

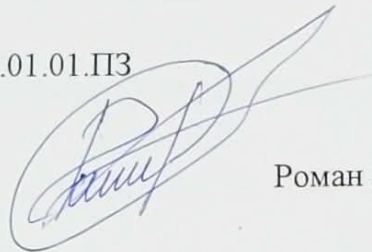
Хмельницький національний університет
Факультет технологій і дизайну
Кафедра хімії та хімічної інженерії

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ
ГРАНУЛЮВАННЯ НА ПОЖИВНІСТЬ ТА
ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КОМБІКОРМІВ

Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Галузь знань 16 Хімічна інженерія та біоінженерія
Спеціальність 161 Хімічні технології та інженерія
Освітня програма Хімічні технології та інженерія

КвРХТІ. 024124.24.01.01.ПЗ

Виконав здобувач 2 курсу, група ХТІм-24-1



Роман ДРАЧУК

Керівник доктор технічних наук, професор



Ольга ПАРАСКА

Нормоконтролер



Олександр СТРЕМЕЦЬКИЙ

До захисту допускаю:

завідувач кафедри хімії та хімічної інженерії



Ольга ПАРАСКА

9.12.2025 р.

Хмельницький 2025

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет технологій і дизайну
Кафедра хімії та хімічної інженерії
Освітній рівень другий (магістерський)
Галузь знань 16 – Хімічна інженерія та біоінженерія
Спеціальність 161 – Хімічні технології та інженерія
Освітня програма Хімічні технології та інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри хімії та
хімічної інженерії

Ольга ПАРАСКА
25 серпня 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Драчук Роман Олександрович

1 Тема роботи Дослідження впливу технологічних параметрів гранулювання на поживність та фізико-хімічні властивості комбікормів

Керівник роботи Параска Ольга Анатоліївна, доктор технічних наук, професор

Затверджено наказом ректора університету від 25 серпня 2025 р., протокол № 65

2 Термін подання здобувачем роботи на кафедру 1 грудня 2025 р.

3 Вихідні дані до роботи Звіт з переддипломної практики. ДСТУ 8024:2015 Комбікорми гранульовані. Загальні технічні умови. ТУ У 15.7-30044094-001:2010. Міжнародні стандарти безпеки продовольства та харчової продукції ISO 22000 і FSSC 22000.

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Характеристики основних груп і окремих компонентів кормів для тварин. Аналіз властивостей комбікормової сировини. Особливості технології та технологічні лінії для гранулювання комбікормів.

5 Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) Графічна частина виконана у програмі Canva Presentation, 11 слайдів.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота на тему: Дослідження впливу технологічних параметрів гранулювання на поживність та фізико-хімічні властивості комбікормів

Автор роботи: здобувач вищої освіти групи ХТІм-24-1 Роман ДРАЧУК

Керівник роботи: доктор технічних наук, професор Ольга ПАРАСКА

Обсяг кваліфікаційної роботи 76 сторінок, 19 таблиць, 3 рисунки, 33 джерела посилання, графічної частини 11 слайдів.

Ключові слова: КОМБІКОРМ, ГРАНУЛЮВАННЯ, ТЕХНОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ, ПОЖИВНІСТЬ, ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ.

Метою кваліфікаційної роботи є аналіз основних технологічних параметрів гранулювання та властивостей комбікормів, встановлення оптимальних умов виробництва для забезпечення високої якості продукту.

Об'єкт дослідження – технологічний процес гранулювання комбікорму.

Предмет дослідження – поживність та фізико-хімічні властивості комбікормів.

Кваліфікаційна робота присвячена дослідженню впливу основних технологічних параметрів процесу гранулювання на поживність та фізико-хімічні властивості комбікормів. Встановлено оптимальні умови технологічного процесу гранулювання температура 80–90 °С, вологість 14 %, тиск 75–80 бар, середній розмір гранул 4 мм, швидкість шнека 100 об/хв, які забезпечують максимальну міцність, однорідність та насипну густину, зберігаючи поживність та мінеральний склад комбікорму. Показано, що дотримання оптимальних режимів гранулювання сприяє підвищенню якості комбікормів і ефективності їх використання у тваринництві. Практичне значення роботи полягає у можливості впровадження отриманих результатів у виробничу діяльність комбікормових підприємств з метою оптимізації технологічних процесів та підвищення конкурентоспроможності продукції.

15.12.2025

Здобувач вищої освіти групи ХТІм-24-1

Роман ДРАЧУК

ЗМІСТ

	С
ВСТУП.....	5
1 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИРОБНИЦТВА КОМБІКОРМУ.....	8
1.1 Сучасні тенденції виробництва комбікорму в Україні та в світі.....	8
1.2 Особливості технологічного процесу гранулювання комбікормів.....	15
1.3 Основні групи і складові компоненти кормів для тварин.....	23
2 МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ КОРМУ ДЛЯ ТВАРИН.....	31
2.1 Технологічний контроль та оцінка якості виробництва комбікормів на ТОВ «Летичівський комбікормовий завод».....	31
2.2 Нормативні документи, які контролюють комплексне регулювання технології гранулювання комбікормів.....	35
2.3 Методики визначення технологічних параметрів гранулювання.....	42
2.4 Методики визначення поживності та фізико-хімічних властивостей комбікорму.....	43
2.5 Методи обробки експериментальних даних.....	51
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ГРАНУЛЮВАННЯ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ КОМБІКОРМУ.....	52
3.1 Характеристики технологічних ліній для гранулювання комбікорму.....	53
3.2 Аналіз впливу технологічних параметрів процесу гранулювання на властивості комбікорму.....	59
3.3 Дослідження впливу технологічних параметрів процесу гранулювання на поживність комбікорму.....	62
3.4 Оцінка впливу режимів гранулювання на фізико-хімічні властивості комбікормів.....	68
ВИСНОВКИ.....	72
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	74

ВСТУП

Найбільш поширеним і ефективним методом обробки комбікормів є гранулювання, яке дозволяє покращити фізичні властивості корму, зменшити втрати поживних речовин, підвищити споживання та перетравність. Разом з тим, технологічні параметри процесу гранулювання (температура, тиск, вологість, тривалість обробки) можуть істотно впливати на збереження біологічно активних компонентів, таких як білки, вітаміни та ферменти. Технології гранулювання корму для тварин це процес переробки сировини у щільні гранули для поліпшення зберігання, транспортування та засвоєння корму. Залежно від виду тварин, використовують різні рецептури та діаметри гранул. В даний час гранульовані корми застосовують у різних галузях тваринництва. Технології виробництва комбікормів у гранулах постійно розширюють, оновлюється обладнання, модернізують процеси [1, 2].

Технології гранулювання комбікорму дають можливість збалансувати та збагатити харчування тварин та птахів. Гранула містить різноманітні компоненти, що робить харчування корисним.

Сучасні технології гранулювання комбікормів забезпечують отримання однорідних гранул певного розміру. Технологічний процес гранулювання складається з кількох етапів: підготовки сировини (подрібнення, змішування інгредієнтів та зволоження); кондиціонування (обробка парою для підвищення пластичності маси); гранулювання (пресування суміші через матрицю за допомогою гранулятора); охолодження (стабілізація форми та зниження вологості гранул); просіювання та пакування (видалення дрібних частинок і підготовка до реалізації).

Склад комбікорму залежить від рецептури, за якою готують корм для тварин [3, 4]. Залежно від обсягів виробництва застосовують гранулятори різної продуктивності, потужності. Гранулятори для комбікорму виготовляють гранули заданих розмірів, виходячи з параметрів матриці.

Особливістю технологічного процесу гранулювання комбікорму є нагрівання гранул. При термічній обробці гранул відбувається знищення шкідливих мікроорганізмів, бактерій, грибків. Висока температура гранулювання комбікорму значно підвищує термін його зберігання, робить гранули щільнішими та стійкими до впливів зовнішніх факторів.

При гранулюванні кормів використовують різні методи. Застосовують такі режими гранулювання комбікормів:

- сухий режим гранулювання комбікормів, при якому суміш кормів зволожують, прогрівають, подають на прес-гранулятор, прогрівають парою та направляють на фільтри матриць. Гранулятори оснащені матрицями різних типів.
- вологий режим, при якому використовують прес-екструдер. Зерно зволожують, додають сполучний засіб. Екструдування – це ефективний спосіб виробництва комбікормів, у якому відбуваються безперервні процеси деформування (механічний та хімічний).

Таким чином, сучасні технології гранулювання комбікорму дозволяють одержувати гранули високої щільності, що є економічним, заощаджує складські площі, упаковку, полегшує транспортування [5, 6]. Підвищують продуктивність корму для тварин, стабілізують однорідність корму, покращують поживні властивості, підвищують калорійності, знижують тривалість вигодовування, час енергії для насичення. Залежно від виду тварин, використовують різні рецептури та діаметри гранул. Технології гранулювання підвищують продуктивність годівлі, зменшують втрати корму, покращують гігієнічність продукції, високоефективні для механічної, автоматизованої годівлі тварин.

У зв'язку з цим актуальним є комплексне дослідження впливу технологічних параметрів гранулювання на поживність та фізико-хімічні властивості комбікормів, що дозволить оптимізувати технологічний процес та підвищити ефективність використання кормових ресурсів. Актуальність кваліфікаційної роботи зумовлена зростанням вимог до якості та безпечності комбікормів, необхідністю збереження поживних речовин під час термічної обробки, потребою в енергоефективних та ресурсозберігаючих технологіях у комбікормовій

промисловості, впливом фізико-хімічних властивостей кормів на продуктивність та здоров'я тварин.

Метою кваліфікаційної роботи є аналіз основних технологічних параметрів гранулювання та властивості комбікормів і встановлення оптимальних умов виробництва для забезпечення високої якості продукту. Для досягнення поставленої мети, необхідно вирішити наступні завдання кваліфікаційної роботи:

- проаналізувати сучасні технології гранулювання комбікормів;
- дослідити вплив температури та вологості на фізико-хімічні показники гранульованих комбікормів;
- оцінити зміни поживності комбікормів у процесі гранулювання.
- визначити оптимальні технологічні параметри, що забезпечують максимальну якість комбікорму.

Об'єкт дослідження – технологічний процес гранулювання комбікорму.
Предмет дослідження – поживність та фізико-хімічні властивості комбікормів.

Кваліфікаційна роботи складається з вступу, трьох розділів, висновків, переліка джерел посилання. Результати дослідження можуть бути використані на підприємствах комбікормової промисловості для оптимізації технологічних режимів гранулювання, підвищення якості готової продукції та зменшення втрат поживних речовин.

1 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ВИРОБНИЦТВА КОМБІКОРМУ

1.1 Сучасні тенденції виробництва комбікорму в Україні та в світі

Світове виробництво комбікорму постійно зростає, щоб задовольнити потреби тваринництва, яке стрімко розвивається. Для підвищення ефективності виробництва великого обсягу комбікормів важливими є оптимізація технологічних параметрів гранулювання, контроль фізико-хімічних властивостей та дотримання стандартів якості [7, 8].

Зростання попиту на комбікорми зумовлене збільшенням споживання м'яса та продуктів тваринного походження у світі. Середньорічний темп зростання (CAGR) для світового ринку комбікормів становить 3–4%. Результати аналізу світового виробництва комбікорму наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Світове виробництво комбікорму за регіонами

Регіон	Обсяг виробництва, млн тонн/рік	Частка від світового виробництва, %	Основні країни
Азія	520–540	40	Китай, Індія, В'єтнам
Північна Америка	325–330	25	США, Канада
Європа	260–270	20–22	Німеччина, Франція, Польща
Латинська Америка	130–140	10–11	Бразилія, Аргентина
Африка та Близький Схід	50–55	4–5	Південна Африка, Єгипет, Саудівська Аравія

За даними таблиці 1.1 у 2024 році глобальне виробництво комбікорму оцінювалось у 1,3 млрд тонн на рік. Найбільшими виробниками на світовому ринку є Китай, США, Бразилія, Європейський Союз та Індія. Основні види комбікормів, які виробляють в світі це корм для свиней, птиці, великої рогатої худоби, риби. Азія складає понад 40 % світового виробництва, у першу чергу завдяки Китаю та Індії. Північна Америка – близько 25 %, провідна роль США. Європа – 20–22 %, із високими вимогами до якості та безпеки кормів.

Зростання попиту на м'ясо, яйця та молочні продукти, використання технологій гранулювання та преміксів для підвищення поживності кормів є основними факторами розвитку ринку.

Крім того постійно зростають вимоги до стандартизації та контролю якості у виробництві комбікормів (ISO, HACCP, національні ДСТУ/ГОСТ). А також впровадження інновацій у формулюванні рецептури кормів: протеїнові добавки, вітаміни, мікроелементи, пробіотики.

В аналітичних дослідженнях 2024 року в Україні було використано близько 22,4 млн тонн усіх видів кормів, з яких приблизно 8 млн тонн це комбікорми [9].

Ринок характеризується домінуванням великих вертикально інтегрованих агрохолдингів, які забезпечують значну частку виробництва, до 70 % на деяких сегментах. Зернова сировина становить основу комбікормів в Україні, близько 60–80 % у рецептурах, що забезпечує доступну та місцеву сировинну базу.

Основними споживачами комбікормів в Україні є птахівництво – 60 %, свинарство – 35 % та інші категорії тваринницької продукції.

Україна має потужну аграрну базу для виробництва комбікормів завдяки власному зерновому сектору, але війна значно підірвала виробництво та логістичні можливості. Сьогодні виробництво комбікормів в Україні оцінюють близько в 8 млн тонн, що становить суттєве зменшення порівняно з докризовими показниками. Сектор все ще адаптується до нових умов, проте зберігає потенціал для відновлення та зростання, зокрема завдяки розвитку птахівництва та оптимізації внутрішніх виробничих ланцюгів.

Динаміка виробництва комбікормів в Україні (2018–2024, млн тонн) представлена в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Динаміка виробництва комбікормів в Україні у 2018–2024 роках

Рік	Обсяг виробництва комбікормів, млн. т	Коментар
2018	6,0	Загальний обсяг комбікормів в Україні
2019	6,3	Найнижчий обсяг виробництва за останні роки до 2020 року
2020	6,0–6,5	Приблизні оцінки ринку комбікормів, після 2019 року
2021	6,5	Оцінка попереднього відновлення ринку комбікормів, до війни,
2022	4,5–5,0	Частковий спад через повномасштабну війну, зниження виробництва понад 12 – 35 %

Як видно з таблиці 1.2 російське вторгнення у 2022 році призвело до різкого скорочення виробництва комбікормів. За різними оцінками, обсяги зменшились приблизно на 12–35 % порівняно з 2021 роком через руйнування виробничих потужностей, логістичні труднощі та обмеження зернової бази. Зниження виробництва зерна у 2022 році на 37 % також обмежило можливості кормової промисловості.

Після початку війни виробництво і споживання кормів не повернулося до докризових рівнів, хоча сектор поволі адаптується до нових умов. Попри спад, перспективи для росту є позитивними, особливо у сегменті птахівництва, яке відновило експортні позиції та залишається головним драйвером попиту на комбікорми.

Очікують, що виробництво комбікормів може поволі зростати у 2025–2026 роках, у разі стабілізації сільськогосподарського сектору та логістики.

Виробництво комбікормів в Україні становило близько 6–6,5 млн тонн на рік, із невеликими коливаннями ринку кормів загалом. Після початку повномасштабного вторгнення комбікормова галузь зазнала значного падіння. Деякі оцінки вказують на скорочення виробництва на 12–35 %, що призвело до зниження загального обсягу виробництва.

Попри війну та логістичні виклики, галузь комбікормової продукції почала поступово відновлюватись, а показники виробництва кормів загалом у 2024 році оцінюють приблизно в 22,4 млн тонн кормів, у тому числі 8 млн тонн комбікормів.

Незважаючи на суттєві труднощі через війну, виробництво комбікормів в Україні з 2022 року демонструє ознаки адаптації і відновлення, що є позитивним сигналом для тваринницького сектору та агропромислового комплексу в цілому. Українське виробництво комбікормів забезпечує важливу частку кормової бази для тваринництва (птахівництво, свинарство, ВРХ), що підсилює продовольчу безпеку країни. Однак, стан зернової галузі, логістичні проблеми та доступ до сировини залишаються ключовими чинниками, які впливають на динаміку виробництва комбікормів.

