

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет**

**Кафедра харчових технологій**

**П о я с н ю в а л ь н а   з а п и с к а**

до кваліфікаційної роботи  
ступеня вищої освіти «Бакалавр»  
на тему:

**Удосконалення технології з виробництва  
комбікормів для кролів**

**Виконала:** здобувачка вищої освіти 3 курсу,  
групи ХТС-1-23  
освітньо-професійної програми «Харчові технології»  
зі спеціальності 181 «Харчові технології»

\_\_\_\_\_ Єлизавета ГОЛУБ

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Дмитро ТИМЧАК

Дніпро 2026

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра харчових технологій

Ступінь вищої освіти: «Бакалавр»

Освітньо-професійна програма: «Харчові технології»

Спеціальність: 181 «Харчові технології»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

харчових технологій,

кандидат технічних наук, доцент

Віталій КОШУЛЬКО

(підпис)

«01» травня 2026 р.

**З А В Д А Н Н Я  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧЦІ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Голуб Єлизаветі Сергіївні

1. Тема роботи: «Удосконалення технології з виробництва комбікормів для кролів».

Керівник роботи: Тимчак Дмитро Олександрович, старший викладач, затверджені наказом закладу вищої освіти від «01» травня 2026 року № 875.

2. Строк подання здобувачкою вищої освіти роботи 08 червня 2026 року.

3. Вихідні дані до роботи: 1. Технологія виробництва гранульованих комбікормів. 2. Наукова, нормативна, технологічна, технічна та патентна документація.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). Вступ. 1 Огляд літературних джерел. 2 Матеріально-методичне забезпечення роботи. 3 Дослідна частина. 4 Охорона праці при виробництві комбікормів. 5 Організаційно-економічна частина. Загальні висновки. Бібліографія.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1 Мета і завдання досліджень. 2 Дослідна рецептура. 3 Обговорення результатів досліджень. 4 Кошторис витрат на проведення досліджень. 5 Загальні висновки.

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|--------|-------------------------------------------|----------------|------------------|
|        |                                           | завдання видав | завдання прийняв |
| 1-5    | ст. викладач Дмитро ТИМЧАК                | 01.05.26       | 08.06.26         |

7. Дата видачі завдання 01 травня 2026 року.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи                            | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|----------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------|
| 1     | Вступ                                                          | 01.05-02.05.26                | виконано |
| 2     | Огляд літературних джерел                                      | 03.05-11.05.26                | виконано |
| 3     | Матеріально-методичне забезпечення роботи                      | 12.05-13.05.26                | виконано |
| 4     | Дослідна частина                                               | 14.05-31.05.26                | виконано |
| 5     | Охорона праці при виробництві комбікормів                      | 01.06-02.06.26                | виконано |
| 6     | Організаційно-економічна частина                               | 02.06-03.06.26                | виконано |
| 7     | Формулювання висновків по роботі та списку використаних джерел | 04.06-05.06.26                | виконано |
| 8     | Підготовка демонстраційного матеріалу                          | 06.06-08.06.26                | виконано |

**Здобувачка вищої освіти** \_\_\_\_\_ Єлизавета ГОЛУБ  
( підпис )

**Керівник роботи** \_\_\_\_\_ Дмитро ТИМЧАК  
( підпис )

## РЕФЕРАТ

Тема: «Удосконалення технології з виробництва комбікормів для кролів»

**Кваліфікаційна робота бакалавра:** 61 с., 7 рис., 9 табл., 48 літературних джерел.

**Об'єкт дослідження:** комбікорм для кролів.

**Метою роботи** є визначення шляхів удосконалення технологічного процесу промислового виробництва спеціальних екологічно чистих комбікормів для кролів.

**Методи дослідження:** Фізико-механічні властивості сировини та показники якості розсипних і гранульованих комбікормів оцінювали за такими методиками відповідно до чинних нормативних документів: вологість визначали за ДСТУ ISO 6496:2003 (Корм для тварин. Визначення вмісту води та інших летких речовин), об'ємну масу та кут природного укосу – за методиками, гармонізованими з ДСТУ 4593:2006 (Комбікорми. Методи визначення фізичних показників), гранулометричний склад – за ДСТУ ISO 12099:2009 (Корм для тварин. Визначення фізичних характеристик), вміст металоманітних домішок – за ДСТУ 4398:2005 (Комбікорми. Методи контролювання металоманітних домішок), крихкість гранул – за методиками, адаптованими до ДСТУ 4120:2002 (Комбікорми гранульовані. Загальні технічні умови), а масову частку проходу через сито з отворами 0,2 мм – за відповідними положеннями ДСТУ ISO 17827-1:2016.

У роботі досліджено вплив основних технологічних факторів на процес гранулювання комбікормів для кроликів із підвищеним вмістом трав'яного борошна. Визначено раціональні рівні введення сполучних речовин та встановлено їх позитивний вплив на якість гранул і ефективність процесу. Доведено, що використання пластифікаторів знижує крихкість гранул, зменшує кількість дрібної фракції та сприяє підвищенню продуктивності прес-гранулятора при зниженні енерговитрат. Встановлено оптимальний ступінь подрібнення сировини, за якого забезпечуються найкращі техніко-економічні показники. Досліджено вплив подачі продукту, витрати та тиску пари на процес гранулювання. Визначено оптимальні режими, що забезпечують високу продуктивність обладнання та належну якість готових гранул.

## КЛЮЧОВІ СЛОВА

*Комбікорм, гранулювання, пластифікатори, бентоніт, меляса, сапропель, витрата пари, якість гранул.*

## ЗМІСТ

|                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП.....                                                                                             | 5  |
| 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....                                                                       | 7  |
| 1.1 Тенденції розвитку виробництва компонентів комбікормів.....                                        | 7  |
| 1.2 Особливості годування тварин .....                                                                 | 9  |
| 1.3 Потреба тварин в основних поживних речовинах .....                                                 | 18 |
| 1.4 Огляд основних технологічних процесів виробництва комбікормів .....                                | 22 |
| 2 МАТЕРІАЛЬНО-МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОБОТИ .....                                                      | 29 |
| 2.1 Характеристика використаної сировини та методів дослідження.....                                   | 29 |
| 2.2 Технологічна схема та обладнання для виробництва комбікорму .....                                  | 31 |
| 3 ДОСЛІДНА ЧАСТИНА .....                                                                               | 34 |
| 3.1 Вплив пластифікаторів на здійснення процесу гранулювання комбікормів                               | 34 |
| 3.2 Вплив крупності компонентів та величини подачі продукту на ефективність процесу гранулювання ..... | 38 |
| 3.3 Вплив витрати і тиску пари на процес гранулювання.....                                             | 41 |
| 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ КОМБІКОРМІВ .....                                                      | 45 |
| 4.1 Основні аспекти функціонування системи охорони праці на підприємстві .                             | 45 |
| 4.2 Розробка картки охорони праці .....                                                                | 47 |
| 5 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА .....                                                               | 49 |
| 5.1 Розрахунок кошторису витрат на дослідження .....                                                   | 49 |
| 5.2 Розрахунок ціни дослідження .....                                                                  | 53 |
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....                                                                                 | 55 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....                                                                       | 57 |

## ВСТУП

Забезпечення населення повноцінними та безпечними продуктами харчування є одним із ключових завдань розвитку держави, у вирішенні якого важлива роль належить тваринництву. Водночас традиційні його напрями характеризуються високою матеріалоємністю та потребують значних капіталовкладень, що не дозволяє швидко досягти суттєвого приросту обсягів продукції. У зв'язку з цим особливого значення набувають галузі, які здатні забезпечити швидкий результат за відносно невеликих витрат, серед яких важливе місце посідає кролівництво. Розвиток цієї галузі сприяє отриманню цінної дієтичної продукції та сировини для переробної промисловості, однак її ефективність значною мірою визначається якістю кормової бази.

Сучасний стан кролівництва характеризується низкою проблем, пов'язаних із підвищенням вартості кормів, нестабільністю їх якості та недостатнім рівнем технологічного забезпечення виробництва. Значне подорожчання сировини, особливо білкових компонентів, разом із погіршенням її якісних характеристик негативно впливає на ефективність галузі. При цьому наявність у кормах небажаних домішок, таких як залишки пестицидів, нітратів, важких металів та інших ксенобіотиків, створює додаткові ризики для здоров'я тварин і якості кінцевої продукції. Це обумовлює необхідність удосконалення технологічних підходів до виробництва комбікормів.

Одним із найбільш перспективних напрямів підвищення ефективності кормовиробництва є розроблення сучасних комбікормів, які забезпечують повноцінне живлення тварин з урахуванням їх фізіологічних потреб. Використання гранульованих форм кормів дозволяє покращити їх технологічні властивості, підвищити зручність використання та забезпечити стабільність якості. Важливу роль у цьому відіграє впровадження нових технологічних операцій, зокрема волого-теплової обробки, яка сприяє зниженню мікробіологічного забруднення, підвищенню засвоюваності поживних речовин та покращенню структурно-механічних властивостей кормів.

Актуальним є також використання місцевих і нетрадиційних видів сировини, що дозволяє знизити собівартість комбікормів і підвищити ефективність використання ресурсів. Вченими встановлено, що залучення таких компонентів сприяє оптимізації рецептур і зменшенню залежності від дорогих інгредієнтів. Водночас важливим чинником залишається модернізація технологічного обладнання, оскільки застосування застарілих технічних рішень не дозволяє забезпечити належний рівень якості продукції. Використання сучасних установок, таких як екструдери та експандери, сприяє інтенсифікації процесів і підвищенню стабільності виробництва.

Метою роботи є визначення шляхів удосконалення технологічного процесу промислового виробництва спеціальних екологічно чистих комбікормів для кролів.

Для виконання основних цілей роботи поставлено наступні завдання:

- визначити вплив пластифікаторів на здійснення процесу гранулювання комбікормів;
- встановити вплив крупності компонентів та величини подачі продукту на ефективність процесу гранулювання;
- дослідити вплив витрати і тиску пари на процес гранулювання.

Таким чином, удосконалення технології виробництва комбікормів для кролів є актуальним науково-практичним завданням, вирішення якого спрямоване на підвищення ефективності галузі, покращення якості продукції та забезпечення раціонального використання сировинних ресурсів.

## 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

### 1.1 Тенденції розвитку виробництва компонентів комбікормів

Попри наявні економічні виклики в Україні, забезпечення населення продовольством залишається пріоритетним завданням держави. «Однією з ключових вимог, що висуваються до харчових продуктів у сучасних умовах, є гарантування їх безпечності для здоров'я людини» [1].

У ринковому середовищі вагоме значення має проблема виробництва м'ясної продукції, вирішення якої має важливе економічне, соціальне та екологічне значення і «пов'язане з необхідністю нарощування обсягів продукції тваринництва, частка якої у структурі валової продукції сільського господарства становить близько 55 %» [2]. Достатній рівень виробництва і споживання продукції тваринного походження значною мірою визначає економічну стабільність суспільства, забезпечує продовольчу незалежність та створює передумови для сталого і всебічного розвитку. «Для ефективного функціонування галузі необхідним є постійне вдосконалення переробних виробництв і комбікормової промисловості» [2, 3].

На сучасному етапі до комбікормової галузі висуваються підвищені вимоги, що передбачають розроблення і впровадження інноваційних, конкурентоспроможних технологій, здатних забезпечити екологічно безпечну та ресурсоефективну переробку сировини. «Особливу увагу приділяють виробництву спеціалізованих комбікормів високої якості, які є збалансованими за вмістом основних поживних компонентів, зокрема протеїну, вуглеводів, мінеральних речовин і вітамінів» [4].

У зв'язку з цим виробництво м'ясної продукції у сфері кролівництва та хутрового звірівництва повинно повною мірою задовольняти потреби населення у дієтичних продуктах харчування, а також забезпечувати переробну промисловість якісною сировиною.

«За оцінками експертів міжнародних організацій у сфері продовольства, у найближчі роки м'ясо кролів займатиме дедалі вагомніше місце у структурі

харчування населення» [5, 6]. Активний розвиток цієї галузі у світі зумовлений стабільним зростанням попиту, широкими можливостями реалізації продукції, а також соціально-економічними чинниками, серед яких особливе значення мають дефіцит повноцінного тваринного білка та необхідність покращення і різноманітності раціону харчування.

«Сучасний етап розвитку характеризується також трансформацією хутрового звірівництва, де природні ресурси значною мірою замінено продукцією клітинного утримання тварин, що дозволяє забезпечити стабільне постачання сировини для внутрішнього і зовнішнього ринків» [4]. Такий підхід сприяє раціональному використанню ресурсів і формуванню нових напрямів розвитку галузі.

Останніми роками кролівництво у більшості країн світу набуло статусу високорентабельної галузі тваринництва. «Обсяги світового виробництва кролятини перевищують кілька мільйонів тонн, при цьому значна частка припадає на країни з високим рівнем аграрного розвитку. Провідні позиції займають європейські держави, де сформовано ефективні технологічні підходи до вирощування та годівлі тварин» [7]. Розвинуті міжнародні торговельні зв'язки забезпечують значні обсяги експорту та імпорту продукції, що свідчить про стабільний попит і економічну привабливість галузі.

«В Україні в умовах економічних трансформацій ситуація у кролівництві та хутровому звірівництві зазнала суттєвих змін» [8]. Частина господарств припинила діяльність через низьку рентабельність, що обумовлено високою собівартістю продукції, зокрема через значні витрати на корми та технічне оснащення. Це свідчить про необхідність пошуку ефективних шляхів підвищення конкурентоспроможності галузі.

«Для стабілізації та подальшого розвитку кролівництва важливим є впровадження сучасних технологій, спрямованих на інтенсифікацію виробництва, зниження витрат і підвищення якості продукції» [9]. Особливу роль відіграє модернізація технологічних процесів, що враховують біологічні особливості тварин та забезпечують раціональне використання кормових ресурсів.

У сучасних умовах організація годівлі тварин повинна базуватися не лише на принципах наукової обґрунтованості та практичної доцільності, але й бути економічно вигідною, передбачаючи раціональне використання наявних ресурсів і широке залучення побічної продукції та відходів сільськогосподарського виробництва. Такий підхід дозволяє знизити витрати на утримання тварин і підвищити ефективність функціонування галузі в цілому.

«Особливого значення набуває застосування сухого типу годівлі з використанням повнораційних комбікормів у гранульованій формі. Використання гранульованих кормів сприяє більш раціональному використанню поживних речовин, зменшенню їх втрат, особливо у випадку грубих компонентів, а також забезпечує зниження витрат кормів на одиницю продукції. У результаті підвищується продуктивність кролів і хутрових тварин, що позитивно впливає на обсяги виробництва м'ясної продукції та супутньої сировини» [10].

Практика використання повнораційних гранульованих комбікормів набула широкого поширення як в Україні, так і в економічно розвинених країнах, де такий підхід довів свою ефективність і доцільність у сучасних умовах ведення тваринництва.

