

Дніпровський державний аграрно-економічний університет
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра інжинірингу технічних систем

Пояснювальна записка
до дипломної роботи
освітнього ступеня «Магістр» на тему:
Удосконалення процесу виготовлення кормових гранул гвинтовим пресом

Виконав: студент 2 курсу, групи МГАІз-1-22
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Коновець Микола Андрійович

Керівник: _____ Алієв Ельчин Бахтияр огли

Рецензент: _____ Луц Павло Михайлович

Дніпро, 2024

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ
АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**
Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем
Освітній ступінь: «Магістр»
Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
ІТС

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Дудін В.Ю.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«26» грудня 2023 р.

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Коновцю Миколі Андрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Удосконалення процесу виготовлення кормових гранул гвинтовим пресом

керівник роботи Алієв Ельчин Бахтияр огли, д-р техн. наук, старший дослідник

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

«26» грудня 2023 року № 4084

2. Строк подання студентом роботи 12 лютого 2024 року

3. Вихідні дані до проекту Огляд стану питання в галузі механізації тваринництва, а саме кормоприготування. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Стан питання, мета та завдання досліджень. 2. Теоретичне дослідження робочого процесу прес-гранулятора 3. Програма і методика експериментальних досліджень. 4. Результати експериментальних досліджень. 5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. 6. Економічна ефективність преса для гранулювання кормових сумішей. Висновки. Список використаних джерел. Додатки

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Тема. Мета і задачі досліджень (2 аркуша, А4). 2. Аналіз адаптивних доільних апаратів (2 аркуша, А4). 3. Аналітичні дослідження (1 аркуш, А4). 4. Експериментальні дослідження (3 аркуша, А4). 5. Економічні показники (1 аркуш, А4). 6. Висновки (1 аркуш, А4)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-6	Алієв Е. Б., професор	26.12.2023	12.02.2024
Нормоконтроль	Івлєв В. В., доцент	26.12.2023	12.02.2024

7. Дата видачі завдання: 26 грудня 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний	26.12.2023-30.12.2023	виконано
2	Теоретичний	02.01.2024-15.01.2024	виконано
3	Експериментальний	16.01.2024-27.01.2024	виконано
4	Охорона праці	28.01.2024-01.02.2024	виконано
5	Економічний	01.02.2024-06.02.2024	виконано
6	Демонстраційна частина	06.02.2024-12.02.2024	виконано

Студент

_____ Коновець М. А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ Алієв Е. Б.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Коновець М. А. Удосконалення процесу виготовлення кормових гранул гвинтовим пресом. Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». ДДАЕУ, Дніпро, 2024.

У вступі міститься обґрунтування актуальності теми дипломної роботи, відображено її мета та задачі, наведено методи досліджень. Наведено вихідні дані щодо виду кормів і ефективність їх підготовки до годування тварин. Проведено аналіз способів ущільнення кормів і обладнання для гранулювання кормів сухим способом. У другому розділі наведені теоретичні дослідження робочого процесу прес-гранулятора. Представлено методику експериментальних досліджень прес-гранулятора. Проведено результати досліджень впливу конструктивно-режимних параметрів на процес пресування. Проведено аналіз умов праці при роботі з грануляторами. Проведена техніко-економічна оцінка розробки. Сформовані висновки і наведено перелік використаної літератури.

Ключові слова: корми, прес, гранулятор, гвинт, ефективність, конструкція, фактори досліджень, критерії оцінки, рівняння

ЗМІСТ

	Вступ	8
1	СТАН ПИТАННЯ, МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	9
	1.1 Види кормів і ефективність їх підготовки до годування тварин	9
	1.2 Аналіз способів ущільнення кормів	13
	1.3 Обладнання для гранулювання кормів сухим способом	15
	1.4 Сучасні гвинтові преси	19
	1.5 Висновки з розділу	21
	1.6 Мета і завдання досліджень	22
2	ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ПРЕС- ГРАНУЛЯТОРА	23
	2.1 Опис пристрої і робочого процесу прес- гранулятора	23
	2.2 Визначення сил, що діють на кормовий матеріал у багатоходовій частині гвинта	24
	2.3 Визначення продуктивності гвинтового преса	29
	2.4 Визначення потужності, що витрачається на роботу преса	30
	2.5 Висновки з розділу	31
3	ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	32
	3.1 Програма експериментальних досліджень.....	32
	3.2 Опис експериментальної установки	32
	3.3 Методика визначення фізико-механічних властивостей кормів	34
	3.4 Методика дослідження впливу конструктивно-режимних параметрів на процес пресування	36
4	РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	39
	4.1. Дослідження впливу конструктивно-режимних параметрів на процес пресування	39
	4.2 Вплив складу вихідної суміші на процес пресування	42

4.3 Дослідження фізико-механічних властивостей гранульованих корми	43
4.4 Планування і результати багатofакторного експерименту	45
4.5 Висновки з розділу.....	50
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	51
5.1 Вимоги до охорони праці при обслуговуванні агрегатів для виготовлення гранул	51
5.2 Розміщення обладнання в приміщенні	54
5.3 Розрахунок штучного освітлення приміщення	55
5.4 Висновки з розділу	57
6 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРЕСА ДЛЯ ГРАНУЛЮВАННЯ КОРМОВИХ СУМІШЕЙ	58
ВИСНОВКИ	62
Бібліографія	64

ВСТУП

Обсяг виробництва продукції тваринництва тісно взаємопов'язаний із розвитком галузі рослинництва, що є основною кормовою базою для тварин. Для забезпечення зростання вітчизняного агропродовольчого сектора ключовим завданням є створення міцної кормової бази для тваринництва. Особливе місце в раціонах годівлі тварин приділяється повнораціонним кормосумішам, які є основним джерелом білків і вітамінів, особливо в зимовий період. Повнораціонні кормосуміші значно краще перетравлюються тваринами, ніж різні види кормів окремо і сприяють підвищенню продуктивності тварин на 10–14 %.

Однак розсипні кормосуміші мають ряд недоліків, основні з них: втрати від розпилення, гігроскопічність, сепарація компонентів при транспортуванні та роздачі, потреба у складських приміщеннях великої ємності. З метою усунення цих недоліків їх пресують у брикети або гранули.

Гранульовані кормосуміші більш однорідні, добре зберігають поживні речовини та вітаміни, зручніші при транспортуванні, легше піддаються механізованій роздачі. При згодовуванні тварин гранульованих кормів споживання сухої речовини збільшується на 20 %, а економія корму на одиницю приросту ваги становить 7–10 %. Вартість приготування гранул вище вартості заготівлі сіна, але можна порівняти з вартістю заготівлі сінажу. По виходу кормових одиниць з 1 га гранули наближаються до зеленої маси, тоді як сіно в 1,5–2 рази нижче за цим показником.

В даний час випускаються різні модифікації пресів для приготування гранул з розсипних кормосумішей, але вони мають велику енерго- та металомісткість і складні в обслуговуванні, що обмежує їх використання у малих та середніх господарствах. Тому розробка енергоощадного преса для гранулювання кормосумішей в даний час є дуже актуальним завданням.

1 СТАН ПИТАННЯ, МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Види кормів і ефективність їх підготовки до годування тварин

Корм є єдиним джерелом поживних речовин та енергії для нормального зростання, розвитку, відтворення та високої продуктивності тварин. Корми бувають рослинного та тваринного походження. Основними у раціонах тварин є рослинні корми. Корми тваринного походження включаються до раціонів не завжди або в менших кількостях. Вони є кормами, що підвищують біологічну цінність раціону. Рослинні корми поділяються на соковиті (трава, силос, коренеплоди), грубі (сіно, солома), концентровані (зернові злакові та бобові), та побічні продукти промисловості (рідкі: жом, мезга, барда, пивна дробина та сухі: висівки, шроти, макухи). До концентрованих кормів також відносять сухі технічні відходи та висушені залишки крохмального, цукробурякового та бродильного виробництва. Комбіновані корми в жодну з груп віднести не можна. Вони являють собою суміші різноманітних сухих кормів, приготованих за певними рецептами для згодовування тварин різного виду, віку та продуктивності. Крім вищезгаданого до кормів відносяться різні мінеральні та органічні добавки, вітаміни, премікси і так далі [1, 2].

Корм для тварин і птиці повинен бути поживним, смачним, чистим, легко перетравлюватися і добре засвоюватися, не містити в собі домішок та речовин, що шкідливі для здоров'я та несприятливо впливають на якість тваринницької продукції. Цим вимогам задовольняє лише незначна частина кормів, що згодовуються у природному вигляді. Організм тварини переробляє в продукцію лише 20–25 % енергії корму. Приблизно 30–35 % енергії витрачається на фізіологічні потреби, а решта у незасвоєному вигляді виділяється з відходами [3].

Завдання приготування кормів до згодовування полягає в тому, щоб зменшити втрати енергії корму шляхом підвищення його поживної цінності, поїдання, перетравності та засвоєння тварин.

В умовах фермерського тваринництва, що розвивається, важливо не тільки

задовольнити потреби тварин у поживних речовинах, а й підібрати правильне співвідношення цих речовин, а також передбачити вміст у кормах вітамінів, макро- і мікроелементів, ферментів та інших біологічно активних речовин. У зв'язку з цим основним напрямом кормоприготування на найближчу перспективу слід вважати виробництво повноцінної кормової суміші із різних компонентів безпосередньо на тваринницьких фермах. При цьому значно скорочуються витрати на транспортування кормів та собівартість кормових сумішей.

Кормосуміші охочіше та повніше поїдаються тваринами, ніж різні корми окремо. Використання їх у годівлі тварин найповніше відповідає фізіологічним потребам тварин, підвищує продуктивність на 10–14 % та сприяє поліпшенню травлення. Витрата корму на одиницю продукції при цьому знижується на 15–20 %, що дозволяє заощаджувати зерно та комбікорми. Крім того, різні компоненти сумішей доповнюють один одним поживними речовинами і для їхньої роздачі можна використовувати одну уніфіковану машину [4].

Залежно від стану кормової бази та типу годівлі тварин, у господарствах застосовують різні корми та повноцінні кормові суміші. Найбільшого поширення набула годування змішаними кормами різної консистенції. При цьому можна виділити чотири основні види кормових сумішей, що застосовуються для годування тварин і птиці: сухі (вологість 13–16 %), напіввологі (35–50 %), вологі (65–75 %) та рідкі корми (понад 80 %).

Сухі кормові суміші включають комбікорми та кормові суміші (розсипні, гранульовані або брикетовані).

Гранульовані комбікорми мають цілу низку переваг у порівнянні з розсипними. Вони більш однорідні, добре зберігаються, зручніші при транспортуванні, легше піддаються механізованій роздачі. При згодовуванні тварин гранульованих кормів економія корму на одиницю приросту ваги становить 7–10 % [5].

За складом та призначенням комбікорму поділяються на повнораціонні, комбікорми-концентрати та балансові добавки.

Повнораційні комбікорми містять у своєму складі у певному

співвідношенні всі необхідні поживні речовини, які задовольняють фізіологічну потребу тварини, високий рівень обміну речовин та продуктивності. Згодовують повнораційні комбікорми без додавання інших видів кормів.

Комбікорми-концентрати призначені для заповнення нестачі окремих поживних речовин основної частини раціону. Згодовують такі комбікорми у складі кормових раціонів на додаток до грубих, соковитих та інших місцевих кормів [6].

Балансові добавки, до яких відносять білкові, білково-мінеральні, білково-вітамінно-мінеральні концентрати, є сумішшю кормів з високим вмістом протеїну, мінеральних речовин і вітамінів. Балансові добавки призначені для виробництва комбікормів безпосередньо у господарствах, на основі власного зернофуражу. Білково-вітамінні або білково-вітамінно-мінеральні добавки вводять до складу зернової суміші в кількості 10–30 % залежно від потреби тварин у протеїні та вмісту його у наборі зернових компонентів. Як добавки використовують премікси, що містять вітаміни, мінеральні солі, мікроелементи, антибіотики, терапевтичні засоби. Премікси додають у кількості 0,5–1 кг на 1 т комбікорму [7].

Кормові суміші готують за різними технологічними схемами. Найбільшого поширення набула схема, що включає такі технологічні операції: прийом та зберігання сировини – очищення сировини від домішок – подрібнення – дозування – змішування – гранулювання (брикетування) – зберігання та відпустка. Залежно від потреби, до схеми можуть бути включені сушіння, осолодження, дріжджування та інші операції.

Напіввологі кормові суміші застосовують при сінажному типі годівлі, коли сінаж змішують з комбікормами, плющеним зерном, подрібненою соломою та різними добавками. Вологі кормові суміші готують під час годування тварин силосом, сінажем, коренеплодами, жомом, патокою. У суміш додають поживні розчини добавки, подрібнену солому та ін. Технологічна схема приготування вологих кормових сумішей і набір обладнання аналогічні використовуваним при підготовці напіввологих сумішей.

Рідкі (текучі) кормові суміші готують із комбікорму, води, побратиму, молока, рідких жирів, кормових вітамінних добавок та інших компонентів для згодовування (випаювання) молодняку великої рогатої худоби та свиням [8].

Розсипні кормосуміші мають ряд недоліків, основні з них: втрати від розпилення, гігроскопічність, сепарація компонентів при транспортуванні та роздачі, потреба у складських приміщеннях великої ємності. З метою усунення цих недоліків їх пресують гранули або брикети. Процес вимагає додаткових витрат і призводить до підвищення вартості кормів, проте, підвищення засвоюваності кормів в результаті їх пресування, скорочення витрат праці на роздачу, зменшення кількості складських приміщень зумовлюють помітний економічний ефект [8].

Виробництво стандартних кормів як гранул і брикетів дозволяє як механізувати весь процес приготування корму від скошування до зберігання, а й майже повністю автоматизувати приготування і роздачу корму. Велика перевага способу полягає в тому, що він забезпечує більш продуктивну експлуатацію ємності для перевезення та зберігання кормів (їх можна перевозити та зберігати насипом без тари), скорочує їх втрати, створює кращі умови для згодовування.

Щоб більш ефективно використовувати сіно та соломку, можна змішувати їх з концентратами та отримувати брикети, що, як показує досвід, сприяє поїданню тваринами грубих кормів на 20–25 % більше, ніж сіна з тюків. Пресування сіна в брикети в суміші з сечовиною майже в 2 рази збільшує кількість азоту, що засвоюється, що замінює в кормовому раціоні дорогі добавки і зменшує споживання концентратів. Зрештою, при брикетуванні створюється можливість ввести в корм необхідні білково-мінеральні та білково-вітамінні добавки, антибіотики та інші кормові інгредієнти, які забезпечують повноцінність раціонів.

Повноцінні солом'яно-концентратні гранули, як показав досвід сибірських господарств, мають переваги перед іншими видами кормів, у тому числі: розтягнутий термін збирання зернофуражних та зернобобових культур, повніше використання врожаю, краща схоронність та однорідність складу (гранули не

розсипаються, не сортуються під час транспортування)), що унеможлиблює вибіркове поїдання компонентів корму. Крім того, скорочуються втрати при згодовуванні, транспортуванні, роздачі [9].

Гранульований або брикетований корм може замінити весь набір різноманітних кормів (сіно, солону, сінаж, коренеплоди, мінерально- вітамінні добавки та концентрати) у раціонах тварин, особливо жуйних, повністю використовувати всі відходи полівництва, овочівництва та садівництва [10].

Гранульовані та брикетовані корми можуть бути використані як повнораціонні кормові суміші або добавки до основного раціону тварин для заповнення елементів живлення, що відсутні.

Аналіз наявних експериментальних та виробничих даних свідчить про те, що за основними зоотехнічними показниками (поїдання, продуктивність тварин, витрати кормів та поживних речовин на одиницю продукції та ін.) гранульовані та брикетовані корми не поступаються традиційним кормам (сіно, силос, сінаж). Однак ефективність їх значною мірою залежить від якості вихідної сировини, фізико-хімічних властивостей брикетів та гранул, збалансованості раціону за основними поживними речовинами. У зв'язку з цим для гранулювання та брикетування необхідно використовувати високоякісну сировину, включати макро- та мікроелементи та інші відсутні біологічно активні та поживні речовини, створюючи таким чином повноцінну кормову суміш [11].

У зв'язку з цим завданням подальшого дослідження є аналіз існуючих засобів механізації для вибору найбільш раціональної схеми преси для отримання пресованих кормів.

1.2 Аналіз способів ущільнення кормів

Для поліпшення транспортабельності, зниження вартості перевезень, більш економічного використання складських приміщень та тари, а також забезпечення кращої безпеки поживних речовин і вітамінів корми ущільнюються.

Ущільнення кормів здійснюють наступними способами: стиском,

скручуванням, віброутряскою, екструзією, скочуванням.

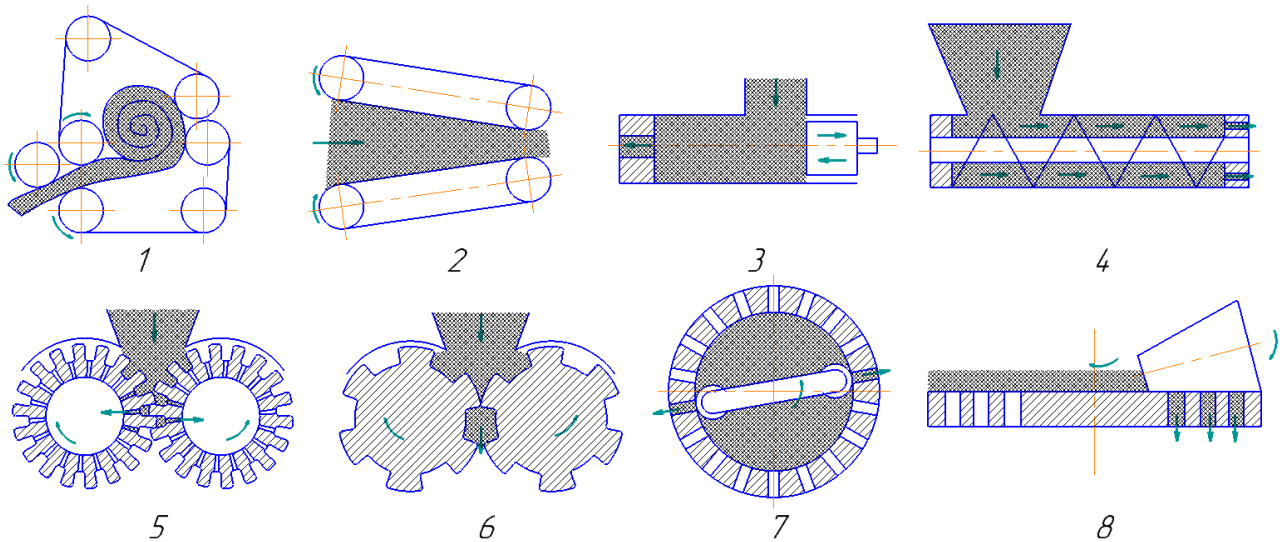
Процес ущільнення шляхом стиснення в закритій камері у техніці зазвичай отримує назву пресування. В залежності від необхідної щільності моноліту, отриманого в результаті пресування стеблових кормів, можуть утворюватися тюки (щільність 120–160 кг/м³), які потребують обв'язування, або брикети (щільність 600–900 кг/м³), що зберігають свою форму без обв'язування. У випадку пресування комбикормів або трав'яного борошна можуть формуватися гранули (щільність 1200–1300 кг/м³). Щільність пухкого сухого сіна становить 40–50 кг/м³.