Дослідження кваліфікаційної роботи проведено в лабораторії на базі виробничих потужностей ТОВ «Летичівський комбікормовий завод» (м. Летичів) входить до групи компаній Yednist' Group [11]. Компанія надає комплексні рішення у сфері біобезпеки, годівлі, ветеринарії сільськогосподарському секторі. Yednist' Group об'єднання виробничих підприємств, що спеціалізуються на різних напрямках агропромислового виробництва та консалтингу. В даний час компанія об'єднує виробничі потужності, розташовані у Полтавській, Дніпропетровській та Хмельницькій областях.

Виробничі процеси ТОВ «Летичівський комбікормовий завод» дозволяють виробляти максимально широкий спектр преміксів, комбікормів, складних кормів, білково-мінерально-вітамінних добавок за рецептурою будь-якої складності та із застосуванням необхідної кількості та асортименту компонентів. Високотехнологічне виробниче обладнання, автоматизовані системи керування

виробничими процесами, забезпечують точне вагове дозування, мікродозування вітамінних та ензимних компонентів.

На ТОВ «Летичівський комбікормовий завод» встановлено технологічні лінії гранулювання комбікорму у вигляді крихти, гранули, крупки та розсипи, фінішного напилення рідких компонентів. А також комплекси з обробки та зберігання сировини (зернових, бобових та олійних культур), які дозволяють забезпечувати високу якість готової продукції для власних торгових марок (Щедра Нива, Баланс Оптіма, Feedline, BestMix, Топ Корм, Просто Корм, Feed Mix, Макс Еффект, Еко Корм) та на індивідуальні замовлення споживачів.

У виробничій лабораторії ТОВ «Летичівський комбікормовий завод» використовують сучасні методики визначення фізико-хімічних, органолептичних показників якості зернових, бобових та олійних культур. А також системи стандартизації і сертифікації використовують на виробництві для забезпечення умов відповідності продукції міжнародним та вітчизняним нормативним документам.

Слід зазначити, що на ТОВ «Летичівський комбікормовий завод» постійно впроваджують сучасні технології, створюють дружню атмосферу в колективі, всебічно сприяють професійному розвитку молодих фахівців.

Поєднання основних технологічних процесів, автоматизації виробництва, фізико-хімічні, органолептичні показники якості продукції, в загальному впливають на забезпечення високоякісної обробки та переробки продукції агропромислового комплексу.

Технології гранулювання корму для тварин на ТОВ «Летичівський комбікормовий завод» це процес переробки сировини у щільні гранули для поліпшення зберігання, транспортування та засвоєння корму. Залежно від виду тварин, використовують різні рецептури та діаметри гранул. В даний час гранульовані корми застосовують у різних галузях тваринництва. Технології виробництва комбікормів у гранулах постійно розширюють, оновлюють обладнання, модернізують процеси [1, 2].

Технології гранулювання комбікорму дають можливість збалансувати та збагатити харчування тварин та птахів. Гранула містить різноманітні компоненти, що робить харчування корисним.

Сучасні технології гранулювання комбікормів на ТОВ «Летичівський комбікормовий завод» забезпечують отримання однорідних гранул певного розміру. Технологічний процес гранулювання складається з кількох етапів: підготовки сировини (подрібнення, змішування інгредієнтів та зволоження); кондиціонування (обробка парою для підвищення пластичності маси); гранулювання (пресування суміші через матрицю за допомогою гранулятора); охолодження (стабілізація форми та зниження вологості гранул); просіювання та пакування (видалення дрібних частинок і підготовка до реалізації).

Склад комбікорму залежить від рецептури, за якою готують корм для тварин [3, 4]. Залежно від обсягів виробництва застосовують гранулятори різної продуктивності, потужності. Гранулятори для комбікорму виготовляють гранули заданих розмірів, виходячи з параметрів матриці.

Особливістю технологічного процесу гранулювання комбікорму є нагрівання гранул. При термічній обробці гранул відбувається знищення шкідливих мікроорганізмів, бактерій, грибків. Висока температура гранулювання комбікорму значно підвищує термін його зберігання, робить гранули щільнішими та стійкими до впливів зовнішніх факторів.

При гранулюванні кормів використовують різні методи. Застосовують такі режими гранулювання комбікормів:

- сухий режим гранулювання комбікормів, при якому суміш кормів зволожують, прогрівають, подають на прес-гранулятор, прогрівають парою та направляють на фільтри матриць. Гранулятори оснащені матрицями різних типів.

- вологий режим, при якому використовують прес-екструдер. Зерно зволожують, додають сполучний засіб. Екструдування – це ефективний спосіб виробництва комбікормів, у якому відбуваються безперервні процеси деформування (механічний та хімічний).

Таким чином, сучасні технології гранулювання комбікорму дозволяють одержувати гранули високої щільності, що є економічним, заощаджує складські площі, упаковку, полегшує транспортування [5, 6]. Підвищують продуктивність корму для тварин, стабілізують однорідність корму, покращують поживні властивості, підвищують калорійності, знижують тривалість вигодовування, час енергії для насичення. Залежно від виду тварин, використовують різні рецептури та діаметри гранул. Технології гранулювання підвищують продуктивність годівлі, зменшують втрати корму, покращують гігієнічність продукції, високоефективні для механічної, автоматизованої годівлі тварин.

Використання комбікормів у розсипному або сипучому вигляді засвідчило, що під час їх транспортування, зберігання і використання має місце самосортування компонентів, розпорощування, злежування, погіршення збереження у кормах поживних речовин, створюються умови для вибирання тваринами, особливо птицею, окремих складових компонентів суміші, утруднюється механізація згодовування тощо [3, 4].

Натомість гранулювання дозволяє краще механізувати процес годівлі тварин, зокрема свиней і птиці, покращує умови праці в птахівництві, умови навантаження, зберігання і транспортування комбікормів, забезпечує повну збереженість поживних речовин компонентів. Це пояснюється тим, що в окремій гранулі представлений повний набір усіх компонентів комбікорму, який споживається, особливо птицею і рибами, повністю, тоді як за згодовування розсипних комбікормів птиця скльовує головним чином частки зерна і інших крупних компонентів, залишаючи багато дрібно подрібнених поживних компонентів, особливо мікродобавок. Згодовування ридам комбікормів у розсипному вигляді теж призводить до самосортування компонентів, вони розпливаються, частина поживних речовин розчиняється у воді, збільшуючи непродуктивні витрати корму.

У загальній схемі технології виробництва кормів для тварин лінія гранулювання комбікормів є її продовженням. На одних комбікормових виробництвах ця лінія представлена в єдиному ланцюзі технологічного процесу, а на інших лінію гранулювання комбікормів розміщують в окремому цеху.

1.2 Особливості технологічного процесу гранулювання комбікормів

Технологія гранулювання комбікормів включає такі технологічні операції: контроль розсипних комбікормів за вмістом металомагнітних домішок та їх очищення; пресування комбікорму в гранули; охолодження гранул; подрібнення (за потреби) гранул на крупку для відокремлення дрібних часток або сортування крупки; зважування гранульованого комбікорму або крупки; відпуск готового продукту.

Технологічна операція приймання і первинного очищення сировини передбачає вивантаження сировини (зернові, макуха, шроти, мінеральні добавки), магнітну сепарація (усунення металевих домішок) та просіювання від великих сторонніх частинок.

Дозування і зважування компонентів сировини відбувається в автоматичному або напівавтоматичному режимі відповідно до рецептури. Сировину подають в окремі бункери, що важливо для точного складу корму для тварин.

В технологічній операції подрібнення використовують дробарки (молоткові або дискові) для досягнення заданої дисперсності, що забезпечує краще засвоювання корму.

Під час змішування всі компоненти перемішують у міксері до однорідної маси. Додатково можуть вводити рідкі добавки, наприклад, жири, ферменти, вітаміни.

Під час технологічної операції кондиціювання до суміші подають насичену пару або вологу, що підвищує зв'язувальні властивості, санітарну безпеку, міцність гранул.

В технологічній операції гранулювання готова суміш надходить у гранулятор. Матриця і ролики стискають матеріал, формуючи гранули. Температура гранул може досягати від 70 до 90 °С. Під час охолодження сформовані гарячі та вологі гранули тверднуть і стабілізуються в охолоджувачі.

В технологічній операції класифікації та просіюванні здійснюють відсіювання пилу та непридатних частинок, перевіряють однорідність за розмірами.

Упакування і зберігання є заключною технологічною операцією виробництва гранульованого корму для тварин. Готові гранульовані суміші фасують у мішки або навалом. Також може відбуватися етикетування і реєстрація партій. На кожній технологічній операції здійснюють контроль якості з застосуванням автоматизованих SCADA-систем та інтеграцією систем HACCP або ISO. Основні технологічні операції виробництва гранульованого корму для тварин наведено на рисунку 1.1 [2, 3].

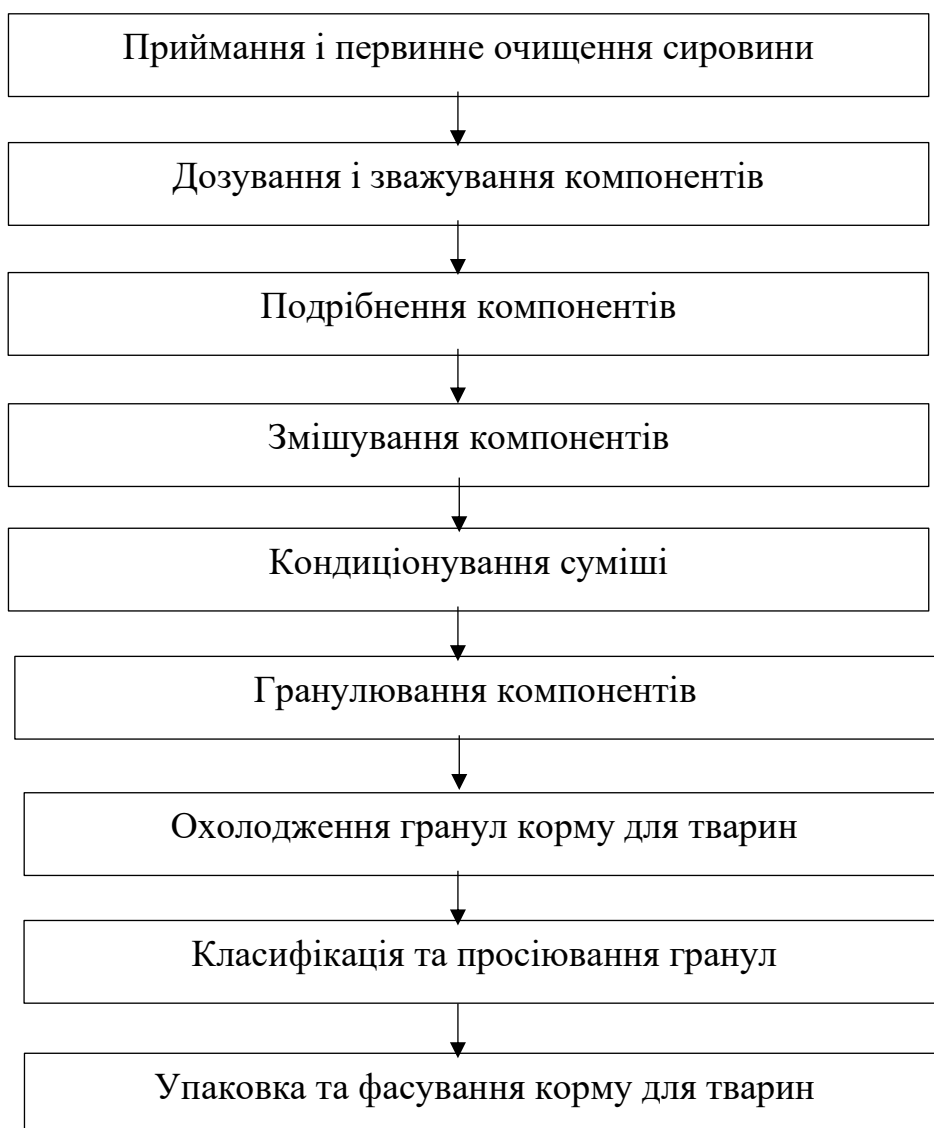


Рисунок 1.1 – Технологічні операції виробництва гранульованого корму

У гранульованих комбікормах краще зберігаються вітаміни, мікроелементи, антибіотики. Під час транспортування гранул відсутнє самосортування, зменшується розпорошування продукту. Гранулювання дозволяє збільшити об'ємну масу комбікормів, порівняно з розсипними, що зменшує потребу в сховищах для їх зберігання і підвищує ефективність роботи транспортних засобів на їх перевезенні. Якщо середня об'ємна маса розсипних комбікормів становить $0,58 \text{ кг/м}^3$, то у гранульованих вона досягає $0,63 \text{ кг/м}^3$, що на 9 % вище.

Поряд із зазначеним, гранулювання комбікормів впливає на їх якість, зокрема на поживні речовини, оскільки при цьому діють такі чинники, як висока температура, вологість і тиск. Ступінь впливу визначають тривалістю дії тепла, яке виникає у технологічному процесі гранулювання, рівнем вологості і ефективністю охолодження та сушіння гранул.

Серед поширених способів гранулювання комбікормів використовують:

- окантування – різновидність структурно наростаючої грануляції аналогічно утворенню снігової грудки шляхом пошаровим накочуванням маси продукту;
- гранулювання пресуванням об'ємним стискуванням і зрушуванням суміші, її пластифікації і структурування, а потім формуванням маси у гранули;
- брикетування – формуванням матеріалу у замкнутому об'ємі з метою надання йому певних форм і розмірів. Основною операцією, яка забезпечує необхідні ущільнення вихідних продуктів, є пресування. Пресуванням на вальцових пресах виробляють брикетоване вугілля, тирсу, пластмаси, металовироби, харчові продукти;
- таблетування – формуванням сипучих комбікормів у таблетки заданої форми;
- гранулювання видавлюванням.

В даний час найбільш розповсюджене виробництво гранульованих комбікормів видавлюванням сухим і вологим способами.

За виробництва гранул сухим способом, зазвичай, зволожують дозовану і змішану кормову суміш розчином меляси чи жиру. В деяких конструкціях пресів

передбачена подача звичайної чи перегрітої пари або води, які незначно підвищують вологість суміші, поліпшуючи цим процес пресування і якість гранул.

За технологією гранулювання вологим способом перед подаванням кормової суміші на спеціальні преси її змішують до стану тіста за вологості 30 %.

Гранульовані комбікорми, виготовлені сухим способом, мають більш блискучу поверхню, але швидше втрачають форму і розкришуються під час транспортування, оскільки мають меншу механічну міцність. Цей спосіб гранулювання знайшов практичне застосування, тому що він простий у технологічному плані, а преси продуктивніші і довговічніші.

Гранульовані корми для тварин, які виробляють вологим способом, довгий час не втрачають форми у воді. Проте технологія їх виготовлення складна, виробництво дорожче. Виробляють такі гранули значно менше, в основному, для годівлі риби.

Процес утворення гранул зі зволоженого і сухого комбікорму різний, бо при цьому діють різні фізичні сили. Утворення гранул здійснюють, насамперед, під дією тиску і вологи, яка полегшує відносне переміщення часток суміші за їх ущільнення і зумовлює появу сил поверхневого натягу. При цьому між частками діють сили, які прагнуть зблизити їх.

Гранули, одержані вологим способом, набувають механічної міцності лише після висушування нагрітим повітрям, коли на їх поверхні утворюється тонкий корок, який захищає гранули від проникнення води і повітря. За цього способу гранули швидко втрачають вологу, стінки капілярів стискаються, висихають і втрачають еластичність, оскільки у складі комбікорму переважають зернові компоненти з високим вмістом крохмалю, який за зволоження гарячою водою клейстеризується, це сприяє утворенню більш в'язкої маси. На фізичні властивості готового продукту впливають, крім того, температурні умови суміші і подальші обробки комбікормової маси, а також тривалість, інтенсивність дії механічних сил злежування та продавлювання крізь матрицю.

Коли пресують сухий комбікорм, у суміші міститься лише зв'язана волога, видалення якої з капілярів потребує значних енергетичних витрат. А це

супроводжується підвищенням питомого тиску пресування. Так, для пресування комбікорму вологістю від 35 до 37 % необхідно створити тиск до 100 кг/см^2 , а для пресування продукту вологістю від 13 до 14 % необхідний тиск на рівні від 1500 до 2000 кг/см^2 .

Отже, пресування – це процес обробки тиском різних матеріалів для ущільнення, зміни форми, відокремлення рідкої фази від твердої тощо, метою пресування матеріалів є також намагання досягти змін різноманітних механічних та інших властивостей. Пресування здійснюють у пресах.