## 1.2 Особливості годування тварин

За характером годівлі, тобто співвідношенням основних компонентів раціону, тварин доцільно поділяти на три основні групи.

«До першої належать м'ясоїдні хутрові звірі, для яких характерне споживання переважно кормів тваринного походження» [11]. Їх раціони базуються на м'ясо-рибній сировині, яка відзначається високою вартістю та обмеженою доступністю, що суттєво впливає на економіку виробництва.

«Другу групу становлять рослинні тварини, зокрема кролі та інші види гризунів, раціон яких формується переважно за рахунок рослинних кормів» [11]. Такі тварини практично не потребують кормів тваринного походження, а їх використання у незначній кількості обумовлене необхідністю підвищення

біологічної цінності протеїну та більш ефективного засвоєння поживних речовин. «Третю групу утворюють всеїдні тварини, які здатні споживати широкий спектр кормів, включаючи зернові, бобові, продукти їх переробки та різноманітні харчові відходи» [11].

Особливу увагу привертають представники рослиноїдної групи, зокрема нутрія, яка є перспективним об'єктом розведення завдяки невибагливості до кормової бази та відсутності потреби у дорогих кормах тваринного походження. Вона характеризується значними розмірами тіла та високою продуктивністю, що робить її економічно доцільною для вирощування.

Продукція, отримана від нутрії, має високу цінність. «Хутро відзначається міцністю, тепловими властивостями та привабливим зовнішнім виглядом, що забезпечує стабільний попит. Окрім цього, м'ясо нутрії характеризується високими споживчими якостями, зокрема значним вмістом повноцінних білків, жирів, мінеральних речовин і вітамінів» [12]. Воно має добрі смакові властивості, соковитість та ніжну структуру, що обумовлює його харчову цінність і технологічну придатність.

«Жир нутрії характеризується світло-жовтим забарвленням, приємним ароматом і низькою температурою плавлення, що зумовлює його добру пластичність та високу засвоюваність, яка досягає 89–93 %» [13]. За фізико-хімічними властивостями він подібний до свинячого жиру, що дозволяє ефективно використовувати його у кулінарії, зокрема для обсмажування м'яса птиці, овочевих і круп'яних виробів.

Наявність міцної кормової бази та раціональна організація годівлі є визначальними чинниками успішного розведення нутрій. Годівля повинна бути науково обґрунтованою, нормованою та враховувати потреби тварин у поживних, біологічно активних речовинах і енергії. «При утриманні в клітинних умовах важливо враховувати біологічні особливості живлення нутрій, сформовані в природному середовищі» [10].

У природних умовах нутрія веде переважно нічний спосіб життя, вдень перебуває у схованках, а в темний період доби активно живиться. «Основу її

раціону становлять соковиті підводні частини рослин, які відзначаються низьким вмістом клітковини та високим вмістом крохмалю і цукрів. За добу тварина може витягувати значну кількість зеленої маси, проте споживає лише її частину» [13]. В умовах клітинного утримання нутрії проявляють активність і вдень, відзначаються невибагливістю до кормів, високою відтворювальною здатністю та потребують мінімального догляду.

Травна система нутрії представлена простим однокамерним шлунком та довгим кишечником, що значно перевищує довжину тіла. «У процесі травлення під дією ферментів складні поживні речовини корму розщеплюються до простих сполук, які засвоюються організмом. Засвоюваність поживних речовин за оптимально сформованих раціонів досягає 80–85 %» [14].

На відміну від кролів, нутрії мають обмежену здатність до перетравлення кормів з високим вмістом клітковини, що необхідно враховувати при складанні раціонів. У виробничих умовах складно забезпечити тварин природними кормами, тому їх замінюють комбікормами, зерновими компонентами та іншими видами кормів із дотриманням відповідного балансу поживних речовин, що забезпечує нормальний ріст, розвиток і високу якість продукції.

«Ондатра належить до рослиноїдних ссавців ряду гризунів і представлена єдиним видом. Це невелика напівводна тварина, середня жива маса якої становить близько 0,9–1 кг, а загальна довжина тіла перевищує 50 см, при цьому значна частина припадає на хвіст» [15]. Вид був інтродукований на територію України у першій половині XX століття з метою акліматизації та згодом успішно поширився в різних природно-кліматичних зонах.

У природному середовищі ондатра мешкає поблизу водойм із розвиненою прибережною рослинністю, веде напівводний спосіб життя, добре пристосована до плавання і здатна тривалий час перебувати під водою. Активність проявляє переважно у сутінковий та денний періоди. «Основу її живлення становлять водні та прибережні рослини, що визначає специфіку її травлення і раціонів» [16].

Ондатра характеризується відносно повільною адаптацією до умов утримання та людини, хоча у клітинному середовищі проявляє достатню

рухливість. «Основною метою її розведення є отримання цінної хутрової продукції, яка відзначається привабливим зовнішнім виглядом, легкістю та високими теплоізоляційними властивостями. Вироби з такого хутра користуються стабільним попитом і зберігають свою актуальність» [17].

У деяких країнах туші ондатри використовують також у харчових цілях, зокрема для виготовлення консервованої продукції, що свідчить про добрі споживчі властивості м'яса. «Завдяки рослинному типу живлення та особливостям травної системи м'ясо відзначається високими смаковими якостями. Травний апарат ондатри пристосований до перетравлення соковитих рослинних кормів із невисоким вмістом клітковини, при цьому незначна частка кормів тваринного походження може використовуватись для підвищення біологічної цінності раціонів» [16].

Зубна система ондатри добре адаптована до подрібнення рослинної їжі. «Різці мають високу міцність і постійно ростуть, що потребує їх природного сточування під час споживання корму» [12]. Порушення цього процесу може призводити до функціональних ускладнень, що необхідно враховувати при організації годівлі та утримання тварин.

Шлунок у цих тварин має просту однокамерну будову, а важливу роль у процесах травлення рослинних кормів і синтезу вітамінів відіграє мікрофлора шлунково-кишкового тракту. Завдяки значній місткості кишечника та повільному просуванню харчових мас створюються сприятливі умови для активної участі мікроорганізмів у перетравленні поживних речовин. «У ондатри, як і в нутрії, довжина кишечника суттєво перевищує аналогічний показник у багатьох інших видів тварин. Відносно довжини тіла кишечник є приблизно у сім разів довшим, при цьому сліпа кишка займає понад половину його об'єму, а товстий відділ характеризується значною місткістю» [17].

Характерною особливістю травлення є копрофагія, тобто повторне споживання власних екскрементів, що забезпечує додаткове надходження поживних речовин. «Завдяки цьому тварина отримує понад третину добової енергії та близько половини необхідного протеїну. Добове споживання корму дорослою

особиною становить приблизно третину її живої маси, при цьому кормова база відзначається значною різноманітністю» [18].

У природному середовищі основою раціону є водна та болотна рослинність, причому перевага надається молодим, соковитим частинам рослин із підвищеним вмістом легкозасвоюваних речовин. «В умовах клітинного утримання раціон формується із поєднання соковитих і зелених кормів, сіна високої якості, зернових і бобових культур, гілкового корму, трав'яного борошна, а також концентрованих і комбінованих кормів» [19]. Додатково можуть використовуватись корми тваринного походження, що сприяють підвищенню поживної цінності раціону та забезпечують нормальний ріст і розвиток тварин.

«Шиншила є невеликим гризуном масою 300–700 г, який відзначається цінним хутром, що поєднує м'якість, міцність і надзвичайну легкість. Природним ареалом її поширення є гірські райони Південної Америки, зокрема території Чилі та Перу» [20]. З початку ХХ століття шиншил почали активно розводити у фермерських господарствах за умов клітинного утримання, що підтвердило їх здатність добре адаптуватися до неволі, ефективно розмножуватися та не вимагати складних умов годівлі. «Тривалість життя цих тварин може досягати 20 років. Розводять як більші, так і дрібніші форми, при цьому протягом року самка здатна приносити декілька приплодів із різною кількістю молодняку» [20]. Найбільш поширеними є особини сіро-блакитного забарвлення, хоча виведено також інші колірні варіації. «На територію України шиншили були завезені у другій половині ХХ століття, після чого набули поширення у різних регіонах» [21].

Сурук є відносно новим об'єктом хутрового звірівництва і належить до найбільших представників гризунів родини біличих. Серед різноманіття видів у природних умовах України поширені лише окремі, серед яких найбільш адаптованим є степовий вид, що відзначається високою життєздатністю та здатністю пристосовуватися до різних умов середовища. «Від сурків отримують кілька видів продукції, серед яких основними є шкурки, м'ясо та жир. Хутро характеризується високою якістю, привабливим забарвленням і використовується як сировина для виготовлення виробів та імітації більш цінних видів хутра» [22].

М'ясо має добрі споживчі властивості та придатне для харчування. Особливу цінність становить жир, який застосовується як у медичних, так і в технічних цілях, а також використовується у виробництві косметичної продукції як компонент жирової фази.

«У середньому від однієї дорослої особини бабака отримують цінний комплекс продукції, що включає шкірку, 1–1,5 кг жиру та 2–3 кг дієтичного м'яса. Після розбирання тушок окремо виділяють субпродукти, які після відповідної обробки можуть використовуватися як у харчових цілях, зокрема серце, печінка та нирки, так і для годівлі тварин, до яких належать легені, селезінка та діафрагма» [23]. Значну частину становлять також відходи, зокрема голова, хвіст, лапи та шлунково-кишковий тракт, які після перероблення можуть бути залучені до кормовиробництва.

«Сурки є колоніальними, рослиноїдними хутровими тваринами з вираженим сезонним ритмом життєдіяльності, що визначає особливості їх утримання. Колоніальний спосіб існування проявляється у спільному реагуванні на небезпеку, що підвищує виживаність популяції» [22]. У період вегетації рослин їх активність поступово знижується наприкінці літа у зв'язку зі зміною кормової бази та температурного режиму, після чого настає тривалий період сплячки. У цей час життєві процеси суттєво уповільнюються, а потреба у годівлі та догляді практично відсутня, що є характерною особливістю цих тварин порівняно з іншими видами, які розводяться у господарствах. «Тривалість такого стану може досягати півроку» [23].

Сурки становлять інтерес не лише як джерело різноманітної продукції, але й як рослиноїдні тварини, подібні до кролів, нутрій, ондатр і шиншил, що дозволяє використовувати доступну кормову базу. Накопичений досвід свідчить, що в умовах зменшення чисельності природних популяцій ефективним заходом збереження виду є його розведення у контрольованих умовах. Незважаючи на те, що «технологія розведення ще перебуває на стадії формування, вже визначено перспективність клітинного утримання, яка обумовлена здатністю тварин

адаптуватися до неволі, використанням рослинних кормів та можливістю регулювання тривалості періоду сплячки» [23].

Кролик належить до ряду зайцеподібних і характеризується високою адаптивністю до різних умов утримання, що забезпечує його широке поширення у світі. Завдяки значній пластичності ці тварини добре акліматизуються в різних кліматичних зонах, що дозволяє ефективно розводити їх практично повсюдно.

«Основним напрямом кролівництва є виробництво дієтичного м'яса, яке відзначається високим вмістом повноцінного білка та низьким рівнем жиру. За своїми властивостями воно належить до категорії білого м'яса разом із курятиною та телятиною» [24]. Вміст холестерину у ньому є нижчим порівняно з іншими видами м'ясної продукції, що підвищує його харчову цінність. Крім того, «м'ясо кролів багате на вітаміни та біологічно активні речовини, що робить його важливим компонентом раціонального харчування» [25].

Найбільш високими поживними властивостями характеризується м'ясо молодих тварин віком близько 4–4,5 місяців. Засвоюваність поживних речовин з такого продукту є значно вищою порівняно з м'ясом інших видів тварин, що обумовлює його дієтичну та лікувально-профілактичну цінність.

«Жир кролів також має високу біологічну цінність, оскільки містить значну кількість повноцінних жирних кислот. Його застосовують не лише у харчуванні, але й у лікувальних цілях, зокрема при захворюваннях органів дихання та для догляду за шкірою, використовуючи як у чистому вигляді, так і у складі різних сумішей» [26].

Кролячі шкірки відзначаються значною різноманітністю забарвлень і мають високий попит у промисловості. З них виготовляють широкий асортимент виробів, зокрема головні убори, верхній одяг та оздоблювальні елементи. «Завдяки своїм властивостям шкірки легко піддаються обробці та можуть імітувати більш цінні види хутра» [24]. Кроляче хутро характеризується легкістю, м'якістю, привабливим зовнішнім виглядом, достатньою зносостійкістю і хорошими теплоізоляційними властивостями, що робить його практичним матеріалом для використання в легкій промисловості.

Окрім хутрової сировини, від кролів отримують також шкіру, яку виробляють із шкурок, непридатних для виготовлення хутряних виробів. Така сировина використовується для виготовлення різних видів шкіряної продукції, зокрема тонких сортів матеріалів для галантерейних виробів. «Від пухових порід отримують пух, який є цінною сировиною для текстильної промисловості та використовується у виробництві фетрових і трикотажних виробів» [27].

Під час переробки кролів отримують також низку побічних продуктів, що мають практичну цінність. З окремих частин тіла виготовляють технічні матеріали, зокрема клеї високої якості, а з шлунків отримують ферментні препарати. Кишкова сировина може використовуватись у виробництві музичних інструментів, тоді як варені нутроці та кров застосовуються як поживний корм для інших тварин. Кістки переробляють на кісткове борошно.

Важливим побічним продуктом є також гній, який широко використовується як ефективне органічне добриво. Його застосування сприяє підвищенню родючості ґрунтів і є доцільним у сільському господарстві. «Крім того, розробляються підходи до використання продуктів переробки гною як кормових добавок, що відкриває додаткові можливості для підвищення ефективності виробництва» [27].

Кролики широко використовуються не лише у виробництві продукції, але й у науковій та медичній сферах. «Значна їх кількість застосовується для отримання біопрепаратів, вакцин і сироваток, проведення біологічних проб, діагностичних досліджень, а також у процесі розроблення важливих наукових напрямів у біології, медицині та ветеринарії» [28]. Вони також відігравали роль у розвитку космічних досліджень, оскільки належали до числа тварин, які використовувалися на початкових етапах освоєння космосу.

Залежно від виду отримуваної продукції кролівництво розвивається за кількома основними напрямками. «Один із них орієнтований на виробництво м'яса, де основною метою є отримання високоякісної дієтичної продукції у короткі строки. У цьому випадку молодняк вирощують разом із самками до двомісячного віку, після чого здійснюють забій при досягненні відповідної живої маси» [29]. Такий підхід широко застосовується у багатьох розвинених країнах.