Крім того, способи пресування розрізняють залежно від значень прикладеного тиску: пресування без сполучних добавок при малих тисках (15–20 МПа); пресування без сполучних добавок при високих тисках (30–35 МПа); пресування з присадкою сполучних речовин за малих тисків (5–10 МПа).

Найбільш досконалими способами пресування є брикетування та гранулювання, що дозволяють отримати найбільш високий рівень ущільнення. Аналіз конструкцій робочих органів пресуючих машин дозволяє поділити їх на сім основних груп (рис. 1.1). Для брикетування і гранулювання кормів найбільш широко використовуються матричні 7, 8, 9 і штемпельні 3 преси, а для виробництва амідно-концентратних добавок – екструдери 10.

На даний час ще немає суворих обґрунтувань термінів – гранула і брикети. Кормовими гранулами називають вироби, отримані з розсипних або тістоподібних матеріалів шляхом пресування до щільності 900–1300 кг/м³ і мають невеликі розміри (0 від 5 до 14 мм при довжині, що дорівнює 1,5–2 діаметру). Насипна щільність гранульованих кормів становить 650–700 кг/м при вологості трохи більше 13 % [12].

Гранули з повнораційних кормових сумішей призначені для безпосереднього згодовування тварин або птиці. Гранулювання трав'яного або хвойного борошна проводиться з метою скорочення втрат каротину при тривалому зберіганні, зменшення потрібної місткості складських приміщень та покращення умов транспортування.



1– рулонні; 2 – транспортерні; 3 – поршневі; 4 – гвинтові; 5 – шестерні;
6 – вальцьові; 7, 8 – матричні

Рисунок 1.1 – Типи робочих органів пресів

Кормовими брикетами називають вироби, отримані з повнораційних кормових сумішей або сухої січки стеблових кормів шляхом пресування їх до щільності 600–900 кг/м³.

Брикети призначені для безпосереднього згодовування їх жуйною твариною без додаткового подрібнення. Типові склади раціонів брикетованих кормів розробляються науково -дослідними інститутами та лабораторіями та включають суху січку з трав, подрібнену солому, концентрати, білкові добавки, мікроелементи, мінеральні та інші добавки. В окремому випадку брикети можуть бути приготовлені шляхом високотемпературного сушіння свіжоскошених і подрібнених рослин кукурудзи, прибраної разом з качаном у фазі молочної стиглості, без додаткових добавок (монокорм) [13].

1.3 Обладнання для гранулювання кормів сухим способом

Цей спосіб, порівняно з вологим пресуванням, має значні переваги: не потрібно сушка гранул; у гранулах зберігаються всі поживні речовини, вітаміни, та антибіотики при більш простій технології обладнання може мати високу

продуктивність. Нині є гранулятори продуктивністю до 10–15 т/год.

Залежно від типу робочих органів преси-гранулятори можна класифікувати як наступні: формуючі, де утворення монолітів відбувається в закритій камері (такі, як поршневі або штемпельні); прокочувальні (вальцові); видавлювальні (екструзійного типу), де формування монолітів відбувається у відкритому каналі (вальцові з кільцевою або плоскою матрицею, або за допомогою решітки протитиску, такі як гвинтові або екструдери). Класифікацію пресів для гранулювання кормів сухим способом представлено на рис. 1.2.

Прес-гранулятори матричного типу (див. рисунок 1.3) отримали найширше поширення в виробництві гранульованого комбікорму. Це через їхню простоту у ремонті та обслуговуванні, невелику вагу і компактні розміри, що часто дозволяє зробити їх пересувними, і застосовувати для ведення домашнього чи фермерського господарства, а також в малотоннажному виробництві.

Незважаючи на спільність законів ущільнення кормів та єдину конструктивну схему, брикетувальні преси становлять самостійну групу машин, що відрізняється від пресів-грануляторів.

Ці розбіжності виникають через різноманітні властивості кормів, які піддають ущільненню, широкий спектр їхніх видів і відмінності в вимогах до кормових брикетів і гранул. Особливо важливо враховувати необхідність виготовлення брикетів різної щільності, що призводить до розробки систем з регульованими каналами пресування, де може змінюватись площа поперечного перерізу чи довжина каналу. Брикети, призначені для великої рогатої худоби із включенням грубих кормів, мають розміри, значно перевищують габарити гранул. Матриці брикетних пресів також мають великі розміри і є нерухомими (будь то вертикальні чи горизонтальні), при цьому активним робочим органом є блок вальців, який виконує функцію пресування, обладнаний водієм. Проте існують інші конструкції брикетувальних пресів, які ми розглянемо.

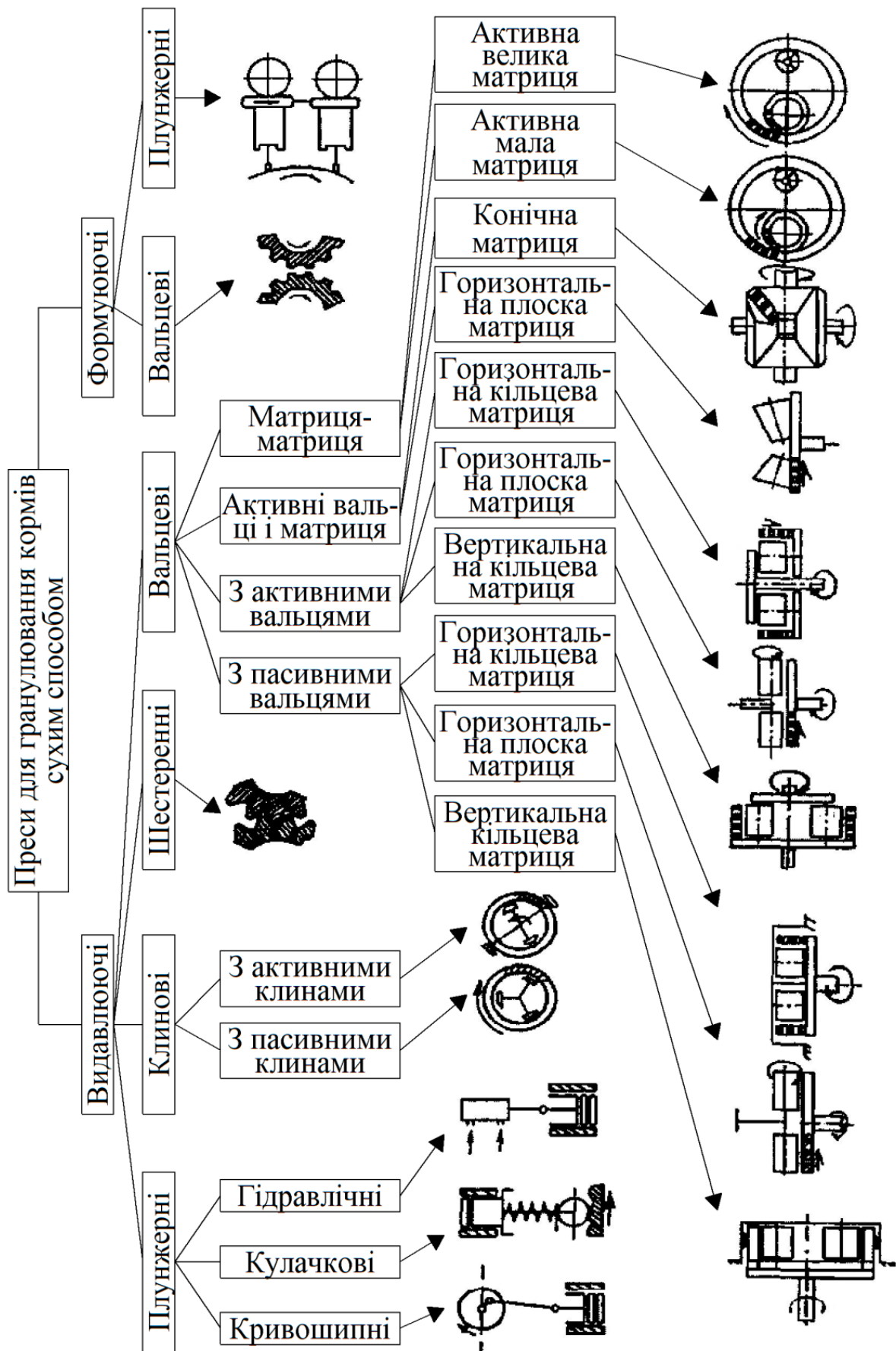


Рисунок 1.2 – Класифікація пресів для гранулювання кормів сухим способом



матричного типу



ГВИНТОВОГО ТИПУ

Рисунок 1.3 – Прес-гранулятори кормів

У країнах Європи та Америки брикетування кормів розвивається за трьома напрямками:

- виробництво брикетів у польових умовах із трав природного сушіння за допомогою причіпних та самохідних машин;
- одержання таких же брикетів з використанням стаціонарних пересувних установок та сушильно-брикетувальних агрегатів;
- приготування брикетів на комплексних стаціонарних технологічних лініях.

Перший напрямок прийнято переважно США. Однак брикетування трав природного сушіння в польових умовах має низку істотних недоліків. Основні з них – залежність від погодних умов; необхідність сушіння трав до вологості 10–12 %, що різко обмежує зону застосування цієї технології, а також зниження поживної цінності. Тому пересувні брикетні преси в країнах Європи популярністю не користуються.

Подальший крок індустріалізації кормовиробництва – отримання брикетів у польових умовах із трав штучного сушіння за допомогою сушильно-брикетувальних агрегатів. Така технологія поширена північному заході Європи.

Тривалість використання пересувних сушильно-брикетувальних агрегатів

протягом року значно більша, ніж брикетних прес-підбирачів, але все ж таки робота залишається сезонною і повнораційні брикети отримувати не вдається.

Для виробництва повнораційних брикетованих кормів доцільно використовувати стаціонарну установку. Вона працює цілий рік. У більшості країн Європи також розроблені стаціонарні брикетувальники та універсальні гранулятори-брикетувальники зі змінними матрицями. Преси французької фірми «Per million» мають нерухому матрицю і центральний диск, що обертається, підтримує пресуючі ролики. Прес-канали квадратного або прямокутного змінного перерізу для пресування матеріалу з нестабільними фізико-механічними властивостями. У разі зношування канали замінюють. Можливість зміни густини брикетів за допомогою гідромеханізмів під час роботи високо оцінюється фірмою. Внутрішній діаметр матриці 450–800 мм. Діаметр роликів (2 шт.) 200–380 мм.

У Чехословаччині розроблено універсальний гранулятор «Pardubice». Він оснащений набором конусоподібних матриць конусоподібними роликами. Це дозволяє обробляти як сипучі матеріали, так і дрібнокускові, а також велику січку, що неможливо при кільцевій матриці. Потужність двигуна 55 кВт. Продуктивність 1500 кг січки за год. Гранулятор комплектується гвинтом для нормалізації маси за температурою і вологістю, а технологічна лінія – колонкою, що охолоджує, з вібраційним сортувальним ситом.

Гранулятори подібного призначення випускають фірма «Кал» та підприємство «Fortshrit» (Німеччина). Але валики, що пресують, у них циліндричні і матриця плоска. У Німеччині створено також прес-гранулятор GM-802, призначений для отримання гранул із соломи та нездрібнених висушених стебел різних культур з відповідними добавками. Продуктивність при вологості соломи 50% та діаметрі гранул 13 мм становить 6 т/год [105].

1.4 Сучасні гвинтові преси

Турбоекструдер «Promex-03», що випускається, здатний обробляти корми

для сільськогосподарських тварин, птиці, риби, для кішок і собак, сухі компоненти кормів.

Екструдкування сировини відбувається при надмірному тиску до 60 атм (час знаходження продукту під максимальним – 3,5 с) та температурі від 90 до 180 °С. За такого короткого часу обробки білок не встигає коагулювати, зберігаються вітаміни та поживні властивості корму, одночасно знищуються бактерії, токсичні речовини. Під великим тиском відбувається частковий перехід крохмалю в сахарозу, складні хімічні сполуки розпадаються більш прості, легкозасвоювані.

Прес «ПЕ-1». Цей прес призначений для виробництва із суміші зерна, карбаміду та бентонітового порошку – карбамідного концентрату, що застосовується в тваринництві для годування жуйних тварин (корів, овець, свиней) з метою підвищення продуктивності, при нестачі білків у кормах, а також для економії кормів та виготовляється за індивідуальним замовленням. Прес складається з основи, гвинтової частини з регулятором-гранулятором, основного приводу, бункера з дозатором, корпусу та електроустаткування. Принцип дії: вихідний продукт, що є сумішшю дробленого зерна, карбаміду і бентонітового порошку, надходить у бункер із зовнішньої системи подачі. З бункера суміш транспортується у гвинтову частину машини. При русі гвинтоподібними каналами гвинтів, суміш піддається тепловій обробці під тиском, переміщується і видавлюється з преса. Розігрів суміші проводиться за рахунок внутрішнього тертя суміші та тертя суміші про гвинт та корпус. У умовах відбувається запарювання зерна, плавлення сечовини, впровадження розплавленої сечовини в крохмаль зерна і желатинізація крохмалю. Номінальна продуктивність, 200–500 кг/годину, потужність 56,1 кВт, частота обертання гвинта 350 хв, температура процесу отримання карбамідного концентрату 110–135 С, габаритні розміри 1620×1940×1560 мм, маса 1220 кг.

Прес ЛКМЗ-3 – це нова вискоєфективна установка, призначена для виробництва висадженого зерна (кукурудзи, гороху, ячменю та інших злаків), створена на Лозівському ковальсько-механічному заводі. У комплекті із

спеціальним набором змінних робочих органів забезпечує екструдування насіння сої. У регульованому волого- термічному режимі забезпечує необхідні теплові параметри для руйнування отруйних соєвих речовин. Готовий продукт (екструдат) має пористу структуру, приємний хлібний смак, запах і застосовується як високопродуктивна добавка при виробництві комбикормів тваринництві. Прес ефективно застосовується на комбикормових підприємствах, кормоцехах сільгосп підприємств, а також в індивідуальних та фермерських господарствах. Продуктивність 240–450 кг/год, потужність 55 кВт, габаритні розміри 1680×1630×1650 мм, маса 1200 кг.

Преси «BRONTO» широко застосовуються в комбикормової та харчової промисловості. Призначені для отримання високоякісних комбикормів для свиней, ВРХ та птахів із зерна пшениці, ячменю, кукурудзи, гороху, жита, бобів та сої. У пресі здійснюється видавлювання джгутів маси, що переробляється через формуючі фільтри. За рахунок високої температури (понад 110 °С) та зсувних зусиль відбуваються структурно-механічні та хімічні зміни. Потужність приводу 19, 37, 55, 90 кВт відповідно. Маса машин від 700 кг (Е-150) до 1400 кг (Е-1000). Габаритні розміри 2000×1550×1650 мм.

Аналізуючи даний матеріал, можна зробити висновок, що останнім часом гвинтові та матричні преси, завдяки безперервності робочого процесу набувають все більшого поширення у фермерських господарствах. Однак існуючі машини досить громіздкі та металомісткі. Слід також відзначити, що матричні преси мають меншу енергоємність, ніж гвинтові, але вимагають більш складної і дорогої підготовки кормового матеріалу до пресування: високотемператур вихідного матеріалу в крупку, а також ретельнішого кондиціонування.

1.5 Висновки з розділу

1. З огляду існуючих способів та технологій приготування пресованих кормів, а також машин, що застосовуються при їх здійсненні, видно, що найбільшого поширення набувають брикетування та гранулювання

повнораційних кормосумішей на гвинтових та матричних пресах. При цьому однією з основних операцій при підготовці корму до пресування є сушіння: природне, яке знижує кількість поживних речовин у кормі і розтягує терміни його приготування, або штучне, яке є енергоємною операцією.

2. Аналіз конструкцій існуючих пресів-грануляторів та його теорії показав, що протитиск, створюване перемичками матриці (фільери) знижує ККД преса і є причиною їхньої підвищеної енергоємності. Тому застосування таких машин не є раціональним, особливо в умовах малих господарств. Також велике тертя кормового матеріалу про формуючі канали. Отже, подальші дослідження мають бути спрямовані на створення прес-гранулятора з фільерою, що має максимальний коефіцієнт перфорації. Завдяки цьому збільшиться площа живого перерізу і, отже, зросте сила виштовхування монолітів із каналів, що збільшить продуктивність машини та підвищить ККД.

3. В якості робочої гіпотези передбачається: постачання гвинта багатозахідною нарізкою на вихідному кінці, що проходить через фільеру, для створення додаткової рушійної сили, що компенсує силу тертя пресованої маси формують канали, в результаті чого знизиться протитиск формуючої головки.