Технологічний процес виготовлення із розсипних комбікормів гранул супроводжується структурно-механічними змінами, які перетворюють розсипний продукт на гранули. У комбікормовій масі різної вологості проявляються зворотні і незворотні деформації, еластичні й крихкі, пружні й пластичні. Характер деформацій залежить від вологості продукту і від діючих тисків пресування. Крихкі деформації проявляються в тому, що деякі частки (особливо за великого питомого тиску пресування) роздавлюються і стираються, що супроводжується більш щільним розміщенням часток. За великого питомого тиску деформації крихкого характеру вдається одержати гладеньку, блискучу поверхню гранул. Пластичні деформації сприяють ущільненню об'єму, не порушуючи щільності часток.

У процесі пресування комбікорм поглинає механічну енергію. Вона витрачається на подолання зовнішнього і внутрішнього тертя, на перехід пружних деформацій у пластичні, і при цьому зігрівається продукт. Температура гранул на виході із преса збільшується від 5 до $10 \text{ }^\circ\text{C}$, порівняно з комбікормом, який надходить для пресування.

Внаслідок того, що розмір часток розсипного комбікорму різноманітний та їх властивості різні, процес деформації за пресування протікає надто складно і неоднократно: пластичні деформації одних часток збігаються з крихкими або пружними деформаціями інших. Волога у процесі пресування виконує роль пластифікатора. Якщо масу піддати певному тиску, то простір між частками і шар вологи зменшуються. Зі зменшенням товщини шару у спресованому комбікормі повною мірою проявляються сили поверхневого натягу, що сприяє отриманню

міцної гранули. Висока якість пресування, продуктивність преса і витрати електроенергії досягаються тоді, коли розсипний комбікорм надходить для пресування вологістю від 15 до 18 %.

Для процесу гранулювання важливим чинником, який впливає на ефективність роботи преса, є відповідність параметрів матриці (форма отворів, їх кількість, частота обертання матриці) властивостям пресованого комбікорму. Окрім цього, на якість пресування впливають стан робочих поверхонь пресувальних роликів, кут захвату комбікорму між роликами і матрицею, тривалість перебування комбікорму в її каналі, робочий тиск на нього у матриці, рівномірність розподілу оброблюваного комбікорму на робочій поверхні роликів і матриці [2, 12].

На величину тиску пресування, питомі витрати електроенергії і міцність гранул істотно впливають довжина і діаметр отворів матриці. Збільшення їх діаметра знижує тиск пресування, енергоємність процесу і міцність гранул. Загальна кількість отворів у матриці впливає на продуктивність процесу більше, ніж величина самих отворів; чим менша сумарна площа отворів, тим нижча продуктивність преса.

На міцність гранул і витрати електроенергії справляє вплив стан робочих органів преса. Шорсткувата поверхня отворів підвищує коефіцієнт тертя комбікорму стінками, що утруднює його пресування і знижує продуктивність преса. Відстань між роликом і матрицею значною мірою визначає тиск преса. Зі збільшенням відстані внаслідок ущільнення значного шару комбікорму зростає тиск, гранули стають більш міцними, але продуктивність преса знижується. Невелика відстань спричинює швидке зношення матриці і пресувальних роликів. Оптимальна величина робочого зазору 0,5 мм.

Процес пресування також залежить від дисперсності (ступеня тиску компонентів) комбікормів. Найміцніші гранули отримують за гранулювання комбікормів, середні розміри часток яких складають від 0,5 до 1,0 мм. За цих показників прес досягає оптимальної продуктивності.

Фізико-механічні властивості розсипних комбікормів (гранулометричний склад, однорідність, об'ємна маса, вологість, коефіцієнти внутрішнього і зовнішнього тертя) також справляють суттєвий вплив на процес гранулювання. Гранулометричний склад, або крупність розсипних комбікормів характеризується вмістом залишку (%) на відповідних ситах, розмір вічок яких передбачений стандартами для кожного виду комбікорму. Виробництво гранул із тонко змеленого розсипного комбікорму (залишок на ситі з отвором 3 мм – від 5 до 10 %) дає можливість збільшити продуктивність пресів до 15 %.

Під час гранулювання кормів для тварин відбуваються структурно-механічні зміни, оскільки за гранулювання розсипний комбікорм піддають волого-тепловій обробці. Параметрами, які визначають цей процес, є вологість, температура, тиск і тривалість процесу.

У процесі волого-теплової обробки, яку здійснюють у змішувачі преса-гранулятора, відбувається кондиціонування. Розсипний комбікорм обробляють паром під тиском від 0,35 до 0,40 МПа (від 3,5 до 4,0 кг/см²) за температури 150 °С. Для нормальної роботи преса-гранулятора, збереження його робочих органів, отримання високоякісних гранул необхідно дотримуватись деяких обов'язкових параметрів і режимів процесу гранулювання.

Першим параметром є початкова вологість розсипного комбікорму, яка повинна бути у межах від 11 до 12 %. Додаткове зволоження за кондиціонування може коливатись від 2 до 5%. Зазвичай межа загальної вологості складає від 15 до 18 %.

Не менш важливий показник режиму гранулювання – це тиск і витрата пари. У змішувач подають пару в кількості від 60 до 80 кг на 1 т гранул. Висока ефективність гранулювання досягається застосуванням сухої гарячої пари високого тиску. Це особливо важливо, оскільки пара, яка містить вологу, може призвести до нерівномірного зволоження комбікорму, утворення грудочок і, в кінцевому підсумку, до залипання отворів матриці. Підвищення температури суміші компонентів на 10 °С внаслідок обробки паром дорівнює збільшенню її вологості

від 0,7 до 1,0 %. Температура гранул на виході із преса має бути в межах від 70 до 80 °С.

Готові гранули охолоджують для того, щоб знизити їх температуру до 24 °С або до температури, яка б перевищувала температуру навколишнього середовища не більше ніж на 15 °С. Технологічний процес в охолоджувальній колонці полягає в наступному. Підготовлені в прес-грануляторі гранули зразу ж після виходу з матриці направляють у колонку.

Для охолодження гранул застосовують всмоктувальну систему аспірації. Холодне повітря, проходячи через масу гранул, підігрівається, зволожується і направляється на очищення в циклони. Очищене повітря можна використати в самому виробничому приміщенні або його випускають в атмосферу. Тривалість охолодження гранул діаметром 4,7 мм становить 6 хв, 7,7 мм – 10 хв, 19 мм – 18 хв. Скорочення тривалості охолодження вказаних параметрів призводить до утворення твердого поверхневого шару, який уповільнює швидкість дифузії вологи від центру до зовнішньої поверхні. У цьому разі теплота і волога, які залишилися в середній частині гранул, під час зберігання переміщуються до їх поверхні. У зимовий період за зберігання гранульованих комбікормів це може призвести до зволоження і пліснявіння.

Якщо розсипаний комбікорм надходить для гранулювання не в єдиному технологічному потоці, а зі складу готової продукції, тобто повертається у виробництво, його рекомендовано пропускати через просіювальні машини, щоб запобігти потраплянню у прес-гранулятор випадкових домішок – обривків мішків, ниток, мотузків тощо.

Для перевірки якості гранулювання і відсіювання борошнистих часток від гранул їх після охолодження пропускають через просіювальну машину. Замість просіювальної машини у технологічний процес можуть бути задіяні сепаратори з отворами в ситах із металевої сітки від 2 до 2,5 мм.

Гранули, які за якістю відповідають чинним стандартам, направляють до накопичувальних силосів або складу готової продукції чи безпосередньої реалізації споживачу.

1.3 Основні групи і складові компоненти кормів для тварин

Згодовування в складі раціону тваринам будь-якого одного концентрованого корму, наприклад, зерна злакових (пшениця, ячмінь, овес тощо) не може повністю задовольнити їх потребу у поживних і біологічно активних речовинах. Це пояснюють тим, що склад поживних речовин, які входять до цих кормів, одноманітний і не містить повного набору необхідних для збалансування раціону протеїну, амінокислот, вуглеводів, вітамінів, мінеральних речовин тощо. Внаслідок цього знижується продуктивність і якість продукції тварин, уповільнюється їх ріст, погіршується відтворна здатність і стійкість до захворювань, збільшуються затрати кормів на одиницю продукції тощо.

Кращий ефект забезпечують тоді, коли тваринам згодовують окремі корми у різних поєднаннях у вигляді сумішей. При цьому нестача необхідних поживних речовин в одному кормі поповниться наявністю їх в інших кормах, що забезпечить високу поживну і біологічну цінність комбінованого корму або раціону. Науково обґрунтованим комбінуванням підготовлених компонентів можна значно поліпшити повноцінність раціону і, як наслідок, підвищити продуктивність тварин від 10 до 30 % та водночас зменшити затрати кормів на одиницю продукції [1, 3].

Аналіз літературних джерел свідчить про те, що комбікормом називають однорідну суміш очищених і подрібнених до відповідного ступеня кормів, кормової сировини, кормових добавок і преміксів, складену у відповідності з науково обґрунтованими рецептами, збалансовану за вмістом поживних і біологічно активних речовин, необхідних для повного задоволення потреб тварини певного виду, віку, статі, фізіологічного стану і рівня продуктивності [2, 5, 13].

У зв'язку з індустріалізацією тваринництва з кожним роком зростає кількість птахофабрик і великих тваринницьких комплексів з виробництва молока, м'яса, яєць. На підприємствах такого типу застосовують переважно технології кліткового утримання тварин, які передбачають просторове обмеження і втрату зв'язку з навколишнім середовищем. У таких умовах великі вимоги висувають до організації збалансованої і повноцінної годівлі тварин і птиці. Найкраще задовольнити такі

вимоги можна використанням комбікормів. У склад комбікорму можна увести практично всі необхідні елементи живлення і завдяки цьому повністю збалансувати раціони тварин і птиці за енергією, протеїном, амінокислотами, вуглеводами, вітамінами і мінеральними елементами згідно з нормами годівлі.

Комбікорми-концентрати – містять подрібнені, переважно зерно, висівки пшеничні, макуху, рибне або м'ясо-кісткове борошно, а також мінеральні солі, вітамінні препарати та інші біологічно активні речовини. Ці комбікорми призначені для балансування за необхідними елементами живлення основних раціонів тварин на основі грубих і соковитих кормів. Під час складання рецептів комбікормів-концентратів для таких раціонів враховують не тільки вид і виробниче призначення тварин, а також поживність і якість кормів та структуру раціону.

Повнораціонні комбікорми – містять усі необхідні поживні речовини і можуть повністю замінювати собою збалансовані повноцінні раціони тварин певного виду, віку і напрямку продуктивності. Виготовляють такі комбікорми переважно для птиці і свиней. Випускають у розсипному, гранульованому і брикетованому вигляді. Рецепти для повнораціонних комбікормів розробляють з урахуванням зональних умов, сезону року, виду, віку та виробничого напрямку тварин. У зв'язку з цим, повнораціонні комбікорми слід згодовувати тільки тваринам тих видів і груп, для яких їх розроблено. Наприклад, не можна використовувати для свиней комбікорм, виготовлений для великої рогатої худоби, оскільки концентрація кухонної солі в ньому значно перевищує норму для свиней, що може призвести до отруєння свиней.

Комбікорми-добавки представлені білковими концентратами (БК), білково-вітамінними (БВД) і білково-вітамінно-мінеральними добавками (БВМД), замінниками незбираного молока. Це однорідні суміші, які містять концентровані корми з високим вмістом протеїну, мінеральних речовин і вітамінів (макуха, дріжджі, зерно бобових), а також препарати вітамінів, мінеральні солі, пробіотики, пребіотики, антибіотики та інші біостимулятори. Їх використовують для включення в комбікорми, що виробляються в господарствах з власного зернофуражу, а також як доповнювачі для балансування раціонів тварин, які складаються із

соковитих і зернових кормів. Свиням БВД згодовують від 15 до 20 % від зернової маси, а великій рогатій худобі – від 20 до 25 % від сухої речовини раціону. Згодовувати БВД у чистому вигляді неприпустимо.

Раціональна годівля сільськогосподарських тварин тривалий час ґрунтується на використанні різних груп кормів, кожна з яких відіграє специфічну роль у забезпеченні потреб організму в поживних речовинах, енергії, мінералах і біологічно активних речовинах. За походженням і складом кормові засоби для тварин поділяють на кілька основних груп:

- об'ємні (грубі й соковиті) корми. Грубі корми (сіно, солома, полова, жом) містять велику кількість клітковини, сприяють жуйці, але мають порівняно низьку енергетичну цінність. Соковиті корми (силос, сінаж, коренеплоди, баштанні) мають високу вологість, містять багато вуглеводів, вітамінів, органічних кислот.

- концентровані корми з високою питомою поживною цінністю. Зернові культури (пшениця, ячмінь, кукурудза, овес) є основним джерелом вуглеводів. Білкові концентрати (макуха, шроти, кормові боби, горох) – збагачують раціон протеїном.

- корми тваринного походження (рибне борошно, м'ясо-кісткове борошно) містять легко засвоюваний білок, вітаміни групи В, D та мікроелементи.

- мінеральні й вітамінні добавки. Мінерали (крейда, кухонна сіль, трикальційфосфат) забезпечують нормальний ріст кісткової тканини, функціонування ферментативних систем. Вітамінні премікси підтримують імунітет, репродуктивну функцію, запобігають гіповітамінозам.

- функціональні добавки. Ферменти, пробіотики, антиоксиданти підвищують перетравність кормів, стимулюють ріст, запобігають окисленню жирів. Антибактеріальні препарати та сорбенти – зменшують ризик отруєнь, покращують безпеку кормів.

Основні види, класифікація та характеристики кормів для тварин узагальнено в таблиці 1.3 [2, 13].

Таблиця 1.3 – Основні види, класифікація та характеристики кормів для тварин

Класифікація	Вид комбікорму	Характеристики
За повнотою раціону	Повнораціонний (ПК)	Повністю забезпечує всі поживні потреби тварини
	Концентратний (КК)	Використовують разом з іншими кормами (сіно, силос)
	Білково-вітамінно-мінеральний (БВМК)	Збагачений протеїном, мінералами та вітамінами
За формою подачі	Розсипний	Сухий, сипкий комбікорм
	Гранульований	Пресований у вигляді гранул, краще засвоюється, зменшує втрати
	Брикетований	Упакований у тверді блоки або брикети
	Екструдований	Оброблений високою температурою і тиском, підвищена перетравність
За віком і видом тварин	Стартерний	Для молодняку (перші тижні життя), легко засвоюється
	Гроверний	Для тварин у фазі росту
	Фінішний	Для тварин перед забоєм або завершальним етапом вирощування
	Для несучок, корів, свиней, тощо	Раціони адаптовані під потреби конкретних видів тварин
За технологіями та способом виготовлення	Сухий	Вологість до 14 %
	Вологий	Зволожений, може містити молочні продукти, патоку, ін.
	Рідкий	Використовують у спеціалізованих системах годівлі

Для виробництва кормів для тварин використовують зерно злакових (ячмінь, кукурудза, пшениця, овес, тритикале, просо, сорго тощо) і бобових (горох, соя, боби, сочевиця, вика, люпин тощо) культур, відходи млинарсько-круп'яних підприємств, елеваторного господарства, маслозаводів, крохмале-мелясового, цукрового, спиртового і пивоварного виробництва, корми тваринного походження, кормові дріжджі з нехарчової сировини, корми рослинного походження, багаті на вітаміни і мінеральні речовини, вітамінні, мінеральні та інші добавки [1, 3].

Виробляють комбікорми згідно з рецептами, які являють собою відповідну програму з передбаченими у ній набором компонентів і кількістю кожного з них. Розробляють рецепти комбікормів на основі норм і особливостей годівлі тварин певного виду, статі, віку, фізіологічного стану, рівня продуктивності та господарського призначення.

Комплексний аналіз властивостей сировини корму для тварин передбачає оцінку безпеки, поживної цінності, технологічної ефективності, а також економічної доцільності використання у рецептурі.

До фізико-хімічних властивостей сировини корму для тварин належать вологість, питома щільність, крупність, текучість, сипкість. Оптимальною для зберігання і гранулювання вважають вологість від 10 до 14 %. Питома щільність залежить від виду сировини, наприклад в зернових – від 700 до 800 кг/м³. Крупність впливає на якість змішування і гранулювання. Текучість визначає легкість подачі в обладнання. Сипкість має значення для дозування і транспортування.