Інший напрям передбачає поєднання виробництва м'яса та хутрової сировини, що є найбільш поширеним у практиці господарювання. Молодняк у цьому випадку відлучають у ранньому віці, після чого вирощують до досягнення оптимальних показників для отримання як м'ясної, так і шкуркової продукції.

Окремо виділяється напрям, орієнтований на отримання пуху як основного виду продукції. «У цьому випадку використовують як дорослих тварин, так і молодняк, а технологія утримання передбачає регулярне збирання пуху. При цьому також отримують супутню продукцію у вигляді м'яса та шкурок, що підвищує загальну ефективність виробництва» [30].

До пухового напрямку належать породи, що спеціалізуються на отриманні пуху, зокрема ангорська та біла пухова. Організм кролів має низку біологічних і фізіологічних особливостей, які відрізняють їх від інших сільськогосподарських тварин. «Будова органів травлення безпосередньо пов'язана з характером їх живлення. Завдяки специфічній анатомії травного тракту та наявності копрофагії кролі здатні ефективно споживати і перетравлювати корми з високим вмістом клітковини» [31]. Травний тракт значно перевищує довжину тіла і характеризується добре розвиненими товстим і сліпим відділами кишечника, що забезпечує достатньо повне засвоєння поживних речовин.

До найбільш важливих господарсько цінних особливостей належать висока швидкість росту, значна плодючість і інтенсивність розмноження, а також ефективне використання кормів. «Залежно від породних особливостей кролі здатні відтворювати потомство вже у віці 4–6 місяців. За рік від однієї самки можна отримати кілька окролів із значною кількістю молодняку в кожному. Характерною рисою є також інтенсивний ріст у ранньому віці, коли маса тіла швидко збільшується протягом перших тижнів життя» [32].

Процеси подрібнення та первинної обробки корму відбуваються у ротовій порожнині за участю зубів і слини. Язик відіграє важливу роль у переміщенні корму та визначенні його якості завдяки наявності смакових рецепторів. «У дорослого кроля відсутні ікла, а різці ростуть протягом усього життя і самостійно

сточуються під час споживання корму, що є важливою адаптаційною особливістю» [32].

Подрібнений корм змочується слиною, ферменти якої сприяють початковому розщепленню вуглеводів. Далі він надходить у шлунок, який має однокамерну будову та розташований у передній частині черевної порожнини. Слизова оболонка шлунка містить залози, що безперервно виділяють шлунковий сік із високою кислотністю та ферментативною активністю, що забезпечує ефективне перетравлення корму.

«У шлунку кролика корм затримується протягом 3–10 годин залежно від його виду, після чого переходить до кишечника, довжина якого у 8–10 разів перевищує довжину тіла. Така будова травної системи забезпечує ефективне перетравлення і засвоєння поживних речовин» [33, 34].

Встановлено, що «кролі часто неохоче споживають борошністі корми, оскільки розсіпні комбікорми у сухому вигляді утворюють пил, який подразнює слизові оболонки дихальних шляхів і може спричиняти респіраторні порушення» [35]. Використання гранульованих кормів дозволяє уникнути цих недоліків і покращує умови годівлі тварин.

При організації годівлі враховують особливості будови травної системи кролів, які належать до моногастричних тварин, у шлунку яких процеси бродіння виражені значно слабше, ніж у жуйних. Це визначає специфіку підбору кормів і технології їх підготовки.

Фізіологічний стан хутрових звірів і кролів значною мірою залежить від збалансованості раціону, що підкреслює важливість правильного підбору компонентів корму для забезпечення їх нормального росту, розвитку та продуктивності.

### 1.3 Потреба тварин в основних поживних речовинах

«Годівля вважається повноцінною за умови забезпечення тварин усіма необхідними поживними речовинами відповідно до їх фізіологічних потреб і

підтримання нормального перебігу життєвих процесів при мінімальних витратах кормів» [36]. Від збалансованості раціону безпосередньо залежить стан здоров'я тварин, їх стійкість до інфекційних та інвазійних захворювань, а також загальна продуктивність.

«У раціонах нутрій важливе значення має оптимальний вміст перетравного протеїну, який повинен становити 13–15 % сухої речовини, або 17–19 % сирого протеїну, з яких приблизно десята частина має припадати на повноцінний білок тваринного походження. Рівень жиру в раціонах рекомендується підтримувати на рівні 3–5 % сухої речовини, тоді як вміст сирової клітковини для молодняку і дорослих тварин повинен знаходитися в межах 5–9 %» [37, 38].

«Основну частку раціону нутрій становлять легкоперетравні вуглеводи, зокрема крохмаль і цукри, які можуть досягати 70–80 % сухої речовини. Особливе значення мають повноцінні білки, що містяться переважно у зернобобових культурах, макухах, зелених кормах і кормах тваринного походження» [39]. За їх тривалого дефіциту порушуються репродуктивні функції, знижується життєздатність потомства та погіршується якість хутра, що обумовлює необхідність введення до раціонів невеликих кількостей білкових добавок як рослинного, так і тваринного походження.

Для ондатри потреба у протеїні змінюється залежно від сезону та фізіологічного стану, досягаючи максимальних значень у період розмноження. Вміст жиру та клітковини також має регулюватися відповідно до сезону, що дозволяє уникати порушень обміну речовин та ожиріння. У природних умовах узимку частка клітковини в раціоні може зростати, не впливаючи негативно на відтворювальні показники, що свідчить про адаптаційні можливості цих тварин до різних умов живлення.

Істотних змін у мінеральному складі раціону залежно від сезону року не спостерігається. «Співвідношення кальцію і фосфору залишається наближеним до 1:1, при цьому їх вміст становить приблизно 0,40 і 0,46 г на 100 г сухої речовини відповідно» [37]. «У природних умовах живлення ондатри встановлено наявність

важливих мікроелементів у таких кількостях (мг на 100 г сухої речовини): марганець – 42, мідь – 1,1, цинк – 31,1, залізо – 4,6» [39].

Для бабаків як рослиноїдних тварин характерною є висока залежність продуктивності від повноцінності рослинного корму. Основу їх раціону становлять рослини з підвищеним вмістом протеїну, які добре засвоюються і споживаються у значних обсягах. Дефіцит протеїну призводить до уповільнення росту, порушення розвитку молодняку та зниження ефективності використання поживних речовин корму. Важливе значення у живленні має клітковина, яка хоча й має обмежену перетравність, виконує регуляторну функцію у процесах травлення.

Ключовими показниками якості кормів для бабаків є їх поживність і вологість рослинної маси. «Повноцінними вважаються лише молоді рослини у фазі активного росту, які містять близько 20–28 % протеїну, 3–4 % жиру, 20–26 % клітковини та мають вологість на рівні 70–75 %. Особлива чутливість бабаків до дефіциту мінеральних речовин, насамперед кальцію і фосфору, проявляється у порушенні функцій організму, ослабленні кінцівок і підвищенні ризику загибелі молодняку» [40].

Для кролів повноцінна годівля передбачає надходження всіх необхідних поживних речовин, вітамінів, мікроелементів та енергії, оскільки їх дефіцит негативно впливає на ріст, розвиток і стійкість до захворювань. Потреба в кормових одиницях змінюється залежно від фізіологічного стану та віку тварин. «Особливе значення має забезпечення раціонів достатньою кількістю протеїну, який надходить виключно з кормів, оскільки тварини не здатні синтезувати його з неорганічних сполук» [41]. Рівень протеїнового забезпечення визначає продуктивність, відтворювальні якості та загальний фізіологічний стан кролів.

Недостатність протеїну в раціоні призводить до зниження інтенсивності росту та продуктивності тварин, збільшення витрат кормів на одиницю продукції, погіршення загального стану здоров'я кролів, а також негативно впливає на якість їх волосяного покриву. «У наукових працях, проведених у різних країнах, рекомендовано використовувати для кролів комбікорми із вмістом сирого протеїну на рівні 16–18 %. Подібні результати підтверджено і дослідженнями вітчизняних

фахівців, де мінімально допустимий рівень протеїну в раціонах становить близько 16 %» [42].

«Основними джерелами рослинного протеїну є макухи та шроти з вмістом 30–45 %, зернобобові культури, а також у меншій мірі зернові злаки і коренеплоди» [43]. Серед кормів тваринного походження високий вміст білка характерний для рибного та м'ясо-кісткового борошна. Вуглеводи виконують функцію основного джерела енергії, а також беруть участь у ряді метаболічних процесів, сприяють засвоєнню кальцію, процесам окостеніння та частково можуть перетворюватися на жири. Вони особливо важливі для молодняку, сукрольних і лактуючих самок.

У годівлі кролів важливим показником є рівень сирової клітковини, який регулює процеси травлення. Кролі, як травоядні тварини з однокамерним шлунком, еволюційно пристосовані до споживання об'ємних кормів з високим вмістом клітковини і за здатністю її перетравлення поступаються лише жуйним тваринам. «Оптимальний вміст клітковини в раціонах становить 14–26 %, що забезпечує нормальну роботу шлунково-кишкового тракту» [44].

Наявність клітковини в гранульованих кормах відіграє важливу роль у регуляції травлення, стимулює перистальтику кишечника та підвищує засвоюваність поживних речовин. Недостатній її рівень може спричиняти порушення роботи травної системи. Дослідженнями встановлено, що «як надмірний, так і недостатній вміст окремих кормових компонентів, зокрема люцерни, може впливати на мінеральний баланс організму, що необхідно враховувати при формуванні збалансованих раціонів» [45].

Дослідженнями було встановлено, що вміст клітковини в раціоні кролів має суттєвий вплив на процеси травлення та загальний фізіологічний стан організму. При надмірному її рівні знижується перетравність кормів, тоді як помірна кількість клітковини сприяє нормалізації травних процесів. За недостатнього надходження клітковини в раціоні виникають розлади травлення, погіршуються показники росту та відтворення тварин. Зарубіжні дослідники «відзначають, що для молодняку кролів найбільш ефективними є комбікорми з вмістом сирової клітковини на рівні 10–18 %. Встановлено також, що зниження цього показника нижче 11 % сухої

речовини корму призводить до погіршення здоров'я тварин і зниження їх продуктивності, тоді як оптимальний діапазон 12–18 % забезпечує найкращі результати щодо росту, здоров'я та засвоєння кормів» [40].

Жири виконують у організмі тварин енергетичну та теплозберігаючу функції. Більшість кормів, що використовуються у годівлі кролів, містить відносно невелику кількість жиру, зокрема зернові злаки та бобові культури. «Значно вищий вміст жиру характерний для насіння олійних культур і макух, які позитивно впливають на якість волосяного покриву, підвищуючи його еластичність і блиск, а також сприяють підвищенню продуктивності, особливо у період відгодівлі. Оптимальний рівень жиру в раціонах дорослих тварин становить 2–4 %, тоді як під час інтенсивної відгодівлі може підвищуватися до 8 %» [12, 19].

«Важливе значення для організму кролів має вода, яка становить близько 70 % їх маси» [32]. Вона забезпечує нормальне функціонування клітин і органів, процеси травлення, терморегуляції та обміну речовин. Недостатнє водопостачання призводить до порушення фізіологічних функцій, затримки росту молодняку та погіршення загального стану тварин. «Дорослому кролю необхідно приблизно 1 літр води на добу, а молодняку близько 0,3 літра» [41].

#### 1.4 Огляд основних технологічних процесів виробництва комбікормів

В умовах спеціалізації та концентрації тваринництва, а також переходу до промислових технологій виробництва, все більшого значення набуває збільшення частки повноцінних комбікормів у загальному балансі концентрованих кормів. Це зумовлено необхідністю забезпечення стабільної продуктивності тварин та раціонального використання кормових ресурсів.

«Принципова технологічна схема виробництва комбікормів для рослинної групи тварин включає ряд взаємопов'язаних технологічних ліній, визначених у нормативних документах з організації комбікормового виробництва. До них належать лінії зернової та борошнистої сировини, трав'яного борошна, кормових продуктів харчових виробництв, пресованої та шматкової сировини,

мінеральних компонентів, а також ділянки дозування, змішування і гранулювання» [11]. Продуктивність кожної технологічної лінії розраховується відповідно до рецептурного складу і максимально можливого обсягу переробки сировини.

«На лінії зернової сировини здійснюється очищення зерна за допомогою повітряно-ситових і магнітних сепараторів, після чого проводиться його подрібнення з наступним просіюванням для досягнення необхідної фракційної однорідності» [5]. Аналогічні операції виконуються і на лінії кормових продуктів тваринного походження, де передбачено контроль крупності та додаткове подрібнення за потреби.

«Збагачення комбікормів мікроелементами та біологічно активними речовинами здійснюється шляхом введення преміксів за стандартними технологічними схемами» [11]. Окремі особливості мають лінії трав'яного борошна, дозування, змішування та гранулювання, які безпосередньо впливають на якість кінцевого продукту.

Існуючі технологічні системи виробництва гранульованих комбікормів переважно орієнтовані на виготовлення стандартних гранул із невеликим вмістом трав'яного борошна, тоді як повнораціонні комбікорми для рослиноїдних тварин можуть містити значно вищу його частку, що вимагає удосконалення технологічних підходів і обладнання.

«Технологія введення значної кількості важкосипучої сировини, зокрема трав'яного борошна, у комбікорми на існуючих лініях комбікормових заводів ускладнюється низкою виробничих факторів» [19]. Така сировина схильна до зависання у бункерах, злежування та утворення грудок, втрачає сипкість, що призводить до нестабільної роботи транспортних механізмів і порушень у процесах дозування. «У результаті знижується точність рецептурного складу та погіршується якість готової продукції» [8].

Для усунення зазначених недоліків та підвищення технологічної ефективності застосовують попереднє змішування трав'яного борошна з іншими компонентами, такими як сіль, рибне борошно, дріжджі та інші добавки. Отримана

суміш надходить на основну лінію дозування і змішування, що дозволяє стабілізувати процес подачі сировини та покращити її технологічні властивості.

«З метою підвищення ефективності використання трав'яного борошна у виробництві комбікормів застосовують різні технологічні підходи до його подачі» [7]. Розсипна форма спрямовується на лінію борошнистих або кормів тваринного походження, тоді як гранульована форма вводиться через зернову лінію. Перед використанням гранульоване трав'яне борошно додатково подрібнюється на молоткових дробарках з подальшим просіюванням для досягнення необхідної крупності частинок.

«Важливим удосконаленням є впровадження двостадійного подрібнення гранул, що дозволяє підвищити стабільність роботи обладнання, зменшити знос робочих органів та скоротити простої. Окрему роль у технологічному процесі відіграє пневмотранспорт, який забезпечує безперервну подачу сировини, зменшує втрати та підвищує санітарний рівень виробництва» [21].

Аналіз технологічного процесу виробництва комбікормів свідчить, що ключовими етапами є приймання та зберігання сировини, її очищення і подрібнення, дозування, змішування, термічна або механічна обробка, а також складування і відпуск готової продукції. «Саме на етапах підготовки та дозування сировини формується якість кінцевого комбікорму, що визначає ефективність усього виробничого циклу» [15].

