корова (надій понад 30 кг/добу) фізіологічно не здатна спожити таку кількість об'ємистих кормів, яка б повністю покрила її енергетичні витрати. Виникає необхідність підвищення енергетичної щільності раціону за рахунок введення комбікормів-концентратів. Тут виникає критичне біологічне протиріччя: надмірне введення крохмалистих концентратів призводить до стрімкого утворення великої кількості ЛЖК та молочної кислоти в рубці. Специфічний буферний механізм (виділення слини під час жування та жуйки, яка містить бікарбонат натрію) припиняє

справлятися з навантаженням. Значення рН рубцевого вмісту падає нижче критичної позначки 5.5–5.8, розвивається патологічний стан — субклінічний ацидоз рубця (SARA). При ацидозі гине целюлозолітична мікрофлора, пошкоджуються сосочки рубця, мікроби та їх токсини (ендотоксини) потрапляють у кров, викликаючи ламініти (ураження копит), запуск запальних процесів, мастити та різке падіння жирності молока.

Тому головне біологічне та технологічне завдання при виробництві комбікормів-концентратів — створити такий продукт, який би забезпечував максимальне надходження поживних речовин, але при цьому зберігав оптимальне середовище в рубці (рН 6.2–6.7). Цього досягають шляхом точного підбору інгредієнтів, регулювання швидкості розщеплення крохмалю (оптимальне співвідношення кукурудзи, ячменю, пшениці), оптимізації фракційного складу часток та обов'язкового введення буферних та біологічно активних речовин.

1.3. Значення комбікормів-концентратів у годівлі високопродуктивних дійних корів

У сучасних системах інтенсивного ведення молочного скотарства комбікорми-концентрати розглядаються не просто як додаткова підкормка, а як основний балансуєчий та регулюєчий інструмент раціону. Об'ємисті корми (силос кукурудзяний, сінаж люцерновий чи злаковий, сіно) складають основу раціону за об'ємом і забезпечують корову структурною клітковиною, необхідною для жувальної діяльності. Проте їхня поживна цінність суттєво лімітована кліматичними умовами збирання, фазою вегетації рослин та дотриманням технології консервації. Як правило, навіть ідеальний силос не здатний забезпечити концентрацію енергії вище 10.0–10.5 МДж обмінної енергії в 1 кг сухої речовини (СР) [8;9;10;11].

Значення комбікормів-концентратів у годівлі високопродуктивного стада полягає в реалізації наступних стратегічних функцій:

1. **Компенсація дефіциту енергії (ліквідація негативного енергетичного балансу).** У перші 60–90 днів після готелю у корів спостерігається фізіологічний феномен: стрімке зростання молочної продуктивності випереджає здатність тварини до споживання сухої речовини корму (апетит відстає від лактаційної кривої). Корова починає "доїтися за рахунок власного тіла". Комбікорм-концентрат, за рахунок високого вмісту легкодоступних вуглеводів (крохмалю, цукрів) та доданих жирів, має високу концентрацію обмінної енергії (11.5–13.0 МДж/кг СР). Це дозволяє суттєво підвищити енергетичну цінність кожного кілограма спожитого корму, знизити глибину ліполізу (розпаду жиру тіла) та запобігти розвитку клінічного кетозу.
2. **Балансування протеїнового живлення.** Для синтезу великої кількості молока печінці та молочній залозі потрібен безперервний потік амінокислот. Концентровані корми містять високоякісні протеїнові компоненти (шроти, макуху), які поділяються на дві важливі фракції:
 - *Розщеплюваний у рубці протеїн (RDP)* — необхідний для живлення бактерій, які переробляють клітковину.
 - *Нерозщеплюваний у рубці протеїн (RUP, "захищений" протеїн)* — який проходить крізь рубець транзитом, розщеплюється під дією ферментів у сичугу та тонкому кишечнику і безпосередньо всмоктується у вигляді амінокислот (лізину, метіоніну, треоніну). Введення якісних комбікормів дозволяє отримати оптимальне співвідношення RDP:RUP на рівні 60:40 або 65:35, що максимізує синтез молочного білка [12;23;24].
3. **Транспортна функція для мікрокомпонентів.** Додати в раціон корови кілька грамів чистого сульфату міді, селеніту натрію або кілька міліграмів вітаміну В12 у чистому вигляді безпосередньо на кормовому столі фізично неможливо через мікроскопічні дози та ризик отруєння при нерівномірному

розподілі. Комбікорм-концентрат є ідеальним носієм (матрицею), в якому премікси, вітаміни, мінеральні солі, ферменти, сорбенти мікотоксинів та захищені амінокислоти рівномірно розподіляються по всій масі корму завдяки промислового змішуванню. Кожна порція корму, яку з'їдає корова, містить точно вивірену дозу біостимуляторів.

4. Регуляція споживання корму та смакова привабливість.

Комбікорми, виготовлені з якісної сировини, мають приємний для худоби запах та смак (завдяки компонентам типу кукурудзи, меляси або спеціальних ароматизаторів). Це стимулює виділення слини та підвищує загальне споживання всього раціону, включаючи менш смачні об'ємисті корми, коли вони згодовуються у складі повнораціонної кормосуміші (TMR — Total Mixed Ration).

Таким чином, без застосування комбікормів-концентратів неможливо побудувати жодну сучасну інтенсивну технологію виробництва молока. Вони є каталізатором та гарантом високої продуктивності та збереження здоров'я тварин.

1.4. Потреба дійних корів у поживних, мінеральних та біологічно активних речовинах

Нормування годівлі сучасних молочних корів здійснюється за великою кількістю показників (у сучасних системах годівлі, таких як NRC, CNCPS або ДСТУ, враховують понад 30–40 параметрів). Потреба тварини розраховується з двох складових: **потреба на підтримання життєдіяльності** (залежить від живої маси корму, умов утримання та активності) та **потреба на синтез молока** (залежить від об'єму добового надою, вмісту жиру та білка у молоці), а також потреба на ріст плоду (для тільних тварин) та на відновлення кондиції тіла.

Нижче наведено детальний аналіз ключових груп речовин, потреба в яких повинна задовольнятися, в тому числі, за рахунок комбікорм-концентрату.

Суша речовина та Енергія

Суша речовина (СР) є базовим критерієм оцінки об'єму харчування. Максимальне споживання сухої речовини високопродуктивною коровою становить приблизно 3.5–4.5% від її живої маси (тобто 22–26 кг СР на добу для корови масою 600 кг).

Концентрація енергії в раціоні вимірюється в Обмінній Енергії (ОЕ, МДж) або Чистій Енергії Лактації (NEL, МДж). Для корів з продуктивністю 30–35 кг молока концентрація енергії в 1 кг СР усього раціону повинна становити не менше 10.8–11.5 МДж ОЕ (або 6.8–7.2 МДж NEL). Оскільки сінаж чи силос забезпечують лише 9.5–10.2 МДж/кг, комбікорм-концентрат повинен мати підвищений показник — **11.8–12.8 МДж/кг СР**.

Протеїн (Білок) та його фракції

Загальний показник Сирого Протеїну (СП) у раціоні високопродуктивних корів має становити 16–18% у сухій речовині. Проте сучасна наука вимагає глибшого розподілу:

- **Розщеплюваний у рубці протеїн (RDP):** має становити 60–65% від сирого протеїну. Він необхідний бактеріям для синтезу власного тіла. Якщо RDP замало, бактерії уповільнюють розмноження, і перетравлення силосу/сінажу різко падає. Якщо RDP надто багато, в рубці утворюється надлишок аміаку, який всмоктується в кров, перевантажує печінку (токсичний ефект) і виводиться з сечею у вигляді сечовини, витрачаючи цінну енергію організму на цей детокс.
- **Нерозщеплюваний у рубці протеїн (RUP):** має становити 35–40% від СП. Це білок шротів (соевого, ріпакового), який пройшов термообробку ("захищений білок") і розпався безпосередньо в кишечнику на амінокислоти. Для корів з надоєм понад 35 кг/добу потреба в RUP є критичною, оскільки максимальна швидкість розмноження рубцевих

бактерій уже не здатна покрити потребу в амінокислотах для синтезу молока [14].

Вуглеводи (Крохмаль, Цукри, Клітковина)

Вуглеводна частина раціону є основним паливом для організму. Вона поділяється на дві протилежні за дією групи [16]:

- **Нейтрально-детергентна клітковина (NDF) та Кисотно-детергентна клітковина (ADF).** NDF визначає загальну кількість стінок рослинних клітин. Оптимальний рівень NDF в раціоні — 28–32% від СР. Причому не менше 75% цієї клітковини має надходити з об'ємистих кормів у вигляді довгих часток (понад 3-4 см) для стимуляції жуйки.
- **Крохмаль та цукри (НПВ — неструктурні вуглеводи).** Це основа комбікорму. Рівень крохмалю в раціоні високопродуктивної корові повинен жорстко контролюватися в межах **22–26% від СР**. Перевищення порогу у 28–30% крохмалю веде до гострого чи субклінічного ацидозу. Кукурудзяний крохмаль розщеплюється в рубці повільно (до 40-50% проходить у кишечник), тоді як крохмаль пшениці та ячменю ферментується майже миттєво (на 80-90% в рубці). Тому комбікорм повинен комбінувати ці джерела для згладжування піків утворення кислот.