Поживну цінність корму для тварин забезпечують білки – протеїни, важливі для росту тварин (макуха, шрот високий протеїновий вміст); жири є джерелом енергії, також зволожують гранули; клітковина впливає на перетравність (оптимум залежить від виду тварин); крохмаль, цукри є джерелом енергії, особливо в зернових; мінерали (Ca, P, Na) необхідні для кісток і метаболізму; вітаміни (A, D, E, група B) входять до складу преміксів [1, 13].

Технологічні властивості характеризують гранульованість, поглинання вологи, злипання, термостійкість. Гранульованість впливає на здатність утворювати щільні гранули без руйнування. Поглинання вологи впливає на якість

кондиціювання. Злипання небажане при транспортуванні і зберіганні. Термостійкість важлива для збереження поживних речовин при обробці.

Санітарно-біологічні показники корму для тварин враховують мікробіологічну чистоту, мітотоксини, наявність домішок. Мікробіологічну чистоту оцінюють відсутністю патогенів, сальмонели, плісняви. Мікотоксини не повинні перевищувати допустимих меж. Не допускають наявність сторонніх домішок, наприклад, скло, метал, пісок та ін.

Застосування БВМД дозволяє звести до мінімуму кількість інгредієнтів у зерновій суміші і як основу кормової суміші і комбікорму-концентрату використовувати той концентрований корм, який у конкретній природно-кліматичній зоні дає найбільший ефект.

Оптимальні рецепти включають основні необхідні компоненти і відповідні добавки для повного балансування раціонів тварин певного виду, віку, статі, фізіологічного стану і рівня продуктивності згідно з нормами годівлі.

Замінники незбираного молока (ЗНМ) використовують з метою часткової або повної заміни незбираного молока при вирощуванні телят, ягнят, поросят. Основним компонентом ЗНМ є сухе знежирене молоко (може бути суха молочна сироватка, соєве молоко тощо), а також тваринні жири як джерело енергії і розчинник вітамінів та емульгатор.

Премікси – однорідні суміші подрібнених до необхідної величини біологічно активних компонентів і наповнювача, призначені для включення в комбікорми і БВМД, ЗНМ для збагачення їх БАР.

Премікси можуть містити вітаміни, мікроелементи, ферменти, деякі амінокислоти, антибіотики, антиоксиданти, смакові добавки, а також речовини, що мають лікувальну і профілактичну дію. Як наповнювач використовують висівки пшеничні, шрот соєвий тощо. Масова частка преміксів у комбікормах становить від 0,2 до 3,5 %. За своїм призначенням поділяють на профілактичні, лікувальні і антистресові.

Профілактичні премікси використовують для балансування комбікормів і раціонів тварин за дефіцитними елементами живлення. Лікувальні –

використовують тимчасово з лікувальними цілями. Антистресові – містять підвищену кількість вітамінів, транквілізаторів, і застосовуються у разі потреби.

Премікси можуть бути комплексними (з вмістом вітамінів, амінокислот, антиоксидантів, мінеральних елементів) і простими – з вмістом мінеральних або вітамінних добавок

Карбамідний концентрат (амідоконцентратна добавка – АКД) – кормовий продукт у вигляді крупки, який отримують обробкою в екструдерах однорідної суміші подрібненого зерна (ячменю, пшениці, кукурудзи тощо), карбаміду і бентоніту. Карбамідний концентрат використовують як азотисто-вуглеводну добавку для виробництва комбікормів, БВМД і кормових сумішей для жуйних тварин.

Залежно від виду тварин і птиці кожному рецепту комбікорму присвоюють певні літерні позначення та номер. При цьому у межах встановлених десятків нумерації комбікормів рецептам присвоюють порядкові номери за виробничими (віковими) групами тварин. Рецепти БВМД позначають тими самими номерами, що і відповідні комбікорми з додаванням після цифрового значення літер БВМД.

Кожному рецепту карбамідного концентрату присвоюють шифр, який складається із літер КК (карбамідний концентрат) і номера. Рецепти БВМД на основі карбамідного концентрату позначають цифрами, які відповідають рецепту комбікорму для певного виду жуйних тварин з такими літерами – БВМД-К.

Комбікорми виготовляють у розсипному, гранульованому і брикетованому вигляді та у вигляді крупки із гранул. Під час гранулювання комбікормів усувають їх самосортування під час транспортування, що забезпечує високий ступінь однорідності продукту за складом і поживністю, зменшується потреба у складських приміщеннях, поліпшується збереженість поживних і біологічно активних речовин, ліквідується вибірковість споживання окремих компонентів [2, 3]. Якість комбікормів оцінюють за зовнішнім виглядом, кольором, запахом, ступенем помелу зерна, наявністю механічних домішок, вологістю, ураженістю комірними шкідниками, плісневими грибами, а також за поживністю та показниками їх безпеки згідно з вимогами чинних стандартів.

Для виробництва комбікормів використовують різноманітні групи і окремі компоненти рослинного і тваринного походження, препарати мікробіологічного і хімічного синтезу, мінеральні корми, біологічно активні добавки. Усі вони характеризуються різною енергетичною, протеїною, вуглеводною, жирною, вітамінною і мінеральною поживністю та фізичними, хімічними і технологічними властивостями, зокрема: величиною часток, структурно-механічними і аеродинамічними особливостями, об'ємною масою, шпаруватістю, кутом природного схилу, в'язкістю, здатністю до самосортування тощо, що необхідно враховувати у використанні їх для виробництва комбікормів.

2 МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ КОРМУ ДЛЯ ТВАРИН

2.1 Технологічний контроль та оцінка якості виробництва комбікормів на ТОВ «Летичівський комбікормовий завод»

У виробничій лабораторії ТОВ «Летичівський комбікормовий завод» використовують сучасні методики визначення фізико-хімічних, органолептичних показників якості зернових, бобових та олійних культур, відповідно до системи стандартизації і сертифікації, які використовують на виробництві для забезпечення умов відповідності продукції міжнародним та вітчизняним нормативним документам.

Попередню оцінку якості сировини, що надходить на комбікормові заводи, проводять працівники лабораторії. Щоб дати дозвіл на вивантаження доставленої на завод сировини, вони здійснюють органолептичну оцінку, визначають температуру, стан тари і упакування. У разі відсутності дефектів лабораторія дає дозвіл на розвантаження.

У лабораторії визначають органолептичні показники (у кожній партії сировини, що надходить), вміст сміттевої, зернової і металомагнітної домішки, фізичні властивості і хімічний склад сировини.

Наявність сміттевої домішки, у тому числі мінеральної, насіння шкідливих і отруйних бур'янів, визначають у кожній партії зернової сировини. Її вміст не повинен перевищувати 1 % від загальної маси сировини.

Зернову домішку визначають не рідше одного разу на місяць. Цей контроль необхідний для попередження надходження зернової суміші замість зерна, оскільки зернова суміш і оцінюється дешевше, і заміна одного виду зерна іншим у більшій кількості може не забезпечити бажаного рівня якості.

На комбікормових заводах, обладнаних лінією луцення вівса і ячменю, передбачається вибірковий контроль природи зерна (не менше однієї партії з 10).

Металомагнітні домішки у кормовій сировині олійно-екстракційних виробництв (макуха, шрот, фосфатидні концентрати), сировині тваринного походження (м'ясо-кісткове, м'ясне, кров'яне борошно), побічних продуктах харчових виробництв (жом, пивна дробина, барда) визначають у кожній партії сировини, яка надходить на комбікормовий завод; у трав'яному, хвойному і листяному борошні, кормових відходах млинових і круп'яних виробництв (висівки, мучка) – вибірково; в кормових дріжджах, сировині мінерального походження (крейда, кухонна сіль, вапняки, кормові фосфати, черепашикове, кісткове борошно тощо) – на розсуд працівників лабораторії.

Величину часток визначають у кожній партії сировини тваринного походження, вибірково – у трав'яному борошні, на розсуд працівників лабораторії – у висівках, мучках, кормових дріжджах, сировині мінерального походження.

Температуру кожної партії шротів і трав'яного борошна обов'язково контролюють для запобігання самозігрівання і самозагоряння цих продуктів.

Мікроскопічні методи аналізу застосовують для швидкого виявлення плісняви, забрудненості, наявності сторонніх домішок, кліщів, комах тощо.

Основна мета контролю технологічного процесу – забезпечити виробництво комбікормів, які б відповідали встановленим нормам. Виходячи з цього, в лабораторії періодично здійснюють:

- контроль роботи очищувальних машин (відбір проб на робочих місцях і визначення вмісту смітної домішки у зерновій сировині до і після очищення) – один раз за зміну;

- контроль роботи об'ємних дозаторів – не менше двох разів за зміну;

- контроль роботи розмелювальних машин – один раз за зміну;

- контроль роботи магнітних установок – один раз за квартал;

- контроль висушування сировини мінерального походження – не менше одного разу за зміну;

- контроль процесу гранулювання через 2 год роботи преса визначають температуру гранул на виході з охолоджувальної колонки, їх довжину, проход

через сито з отворами діаметром 2 мм, крихкість і набухання гранул (в комбікормах для риб) – не менше двох разів за зміну;

– контроль виробітку крупки за величиною залишку на ситі і проході через сито – через кожних 2 год роботи.

Проби також відбирають до і після очищення сировини на очищувальних машинах (зернові і борошністі види сировини); після подрібнення (зернова і мінеральна сировина); після кожного об'ємного дозатора; до і після луцильних машин; після остаточного змішування (збагачувальна суміш); до і після висушування (сировина мінерального походження); після охолодника (гранули); після просіювальних машин (крупка).

Контроль якості готової продукції розпочинають з відбирання зразків. Проби відбирають за допомогою автоматичних пробовідбірників, встановлених у місцях проходження готової продукції в силосах і працюючих за принципом відсікання струменя через рівні проміжки часу. Із відібраних проб складають середньозмінні зразки, в яких визначають наступні показники: органолептичні (колір, запах); технічні (величина помелу, наявність цілих зерен і металомагнітних домішок); хімічні (вологість, сирий протеїн, кухонна сіль, клітковина) в комбікормах для птиці, молодняку свиней, хутрових звірів.

Інші хімічні показники працівники лабораторії визначають або вибірково (одна партія з 10), або не рідше одного разу за місяць.

Вибіркові аналізи проводять у разі визначення вмісту сирової клітковини (в комбікормах для великої рогатої худоби, овець, коней, риб, дорослих свиней, кролів), жиру (у разі уведення в комбікорм кормового жиру), піску, кальцію і фосфору (в комбікормах для птиці), карбаміду (за уведення в комбікорми карбаміду).

На розсуд працівників лабораторії визначають вміст біологічно активних речовин, передусім вітамінів А і Е.

Отримані результати фіксують у журналах встановленої форми; на їх основі виписують посвідчення якості на продукцію, яку відправляють споживачу, і складають звіт щодо якості продукції. Дані контролю якості готової продукції

доводять до відомих керівників відповідних підрозділів (виробничого цеху, технологів і змінних майстрів).

Розсипні і гранульовані комбікорми зберігають у складах силосного типу, а у разі їх відсутності – у складах підлогового типу насипом або в тарі. Зберігають комбікорми окремо за рецептами згідно з планом розміщення, затвердженого адміністрацією. Не дозволяється змішувати комбікорми, виготовлені за різними рецептами, і засмічувати їх сторонніми домішками; зберігати комбікорми в одному складі з сировиною, відходами і мішкотарою; ходити по насипу комбікорму або по мішках з комбікормом без застосування відповідних настилів (трапів).

У разі зберігання комбікормів у мішках у сховищах з асфальтною, бетонною і кам'яною підлогою їх обладнують спеціальними настилами або піддонами.

У разі зберігання і транспортування комбікормів у мішках звертають особливу увагу на збереженість мішків. Укладати в штабелі розірвані і забруднені мішки забороняється. У разі виявлення пошкоджених мішків їх вилучають, а комбікорми пересипають у цілі мішки.

Склади підлогового типу для зберігання розсипних комбікормів окремо за рецептами обладнують перегородками і, як виняток, щитами. Розміщення комбікормів насипом у складах повинне забезпечувати якісне збереження і можливість контролю якості у всіх шарах насипу.

На сьогодні найбільш поширеним способом зберігання комбікормів є розміщення їх у складах силосного типу. У таких складах комбікорми зберігають не більше 20 діб. У разі періодичного перекачування комбікорму з одного силосу в інший термін зберігання подовжують до 40 діб. Для цього залишають один або два силоси вільними.

Комбікорми, які містять до 7 % м'ясо-карбамідної суміші у співвідношенні 2,5:1, зберігають у силосах не більше 10 діб, а у разі перекачування з одного силосу в інший – не більше 20 діб.

За допомогою сучасних технологій гранулювання в склад корму для тварин можна ввести практично всі необхідні елементи живлення і завдяки цьому повністю збалансувати раціони тварин і птиці за енергією, протеїном,

амінокислотами, вуглеводами, вітамінами і мінеральними елементами згідно з нормами годівлі, а також ефективно використати біологічно активні речовини (ензими, гормони, пробіотики, пребіотики тощо) та лікувальні препарати. Окрім цього, однорідна суміш із кормів різної якості краще споживається тваринами, ніж кожний з них окремо, внаслідок чого підвищується конверсія корму у продукцію. Виробництво комбікормів не залежить від погоди, їх краще трансформувати і зберігати, а згодовування тваринам можна повністю механізувати і автоматизувати.

На сьогодні на ТОВ «Летичівський комбікормовий завод» за допомогою технологій гранулювання виробляють корми для тварин таких видів: комбікорми-концентрати, повнораціонні комбікорми, комбікорми-добавки, премікси та карбамідний концентрат.

2.2 Нормативні документи, які контролюють комплексне регулювання технології гранулювання комбікормів

Використання нормативних показників гарантує достовірність результатів досліджень, відтворюваність експерименту та відповідність отриманих даних чинним стандартам.

Сучасні нормативні документи забезпечують комплексне регулювання технології гранулювання комбікормів – від вимог до сировини та готової продукції до методів визначення фізико-хімічних і поживних показників [15].

Міжнародні стандарти гранулювання комбікорму встановлюють чіткі параметри процесу, які забезпечують якість, поживність та безпечність кормів. Дотримання температури, вологості, розміру гранул та контролю міцності гарантує ефективне виготовлення кормів для різних видів тварин, що відповідає сучасним вимогам безпечності та харчової ефективності. Міжнародною організацією з стандартизації розроблено наступні стандарти [16 – 18]:

- ISO 7301:2011 – Визначення фізико-хімічних властивостей кормів та кормових гранул;

- ISO 18661-1:2016 – Методи оцінки фізичних характеристик гранул, таких як міцність, щільність та пиловидність;
- ISO 14001 – Система екологічного менеджменту, що застосовують для підприємств комбікормової промисловості.

European Feed Manufacturers' Federation (FEFAC) встановлено рекомендації щодо параметрів гранулювання [19]. Температура гранулювання від 70 до 90 °C для більшості комбікормів. Вологість сировини від 12 до 16 % перед подачею в гранулятор. Розмір гранул залежно від тварини – птиця від 2 до 5 мм, свині від 4 до 7 мм, ВРХ від 6 до 8 мм. Контроль якості гранул здійснюють за параметрами щільність, міцність, пиловидність та однорідність.

Association of American Feed Control Officials (AAFCO, США) визначає нормативи безпечності та поживності кормів [20]. Максимально допустимі температури та час нагрівання при гранулюванні для збереження термолабільних компонентів. Контроль фізико-хімічних властивостей гранул (міцність, вологість, вміст пилу). А також підкреслює важливість стандартизації сировини і процесу гранулювання для забезпечення стабільної поживності.

Codex Alimentarius (FAO/WHO) встановлює загальні принципи безпечності кормів та рекомендації щодо технологічних процесів [21]:

- використання термічної обробки для знищення патогенних мікроорганізмів;
- контроль вологості та розміру гранул для оптимального засвоювання корму;
- дотримання санітарно-гігієнічних вимог при виробництві кормів.

Дотримання стандартів ISO у виробництві комбікормів є важливим оскільки встановлює чіткі параметри технологічних процесів (температура, вологість, розмір гранул, міцність), що забезпечують стабільну якість комбікормів. Виконання стандартів дозволяє виробляти корм, який відповідає рецептурі і забезпечує поживну цінність та засвоювання тваринами.