1.6 Мета та завдання досліджень

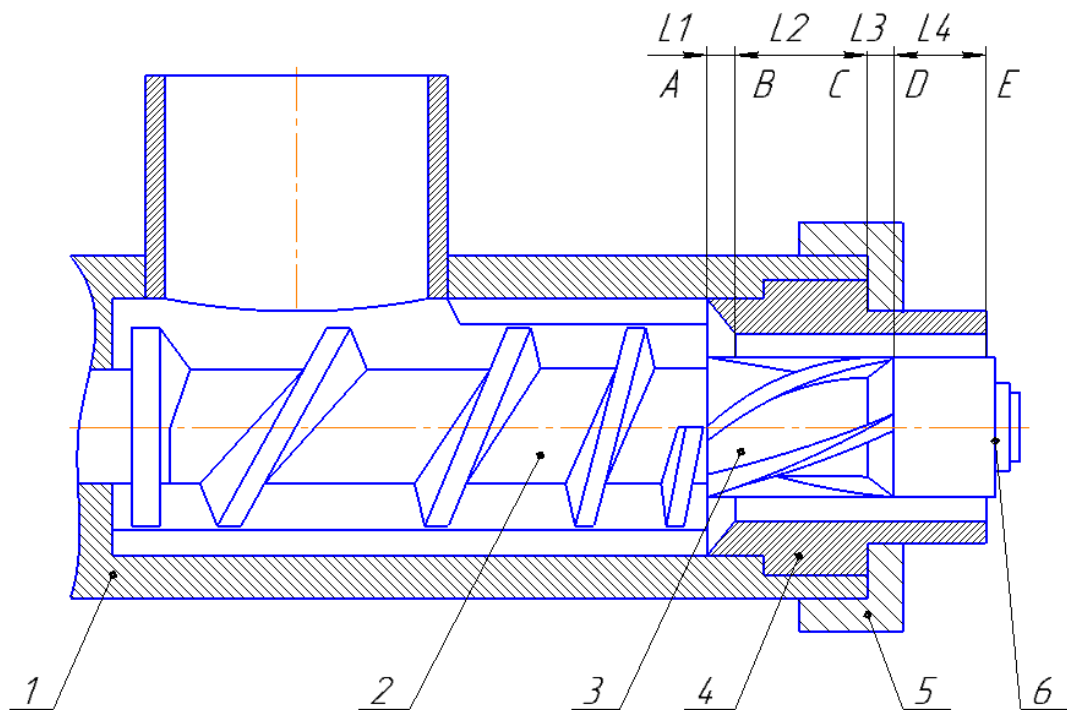
У зв'язку з цим, **метою** цих досліджень є удосконалення процесу пресування кормів гвинтовим пресом і зниження його енергоємності за рахунок створення формуючої голівки, що має знижений опір руху маси, що пресується. Звідси впливають такі **завдання**:

- розробити математичну модель формуючої голівки та вивести аналітичні залежності для визначення основних показників роботи преса, з даною голівкою;
- дослідити процес пресування кормів та експериментально визначити прийнятні конструктивно-режимні параметри преса;
- провести техніко-економічну оцінку ефективності застосування розробленого преса порівняно із вибраним серійним зразком.

2 ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ПРЕС-ГРАНУЛЯТОРА

2.1 Опис пристрої і робочого процесу прес-гранулятора

Виробництво гранульованих кормів на гвинтових пресах є енергоємним процесом. Головним чином це пов'язано зі значними силами опору руху пресованого кормового матеріалу (КМ). Для полегшення руху КМ, зниження енергоємності процесу та збільшення продуктивності необхідно створити додаткову рушійну силу у зоні найбільшого тиску. Для цього в конструкцію пресуючого гвинта введена багатозахідна частина 3 (БЧ) (рис. 2.1).



1 – корпус; 2 – гвинт; 3 – багатозахідна частина; 4 – фільтр; 5, 6 – гайка

Рисунок 2.1 – Схема преса-гранулятора

Сам прес складається з корпусу 1, на внутрішній поверхні якого є шліци, що перешкоджають обертанню пресованої маси разом зі гвинтом 2. Крім того, вони сприяють перетирання та подрібнення частинок КМ. На передньому кінці

вала швинта гайкою 6 закріплена змінна втулка 3 яка є багатозахідною частиною. Втулка має дві ділянки: з гвинтовими каналами, який, по суті, є дрібним багатозахідним швинтом і гладким, що служить для формування четвертої грані моноліту (решта трьох граней формуються тертям об стінки і дно паза фільєри). Перехід дна гвинтових каналів у гладку частину виконаний у вигляді конуса. Тут кормовий матеріал має додатковий стиск. Втулка обертається разом із гвинтом усередині циліндричної змінної фільєри 4, закріпленої в корпусі 1 гайкою 5. Фільєра на внутрішній поверхні має пази у вигляді шліців, в яких відбувається формування гранул.

Робочий процес протікає так: підготовлена кормова суміш з бункера подається в завантажувальну горловину, захоплюється швинтом і переміщається з одночасним ущільненням та стиранням. Далі вона надходить у фільєру, просуваючись в ній за рахунок тиску швинта і рушійної сили, багатозахідної частиною, що розвивається, додатково стискаючись і перетираючись. Тут розпочинається процес утворення монолітів. Остаточне формування відбувається в зоні гладкої ділянки втулки, після чого джгути корму виходять із пазів фільєри. Для обмеження довжини джгутів на валу гвинта після втулки може бути встановлений відсікач.

2.2 Визначення сил, що діють на кормовий матеріал у багатозахідній частині гвинта

Для того, щоб обчислити продуктивність гранулятора, його споживану потужність та інші параметри, необхідно визначити вплив яких сил піддається кормовий матеріал, що рухається у формуючій головці.

Виділимо в каналі пресування вільну точку та розглянемо сили, що діють на неї. В даному випадку точок буде дві, так як у формуючій головці мають місце два потоки: один у гвинтовому каналі (ГК) багатозахідної частини втулки гвинта (точка А рис. 2.2, а), інший в пазах на внутрішньої стінки фільєри (точка рис. 2.2, б), які потім з'єднуються на ділянці L3.

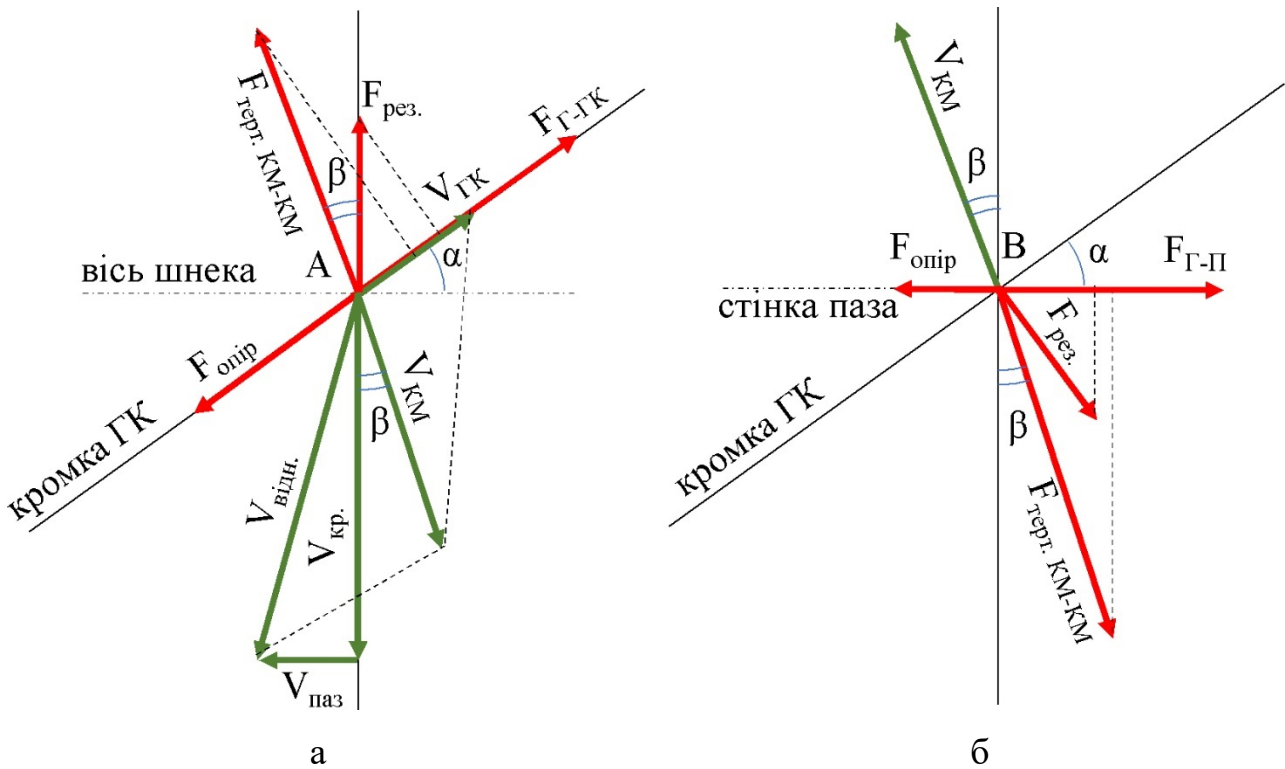


Рисунок 2.1 – Діаграма швидкостей і сил, що діють на точку КМ у кромки витка БЧ (а) та в пазу (б)

Руху обох шарів в осьовому напрямку сприяє сила тертя їх один про одного, що виникає при обертанні БЧ, а також напруга зсуву (зрізання зусилля) на межі кромки гвинтового каналу і паза. Їхні проекції на кромку гвинтового каналу (ГК) і на стінку паза створюють зусилля (рис. 2.2, а, б). Кут нахилу вектора сили тертя КМ в ГК про КМ в пазу β щодо площини обертання гвинта для даної точки визначатиметься його швидкістю по кромці ВК $v_{відн.}$ (рис. 2.2, а) і відносною швидкістю по КМ в пазу $v_{відн.}$. Тобто вектор тертя буде колінеарен з сумарним вектором відносної швидкості КМ в пазу $v_{відн.}$ і протилежний йому в напрямку. Кут нахилу вектора $v_{відн.}$ щодо вектора окружної швидкості $v_{кр.}$, у свою чергу, залежатиме від швидкості КМ в пазу $v_{паз}$ (в даному випадку приймаємо, що маса в пазу нерухома, а система рухається щодо неї). Щоб спростити завдання, припускаємо, що шар, що розглядається, рухається як моноліт, без переміщення внутрішніх частинок один щодо одного. Це дозволяє звести всі сили до однієї точки. На основі цього складемо систему рівнянь руху точок у шарах, що розглядаються. Значення кута β буде для них загальною умовою.

$$F_{PC\Gamma K} + F_{\Gamma-\Gamma K} = F_{\text{опір ВК}}, \quad (F_{PC\Pi} + F_{\Gamma-\Pi}) n = F_{\text{опір ВК}} n, \quad (2.1)$$

де $F_{PC\Gamma K}$, $F_{PC\Pi}$ – рушійна сила по кромці гвинтового каналу та пазу відповідно, Н; $F_{\Gamma-\Gamma K}$, $F_{\Gamma-\Pi}$ – сила тиску з боку гвинта на КМ у гвинтовому каналі та пазу, Н; $F_{\text{опір ВК}}$, $F_{\text{опір ВК}}$ – сили опору в ГК та пазу, Н; n – кількість пазів, що перекриваються одним гвинтовим каналом.

Розглянемо ці сили докладніше

$$F_{PC\Gamma K} = F_{\text{опір КМ-ШЛ}} \cos(90 - \alpha) + F_{\text{опір КМ-КМ}} \cos(90 - \alpha + \beta) + F_{\text{рез.}} \cos(90 - \alpha), \quad (2.2)$$

$$F_{PC\Pi} = (F_{\text{опір КМ-КМ}} \sin(\beta) + F_{\text{рез.}} \cos(90 - \alpha))/n, \quad (2.3)$$

де $F_{\text{опір КМ-ШЛ}}$ – сила тертя КМ про виступи шліців, Н; $F_{\text{опір КМ-КМ}}$ – сила тертя КМ у гвинтовому каналі про КМ у пазах, Н; $F_{\text{рез.}}$ – сила опору від зрізання волокон і частинок зерен у пластичній масі на межі кромки гвинтового каналу і кромки паза, Н (якщо кут між кромкою паза і ГК більше кута затискання, $F_{\text{рез.}}$ сприяє руху КМ).

Під $F_{\text{опір КМ-ШЛ}}$, $F_{\text{опір КМ-КМ}}$ і $F_{\text{рез.}}$ розуміються сили, що діють на КМ в ГК. Тому для КМ у пазу вони будуть у раз менше.

$$F_{\Gamma-\Gamma K} = P_{\Gamma} S_{\text{тор. ГК}} \cos(\alpha), \quad (2.4)$$

$$F_{\Gamma-\Pi} = P_{\Gamma} S_{\text{тор. П}}, \quad (2.5)$$

де P_{Γ} – тиск, що розвивається гвинтом, Па; $S_{\text{тор. ГК}}$, $S_{\text{тор. П}}$ – площі торцевих поверхонь кормової маси у гвинтовому каналі та пазу відповідно, м².

Сили опору руху КМ у гвинтовому каналі складаються із сил тертя КМ о дно $F'_{\text{опір ГМ}}$ та стінку каналу $F''_{\text{опір ГМ}}$, а також тиску упору, створюваного кормовим матеріалом, що знаходиться на наступній ділянці (якщо вирішувати систему рівнянь (2.1) для кожної ділянки окремо).

$$F_{\text{опір КМ}} = F''_{\text{опір ГМ}} + F'_{\text{опір ГМ}} + P_{\text{УПГК}} S_{\text{тор. ГК}} \quad (2.6)$$

Аналогічно для КМ, що знаходиться в пазу:

$$F_{\text{опір П}} = F''_{\text{опір П}} + F'_{\text{опір ГПМ}} + P_{\text{УПГК}} S_{\text{тор. П}} \quad (2.7)$$

За підсумками вище викладеного запишемо систему рівнянь (2.1) докладніше.

$$F_{\text{опір КМ-ШЛ}} \cos(90 - \alpha) + F_{\text{опір КМ-КМ}} \cos(90 - \alpha + \beta) + F_{\text{рез.}} \cos(90 - \alpha) +$$

$$\begin{aligned}
& + F_{\Gamma-\Gamma K} = 2 F''_{\text{опір ГМ}} + F'_{\text{опір ГМ}} + P_{\text{УП ГК}} S_{\text{тор. ГК}}, \\
& F_{\text{опір КМ-КМ}} \sin(\beta) + F_{\text{рез.}} \operatorname{tg}(\alpha) + F_{\Gamma-\Pi} n = \\
& = (2 F''_{\text{опір П}} + F'_{\text{опір ГПМ}} + P_{\text{УП ГК}} S_{\text{тор. П}}) n
\end{aligned} \tag{2.8}$$

Виразимо з другого рівняння системи (2.8) силу тертя КМ о КМ, яка є спільною для КМ у пазу та гвинтовому каналі, і підставимо її до першого:

$$\begin{aligned}
F_{\text{опір КМ-КМ}} & = (2 F''_{\text{опір П}} + F'_{\text{опір ГПМ}} + P_{\text{УП ГК}} S_{\text{тор. П}}) n - \\
& - F_{\text{рез.}} \operatorname{tg}(\alpha) - F_{\Gamma-\Pi} n) / \sin(\beta),
\end{aligned} \tag{2.9}$$

$$\begin{aligned}
& F_{\text{опір КМ-ШЛ}} \cos(90 - \alpha) + (2 F''_{\text{опір П}} + F'_{\text{опір ГПМ}} + P_{\text{УП ГК}} S_{\text{тор. П}}) n - \\
& - F_{\text{рез.}} \operatorname{tg}(\alpha) - F_{\Gamma-\Pi} n) \cos(90 - \alpha + \beta) / \sin(\beta) + F_{\text{рез.}} \cos(90 - \alpha) + F_{\Gamma-\Gamma K} = \\
& = 2 F''_{\text{опір П}} + F'_{\text{опір ГМ}} + P_{\text{УП ГК}} S_{\text{тор. П}}
\end{aligned} \tag{2.10}$$

Перенесемо члени, що містять β в ліву частину рівності:

$$\begin{aligned}
& ((2 F''_{\text{опір П}} + F'_{\text{опір ГПМ}} + P_{\text{УП ГК}} S_{\text{тор. П}}) n - F_{\text{рез.}} \operatorname{tg}(\alpha) - F_{\Gamma-\Pi} n) \cos(90 - \alpha + \beta) / \sin(\beta) = \\
& = 2 F''_{\text{опір ГМ}} + F'_{\text{опір ГМ}} + P_{\text{УП ГК}} S_{\text{тор. ГМ}} - F_{\text{опір КМ-ШЛ}} \cos(90 - \alpha) - \\
& - F_{\text{рез.}} \cos(90 - \alpha) - F_{\Gamma-\Pi},
\end{aligned} \tag{2.11}$$

$$\begin{aligned}
\cos(90 - \alpha + \beta) / \sin(\beta) & = (2 F''_{\text{опір ГМ}} + F'_{\text{опір ГМ}} + P_{\text{УП П}} S_{\text{тор. ГМ}} - F_{\text{опір КМ-ШЛ}} \cos(90 - \alpha) - \\
& - F_{\text{рез.}} \operatorname{tg}(\alpha) - F_{\Gamma-\Pi} n) - F_{\Gamma-\Pi} / ((2 F''_{\text{опір П}} + F'_{\text{опір ГПМ}} + P_{\text{УП ГК}} S_{\text{тор. П}}) n - \\
& - F_{\text{рез.}} \operatorname{tg}(\alpha) - F_{\Gamma-\Pi} n)
\end{aligned} \tag{2.11}$$

Позначимо праву частину рівності як t :

$$\cos(90 - \alpha + \beta) / \sin \beta = t. \tag{2.12}$$

І провівши перетворення, знайдемо β :

$$\operatorname{ctg} \beta = [t - \cos(90 - \alpha)] / \sin(90 - \alpha). \tag{2.13}$$

Потім, підставивши значення кута β рівняння (2.2) і (2.3) визначимо рушійні сили по кромці гвинтового каналу і паза.