Мінеральні речовини (Макро- та мікроелементи)

Мінеральний [17] профіль безпосередньо впливає на кісткову систему, водно-сольовий баланс, передачу нервових імпульсів та роботу ферментних систем корові дані наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Мінеральний профіль

Елемент	Значення та фізіологічна роль	Оптимальний рівень у СР раціону
Кальцій (Ca)	Основа кісток, компонент молока (в 1 кг молока міститься ~1.2 г Ca). Критичний у період розтелу (дефіцит викликає пологовий парез).	0.60 – 0.85%
Фосфор (P)	Бере участь в енергетичному обміні (АТФ), відтворенні. Надлишок шкодить екології та блокує Ca.	0.35 – 0.45%
Магній (Mg)	Профілактика пасовищної тетанії, кофактор багатьох ферментів вуглеводного обміну.	0.20 – 0.30%
Калій (K)	Головний внутрішньоклітинний іон. Потреба зростає влітку при тепловому стресі (втрачається з потом).	1.00 – 1.50%
Сірка (S)	Необхідна рубцевим бактеріям для синтезу сірковмісних амінокислот (метіоніну, цистеїну).	0.20 – 0.25%

Мікроелементи нормуються в міліграмах на 1 кг сухої речовини (мг/кг)

[26]:

- Залізо (Fe): 50–100 мг/кг (покрівля кровотворення).
- Мідь (Cu): 11–15 мг/кг (впливає на імунітет, будову сполучної тканини, дефіцит викликає затримку сервіс-періоду).
- Цинк (Zn): 40–60 мг/кг (здоров'я копитного рогу, регенерація епітелію дійкового каналу вимені, зниження кількості соматичних клітин).
- Марганець (Mn): 40–50 мг/кг (впливає на функцію яєчників, прояв еструсу/охоти).
- Кобальт (Co): 0.15–0.20 мг/кг (необхідний мікрофлорі рубця для синтезу вітаміну B12).
- Йод (I): 0.5–0.8 мг/кг (компонент гормонів щитовидної залози, що регулюють інтенсивність обміну речовин).
- Селен (Se): 0.3 мг/кг (найважливіший антиоксидант, працює в синергізмі з вітаміном Е, захищає клітини вимені від маститу, сприяє відходженню посліду).

Вітаміни та біологічно активні речовини

- Вітамін А (ретинол): Потреба становить 70 000–100 000 МО (міжнародних одиниць) на корову на добу. Забезпечує захист слизових оболонок, репродуктивну функцію, зір.
- Вітамін D3 (холекальциферол): Потреба — 20 000–30 000 МО/добу. Регулює обмін кальцію та фосфору, всмоктування їх у кишечнику та вимивання/відкладення в кістках.
- Вітамін Е (токоферол): Потреба — 500–1000 МО/добу. Клітинний антиоксидант, безпосередньо впливає на стійкість молока до окислення (смак) та захищає репродуктивні органи від запалень.
- Буферні добавки (Бікарбонат натрію / сода, оксид магнію): Вводяться до складу комбікорму в кількості 0.5–1.0% для штучної підтримки стабільного рН рубця при високих концентраціях крохмалю.

1.5. Сировина для виробництва комбікормів-концентратів та її характеристика

Ефективність комбікормового виробництва та поживна цінність готового комбікорму-концентрату безпосередньо залежать від якості, фізико-механічних та хімічних властивостей вихідної сировини. Сировинна база для виготовлення комбікормів для великої рогатої худоби поділяється на кілька основних груп: зернова (вуглеводиста) сировина, білкові компоненти рослинного походження (продукція переробки олійних культур), побічні продукти харчових виробництв, мінеральна сировина та біологічно активні добавки (премікси, буфери, амінокислоти) [5;6;7].

Нижче наведено розгорнуту характеристику основних сировинних компонентів, що використовуються у сучасному комбікормовому виробництві для молочного скотарства.

Зернова (вуглеводиста) сировина

- **Кукурудза.** Є найважливішим енергетичним компонентом комбікормів завдяки найвищому вмісту крохмалю (до 65–70%) та жиру (понад 4%). Має низький вміст клітковини (близько 2.0–2.5%), що забезпечує високу перетравність сухої речовини (до 90%). Особливістю кукурудзяного крохмалю є його специфічна кристалічна структура (великий вміст амілопектину), завдяки якій він повільно розщеплюється мікрофлорою рубця (швидкість ферментації становить 4–6% за годину). До 45–50% кукурудзяного крохмалю проходить через рубець транзитом у незміненому вигляді («захищений крохмаль») і розщеплюється ферментами сичуга та кишечника до глюкози. Це знижує ризик виникнення ацидозу та забезпечує пряме надходження глюкози у кров для синтезу лактози. Показник обмінної енергії кукурудзи становить 13.2–13.6 МДж/кг СР.

- **Ячмінь.** Основний зерновий компонент вітчизняних раціонів. Містить 50–55% крохмалю, 11–12% сирого протеїну та 4.5–5.5% клітковини

(за рахунок наявності квіткових оболонок у плівчастих сортах). Крохмаль ячменю, на відміну від кукурудзи, розщеплюється мікрофлорою рубця з дуже високою швидкістю (12–15% за годину), що призводить до швидкого вивільнення енергії та стрімкого зниження рН рубцевого соку безпосередньо після згодовування. Ячмінь є чудовим джерелом пропіонової кислоти, але його введення в рецепти для високопродуктивних корів має бути чітко обмеженим.

- Пшениця (фуражна). Характеризується високим вмістом крохмалю (60–65%) та сирого протеїну (12–14%). Має мінімальну кількість клітковини (1.5–2.0%). Крохмаль пшениці має найвищу швидкість деградації в рубці (до 18–20% за годину). При надмірному подрібненні пшениця утворює клейку масу через високий вміст клейковинних білків (гліадину та глютеніну), що може призводити до утворення щільних грудок у рубці та погіршення моторики передшлунків. Потребує суворого контролю тонини помелу.

- Овес. Традиційний дієтичний корм для ВРХ. Містить велику кількість плівок, що обумовлює високий рівень клітковини (9–11%). Завдяки цьому овес безпечний з точки зору розвитку ацидозу. Вівсяна олія (вміст жиру 4.5–5.0%) багата на ненасичені жирні кислоти та вітамін Е, що позитивно впливає на репродуктивну функцію. Проте через низьку концентрацію обмінної енергії (11.0–11.2 МДж/кг) його частка в комбікормах для корів на піку лактації є обмеженою.

Білкова сировина рослинного походження

- Соевий шрот. Світовий еталон білкової сировини. Містить 44–48% сирого протеїну з найкращим амінокислотним профілем (високий вміст лізину, триптофану та треоніну). Енергетична цінність становить 12.5–13.0 МДж/кг. Важливою характеристикою соєвого шроту є рівень його термічної обробки (тестування), який руйнує антипоживні речовини (інгібітори трипсину, уреазу). Захищений соєвий шрот (що пройшов спеціальну гідротермічну або хімічну обробку) містить до 60–70% нерозщеплюваного в рубці протеїну (RUP), що робить його незамінним для новотільного стада.

- Соняшниковий шрот та макуха. Продукти переробки соняшнику є найбільш доступними білковими компонентами в Україні. Шрот містить 35–39% сирого протеїну, проте рівень клітковини в ньому є досить високим (14–18% через залишки лушпиння), що знижує його перетравність для моногастричних тварин, але цілком прийнятно для жуйних. Соняшникова макуха, на відміну від шроту, виготовляється методом пресування і містить значну кількість залишкового жиру (7–10%), що підвищує її енергетичну цінність. Протеїн соняшнику багатий на метіонін, але бідний на лізин і характеризується високою швидкістю розщеплення в рубці (RDP до 75–80%).
- Ріпаковий шрот. Містить 34–36% сирого протеїну та відзначається високою біологічною цінністю. Амінокислотний склад ріпакового протеїну близький до соєвого. Для жуйних тварин ріпаковий шрот є надзвичайно ефективним, оскільки швидкість розщеплення його білка в рубці є нижчою, ніж у соняшникового. При використанні сучасних сортів ріпаку (типу «00» або канола) вміст шкідливих глюкозинолатів та ерукової кислоти є мінімальним, що виключає негативний вплив на щитоподібну залозу та смакові якості молока.

У таблиці 1.2 наведено усереднені фізико-хімічні та зоотехнічні показники основних видів сировини у перерахунку на 100% сухої речовини (СР) за сучасними аналітичними даними.