ISO передбачає контроль наявності патогенних мікроорганізмів, токсинів та небезпечних домішок, що знижує ризик захворювань у тварин. Безпечні корми

впливають на якість продукції тваринництва (м'ясо, молоко, яйця), що в кінцевому підсумку безпечно для споживача.

Дотримання ISO дозволяє українським виробникам комбікормів експортувати продукцію на світові ринки, де ці стандарти є обов'язковими. Це підвищує конкурентоспроможність продукції та відкриває нові ринки збуту.

ISO передбачає системний підхід до контролю технологічних параметрів, що зменшує втрати сировини та енергії. Дотримання стандартів сприяє ефективному використанню ресурсів та зниженню витрат.

Виконання стандартів ISO (зокрема ISO 14001) допомагає зменшити негативний вплив виробництва на довкілля. Забезпечує дотримання безпечних умов праці для персоналу.

Основні технологічні параметри гранулювання за міжнародними нормативними документами наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Значення технологічних параметрів гранулювання за міжнародними нормативними документами

Параметр	Рекомендовані значення (згідно ISO / FEFAC / AAFCO)
Температура гранулювання	70–90 °C
Вологість сировини	12–16 %
Розмір гранул	Птиця 2–5 мм, свині 4–7 мм, ВРХ 6–8 мм
Міцність гранул	більше 1,5–2,0 кг/гранула (залежно від виду корму)
Пиловидність	до 3 % від маси гранул
Контроль поживності	Збереження білка, вітамінів та мікроелементів після гранулювання

Нормативна база ДСТУ подібно до міжнародної документації, в технологіях гранулювання забезпечує контроль вологості, міцності, розміру гранул, оцінку поживної цінності комбікормів, відповідність готової продукції вимогам безпечності, якості та інших показників. Нормативні документи (ДСТУ та

пов'язані стандарти), які регулюють виробництво, гранулювання та контроль якості комбікормів в Україні наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Нормативні документи, які регулюють контроль якості виробництва комбікормів в Україні

Нормативний документ	Назва стандарту	Основні положення та сфера застосування
1	2	3
ДСТУ 4120:2002	Комбікорми. Загальні технічні умови	Встановлює загальні вимоги до якості, безпечності, маркування, транспортування та зберігання комбікормів
ДСТУ ISO 6497:2005	Корми для тварин. Відбирання проб	Регламентує правила відбору проб для фізико-хімічних та поживних досліджень
ДСТУ ISO 6496:2005	Корми для тварин. Визначення вологи	Метод визначення масової частки вологи у комбікормах та гранулах
ДСТУ ISO 5983-1:2003	Корми для тварин. Визначення вмісту азоту і розрахунок сирого протеїну	Застосовують для оцінки поживної цінності гранульованих комбікормів
ДСТУ ISO 6492:2003	Корми для тварин. Визначення вмісту жиру	Метод визначення масової частки жиру в комбікормах
ДСТУ ISO 6865:2004	Корми для тварин. Визначення вмісту сирогої клітковини	Характеризує структурні вуглеводи, що впливають на процес гранулювання

Кінець таблиці 2.2

1	2	3
ДСТУ ISO 5984:2004	Корми для тварин. Визначення зольності	Дозволяє оцінити мінеральний склад комбікормів
ДСТУ EN 15510:2017	Корми для тварин. Методи визначення гранулометричного складу	Використовують для оцінки розміру часток до та після гранулювання
ДСТУ 7169:2010	Корми, комбікорми, комбікормова сировина. Методи визначення крихкості гранул	Регламентує визначення міцності та збереженості гранул
СОУ 01.11-37-537:2006	Комбікорми. Вимоги до технологічного процесу	Містить рекомендації щодо параметрів гранулювання (тиск, температура, вологість)

Узагальнені значення технологічних параметрів гранулювання комбікормів відповідно до вимог ДСТУ [22-31] та галузевих норм, представлено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Значення технологічних параметрів гранулювання комбікормів відповідно до вимог ДСТУ

Показник	Нормативне значення	Нормативний документ	Вплив на якість комбікорму
1	2	3	4
Вологість сировини перед гранулюванням, %	14,0–17,0	ДСТУ 4124:2002	Забезпечує пластичність маси та формування міцних гранул

Кінець таблиці 2.3

1	2	3	4
Вологість готових гранул, %	не більше 14,5	ДСТУ 4124:2002	Запобігає пліснявінню та мікробіологічному псуванню
Температура кондиціонування, °С	70–90	ДСТУ ISO 6492:2003	Сприяє гелеутворенню крохмалю та підвищенню засвоюваності
Тиск у зоні пресування, МПа	20–30	Галузеві технічні умови	Забезпечує щільність і міцність гранул
Діаметр гранул, мм	2–4 (птиця), 4–8 (ВРХ, свині)	ДСТУ 4124:2002	Впливає на споживання та засвоєння корму
Міцність гранул, % збережених після стирання	Не менше 90	ДСТУ ISO 17831-1:2016	Характеризує механічну стійкість при транспортуванні
Крихкість гранул, %	Не більше 10	ДСТУ ISO 17831-1:2016	Показник якості гранулювання
Втрати поживних речовин при гранулюванні, %	Не більше 5	ДСТУ 4124:2002	Свідчить про правильність температурних режимів

Дотримання нормативних технологічних параметрів гранулювання, встановлених ДСТУ, є необхідною умовою отримання якісних, поживно повноцінних та механічно стійких комбикормів. Вологість і температура кондиціонування безпосередньо впливають на структуроутворення гранул, тоді як тиск пресування визначає їх міцність та зносостійкість. Перевищення нормативних значень температури або вологості може призводити до втрат термолабільних поживних речовин та погіршення фізико-хімічних властивостей продукту.

На основі аналізу таблиць 2.2., 2.3. складемо порівняння міжнародних стандартів і ДСТУ для технологічних параметрів гранулювання комбікорму. Порівняльний аналіз міжнародних та вітчизняних нормативних документів, які регламентують технологічні параметри гранулювання комбікорму наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Порівняльний аналіз міжнародних та вітчизняних нормативних документів, які регламентують технологічні параметри гранулювання комбікорму

Параметр гранулювання	ISO / FEFAC / AAFCO / Codex	ДСТУ	Вплив
Температура гранулювання	70–90 °С	75–85 °С	Оптимальна для збереження поживності та міцності гранул
Вологість сировини	12–16 %	12–15 %	Відповідність для формування стабільних гранул
Розмір гранул	Птиця: 2–5 мм, Свині: 4–7 мм, ВРХ: 6–8 мм	Птиця: 2–4 мм, Свині: 4–6 мм, ВРХ: 6–8 мм	Залежить від виду тварини, відповідність міжнародним рекомендаціям
Міцність гранул	≥ 1,5– 2,0 кг/гранула	≥ 1,5 кг/гранула	Забезпечує цілісність при транспортуванні та зберіганні
Пиловидність	≤ 3 %	≤ 3 %	Зменшення втрат поживних речовин та пиловидного забруднення
Контроль поживності	Збереження білка, вітамінів та мікроелементів	Збереження поживності згідно рецептури	Важливо для біологічної цінності корму

Таким чином, міжнародні стандарти (ISO, FEFAC, AAFCO, Codex) встановлюють загальні вимоги, які орієнтовані на світову практику та безпечність кормів [18-21]. ДСТУ адаптують ці вимоги до українських умов виробництва та сировинної бази [22-31].

2.3 Методики визначення технологічних параметрів гранулювання

Для проведення експериментальних досліджень використовували стандартну рецептуру комбікорму ТОВ «Летичівський комбікормовий завод», до складу якої входили:

- зернові культури (пшениця, ячмінь);
- білкові компоненти (соняшниковий шрот);
- мінеральні та вітамінні добавки.

Сировина відповідала чинним нормативним документам щодо якості та безпечності [15, 16].

Дослідження проводили шляхом варіювання температури кондиціонування, вологості сировини, тиску пресування. Технологічні параметри гранулювання наведено в таблиці 2.5:

Таблиця 2.5 – Технологічні параметри гранулювання

Технологічний параметр	Значення		
	80 °С	90 °С	100 °С
Температура кондиціонування	80 °С	90 °С	100 °С
Вологість сировини	12 %	14 %	16 %
Тиск пресування (відповідно до режимів роботи гранулятора)	50 бар	75 бар	100 бар
	Низький	Середній	Високий

Гранулювання здійснювали на лабораторному грануляторі з наступним охолодженням гранул.

Дослідження фізико-хімічних показників та поживності гранульованих комбікормів проводили відповідно до чинних нормативних документів України (ДСТУ 4120:2002, ДСТУ 4121:2002, ДСТУ 4782:2007, ГОСТ 23513-79 та ін.).

2.4 Методики визначення поживності та фізико-хімічних властивостей комбікорму

Поживність комбікормів визначали за вмістом сирого протеїну (методом К'ельдаля), вмістом сирого жиру (екстракційним методом), вмістом сирій клітковини (гравіметричним методом), вмістом золи (шляхом спалювання в муфельній печі) [25-28].

Фізико-хімічні властивості гранульованих комбікормів оцінювали за показниками вологості, міцності гранул, крихкості, насипної густини, однорідності гранул [29-31].

Метод К'ельдаля ґрунтується на визначенні загального вмісту азоту в досліджуваному зразку. Органічний азот під час мінералізації перетворюється на амонію сульфат, який після лужної обробки виділяє аміак. Кількість аміаку визначають титриметрично. Вміст сирого протеїну розраховують добутком масової частки азоту та відповідного коефіцієнту перерахунку (для комбікормів становить 6,25).

Дослідний зразок комбікорму масою 1 г добре подрібнюють, висушують, переносять у колбу К'ельдаля. До проби додають 10–15 мл концентрованої сульфатної кислоти та каталізатор. Колбу нагрівають до отримання прозорого розчину зеленувато-блакитного кольору, що свідчить про повну мінералізацію органічної речовини. Після цього розчин охолоджують. До охолодженого мінералізату додають надлишок 40 % розчину NaOH. Виділений аміак переганяють у приймальну колбу з 2 % розчином борної кислоти з індикатором.

Аміак, зв'язаний борною кислотою, титрують стандартним розчином кислоти до зміни кольору індикатора.

Масову частку азоту W_N (%) обчислюють за формулою:

$$W_N = \frac{(V_1 - V_0) \cdot C \cdot 14,01}{m} \cdot 100 \quad (2.1)$$

де V_1 – об'єм кислоти, витрачений на титрування проби, мл;

V_0 – об'єм кислоти, витрачений на вихідне титрування, мл;

C – концентрація кислоти, моль/л;

m – маса наважки, г;

14,01 – атомна маса азоту.

Масову частку сирого протеїну $W_{\text{п}}$ (%) визначають за формулою:

$$W_{\text{п}} = W_N \cdot 6,25 \quad (2.2)$$

Допустиме розходження між паралельними визначеннями не повинно перевищувати 0,2 % абсолютного значення.

Екстракційний метод широко використовують для визначення сирого жиру в комбікормах. Метод надійний, забезпечує достатню точність і відтворюваність результатів, використовують у стандартизованих методиках ДСТУ ISO 6492.

Екстракційний метод визначення сирого жиру ґрунтується на вилученні жирів із досліджуваного зразка органічним розчинником (найчастіше петролейним ефіром або гексаном). Після повного видалення розчинника масу екстрагованого жиру (апарат Сокслета) визначають гравіметрично.

Зразок комбікорму попередньо подрібнюють та висушують до постійної маси. Для аналізу зважують 2 г проби і поміщають у екстракційну гільзу. Чисту суху екстракційну колбу висушують у сушильній шафі, охолоджують в ексикаторі та зважують. Екстракційну гільзу з пробкою встановлюють в апарат Сокслета. До колби додають 100–150 мл органічного розчинника. Проводять екстракцію протягом 6–8 годин, не менше 10–12 циклів сифонації до повного вилучення жиру.

Після завершення екстракції розчинник відганяють, а колбу з жиром висушують у сушильній шафі при температурі 100–105 °С до постійної маси. Колбу охолоджують в ексикаторі та зважують.

Масову частку сирого жиру $W_{\text{ж}}$ (%) обчислюють за формулою:

$$W_{\text{ж}} = \frac{m_2 - m_1}{m} \cdot 100 \quad (2.3)$$

де m_1 – маса порожньої колби, г;

m_2 – маса колби з екстрагованим жиром, г;

m – маса наважки зразка, г.

Різниця між результатами паралельних визначень не повинна перевищувати 0,3 % абсолютного значення.

Гравіметричний метод визначення сирі клітковини – поширений, стандартний метод ДСТУ ISO 6865 у кормовій промисловості. Метод дозволяє оцінити вміст структурних вуглеводів комбикормів, що суттєво впливають на їх засвоювання і поживну цінність.

Гравіметричний метод визначення сирі клітковини ґрунтується на послідовній обробці досліджуваного зразка розбавленими розчинами мінеральної кислоти та лугу. В результаті видаляють легкорозчинні органічні речовини (білки, жири, крохмаль), а нерозчинний залишок, що складається переважно з целюлози та лігніну, зважують після висушування і озолення.

Дослідний зразок комбикорму попередньо знежирюють (екстракцією) та висушують. Для аналізу зважують 1 г проби. Пробу кип'ятять протягом 30 хвилин у 1,25 % розчині сульфатної кислоти при постійному перемішуванні. Після цього суміш фільтрують, промивають гарячою дистильованою водою до нейтральної реакції. Залишок переносять у колбу і кип'ятять 30 хвилин у 1,25 % розчині натрію гідроксиду. Після кип'ятіння фільтрують, ретельно промивають гарячою водою, а потім спиртом або ацетоном.

Фільтр із залишком висушують у сушильній шафі при температурі 105 °С до постійної маси та зважують. Висушений залишок озолюють у муфельній печі при температурі 525–550 °С протягом 2–3 годин. Після охолодження в ексикаторі зважують золу.

Масову частку сирі клітковини $W_{\text{к}}$ (%) обчислюють за формулою:

$$W_k = \frac{m_1 - m_2}{m} \cdot 100 \quad (2.4)$$

де m_1 – маса залишку після висушування, г;

m_2 – маса золи після озолення, г;

m – маса наважки зразка, г.

Розбіжність між результатами паралельних визначень не повинна перевищувати 0,5 % абсолютного значення.

Визначення вмісту сирі золи є обов'язковим етапом аналізу якості комбікормів, оскільки дозволяє оцінити мінеральний склад. Використовують для подальших розрахунків поживності, зокрема обмінної енергії. Метод визначення сирі золи регламентовано ДСТУ ISO 5984 Корми для тварин. Визначення вмісту сирі золи.

Метод визначення сирі золи ґрунтується на повному спалюванні органічної частини досліджуваного зразка при високій температурі. Після озолення залишається неорганічний залишок, який характеризує сумарний вміст мінеральних речовин у комбікормі.

Зразок комбікорму подрібнюють та висушують до постійної маси. Для аналізу відбирають 3 г проби. Чистий тигель прожарюють у муфельній печі при температурі 525–550 °С протягом 30 хвилин, охолоджують в ексикаторі та зважують. У тигель поміщають зважену наважку зразка і обережно обвуглюють в муфельній печі при відкритих дверцятах до припинення димовиділення. Тигель із пробєю поміщають у муфельну піч і прожарюють при температурі 525–550 °С протягом 3–4 годин до отримання світло-сірого або білого зольного залишку.

Після завершення озолення тигель охолоджують в ексикаторі до кімнатної температури та зважують.

Масову частку золи W_3 (%) обчислюють за формулою:

$$W_3 = \frac{m_1 - m_2}{m} \cdot 100 \quad (2.5)$$

де m_1 – маса порожнього тигля, г;
 m_2 – маса тигля із зольним залишком, г;
 m – маса наважки зразка, г.

Розбіжність між результатами паралельних визначень не повинна перевищувати 0,2 % абсолютного значення.

Визначення обмінної енергії є важливим етапом оцінки поживності комбікормів. Розрахунковий метод дозволяє оперативно оцінити енергетичну цінність корму на основі його хімічного складу. Розрахунковий метод обмінної енергії використовують відповідно до ДСТУ, галузевих методичних рекомендацій з оцінки поживності кормів, рекомендацій FAO та FEFAC.

Обмінна енергія (ОЕ, МДж/кг) – це частина валової енергії корму, яку засвоює організм тварини і залишається після вираховування енергії, втраченої з екскрементами (кал, сеча, гази). Для комбікормів використовують емпіричні формули, рекомендовані стандартами та галузевими методиками.