Як ми бачимо, невідомими є величини сил тертя, крім того, вони є змінними величинами, що залежать від довжини формуючих каналів та їх геометричних параметрів, які на різних ділянках формуючої головки також не залишаються постійними. Тому для вирішення наведених вище рівнянь необхідно виявити закони зміни сил тертя в каналах пресування. А оскільки сили тертя залежать від тиску, зростання якого відбувається у напрямку від вихідного кінця фільтри до вхідного, то розглядати їх почнемо з останньої ділянки,

рухаючись уздовж осі гвинта.

Визначення сил тертя на четвертій ділянці. Тут кормовий матеріал рухається по прямому каналу, утвореному пазом і гладкою поверхнею багатозахідної втулки гвинта. На нього діють лише сила осевого тиску та сили тертя:

$$F_{L4} = \lim [q_0 f_{KM-M} [(\xi f_{KM-M} \Pi_{\Pi} dx / S_{\text{тор } \Pi} + 1)^{L4/dx} - 1] S_{\text{тор } \Pi} / (\xi f_{KM-M}) \quad (2.14)$$

де ξ – коефіцієнт бічного розпору; f_{KM-M} – коефіцієнт, тертя КМ про метал;

Звідси знайдемо тиск упору пазу на початку ділянки L4 (точка D рис. 2.1):

$$P_{\text{упD}} = F_{L4} / S_{\text{тор } \Pi} \quad (2.15)$$

Визначення сил тертя на третій ділянці. На ділянці L3 глибина гвинтового каналу зменшується до нуля та відбувається остаточне ущільнення кормового матеріалу. Варто уточнити, якщо гвинтовий канал нахилений до осі Oх під кутом α , він буде довше відрізка CD (L3):

$$P_{\text{упC}} = \int (q_{\text{сж}(x)} + q_D + F'_{\text{опір GK}L3} \cdot \sin\psi / S_{\text{тор GK}}) \text{tg}\psi \, dx + \\ + F'_{\text{опір GK}L3} \cos\psi + 2 F''_{\text{опір GK}L3} / S_{\text{тор GK}}, \quad (2.16)$$

де $S_{\text{тор GK}}$ – площа торця ВК від координати x ; ψ – кут конусності валу втулки (кут нахилу дна GK);

Наявність рушійної сили, що створюється гвинтовими каналами, зменшує тиск упору. З огляду на це визначимо фактичний протитиск, створюване формуючою головкою на початку даної ділянки.

Визначення сил тертя на другій ділянці. На відміну від першої ділянки, тут зміна сили тертя маси, що пресується відбувається за наявності тиску упору, викликаного кормовим матеріалом на ділянці L2:

$$F_{L2} = \lim [P_{\text{упCф}} [(\xi f_{KM-KM} \Pi_{\text{ГК}} dx / S_{\text{тор GK}} + 1)^{L2/dx} - 1] \xi u_{\text{Р GK}} K_{\text{СКМ-М}} f_{KM-M} dx \quad (2.17)$$

де $\Pi_{\text{ГК}}$ – периметр GK у площині перерізу перпендикулярної осі гвинта, м.

Визначення сил тертя на першій ділянці. Довжина цієї ділянки також не велика, тому тут, як і на ділянці L1, можна знехтувати зміною дотичного тиску і сил тертя від його довжини. Геометрія формуючої голівки тут дещо інша, ніж на третій ділянці. Форма гвинтових каналів залишається постійною, а дно пазів зроблено похилим для полегшення заходу КМ у фільтеру.

Визначимо тиск упору, що створюється кормовим матеріалом на початку ділянки L1:

$$P_{упА} = \int (q_{сж(x)} + q_B + F'_{опір ПЛ1} \cdot \sin\psi / S_{тор ПА}) \operatorname{tg}\psi \, dx + F'_{опір ГKL1} \cos\psi + 2 F''_{опір ПЛ1} / S_{тор ПА}, \quad (2.18)$$

де ψ – кут нахилу дна паза.

Крім кормового матеріалу на початку ділянки L1 тиск упору створюється торцевими поверхнями перемичок між пазами фільери, а також торцевими поверхнями гвинтових лопатей багатозахідної частини. Для його визначення знайдемо силу, що діє з боку гвинта на КМ і деталі головки, що формує на початку ділянки L1:

$$F_{ГА} = P_{Г} \cdot (z \cdot (S_{пер} + S_{торПА}) + m \cdot (S_{л} + S_{торГК})), \quad (2.19)$$

де $S_{пер}$, $S_{л}$ – площі поперечного перерізу перемичок між пазами та гвинтових лопатей, m^2 ; $P_{ш}$ – тиск, що розвивається гвинтом, Па.

2.3 Визначення продуктивності гвинтового преса

Продуктивність гвинтового преса залежить від продуктивності самого гвинта та пропускної спроможності фільери. Зниження продуктивності гвинта при цьому відбувається за рахунок витoku кормового матеріалу із зони високого тиску в зону завантаження через зазори між витками гвинта і стінкою корпусу, а також через провертання маси разом зі гвинтом.

У загальному вигляді продуктивність гвинтових пресів знаходиться за формулою:

$$Q = 3600 \cdot K_{\phi} \cdot K_{Г1} \cdot \omega \cdot \rho \cdot (K_{Г2} - K_{\phi}), \quad (2.20)$$

де K_{ϕ} – коефіцієнт геометрії формуючого органу; $K_{Г1}$ і $K_{Г2}$ – параметри геометрії гвинтового нагнітача, м; ω – частота обертання гвинта, c^{-1} ; ρ – густина кормового матеріалу, $кг/м^3$.

$$K_{Г1} = \pi \cdot D \cdot \cos\lambda \cdot B \cdot H / 2, \quad (2.21)$$

$$K_{Г2} = B \cdot H^3 / (12 \cdot L), \quad (2.22)$$

де λ – кут підйому гвинтової лінії гвинта; D – діаметр внутрішньої поверхні

корпусу, м; H – висота гвинтового каналу, м; B – ширина гвинтового каналу, м; L – довжина гвинтового каналу, м.

Оскільки протитиск, що створюється головкою, що формує, нам відомо.

$$K_{\phi} = K_{\Gamma 1} \cdot K_{\Gamma 2} \cdot \mu \cdot \omega / P_{\text{уп } \phi}, \quad (2.23)$$

Продуктивність формуючої головки визначиться за формулою

$$Q_{\phi} = K_{\phi} \cdot P_{\text{уп } \phi} / \mu, \quad (2.24)$$

Знаючи коефіцієнт геометрії формуючого органу, наведемо формулу до наших умов:

$$Q = 3600 \cdot (K_{\Gamma 1} \cdot K_{\Gamma 1} \cdot K_{\Gamma 2} \cdot \mu \cdot \omega / P_{\text{уп } \phi} - K_{\Gamma 2}) \cdot \omega \cdot \rho / (K_{\Gamma 2} + (K_{\Gamma 1} \cdot K_{\Gamma 1} \cdot K_{\Gamma 2} \cdot \mu \cdot \omega / P_{\text{уп } \phi} - K_{\Gamma 2})) \quad (2.25)$$

2.4 Визначення потужності, що витрачається на роботу преса

У загальному вигляді потужність, що витрачається на роботу преса, можна знайти за формулою:

$$N = N_{\text{xx}} + N_{\Gamma} + N_{\phi\Gamma}, \quad (2.26)$$

де N_{xx} – потужність, що споживається гранулятором на холостому ході, Вт; N_{Γ} – потужність, що витрачається на просування маси по гвинту, Вт; $N_{\phi\Gamma}$ – потужність витрачається на просування маси у формуючій головці, Вт;

$$N_{\phi\Gamma} = M_{\text{опір}\phi\Gamma} \cdot \omega, \quad (2.27)$$

де $M_{\text{опір}\phi\Gamma}$ – момент опору обертання втулки, Н·м; ω – частота обертання втулки, с^{-1} .

$$M_{\text{опір}\phi\Gamma} = M_{\text{опір}1} + M_{\text{опір}2} + M_{\text{опір}3} + M_{\text{опір}4}, \quad (2.28)$$

де $M_{\text{опір}1}$, $M_{\text{опір}2}$, $M_{\text{опір}3}$, $M_{\text{опір}4}$ – моменти опору, що виникають на ділянках $L1$, $L2$, $L3$ і $L4$ відповідно, Н·м.

Звідси момент опору перших трьох ділянок визначиться за такою формулою.

$$M_{\text{опір}} = (F_{\text{рез}} \cdot \cos\alpha + F_{\text{опір КМ-КМ}} \cdot \cos\beta + F_{\text{опір КМ-М}} \cdot \cos\beta_1 + F_{\text{опір КМ}} \cdot \cos\alpha), \quad (2.29)$$

де β_1 – кут нахилу вектора сили тертя КМ про виступи шліців щодо площини обертання гвинта.

На четвертій ділянці момент опору виникає лише через тертя поверхні втулки про кормовий матеріал, що знаходиться в пазах фільєри.

$$M_{\text{опір4}} = F_{\text{опір В}} \cdot \sin\gamma \cdot z \cdot R, \quad (2.30)$$

2.5 Висновки з розділу

1. У ході теоретичних досліджень робочого процесу гвинтового гранулятора було обґрунтовано конструкцію формуючої голівки преса.

2. Дослідженнями встановлено, що зміни сили тертя КМ про поверхню формуючих каналів, а також тиск упору, що створюється кормовим матеріалом, змінюється при розгляді його вздовж каналу за прогресією. Було встановлено, що тиск упору та сили тертя на ділянках із змінною геометрією залежать головним чином від площі поперечного перерізу КМ.

3. В результаті досліджень виведено формули для визначення сил, що діють на кормовий матеріал на кожній ділянці формуючої голівки, та визначено протитиск, що створюється їй.

4. Виведено формули для визначення продуктивності гранулятора та потужності, що витрачається на його роботу.

5. Аналіз отриманих закономірностей показав, що потужність, споживана пресом та його продуктивність, залежить від кута сходження гвинтових ліній багатозахідної частини втулки, сил тертя кормового матеріалу та частоти обертання гвинта.

3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Програма експериментальних досліджень

Зважаючи на переваги та недоліки існуючих машин для гранулювання кормів, першою стадією дослідження була розробка ефективної конструктивно-технологічної схеми преса та створення його експериментального лабораторного зразка.

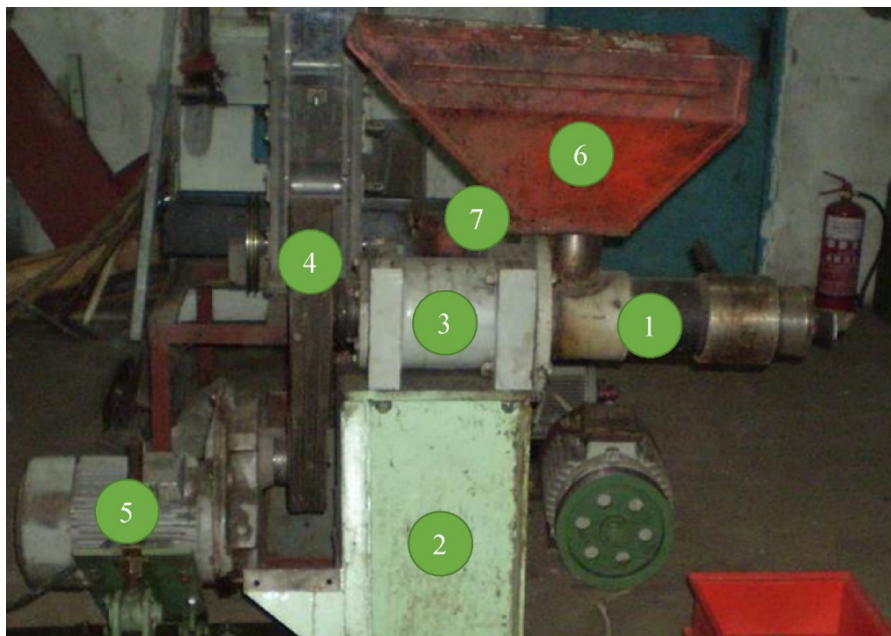
Оскільки одним із показників якості процесу пресування є фізико-механічні властивості кормових гранул, то на другій стадії необхідно було провести їх оцінку та виявити їх залежність від режимів пресування та складу вихідної суміші, а також зробити конструктивну доробку машини з метою отримання найбільш найкращих результатів.

До програми досліджень були включені такі завдання:

1. Розробка та виготовлення експериментального варіанта преса-гранулятора.
2. Розробка приватних методик з дослідження фізико-механічних властивостей кормових гранул та енергетично-потужних показників роботи преса.
3. Розробка та виготовлення приладів та обладнання для проведення дослідів.
4. Проведення дослідів та обґрунтування конструктивних параметрів преса та режимів його роботи.
5. Математична обробка одержаних експериментальних даних.

3.2 Опис експериментальної установки

Для здійснення експериментів з пресування кормових сумішей було створено експериментальний прес-гранулятор (рис. 3.1).



1 – робочі органи; 2 – станина; 3 – блок підшипників; 4 – блок шківів;
 5 – електродвигун; 6 – бункер; 7 – заслінка бункера
 Рисунок 3.1 – Схема експериментального гранулятора

Прес-гранулятор складається з робочих органів 1, має внутрішні шліци, що перешкоджають прокручування маси разом із гвинтом сприяють її подрібненню. Для ущільнення маси гвинт має змінний крок витків. На його вихідний кінець нагвинчена багатозахідна втулка, що обертається разом із гвинтом всередині фільери. Фільера встановлена в корпусі і закріплена гайкою. В якості приводу установки використовувався електродвигун 5 із блоками шківів, що дозволяє отримувати необхідні для дослідів значення частоти обертання шпинделя. У верхній частині встановлений накопичувальний бункер 6, з заслінкою 7, яка дозволяє регулювати подачу кормового матеріалу в прес.

Робота установки відбувається в такий спосіб. Кормовий матеріал, яким може бути кормові суміші, з бункера 6 потрапляє в приймальну горловину преса, підхоплюється гвинтом і переміщається до формуючої голівки, одночасно перетираючись на ребрах шліців. Під впливом сили стиснення, що виникає з-за звуження витків гвинта і сил тертя, кормовий матеріал ущільнюється і нагрівається, переходячи у в'язко-пластичний стан. У такому вигляді кормовий матеріал просувається в простір, утворене пазами фільери і гвинтовими пазами

втулки, які сприяють його подальшому просуванню подрібнення. Там він остаточно розігрівається, пластифікується і стирається. У зоні гладкої частини втулки формування монолітів закінчується, і вони виходять з пазів фільери, втрачаючи вологу, що виділяється з них у вигляді пари.

Встановлюючи на прес змінні фільери можна отримувати гранули різного перерізу та форми відповідно до зоотехнічних вимог для різних груп сільськогосподарських тварин.

3.3 Методика визначення фізико-механічних властивостей кормів

При проведенні дослідів з вивчення процесу пресування корму застосовувалися чотири типи вихідних сумішей, що відрізняються за складом:

Перша кормозміш складалася з пшеничного різання (колосок і стебло загальною довжиною 15 см). Розмір частинок різання становив 1–3 см.

Друга — з 2 масових частин ячмінного різання, 1 частини пшеничного (для подрібнення були взяті стебла разом із колосками загальною довжиною близько 35 см) та 0,3 частин свіжої трави. Розмір частинок різання становив також 1–3 см.

Третя – із фуражного зерна пшениці.

Четверта – з повнораціонної кормової суміші на основі зерна: овес – 22 %, ячмінь – 33 %, пшениця – 27 %, кукурудза – 18 %.

Вологість вихідних сумішей варіювалася не більше 10–30 %. Проби для аналізу брали з п'яти різних точок кормової суміші. Відповідно до методики експерименту повторність дослідів була триразовою.

Вологість визначалася шляхом висушування. З кормової суміші відбиралися проби матеріалу вагою 20 г. Великі частинки додатково подрібнювали ножицями. Проби поміщалися у попередньо висушені бюкси. Бюкси із пробамі закривалися кришками та зважувалися на терезах ВЛКТ-500. Після зважування бюкси з відкритими кришками поміщалися в нагріту сушильну шафу СНОЛ-3,5.3,5.3,5/3М. Висушування навішування велося при температурі

130 °С протягом 40 хв. Перед початком сушіння сушильна шафа нагрівалася до температури 150 °С.

Після закінчення зазначеного терміну бюкси за допомогою щипців тиглів виймалися з шафи і закривалися кришками, після чого їм давали охолонути. Потім вони зважувалися з точністю до 0,01 г.

Вологість розраховувалася за формулою

$$V = 100 - (a - b) / a \quad (3.1)$$

де a – маса навішування до висушування, г; b – маса навішування після висушування, г.

Міцність монолітів визначалася згідно з ГОСТ 18691-73 для гранул, виготовлених із трав'яного борошна. Випробування проводилися на приладі, що є коробкою у вигляді паралелепіпеда розмірами 300×300×125 мм зі стінками, виготовленими з металевої сітки. Під коробкою було встановлено піддон для збору крихти. У коробку завантажувалося навішування чистих гранул масою 0,5 кг і оберталося протягом 10 хвилин із частотою близько 50 об/хв. Як привод використовувався токарно-гвинторізний верстат моделі 1А62.

Після досвіду вся маса просівалася через сито, розмір осередків якого становив близько 0,8 поперечного розміру гранул. Потім зважувався залишок маси на ситі.

Показник міцності P_p (%) визначається за такою формулою:

$$P_p = (M_{пр} / M_{гр}) \times 100 \quad (3.2)$$

де $M_{пр}$ – маса гранул після просіювання, кг; $M_{гр}$ – маса гранул до випробування, кг.

Тиск, у якому відбувалося руйнування гранули, визначалася з допомогою преса і динамометра. Як прес використовувався свердлильний верстат моделі 2А135, в патрон якого затискався пуансон, з певною площею робочої поверхні. Випробувана гранула укладалася на робочий майданчик динамометра ДОСМ-3-1, встановлений на столі верстата.

Потім пуансоном тиснули на гранулу доти, доки вона не починала руйнуватися. Для більшої точності експерименту застосовувалися пуансони двох

типів; з площею робочої поверхні 10 та 30 мм. До кожного пуансона проводилася серія дослідів. За остаточний результат приймалося середнє значення тисків, отриманих першому і другому пуансоні.