Основними технологічними операціями у виробництві комбікормів є точне дозування компонентів та їх рівномірне змішування, оскільки саме ці етапи значною мірою визначають якісні показники кінцевої продукції та ефективність її використання у годівлі тварин. «Навіть правильно розрахований за допомогою комп'ютерних програм рецепт не гарантує очікуваної продуктивності, якщо порушується точність дозування або відсутня однорідність змішування компонентів» [33].

Дозування поділяють на об'ємне та вагове, а також на безперервне і дискретне. Для реалізації об'ємного безперервного дозування застосовують різні типи дозувальних пристроїв, зокрема тарілчасті, барабанні, шнекові, вібраційні,

стрічкові, пневматичні та комбіновані конструкції. Такі системи характеризуються конструктивною простотою, компактністю та можливістю роботи в багатодозаторних установках. Водночас їх точність зазвичай не перевищує  $\pm 3\%$ , а також значною мірою залежить від фізико-механічних властивостей компонентів, що дозуються.

Більш високий рівень точності забезпечують вагові дозатори, які широко застосовуються для дискретного дозування. Вони можуть бути механічними або електронними, одно- та багатоконпонентними. «Використання багатоконпонентних вагових дозаторів дозволяє досягати точності на рівні  $\pm 0,5\%$ , що є суттєво кращим показником порівняно з об'ємними системами» [18].

При організації процесу дозування ключовими параметрами є точність і тривалість операції, можливість оперативного регулювання технологічного процесу, а також надійність роботи обладнання в автоматичному режимі. Сучасні комбікормові підприємства поступово впроваджують технології безперервного дозування із застосуванням стрічкових вагових дозаторів, гравітаційних змішувачів та автоматизованих систем керування. «Такі рішення найчастіше використовуються на підприємствах великої потужності, орієнтованих на масове виробництво стандартних комбікормів, де точність дозування досягає близько  $\pm 1\%$ » [22].

Лінії для виготовлення попередніх сумішей білкової, важкосипучої сировини та преміксів проєктуються із застосуванням дозаторів дискретного типу, оскільки вони забезпечують вищу точність порівняно з іншими видами обладнання. «Перевагою стрічкових вагових дозаторів безперервної дії є їхня значна продуктивність, а також можливість одночасного дозування всіх компонентів рецептури, що, у свою чергу, позитивно впливає на загальну ефективність роботи всієї дозувальної лінії» [4].

Процес змішування сипких компонентів є складним механічним явищем. Головним показником якості завершення цього процесу виступає однорідність отриманої суміші. Для забезпечення рівномірності комбікормів застосовують змішувачі як безперервної, так і періодичної дії.

«Ефективність процесу змішування визначається не лише фізико-механічними характеристиками компонентів, зокрема гранулометричним складом, формою та станом поверхні частинок, рівнем вологості й щільністю, але й режимними параметрами роботи змішувального обладнання» [20, 25, 31]. До них належать тривалість перемішування, швидкість руху робочих органів змішувача, ступінь його завантаження та інші технологічні показники, які в сукупності формують якість кінцевого продукту.

«Гранульовані комбікорми посідають особливе місце в структурі промислового виробництва кормів, оскільки саме вони забезпечують стабільні фізико-механічні та поживні характеристики готової продукції» [12].

Розсипні корми і кормові суміші, особливо ті, що містять значну частку грубих компонентів, мають низку суттєвих недоліків, які негативно впливають на їх якість під час зберігання та транспортування. До основних проблем належать гігроскопічність, низька об'ємна маса, а також схильність до розшаровування під час переміщення.

Найбільш ефективним способом усунення зазначених недоліків є пресування кормових сумішей у брикети або гранули. У результаті такого технологічного підходу корм набуває більш стабільної структури, що зменшує втрати та покращує його збереженість.

Пресовані корми порівняно з розсипними характеризуються значно вищою стійкістю при зберіганні та транспортуванні, а також краще зберігають однорідність вихідної суміші. Завдяки цьому зменшується ризик розшаровування компонентів та втрати поживної цінності окремих фракцій.

«Щільність і об'ємна маса гранульованих комбікормів перевищує аналогічні показники розсипних у 1,3–1,5 рази. Це дозволяє більш ефективно використовувати місткості силосів, бункерів і складських приміщень, а також підвищує раціональність використання вантажопідйомності транспортних засобів» [14].

Процес гранулювання комбікормів належить до термопластичних технологічних процесів. Під впливом механічного тиску і підвищеної температури

відбувається зміна стану основних полімерних сполук у кормовій суміші, а також активізуються фізико-хімічні та біохімічні процеси взаємодії компонентів.

Під час гранулювання здійснюється також гідротермічна обробка сировини, у результаті якої крохмаль частково переходить у декстрини та прості цукри. Це сприяє підвищенню санітарної якості продукту, оскільки значна частина патогенних мікроорганізмів, зокрема сальмонели, практично повністю знищується.

«У результаті таких змін підвищується загальна поживна цінність комбікорму, зростає вміст обмінної енергії та покращується засвоюваність поживних речовин. Незважаючи на дещо вищу собівартість гранульованих комбікормів, їх використання у годівлі тварин є фізіологічно доцільним і економічно обґрунтованим» [28].

З метою підвищення ефективності використання гранульованих комбікормів у вітчизняній і зарубіжній практиці для годівлі окремих видів сільськогосподарських тварин застосовують технологічно підготовлену крупку, одержану шляхом подрібнення гранул.

«Виробництво крупки має низку переваг у порівнянні з використанням дрібнорозмірних гранул (2,4 мм; 3,2 мм). Насамперед це забезпечує підвищення продуктивності грануляційного цеху, зниження експлуатаційних витрат, а також зменшення питомого споживання електроенергії» [40].

«Застосування великих гранул у технологічному процесі дає змогу підвищити продуктивність цеху гранульованих комбікормів більш ніж у два рази. Під час подальшого подрібнення таких гранул у крупку значна частина продукту (35–45 %) перетворюється на борошно та пил, які потребують повторного повернення на прес для додаткової переробки. Попри це, експлуатаційні витрати при подрібненні великих гранул діаметром близько 4–8 мм зменшуються орієнтовно у чотири рази» [35].

Споживання електроенергії при виробництві крупнорозмірних гранул є нижчим у порівнянні з дрібними гранулами, що пов'язано з меншими енергетичними витратами на формування продукту. «У результаті загальна витрата

енергії на виробництво 1 т продукції, як правило, також є меншою, навіть з урахуванням додаткових операцій подрібнення та просіювання крупки» [39].

#### Висновки по розділу.

Встановлено, що сучасне тваринництво потребує переходу до інтенсивних технологій, які забезпечують стабільну продуктивність тварин і раціональне використання кормових ресурсів. Ключовим напрямом є впровадження повнораціонних комбікормів, особливо у гранульованій формі, що дозволяє підвищити ефективність годівлі та зменшити втрати поживних речовин.

Встановлено, що ефективність годівлі безпосередньо залежить від фізіологічних особливостей тварин і правильного балансу поживних речовин у раціоні. Особливу увагу слід приділяти вмісту протеїну, клітковини, жирів, вуглеводів та мінеральних речовин, оскільки їх дефіцит або надлишок негативно впливає на ріст, розвиток, відтворення та якість продукції.

Аналіз біологічних особливостей різних видів хутрових і сільськогосподарських тварин показав, що найбільш перспективними є рослиноїдні види, які здатні ефективно використовувати рослинні корми та комбікорми. При цьому їх травна система адаптована до високого вмісту клітковини, що дозволяє застосовувати дешевші кормові компоненти та знижувати собівартість продукції.

Дослідження технологічних процесів виробництва комбікормів доводять, що найважливішими операціями є дозування та змішування компонентів, від яких залежить однорідність і якість кінцевого продукту. Найбільш ефективними є вагові дозатори та автоматизовані системи безперервного виробництва, які забезпечують високу точність і стабільність технологічного процесу.

Встановлено, що гранулювання комбікормів є одним із найефективніших способів підвищення їх якості, збереженості та поживної цінності. Гранульовані корми мають вищу щільність, кращу транспортабельність і сприяють підвищенню продуктивності тварин, а використання крупки та оптимізація енергозатрат додатково підвищують економічну ефективність комбікормового виробництва.

## 2 МАТЕРІАЛЬНО-МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОБОТИ

### 2.1 Характеристика використаної сировини та методів дослідженн

Як об'єкти дослідження було прийнято комбікорми для відлученого молодняку кролів віком від 30 до 135 днів (табл. 2.1), а також гранульовані комбікорми, до складу яких входили суміші екструдованих компонентів (трав'яне борошно та зернова сировина), а також крупка, отримана шляхом подрібнення гранульованих комбікормів.

Таблиця 2.1 – Рецепти комбікормів для кролів

| Найменування компонентів                  | Рецепт |       |       |       |
|-------------------------------------------|--------|-------|-------|-------|
|                                           | 1      | 2     | 3     | 4     |
| Трав'яне борошно                          | 40     | 30    | 30    | 30    |
| Овес (пшениця)                            | 18     | 19    | 20    | 20    |
| Ячмінь (кукурудза)                        | 18     | 19    | 20    | 20    |
| Висівки пшеничні                          | 10     | 14    | 18,3  | 16,5  |
| Жмих, шрот (соняшниковий, соєвий)         | 9      | 13    | 6,7   | 6,5   |
| Рибне борошно (м'ясна мука, білка 60–70%) | 2      | 2     | –     | –     |
| М'ясокісткове борошно                     | –      | 1     | –     | –     |
| Дріжджі кормові                           | 1      | –     | 1     | 1     |
| Поварена сіль                             | 0,5    | 0,5   | –     | –     |
| Кісткова мука                             | 1,5    | 0,5   | –     | –     |
| Бентонітова глина                         | –      | –     | 3     | –     |
| Меляса                                    | –      | –     | –     | 5     |
| Премікс                                   | –      | 1     | 1     | 1     |
| Всього                                    | 100,0  | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

До рецептури комбікормів вводили вітамінно-мінеральний премікс для кролів усіх вікових груп (П90-2) у кількості 1 % (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 – Рецепт преміксу П-90-2 для кроликів усіх вікових груп, на 1 т преміксу

| Компоненти                        | Кількість |
|-----------------------------------|-----------|
| Вітамін А, млн МЕ                 | 500       |
| Вітамін D <sub>3</sub> , млн МЕ   | 150       |
| Вітамін Е, млн МЕ                 | 4         |
| Вітамін В <sub>12</sub> , г       | 6         |
| Кобальт, г                        | 40        |
| Залізо, кг                        | 20        |
| Цинк, кг                          | 5         |
| Мідь, кг                          | 2         |
| Марганець, кг                     | 3         |
| Йод, г                            | 200       |
| Наповнювач (висівки пшеничні), кг | до 1000   |

Фізико-механічні властивості сировини та показники якості розсипних і гранульованих комбікормів, а також комбікормів із екструдованими компонентами та крупки оцінювали за такими методиками відповідно до чинних нормативних документів: вологість визначали за ДСТУ ISO 6496:2003 (Корм для тварин. Визначення вмісту води та інших летких речовин), об'ємну масу та кут природного укосу – за методиками, гармонізованими з ДСТУ 4593:2006 (Комбікорми. Методи визначення фізичних показників), гранулометричний склад – за ДСТУ ISO 12099:2009 (Корм для тварин. Визначення фізичних характеристик), вміст металомагнітних домішок – за ДСТУ 4398:2005 (Комбікорми. Методи контролювання металомагнітних домішок), крихкість гранул – за методиками, адаптованими до ДСТУ 4120:2002 (Комбікорми гранульовані. Загальні технічні умови), а масову частку проходу через сито з отворами 0,2 мм – за відповідними положеннями ДСТУ ISO 17827-1:2016.

Загалом застосування чинних національних та гармонізованих стандартів дозволило забезпечити єдину методичну базу для об'єктивної оцінки фізико-механічних та технологічних властивостей досліджуваних комбікормів і їхніх компонентів.

## 2.2 Технологічна схема та обладнання для виробництва комбікорму

Дослідження взаємозв'язку між факторами, що впливають на процес гранулювання, та визначення оптимальних режимів гранулювання комбікормів для кроликів (як представників рослинної групи тварин із підвищеним вмістом трав'яного борошна в раціоні) проводили у виробничих умовах Дніпропетровського комбікормового заводу промисловості (рис. 2.1) на прес-установці (рис. 2.2), а також у навчальних лабораторіях кафедри харчових технологій ДДАЕУ.

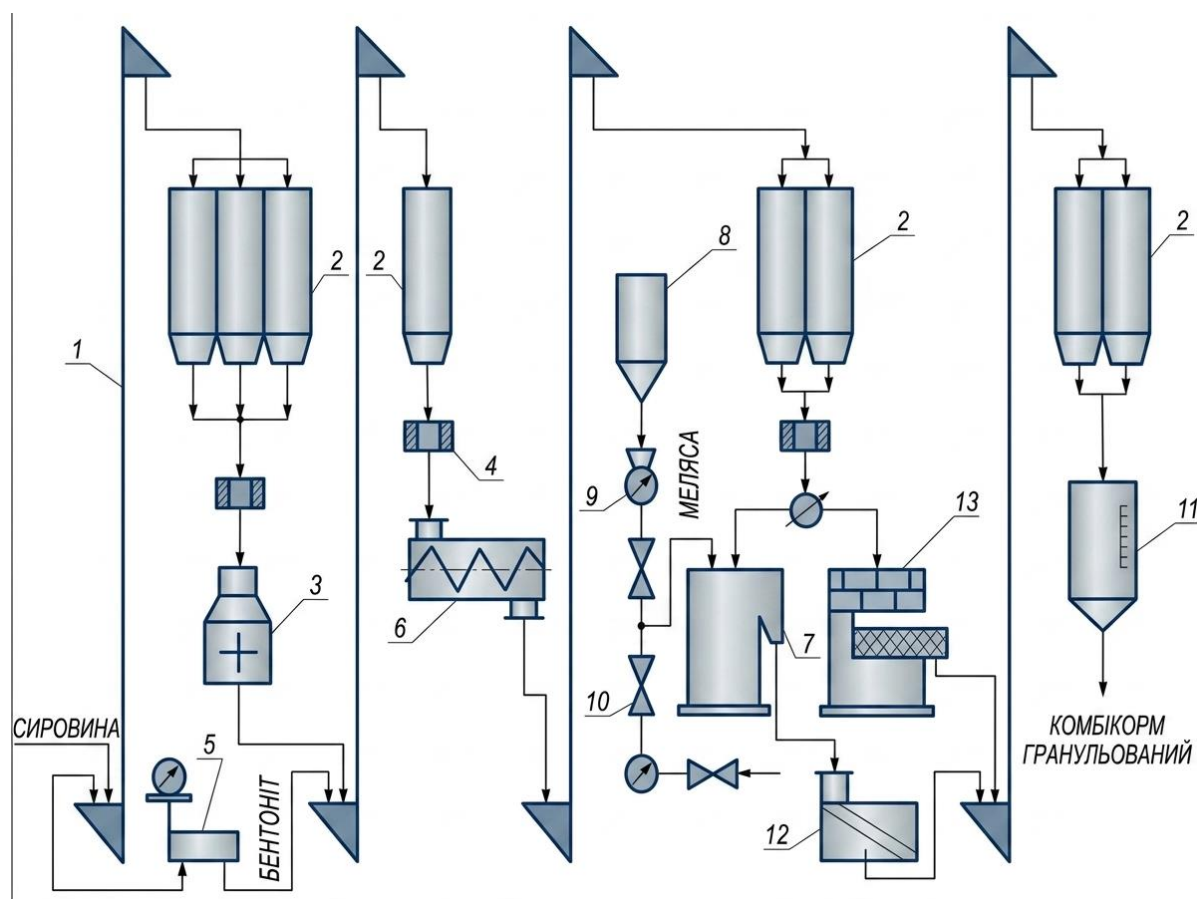


Рисунок 2.1 – Технологічна схема дослідної лінії гранулювання комбікормів: 1 – норії, 2 – бункери, 3 – дробарка, 4 – магнітні колонки, 5 – ваги, 6 – змішувач А9-ДСГ-0,2, 7 – прес-гранулятор, 8 – ємність для зберігання м'яса, 9 – дозатор, 10 – вентиль, 11 – ваговибійний апарат, 12 – просіювач, 13 – екструдер

Методика проведення експериментів на прес-грануляторі ОГМ-08А передбачала зважування компонентів комбікорму відповідно до заданої рецептури на платформних вагах. Сировину, що потребувала подрібнення, направляли на дробарку Ф-1, після чого подрібнені компоненти пневмотранспортом подавали в циклон і далі – у змішувач А9-ДСГ-0,2. Туди ж завантажували компоненти, які не потребували подрібнення. Після встановленого часу змішування готовий розсипний комбікорм норією подавався до надпресового бункера місткістю 500 кг.