Обмінну енергію комбікормів зазвичай визначають розрахунковим методом на основі хімічного складу корму (вмісту сирого протеїну, жиру, клітковини та безазотистих екстрактивних речовин).

Для розрахунку обмінної енергії попередньо визначають (%), масову частку сирого протеїну $W_{\text{п}}$, масову частку сирого жиру $W_{\text{ж}}$, масову частку сирого клітковини $W_{\text{к}}$, масову частку золи $W_{\text{з}}$.

Розрахунок безазотистих екстрактивних речовин (БЕР) визначають за формулою:

$$\text{БЕР} = 100 - (W_{\text{п}} + W_{\text{ж}} + W_{\text{к}} + W_{\text{з}}) \quad (2.6)$$

Розрахунок обмінної енергії ОЕ (МДж/кг) визначають за формулою:

$$\text{ОЕ} = 0,031 \cdot W_{\text{п}} + 0,035 \cdot W_{\text{ж}} + 0,014 \cdot \text{БЕР} \quad (2.7)$$

де $W_{\text{п}}$ – масова частка протеїну, %;

$W_{\text{ж}}$ – масова частка жиру, %;

БЕР – масова частка безазотистих речовин, %;

Коефіцієнти відповідають енергетичній цінності поживних речовин.
Альтернативна формула для птахів:

$$OE=0,155 \cdot W_{\text{п}} + 0,343 \cdot W_{\text{ж}} + 0,166 \cdot \text{БЕР} \quad (2.8)$$

Розрахунковий метод забезпечує достатню точність для порівняльної оцінки комбікормів. Похибка зазвичай не перевищує 5–7 % порівняно з біологічними методами визначення.

Визначення вологості гранул $W_{\text{в}}$ (%) комбікорму є обов'язковим показником контролю якості, оскільки вологість безпосередньо впливає на міцність гранул, стійкість при зберіганні та запобігання мікробіологічному псуванню. Метод визначення вологості комбікормів регламентовано ДСТУ ISO 6496 Корми для тварин. Визначення вмісту вологи та інших летких речовин.

Визначення вологості ґрунтується на висушуванні досліджуваного зразка до постійної маси при регламентованій температурі. Зменшення маси зразка після висушування відповідає вмісту вологи в комбікормі. З гранул комбікорму відбирають середню пробу, подрібнюють за необхідності та ретельно перемішують. Для аналізу відбирають 5 г зразка.

Порожню бюксу з кришкою висушують у сушильній шафі при температурі 105 ± 2 °C протягом 30 хвилин, охолоджують в ексікаторі та зважують. У підготовлену бюксу вносять наважку комбікорму та зважують. Бюксу із зразком поміщають у сушильну шафу та висушують при температурі 105 ± 2 °C протягом 3–4 годин. Після висушування бюксу охолоджують в ексікаторі та зважують. За потреби сушіння повторюють до досягнення постійної маси.

Масову частку вологи $W_{\text{в}}$ (%) обчислюють за формулою:

$$W_{\text{в}} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \cdot 100 \quad (2.8)$$

де m_1 – маса порожньої бюкси, г;
 m_2 – маса бюкси із зразком комбікорму до висушування, г;
 m_3 – маса бюкси із зразком комбікорму після висушування, г.

Міцність гранул є одним з ключових показників якості комбікорму, що характеризує ефективність процесу гранулювання, впливає на зменшення втрат при транспортуванні та забезпечує стабільність фізичної структури комбікорму. Оцінювання міцності гранул комбікорму здійснюють відповідно до ISO 17831-1 – Корми для тварин. Визначення механічної міцності гранул. Міцність гранул комбікорму визначають за їх здатністю протистояти механічному руйнуванню під дією зовнішніх навантажень. Метод ґрунтується на оцінюванні ступеня збереження гранул після механічного впливу та визначенні вмісту крихти.

Для аналізу (барабанний метод) відбирають 100 г гранул комбікорму без видимих дефектів. Зразок попередньо витримують за температури лабораторії (20 ± 2 °C) протягом 1 години. Зразок гранул масою 100 г поміщають у барабан приладу. Проводять механічне навантаження шляхом обертання барабана зі швидкістю 50 об/хв протягом 10 хвилин. Після завершення випробування зразок просіюють через сито для відокремлення крихти. Зважують масу гранул, що зберегли цілісність, та масу дрібної фракції.

Міцність гранул M_r (%) визначають за формулою:

$$M_r = \frac{m_1}{m} \cdot 100 \quad (2.9)$$

де m_1 – маса цілих гранул після випробування, г;
 m – початкова маса зразка, г.

Насипна густина гранул комбікорму є важливим показником, що впливає на ефективність транспортування, дозування та зберігання. Оптимальні значення насипної густини свідчать про стабільну структуру гранул і раціональні технологічні параметри гранулювання. Визначення насипної густини комбікормів здійснюють відповідно до ISO 7971-3 – Зернові культури. Визначення насипної густини.

Метод визначення насипної густини ґрунтується на вимірюванні маси комбікорму, що заповнює ємність відомого об'єму без додаткового ущільнення. Показник насипної густини характеризує фізичні властивості гранул і використовують для оцінки ефективності гранулювання, умов транспортування та зберігання.

Відбирають середню пробу гранул комбікорму без видимих механічних пошкоджень. Зразок витримують за температури 20 ± 2 °С протягом 1 години. Порожню мірну ємність зважують. Ємність заповнюють гранулами комбікорму шляхом вільного насипання без струшування або ущільнення. Надлишок комбікорму знімають шпателем врівень з краєм ємності. Зважують заповнену ємність. Визначають об'єм ємності.

Насипну густину (ρ , кг/м³) обчислюють за формулою:

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad (2.10)$$

де m_1 – маса порожньої ємності, кг;

m_2 – маса ємності з гранулами, кг;

V – об'єм ємності, м³.

Однорідність гранул комбікорму є важливим показником якості, який свідчить про стабільність технологічного процесу гранулювання та забезпечує рівномірне споживання поживних речовин тваринами. Оцінювання однорідності гранул комбікорму здійснюють відповідно до ISO 17830 – Корми для тварин. Визначення фракційного складу.

Однорідність гранул комбікорму характеризує рівномірність їх розмірів, маси та цілісності. Метод ґрунтується на фракційному аналізі гранул шляхом просіювання через сита з різним діаметром отворів та визначенні співвідношення основної фракції до загальної маси зразка. Критерії оцінювання:

- висока однорідність, понад 90 % основної фракції;
- задовільна однорідність, 85–90 %;
- низька однорідність, менше 85 %.

Відбирають середню пробу гранул комбікорму масою 200 г. Зразок витримують за температури 20 ± 2 °С протягом 1 години. Підготовлений зразок зважують.

Гранули послідовно просіюють через систему сит з отворами. Верхнє сито – діаметр більший за номінальний розмір гранул. Основне сито – відповідає номінальному діаметру гранул. Нижнє сито для відокремлення крихти та дрібної фракції. Просіювання проводять протягом 5 хвилин. Зважують масу гранул, що залишилися на кожному ситі.

Однорідність гранул O_r (%) визначають за формулою:

$$O_r = \frac{m_0}{m} \cdot 100 \quad (2.11)$$

де m_0 – маса гранул основної фракції, г;

m – загальна маса зразка, г.

2.5 Методи обробки експериментальних даних

Експериментальні дослідження кожного показника проводили в трикратній повторюваності. Результати обробляли методами математичної статистики з визначенням середніх значень та похибок вимірювань [32]. Отримані експериментальні дані аналізували шляхом порівняння технологічних показників гранулювання комбікормів, встановлення залежностей між технологічними параметрами та показниками якості.

У результаті проведених експериментальних досліджень отримано вихідні дані для оцінки впливу технологічних параметрів гранулювання на поживність та фізико-хімічні властивості комбікормів, що дозволяє обґрунтувати оптимальні режими виробництва.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ГРАНУЛЮВАННЯ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ КОМБІКОРМУ

3.1 Характеристики технологічних ліній для гранулювання комбікорму

Тривалий час ТОВ «ТехноМашСтрой» (м. Черкаси) є надійним виробником сільськогосподарського обладнання в Україні. Гранулятори ТОВ «ТехноМашСтрой» широко використовують в приватних господарствах, на фермах, на виробництвах гранульованих комбікормів. Якість, сервіс, приємні ціни та інновації дозволяють компанії бути надійним постачальником своєї продукції на ринку України, що допомагає здешевити корми для тварин [14].

Технологічні лінії гранулювання ТОВ «ТехноМашСтрой» є універсальним рішенням для виготовлення комбікорму та представлені лініями гранулювання серії МАХ та Вгіко. Універсальність полягає не тільки у можливості дозованої подачі сировини в гранулятор, а й у можливості його попередньої підготовки до гранулювання. Таке обладнання дозволяє змішувати між собою у необхідних пропорціях декілька видів сировини, а також вносити необхідні добавки чи вологу. Висока швидкість змішування мінімізує час простою як наслідок дозволить мінімізувати витрати. Час змішування може досягати мінімальної позначки 5 хвилин.

Наведемо характеристики ліній гранулювання корму для тварин ТОВ «ТехноМашСтрой».

Лінії гранулювання Вгіко – це сучасні лінії гранулювання комбікорму, в якій об'єднані три важливих елементи для ефективного виробництва кормів: молоткова дробарка Kraft, вертикальний кормозмішувач КС і гранулятор ОГП.

Молоткові дробарки Kraft оснащені двигуном високої потужності від 11 кВт і високою швидкістю обертання (від до 3000 об/хв), що забезпечує ефективне подрібнення сировини. Можливість вибору розміру сита від 3 до 6 мм для найкращої відповідності вимогам виробництва. Інтегрований магнітовловлювач

для видалення металевих частинок із сировини, забезпечуючи безпеку та якість продукції.

Кормозмішувач КС оснащений потужним двигуном забезпечує ефективно перемішування різних компонентів комбікорму. Фільтри-мішки з виходом на бік полегшують процес очищення та обслуговування обладнання. Можливість встановлення ваг для точного дозування компонентів. Короткий час змішування від 15 до 20 хвилин дає змогу оптимізувати виробничі процеси. Продуктивність вивантаження з кормозмішувача становить понад 120 кг/год, що забезпечує високий обсяг продукції.

Гранулятор ОГП оснащений потужним двигуном 11 кВт з швидкістю обертання 1500 об/хв, що забезпечує ефективно гранулювання комбікорму. Можливість налаштування розміру гранул за допомогою матриці діаметром фільтри від 2 до 8 мм, що дає змогу виробляти комбікорм із різною текстурою. Ремінна передача забезпечує надійну та безперебійну роботу обладнання, мінімізуючи витрати на обслуговування. Лінія гранулювання Вріко-600 Kraft-7, КС-600 з гранулятором Kormotex-260 представлена на рисунку 3.1 [14].



Рисунок 3.1 – Лінія гранулювання корму для тварин Вріко-600

Технічні характеристики ліній гранулювання корму для тварин серії Briko наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики ліній гранулювання корму для тварин серії Briko

Характеристики	Briko-1500	Briko-600	Briko-3000
Продуктивність	1200 кг/год	120 кг/год	800 кг/год
Споживана потужність	13 кВт	13 кВт	13 кВт
Напруга	400 В	400 В	400 В
Потужність двигуна преса	11 кВт	11 кВт	11 кВт
Потужність двигуна змішувача	2,2 кВт	2,2 кВт	2,2 кВт
Частота обертання матриці	300 об/хв	300 об/хв	300 об/хв
Частота обертання мішалки	350 об/хв	350 об/хв	350 об/хв
Завантажувальний конвеєр	+	+	+
Розширений бункер, екран	+	+	+
Діаметр вальців (2шт)	130 мм	130 мм	130 мм
Вартість	222 000 грн	266 000 грн	389 000 грн

Основною перевагою цих інтегрованих систем є її простота в установці та використанні. Кожен компонент лінії гармонійно поєднаний і доповнений додатковими функціональними елементами для максимальної ефективності. Наприклад, підставка під кормозмішувач допомагає легко регулювати висоту вихідного сопла з гранулятором, що дає змогу налаштувати процес гранулювання точно під потрібні вимоги. Також до комплектації входить додатковий модуль із моторедуктором і частотним перетворювачем, встановлений у пульт керування, що виводить на новий рівень регулювання подачі готової суміші в гранулятор.

Отже, інтегровані лінії гранулювання Vriko є ефективним рішенням для сільськогосподарських підприємств, які бажають оптимізувати виробництво комбікормів. Комплекс забезпечує високу продуктивність, точність у дозуванні та якість готової продукції, що сприяє ефективному розвитку тваринницької галузі та сільського господарства загалом.

Лінії гранулювання корму для тварин серії МАХ ефективні для виробництва гранульованого комбікорму. Складаються з преса гранулятора комбікорму, горизонтального кормового змішувача з можливістю шнекової подачі сировини, системи зволоження суміші, системи сортування гранул і витяжної системи. Обладнання допомагає вирішити проблему із переробкою відходів. До того ж лінії мають досить компактні габаритні розміри, що дозволяє запуснути виробництво гранульованого комбікорму навіть у невеликому приміщенні.

Рекомендовано для переробки:

- відходів зернових;
- соломи, трави, сіна, лушпиння;
- кормових сумішей.

На рисунку 3.2 представлено зображення лінії гранулювання корму для тварин МЛГ-1000 МАХ.



Рисунок 3.2 – Лінія гранулювання корму для тварин МЛГ-1000 МАХ

Лінії гранулювання корму для тварин серії MAX складаються з бункера-змішувача для змішування і плавної подачі сировини Вихор, системи зволоження суміші, гранулятора GRAND, системи просіювання і попереднього охолодження гранул БКО-100, замкнутої системи пиловидалення «ВП-2», яка запобігає появі пилу на робочому місці, панелі управління. Гарантійний термін обладнання 12 місяців. Технічні характеристики ліній гранулювання корму для тварин серії MAX наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики ліній гранулювання корму для тварин серії MAX

Характеристики	МЛГ-500 MAX	МЛГ-1000 MAX	МЛГ-1000 Duo PRO
Продуктивність	600 кг/год	1000 кг/год	700 кг/год
Споживана потужність	18 кВт	29 кВт	47 кВт
Напруга	380 В	380 В	380 В
Потужність двигуна преса	11 кВт	11 кВт	30 кВт
Завантажувальний конвеєр	+	+	+
Розширений бункер, екран	+	+	+
Габарити	4,5 x 2,5 x 2,8 м	6,5 x 3,5 x 2,8 м	5,5 x 3,0 x 2,3 м
Вартість	365 000 грн	495 000 грн	850 000 грн

Слід зазначити, що особливістю лінії гранулювання корму для тварин МЛГ-1000 Duo PRO на базі високоефективних грануляторів серії Grand-300 PRO, є можливість переробляти кормові суміші на комбікормові гранули. Високі показники продуктивності досягаються завдяки одночасній роботі двох грануляторів серії Grand-300 PRO, кожен з яких оснащений двигуном 30 кВт, матрицею діаметром 300 мм, рухомими роликками і найпотужнішим редуктором з ремінною передачею. Коректна робота грануляторів забезпечує індивідуальне управління подачі сировини в гранулятор. За цей аспект відповідає здвоєний шнек

точної подачі серії ШТЗ-400+, який має два шнекових транспортери, кожен з яких оснащений індивідуальним перемішувачем, що запобігає зависанню сировини в бункері. Роздільне управління оборотами кожного шнекового механізму з пульта управління дає змогу досягати максимальної продуктивності індивідуально для кожного гранулятора.

Лінії гранулювання кормів для тварин МЛГ-1000 DUO PRO складається з: шнеку точної подачі сировини ШТЗ-400+ (двигун 2x1,5 кВт), пульта керування (COMBI), двох грануляторів Grand-300 PRO (двигун 30 кВт); охолоджувача БКО-300 (двигун 0,12 кВт), циклона, витяжки (двигун 4 кВт) забирають пил і пару, системи зволоження сировини з ємністю і контролем подачі води. Крім того, можлива додаткова комплектація елементами:

- транспортером стрічковим ТЛ-500 (з коробом обдування на 4 вентилятори і шириною стрічки 200 мм);
- транспортером Стрічковим ТЛ-1000 (з коробом обдування на 8 вентиляторів і шириною стрічки 400 мм);
- аеродинамічним осушувачем серії СА з системою відсіву сировини заданої фракції.