Розмокання гранул необхідно було визначити у зв'язку з тим, що крім безпосереднього згодовування їх передбачалося використовувати також для приготування вологих мішанок. За показник розмокання було прийнято час перетворення монолітів на однорідну кашку. Випробуваний матеріал поміщався в термоізоляційну склянку, із встановленим у ньому термометром ТТ ТУ 25-2021.010-89 та заливався водою, що має певну температуру. Експерименти проводилися для гранул різного складу за температури води 30 і 75 °С.

Для визначення густини відбиралася певна порція гранул і піддавалася зважуванню на терезах ВЛКТ-500. Потім був обсяг даної порції методом занурення її в мірну склянку (ТУ 25-11 944-79), заповнений водою. Щільність гранул обчислювалася за формулою

$$\rho = m/(V_2 - V_1), \quad (3.3)$$

де m – маса порції, кг; V_1 і V_2 – об'єм води в мірній склянці до занурення гранул і після, м.

Для визначення гранулометричного складу гранули спочатку піддавали розмочування до тих пір, поки вони не перетворювалися на однорідну кашку. Далі маса фільтрувалася з метою відокремлення води, висушувалася і піддавалася просіюванню через набір сит. У нашому випадку використовувалися сита з діаметром осередків 3, 2, 1 та 0,25 мм. Потім кожна фракція зважувалася на терезах ВТЛК-500. Зміст частинок кожної фракції в гранулах оцінювалося у відсотковому співвідношенні загальної маси даних фракцій.

3.4 Методика дослідження впливу конструктивно-режимних параметрів на процес пресування

Продуктивність преса вимірювалася в режимі роботи при різних частотах обертання гвинта, для різних за складом вихідних сумішей з різною вологістю

від 12 до 30 %. Досвід проводився протягом 5 хвилин. Гранули, що вийшли за цей час з голівки, що формує, збиралися в окрему ємність і зважувалися. Час досліду вимірювався секундоміром СОПР-6Т-000.

Продуктивність визначалася за формулою

$$Q = 3600 m/t , \quad (3.4)$$

де m – маса навішування гранул, кг; t – час її пресування, с.

Потужність, що витрачається на процес пресування, вимірювалася за допомогою ватметра К-505. Вимірювання потужності проводилося при режимі пресування, що встановився.

Питома потужність, що витрачається на процес пресування, перебувала за формулою

$$N_{\text{пит}} = N/Q , \quad (3.5)$$

де N – потужність, що споживається двигуном, Вт; Q – продуктивність преса, кг/год.

Вивчення впливу будь-якого конструктивного або режимного параметра на процес пресування проводилося шляхом вимірювання вихідної величини, що цікавиться, при різних значеннях змінного параметра. Інші чинники у своїй залишалися постійними. Їх значення, якщо їх не обумовлено окремо, становили: частота обертання гвинта — 15,57 рад/с; вологість вихідної суміші – 20 %; довжина фільтри – 60 мм; склад корму – зернова суміш; кут нахилу гвинтових лопатей багатозахідної втулки (40 °).

Як показники процесу пресування приймалися такі величини: продуктивність преса, питома потужність, що витрачається на процес пресування та міцність отриманих монолітів.

Для визначення прийняттого значення даної величини було зроблено п'ять двозахідних втулок з кутами нахилу гвинтових лопатей рівними 70, 60, 50, 40 і 30 °. Досвід проводився при пресуванні повнораційної зернової суміші, вологістю 20 %, довжиною фільтри 60 мм, частотою обертання гвинта 15,75 рад/с. Правильність вибору значення кута оцінювалася за питомою потужністю процесу пресування.

Планування багатофакторного експерименту та обробка дослідних даних здійснювалася згідно з роботами С. В. Мельникова, В.А. Альошкіна [25]. При проведенні багатофакторного експерименту як пресована маса використовувалася зернова суміш, описана в п. 3.2.

У процесі пресування відбувається нагрівання кормової маси, що сприяє розкладанню вітамінів та поживних речовин. Температура, яку досягає кормовий матеріал у процесі пресування, визначалася за температурою гранул, що виходять із формуючої головки. Для цього на фільтеру преса одягався теплоізоляційний пакет, у якому збиралися щойно сформовані моноліти. У пакет було вставлено термометр ТТ ТУ 25-2021.010-89 Вимірювання температури вважалось закінченим, коли стовпчик термометра переставав підніматися.

4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Дослідження впливу конструктивно-режимних параметрів на процес пресування

У ході пошукових дослідів було встановлено, що процес пресування гвинтовим пресом з циліндричною фільєрою вкрай утруднений без гвинтових нарізок на втулці гвинта. Для досягнення найкращих показників роботи преса необхідно визначити який кут нахилу гвинтових ліній багатозахідної нарізки є найбільш прийнятним (рис. 4.1).

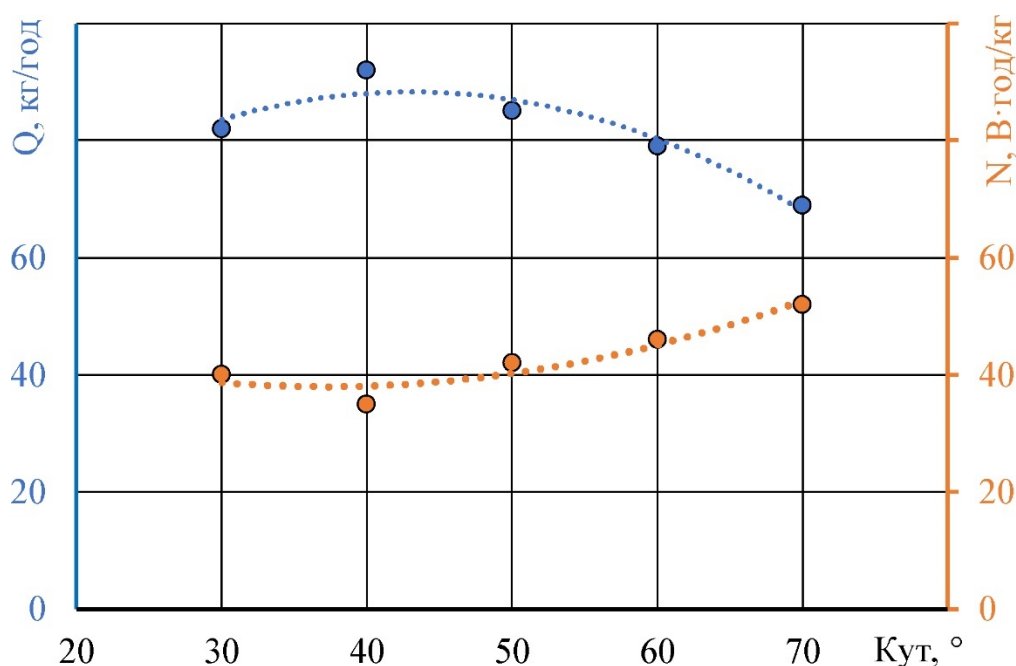


Рисунок 4.1 – Вплив кута нахилу гвинтових лопатей багатозахідної втулки на продуктивність преса Q та питома потужність N

З результатів експерименту видно, що прийнятне значення кута нахилу гвинтових лопатей становить близько 40 °.

Крім кута нахилу гвинтових лопатей на процес пресування також помітний вплив мають частота обертання гвинта (рис. 4.2), вологість вихідної суміші (рис. 4.3) та довжина фільєри (рис. 4.4).

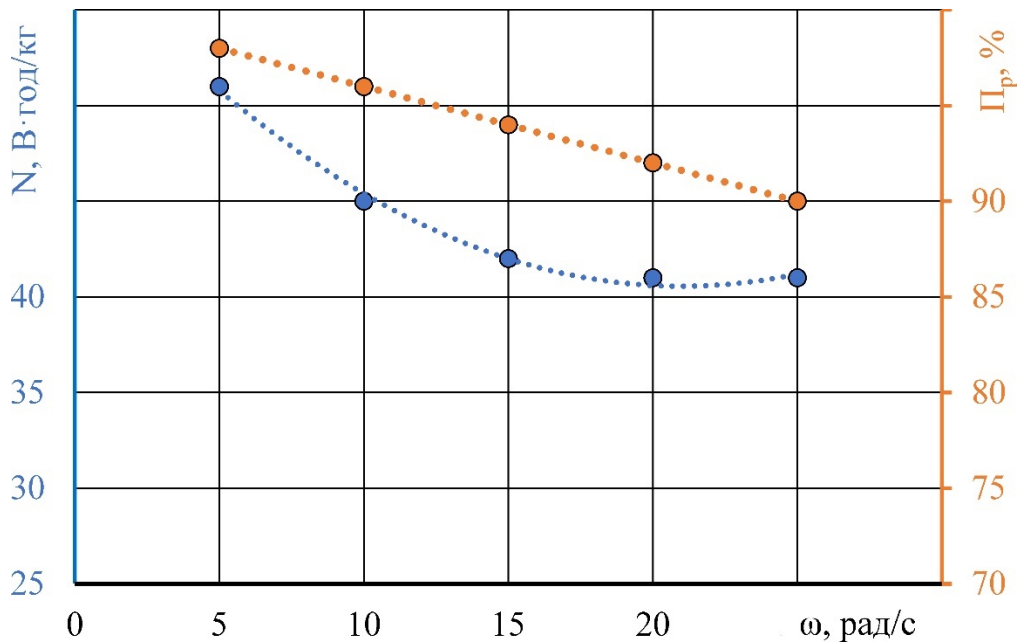


Рисунок 4.2 – Вплив частоти обертання гвинта на питому потужність процесу пресування N та міцність монолітів Π_p

З малюнка видно, що експериментальна залежність питої потужності від частоти обертання гвинта мають деяку нелінійність, що суперечить теорії. Нелінійність пояснюється тим, що при збільшенні частоти обертання гвинта зменшується перетікання маси із зони високого тиску в зону завантаження через зазор між гвинтом і кожухом. Це сприяє деякому збільшенню продуктивності і як наслідок зниженню питої потужності процесу пресування. При частоті обертання гвинта більше 22 рад/с зниження питої потужності припиняється.

Зниження міцності монолітів зі збільшенням частоти обертання гвинта пояснюється зменшенням часу релаксацію з допомогою зростання швидкості перебігу маси по формуючим каналам.

Нелінійний вплив вологості на показник питої потужності пояснюється тим, що при перезволоженні суміші вона стає більш плинною. Через це зростають витрати пресованої маси через проміжок між гвинтом і кожухом і через пази шліців на внутрішній стороні кожуха гвинта. Якщо ж у суміші недостатньо вологи, то зростають сили тертя маси про внутрішні поверхні преса, що збільшує витрати енергії.

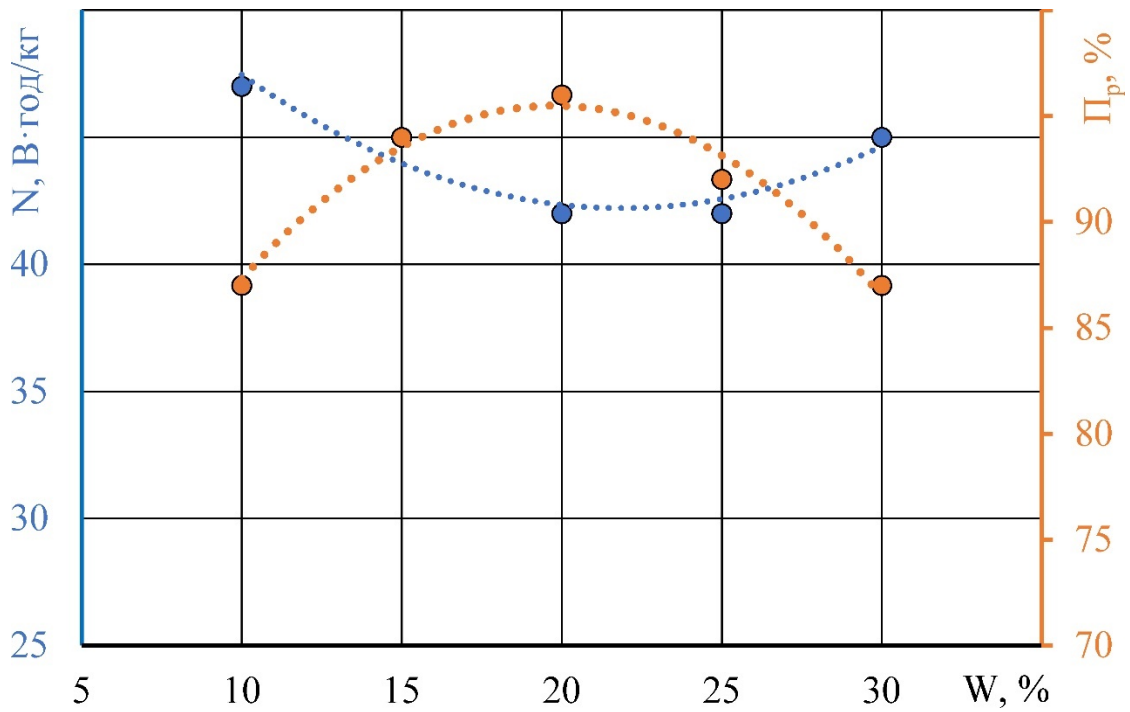


Рисунок 4.3 – Вплив вологості суміші на питому потужність процесу пресування N та міцність монолітів P_r

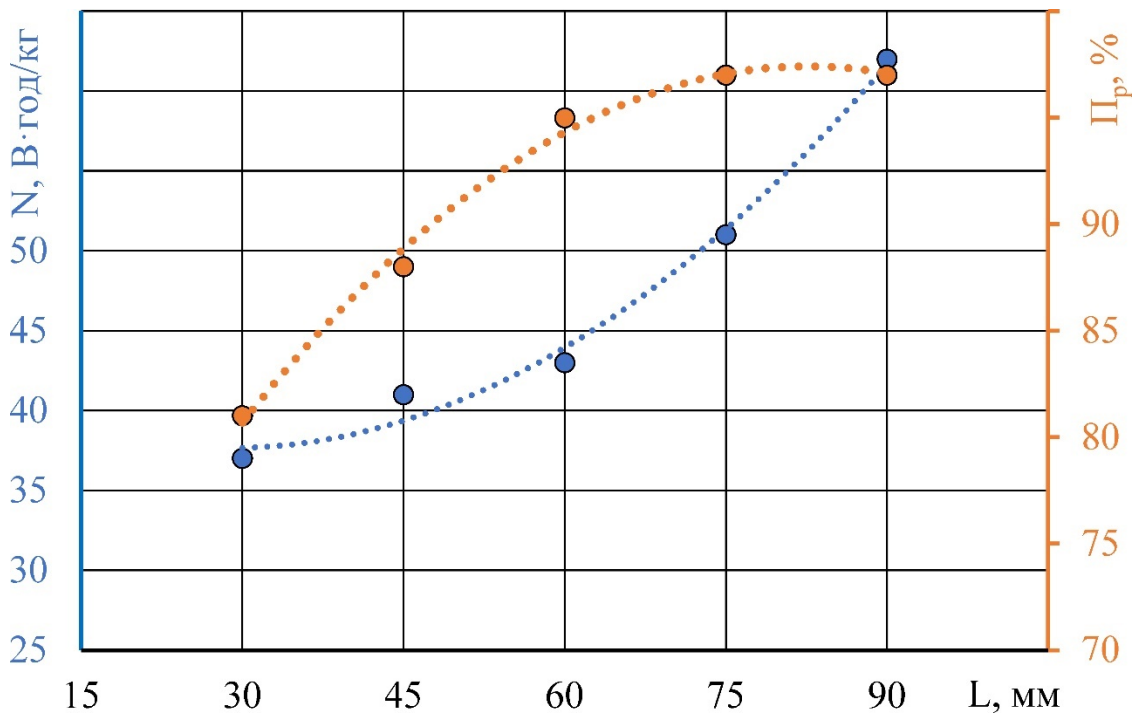


Рисунок 4.4 – Вплив довжини фільтри на питому потужність процесу пресування N та міцність монолітів P_r

Міцність монолітів залежить від ступеня розчинення клейковини, яка

прямопропорційна вологості. Однак надлишок вологи робить масу більш пружною, вода в цьому випадку виконує роль тіла, що розклинює, перешкоджаючи ущільненню.

Довжина формуючих каналів фільери найбільше впливає на дані показники при суттєвій нелінійності, яка пояснюється нелінійним зростанням сил тертя кормового матеріалу по довжині каналів (рис. 4.4). Це підтверджує теоретичні висновки про те, що зростання сили тертя маси у формуючому каналі відбувається за функцією подібною до прогресії, що залежить від довжини каналу.

Оскільки міцність одержуваних монолітів обумовлюється протитиском фільери, яке залежить від сил тертя кормового матеріалу у формуючих каналах, вона теж має нелінійну залежність від довжини фільери.

4.2 Вплив складу вихідної суміші на процес пресування

Продуктивність преса і питома потужність, що витрачається на процес пресування, значною мірою залежить від складу суміші, що пресується. Наявність частинок солом'яного різання в кормосуміші, що мають малу насипну щільність, знижує коефіцієнт заповнення гвинта і зменшує продуктивність. Через це прес працює з неповним завантаженням, що збільшує питомі витрати потужності (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Вплив складу вихідної суміші на продуктивність преса та питома потужність

Вихідні компоненти	Продуктивність, кг/год	Питома потужність, Вт·год/кг
Пшеничне різання	21,5	144,2
Різання ячменю, пшениці, трави	24,8	125,0
Фуражне зерно	120,2	29,8
Повнораційна суміш	94,5	37,4

4.3 Дослідження фізико-механічних властивостей гранульованих корми

Так як гранульований корм повинен володіти певними параметрами, заданими зоотехнічними вимогами, необхідно було визначити такі його властивості як міцність (P_p), тиск руйнування (P), щільність (ρ) і розмокання. Остання властивість має значення, якщо гранули використовуватимуться для приготування вологих мішанок.