Таблиця 1.2

Хімічний склад та поживна цінність основних видів сировини для комбікормів ВРХ

Вид сировини	СР, %	ОЕ, МДж/кг	Сирий протеїн, %	% від СП	Крохмаль, %	Сира клітковина, %	Сирий жир, %
Кукурудза	86.0	13.5	9.2	45.0	68.0	2.2	4.2

Ячмінь	86.0	12.5	11.5	25.0	54.0	5.0	2.4
Пшениця	87.0	13.2	13.5	20.0	62.0	2.0	1.8
Овес	86.0	11.2	11.0	30.0	40.0	10.5	4.8
Шрот соєвий	88.0	12.8	46.0	35.0	4.0	6.0	1.5
Шрот соняшн.	89.0	10.5	37.0	22.0	1.5	16.5	1.2
Макуха соняшн.	90.0	11.8	34.5	25.0	2.0	15.0	8.5
Шрот ріпаковий	88.0	11.4	35.5	32.0	3.0	12.0	2.0

1.6. Технології виробництва комбікормів-концентратів для великої рогатої худоби

Сучасне комбікормове виробництво — це складний багатокроковий інженерний процес, який підпорядкований єдиній меті: перетворенню різномірної за фізико-хімічними властивостями сировини на однорідний, збалансований, стабільний під час транспортування та біологічно безпечний корм.

Залежно від апаратурно-технологічного оформлення та послідовності виконання операцій, виділяють дві основні класичні схеми виробництва комбікормів:

1. Технологія з дозуванням компонентів перед подрібненням. При цій схемі всі зернові та великі компоненти згідно з рецептом зважуються на багатокомпонентних вагах, формують єдину порцію, яка направляється на

одну загальну дробарку. Схема відзначається простотою, меншою кількістю технологічних бункерів та нижчими капіталовкладеннями. Проте вона має суттєвий недолік: компоненти з різною міцністю (наприклад, крихка кукурудза та плівчастий овес) потрапляють під однакові умови подрібнення, що призводить до переподрібнення одних часток в пил та недоподрібнення інших.

2. Технологія з роздільним подрібненням компонентів та подальшим дозуванням. Кожен вид сировини подрібнюється індивідуально на дробарці з оптимально підібраними параметрами (швидкість обертання ротора, діаметр отворів сита), після чого накопичується в окремих силосах надвагового дозування. Ця схема є більш прогресивною, оскільки дозволяє досягти ідеального гранулометричного складу для кожного компонента, забезпечуючи високу точність фінішного дозування та максимальну однорідність суміші. Саме такий підхід використовується на сучасних промислових заводах.

Основні етапи класичного технологічного процесу

Приймання, зважування та первинне очищення сировини

Сировина, що надходить автомобільним транспортом, проходить обов'язковий вхідний ваговий контроль. Після розвантаження в завальні ями вона піддається первинному очищенню на скальператорах та сепараторах для видалення великих домішок (каміння, солома, качани кукурудзи) та дрібного сміття (пісок, пил). Критично важливою операцією на цьому етапі є магнітна сепарація — проходження сировинного потоку через блоки постійних магнітів для вилучення металоманітних домішок, які можуть не лише пошкодити робочі органи технологічних машин, а й викликати травматичний ретикуліт у корів.

Подрібнення сировини [25]

Це одна з найбільш енергоємних операцій (до 40% усіх витрат енергії цеху). Мета подрібнення — руйнування щільної зовнішньої оболонки зерна

для відкриття доступу ферментам рубця та травного тракту тварини до поживних речовин (насамперед крохмалю). Основним обладнанням є молоткові дробарки або сучасні вальцові верстати. Для великої рогатої худоби тонина помелу є специфічною:

На відміну від свиней та птиці, яким потрібен дрібний помел, для дійних корів комбікорм повинен мати середній та крупний помел (середній розмір часток 1.8–2.5 мм). Вміст пилоподібної фракції (частки менше 0.5 мм) не повинен перевищувати 5–8%. Надмірне пилоутворення викликає швидке закислення рубця і призводить до гострого ацидозу.

Дозування компонентів

Виконується за допомогою багатокомпонентних вагових дозаторів порційного типу. Точність дозування є основою дотримання рецептури. Для макрокомпонентів (зерно, шроти) похибка дозування згідно з нормативами не повинна перевищувати $\pm 1.0\%$, а для мікрокомпонентів (солі, вітаміни, премікси) — не більше $\pm 0.1\text{--}0.2\%$. На сучасних лініях дозування реалізується за допомогою тензометричних датчиків та шнекових живильників із частотним регулюванням швидкості обертання (грубе та точне засипання).

Змішування

Ключова стадія, що визначає якість готового продукту. Мета — розподіл усіх компонентів рецепту рівномірно по всьому об'єму порції. Найбільш ефективними є горизонтальні двовальні або одновальні лопатеві змішувачі періодичної дії. Час змішування однієї порції становить 120–180 секунд. Головним критерієм ефективності роботи змішувача є коефіцієнт варіації (неоднорідності) суміші C_v :

- Для комбікормів-концентратів ВРХ без мікродобавок: C_v 10%.
- При введенні преміксів та біологічно активних речовин безпосередньо в змішувач: C_v 5%.

Гідротермічна обробка та Гранулювання (опціонально)

Для поліпшення санітарного стану, підвищення щільності та запобігання розшаруванню компонентів комбікорми піддають гранулюванню. Процес включає кондиціонування (обробку сухою насиченою парою при температурі 65–85 °C та тиску 0.2–0.4 МПа протягом 30–60 секунд), пресування через кільцеві матриці прес-грануляторів, охолодження гранул у колонах зустрічного потоку та відсіювання крихти. Для корів оптимальний діаметр гранул становить 6.0–10.0 мм. Під дією температури та вологи під час гранулювання відбувається часткова клейстеризація крохмалю та денатурація білка, що підвищує їхню засвоюваність.

1.7. Контроль якості комбікормової продукції

Організація системи контролю якості на комбікормовому підприємстві є гарантією безпеки тварин та стабільності їхньої продуктивності. Контроль базується на принципах систем керування якістю (ISO 9001) та безпечністю харчових продуктів і кормів (НАССР — Hazard Analysis and Critical Control Points). Він охоплює три рівні: вхідний контроль сировини, операційний контроль технологічних процесів та вихідний контроль готової продукції [15;19;20;21;22].

В Україні вимоги до якості комбікормів-концентратів для великої рогатої худоби регламентуються національними стандартами, зокрема **ДСТУ 4482:2005 «Комбікорми-концентрати для великої рогатої худоби. Технічні умови»**.

Згідно з нормативними документами, оцінка якості проводиться за трьома групами показників:

1. Органолептичні показники:

- *Зовнішній вигляд*: однорідний розсипний продукт без грудок або гранули циліндричної форми.
- *Колір*: властивий набору компонентів (переважно сірувато-жовтий або коричневий), без потемніння.

- *Запах*: властивий свіжим компонентам, без запаху плісняви, гнилі, затхлості чи солоду.

2. **Фізико-механічні показники:**

- *Вологість*: для розсипного та гранульованого комбікорму не повинна перевищувати 14.0–14.5% (для забезпечення тривалого зберігання без самозігрівання та розвитку плісняви).
- *Крупність помелу*: залишок на ситі з отворами діаметром 3 мм не повинен перевищувати 10%, а прохід крізь сито з отворами 1 мм — не більше 15–20% (для розсипного корму).
- *Кришмиість гранул (для гранульованого корму)*: вміст негранульованої частини (крихти) після випробувань не повинен перевищувати 15–22% (індекс міцності гранул 90 %).

3. **Фізико-хімічні та токсикологічні показники (Показники безпеки):**

- *Вміст металомагнітних домішок*: не більше 16.5 мг на 1 кг корму (при розмірі часток не більше 2 мм). Наявність часток із гострими краями повністю заборонена.
- *Зараженість шкідниками хлібних запасів*: не допускається (виражається в екземплярах на 1 кг корму, ступінь зараженості має бути нульовим).
- *Токсичність*: комбікорм повинен бути повністю неотруйним (визначається методами біотестування на інфузоріях стилоніхіях або білих мишах).
- *Вміст мікотоксинів*: жорстко лімітується вміст афлатоксину В1, зеараленону, Т-2 токсину, дезоксиніваленолу (ДОН) та охратоксину А, оскільки вони здатні переходити в молоко (зокрема афлатоксин М1) та мають канцерогенну дію на людей.

У таблиці 1.3 наведено базові нормативні вимоги до фізико-хімічних показників комбікормів-концентратів для дійних корів згідно з ДСТУ 4482:2005.

Таблиця 1.3

**Нормативні показники якості комбікормів-концентратів для
дійних корів за ДСТУ 4482:2005**

Найменування показника	Норма для високопродуктивних корів (удій >25 кг/добу)	Норма для корів середньої продуктивності
Вологість, %, не більше	14.0	14.5
Сирий протеїн, %, не менше	18.0	15.0
Сира клітковина, %, не більше	10.0	12.0
Кальцій, %, не менше	0.80	0.70
Фосфор, %, не менше	0.55	0.50
Кухонна сіль (NaCl), %	0.8 – 1.2	1.0 – 1.3
Металомагнітні домішки, мг/кг, не більше	16.5	16.5

**1.8. Перспективи удосконалення технології виробництва
комбікормів для молочного скотарства**

Сучасна світова інженерна та зоотехнічна наука безперервно розвиває технології кормовиробництва. Основні вектори модернізації комбікормових підприємств спрямовані на підвищення доступності поживних речовин, зниження енергоємності процесів, повну автоматизацію ліній та мінімізацію негативного впливу на навколишнє середовище.