Далі суміш через живильник і змішувач гранулятора надходила безпосередньо в камеру пресування. Така технологічна схема забезпечувала стабільну підготовку сировини до гранулювання та рівномірність подачі матеріалу в робочу зону преса.

На прес-грануляторі ОГМ-08А, оснащеному матрицями з діаметром отворів 8 і 10 мм, проводили дослідження впливу сполучних речовин та ступеня подрібнення компонентів на техніко-економічні показники процесу гранулювання, включаючи продуктивність, енергоємність та якість готових гранул.

Експериментальна установка (рис. 2.2) включала бункер, змішувач-пропарювач, вузол пресування та патрубок для відведення готових гранул, що забезпечувало повний технологічний цикл обробки сировини.

Прес-гранулятор з горизонтально розташованою матрицею та одним пресуючим роликком застосовувався для проведення експериментальних досліджень процесу гранулювання комбікорму.

Витрата пари регулювалася за допомогою вентиля, розташованого безпосередньо перед змішувачем-пропарювачем преса-гранулятора. Параметри електроспоживання контролювалися шляхом вимірювання та реєстрації струму і напруги на одній із фаз головного електродвигуна за допомогою самописних приладів типу Н-344.

Необхідне навантаження на прес встановлювали за допомогою вимірювального комплексу К-506. Процес гранулювання здійснювали за умови постійного навантаження на основний двигун, яке підтримували стабільною подачею комбікорму.



### 3 ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

#### 3.1 Вплив пластифікаторів на здійснення процесу гранулювання комбікормів

Для дослідження впливу окремих чинників на процес гранулювання було проведено експериментальні роботи з визначення технологічно обґрунтованої частки введення сполучних речовин у комбікорми для кроликів, зокрема бентоніту та меляси. Додатково на Дніпропетровському комбікормовому заводі виконано дослідження щодо встановлення оптимального вмісту сапропелю як зв'язуючого компонента у кормах для кроликів і бабаків. Серед широкого спектра пластифікаторів найбільшого поширення набули саме бентоніт, меляса та сапропель.

Вибір бентоніту і меляси як сполучних речовин обґрунтовано на основі попередніх наукових даних і рекомендацій профільних науково-дослідних установ. Використання бентонітової глини у складі раціонів сприяє покращенню якості шкурок, підвищенню перетравності корму та збільшенню приростів живої маси тварин. Сапропель, що містить органічні й мінеральні компоненти, у межах дослідження вперше застосовано як пластифікатор при гранулюванні комбікормів для кроликів і бабаків. Гранулювання дослідних зразків здійснювали за сталих режимних параметрів: навантаження пресів становило 40 А і 60 А відповідно, тиск пари – 0,30–0,35 МПа, із використанням матриць з отворами діаметром 5, 8 і 10 мм.

Меляса, як сполучна речовина органічного походження, характеризується високим вмістом сахарози та має вигляд густої в'язкої рідини темно-коричневого кольору. У ході експериментів її вводили у гранульовані комбікорми з підвищеним вмістом волокнистої сировини (трав'яного борошна на рівні 30–40 %) з поступовим збільшенням частки, що дозволило оцінити вплив на процес формування гранул та їх якісні характеристики.

Під час експериментальних досліджень у гранульовані комбікорми для кроликів із підвищеним вмістом волокнистого компонента (трав'яне борошно – 30–40 %) вводили мелясу з поступовим збільшенням її частки від 1 % до 7 % (1 %, 3 %, 5 %, 7 %). Мелясу подавали у підігрітому стані безпосередньо в змішувач преса-

гранулятора. Отримані результати засвідчили, що її використання сприяє зменшенню крихкості гранул з 6,3 до 4,3 %, а також знижує кількість проходу через сито з отворами 0,2 мм з 2,7 % до 1 %. Водночас встановлено, що оптимальний вміст меляси не повинен перевищувати 5 %, оскільки при більш високих концентраціях гранули набувають липкості, що ускладнює їх зберігання.

Бентоніт розглядається як неорганічна сполучна речовина, що належить до колоїдних глин. У дослідженнях використовували активований бентоніт типу «Аскангель», до складу якого додавали карбонат натрію в кількості 1 % для покращення мастильних властивостей. За фізичними характеристиками ця глина має зеленувато-блакитне забарвлення, воскову структуру та жирну на дотик поверхню. У подрібненому стані вона являє собою тонкодисперсний порошок із низькою сипучістю, гігроскопічною точкою близько 45 % та лужною реакцією середовища ( $\text{pH} \approx 10$ ). Вміст монтморилоніту у зразку становив 82,5 %, що визначає його високі адсорбційні та зв'язуючі властивості.

Середні значення основних фізико-механічних характеристик бентонітової глини типу «Аскангель» наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Фізико-механічні властивості бентоніту

| Показник                | Значення                     |
|-------------------------|------------------------------|
| Вологість, %            | 8,7                          |
| Сипучість, бал          | 5                            |
| Кут укосу, град         | 39                           |
| Об'ємна маса, г/л       | 1064                         |
| Відносна відлежуваність | не комкується, не змішується |

Для підвищення ефективності процесу гранулювання комбікормів для кроликів бентоніт використовували як сполучний компонент у кількості від 1 % до 4 % із кроком 1 %. З огляду на те, що за своїми фізико-механічними властивостями бентоніт подібний до мінеральних добавок, які традиційно входять до складу

комбикормів (зокрема фосфатів і крейди), його введення та дозування здійснювали із застосуванням наявних технологічних ліній для мінеральної сировини.

Аналіз отриманих експериментальних даних і побудованих залежностей (рис. 3.1, 3.2) показав, що при різних рівнях введення бентоніту (1 %, 2 %, 3 %, 4 %) найкращі технологічні показники гранулювання досягаються за його вмісту на рівні 3 %. Саме така концентрація забезпечує оптимальне поєднання міцності гранул і стабільності технологічного процесу.

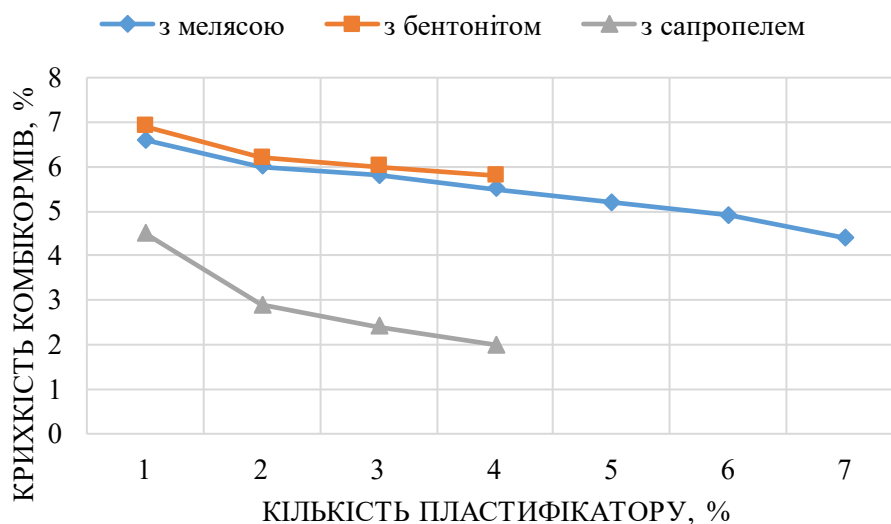


Рисунок 3.1 – Залежність крихкості гранул від кількості пластифікатора

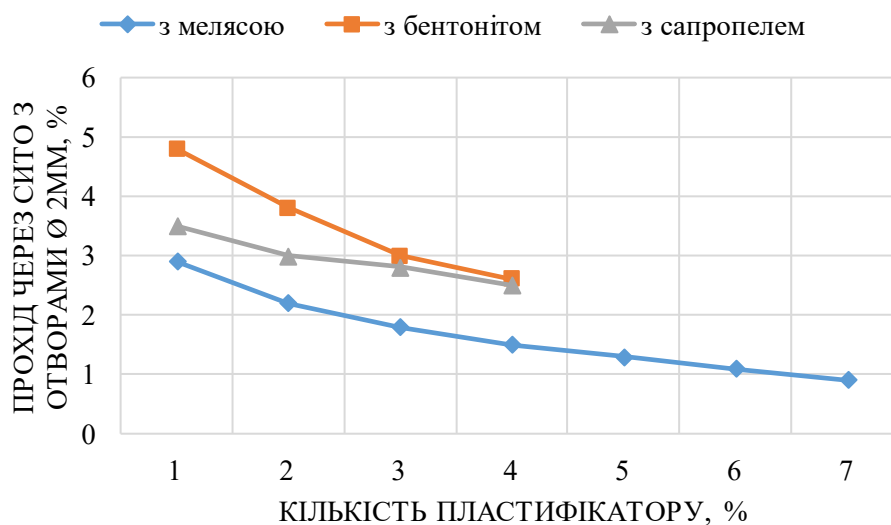


Рисунок 3.2 – Залежність кількості дрібної крихти гранул від кількості пластифікатора

Встановлено, що введення 3 % бентоніту сприяє покращенню якості гранул: крихкість зменшується з 7 до 5,9 %, а прохід через сито з отворами діаметром 2 мм – з 5 до 2,4 %. Одночасно підвищується продуктивність преса з 0,24 до 0,34 т/год і знижується енергоємність процесу з 22,0 до 15,7 кВт·год. Зростання продуктивності пояснюється покращенням сипучості матеріалу, що забезпечує рівномірніше подавання у зону пресування, а також збільшенням об'ємної маси комбікорму. Подальше підвищення частки бентоніту не дає суттєвого покращення якості гранул і майже не впливає на енерговитрати.

Гранулювання дослідних партій комбікормів для кроликів здійснювали за сталих параметрів: навантаження преса-гранулятора ДГ-1 становило 75 А, тиск пари – 0,20–0,22 МПа, зазор між валком і матрицею –  $4,0 \cdot 10^{-4}$  м, діаметр отворів матриці – 4,7 мм. Як альтернативний пластифікатор досліджували сапропель – природну комплексну речовину, що містить органічні (вуглеводи, білки, жири, гумінові сполуки) та мінеральні компоненти (мікро- і макроелементи, оксиди металів), а також вітаміни групи В, С, D, Е, Р, ферменти і біостимулятори. Його зв'язуючі властивості зумовлені вмістом вуглеводів, білкових і гумінових речовин. У дослідженнях кількість сапропелю варіювали в межах 1–4 % із кроком 1 %.

Застосування сапропелю як пластифікатора забезпечує суттєве покращення фізико-механічних показників гранул: їх крихкість зменшується з 4,5 % до 2,0 %. Водночас частка проходу через сито з отворами діаметром 2 мм також скорочується з 3,2 % до 2,4 %. За аналогією з бентонітом встановлено, що раціональним є введення сапропелю на рівні близько 3 %, що забезпечує оптимальне поєднання якості гранул і технологічної ефективності процесу.

Використання сапропелю не ускладнює виробничий процес комбікормів, оскільки його введення може здійснюватися на вже наявних технологічних лініях для мінеральної сировини. У разі надходження матеріалу в розсипному вигляді він дозується безпосередньо, а при використанні гранульованої форми подається на стадію попереднього дозування у складі зерноsumіші, де легко піддається подрібненню.

### 3.2 Вплив крупності компонентів та величини подачі продукту на ефективність процесу гранулювання

З метою оцінки впливу крупності компонентів на процес гранулювання проведено дослідження з використанням комбікормів, виготовлених із зернової сировини трьох ступенів подрібнення – крупного, середнього та дрібного. Досліди виконували як без введення сполучних речовин (контроль), так і з додаванням бентоніту в кількості 3 % і меляси 5 %. Дані щодо гранулометричного складу комбікормів різного ступеня подрібнення наведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Показники гранулометричного складу комбікормів

| Вид комбікорму | Залишок на ситі, Ø отв. мм, % |       |       |       |       |       | Модуль крупності | Вид помелу |
|----------------|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------|------------|
|                | 5                             | 3     | 2     | 1     | 0,45  | дно   |                  |            |
| Контроль       | –                             | 0,67  | 2,86  | 26,51 | 27,88 | 40,08 | 0,73             | дрібний    |
|                | –                             | 5,90  | 8,44  | 79,14 | –     | 6,52  | 1,64             | середній   |
|                | 3,20                          | 25,40 | 10,20 | 42,30 | –     | 18,90 | 2,01             | крупний    |
| Бентоніт 3 %   | –                             | 0,28  | 2,59  | 29,87 | 32,66 | 34,60 | 0,75             | дрібний    |
|                | –                             | 4,95  | 7,97  | 78,45 | –     | 8,63  | 1,59             | середній   |
|                | 4,40                          | 31,40 | 12,14 | 33,70 | –     | 18,36 | 2,19             | крупний    |
| Меляса 5 %     | –                             | 0,48  | 2,50  | 26,20 | 33,30 | 37,52 | 0,71             | дрібний    |
|                | –                             | 5,35  | 8,15  | 75,00 | –     | 12,50 | 1,58             | середній   |
|                | 2,90                          | 34,80 | 14,13 | 39,10 | –     | 9,07  | 2,33             | крупний    |

Гранулювання дослідних партій здійснювали на пресі-грануляторі типу ОГМ-08-А з використанням матриць із діаметром отворів 8 і 10 мм. У процесі формування гранул відбувається додаткове подрібнення частинок під впливом матриці та пресуючих роликів, що призводить до зменшення їх розмірів. Разом із тим, інтенсифікація цього процесу спричиняє підвищений знос матриці, збільшення енергоспоживання та зниження продуктивності обладнання.