Досліди піддавали гранули, отримані при частоті обертання гвинта 15,75 рад/с, вологості вихідних сумішей 20 %, довжині формуючих каналів 60 мм з чотирьох типів сумішей, описаних вище. Результати випробування наведено у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Результати дослідження фізико-механічних властивостей гранул

Вихідні компоненти	P_p , %	P , МПа	ρ , кг/м ³	Час розмокання, хв при 30 °С	Час розмокання, хв при 75°С
Пшеничне різання	98,0	2,7	1015	37	20
Різання ячменю, пшениці, трави	97,2	2,3	965	15	7
Фуражне зерно	97,0	1,5	1122	50	30
Повнораційна суміш	94,0	1,2	1081	40	20

Аналізуючи результати даних дослідів можна виявити, що розмокання гранул залежить головним чином від їх щільності і відповідно гігроскопічності.

Тиск руйнування залежить від біологічного та гранулометричного складу вихідної суміші. Більше зусилля руйнування монолітів, виготовлених із пшеничного різання, можна пояснити наявністю у яких волокон, які надають їм механічну міцність. А менше для гранул з різання пшениці, ячменю та трави – меншою концентрацією клейковини внаслідок малого вмісту зерна у вихідній суміші. Міцність цих гранул відрізняється незначною мірою, але знаходиться в

прямій залежності від тиску руйнування і відповідає вимогам. Оскільки максимально допустимий тиск руйнування гранул за зоотехнічними вимогами становить 2,5 МПа, то при пресуванні пшеничного різання рекомендується використовувати фільтру зменшеної довжини, щоб знизити щільність монолітів, або збільшити частку соломи в суміші.

У ході дослідження було також визначено гранулометричний склад пресованого корму, оскільки він впливає процес травлення. У таблиці 4.3 розглянуто відсотковий вміст частинок різних фракцій вищеописаних типів гранул.

Таблиця 4.3 – Гранулометричний склад пресованого корму

Вихідні компоненти	Вміст часток у гранулах, %				
	< 0,25 мм	0,25–1 мм	1–2 мм	2–3 мм	> 3 мм
Пшеничне різання	3,4	21,3	28,5	25,3	21,5
Різання ячменю, пшениці, трави	3,3	22,5	27,6	26,1	20,5
Фуражне зерно	16,2	37,3	35,8	6,5	4,2
Повнораційна суміш	15,6	35,7	33,4	10,2	5,1

Оскільки для жуйних тварин мінімально допустимий розмір частинок у кормі становить 6 мм, їм рекомендується згодовувати гранули разом із соломою. Для інших видів тварин вони можуть бути згодом у чистому вигляді.

У процесі ущільнення кормової маси у гвинтових пресах відбувається її сильне нагрівання. Висока температура призводить до руйнування вітамінів, білків та інших поживних речовин. У зв'язку з цим виникла потреба її визначення. На виході з форми головки середнє значення температури сформованих гранул становило 88 °С (за результатами трьох дослідів: 86 °С, 88 °С і 90 °С). Досвід проводився при частоті обертання гвинта $\omega = 15,75$ рад/с, вологості вихідної суміші $W = 20$ %, довжині каналів формує головки $L = 60$ мм.

Згідно з дослідженнями зарубіжних вчених при гранульованні з обробкою парою (вище 100 °С) комбікормів для птиці втрати вітаміну А становили в середньому 15%, при виготовленні повнораційних гранул із 40 % соломи (80 °С) втрат вітаміну А не виявлялося.

4.4 Планування і результати багатофакторного експерименту

Відомо, що для складних технологічних процесів характерно те, що лише невелика кількість факторів істотно впливає на вихідні параметри, вплив інших можна розглянути як деякі випадкові величини. Для того щоб з'ясувати, які з факторів є малозначущими, необхідно провести серію дослідів. За результатами цієї серії дослідів малозначущі фактори виключаються з подальшого розгляду, що скорочує обсяг експерименту основної серії.

На підставі огляду літератури та пошукових дослідів для подальшого вивчення було відібрано п'ять факторів: частота обертання гвинта, вологість вихідної суміші, довжина формуючих каналів фільтри, форма їх поперечного перерізу та кількість гвинтових каналів багатозахідної втулки (табл. 4.4). Кут нахилу гвинтових каналів було визначено раніше, тому він не розглядається. Як вихідні параметри були обрані питома енергоємність процесу пресування (Y_1 , Вт·год/кг) і міцність одержуваних монолітів (Y_2 , %).

Таблиця 4.4 – Фактори та рівні їх варіювання

Чинники	Частота, рад/с	Кількість гвинтових каналів	Форма перерізу формуючих каналів	Вологість, %	Довжина, мм
Позначення	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
Верхній рівень (+1)	21	4	напівкругла	28	90
Нижній рівень (-1)	10,5	2	трапецеїдальна	12	30

Для визначення значущих факторів був проведений експеримент, що відсіює, за планом, який являв собою $1/4$ репліки від повного факторного експерименту 2^5 (табл. 4.5).

З результатів експерименту видно, що форма формуючих каналів (x_3) і кількість витків багатозахідної частини гвинта (x_2) незначно впливають на обидва вихідні параметри, причому x_3 більш значний для показника питомої

потужності, а x_2 для міцності гранул.

Таблиця 4.5 – Матриця планування експерименту, що відсіює

№ досвіду	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	Y_1	Y_2
1	1	1	1	1	1	55,10	98,30
2	-1	1	1	-1	-1	40,50	79,30
3	1	-1	1	-1	-1	35,60	78,50
4	-1	-1	1	1	1	61,20	99,60
5	1	1	-1	-1	1	60,00	95,90
6	-1	1	-1	1	-1	34,20	86,40
7	1	-1	-1	1	-1	28,00	79,60
8	-1	-1	-1	-1	1	68,30	98,20
S_i для Y_1	-25,50	-3,30	1,90	-25,90	106,30	–	
ранг фактора щодо Y_1	3	4	5	2	1	–	
S_i для Y_2	-11,20	4,00	-4,40	12,00	68,20	–	
ранг фактора щодо Y_2	3	5	4	2	1	–	

Слід зазначити, що за відсутності багатозахідної нарізки на вихідному кінці валу гвинта (гладкий вал), просування маси, що пресується, через фільтеру в даних межах варіювання факторів неможливе.

На підставі результатів відсіювальних дослідів для основної серії експерименту було залишено три фактори, яким було надано нове позначення (табл. 4.6).

Таблиця 4.6 – Фактори та рівні їх варіювання

Чинники	Частота (ω), рад/с	Вологість (W), %	Довжина (L), мм
Позначення	x_1	x_2	x_3
Верхній рівень (+ 1)	21	28	90
Основний рівень (0)	15,75	20	60
Нижній рівень (- 1)	10,5	12	30

Значимість коефіцієнтів регресії перевірялася за критерієм Стьюдента. З таблиці 4.8 видно, що з показника питомої потужності значущими коефіцієнтами є b_0 , b_1 , b_2 , b_3 , b_{22} і b_{33} . А для показника міцності – b_0 , b_1 , b_2 , b_3 , b_{13} , b_{22} і b_{33} . В останньому випадку має місце ефект взаємодії частоти обертання гвинта (x_1) і

довжини формуючих каналів (x_3).

Таблиця 4.8 – Перевірка значущості коефіцієнтів регресії

Коефіцієнти регресії	Для питомої потужності			Для міцності		
	Чисельне значення	$S^2\{b_i\}$	b_i $(S^2\{b_i\})^{0,5}$	Чисельне значення	$S^2\{b_i\}$	b_i $(S^2\{b_i\})^{0,5}$
b_0	44,21	0,0542	94,92	91,06	0,061	184,86
b_1	- 2,68	0,0742	- 9,83	- 1,51	0,083	- 5,24
b_2	- 3,49	0,0742	12,80	1,25	0,083	4,32
b_3	13,09	0,0742	48,04	8,78	0,083	3,45
b_{12}	0,09	0,1017	0,27	- 0,69	0,114	- 2,04
b_{13}	0,49	0,1017	1,53	1,46	0,114	4,34
b_{23}	0,56	0,1017	1,76	- 0,59	0,114	- 1,74
b_{123}	0,41	0,1017	1,29	0,06	0,114	0,19
b_{11}	1,19	0,1864	2,76	0,54	0,209	1,18
b_{22}	1,87	0,1864	4,33	- 1,97	0,209	- 4,31
b_{33}	1,97	0,1864	4,56	- 2,00	0,209	- 4,38

Рівняння регресії в кодованому вигляді виглядатимуть так:

для питомої потужності

$$Y_1 = 44,21 - 2,68 x_1 - 3,49 x_2 + 3,09 x_3 + 1,87 x_2^2 + 1,97 x_3^2, \quad (4.1)$$

для міцності

$$Y_2 = 91,06 - 1,51 x_1 + 1,25 x_2 + 8,78 x_3 + 1,46 x_1 x_3 - 1,97 x_2^2 - 2,00 x_3^2, \quad (4.2)$$

Адекватність отриманих рівнянь перевірялася за критерієм Фішера за допомогою нерівності

$$F_{\text{роз}} < F(f_1; f_2), \quad (4.3)$$

де $F_{\text{роз}}$ і F – розрахункове та табличне значення критерію Фішера; f_1 – число ступенів свободи, котрим визначалася дисперсія адекватності ($f_1 = N - n - 1$); f_2 – число ступенів свободи, для яких визначалася дисперсія відтворюваності ($f_2 = k - 1$).

У нашому випадку при $f_1 = 15 - 3 - 1 = 11$; $f_2 = 3 - 1 = 2$ і 95 %-ном рівні значущості $F = 19,4$.

Розрахункове значення F -критерію знаходилося як відношення дисперсії адекватності до дисперсії відтворюваності

$$F_{\text{роз}} = S_{\text{ад}}^2/S_y^2, \quad (4.4)$$

Розрахункові значення критерію Фішера склали: функції питомої потужності $F = 18,97$; для функції міцності $F = 15,99$. Отже, отримані рівняння регресії адекватно описують процес у межах досліджуваної області.

Основним завданням експериментальних досліджень було визначення рівнів факторів, що забезпечують найкраще значення вихідних параметрів. У нашому випадку необхідно знайти такі значення факторів, при яких питома потужність, що витрачається на отримання 1 кг гранул, була б мінімальною, а міцність максимальною гранул. З цією метою за отриманими рівняннями регресії будують поверхні відгуків та їх перерізи. Для зручності розрахунків запишемо рівняння регресії у розкодованому вигляді:

$$N_{\text{пит}} = 54,3625 - 0,5105 \omega - 1,6050 W - 0,1737 L + 0,0292 W^2 + 0,0022 L^2, \quad (4.5)$$

$$\begin{aligned} \text{Пр} = 63,3525 - 0,8438 \omega + 1,3875 W + 0,4133 L + 0,0093 \omega L - \\ - 0,0308 W^2 - 0,0022 L^2. \end{aligned} \quad (4.6)$$

При побудові поверхонь відгуків варіювалися лише два фактори, а третій залишався на постійному рівні (рис. 4.4–4.6).

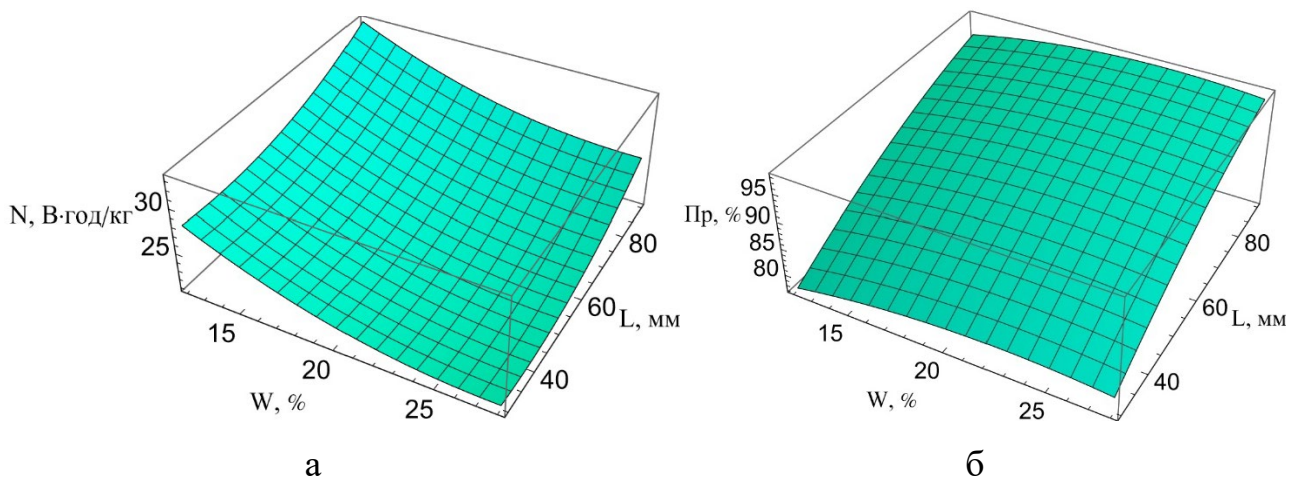


Рисунок 4.5 – Поверхні відгуку $N_{\text{пит}} = f(W, L)$ (а) і $\text{Пр} = f(W, L)$ (б)

При $\omega = 15,75$ рад/с

З графіків видно, що найбільший вплив на процес пресування надає довжина форм каналів. На другому місці за значимістю стоїть вологість вихідної

суміші. Частота обертання гвинта чинить найменший вплив на процес.

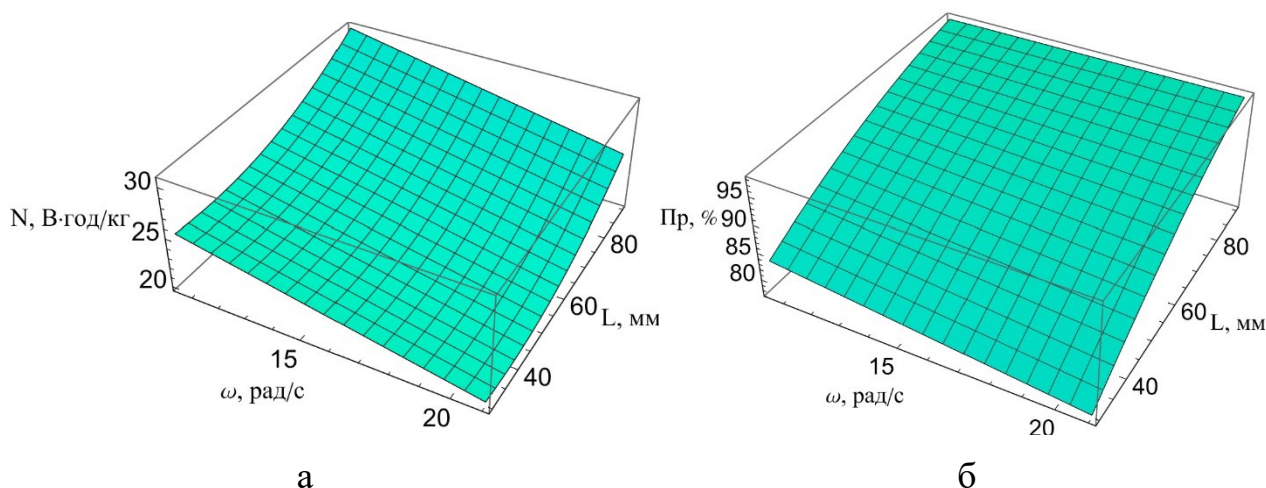


Рисунок 4.5 – Поверхні відгуку $N_{\text{пит}} = f(\omega, L)$ (а) і $\text{Пр} = f(\omega, L)$ (б)
при $W = 20 \%$

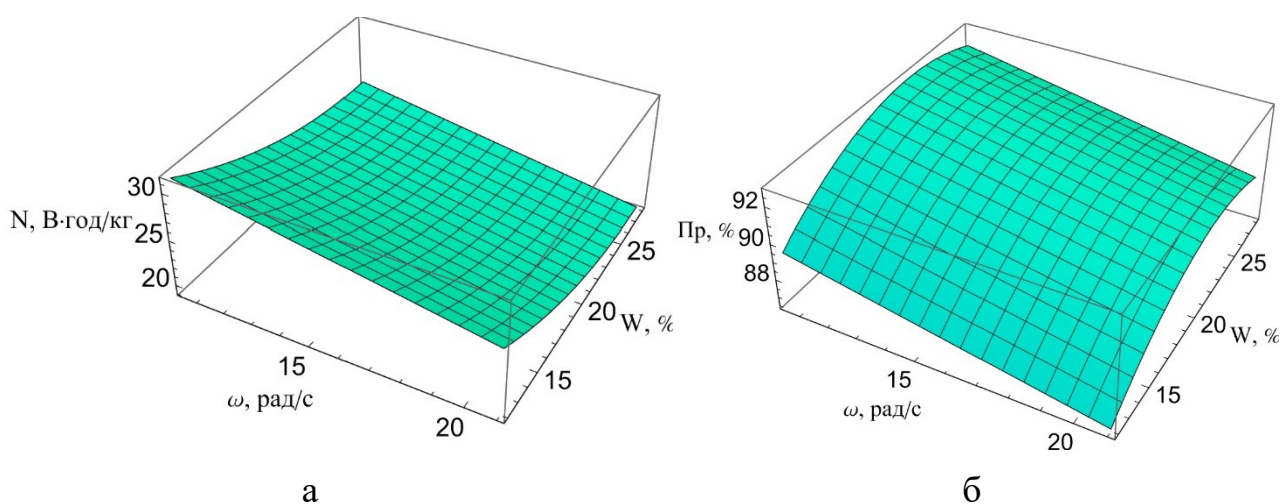


Рисунок 4.6 – Поверхні відгуку $N_{\text{пит}} = f(W, \omega)$ (а) і $\text{Пр} = f(W, \omega)$ (б)
при $L = 60 \text{ мм}$

В результаті розв'язання компромісної задачі отримані наступні прийнятні значення рівнів факторів: частота розв'язання гвинта $\omega = 22,13 \text{ рад}/\text{с}$ вологість вихідної суміші $W = 24,5 \%$, довжина формуючих каналів $L = 62 \text{ мм}$. Значення вихідних параметрів у своїй склалі: питома потужність $N_{\text{пит}} = 40,6 \text{ Вт}\cdot\text{год}/\text{кг}$; міцність $\text{Пр} = 90,1 \%$.