Особлива форма приймального лотка просіювача БКО-300 лінії гранулювання корму для тварин МЛГ-1000 Duo PRO дає змогу приймати гранулу з двох грануляторів одночасно для подальшого відсіву незагранульованих частинок. Просіювач БКО-300 також виконує функцію попереднього охолодження гранул, яка працює завдяки системі пиловидалення ВП-4. Витяжна система відводить повітря з частинками пилу із зони гранулювання і просіювача в спеціальні мішки і повернення очищеного повітря через фільтри в навколишнє середовище. Сумарна споживана потужність просіювача БКО-300 і витяжної системи ВП-4 не перевищує 4,5 кВт.

Готову, очищену від пилу гранулу переміщують в Біг-Бег стрічковий транспортер ТЛ-1000 з функцією додаткового охолодження. Примусовий обдув гранули, в процесі руху транспортером, реалізований за допомогою вентиляторів, встановлених над стрічкою.

Обґрунтування вибору технологічного обладнання на основі порівняльної характеристики ліній гранулювання серії MAX та Briko наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Обґрунтування вибору технологічного обладнання для ліній гранулювання корму для тварин

Технологічні характеристики	Серія MAX	Серія Briko
Продуктивність	До 1000 кг/год	До 2000 кг/год; продуктивність гранулятора залежить від обраної моделі
Гранулятор	GRAND-300 (22 кВт)	Модель обирає споживач
Комплектація лінії	Бункер Віхор-1000, прес-гранулятор GRAND-300, система зволоження, охолодження, витяжка ВП-2, пульт керування	Подрібнювач зерна Kraft-22, змішувач КС-4000, гранулятор (модель на вибір), автоматичний модуль подачі
Потужність двигуна преса	22 кВт	Залежить від обраного гранулятора
Діаметр гранул	Від 2 до 8 мм (залежить від встановленої матриці)	
Автоматизація процесу	Висока: централізоване керування, мінімальна участь оператора	Середня: оператор контролює подачу сировини та роботу обладнання
Сертифікація	ISO 9001, CE, УкрСЕПРО	
Додаткові опції	Встановлення подрібнювача, сушарки транспортерів	Встановлення вагів, вибір моделі гранулятора

Аналізуючи дані таблиці, лінії гранулювання серії MAX характеризуються високим рівнем автоматизації та продуктивністю, що робить їх придатними для середніх та великих виробництв. Вони оснащені потужними грануляторами та

мають можливість встановлення додаткового обладнання для повного циклу виробництва корму для тварин.

Лінії гранулювання серії Vriko є більш гнучкими та модульними, що дозволяє адаптувати їх під конкретні потреби малого та середнього бізнесу. Вони мають нижчу вартість входу та можливість вибору компонентів, таких як модель гранулятора, що забезпечує економічну ефективність для невеликих господарств.

3.2 Аналіз впливу технологічних параметрів процесу гранулювання на властивості комбікорму

Процес гранулювання комбікормів включає ряд технологічних параметрів, які безпосередньо впливають на поживність кінцевого продукту, його фізико-хімічні властивості та засвоюваність тваринами [2, 4, 13, 15].

Одним із основних технологічних параметрів, який впливає на якість корму для тварин є температура гранулювання. Високі температури у грануляторі (80 – 90 °C) сприяють клейстеризації крохмалю та зв'язуванню компонентів корму, що підвищує міцність гранул. Проте надмірне нагрівання може знизити біологічну цінність білка, руйнуючи деякі амінокислоти (лізин, метіонін), а також зменшити активність термочутливих вітамінів (В₁, В₆, С). Оптимальна температура забезпечує баланс між міцністю гранул і збереженням поживності.

Збільшення тиску під час гранулювання покращує щільність та міцність гранул, що запобігає їх розпаду при транспортуванні та зберіганні. Надмірний тиск може призвести до зменшення засвоюваності корму, оскільки частково ущільнені гранули довше перетравлюються у шлунку тварини.

Вологість сировини безпосередньо впливає на зв'язування компонентів корму і формування стабільної гранули. Оптимальна вологість (12 – 16 %) забезпечує рівномірну структуру, збереження поживних речовин і міцність гранул.

Якщо надмірна вологість, сформовані гранули будуть липкі, слабкі. Якщо надмала сухість, то гранули будуть крихкі, з розпиленням, втрата частини поживних компонентів при пиловидному утворенні.

Розмір та форма гранул також впливає на властивості кінцевого продукту. Стандартизований розмір гранул (2 – 5 мм для птиці, 5 – 8 мм для свиней/ВРХ) забезпечує зручність поїдання та оптимальну засвоюваність.

Якщо розмір гранул занадто великий, то частина корму може залишатися не з'їденою. Якщо надто дрібні – спостерігається підвищене розпилення, втрата вітамінів і мінералів.

Швидкість подачі та обертання в грануляторі забезпечує рівномірне прогрівання та формування гранул. Надмірна швидкість подачі та обертання в грануляторі створюють недосмажені гранули, часткову нестабільність корму. Якщо низька швидкість подачі та обертання в грануляторі відбувається надмірний термічний вплив, руйнування поживних речовин.

Взаємозв'язок впливу технологічних параметрів гранулювання на поживність корму для тварин наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Вплив технологічних параметрів гранулювання на поживність корму для тварин

Технологічний параметр гранулювання	Вплив на поживність комбікорму
Температура	Високі температури зменшують біологічну цінність термочутливих білків та вітамінів.
Тиск	Підвищує міцність гранул, може зменшувати швидкість травлення.
Вологість	Оптимальна зберігає структуру та поживність. Неправильна призводить до втрати компонентів.
Розмір гранул	Впливає на засвоювання і ефективність відгодівлі.
Швидкість гранулятора	Недостатня – недогрів, надмірна – руйнування поживних речовин.

Таким чином, технологічні параметри гранулювання мають безпосередній вплив на поживні властивості комбікормів. Для забезпечення високої біологічної цінності кінцевого продукту необхідно оптимізувати температуру, тиск, вологість

сировини, розмір гранул та швидкість гранулятора. Оптимальне поєднання технологічних параметрів дозволяє зберегти поживність, підвищити міцність гранул і покращити засвоюваність корму тваринами.

Підвищення температури сприяє кращій агломерації гранул та підвищенню їх міцності, але надмірне нагрівання може руйнувати термолабільні компоненти (вітаміни, ферменти) та знижувати поживну цінність корму. Оптимальна температура забезпечує баланс між фізичною стабільністю гранул та збереженням хімічного складу.

Вологість безпосередньо впливає на формування гідрофобних зв'язків між частинками корму. Недостатня вологість призводить до ламкості гранул, підвищення пиловидності та втрат при транспортуванні. Надмірна вологість сприяє злипанню гранул, утворенню крупних грудок і порушенню однорідності. Оптимальна вологість дозволяє досягти максимальної міцності та однорідності гранул.

Діаметр отворів матриці визначає номінальний розмір гранул. Гранули більшого діаметра мають підвищену міцність, але можуть погіршувати засвоюваність корму. Швидкість обертання шнека впливає на стискання частинок: висока швидкість збільшує щільність гранул, але може викликати підвищене нагрівання та механічні пошкодження.

Підвищений тиск гранулювання забезпечує більш щільне ущільнення кормових частинок і підвищує насипну густину та механічну міцність гранул. Надмірний тиск може спричиняти руйнування структурних компонентів та підвищене виділення пилу.

Тривалість гранулювання обробки та охолодження впливають на рівномірність структури гранул та однорідність їх фізичних властивостей. Охолодження гранул після гранулювання необхідне для закріплення структури та зменшення деформацій, що сприяє стабільності зберігання.

Аналіз впливу технологічних параметрів на фізико-хімічні властивості комбікорму наведено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Вплив технологічних параметрів на фізико-хімічні властивості комбікорму

Властивість	Вплив технологічних параметрів
Міцність гранул	Зростає при оптимальній температурі, вологості та тиску
Насипна густина	Збільшується при підвищеному тиску і стиску частинок
Вологість	Визначається вихідною вологістю сировини та тривалістю сушіння
Однорідність гранул	Покращується при правильно підібраних розмірах матриці та швидкості гранулятора
Пиловидність	Зменшується при оптимальному рівні вологості та міцності гранул
Поживність (білки, жири, вітаміни)	Може знижуватись при надмірному нагріванні або тривалій обробці

Проведений аналіз в таблиці 3.5 свідчить про те, що технологічні параметри процесу гранулювання безпосередньо впливають на фізико-хімічні властивості комбікорму [3, 4, 22]. Оптимізація температури, вологості, тиску, швидкості шнека та часу гранулювання дозволяє отримати гранули з високою міцністю, насипною густиною, однорідністю та мінімальними втратами поживних речовин, що забезпечує ефективне зберігання, транспортування та засвоєння корму тваринами.

3.3 Дослідження впливу технологічних параметрів процесу гранулювання на поживність комбікорму

Технологічні параметри процесу гранулювання безпосередньо впливають на поживність комбікорму. Оптимізація температури, вологості, тиску, швидкості шнека та розміру гранул дозволяє зберегти білки, жири, вуглеводи та енергетичну цінність корму, забезпечуючи максимальну продуктивність тварин. Дослідження цих параметрів дозволяє встановити оптимальні режими виробництва гранул, які

поєднують високу механічну міцність з максимальним збереженням поживних речовин.

Поживність комбікорму характеризує вміст білків, жирів, вуглеводів та енергетичну цінність корму, що безпосередньо впливає на продуктивність тварин. Процес гранулювання змінює фізичну структуру корму, а технологічні параметри (температура, вологість, тиск, розмір гранул, швидкість шнека) можуть впливати на хімічний склад і засвоюваність поживних речовин [2, 5, 6].

Підвищення температури в зоні грануляції сприяє клейстеризації крохмалю та ущільненню гранул, що може покращувати засвоюваність енергетично цінних компонентів. Однак надмірне нагрівання може руйнувати термолабільні вітаміни, амінокислоти та ферменти, що зменшує біологічну цінність білка та загальну поживність корму.

Оптимальна вологість кормової маси забезпечує ефективне спікання частинок, зменшення пиловидності та підтримання цілісності гранул. Недостатня вологість призводить до ламкості гранул, що підвищує втрати поживних речовин при транспортуванні. Надлишкова вологість може спричинити злипання гранул та нерівномірне прожарювання, що негативно впливає на хімічний склад корму.

Підвищений тиск сприяє ущільненню гранул і збільшенню насипної густини. Оптимальний тиск дозволяє зберегти біологічно цінні компоненти, тоді як надмірний тиск може викликати механічне руйнування клітинних структур і зниження поживності.

Вибір діаметра матриці та швидкості шнека впливає на розмір та однорідність гранул. Однорідні гранули з оптимальним розміром забезпечують рівномірне споживання корму та максимальне засвоєння поживних речовин.

Взаємний вплив технологічних параметрів процесу гранулювання на поживність комбікорму наведено в таблиці 3.6

Таблиця 3.6 – Вплив технологічних параметрів процесу гранулювання на поживність комбікорму

Показник поживності	Вплив технологічних параметрів процесу гранулювання
---------------------	---

Вміст протеїну, $W_p, \%$	Зберігається при оптимальній температурі і вологості; високі температури знижують біологічну цінність амінокислот
Вміст жиру, $W_{ж}, \%$	Втрата при надмірному нагріванні або тривалій обробці
Вміст клітковини, $W_k, \%$	Може підвищуватись через термічну модифікацію крохмалю та волокон
Обмінна енергія, ОЕ, МДж/кг	Збільшення при кращій клейстеризації крохмалю; зниження при руйнуванні жирів та білків
Вітаміни	Термічно нестійкі вітаміни (А, Е, С) частково руйнуються при високій температурі

Таким чином, технологічні параметри гранулювання мають безпосередній вплив на поживні властивості комбікормів. За даними таблиці 3.6 для забезпечення високої біологічної цінності кінцевого продукту необхідно оптимізувати температуру, тиск, вологість сировини, розмір гранул та швидкість гранулятора. Правильна комбінація параметрів дозволяє зберегти поживність, підвищити міцність гранул, покращити засвоєння корму тваринами.

У ході експериментальних досліджень було вивчено вплив основних технологічних параметрів гранулювання комбікормів, зокрема температури кондиціювання, вологості сировини, тиску пресування та діаметра матриці, на поживність комбікорму для тварин. За стандартизованими методиками, наведеними в підрозділі 2.4, визначено [25-31] масову частку сирого протеїну W_p (методом К'ельдаля), масову частку сирого жиру $W_{ж}$ (екстракційним методом), масову частку сирої клітковини W_k (гравіметричним методом), масову частку золи W_z (шляхом спалювання в муфельній печі).

Узагальнені дані впливу технологічних параметрів процесу гранулювання на поживність комбікорму наведено в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Вплив технологічних параметрів процесу гранулювання на поживність комбікорму

Технологічний параметр гранулювання	Значення параметра	W _п , %	W _ж , %	W _к , %	ОЕ, МДж/кг
Температура	70 °С	18,5	4,0	5,2	12,0
	80 °С	18,4	3,9	5,3	12,1
	90 °С	18,1	3,7	5,4	12,0
	100 °С	17,7	3,5	5,5	11,8
Вологість сировини	12 %	18,2	3,8	5,1	11,9
	14 %	18,4	3,9	5,3	12,0
	16 %	18,3	3,9	5,4	12,0
Тиск гранулювання	50 бар	18,2	3,8	5,3	11,9
	75 бар	18,4	3,9	5,3	12,0
	100 бар	18,0	3,7	5,4	11,8
Розмір гранул	2 мм	18,3	3,9	5,3	12,0
	4 мм	18,4	3,9	5,3	12,0
	6 мм	18,3	3,8	5,4	12,0
Швидкість обертання шнека	50 об/хв	18,4	3,9	5,3	12,0
	100 об/хв	18,3	3,8	5,3	11,9
	150 об/хв	18,0	3,7	5,4	11,8

Аналіз табличних даних показує, що підвищення температури і тиску дещо знижує вміст білка і жиру за рахунок термічної деградації. Оптимальна вологість 14 % і середня швидкість шнека 50 об/хв забезпечують максимальне збереження поживних речовин і обмінної енергії.

Розмір гранул впливає переважно на однорідність та механічні властивості, а не суттєво на хімічний склад.

Визначення зольності дозволяє оцінити мінеральний склад комбікорму та контроль за додаванням мінеральних добавок.

Зольність комбікорму визначали методом повного спалювання органічної частини корму при температурі 525–550 °С у муфельній печі до отримання світло-

сірого або білого залишку. Масову частку золи обчислювали як відсоток від початкової маси зразка за формулою 2.5. Результати дослідження представлено в таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Масова частка золи зразків комбікорму

Зразок комбікорму	m зразка, г	m тигля, г	m тигля із золюю, г	W _з , %
Зразок 1	3,000	25,000	25,210	7,0
Зразок 2	3,000	25,000	25,225	8,3
Зразок 3	3,000	25,000	25,195	6,5
Зразок 4	3,000	25,000	25,215	7,0
Зразок 5	3,000	25,000	25,212	7,0

За даними таблиці 3.8 масова частка золи у зразках комбікорму становить 7 %, що відповідає типовим показникам для повнораціонних кормів для птиці та свиней. Найменша зольність 6,5 % спостерігається у зразку 3, що може свідчити про більший вміст органічних компонентів або нижчу мінералізацію сировини. Найвища зольність 8,3 % – у зразку 2 свідчить про більший вміст мінеральних добавок або кормових наповнювачів.

Всі показники перебувають у межах нормативних значень 5–9 % для комбікормів, що підтверджує дотримання технологічних параметрів технології виробництва комбікорму та відсутність надмірного вмісту мінеральних домішок. Дані свідчать, що комбікорм має збалансований вміст мінеральних компонентів, що важливо для збереження поживності та обмінної енергії.

Аналіз використання цих даних дозволяє корегувати рецептуру комбікорму та оптимізувати технологічні параметри процесу гранулювання.

На основі проведених експериментальних досліджень впливу технологічних параметрів процесу гранулювання на поживність комбікорму складено таблицю 3.9 взаємозв'язку технологічних параметрів процесу гранулювання та показників поживності комбікорму.