У разі подачі на пресування тонко подрібненої сировини зменшуються непродуктивні енерговитрати, підвищується продуктивність преса, а також знижується знос матриці та роликів. Водночас надмірно дрібне подрібнення має негативні наслідки – під дією пари крохмалю інтенсивно клейстеризується, що ускладнює проходження маси через отвори матриці та може призводити до заклинювання і прослизання роликів. Аналіз експериментальних даних показав, що крупність розсипного комбікорму без додавання сполучних речовин незначною мірою впливає на об'ємну масу. При цьому зі збільшенням діаметра гранул до 10 мм спостерігається підвищення продуктивності преса, однак одночасно зростає крихкість гранул і кількість дрібної фракції.

Найкращі результати досягаються при гранулюванні комбікормів середнього та дрібного ступеня подрібнення, тоді як для крупного помелу, попри привабливий зовнішній вигляд, гранули характеризуються недостатньою міцністю. Додавання бентоніту (3 %) або меляси (5 %) сприяє підвищенню продуктивності обладнання та зниженню енерговитрат.

Загалом встановлено, що оптимальні техніко-економічні показники та належна якість гранул забезпечуються при використанні комбікорму середнього ступеня подрібнення з введенням зазначених сполучних компонентів. Зі збільшенням подачі продукту продуктивність преса зростає, а питомі витрати електроенергії зменшуються, однак це супроводжується погіршенням якості гранул, що необхідно враховувати при виборі режимів роботи.

У табл. 3.3 представлені результати досліджень впливу подачі продукту на процес гранулювання комбікормів для кроликів

Аналіз отриманих даних свідчить, що зі збільшенням подачі продукту на прес-гранулятор у всіх варіантах спостерігається закономірне зростання продуктивності обладнання та одночасне зниження питомих витрат електроенергії. Найбільш енергоємним є процес гранулювання без використання сполучних компонентів, де витрати енергії зменшуються з 25,3 до 19,4 кВт·год/т із підвищенням подачі.

Таблиця 3.3 – Вплив величини подачі продукту на процес гранулювання

| Показник                   | Комбікорм без бентоніту та меляси |       |       |       |       |
|----------------------------|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Подача, т/год              | 0,220                             | 0,238 | 0,257 | 0,285 | 0,290 |
| ККД                        | 0,950                             | 0,947 | 0,945 | 0,944 | 0,942 |
| Продуктивність, т/год      | 0,209                             | 0,225 | 0,242 | 0,269 | 0,273 |
| Витрати енергії, кВт·год/т | 25,3                              | 23,5  | 21,9  | 19,7  | 19,4  |
| Вологість до, %            | 13,2                              | 13,3  | 13,5  | 13,7  | 13,8  |
| Вологість після, %         | 12,8                              | 12,7  | 12,6  | 12,5  | 12,8  |
| Температура до, °С         | 76                                | 78    | 78    | 79    | 80    |
| Температура після, °С      | 71                                | 73    | 74    | 75    | 73    |
| Крихкість, %               | 4,3                               | 5,0   | 5,9   | 6,2   | 7,0   |
| Прохід через сито 2 мм, %  | 4,0                               | 4,3   | 4,6   | 5,2   | 5,8   |
|                            | Комбікорм з бентонітом 3 %        |       |       |       |       |
| Подача, т/год              | 0,341                             | 0,368 | 0,364 | 0,372 | 0,378 |
| ККД                        | 0,976                             | 0,971 | 0,970 | 0,968 | 0,965 |
| Продуктивність, т/год      | 0,332                             | 0,347 | 0,353 | 0,360 | 0,364 |
| Витрати енергії, кВт·год/т | 15,9                              | 15,3  | 15,0  | 14,7  | 14,6  |
| Вологість до, %            | 12,2                              | 12,7  | 12,9  | 13,2  | 13,5  |
| Вологість після, %         | 11,7                              | 11,6  | 11,4  | 12,7  | 12,9  |
| Температура до, °С         | 70                                | 70    | 72    | 74    | 75    |
| Температура після, °С      | 64                                | 63    | 66    | 68    | 70    |
| Крихкість, %               | 4,7                               | 5,0   | 5,6   | 5,8   | 6,0   |
| Прохід через сито 2 мм, %  | 3,9                               | 4,2   | 4,8   | 5,0   | 5,5   |
|                            | Комбікорм з мелясою 5 %           |       |       |       |       |
| Подача, т/год              | 0,377                             | 0,386 | 0,389 | 0,394 | 0,398 |
| ККД                        | 0,986                             | 0,977 | 0,976 | 0,971 | 0,969 |
| Продуктивність, т/год      | 0,371                             | 0,377 | 0,379 | 0,382 | 0,385 |
| Витрати енергії, кВт·год/т | 14,3                              | 14,0  | 13,9  | 13,8  | 13,7  |
| Вологість до, %            | 13,9                              | 14,2  | 14,4  | 14,3  | 14,5  |
| Вологість після, %         | 12,0                              | 13,4  | 13,7  | 13,8  | 14,0  |
| Температура до, °С         | 63                                | 64    | 66    | 69    | 69    |
| Температура після, °С      | 60                                | 62    | 64    | 65    | 66    |
| Крихкість, %               | 4,2                               | 4,8   | 5,0   | 5,3   | 5,7   |
| Прохід через сито 2 мм, %  | 3,7                               | 4,3   | 4,8   | 5,9   | 5,0   |

Водночас застосування бентоніту та особливо меляси дозволяє суттєво знизити енерговитрати до 14,6–13,7 кВт·год/т, що свідчить про покращення умов формування гранул і зниження опору пресуванню. Порівняння варіантів показує, що введення бентоніту (3 %) і меляси (5 %) позитивно впливає на продуктивність преса. У випадку використання меляси досягаються найвищі значення продуктивності (до 0,385 т/год), тоді як для бентоніту цей показник дещо нижчий, але стабільний. Крім того, спостерігається зниження температури процесу при використанні добавок, що може свідчити про більш сприятливий перебіг гранулювання та менше термічне навантаження на продукт.

Щодо якості гранул, зі збільшенням подачі продукту відбувається погіршення їх фізико-механічних властивостей – зростає крихкість і кількість дрібної фракції (прохід через сито 2 мм). Однак використання сполучних речовин дозволяє частково компенсувати цей негативний ефект: у варіантах із бентонітом і мелясою показники крихкості та проходу через сито є нижчими порівняно з контролем. Таким чином, оптимальний режим роботи преса має забезпечувати компроміс між високою продуктивністю та належною якістю гранул, що досягається при використанні зв'язувальних добавок і помірних значеннях подачі продукту.

### 3.3 Вплив витрати і тиску пари на процес гранулювання

Ключовими технологічними параметрами процесу гранулювання комбікормів є витрата та тиск пари, оскільки саме вони формують необхідні умови для ущільнення матеріалу та забезпечують його пластифікацію за рахунок підвищення вологості й температури. Враховуючи, що компоненти суміші мають різну початкову вологість, подача пари дозволяє вирівняти цей показник і створити однорідне середовище для ефективного пресування. При цьому особливо важливо забезпечити стабільність подачі пари, адже коливання тиску безпосередньо впливають на фізичні властивості матеріалу, що, у свою чергу, позначається на режимах роботи обладнання та якості готових гранул.

Експериментальні дослідження впливу витрати та тиску пари здійснювали за сталих умов навантаження і однакової крупності комбікормів: для контрольного варіанту (без добавок), а також із додаванням бентоніту (3 %) і меляси (5 %). Параметри процесу включали використання матриці з отворами діаметром 5 мм та зазором між валком і матрицею  $4 \cdot 10^{-4}$  м, при цьому тиск пари змінювали в межах 0,20–0,35 МПа. Отримані результати (рис. 3.3, 3.4), представлені графічно та в додаткових матеріалах, підтверджують суттєвий вплив цих факторів на перебіг процесу гранулювання.

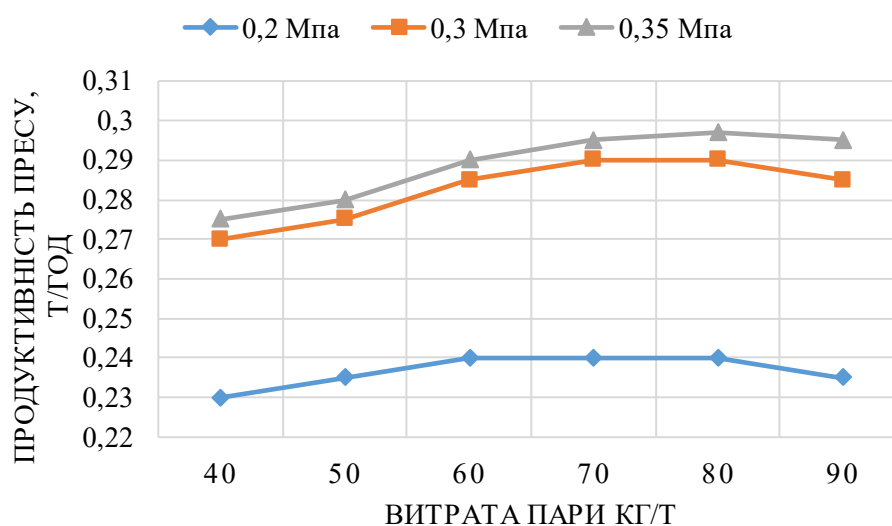


Рисунок 3.3 – Залежність продуктивності пресу від витрати пари

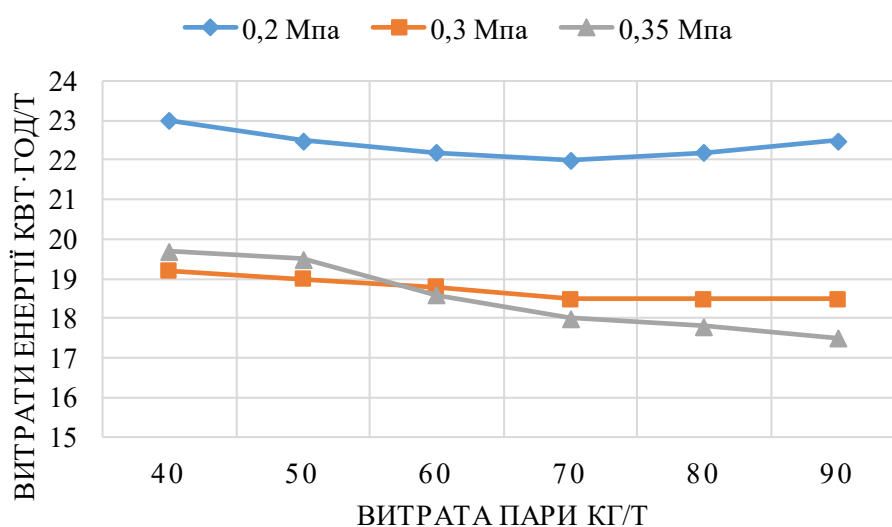


Рисунок 3.4 – Залежність витрати енергії від витрати пари

Встановлено, що зі збільшенням витрати пари від 40 до 90 кг/т і підвищенням тиску до 0,35 МПа спостерігається зростання продуктивності преса та одночасне зниження питомих енерговитрат. Водночас надмірне введення пари не сприяє подальшому підвищенню продуктивності, але може погіршувати якість гранул.

За підвищеного тиску (0,30–0,35 МПа) процес проходить більш енергоефективно порівняно з нижчими значеннями. Додавання бентоніту також позитивно впливає на показники процесу, підвищуючи продуктивність і знижуючи енерговитрати. Крім того, застосування меляси як пластифікатора сприяє зменшенню питомої витрати пари, що додатково оптимізує технологічний процес.

Із підвищенням витрати пари в межах 20–60 кг/т та тиску від 0,20 до 0,35 МПа спостерігається зростання продуктивності преса з 0,29 до 0,33 т/год. Одночасно покращуються якісні показники гранул, зокрема їх крихкість знижується з 6,3% до 5,9%. Це свідчить про покращення умов формування гранул завдяки підвищенню пластичності кормової маси.

Подальше збільшення витрати пари призводить до зниження продуктивності обладнання, що пояснюється надмірним зволоженням суміші.

За результатами проведених досліджень встановлено, що оптимальні параметри процесу залежать від складу комбікорму. Для сумішей із вмістом бентоніту 3% максимальна продуктивність преса та мінімальні енерговитрати досягаються при витраті пари 60–90 кг/т і тиску близько 0,30 МПа. У випадку використання меляси (5%) раціональними є менші витрати пари – 40–60 кг/т при тиску 0,30–0,35 МПа, при цьому отримані гранули відповідають встановленим вимогам якості.

#### Висновки по розділу.

Встановлено, що застосування пластифікаторів суттєво впливає на процес гранулювання комбікормів, забезпечуючи покращення фізико-механічних властивостей продукції. Найбільш ефективними виявилися бентоніт, меляса та сапропель, які використовувалися у межах 1–7 %, при цьому оптимальні значення становлять близько 3 % для бентоніту і сапропелю та 5 % для меляси.

Визначено, що введення меляси у кількості 1–7 % сприяє зниженню крихкості гранул з 6,3 % до 4,3 %, а також зменшенню проходу через сито діаметром 0,2 мм з 2,7 % до 1 %. Встановлено, що перевищення рівня 5 % призводить до підвищення липкості гранул, що погіршує їх зберігання та технологічні властивості.

Встановлено, що використання бентоніту у кількості 1–4 % дозволяє оптимізувати процес гранулювання, при цьому найкращі результати досягаються при 3 %. За таких умов крихкість гранул знижується з 7 % до 5,9 %, прохід через сито 2 мм – з 5 % до 2,4 %, продуктивність преса зростає з 0,24 до 0,34 т/год, а енерговитрати зменшуються з 22,0 до 15,7 кВт·год/т.

Визначено, що застосування сапропелю у кількості 1–4 % забезпечує зменшення крихкості гранул з 4,5 % до 2,0 %, а кількість дрібної фракції – з 3,2 % до 2,4 %. Встановлено, що оптимальна частка сапропелю становить близько 3 %, що забезпечує стабільність технологічного процесу без його ускладнення.