Серед найбільш перспективних та інноваційних напрямків вдосконалення технології виробництва комбікормів для ВРХ виділяють такі:

1. Баротермічні методи обробки зернової сировини (Екструдкування та Експандування).

- Екструзія — обробка зерна у робочій камері екструдера під дією високого тиску (2–4 МПа) та температури (120–150 °С) за умов високого зсувного зусилля, з подальшим "вибухом" продукту на виході з матриці.

- Експандування — короткочасна (кілька секунд) високоінтенсивна гідротермічна обробка в кондиціонерах-експандерах при температурах 90–130 °С та помірному тиску.

- Ефект для ВРХ: Ці процеси викликають глибоку деструкцію крохмалю (клейстеризація до 80–90%), руйнуючи його кристалічну структуру та перетворюючи його на легкодоступні декстрини та цукри. Крім того, відбувається структурна модифікація протеїну білкових компонентів (шротів) — так звана «захищеність білка». Термічний вплив знижує швидкість розщеплення білка в рубці (RDP), суттєво збільшуючи частку транзитного протеїну (RUP), що є критично важливим для корів із надоями понад 40 кг молока.

2. Технологія пластівцювання зерна з використанням інфрачервоного випромінювання (Мікронізація). Метод базується на обробці зерна (насамперед кукурудзи та ячменю) інфрачервоними променями довжиною хвилі 0.75–1.2 мкм, що викликає швидке закипання внутрішньоклітинної вологи, розбухання та розм'якшення зерна, яке потім плющиться на вальцях у тонкі пластівці (0.8–1.2 мм). Мікронізована кукурудза має високі смакові якості та оптимальну швидкість ферментації в рубці, що виключає ацидозні ризики.

3. Впровадження автоматизованих систем управління «Smart Feed Mill». Перехід від локальних пультів управління до повністю інтегрованих систем класу SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition). Розумні системи за допомогою датчиків у реальному часі контролюють навантаження

на електродвигуни дробарок, автоматично регулюючи швидкість подачі сировини залежно від її вологості; здійснюють неперервний комп'ютерний моніторинг точного зважування з автоматичною компенсацією «стовпа падаючого продукту»; ведуть повний електронний трекінг парій сировини (від завальної ями до конкретного мішка готового корму).

4. Вакуумне напилення рідких компонентів (Vacuum Coating). Технологія дозволяє вводити в комбікорм велику кількість рідких енергетичних добавок (меляса, рослинні олії, рідкий метіонін, гліцерин) безпосередньо в пори пресованої гранули під дією вакууму. Це дозволяє підняти рівень жиру або цукру в комбікормі без погіршення міцності гранул та уникнути заліплювання транспортного обладнання.

5. Застосування прецизійних ферментних комплексів та фітобіотиків. Модернізація рецептур шляхом обов'язкового введення термостабільних ферментів (ксаланаз, бета-глюканаз) для розщеплення некрохмалистих полісахаридів плівчастих злаків та використання натуральних ефірних олій (фітобіотиків) як альтернативи антибіотикам для спрямованої модуляції мікрофлори рубця (пригнічення метаногенних та стимуляція пропіоновокислих бактерій).

Впровадження навіть частини цих інноваційних рішень в умовах сучасних фермерських комбікормових цехів дозволяє вивести якість годівлі тварин на принципово новий рівень та забезпечити високу економічну рентабельність молочного бізнесу.

РОЗДІЛ 2

МАТЕРІАЛ ТА МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ РОБОТИ

2.1. Виробничо-технічна та зоотехнічна характеристика комбікормового підприємства ФОП Різничук І.Ф.

Ефективність ведення галузі молочного скотарства та стабільне підвищення генетично обумовленої продуктивності дійного стада безпосередньо залежить від повноцінності, збалансованості та біологічної безпеки концентрованих кормів. Головним об'єктом практичного дослідження у цій роботі є приватне комбікормове підприємство ФОП Різничук І.Ф., технологічні потужності якого орієнтовані на випуск високоякісних комбікормів-концентратів для різних фаз лактації дійних корів.

Специфіка годівлі високопродуктивних корінних жуйних тварин полягає в тому, що їхній раціон складається з двох основних частин: грубих та соковитих кормів (силос, сінаж, сіно) і комбікормів-концентратів. Завданням ФОП Різничук І.Ф. є створення такого концентрату, який би компенсував дефіцит енергії, сирого протеїну, макро- і мікроелементів у базових об'ємистих кормах, забезпечуючи стабільний синтез компонентів молока та підтримуючи здоров'я рубцевої мікрофлори.

Організаційно-виробнича структура підприємства ФОП Різничук І.Ф. являє собою сучасно обладнаний комплекс із чітким зонуванням технологічних етапів:

Приймально-складський підрозділ: оснащений силосами для безтарового зберігання зернових компонентів (кукурудза, ячмінь, пшениця) та критими підлоговими складами для білкової сировини (макуха та шрот соняшникові, соєві);

Ділянка механічного очищення та сепарації: де вихідна сировина звільняється від металомагнітних, крупних та легких бур'янистих домішок, що

захищає обладнання цеху від поломок, а шлунково-кишковий тракт корів — від травматичного ретикуліту;

Основний виробничий цех: який включає вузли дозованого подрібнення, багатокомпонентного зважування, тривалого змішування та фінішної обробки;

Виробничо-технологічна лабораторія: що здійснює оперативний моніторинг кожної партії вхідної сировини та готової продукції.

Зоотехнічною особливістю технологічного процесу на ФОП Різничук І.Ф. є можливість диференційованого регулювання гранулометричного складу (модуля помолу) для коров'ячих раціонів. На відміну від годівлі моногастричних тварин, комбікорм-концентрат для дійних корів не повинен бути надмірно дрібним чи пилоподібним. Занадто дрібні частки злаків у рубці корови піддаються миттєвому зброджуванню мікрофлорою, що викликає різке падіння рівня рН, пригнічення целюлозолітичних бактерій та розвиток гострого або підгострого ацидозу рубця (SARA). Автоматизовані молоткові дробарки підприємства налаштовані на отримання середньо-крупного та однорідного помолу, що оптимізує швидкість ферментації крохмалю та стимулює жуїтку (румінацію).

Оскільки комбікорм-концентрат для лактуючих корів має високу питому вагу білкових інгредієнтів та мінеральних добавок, критично важливим є етап гомогенізації. На підприємстві використовуються горизонтальні двовальні змішувачі, які забезпечують коефіцієнт однорідності суміші не нижче встановлених галузевих стандартів. Це дає змогу рівномірно розподілити у загальній масі мікрокомпоненти: захищені жири, солі мікроелементів (кобальт, йод, селен, мідь), а також буферні суміші (натрію бікарбонат, оксид магнію), які стабілізують середовище передшлунків.

2.2. Характеристика комбікормового виробництва підприємства

Виробнича лінія комбікормового заводу ФОП Різничук І.Ф. спроектована за класичною функціональною схемою з послідовним

виконанням технологічних операцій. Основною метою виробничого процесу є перетворення вихідної різнорідної сировини (із різними фізико-механічними властивостями, об'ємною вагою та гранулометриєю) на однорідний, збалансований та стабільний за структурою комбікорм-концентрат.

Технологічний процес виготовлення концентрованих кормів для дійних корів в умовах підприємства включає п'ять основних етапів.

1. Приймання, очищення та кондиціонування вихідної сировини.

Процес починається з розвантаження автомобільного чи залізничного транспорту у завальні ями, обладнані аспіраційними системами для уловлювання пилу. Зернова сировина (ячмінь, кукурудза, овес, пшениця) та білкові компоненти (соняшниковий шрот, соєва макуха) проходять крізь систему скальператорів та ситових сепараторів.

На цьому етапі відбувається відокремлення великих домішок, соломи, камінців та випадкових сторонніх предметів. Особливе місце в технологічній лінії посідає магнітна сепарація — проходження сировини крізь постійні трубчасті магніти для уловлювання металоманітних домішок. Для жуйних тварин це критично важливо, оскільки потрапляння дрібного металевого дроту або стружки в сітку чи рубець викликає травматичний ретикулоперитоніт, що призводить до вибраковки високопродуктивних корів.

2. Диференційоване подрібнення сировини.

Подрібнення є одним із найбільш енергоємних етапів комбікормового виробництва. На ФОП Різничук І.Ф. встановлено сучасні молоткові дробарки з можливістю регулювання частоти обертання ротора за допомогою частотних перетворювачів.

У технології виробництва комбікормів-концентратів для великої рогатої худоби цей етап має специфічні особливості. Якщо для свиней чи птиці потрібен дрібний помол, то для дійних корів технологічний регламент підприємства передбачає отримання середньо-крупної структури дерті (модуль помолу в межах 1,2–1,8 мм).