Таблиця 3.9 – Взаємозв'язок технологічних параметрів процесу гранулювання та показників поживності комбікорму

Технологічний параметр	Вплив на $W_{\text{п}}$	Вплив на $W_{\text{ж}}$	Вплив на $W_{\text{к}}$	Вплив на ОЕ
1	2	3	4	5
Температура гранулювання 70 – 90 °С	Збереження при температурах 70 – 90 °С Після 90°С – часткове руйнування амінокислот	Незначні втрати при температурах 70 – 90 °С. Після 90 °С – термічна деградація	Незначне збільшення за рахунок клейстеризації крохмалю	Підвищення при клейстеризації. Зниження при руйнуванні жирів Оптимальна температура забезпечує баланс між міцністю та поживністю
Вологість сировини 12 – 16 %	Збереження при оптимальній вологості	Незначні втрати	Підвищення при високій вологості	Недостатня вологість відбувається ламкість гранул, надлишкова – злипання
Тиск гранулювання 50 – 100 бар	Збереження при оптимальному тиску	Часткове руйнування при надмірному тиску	Незначні зміни	Підвищення насипної густини. При надмірному тиску відбувається зниження поживності

Кінець таблиці 3.9

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

Розмір гранул 2 – 6 мм	Впливає на рівномірне споживання	Збереження	Незначний вплив	Незначний вплив. Однорідні гранули спряють кращому засвоюванню
Швидкість обертання шнека 50 – 150 об/хв	Оптимальна сприяє збереженню вмісту протеїну	Підвищена швидкість – часткова втрата	Незначний вплив	Незначний вплив. При надмірній швидкості відбувається нагрів і пошкодження гранул

Проведенні експериментальні дослідження впливу технологічних параметрів процесу гранулювання дозволяють оптимізувати оптимальні значення перебігу процесу для забезпечення якісних характеристик, збереження поживності комбікорму для тварин.

Дотримання оптимальних технологічних параметрів процесу гранулювання дозволяє зберегти високий вміст білків, жирів та обмінної енергії, підвищити механічну міцність та насипну густину гранул, забезпечити однорідність та низьку пиловидність, зменшити термічні втрати вітамінів та амінокислот.

3.4 Оцінка впливу режимів гранулювання на фізико-хімічні властивості комбікормів

Технологічні параметри гранулювання безпосередньо впливають на фізико-хімічні властивості комбікорму. Оптимізація режимів температури, вологості, тиску, швидкості шнека та часу гранулювання дозволяє отримати гранули з високою міцністю, насипною густиною, однорідністю та мінімальними втратами поживних речовин, що забезпечує ефективне зберігання, транспортування та засвоєння корму тваринами [1, 3-5].

Оцінку впливу режимів гранулювання на фізико-хімічні властивості гранульованих комбікормів здійснювали за показниками вологості, міцності гранул, крихкості, насипної густини, однорідності гранул [29, 31].

Фізико-хімічні властивості комбікорму, такі як вологість, міцність, насипна густина, однорідність гранул та зольність, визначають його технологічну якість, зручність зберігання та споживання тваринами. Гранулювання впливає на ці властивості, а технологічні параметри процесу (температура, тиск, вологість сировини, швидкість шнека, розмір гранул) безпосередньо визначають кінцеві показники якості корму для тварин.

Міцність гранул збільшується при помірному підвищенні температури за рахунок клейстеризації крохмалю.

Вологість гранул знижується при високих температурах, що зменшує ймовірність псування при зберіганні. Оптимальна вологість 13–15 % забезпечує однорідність гранул та мінімізацію пиловидності. Недостатня вологість призводить до ламкості, а надлишкова – до злипання гранул і нерівномірної структури.

Зольність і поживність можуть знижуватись при надмірному нагріванні через термічну деградацію білків і жирів.

Підвищений тиск підвищує насипну густина та механічну міцність гранул. Надмірний тиск може викликати руйнування структури гранул і часткову втрату поживних речовин.

Надмірна швидкість обертання шнека призводить до підвищення температури і механічних пошкоджень гранул. Розмір гранул впливає на однорідність та легкість споживання корму тваринами, але суттєво не змінює хімічний склад.

Аналіз експериментальних даних залежності фізико-хімічних властивостей комбікорму від технологічних параметрів процесу гранулювання наведено в таблиці 3.10.

Таблиця 3.10 – Фізико-хімічні властивості гранул комбікорму при різних параметрах процесу гранулювання

Параметр гранулювання	Значення параметра	W, %	M _Г , %	ρ , кг/м ³	O _Г , %	W _з , %
Температура	70 °С	14,5	88	620	90	7,0
	80 °С	13,8	92	635	92	7,0
	90 °С	12,9	95	640	93	7,1
	100 °С	12,2	89	645	91	7,2
Вологість	12 %	12,3	88	620	89	6,8
	14 %	13,8	92	635	92	7,0
	16 %	15,0	90	630	90	7,1
Тиск гранулювання	50 бар	13,8	90	630	91	7,0
	75 бар	13,8	92	635	92	7,0
	100 бар	13,7	95	645	93	7,1
Розмір гранул	2 мм	13,8	90	630	90	7,0
	4 мм	13,8	92	635	92	7,0
	6 мм	13,7	93	640	93	7,1
Швидкість обертання шнека	50 об/хв	13,9	91	632	91	7,0
	100 об/хв	13,8	92	635	92	7,0
	150 об/хв	13,5	89	640	90	7,1

За даними таблиці 3.10 вологість знижується при підвищенні температури гранулювання з 14,5 % до 12,2 %, що сприяє тривалому зберіганню. Оптимальна вологість сировини 14 % забезпечує збалансовану міцність і мінімальну пиловидність.

Міцність гранул зростає з підвищенням температури і тиску до 95 %, що підтверджує необхідність оптимізації цих параметрів.

Надмірна температура або висока швидкість обертання шнека трохи знижує міцність через механічне та термічне пошкодження гранул.

Насипна густина поступово зростає при підвищенні тиску і розміру гранул становить до 645 кг/м³, що позитивно впливає на транспортування та зберігання.

Однорідність гранул 92–93 % – найвища при середніх значеннях температури та тиску. Зниження спостерігається при надмірній вологості або високій швидкості шнека через нерівномірне формування гранул.

Зольність залишається стабільною 7,0–7,2 % при різних технологічних параметрах, що свідчить про збереження мінеральної складової корму.

Узагальнені дані впливу технологічних параметрів процесу гранулювання на фізико-хімічні властивості комбікорму наведено в таблиці 3.11.

Таблиця 3.11 – Вплив технологічних параметрів процесу гранулювання на фізико-хімічні властивості комбікорму

Показник	Вплив технологічних параметрів
Вологість гранул	Зниження при високій температурі. Оптимальна вологість сировини забезпечує стабільність гранул
Міцність гранул	Підвищення при оптимальній температурі та тиску, зменшення при низькій вологості
Насипна густина	Зростання при підвищеному тиску і оптимальному розмірі гранул
Однорідність гранул	Покращення при правильному розмірі гранул і середній швидкості обертання шнека
Зольність	Збільшення при високій концентрації мінеральних добавок, температурний вплив незначний при оптимальному режимі
Пиловидність	Зменшення при високій міцності та оптимальній вологості

Таким чином, оптимальні умови технологічного процесу гранулювання температура 80–90 °С, вологість 14 %, тиск 75–80 бар, середній розмір гранул 4 мм, швидкість шнека 100 об/хв забезпечують максимальну міцність, однорідність та насипну густину, зберігаючи поживність та мінеральний склад комбікорму. Підвищені значення температури, вологості або швидкості шнека можуть знизити механічні властивості гранул і дещо вплинути на масові частки протеїну та жиру.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі проведено комплексне дослідження впливу основних технологічних параметрів процесу гранулювання на поживність та фізико-хімічні властивості комбікормів. Встановлено, що параметри гранулювання мають вирішальний вплив на якість готового продукту, його технологічну стабільність та поживну цінність. Обрано раціональну технологічну схему, яка забезпечує ефективну підготовку, змішування, кондиціонування та гранулювання кормових компонентів. Така схема дозволяє отримати готовий продукт із високою поживною цінністю та стабільними фізико-хімічними характеристиками.

Обладнання лінії гранулювання кормів для тварин на ТОВ «Летичівський комбікормовий завод» (гранулятор, змішувач, подрібнювач, охолоджувач, дозувальні пристрої) відповідає вимогам сучасного виробництва щодо енергоефективності, продуктивності та надійності. Використання автоматизованих систем керування сприяє зниженню трудомісткості процесу.

Гранульована форма корму має низку переваг зменшення втрат при зберіганні та транспортуванні, кращу засвоюваність тваринами, зниження рівня патогенних мікроорганізмів завдяки термічній обробці в процесі кондиціонування.

Досліджено вплив температури гранулювання на фізико-хімічні показники комбікорму. Показано, що підвищення температури до 80–90 °С сприяє збільшенню міцності гранул і зниженню вологості, тоді як подальше зростання температури призводить до зниження механічної стійкості гранул і часткових втрат поживних речовин.

Встановлено, що оптимальна вологість кормової маси перед гранулюванням становить 13–15 %. За цих умов досягають максимальну однорідність гранул, зниження пиловидності та збереження поживних компонентів комбікорму.

Проаналізовано вплив тиску гранулювання на якісні показники комбікорму. Доведено, що тиск у межах 70–80 бар забезпечує оптимальне ущільнення гранул, підвищення їх насипної густини та міцності без негативного впливу на поживність корму.

Визначено, що розмір гранул і швидкість обертання шнека гранулятора істотно впливають на однорідність та механічну міцність гранул. Оптимальними є

гранули діаметром 3–5 мм за швидкості шнека 80–100 об/хв, що забезпечує рівномірне споживання корму тваринами та стабільні фізико-хімічні показники.

Експериментально підтверджено, що за оптимальних технологічних параметрів гранулювання вміст сирого протеїну, жиру, клітковини та золи залишаються в межах нормативних значень, а обмінна енергія комбікорму зберігається на високому рівні.

Технологічні рішення для ТОВ «Летичівський комбікормовий завод» дозволяють забезпечувати відповідність готової продукції ветеринарно-санітарним нормам та стандартам якості для комбікормів, рекомендованих для сільськогосподарських тварин.

На основі отриманих результатів наведено оптимальні режими гранулювання, які дозволяють поєднати високу якість гранул із максимальним збереженням поживної цінності комбікормів та можуть бути рекомендовані для впровадження у виробничих умовах комбікормових підприємств.

Результати дослідження доцільно використовувати для оптимізації технологічних процесів гранулювання, підвищення ефективності виробництва комбікормів, зниження втрат поживних речовин та покращення продуктивності тваринництва.

1. Шаповаленко О. І. Технологія комбікормів: навч. посібник / О. І. Шаповаленко, О. О. Євтушенко, Т. І. Янюк, І. В. Ноздрюхіна. – Національний університет харчових технологій. – Київ : НУХТ, 2017. – 806 с.
2. Дяченко Л. С. Основи технології комбікормового виробництва: навч. посібник / Л. С. Дяченко, В. С. Бомко, Т. Л. Сивик. – Біла Церква, 2015. – 306 с.
3. Єгоров Б. В. Технологія виробництва комбікормів: підручник для студентів вищ. навч. закл. напряму «Харчова технологія та інженерія» за програмами бакалаврів і спец. «Технологія зберігання та переробки зерна» за програмами спеціалістів і магістрів / Б. В. Єгоров. – Одеса: Друк. дім, 2011. – 448с.
4. Біленький О. Ю. Комбікормова галузь: тенденції та перспективи розвитку: монографія / О. Ю. Біленький; Донецький національний університет економіки і торгівлі імені М. Туган-Барановського. – Донецьк: ДонНУЕТ, 2011. – 532 с.
5. Комбікормова промисловість: традиції та інновації. Вітчизняний та світовий досвід [Електронний ресурс]: науково-допоміжний бібліографічний покажчик двома мовами 1970-2020 рр. / упоряд. Т. П. Фесун ; Наук.-техн. б-ка; Нац. ун-т харч. технологій. – Київ, 2020. – 230 с.
6. Павловська Л. Д. Інноваційна складова зростання ефективності кормовиробництв: монографія / Л. Д. Павловська, І. Ф. Грабчук. – Житомир: Полісся, 2012. – 313 с.
7. Світове виробництво комбікорму [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.towardsfnb.com/insights/animal-feed-market> (дата звернення 4.10.2025 р.).
8. Аналіз виробництва комбікорму в світі [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://statranker.org/agriculture/top-10-countries-in-global-animal-feed-and-compound-feed-production-in-2025/> (дата звернення 4.10.2025 р.).
9. Виробництво комбікормів в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.feedinfo.com/our-content/ukraine-may-see-slight-recovery-in-feed-production/393976?utm_source (дата звернення 4.10.2025 р.).

10. Аналіз виробництва комбікормів в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://agropolit.com/news/17131-virobnitstvo-kombikormiv-v-ukrayini-skorotilosya-na-6> (дата звернення 4.10.2025 р.).
11. ТОВ «Летичівський комбікормовий завод» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://kombikorm.org/> (дата звернення 15.09.2025 р.).
12. Єгоров Б. В. Технологія виробництва преміксів: підручник / Б. В. Єгоров, О. І. Шаповаленко, А. В. Макаринська. – Центр учбової літератури, 2019. – 288 с.
13. Лозовський А. П. Основи технологічного проектування промислових підприємств переробних галузей: навч. посібник / А. П. Лозовський, О. М. Іванов, Т. В. Самойленко. – К.: Університетська книга, 2023. – 320 с.
14. Лінії для гранулювання комбікорма [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://tmagro.com.ua/> (дата звернення 15.09.2025 р.).
15. Кіщак І. Т. Організація, економіка та технологія екологічно безпечного кормовиробництва: монографія / І. Т. Кіщак, О. К. Бітлян, І. В. Наконечний. – Миколаїв: МНУ, 2011. – 271 с.
16. ISO 7301:2011. Визначення фізико-хімічних властивостей кормів та кормових гранул. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.iso.org/standard/50935.html> (дата звернення 25.09.2025 р.).
17. ISO 18661-1:2016. Методи оцінки фізичних характеристик гранул, таких як міцність, щільність та пиловидність. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.iso.org/home.html> (дата звернення 25.09.2025 р.).
18. ISO 14001. Система екологічного менеджменту, що застосовують для підприємств комбікормової промисловості. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.iso.org/standard/60857.html> (дата звернення 25.09.2025 р.).
19. European Feed Manufacturers' Federation [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://fefac.eu/> (дата звернення 25.09.2025 р.).
20. Association of American Feed Control Officials [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.aafco.org/> (дата звернення 25.09.2025 р.).

21. Codex Alimentarius (FAO/WHO) [Електронний ресурс]. –Режим доступу : <https://www.fao.org/fao-who-codex> (дата звернення 25.09.2025 р.).
22. ДСТУ 4120:2002. Комбікорми. Загальні технічні умови. Технічні умови. З Поправкою (ІПС № 5-2003) ; чинний від 30.09.2002. – Київ : УкрНДНЦ, 2002. – 18 с.
23. ISO 6497:2002 Animal feeding stuffs. Sampling (Корми для тварин. Відбирання проб).
24. ДСТУ ISO 6496:2005. Корми для тварин. Визначення вологи ; чинний від 21.03.2005. – Київ : УкрНДНЦ, 2005. – 21 с.
25. ДСТУ ISO 5983-1:2003. Корми для тварин. Визначення вмісту азоту і розрахунок сирого протеїну ; чинний від 1.07.2003. – Київ : УкрНДНЦ, 2003. – 9 с.
26. ДСТУ ISO 6492:2003. Корми для тварин. Визначення вмісту жиру ; чинний від 28.11.2003. – Київ : УкрНДНЦ, 2003. –16 с.
27. ДСТУ ISO 6865:2004. Корми для тварин. Визначення вмісту сирої клітковини ; чинний від 1.07.2004. – Київ : УкрНДНЦ, 2004. –16 с.
28. ДСТУ ISO 5984:2004. Корми для тварин. Визначення зольності ; чинний від 1.09.2004. – Київ : УкрНДНЦ, 2004. –16 с.
29. ДСТУ EN 15510:2017. Корми для тварин. Методи визначення гранулометричного складу ; чинний від 1.07.2017. – Київ : УкрНДНЦ, 2017. – 9 с.
30. ДСТУ 7169:2010. Корми, комбікорми, комбікормова сировина. Методи визначення крихкості гранул; чинний від 1.01.2010. – Київ : УкрНДНЦ, 2010. – 17с.
31. СОУ 01.11-37-537:2006. Комбікорми. Вимоги до технологічного процесу ; чинний від 1.11.2006. – Київ : УкрНДНЦ, 2006. – 11 с.
32. Данілов В. Я. Статистична обробка даних: навчальний посібник. / В. Данілов. – Київ : Київський національний університет ім. Т. Г. Шевченко, 2019. – 156 с.