Встановлено, що крупність помелу суттєво впливає на ефективність гранулювання: найкращі результати досягаються при середньому та дрібному подрібненні. При цьому використання матриць з отворами 8 і 10 мм забезпечує продуктивність до 2,642 т/год, однак при збільшенні діаметра гранул зростає крихкість і кількість дрібної фракції.

Визначено, що збільшення подачі продукту на прес-гранулятор супроводжується підвищенням продуктивності до 0,385 т/год та зниженням енерговитрат з 25,3 до 13,7 кВт·год/т залежно від складу комбікорму. Водночас встановлено, що при цьому погіршуються якісні показники гранул, зокрема зростає їх крихкість і прохід через сито.

Встановлено, що витрата пари в межах 20–90 кг/т та тиск 0,20–0,35 МПа мають визначальний вплив на процес гранулювання. Оптимальні параметри становлять 60–90 кг/т і 0,30 МПа для комбікормів із бентонітом 3 % та 40–60 кг/т і 0,30–0,35 МПа для сумішей із мелясою 5 %, при цьому продуктивність преса досягає 0,33–0,39 т/год, а крихкість гранул знижується до 5,9 %.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ КОМБІКОРМІВ

### 4.1 Основні аспекти функціонування системи охорони праці на підприємстві

Основною метою заходів з охорони праці є запобігання виробничому травматизму та професійним захворюванням. «Реалізація таких заходів сприяє покращенню умов праці, що, у свою чергу, позитивно впливає на продуктивність і зменшує витрати, пов'язані з відновленням працездатності працівників» [46].

Питання безпеки праці мають враховуватися ще на етапах проєктування, будівництва, виготовлення та введення в експлуатацію обладнання й об'єктів. «Усі заходи з охорони праці спрямовані на захист працівників від впливу небезпечних і шкідливих факторів виробничого середовища, зокрема психофізіологічних навантажень, таких як розумове та сенсорне перенапруження, монотонність роботи й емоційна втома, що можуть призводити до зниження працездатності» [47].

Відповідальність за стан охорони праці в цеху покладається на начальника цеху. «Він організовує проведення первинного та періодичного інструктажів, веде відповідну документацію в журналі реєстрації, контролює дотримання вимог безпеки, планує профілактичні заходи, організовує навчання персоналу, а також перевіряє наявність інструкцій з охорони праці та укомплектованість аптечок першої допомоги» [47].

Під час працевлаштування на комбікормовий завод працівник обов'язково проходить вступний інструктаж з охорони праці, який проводить інженер із техніки безпеки. «Перед початком виконання безпосередніх обов'язків здійснюється первинний інструктаж на робочому місці, що виконує керівник робіт (майстер або начальник цеху)» [47]. У процесі цього навчання працівника ознайомлюють з обладнанням, безпечною організацією робочого місця та вимогами інструкцій з охорони праці.

У подальшому передбачено проведення повторного інструктажу з періодичністю один раз на 3 місяці для робіт підвищеної небезпеки та один раз на 6 місяців для інших видів робіт. «У випадках відсутності працівника понад 60 днів, зміни технологічного процесу або обладнання, а також після нещасних випадків

здійснюється позаплановий інструктаж» [47]. Для виконання разових або нестандартних робіт проводиться цільовий інструктаж із обов'язковим оформленням наряду-допуску та присутністю керівника робіт на початку їх виконання.

«Усі види інструктажів обов'язково фіксуються у спеціальних журналах обліку. Їх основною метою є ознайомлення працівників з умовами роботи, обладнанням і правилами безпечного виконання виробничих процесів, а також запобігання виникненню нещасних випадків на підприємстві» [47].

Основними небезпечними та шкідливими факторами у комбікормовому виробництві є підвищена запиленість повітря, наявність рухомих машин і механізмів, незахищені рухомі частини обладнання, а також підвищені рівні шуму та вібрації.

«Для забезпечення належних санітарно-гігієнічних умов праці на підприємстві застосовується аспіраційна система за принципом витяжної вентиляції. Забруднене повітря видаляється з виробничих приміщень через аспіраційне обладнання, проходить очищення в пиловідділювачах і виводиться в атмосферу» [46]. З метою зниження концентрації пилу додатково проводиться вологе прибирання. Приміщення з підвищеним рівнем шуму та вібрації ізолюються звукоізоляційними дверима, а перебування персоналу в таких зонах максимально обмежується.

«Основним шкідливим фактором на комбікормовому заводі є пил зернового, борошністого, а також рослинного і тваринного походження» [46]. Підвищені концентрації пилу понад гранично допустимі норми можуть спричиняти професійні захворювання працівників і створювати вибухонебезпечні умови.

«Контроль запиленості повітря забезпечується роботою аспіраційної та вентиляційної систем, параметри яких обов'язково розраховуються ще на етапі проектування підприємства» [47]. Джерелами утворення пилу є технологічне та транспортне обладнання, яке використовується для перевезення, очищення та подрібнення зернової сировини і продуктів її переробки. «Особлива увага приділяється герметичності обладнання та ефективності роботи аспіраційних

установок» [47]. Для запобігання викиду пилу через нещільності та надлишковий тиск у машинах застосовують аспіраційні системи, що створюють розрідження шляхом відсмоктування повітря. Як пиловідділювачі використовують фільтри-циклони та вентилятори.

## 4.2 Розробка картки охорони праці

Раціональна організація робочого місця є одним із ключових елементів забезпечення безпечних та ефективних умов праці. «Дотримання ергономічних вимог, правильне розміщення обладнання та інструментів, а також врахування антропометричних і психофізіологічних особливостей працівника дозволяє створити оптимальне робоче середовище» [47] (рис. 4.1). Це сприяє зниженню втомлюваності, підвищенню зручності виконання операцій та мінімізації ризику виробничих травм.



Рисунок 4.1 – Картка охорони праці

Дотримання вимог до організації робочого місця забезпечує безпечні умови праці, підвищує продуктивність та зменшує негативний вплив виробничих факторів на працівника. «Правильне планування простору, раціональне розміщення предметів і обладнання, а також урахування принципів ергономіки є важливими складовими профілактики професійних захворювань і виробничого травматизму» [47].

#### Висновки по розділу.

У розділі охорони праці встановлено, що виробнича діяльність на комбікормовому підприємстві супроводжується дією низки небезпечних і шкідливих факторів, серед яких основними є запиленість повітря, рухомі частини машин і механізмів, підвищений рівень шуму та вібрації. Особливу увагу приділено ризикам, пов'язаним із пилом зернового та борошністого походження, який за перевищення гранично допустимих концентрацій може негативно впливати на здоров'я працівників і створювати вибухонебезпечні умови.

Встановлено, що ефективна організація охорони праці базується на комплексному підході, який включає інструктажі працівників, контроль за дотриманням правил безпеки, раціональну організацію робочих місць та впровадження технічних і санітарно-гігієнічних заходів. Важливу роль відіграє також правильне планування робочого простору з урахуванням ергономічних вимог, що дозволяє зменшити втому та підвищити безпеку праці. Реалізація зазначених заходів забезпечує зниження виробничого травматизму, профілактику професійних захворювань і підвищення загальної ефективності виробничого процесу.

## 5 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 5.1 Розрахунок кошторису витрат на дослідження

«Витрати, пов'язані з проведенням дослідження, охоплюють кілька складових, серед яких витрати на матеріали, електроенергію, оплату праці залученого персоналу, амортизаційні відрахування обладнання та накладні витрати, необхідні для організації лабораторного процесу» [48].

Вартість використаних матеріалів обчислюється шляхом множення кількості кожного компонента на його одиничну ціну, що дозволяє визначити загальну суму витрат на сировину та допоміжні речовини, які застосовувалися під час експериментальної роботи. Цей підхід дає змогу точно оцінити економічну складову експерименту та планувати подальші витрати на аналогічні дослідження.

$$M = \sum m_i \cdot C_i, \quad (5.1)$$

де  $m_i$  – кількість витраченого  $i$ -го матеріалу;

$C_i$  – ціна одиниці  $i$ -го матеріалу, грн.

Результати розрахунків зводимо до табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Матеріали та їх вартість

| Найменування матеріалу, одиниці | Кількість | Ціна за одиницю, грн | Сума, грн |
|---------------------------------|-----------|----------------------|-----------|
| Овес, кг                        | 10        | 4,00                 | 40,00     |
| Кукурудза, кг                   | 10        | 5,50                 | 55,00     |
| Трав'яне борошно, кг            | 20        | 10,00                | 200,00    |
| Бентонітова глина, кг           | 1         | 200,00               | 200,00    |
| Меляса, кг                      | 1         | 110,00               | 110,00    |
| Премікс, кг                     | 5         | 55,00                | 275,00    |
| Сапропель, кг                   | 2         | 40,00                | 80,00     |
| Всього                          |           |                      | 960,00    |

Оплата праці персоналу розраховується шляхом множення середньо-годинної заробітної плати на фактичну кількість відпрацьованих годин, із врахуванням обов'язкових нарахувань єдиного соціального внеску. Деталі розрахунку наведено в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Витрати на заробітну плату

| Посада             | Середньо-місячний заробіток, грн | Середньо-годинний заробіток, грн | Кількість людино-годин | Сума, грн |
|--------------------|----------------------------------|----------------------------------|------------------------|-----------|
| Дипломний керівник | 12000                            | 75,00                            | 10                     | 750,00    |
| Всього             |                                  |                                  |                        | 750,00    |

Нарахування на заробітну плату виконавців дослідження становлять 22 % єдиного соціального внеску:

$$H = \frac{750 \cdot 22}{100} = 165,00 \text{ грн.}$$

Витрати на електроенергію визначаються за формулою (5.2), що «включає потужність обладнання, коефіцієнт його використання, фактичний час роботи та тариф на кВт·год, що дозволяє об'єктивно оцінити енергетичні витрати експерименту» [48].

$$E = M \cdot K \cdot T \cdot a , \quad (5.2)$$

де  $M$  – потужність встановленого обладнання, кВт;

$K$  – коефіцієнт використання потужності, ( $K=0,9$ );

$T$  – час роботи на обладнанні, год;

$a$  – тариф на електроенергію, грн/(кВт/год.).

$$E_{\text{дозат.}} = 2,0 \cdot 0,9 \cdot 24 \cdot 4,32 = 186,62 \text{ грн};$$

$$E_{\text{змішув.}} = 3,0 \cdot 0,9 \cdot 48 \cdot 4,32 = 559,87 \text{ грн};$$

$$E_{\text{гранул.}} = 55,0 \cdot 0,9 \cdot 10 \cdot 4,32 = 2138,40 \text{ грн.}$$

Отже загальні витрати на електроенергію становлять 2884,89 грн.

Амортизаційні витрати обладнання враховують його первісну вартість, річну норму амортизації та тривалість використання в рамках дослідження, що дає змогу розподілити витрати на обладнання пропорційно часу його задіяння (формула 5.3).

$$A = \frac{\Phi \cdot H \cdot t}{100 \cdot 365}, \quad (5.3)$$

де  $A$  – амортизаційні відрахування, грн.

$\Phi$  – вартість обладнання, грн.;

$H$  – річна норма амортизації, %;

$t$  – тривалість проведення дослідження на даному обладнанні, (місяців, днів).

$$A_{\text{дозат.}} = \frac{55000 \cdot 20 \cdot 1}{100 \cdot 365} = 30,14 \text{ грн};$$

$$A_{\text{змішув.}} = \frac{258000 \cdot 20 \cdot 2}{100 \cdot 365} = 282,74 \text{ грн};$$

$$A_{\text{гранул.}} = \frac{500000 \cdot 20 \cdot 1}{100 \cdot 365} = 273,97 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.3 – Витрати на амортизацію обладнання

| Устаткування | Вартість, грн | Річна норма амортизації, % | Час роботи, днів | Витрати на амортизацію, грн |
|--------------|---------------|----------------------------|------------------|-----------------------------|
| Дозатор      | 55000,00      | 20                         | 1                | 30,14                       |
| Змішувач     | 258000,00     | 20                         | 2                | 282,74                      |
| Гранулятор   | 500000,00     | 20                         | 1                | 273,97                      |
| Всього       |               |                            |                  | 586,85                      |

«Накладні витрати включають витрати на опалення, освітлення, вентиляцію лабораторних приміщень, діяльність навчально-допоміжного та адміністративного персоналу, а також інші господарські витрати, необхідні для підтримки робочого процесу» [48]. Вони розраховуються як певний відсоток від нарахованої заробітної плати учасників дослідження, що дозволяє комплексно оцінити економічну складову виконаного експерименту.

$$HB = \frac{750 \cdot 80}{100} = 600,00 \text{ грн.}$$

На основі цих розрахунків формується повний кошторис витрат (табл. 5.4), який забезпечує не лише прозору фінансову звітність. Такий підхід дозволяє «системно оцінити фінансову сторону дослідження, врахувати всі прямі та непрямі витрати, оптимізувати використання ресурсів та планувати подальші наукові роботи з урахуванням їх економічної ефективності, забезпечуючи повну прозорість витрат і можливість обґрунтувати бюджет наукового проекту» [48].

Таблиця 5.4 – Кошторис витрат на проведення дослідження

| Витрати                        | Сума, грн |
|--------------------------------|-----------|
| Основні матеріали              | 960,00    |
| Заробітна плата                | 750,00    |
| Нарахування на заробітну плату | 165,00    |
| Електроенергія                 | 2884,89   |
| Амортизація                    | 586,85    |
| Накладні витрати               | 600,00    |
| Всього                         | 6533,59   |

Аналіз даних показує, що найбільшу частку витрат під час проведення дослідження становить електроенергія – 2884,89 грн, що складає близько 44,2 % від загальної суми. Значну частку також займають основні матеріали – 960,00 грн,

або близько 14,7 %, що свідчить про суттєві витрати на сировинне забезпечення процесу. Витрати на оплату праці становлять 750,00 грн, а нарахування на заробітну плату – 165,00 грн, що разом складає близько 14,0 % від загальних витрат і характеризує помірний вплив трудових ресурсів. Амортизація обладнання становить 586,85 грн, або приблизно 9,0 % від загальної суми витрат, що відображає витрати, пов'язані з використанням технічних засобів.

## 5.2 Розрахунок ціни дослідження

Як вказано вище, загальна сума витрат на проведення дослідження становить 6533,59 грн, причому розподіл витрат показує, що пріоритетним у фінансовому плануванні є забезпечення матеріальної бази та електропостачання, тоді як інші статті витрат мають менший вплив на загальний бюджет. Але виникає необхідність у визначенні ціни дослідження з урахуванням нормативної рентабельності (формула 5.4).

$$Ц = C + \frac{P \cdot C}{100}, \quad (5.4)$$

де  $Ц$  – ціна дослідження, грн.;

$C$  – витрати на дослідження, грн.;

$P$  – нормативна рентабельність ( $P = 30\%$ ).

$$Ц = 6533,59 + \frac{30 \cdot 6533,59}{100} = 8493,67 \text{ грн.}$$

Отже, вартість проведеного дослідження становить 8493,67 грн.