4.5 Висновки з розділу

1. Експериментальними дослідженнями встановлено, що для нормальної роботи даного преса необхідна наявність багатозахідної нарізки на вихідному кінці валу гвинта, при цьому кількість заходів не істотно впливає на процес. Прийнятне значення кута нахилу гвинтових лопатей щодо осі гвинта становить 40° .

2. Найбільше впливають на процес гранулювання кормосмеси надають довжина формуючих каналів фільтри, вологість вихідних компонентів, частота обертання гвинта, і навіть гранулометричний склад суміші. При цьому вплив двох перших факторів на критерії оптимізації є нелінійним.

3. Шляхом проведення багатофакторного експерименту визначено прийнятні значення факторів, що вивчаються:

- довжина формуючих каналів фільтри $L = 62$ мм;
- вологість вихідної суміші $W = 24,5\%$;
- частота обертання гвинта $\omega = 22,13$ рад/с.

4. Для прийнятних значень факторів було знайдено значення вихідних параметрів процесу пресування, вони відповідно дорівнюють: питома потужність $N_{\text{пит}} = 40,6$ Вт·год/кг; міцність $P_p = 90,1$ %.

5. Температура пресованої маси та час її перебування в пресі недостатньо великі, щоб викликати суттєве розкладання поживних речовин.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Вимоги до охорони праці при обслуговуванні агрегатів для виготовлення гранул

Загальні вимоги безпеки. До роботи з агрегатами для виготовлення гранул допускаються тільки особи, які пройшли медичний огляд, спеціальне навчання, отримали посвідчення на право керування даною машиною і пройшли вступний і первинний інструктаж з охорони праці на робочому місці. До обслуговування електрообладнання машини допускаються тільки електромонтери, які мають кваліфікаційну групу не нижче третьої. До самостійної роботи допускаються особи, які пройшли від двох до п'яти змін практичного навчання під керівництвом керівника робіт або кваліфікованого робітника і мають навички безпечного виконання технічного процесу.

До небезпечних і шкідливих елементів виробничого процесу належать рухомі механізми, рухомі частини устаткування (наприклад, сушильні барабани, конвеєри, живильники зеленої маси, приводні ремені), високі температури, повітряний пил, шум, можливість вибуху палива і пил, змішаний з повітрям.

Спецодяг, спецвзуття та інші засоби індивідуального захисту, що видаються працівникам, повинні відповідати вимогам відповідних стандартів і технічних умов згідно зі встановленими нормами, зберігатися у спеціально відведених місцях з дотриманням санітарно-гігієнічних правил зберігання та обслуговування, використовуватися в справному стані відповідно до їх призначення.

Необхідно дотримуватися правил внутрішнього розпорядку підприємства. Забороняється: паління, розпивання спиртних напоїв, самовільна поява на робочому місці, робота в стані хвороби, сп'яніння або під впливом наркотиків.

Забороняється працювати несправними інструментами та обладнанням, використовувати їх не за призначенням або замінювати їх сторонніми предметами.

Особа, яка порушила вимоги цієї інструкції, має бути притягнута до відповідальності в установленому законом порядку.

Вимоги безпеки перед початком роботи. Керівник повинен прийняти зміну і провести інструктаж з техніки безпеки з обслуговуючим персоналом робочого місця. Повинні бути перевірені наявність і справність засобів пожежогашіння, сигналізації та зв'язку.

Одягти перевірений і справний спецодяг, підготувати робоче місце, прибрати сторонні предмети із зони подачі, протерти пил з устаткування і прибрати з підлоги пролиту олію (тирсу, пісок). Тирсу (пісок) прибирають у спеціальний негорючий ящик.

Оператор верстата повинен переконатися в тому, що компоненти верстата перебувають у хорошому стані, а захисні кожухи закріплені належним чином.

Необхідно перевірити стан різального та дробильного обладнання, баланс барабана та міцність ножів і молотків. Переконайтеся, що ріжучий елемент захищений від мимовільного обертання під час огляду.

Необхідно перевірити справність електропроводки та електрообладнання, надійність заземлення корпусу електрощита і металоконструкції сушильного агрегату та грануляційного млина.

Необхідно перевірити роботу машини, вентилятора на холостому ході, робочих частин машини на наявність сторонніх предметів, переконатися в тому, що двері дробарки зачинені, а колосникові ґрати притиснуті.

Необхідно переконатися, що аптечка першої допомоги в наявності та укомплектована. Необхідно переконатися в наявності води, мила і рушників у розбиральній кімнаті. Необхідно прийняти робоче місце від змінника.

Вимоги безпеки на робочому місці. Запускати і зупиняти машину за сигналом старшого працівника. Під час зупинки і пуску, при ремонті або

перевірці обладнання відключити вступний вимикач і вивісити плакат «Не вмикати – працюють люди».

Щоб уникнути травм, сировину слід укладати на конвеєр з боку машини. Використовуйте спеціальні очисники для видалення бруду з компонентів кормів, борошна, гранул тощо. Необхідно одягати захисні окуляри під час заточування ножів.

Необхідно стояти осторонь від напрямку відбору маси, щоб уникнути травм від предметів. Необхідно прибирати розпорошену масу з-під барабана вилами, граблями або лопатою.

Не працюйте під лотком для подачі зеленої маси, не закріпивши лоток підпорами.

Забороняється працювати з сушильним агрегатом або пелетним млином під час роботи:

- знімати огороження або кришки з обертових і ріжучих частин машини і працювати без них;

- двері дробарок і дробильних барабанів необхідно тримати відкритими до повної зупинки;

- працювати без місцевої витяжної вентиляції в зонах завантаження і без систем відсмоктування в дробарках;

- розміщення інструментів на обладнанні, конвеєрах, сировині або напівфабрикатах;

- робота з несправними вольтметрами контролю завантаження;

- робота всередині барабанів або теплогенераторів за температури вище 40 °С або без вентиляції. для освітлення всередині обладнання використовуйте лампи напругою не більше 12 в.

Роботи (огляд, ремонт, регулювання) на висоті 2 м повинні виконуватися зі спеціальної пересувної драбини або стаціонарної платформи.

Завжди стежте за температурою електродвигуна і підшипників.

Необхідно контролювати показання приладів, подачу зеленої маси, рівень борошна в бункері та рівень гранул у колоні, а також очищайте сепаратор важких частинок два-три рази за зміну.

Необхідно перевіряти герметичність паливопроводів і клапанів паливних баків і теплогенераторних нагрівачів.

Не залишати грудки сухих компонентів в сушильному барабані.

Необхідно утримувати робочу зону в чистоті, своєчасно видаляти пролите паливо і масло і не допускати скупчення пилу на даху робочої зони, віконних отворах, електродвигунах та іншому обладнанні.

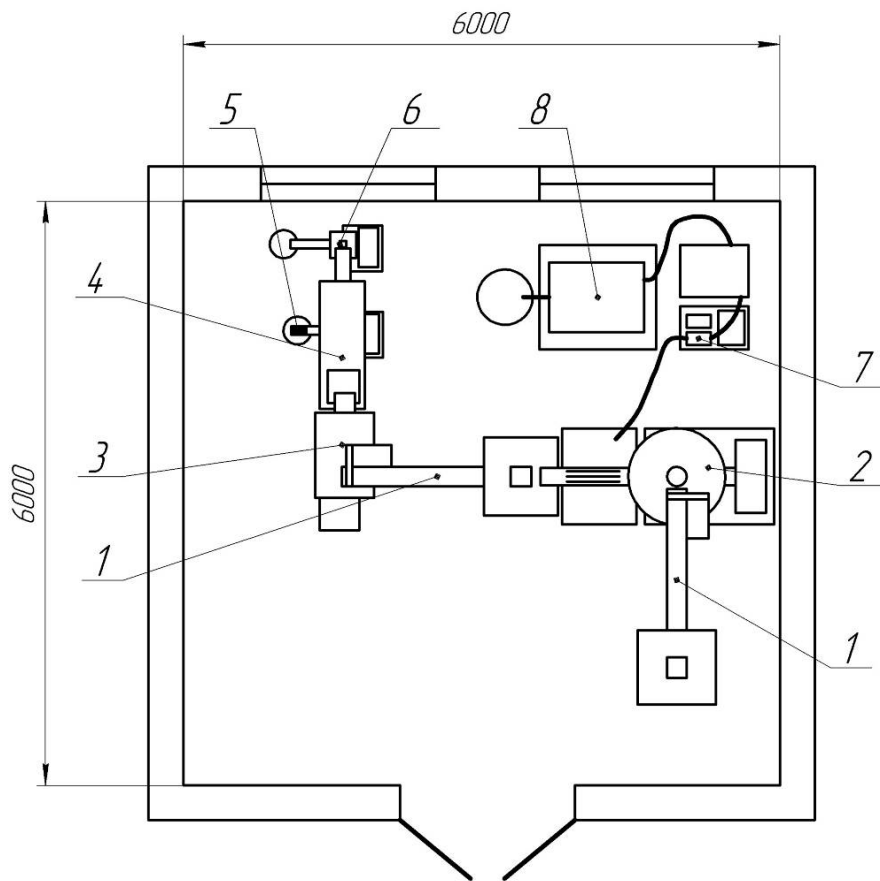
Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях. У разі вибуху або пожежі негайно зупинити машину за допомогою кнопки «Аварійний стоп», відключити електрообладнання від мережі, закрити крани паливопроводу, повідомити пожежну охорону та керівника і вжити заходів з усунення наслідків вибуху або пожежі відповідно до пам'ятки з ліквідації наслідків аварії. Якщо відключити електрообладнання неможливо, використати інструмент з ізольованим руків'ям, щоб перерізати дроти (по одному). У разі нещасного випадку надати допомогу потерпілому (самодопомога), повідомити про нещасний випадок керівника і, за необхідності, викликати лікаря.

Вимоги безпеки після закінчення робочого дня. Зупинити машину в зворотному порядку, прибрати обладнання та прибрати робоче місце і приміщення. Дотримуватись вимог гігієни та зберігайте спецодяг. Про всі недоліки, що виникли під час роботи та після її закінчення, повідомити керівника.

5.2 Розміщення обладнання в приміщенні

Відповідно до вимог щодо пожежної безпеки та ергономіки у виробничому приміщенні, обладнання для виробництва комбікормів із включенням макухи насіння олійних культур та отримання високоякісних повноцінних протеїнових

добавок у формі гранул повинно бути розташоване відповідно до схеми, наведеної на рисунку 5.1.



1 – гвинтовий транспортер; 2 – прес-екструдер; 3 – молоткова дробарка; 4 – щітковий роторний просіювач; 5 – гранулятор; 6 – прес-брикетувальник; 7 – насос; 8 – фільтр

Рисунку 5.1 – Схема розміщення обладнання відповідно до розробленої технологічної лінії приготування комбікормів з додаванням макухи

5.3 Розрахунок штучного освітлення приміщення

В приміщенні розміром 6×5 м, щоб забезпечити обслуговування обладнання, рівень освітленості повинен бути не менше $E_H = 150$ лк, з урахуванням коефіцієнта запасу $K_3 = 1,3$.

При виборі світильника за показником економічності, виходячи з формули

$$\lg m = 1 - \sqrt[3]{\frac{1000}{E \cdot K_3 \cdot h^2}} = 1 - \sqrt[3]{\frac{1000}{150 \cdot 1,3 \cdot 2,5}} = 1,2; \quad (5.1)$$

де $h = 2,5$ м – висота підвісу світильників, обираємо світильник типу ЛСП-18 з лампою ЛБР-40 відповідно до показника економічності $\lg m = 1,2$.

Установлюємо світильники вздовж приміщення, тоді відносна оптимальна відстань між ними для рівномірного освітлення визначається $\lambda_{c.y.} = 1,57$ за формулою

$$L_0 = \lambda_{c.y.} \cdot h = 1,57 \cdot 2,5 = 3,95 \text{ м} \quad (5.2)$$

Кількість світильників уздовж приміщення обчислюється за формулою

$$h_a = \frac{a}{L_0} \quad (5.3)$$

де $a = 6$ м – робоча довжина приміщення.

Отримуємо $h_a = \frac{6}{3,95} = 1,52$, що округляємо до 2 шт.

Кількість світильників по ширині приміщення визначається за формулою

$$h_b = \frac{b}{L_0} \quad (5.4)$$

де $b = 6$ м – ширина приміщення.

Отримуємо $h_b = \frac{6}{3,95} = 1,52$, що також округляємо до 2 шт. Таким чином,

загальна кількість світильників дорівнює

$$N = h_a \cdot h_b = 2 \cdot 2 = 4 \text{ шт.} \quad (5.5)$$

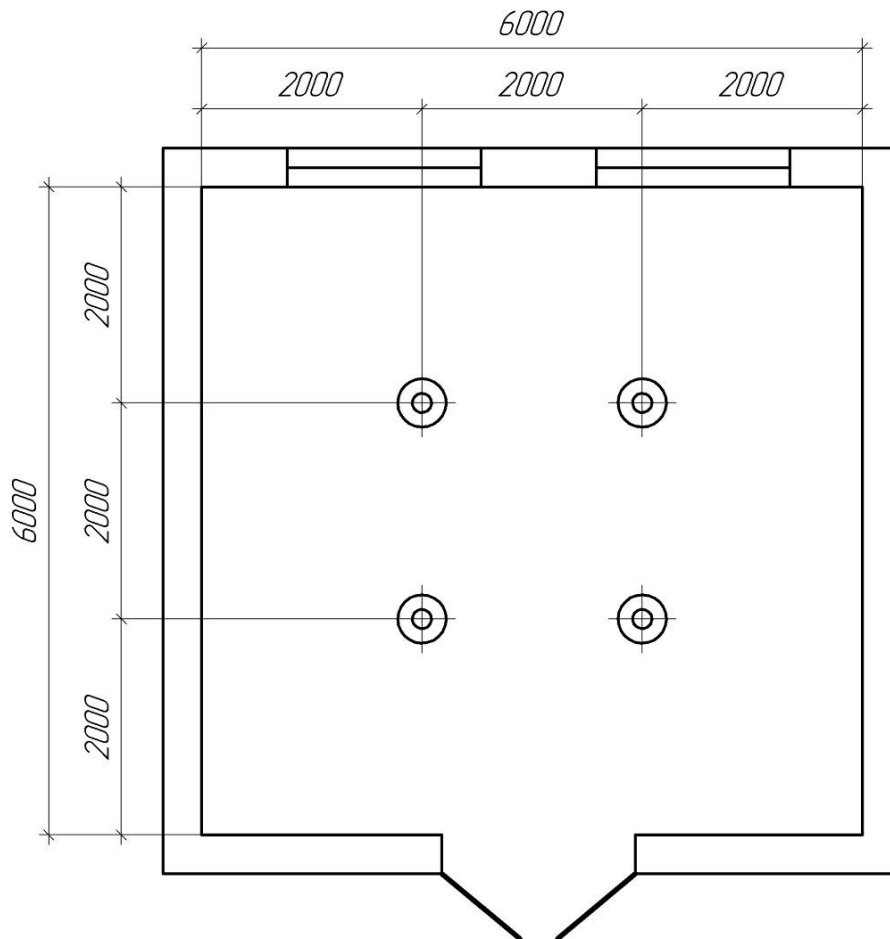
Відстань між центрами світильників уздовж приміщення визначається формулою

$$L_a = \frac{a}{h_a + 1} = \frac{6}{2 + 1} = 2 \text{ м} \quad (5.6)$$

а між центрами світильників поперек приміщення – формулою

$$L_a = \frac{b}{h_b + 1} = \frac{6}{2 + 1} = 2 \text{ м} \quad (5.7)$$

Схему розміщення світильників у приміщенні представлено на рисунку 5.2.



Рисунку 5.2 – Схема розміщення світильників у приміщенні

5.4 Висновки з розділу

Базуючись на нормативній документації і згідно вимог охорони праці розраховано баланс повітряного середовища і штучного освітлення приміщення із обладнанням відповідно до технологічної лінії приготування комбікормів з додаванням макухи. Розроблені вимоги безпеки праці при експлуатації розробленого гранулятора.

6 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРЕСА ДЛЯ ГРАНУЛЮВАННЯ КОРМОВИХ СУМІШЕЙ

Розробка та впровадження у виробництво інновацій потребує детального аналізу та порівняння за основними техніко-економічними показниками, такими як продуктивність, питома потужність на 1 кг продукції, поточних витрат, економії енергоресурсів, праці, економічного ефекту, терміну окупності додаткових капітальних вкладень тощо.

Оскільки в нашому випадку йдеться лише про заміну серійного гранулятора в технологічній лінії на машину, що проектується, то немає необхідності розраховувати витрати на функціонування всієї лінії, досить порівняти ці дві машини.

Порівняння техніко-економічних показників проводилося при використанні даних машин для пресування зернової суміші.

За базовий варіант прийнято гвинтовий прес Е-150, що випускається під торговою маркою «BRONTO». Для порівняння в таблиці 5.1 наведено техніко-економічні показники Е-150 та проектованої машини.

Таблиця 5.1 – Технологічна характеристика порівнюваних грануляторів

Параметри	Марка		Різниця показників
	«BRONTO» Е-150	проектований	
Продуктивність, кг/год	150	140	10
Потужність приводу, кВт	19	4	-15
Питома потужність на пресування 1 кг зернової суміші, Вт·год/кг	127	29	-98
Маса, кг	700	86	-614
Обслуговуючий персонал, осіб	2	2	0
Ресурс, т	350	300	-50

З таблиці видно, що проектована машина трохи поступається перспективному зарубіжному аналогу по продуктивності, але значно перевищує його за питомою потужністю, що витрачається на пресування 1 кг корму, при

порівнянні ресурсному потенціалі і має малу металомісткість. У таблиці 5.2 наведено дані про капітальні вкладення для базового та проектного варіантів.