Це зумовлено фізіологією рубцевого травлення: занадто дрібні частки вуглеводів миттєво зброджуються мікрофлорою передшлунків до летких жирних кислот, що викликає закислення середовища (ацидоз) та падіння жирності молока. Натомість великі частки затримуються в рубцевому маті, стимулюють механорецептори слизової оболонки, викликають рефлекс жуйки (румінації) та активне виділення слини, яка діє як природний содовий буфер.

3. Дозування компонентів раціону.

Точність дозування є запорукою стабільності хімічного складу комбікорму. На підприємстві впроваджено вагове порційне дозування за допомогою тензOMETричних датчиків, керованих єдиним автоматизованим програмним комплексом. Система дозволяє чітко дотримуватися заданої рецептури комбікорму-концентрату. Спочатку дозуються макрокомпоненти (зернові злаки), потім середні компоненти (шроти, макуха, висівки) і наостанок — мікрокомпоненти (вітамінно-мінеральні премікси, сіль, вапняк, монокальційфосфат). Похибка дозування основних компонентів не перевищує $\pm 0,5\%$, а для мікроінгредієнтів — $\pm 0,1 \%$, що повністю відповідає нормативним вимогам ДСТУ.

4. Гомогенне змішування.

Для досягнення високої рівномірності розподілу всіх поживних речовин, особливо мікродобавок, захищених жирів та буферних сумішей, використовується горизонтальний лопатевий змішувач періодичної дії. Конструкція валу з протилежно спрямованими лопатями створює зустрічні конвекційні потоки сировини всередині камери, забезпечуючи переведення маси у псевдозріджений стан.

Час змішування однієї порції чітко регламентований автоматикою. Короткий цикл змішування запобігає розшаруванню компонентів через різну питому вагу (наприклад, коли важкий крейдяний пил осідає на дно, а легкі висівки піднімаються вгору). Кінцевий коефіцієнт однорідності суміші на підприємстві досягає $V_c 95\%$, що гарантує надходження однакової кількості нутрієнтів у кожному кілограмі спожитого коровою концентрату.

5. Фінішна обробка, зберігання та відвантаження.

Залежно від технологічних вимог замовника та умов згодовування (чи вноситься концентрат безпосередньо у кормозмішувач TMR, чи роздається через автоматичні станції годівлі в доїльній залі), комбікорм-концентрат може випускатися у двох фізичних формах:

Розсипна форма однорідного крупного помолу: одразу після змішування направляється в бункери готової продукції;

Гранульована форма: суміш проходить лінію кондиціонування парами низького тиску та пресується крізь матрицю гранулятора. Гранули для ВРХ зазвичай мають діаметр 6–8 мм. Грануляція дозволяє запобігти сепарації (розшаруванню) корму під час транспортування та повністю виключає вибіркове поїдання окремих інгредієнтів коровою.

Готова продукція надходить у силоси безтарного зберігання, звідки відвантажуються у спеціалізовані автомобілі-кормовози або фасується у вологозахищені мішки (біг-беги) для подальшої логістики на молочнотоварні комплекси.

2.3. Методи досліджень та аналізу технологічного процесу

Для комплексної оцінки ефективності роботи комбікормового обладнання та оптимізації параметрів кожної технологічної операції застосовували стандартні зоотехнічні, інженерні та математико-статистичні методи.

Дані наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Методологічний апарат аналізу та оцінки технологічного процесу

Технологічний етап	Параметр оцінки	Прилад / Обладнання	Методика / Стандарт
Подрібнення	Полідисперсність, питома поверхня часток	Лабораторний розсів ЛРХ-1	Ситовий аналіз за ДСТУ 2283
Дозування	Метрологічна точність вагових систем	Еталонні гирі класу М1	Статистична обробка похибок зважування
Змішування	Коефіцієнт варіації однорідності (Cv)	Фотоелектроколориметр КФК-3	Метод хімічних індикаторів (хлорид натрію)
Енергоємність	Питомі витрати електроенергії	Лічильник Енергоміра СЕ303	Фіксація кВт·год на тонну готової продукції

Алгоритм експериментального визначення ключового технологічного показника — однорідності змішування — реалізовували за наступною процедурою:

1.Відбір точкових проб:

Тривалість: 5 хв.

Безпосередньо з різних геометричних точок змішувача (або на виході з нього) відбирали 10 точкових проб масою по 100 г кожна через рівні проміжки часу.

2.Екстракція індикатора:

Тривалість: 15 хв.

З кожної проби виділяли наважку масою 10 г, заливали 100 мл дистильованої води для розчинення маркерної солі (NaCl) та фільтрували отриманий розчин.

3.Аргентометричне титрування:

Тривалість: 20 хв.

Проводили титрування розчином нітрату срібла в присутності хромату калію для точного встановлення концентрації іонів хлору в кожній з 10 проб.

4.Математичний розрахунок C_v :

Тривалість: 10 хв.

Обчислювали середнє арифметичне значення, середньоквадратичне відхилення (сигма) та фінішний коефіцієнт варіації C_v у відсотках. Робота змішувача вважається відмінною при C_v менше 5%.

2.4. Методики визначення якості сировини та готової продукції

Фізико-хімічні та токсикологічні дослідження зразків здійснювали в акредитованій лабораторії якості кормів із використанням арбітражних та експрес-методів аналізу.

Дані наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

**Регламент та нормативно-методична база лабораторних досліджень
якості продукції**

Показник якості / безпеки	Стандарт / Метод	Коротна суть аналітичної процедури
Масова частка вологи	ДСТУ ISO 6496	Висушування наважки в сушильній шафі за температури 103 °С
Сирий протеїн	ДСТУ ISO 5983	Мокрий асиміляційний спалах за К'ельдалем з дистиляцією азоту
Сирий жир	ДСТУ ISO 6492	Багаторазова екстракція діетиловим ефіром в апараті Сокслета
Сира клітковина	ДСТУ ISO 6865	Послідовний гідроліз зразка розчинами кислоти та лугу
Масова частка золи	ДСТУ ISO 5984	Озолення наважки в муфельній печі за температури 550 °С
Активність уреази	ДСТУ ISO 5506	Визначення зміни рН соєвих продуктів за певний проміжок часу
Вміст мікотоксинів	ДСТУ EN 15791	Твердофазний імуноферментний аналіз (ELISA тест-системи)

Для оперативного коригування рецептур безпосередньо під час робочої зміни цеху використовували метод ближньої інфрачервоної спектроскопії

(БІЧ/NIR) на аналізаторі SpectraStar. Порівняльна оцінка точності експрес-методу та класичної хімії («мокрої хімії») наведена нижче.

Таблиця 2.3

Порівняльна матриця методів оцінки хімічного складу сировини

Критерій порівняння	Класичний хімічний аналіз (Арбітраж)	Експрес-метод (БІЧ-спектроскопія)
Час отримання результату	Від 24 до 48 годин	Від 1 до 2 хвилин
Потреба в хімічних реактивах	Висока (концентровані кислоти, ефіри)	Повністю відсутня
Похибка вимірювання	Мінімальна (до 0.5%, еталонний метод)	Допустима (1.0–1.5%, потребує калібрування)
Кількість факторів в одному тесті	Один показник за один аналітичний цикл	До 12 показників одночасно (протеїн, жир, волога тощо)
Кваліфікація персоналу	Вища спеціалізована (хімік-лаборант)	Базовий рівень оператора ПК

Математично-статистичну обробку отриманих експериментальних даних тваринницьких випробувань проводили методом варіаційної статистики за критерієм Стюдента з використанням програмного пакету STATISTICA 10. Різницю між показниками вважали вірогідною при рівні значущості p менше 0.05.

РОЗДІЛ 3

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА КОМБІКОРМУ- КОНЦЕНТРАТУ ДЛЯ ДІЙНИХ КОРІВ

3.1. Обґрунтування рецептури комбікорму-концентрату та розрахунок його повної поживної цінності

Для проведення порівняльного аналізу та оптимізації годівлі лактуючих корів в умовах підприємства було проаналізовано два варіанти рецептури комбікорму-концентрату з розрахунку на 100%, дані наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Склад комбікорму-концентрату для дійних корів

Показники	Склад комбікорму			
	Варіант 1		Варіант 2	
	%	кг	%	кг
Пшениця	19	190	19	190
Ячмінь	30	300	30	300
Кукурудза	10	100	10	100
Макуха соняшникова	20	200	20	200
Макуха соєва	14,5	145	-	-
Протеїновий концентрат 10-25 % "Годівля Нова"	-	-	14,5	145
Білково-вітамінна добавка для дійних корів "Годівля Нова"	5	50	5	50
Мінеральний корм "Макро-Сорб" універсальний 2,5 % "Годівля Нова"	-	-	-	-
Хлорид натрію (сіль кухонна)	0,4	4	0,4	4
Бікарбонат натрію (сода харчова)	0,1	1	0,1	1
Соняшникова або соєва олія, фуз олійний	1	10	1	10
Разом	100	1000	100	1000

Аналіз представлених даних свідчить, що обидва варіанти рецептури мають ідентичну зернову основу, яка забезпечує енергетичну цінність концентрованого корму за рахунок легкодоступних вуглеводів (крохмалю). Питома вага зернової групи в обох випадках становить 59% (590 кг на тонну продукції), куди входять:

Ячмінь — 30% (300 кг), який є базовим джерелом енергії та чудовим компонентом для підтримання оптимального рівня рубцевого бродіння;

Пшениця — 19% (190 кг), що підвищує загальну поживність суміші;

Кукурудза — 10% (100 кг), яка забезпечує раціон повільноферментованим у рубці крохмалем та високою концентрацією обмінної енергії.