### Висновки по розділу.

Аналіз показує, що основні витрати під час проведення дослідження становлять електроенергію – 2884,89 грн (44,2 % від загальної суми) та матеріали – 960,00 грн (14,7 %). Витрати на заробітну плату та нарахування складають 915,00 грн (14,0 %), а амортизація і накладні витрати – 1186,85 грн (18,2 %). Загальна вартість проведеного дослідження становить 8493,67 грн, при цьому найбільший фінансовий вплив мають матеріальні ресурси та енергопостачання.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Узагальнення аналізу свідчить, що розвиток комбікормового виробництва базується на впровадженні інтенсивних технологій годівлі, спрямованих на підвищення продуктивності тварин і раціональне використання кормових ресурсів. Визначальне значення має збалансованість раціонів за вмістом протеїну, клітковини, жирів, вуглеводів і мінеральних речовин, оскільки їх оптимальне співвідношення забезпечує нормальний ріст, відтворення та якість продукції. Найбільш перспективними є рослинні види тварин, здатні ефективно засвоювати рослинні корми, що дозволяє зменшити собівартість виробництва та підвищити економічну ефективність галузі.

Встановлено, що ключову роль у формуванні якості комбікормів відіграють технологічні процеси дозування та змішування, від яких залежить однорідність і стабільність кінцевого продукту. Найбільш ефективними є вагові дозатори та автоматизовані системи безперервного виробництва, що забезпечують високу точність і надійність процесів. Гранулювання комбікормів є важливим етапом, який підвищує їх щільність, збереженість і поживну цінність, покращує засвоюваність кормів і сприяє зростанню продуктивності тварин, а використання крупки та оптимізація енергозатрат додатково підвищують економічну ефективність виробництва.

Встановлено, що використання пластифікаторів (бентоніту, меляси та сапропелю) у кількості 1–7 % суттєво покращує процес гранулювання комбікормів. Найбільш ефективними є рівні введення близько 3 % для бентоніту і сапропелю та 5 % для меляси, при яких досягається зниження крихкості гранул з 7 % до 5,9 %, а також зменшення дрібної фракції з 5 % до 2,4 %. Для меляси додатково встановлено зниження крихкості з 6,3 % до 4,3 % і проходу через сито з 2,7 % до 1 %.

Визначено, що бентоніт у кількості 3 % забезпечує підвищення продуктивності преса з 0,24 до 0,34 т/год та зниження енерговитрат з 22,0 до 15,7 кВт·год/т. Аналогічно, сапропель у кількості близько 3 % забезпечує зменшення

крихкості гранул до 2,0 % та зниження дрібної фракції до 2,4 %, при цьому не ускладнюючи технологічний процес.

Встановлено, що крупність помелу суттєво впливає на ефективність гранулювання: найкращі показники досягаються при середньому та дрібному подрібненні сировини. При цьому продуктивність обладнання може досягати 2,642 т/год, однак зі збільшенням крупності зростає крихкість гранул і кількість дрібної фракції, що погіршує їх якість.

Визначено, що ключовим фактором оптимізації процесу є витрата та тиск пари в межах 20–90 кг/т і 0,20–0,35 МПа. Оптимальні режими становлять 60–90 кг/т і 0,30 МПа для комбікормів із бентонітом та 40–60 кг/т і 0,30–0,35 МПа для сумішей із мелясою, що забезпечує продуктивність до 0,39 т/год, зниження енерговитрат до 13,7 кВт·год/т і крихкість гранул до 5,9 %.

Встановлено, що виробнича діяльність на комбікормовому підприємстві супроводжується дією низки небезпечних і шкідливих факторів, серед яких основними є запиленість повітря, рухомі частини машин і механізмів, підвищений рівень шуму та вібрації. Важливу роль відіграє також правильне планування робочого простору з урахуванням ергономічних вимог, що дозволяє зменшити втому та підвищити безпеку праці. Реалізація заходів, зазначених в розробленій картці охорони праці, забезпечує зниження виробничого травматизму, профілактику професійних захворювань і підвищення загальної ефективності виробничого процесу.

Встановлено, що основні витрати під час проведення дослідження становлять електроенергію – 2884,89 грн (44,2 % від загальної суми) та матеріали – 960,00 грн (14,7 %). Витрати на заробітну плату та нарахування складають 915,00 грн (14,0 %), а амортизація і накладні витрати – 1186,85 грн (18,2 %). Загальна вартість проведеного дослідження становить 8493,67 грн, при цьому найбільший фінансовий вплив мають матеріальні ресурси та енергопостачання

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Єгоров Б. В., Воецька О. Є., Лапінська А. П. Сучасні тенденції виробництва комбікормів для свиней //Наукові праці [Одеської національної академії харчових технологій]. 2011. №. 40 (1). С. 76-80.
2. Салькова І. Ю. Інноваційне кормовиробництво—основа розвитку птахопродуктового підкомплексу //Економіка. Фінанси. Менеджмент: актуальні питання науки і практики. 2016. №. 7. С. 105-113.
3. Азарян О. М., Біленький О. Ю. Ретроспективний аналіз розвитку виробництва комбікормів в Україні //Економічні науки. Вісник Хмельницького національного університету. Хмельницький. 2009. №. 6. С. 3.
4. Єгоров Б. В. Нові напрямки удосконалення та розвитку комбікормових технологій //Зернові продукти і комбікорми. 2011. №. 2. С. 21-23.
5. Бомко В. С. Корми і кормові добавки та ефективність їх використання в годівлі тварин: навчальний посібник / В. С. Бомко, Є. В. Сиваченко, О. В. Сметаніна . Біла Церква, 2023. 225 с.
6. Кобернюк С.О., Розвиток інтеграційних процесів у свинарстві Ефективнаекономіка. 2013. No2. 4
7. Повод М. Г. Обґрунтування, розробка, практична реалізація існуючих та удосконалених технологій виробництва свинини: автореф. дис. ... д-ра с.-г.наук: 06.02.04. Миколаїв, 2015. 35 с.
8. Кулаковська Т. А. Огляд ринку комбікормової промисловості України / Т. А. Кулаковська, Е. В. Колесник // Економіка харчової промисловості. 2015. № 2. С. 25-30.
9. Салькова І.Ю. Тенденції розвитку птахопродуктового підкомплексу АПК України / І.Ю. Салькова // Агросвіт. 2015. № 19. С. 21-24.
10. Петриченко І.І. Стратегічні альтернативи розвитку ринку кормів України. Продуктивність агропромислового виробництва. економічні науки. 2014. № 26. С. 77–87

11. Калетнік Г.М. Ефективність використання альтернативних видів кормів у годівлі тварин / Г.М. Калетнік, О.В. Шутяк, О.К. Стасюк // Економіка АПК. 2009. № 10. С. 35–39

12. Салькова І. Ю. Пріоритетні напрямки розвитку птахопродуктового підкомплексу АПК України. Економіка. Фінанси. Менеджмент: актуальні питання науки і практики. – 2015. – № 4. – С. 35-42.

13. Оформлений список використаних джерел за ДСТУ 2015 (у випадковому порядку):

14. Norton T., Bjerg B., Banhaz T. Modelling of ammonia emissions from naturally ventilated livestock buildings. Part 1: Ammonia release modelling. – Biosystems Engineering. 2013. Vol. 116(3). P. 232–245. DOI:10.1016/j.biosystemseng.2013.08.001.

15. Шевченко І. А., Ляшенко О. О. Сучасні аспекти утилізації гною свиней. – Всеукраїнський журнал «Прибуткове свинарство». 2012. Вип. 5(11). С. 36–40.

16. Зайцева В. Г., Нестеренко О. В., Чернишенко Г. О., Самохвалова А. І. Вермикультура, її значення у вирішенні екологічних проблем та поліпшенні умов сільського господарства. – Науковий вісник будівництва. 2020. Т. 101, №3. С. 222–228. DOI:10.29295/2311-7257-2018-101-3-222-228.

17. Borowski S., Matusiak K., Powalowski S. A novel microbial-mineral preparation for the removal of offensive odors from poultry manure. – International Biodeterioration & Biodegradation. 2016. Vol. 119. DOI:10.1016/j.ibiod.2016.10.042.

18. Сусол Р. Виробництво органічної продукції свинарства: філософія та технології. Аграрний вісник Причорномор'я. №113. С. 36–49. URL: <https://abbsl.osau.edu.ua/index.php/visnuk/issue/view/30/29> (дата звернення: 27.04.2026).

19. Слободяник М. С., Чеботько К. О., Войтенко Л. В. та ін. Біоконверсія органічних відходів: теорія і практика. Ніжин: Видавець ПП Лисенко М. М., 2015. – 208 с.

20. Герман В. В. Екологічна безпека при виробництві тваринницької продукції. Агроекологічний журнал. 2009. №2. С. 5–8.

21. Andretta I., Hickmann F., Remus A. et al. Environmental Impacts of Pig and Poultry Production: Insights From a Systematic Review. – *Frontiers in Veterinary Science*. 2021. Vol. 8. DOI:10.3389/fvets.2021.750733.

22. Степченко Л. М. Фізіолого-біохімічні механізми дії гумінових речовин на організм сільськогосподарських тварин. У зб.: *Досягнення та перспективи застосування гумінових речовин у сільському господарстві*. Дніпро, 2017. С. 17–19.

23. Скляр О. Г., Скляр Р. В. Нові технології в проектуванні свинарських ферм і комплексів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2021. Вип. 10, т. 5. С. 169–179.

24. Переверзева А., Волков В., Бондар О. Органічна Європа: досвід для України. У зб.: *Органічне виробництво і продовольча безпека*. Житомир, 2022. С. 261–263.

25. Недосєков В. В., Блаха Т., Ситюк М. П., Мартинюк О. Г. Основи біобезпеки та благополуччя тварин. Ніжин, 2021. 252 с.

26. Тимощук О. М., Дударєв І. М. Огляд використання відходів переробних виробництв у сільському господарстві. *Сільськогосподарські машини*. 2020. Вип. 45. С. 104–110.

27. Волощук В. М., Смыслов С. Ю., Підтереба М. О. Сучасні підходи у визначенні технологічних параметрів та розробці нових об'ємно-планувальних рішень реконструкції свинарських приміщень. *Зернові культури*. 2019. Т. 3, №2. С. 369–376.

28. Hidalgo D., Corona F., Marroquin J. M. Manure biostabilization by effective microorganisms as a way to improve its agronomic value. – *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2022. Vol. 12(4). P. 4649–4664. DOI:10.1007/s13399-022-02428-x.

29. Чернишов І. В. Стан і потенціал розвитку органічного свинарства України. – *Вісник аграрної науки Причорномор'я*. 2016. Вип. 2, ч. 2. С. 149–154.

30. Шубравська О. В. Органічне свинарство в Україні. *Економіка і прогнозування*. 2017. №2. С. 116–128.

31. Ось виправлений список джерел за ДСТУ 2015 без тире:

32. Влізло В. В. та ін. Біохімічні основи нормування вітамінного живлення корів. 1. Жиророзчинні вітаміни. Біологія тварин. 2007. №1/2, т. 9. С. 25–42.

33. Войтович Н. Г., Вовк Я. С. Сучасний стан ринку комбікормів і преміксів та перспектива їх використання у годівлі високопродуктивних дійних корів. Наук. вісник ЛНУВМ та БТ імені С. З. Гжицького. 2009. Т. 11, №3 (42), ч. 2. С. 229–233.

34. Білаш Ю. П. Обмін ліпідів і жирних кислот у великої рогатої худоби за різного вмісту селену та вітаміну Е в раціоні: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 03.00.04. Львів, 2013. 18 с.

35. Федючка М., Молярчук П., Світельський М., Ревунець А. Вплив мінеральних добавок на ріст і розвиток молодняку ВРХ. Тваринництво України. 2010. №11. С. 32–34.

36. Біологічна роль вітаміну А і його застосування у тваринництві. Біологія тварин. 2000. Т. 2, №2. С. 22–23.

37. Воробель М. І., Вовк Я. С. Показники протеїнового обміну у вмісті рубця дійних корів за використання в раціонах вдосконаленої вітамінно-мінеральної добавки. У зб.: Актуальні проблеми агропромислового виробництва України. Львів-Оброшино, 2014. С. 12–14.

38. Кафльовська О., Бігун П. П. Використання преміксів у годівлі молочних корів. Збірник наукових праць ВНАУ. 2012. Вип. 3(61). С. 18–23.

39. Волторністий А. В., Сологуб Л. І., Герасимів М. Г. Вплив мінеральних елементів на деякі показники життєдіяльності мікроорганізмів рубця великої рогатої худоби. Біологія тварин. 2006. №1/2, т. 8. С. 222–226.

40. Власенко В. В., Фаріонік Т. В. Показники м'ясних якостей бугайців під впливом вітаміну Е і селену. Наук. вісник ЛНУВМ та БТ імені С. З. Гжицького. 2010. Т. 12, №3 (45), ч. 4. С. 133–137.

41. Кропивка Ю. Г., Бомко В. С. Ефективність використання преміксів на основі металохелатів у годівлі корів в перші 100 днів лактації. Науковий вісник ЛНУВМБ імені С. З. Гжицького. 2017. Т. 19, №79. С. 154–158.

42. Біохімічні основи нормування мінерального живлення великої рогатої худоби. 1. Макроелементи. Біологія тварин. 2006. №1/2, т. 8. С. 19–62.
43. Біохімічні основи нормування мінерального живлення великої рогатої худоби. 2. Мікроелементи. Біологія тварин. 2006. Т. 8, №1/2. С. 41–62.
44. Василевський М., Берестова Л., Єлецька Т. Кальцій і фосфор у раціонах. *The Ukrainian Farmer*. 2013. №7 (44). С. 122–123.
45. Вовк Я. С. та ін. Вплив білково-вітамінно-мінеральної добавки на обмінні процеси в організмі ремонтних теличок, їх ріст і розвиток у період вирощування. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 2008. Вип. 50, ч. 1. С. 57–66.
46. Правила організації і ведення технологічного процесу виробництва комбікормової продукції. К. ВПОЛ, 1998. 219 с
47. Основи охорони праці: підручник / В. Ц. Жидецький. 3-тє вид., перероб. і доп. Львів: УАД, 2008. 336 с.
48. Павленко О.С. Методичні рекомендації до виконання розділу «Організаційно-економічна частина» дипломної роботи для здобувачів вищої освіти за освітньо-професійною програмою «Харчові технології» зі спеціальності 181 «Харчові технології» денної та заочної форми навчання. Дніпро: ДДАЕУ. 2020. 40 с.