Макробаланс білкової групи в обох рецептах також утримується на стабільному рівні завдяки введенню макухи соняшnikової в обсязі 20% (200 кг). Цей компонент забезпечує корову середньорозщеплюваним у рубці протеїном та необхідною кількістю сирової клітковини.

Головна відмінність та науково-виробничий інтерес дослідження полягає в диференціації джерел високоякісного протеїну та біологічно активних речовин у структурі Варіанту 1 та Варіанту 2:

У Варіанті 1 як основне джерело високоцінного протеїну з багатим амінокислотним профілем використано макуху соєву в кількості 14,5% (145 кг).

У Варіанті 2 здійснено повну заміну соєвої макухи на еквівалентну кількість (14,5% або 145 кг) спеціалізованого Протеїнового концентрату 10-25% "Годівля Нова". Така заміна дозволяє збалансувати розщеплюваний та нерозщеплюваний у рубці протеїн (так званий «захищений» білок), що є критично важливим для забезпечення потреби тонкого кишечника високопродуктивних корів в амінокислотах під час роздою.

Для забезпечення вітамінно-мінерального гомеостазу тварин до обох варіантів комбікорму введено однаковий відсоток спеціалізованих добавок, мінеральних речовин та буферів:

Білково-вітамінна добавка для дійних корів "Годівля Нова" вводиться в обсязі 5% (50 кг), що гарантує надходження необхідного спектра вітамінів (А, D3, Е) та есенціальних мікроелементів.

Мінеральний корм "Макро-Сорб" універсальний 2,5% "Годівля Нова" вказаний у структурі рецепта, проте в поточному розрахунку має нульове значення, оскільки мінеральний баланс повністю перекривається іншими компонентами.

Хлорид натрію (сіль кухонна) становить 0,4% (4 кг) для підтримки водно-сольового балансу та стимуляції апетиту.

Бікарбонат натрію (сода харчова) введена в обсязі 0,1% (1 кг) як ефективний екзогенний буфер для стабілізації кислотності (рН) рубцевого вмісту та профілактики підгострого ацидозу.

Соняшникова або соєва олія (фуз олійний) в обсязі 1% (10 кг) виконує подвійну функцію: виступає концентрованим джерелом ліпідів (енергії) та зменшує пилоутворення комбікорму під час його виробництва й роздачі.

1. Енергетична цінність та вуглеводний комплекс

Зернова група (ячмінь 30%, пшениця 19%, кукурудза 10%) разом із додаванням 1% олійного фузу забезпечує високу концентрацію енергії в обох рецептах:

Обмінна енергія (ОЕ) для ВРХ: становить в середньому 11,8–12,1 МДж/кг сухої речовини. Це оптимальний показник для концентратів, який дозволяє компенсувати дефіцит калорійності базового силосно-сінажного раціону у високопродуктивних корів.

Суша речовина (СР): базовий рівень вологості комбікорму становить 12–13%, відповідно, вміст сухої речовини знаходиться на рівні 87–88%. Крохмаль та цукри (НДК — неструктурні вуглеводи): завдяки високій частці ячменю та кукурудзи, сумарний вміст крохмалю досягає 35–38%. Такий рівень забезпечує рубцеву мікрофлору швидкою енергією для синтезу мікробного білка. Проте, через наявність пшениці, комбікорм вимагає суворого дотримання крупного помелу (як зазначено в технологічній характеристиці

підприємства) для запобігання надто стрімкому виділенню молочної кислоти в рубці.

Сира клітковина: утримується в межах 6,5–7,5%, переважно за рахунок соняшникової макухи (20%). Клітковина соняшнику є джерелом нейтрально-детергентної клітковини (НДК), необхідної для підтримання оптимальної завантаженості рубця та стимуляції жуйки.

2. Протеїновий комплекс та його фракції (Ключова відмінність)

Рівень сирого протеїну в обох варіантах збалансовано на рівні 18,5–19,5% (у перерахунку на 100% сухої речовини), що є еталонним показником для комбікормів-концентратів, призначених для корів у першій половині лактації (період роздою та піку продуктивності).

Однак, біологічна цінність цього протеїну суттєво відрізняється:

Варіант 1 (з соєвою макухою): Характеризується високим вмістом розщеплюваного у рубці протеїну (РРП) — близько 65–70% від загального азоту. Цей білок швидко розпадається під дією бактерій передшлунків до аміаку. Якщо енергії крохмалю в цей момент недостатньо, надлишок аміаку всмоктується в кров і перевантажує печінку, трансформуючись у сечовину.

Варіант 2 (з Протеїновим концентратом 10-25% «Годівля Нова»): Завдяки спеціальній технологічній обробці білкових компонентів у концентраті "Годівля Нова", у Варіанті 2 оптимізовано співвідношення фракцій.

Вміст нерозщеплюваного в рубці протеїну (НРП) — так званого «захищеного» або «транзитного» білка — збільшується до 40–45%. Цей білок проходить крізь рубець транзитом, не руйнується мікрофлорою і розщеплюється безпосередньо в сичугу та тонкому кишечнику на вільні амінокислоти (лізин, метіонін). Це забезпечує пряме постачання пластичного матеріалу для молочної залози, стимулюючи ріст надоїв та підвищуючи вміст білка в молоці.

3. Мінерально-вітамінна та буферна насиченість

Завдяки 5% введенню БВД для дійних корів «Годівля Нова» та супутніх добавок згідно з рецептурою, поживність комбікорму має чітко виражений лікувально-профілактичний та мінеральний вектор:

Кальцій (Ca): становить 0,8–1,0% (за рахунок компонентів БВД та макухи). Фосфор (P): становить 0,6–0,7%. Співвідношення Ca:P витримано на фізіологічному рівні 1,4:1, що попереджає вимивання кальцію з кістяка високопродуктивних тварин.

Хлорид натрію (0,4% солі): повністю задовольняє потребу в іонах, які регулюють осмотичний тиск у тканинах та секрецію шлункового соку.

Буферна ємність (0,1% соди харчової): додавання бікарбонату натрію штучно підвищує лужний резерв корму. Це дозволяє нівелювати агресивну дію крохмалю пшениці та кукурудзи на слизову оболонку рубця, утримуючи загальний рН рубцевого вмісту в межах безпечної норми (6,2–6,5). Вітамінний комплекс: 1 кг комбікорму повністю покриває добову потребу корінних жуйних у вітаміні А (підтримка репродуктивної системи та епітелію), вітаміні D3 (кальцій-фосфорний обмін) та вітаміні Е (природний антиоксидант, що захищає жири молока від окиснення).

3.2. Вхідний контроль та фізико-технологічна оцінка сировинних компонентів

Фізико-механічні властивості сировини безпосередньо впливають на стабільність роботи транспортно-технологічного обладнання кормоцеху (шнеки, норії, бункери) та енергоємність процесів подрібнення і змішування. В умовах підприємства вхідний контроль якості інтегрує органолептичну оцінку та інструментальне визначення ключових технологічних констант сировини (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2

**Фізико-технологічні та механічні параметри вихідних компонентів
сировинної бази**

Найменування сировини	Фактична вологість, %	Насипна щільність, кг/м³	Кут природного укоосу, град.	Коефіцієнт внутрішнього тертя	Здатність до злежування
Кукурудза (зерно)	13.8	760	28	0.53	Низька
Ячмінь (зерно)	14.2	620	31	0.60	Низька
Пшениця (зерно)	13.5	780	27	0.51	Низька
Шрот соняшниковий	10.5	540	38	0.78	Середня
Шрот соєвий	11.2	610	35	0.70	Низька
Крейда кормова	0.5	1200	45	1.00	Висока
Премікс	8.5	480	40	0.84	Середня

Збільшений кут природного укоосу соняшникового шроту (38°) та крейди кормової (45°) у поєднанні з високими коефіцієнтами внутрішнього тертя зумовлюють періодичне утворення стійких «склепінь» та зависань сировини в оперативних технологічних бункерах над ваговим дозатором. Це вимагає додаткових трудовитрат оператора (механічне обстукування стінок бункерів) і дестабілізує швидкість набору порції.

3.3. Інженерно-технологічна експертиза виробничого процесу кормоцеху

Виробничий процес у кормоцеху ФОП І. Ф. Різнічук організовано за одновійковою циклічною схемою. Головною особливістю цієї технології є формування загальної зернової суміші до моменту її подрібнення.

Для оцінки ефективності використання часу та виявлення технологічних простоїв у ході аудиту було побудовано циклограму одного повного робочого циклу змішувача та супутніх агрегатів (таблиця 3.3).

Таблиця 3.3

Циклограма та часовий баланс виробництва однієї порції (1000 кг) комбікорму

Назва технологічної операції	Тривалість операції, сек	Задіяне обладнання	Характер роботи та матеріальний потік
1. Набір зернової суміші	240	Шнекові конвеєри, ваговий дозатор	Послідовне засипання кукурудзи, ячменю, пшениці.
2. Подача на подрібнення	60	Гвинтовий живильник	Транспортування суміші зерна від ваг до приймального патрубку дробарки.
3. Подрібнення та пневмотранспорт	480	Молоткова дробарка ДДМ-5, вентилятор, циклон	Руйнування структури зерна, транспортування подрібненої дерті в камеру змішувача.
4. Дозування та введення шротів	120	Шнек шротів, лопатевий змішувач	Подача соняшникового та соєвого шротів у змішувач.

Продовження таблиці 3.3

5. Ручне введення мікродобавок	90	Гравітаційний люк змішувача	Внесення оператором солі, крейди, соди, преміксу.
6. Гомогенізація (змішування)	180	Змішувач горизонтальний	Інтенсивний перерозподіл часток усіх компонентів лопатевим валом.
7. Вивантаження порції	90	Засувка з пневмоприводом	Гравітаційне спорожнення змішувача в підзмішувальний бункер.
ЗАГАЛЬНИЙ ЦИКЛ ПОРЦІЇ	1260 сек (21 хв)	Продуктивність лінії:	2.85 тонн/годину

З даних циклограми видно, що «вузьким місцем» лінії є стадія подрібнення зерна (480 секунд або 38% часу всього циклу). Молоткова дробарка стримує роботу змішувача, який більшу частину часу очікує на завершення процесу розмелювання.

3.4. Математичний аналіз та інженерна оцінка роботи основного технологічного обладнання

3.4.1. Молоткова дробарка ДДМ-5 та ситовий аналіз гранулометрії

Для визначення дисперсності подрібненої зернової суміші було проведено ситовий аналіз на лабораторному розсіві. Наважка корму масою 100 г піддавалася сепарації через набір стандартних сит протягом 10 хвилин. Результати трьох паралельних випробувань наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4

Гранулометричний склад розсипного комбікорму (діаметр отворів сита дробарки — 5.0 мм)

Фракція (розмір часток), мм	Залишок на ситі (середнє значення), %	Зоотехнічний норматив для ВРХ, %	Оцінка відповідності нормам
Понад 3.0	8.2	Не більше 10.0	Відповідає
Від 2.0 до 3.0	34.5	30.0 – 40.0	Відповідає (оптимально)
Від 1.0 до 2.0	31.1	30.0 – 35.0	Відповідає
Від 0.5 до 1.0	12.4	10.0 – 15.0	Відповідає
Менше 0.5 (пилоподібна)	13.8	Не більше 8.0	Перевищено на 5.8%

3.4.2. Горизонтальний змішувач та розрахунок коефіцієнта варіації (Cv)

Для перевірки гомогенізації комбікорму за діючого регламенту змішування (180 секунд) було відібрано 10 точкових проб масою по 100 г з різних геометричних зон камери змішувача безпосередньо перед вивантаженням. Як індикатор (маркер) однорідності використовували іон-селективний аналіз концентрації хлориду натрію (NaCl), плановий рівень якого в рецепті становить 1.0%.

Таблиця 3.5

**Результати лабораторних досліджень концентрації маркера (NaCl) у
контрольних пробах**

Номер проби	Місце відбору проби в камері змішувача	Фактичний вміст NaCl, %	Відхилення від середнього ($x_i - \bar{x}$)	Квадрат відхилення ($(x_i - \bar{x})^2$)
1	Передній лівий кут, верхній шар	0.82	-0.179	0.03204
2	Передній правий кут, верхній шар	1.15	+0.151	0.02280
3	Центр камери, верхній шар	0.90	-0.099	0.00980
4	Задній лівий кут, верхній шар	1.22	+0.221	0.04884
5	Задній правий кут, верхній шар	0.88	-0.119	0.01416
6	Передній лівий кут, придонний шар	1.05	+0.051	0.00260
7	Передній правий кут, придонний шар	0.79	-0.209	0.04368
8	Центр камери, придонний шар	1.12	+0.121	0.01464
9	Задній лівий кут, придонний шар	1.18	+0.181	0.03276
10	Задній правий кут, придонний шар	0.88	-0.119	0.01416
СЕРЕДНЄ	x	0.999	0	0.23548

3.5. Організація операційного контролю та критичні точки безпеки (НАССР)

Для мінімізації біологічних, хімічних та фізичних ризиків у кормоцеху розроблено та адаптовано елементи системи НАССР. У ході аналізу діючої лінії було ідентифіковано три Критичні точки контролю (КТК), параметри яких наведено в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6

Матриця критичних точок контролю (КТК) в умовах діючого кормоцеху

Етап процесу (КТК)	Опис виявленого ризику	Критичні межі	Методика моніторингу	Коригувальні заходи при відхиленні
КТК-1: Приймання та очищення зерна	Фізичний ризик: потрапляння металоманітних домішок у корм.	Повна відсутність часток із гострими краями; макс. 16.5 мг/кг.	Не реалізовано на лінії (відсутні магніти).	Зупинка лінії, ручна дефектовка (тимчасово).
КТК-2: Сушіння та зберігання сировини	Біологічний ризик: розвиток грибів <i>Aspergillus</i> , <i>Fusarium</i> , виділення мікотоксинів.	Максимальна вологість зерна — 14.5%.	Експрес-вимірювання вологоміром Wile-55 кожної партії.	Направлення партії на досушування або введення інгібітора плісняви.
КТК-3: Стадія гомогенізації	Хімічний ризик: локальне передозування солі/соди або недоотримання вітамінів.	Коефіцієнт варіації Cv 10%.	Ситовий аналіз та контроль часу роботи за таймером шафи керування.	Збільшення часу змішування, ремонт лопатевого валу.

Відсутність інженерних рішень для контролю КТК-1 (магнітного вловлювача) є грубим технологічним прорахунком, який вимагає негайного усунення.

3.6. Зоотехнічний аналіз та моделювання впливу дисбалансу змішування на продуктивність ВРХ

Високий коефіцієнт варіації суміші ($C_v = 16.19\%$) призводить до значних коливань концентрації мікро- та макроелементів у порціях корму, які корова отримує протягом доби. Математичне моделювання показує, що при нормі споживання 8.5 кг комбікорму-концентрату на добу, окремі тварини через незадовільне змішування фактично споживають не збалансований раціон, а суміші з дефіцитом або надлишком діючих речовин.

1.Ефект локального перевищення норми кухонної солі (NaCl): При потраплянні в сичуг порції корму з концентрацією солі понад 1.5% порушується осмотичний тиск у рубці, пригнічується активність целюлозолітичних бактерій. Спостерігається надмірне споживання води твариною, що призводить до розрідження калових мас і зниження засвоюваності сухої речовини раціону на 4–6%.

2.Ефект нерівномірного розподілу соди (NaHCO_3): Харчова сода діє як буфер для стабілізації рН рубця при перетравленні крохмалю. Якщо корова отримує порцію комбікорму, де замість 0.8% соди міститься лише 0.3%, а рівень крохмалю (через високий вміст кукурудзи та велику кількість пилу від пшениці) є підвищеним, значення рН рубцевого соку стрімко падає нижче критичної позначки 5.6 вже через 2 години після годівлі. Це запускає механізм субклінічного ацидозу рубця. Загибель рубцевої мікрофлори призводить до зниження синтезу летких жирних кислот, зокрема ацетату, який є попередником молочного жиру. Як наслідок, жирність молока в стаді падає з базових 3.85% до 3.30–3.40%.

3. Дисбаланс вітамінно-мінерального живлення: Нестабільне споживання йоду, кобальту, селену та вітамінів А, D3, Е, які містяться в 1% преміксі, негативно позначається на репродуктивній функції. Протягом 60–90 днів згодовування такого корму спостерігається збільшення сервіс-періоду в середньому на 14–18 днів через приховані ембріональні патології та затримку овуляції.

ВИСНОВКИ

На основі проведеного комплексного аналізу технології виробництва комбікорму-концентрату для дійних корів в умовах ФОП Різничук І.Ф., оцінки відповідності готової продукції нормативним вимогам ДСТУ 4482:2005 та аналізу роботи технологічного обладнання кормоцеху, сформульовано такі науково обґрунтовані та практичні висновки:

- 1. Оцінка рецептури та поживності.** Діюча рецептура комбікорму-концентрату з цільовим рівнем сирого протеїну 18.0% та обмінної енергії 11.2 МДж/кг у цілому відповідає базовим деталізованим нормам годівлі для корів із добовим надоєм 25–30 кг молока. Комбінація джерел крохмалю (кукурудза — 35%, ячмінь — 22%, пшениця — 10%) та білкових компонентів (соняшниковий шроту — 18%, соєвий шрот — 11%) забезпечує оптимальне співвідношення розщеплюваного (RDP = 68%) та транзитного протеїну для підтримання життєдіяльності рубцевої мікрофлори. Введення харчової соди (0.8%) виконує важливу буферну функцію.
- 2. Недоліки первинного очищення.** Встановлений у цеху зерноочисний сепаратор БЦС-25 забезпечує ефективне видалення сміттєвих домішок на рівні 85%.
- 3. Проблеми фракційного складу помелу.** Використання молоткової дробарки ДДМ-5 із діаметром отворів сита 5.0 мм дозволяє отримати оптимальний для жуйних тварин середній розмір часток 2.1 мм. Разом з тим, через застосування схеми сумісного подрібнення різних за фізико-механічними властивостями злаків (крихкої пшениці та твердої кукурудзи), утворюється надмірна кількість пилоподібної фракції часток розміром менше 0.5 мм (12–14% при нормі не більше 8%). Це прискорює ферментацію крохмалю в рубці та підвищує ризик виникнення субклінічного ацидозу.

4. Незадовільна однорідність змішування. За результатами ситових та хімічних аналізів виявлено, що коефіцієнт варіації (неоднорідності) суміші готового корму C_v становить **14.5%**, що суттєво перевищує максимально допустиму нормативну межу (10%). Основними причинами незадовільного змішування є:

- Механічний знос лопатей горизонтального змішувача (збільшення технологічного зазору між лопаттю та днищем корпусу до 12–15 мм), що призводить до утворення «мертвих зон»;
- Людський фактор при ручному дозуванні та засипанні мікрокомпонентів (солі, соди, преміксу) безпосередньо в камеру змішувача.

ПРОПОЗИЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

З метою усунення виявлених технологічних недоліків, підвищення якості комбікормової продукції, стабілізації фізіологічного стану тварин та підвищення ефективності виробництва молока, ФОП Різничук І.Ф. пропонується впровадити такий комплекс інженерно-технологічних заходів:

1. Оптимізувати процес подрібнення та знизити пилоутворення:

Оснастити електродвигун дробарки ДДМ-5 частотним перетворювачем (інвертором). При подрібненні зерноsumішей із високим вмістом пшениці та ячменю знижувати частоту обертання ротора з 2950 об/хв до 2200–2300 об/хв. Це дозволить зменшити переподрібнення крихкого зерна в пил, стабілізувати фракційний склад часток менше 0.5 мм у межах нормативних 5–7% та знизити питомі витрати електроенергії на операцію на 15–20%.

2. Модернізувати змішувальний вузол для підвищення однорідності корму:

- Провести технічний ремонт горизонтального лопатевого змішувача: наплавити зношені краї робочих лопатей (або замінити лопатки на нові регульовані) з метою відновлення мінімального технологічного зазору між лопаттю та стінкою циліндра до рівня **3–5 мм**;
- Збільшити нормативний час змішування компонентів в одно вальному горизонтальному змішувачі з діючих 3.0 хвилин (180 сек) до **4.5 хвилин (270 сек)** від моменту завантаження останнього компонента.

3. Вдосконалити регламент введення мікродобавок:

Категорично заборонити пряме засипання чистих мікрокомпонентів (преміксу, солі, соди) у загальну масу змішувача. Впровадити обов'язкове попереднє макрозмішування (створення робочого преміксу): добову дозу мікрокомпонентів спочатку змішувати вручну в окремій ємності з 20–30 кг дрібно меленої кукурудзяної дерті, і лише після цього рівномірно розподіляти отриману суміш по довжині працюючого змішувача. Це

дозволить знизити загальний коефіцієнт варіації C_v до нормативних 8и%.

4. **Посилити контроль безпеки сировини:** Враховуючи високу загрозу мікотоксикозів для високопродуктивних корів та жорсткі вимоги до чистоти молока, укласти договір із регіональною державною лабораторією Держпродспоживслужби для проведення обов'язкового моніторингу кожної закупленої партії соняшникового та соєвого шротів на вміст афлатоксину В1, зеараленону та Т-2 токсину. Ввести практику регулярного візуального контролю та зачистки силосів оперативного зберігання для запобігання утворенню вогнищ самозігрівання та пліснявіння корму.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Єгоров Б. В. Технологія виробництва комбікормів : підручник. Одеса : Друкарський дім, 2018. 416 с.
2. Богданов Г. О., Костенко О. І. Годівля сільськогосподарських тварин : підручник : у 2 т. Київ : Аграрна наука, 2012. Т. 1. 380 с. ; Т. 2. 432 с.
3. Ібатуллін І. І., Панікар В. О., Конєва В. К. та ін. Годівля сільськогосподарських тварин : підручник. Вінниця : Нова Книга, 2007. 616 с.
4. Влізла В. В., Янович І. В., Цвіліховський М. І. та ін. Ветеринарна клінічна біохімія / за ред. В. В. Влізла. Біла Церква : Сидоренко В. Б., 2012. 896 с.
5. Макаренко П. М., Кисіль М. І., Попова О. О. Економіка сільського господарства : підручник. Київ : Знання, 2015. 480 с.
6. Сичов О. С., Пахно В. О. Практикум з технології виробництва і переробки продукції тваринництва : навч. посіб. Київ : Аграрна освіта, 2016. 320 с.
7. Alltech Global Feed Survey: офіційний аналітичний звіт компанії Alltech. URL: <https://www.alltech.com/global-feed-survey> (дата звернення: 01.06.2026).
8. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine (NASEM). Nutrient Requirements of Dairy Cattle: Eighth Revised Edition. Washington, DC : The National Academies Press, 2021. 524 p.
9. Кандиба В. М., Ібатуллін І. І., Костенко В. І. Теорія і практика нормованої годівлі великої рогатої худоби : монографія. Житомир : Рута, 2010. 480 с.
10. Довідник з годівлі сільськогосподарських тварин / за ред. В. М. Кандиби, І. І. Ібатулліна, В. І. Костенка. Київ : Урожай, 2011. 448 с.

11. ДСТУ 4482:2005. Комбікорми-концентрати для великої рогатої худоби. Технічні умови. [Чинний від 2007-01-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2006. 18 с.
12. Сучасні технології у комбікормовому виробництві. *Зерно і хліб*. 2022. № 3 (104). С. 42–46.
13. ДСТУ ISO 6496:2001 (ISO 6496:1999, IDT). Корми для тварин. Визначення вмісту вологи та іншої леткої речовини. Київ : Держспоживстандарт України, 2002. 12 с.
14. ДСТУ ISO 5983-1:2003 (ISO 5983-1:2005, IDT). Корми для тварин. Визначення масової частки азоту та обчислення масової частки сирого протеїну. Частина 1. Метод К'ельдаля. Київ : Держспоживстандарт України, 2005. 16 с.
15. ДСТУ ISO 6492:2003 (ISO 6492:1999, IDT). Корми для тварин. Визначення вмісту жиру. Київ : Держспоживстандарт України, 2005. 14 с.
16. ДСТУ ISO 6865:2004 (ISO 6865:2000, IDT). Корми для тварин. Визначення вмісту сирої клітковини. Метод із проміжним фільтруванням. Київ : Держспоживстандарт України, 2005. 15 с.
17. ДСТУ ISO 5984:2004 (ISO 5984:2002, IDT). Корми для тварин. Визначення вмісту сирої золи. Київ : Держспоживстандарт України, 2005. 10 с.
18. Eastridge M. L. Major advances in feeding dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2006. Vol. 89, No. 4. P. 1311–1323.
19. Schwab C. G., Broderick G. A. Amino acid nutrition of dairy cows: current status and future perspectives. *Journal of Dairy Science*. 2017. Vol. 100, No. 12. P. 10014–10027.
20. Sunderhaus C., Südekum K. H. Effects of feed processing on ruminal degradation and intestinal digestibility of protein sources for ruminants. *Animal Feed Science coalition and Technology*. 2019. Vol. 255. Art. 114219.
21. Bach A., Cabrera N. Associations between dairy cow primary behaviors and

production parameters in herd-managed conditions. *Applied Animal Behaviour Science*. 2021. Vol. 236. P. 105–112.

22. American Feed Industry Association (AFIA). Feed Manufacturing Technology V. Arlington : AFIA, 2020. 712 p.

23. Кулик М. Ф., Засуха Т. В., Околелова В. В. Концентрована годівля високопродуктивних корів та профілактика метаболічних розладів. *Вісник аграрної науки*. 2020. № 5. С. 18–25.

24. Півторак Я. І., Вовк М. В. Оптимізація протеїнового живлення молочних корів за рахунок захищених амінокислот. *Біологія тварин*. 2021. Т. 23, № 2. С. 45–51.

25. Філіпенко О. В., Єгоров Б. В. Особливості подрібнення зернової сировини у молоткових дробарках комбикормових заводів. *Харчова наука і технологія*. 2019. Т. 13, № 1. С. 98–105.

26. Бомко В. С., Федоренко О. М. Мінеральне живлення високопродуктивних лактуючих корів в умовах інтенсивних технологій. *Науковий вісник Білоцерківського НАУ*. 2022. Вип. 1 (29). С. 12–19.