Таблиця 5.2 – Капітальні вклади

Показники	Марка		проект/Е-150,%
	«BRONTO» Е-150	проектований	
Вартість з ПДВ, грн.	287500	130000	41,6
Витрати на монтаж, грн.	14250	5000	35,1
на транспортування, грн.	47500	6875	14,5
Разом, грн.	349250	141875	40,6

Для повнішого аналізу були визначені експлуатаційні витрати при використанні порівнюваних грануляторів. Оскільки використання цих грануляторів планується в малих і середніх фермерських господарствах, то, виходячи з практичного досвіду таких підприємств і призначених рекомендацій, кількість ВРХ на відгодівлі в них не може перевищувати 70–100 голів, з щорічною реалізацією 40–50 % наявного поголів'я.

Для розрахунку приймемо поголів'я умовного підприємства рівним 100. Середня потреба ВРХ у концентрованих кормах за раціоном становить 4–6 кг на одну голову на добу, тобто всього в середньому 500 кг на добу або 182,5 т на рік. Отже, ефективний річний фонд робочого часу становитиме:

- для базового варіанту $182500/150 = 1216,67$ год
- для проектного $182500/140 = 1303,57$ год.

Звідси знайдемо наступні показники:

1) Витрати на заробітну плату визначаються із формули:

$$Z_{\text{п}} = Q \cdot K_{\text{р}} \cdot H \cdot T_{\text{р}} \cdot n, \quad (5.1)$$

де Q – годинна тарифна ставка, грн. ($Q = 52$ грн.); $K_{\text{р}}$ – районний коефіцієнт, $K_{\text{р}} = 1,6$; H – нарахування на заробітну плату, $H = 1,2$; $T_{\text{р}}$ – ефективний фонд робочого часу, год; n – число осіб, які обслуговують гранулятор. Звідси:

- для базового варіанту $Z_{\text{б}} = 52 \cdot 1,6 \cdot 1,2 \cdot 1216,67 \cdot 2 = 242944,67$ грн.
- для проектного $Z_{\text{п}} = 52 \cdot 1,6 \cdot 1,2 \cdot 1303,57 \cdot 2 = 260296,85$ грн.

2) Річний споживання електроенергії:

$$P = N \cdot T_p, \quad (5.2)$$

де N – потужність приводу кВт;

Воно становитиме:

– для базового варіанту $P_6 = 19 \cdot 1216,67 = 23116,73$ кВт·год;

– для проектованого $P_{п} = 4 \cdot 1303,57 = 5214,28$ кВт·год.

3) Витрати на електроенергію для низькочастотних струмів:

$$З = Ц \cdot P, \quad (5.3)$$

де $Ц$ – ціна 1 кВт год, грн. ($Ц = 5,1$ грн.).

Вони становитимуть:

– для базового варіанту $З_6 = 5,1 \cdot 23116,73 = 117895,32$ грн;

– для проектованого $З_{п} = 5,1 \cdot 5214,29 = 26592,87$ грн.

4) Амортизаційні відрахування:

$$A = B \cdot N_a \cdot m, \quad (5.4)$$

де B – балансова вартість, грн.; N_a – норма амортизації обладнання, % ($N_a = 12$ %);

m – потрібна кількість грануляторів.

Амортизаційні відрахування дорівнюватимуть:

– для базового варіанта $A_6 = 349250 \cdot 0,12 = 41910$ грн.;

– для проектованого $A_{п} = 141875 \cdot 0,12 = 17025$ грн.

5) Витрати на проведення технічного обслуговування та ремонту:

$$T_p = B \cdot b \quad (5.5)$$

де b – коефіцієнт відрахування на поточний ремонт, ($b = 0,08$).

Звідси,

– для базового варіанту $T_{p6} = 349250 \cdot 0,08 = 27940$ грн.;

– для проектованого $T_{pп} = 141875 \cdot 0,08 = 11350$ грн.

6) Загальні річні експлуатаційні витрати дорівнюватимуть:

– для базового варіанту $З_{з6} = 430690$ грн.;

– для проектованого $З_{зп} = 315264,72$ грн.

7) Річний економічний ефект складе:

$$E_r = З_{зп} - З_{з6} \quad (5.6)$$

$$E_r = 430690 - 315264,72 = 115425,28 \text{ грн.}$$

8) Зниження собівартості корму:

$$C = E_r / W_r \quad (5.7)$$

де W_r – річний обсяг виробництва гранульованого корму, т.

$$C = 115425,28 / 182,5 = 632,4 \text{ грн./т}$$

Показники економічної ефективності впровадження проектного преса-гранулятора представлені у таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Показники економічної ефективності

Показники	Марка		Різниця показників
	«BRONTO» E-150	проектований	
Балансова вартість, грн.	349250	141875	82950
Заробітна плата, грн.	242944,7	260296,9	– 6940,87
Витрати електроенергію, грн.	117895,3	26592,88	36520,98
Амортизація, грн.	41910	17025	9954
Поточний ремонт, грн.	27940	11350	6636
Річний економічний ефект, грн.	–	115425,3	–
Зниження собівартості 1 т комбікорму, грн/т	–	632,5	–

ВИСНОВКИ

1. Проведений аналіз літератури дозволив встановити, що великі питомі енерговитрати на процес пресування в гвинтових пресах пов'язані із силами тертя кормового матеріалу про внутрішні поверхні формуючих каналів фільтери та мають статичну залежність від їхньої довжини. Довжина формуючих каналів не може бути зменшена, тому що в цьому випадку зменшиться час релаксації, що призведе до зниження міцності гранул.

2. Розроблена нова конструкція формуючої головки, що поєднує порожнисту циліндричну фільтеру з пазами, що формують, на внутрішній поверхні і подовжений вихідний вал гвинта, що проходить усередині фільтери і має багатозахідну нарізку на $1/2-2/3$ довжини. Багатозахідна нарізка створює додаткову рушійну силу, а гладка частина за рахунок обертання змінює кут нахилу вектора сили тертя кормової маси, полегшуючи її просування. За рахунок цього дана конструкція формуючої головки має знижений протитиск.

3. У ході теоретичного дослідження руху кормової маси у формуючій головці були отримані вирази для визначення тертя між шарами маси, що знаходяться в суміжних порожнинах формуючої голівки і між масою і деталями голівки на різних її ділянках, а також вирази для визначення протитиску, що створюється головою, що формує. Було виведено закономірності зміни сил тертя кормової маси від довжини формуючої голівки. Отримано формули для розрахунку продуктивності преса та потужності, що споживається на процес пресування.

4. За основні показники якості процесу гранулювання кормосуміші були прийняті питома потужність, що витрачається на пресування 1 кг корму та міцність отриманих гранул. Експериментальні дослідження дозволили виділити фактори, що суттєво впливають на дані показники та визначити їх прийнятні значення:

– довжина фільтери $L = 62$ мм;

– вологість вихідної суміші $W = 24,5$ %;

– частота обертання гвинта $\omega = 22,13$ рад/с;

а також кут нахилу гвинтових ліній багатозахідної втулки – 40° При цьому

було помічено, що найбільше значення міцності гранул досягається при пресуванні суміші, що складається з зерна та стеблових кормів, а найменше значення питомої потужності - при пресуванні зернової суміші.

5. Температура, що досягається кормовим матеріалом у процесі пресування (~ 90 °С) за порівняно невеликий час пресування (< 10 с) не призводить до суттєвого зниження вмісту поживних речовин.

6. Оскільки у складі гранул переважають частинки розміром 0,25–3 мм, то для стабілізації процесу травлення у жуйних рекомендується згодовувати їм гранули разом із грубими стебловими кормами.

7. Базуючись на нормативній документації і згідно вимог охорони праці розраховано баланс повітряного середовища і штучного освітлення приміщення із обладнанням відповідно до технологічної лінії приготування комбікормів з додаванням макухи. Розроблені вимоги безпеки праці при експлуатації розробленого гранулятора.

8. Технічний аналіз гвинтового гранулятора показав, що дана машина має порівняно легкий запуск, не вимагає прогріву перед початком роботи і має в 4 рази меншу питому енергоємність порівняно з існуючими серійними зразками гвинтових грануляторів. Річний економічний ефект проекту становив 115425,3 грн.

Бібліографія

1. Пріоритетні завдання аграрної науки України / М.В. Зубець, В.П. Ситник, М.Д. Безуглий [та ін.]. – К. : Національний науковий центр «Інститут аграрної економіки», 2008. – 32 с.
2. Концепція наукового забезпечення установами УААН розвитку галузей агропромислового комплексу України в 2011-2015 роках / М.В. Зубець, В.П. Ситник, М.Д. Безуглий [та ін.]. – К. : УААН, 2009. – 22 с.
3. Мустецов Т. М. Теорія біотехнічних систем : навчальний посібник / Т.М. Мустецов, А.С. Нечипоренко. – Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2015. – 188 с.
4. Шацький В.В. Методология совершенствования технологического обеспечения животноводства / В.В. Шацький // Науковий вісник НУБіП України. Серія: техніка та енергетика АПК / Редкол. : С. М. Ніколаєнко (відп. ред.) та ін. – К., 2016. – Вип. 254. – С. 334-344.
5. Фененко А.І. Раціональні параметри та режимні характеристики функціонування складових біотехнічної системи виробництва молока / А.І. Фененко, С.П.Москаленко, В.В.Ткач, О.В.Пономаренко // Молочное дело. – 2013. – №3. – С. 16-18.
6. Фененко А.І. Напрями технологічного і технічного відтворення індустриальних ферм з виробництва молока / А.І. Фененко, С.П. Москаленко, Р.Б. Кудринський, П.М. Михайленко, В.В. Ткач // Вісник аграрної науки. – 2012. – № 5. – С. 48-52.
7. Зубець М. В. Економічні аспекти реформування аграрно-промислового комплексу України / М.В. Зубець, М.Д. Безуглий. – К. : Аграрна наука, 2010. – 17 с.
8. Сергієва Н. Якісні грубі корми – запорука високих надоїв молока / Н. Сергієва // Техніка і технології АПК. – 2013 . – № 6 (45). – С. 18-19.
9. Dictionary of Agriculture (third edition) [text production and proofreading Heather Bateman, Steve Curtis, Katy McAdam]. – London : A&C Black Publishers Ltd., 2006. – 289 p.

10. Dictionary of food science and nutrition [text production and proofreading Heather Bateman, Howard Sargeant, Katy McAdam]. – London : A&C Black Publishers Ltd., 2006. – 289 p.
11. Michard J. Feeding micro-pellets to newly hatched chicks to improve growth rate / J. Michard // *International Hatchery Practice* – 2014. – Vol. 28, 4. – P. 21-23.
12. Чернюк С.В. Удосконалення окремих елементів технології вирощування телят в молочний період : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 06.02.04 / С.В. Чернюк. – Київ, 2010. – 20 с.
13. Антонюк Т.А. Вирощування бугайців на м'ясо за обмеженого використання незбираного молока : автореф. дис. ... канд. сільськогосп. наук : 06.02.04 / Т.А. Антонюк. – Київ, 2007. – 22 с.
14. Мещеряков А.Г. Наукові і практичні підходи раціонального використання кормового протеїну в раціонах м'ясної худоби з урахуванням особливостей його метаболізму: автореф. дис. докт. ...біол. наук: 06.02.02, 2008. 51 с.
15. Skoch E.R. Effects of pelleting conditions on performance of pigs fed a corn-soybean meal diet / E.R. Skoch, S.F. Binder, C.W. Deyoe, G.L. Allee, K.C. Behnke // *J. Anim. Sci.* – 1983. – Vol. 57. – P. 922-928.
16. Hanrahan T.J. Effect of pellet size and pellet quality on pig performance / T.J. Hanrahan // *Anim. Feed Sci. Technol.* – 1984. – Vol. 10. – P. 277-283.
17. Богдан Ю.А. Продуктивність молодняку кролів при згодовуванні повнораціонних комбікормів з різним рівнем метіоніну / Ю.А. Богдан, Р.М. Чичик // *Науковий вісник НАУ.* – 2008. – Вип. 126. – С. 213-220.
18. Хоренжий Н.В. Розробка технології виробництва комбікормової продукції з використанням кормових трав для великої рогатої худоби : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.02 / Н.В. Хоренжий. – Одеса, 2006. – 192 с.
19. Гетя А.А. Сучасні технології годівлі свиней : рекомендації / А.А. Гетя, В.Ф. Петриченко, В.Н. Тимченко [та ін.]. – 7 вид. перероб. і доп. – Полтава : ІС НААН, 2010. – 84 с.

20. Василенко С.М. Дослідження вмісту важких металів і нітратів у томат-продуктах / С.М. Василенко, Т.О. Ващук, В.В. Шутюк, В.І. Бондар // Наукові праці НУХТ. – 2009. – Вип. № 29. Розділ II. – С. 88-90
21. Sun Tiehu The effect of extrusion cooking of different starch sources on the in vitro and in vivo digestibility in growing pigs / Tiehu Sun, Helle Nygaard Lærke, Henry Jørgensen, Knud Erik Bach Knudsen // *Animal Feed Science and Technology*. – 2006. – Vol. 131, Issue 1. – P. 67-86.
22. Steidinger M.U. Effects of pelleting and pellet conditioning temperatures on weanling pig performance / M.U. Steidinger, R.D. Goodband, M.D. Tokach, S.S. Dritz, J.L. Nelssen, L.J. McKinney, B.S. Borg, J.M. Campbell // *Journal of animal science*. – 2000. – Vol. 78 (12). – P.: 3014-3018.
23. Neves C.A. Intake, whole tract digestibility, milk production, and milk composition of Holstein cows fed extruded soybeans treated with or without lignosulfonate / C.A. Neves, G.T. Santos, M. Matsushita, E.M. Alves, R.L. Oliveira, A.F. Branco, D.C. Silva, A.C. Furlan, H.V. Petit // *Animal Feed Science and Technology*. – 2007. – Vol. 134, Issue 1. – P. 32-44.
24. Bayourthe C. Effect of extruded lupin seeds as a protein source on lactational performance of dairy cows / C. Bayourthe, R. Moncoulon, F. Enjalbert // *Animal Feed Science and Technology*. – 1998. – Vol. 72, Issue 1 – P. 121-131.
25. Ребиндер П.А. Физико-химическая механика и технический прогресс / П.А. Ребиндер // *Будущее науки*. – М. : Знание, 1973. – с. 174-189.
26. Stevens C.A. Starch gelatinization and the influence of particle size, steam pressure and die speed on the pelleting process : Ph.D. Thesis // C.A. Stevens. – Kansas State University, 1987. – 86 p.
27. Li Yong Corn extrusion and enzyme addition improves digestibility of corn/soy based diets by pigs: In vitro and in vivo studies / Yong Li, Zhengfeng Fang, Jinjun Dai, Gary Partridge, Yingjun Ru, Jian Peng // *Animal Feed Science and Technology*. – 2010. – Vol. 158, Issue 3. – P. 146-154.
28. Fan L.T. Diffusion coefficients of water in wheat kernels / L.T. Fan, D.S. Chung, J.A. Shellenberger // *Cereal Chem*. – № 38, 6. – 1961. – P. 540-548.

29. Becker H. A theoretical study of the mechanism of moisture diffusion in wheat / H.A. Becker, H.K. Sallans // *Cereal Chem.* – № 34, 6. – 1957. – P. 395-402.
30. Kunze O.R. Relative humidity changes that cause brown rice to crack / O.R. Kunze, C.W. Halb // *Trans. Am. Soc. Agr. Eng.* – № 8, 3. – 1965. – P 396-405.
31. Lundblad K.K. The effect of adding water into the mixer on pelleting efficiency and pellet quality in diets for finishing pigs without and with use of an expand-er / K.K. Lundblad, J.D. Hancock, K.C. Behnke, E. Prestløkken, L.J. McKinney, M. Sørensen // *Animal Feed Science and Technology.* – 2009. – Vol. 150, Issue 3. – P. 295-302.
32. Sørensen M. Soybean meal improves the physical quality of extruded fish feed / M. Sørensen, N. Stjepanovic, O.H. Romarheim, T. Krekling, T. Storebakken // *Animal Feed Science and Technology.* – 2009. – Vol. 149, Issue 1. – P. 149-161.
33. DeFrain J.M. Development and evaluation of a pelleted feedstuff containing condensed corn steep liquor and raw soybean hulls for dairy cattle diets / J.M. DeFrain, J.E. Shirley, K.C. Behnke, E.C. Titgemeyer, R.T. Ethington // *Animal Feed Science and Technology.* – 2003. – Vol. 107, Issue 1. – P. 75-86.
34. Алієв Е. Б. (2023). Чисельне моделювання процесів агропромислового виробництва: підручник. Київ: Аграрна наука, 340 с. ISBN 978-966-540-584-9. DOI: 10.31073/978-966-540-584-9
35. Алієв,Е. Б.,Пацула, О. М., Гриценко, В. Т. (2017). Технологія комплексної безвідхідної переробки макухи з насіння олійних культур з одержанням високоякісних повноцінних протеїнових добавок у вигляді пелет та твердого біопалива : Науково-методичні рекомендації. Інститут олійних культур Національної академії аграрних наук України. Електронний аналог друкованого видання (електронна книга). Запоріжжя : СТАТУС. ISBN 978-617-7353-59-0.
36. Алієв, Е. Б., Миколенко, С. Ю., Сова, Н. А. та ін. (2022). Техніко-технологічне забезпечення безвідходної переробки зернової сировини у харчові продукти і корми: колективна монографія / за заг. ред. Е. Б. Алієва. Дніпро: ЛІРА. 192 с. ISBN 978-966-981-687-0.

37. Aliiev, E., Dudin, V., Linko, M. Physico-mathematical apparatus for numerical modelling of feed expander. *Machinery & Energetics*, 2022. 13(3), 9-16. DOI: 10.31548/machenergy.13(3).2022.9-16

38. Алієв Е.Б., Лінко М.О. Аналіз техніко-технологічного оснащення процесів експандованого приготування кормів. *Техніка, енергетика, транспорт АПК. ВНАУ*. 2022. № 1 (116). С. 51-57.

39. Алієв Е.Б., Лінко М.О. Методика чисельного моделювання процесу експандованого приготування кормів. *Наукові аспекти формування сучасних агротехнологій – інновації молодих вчених для забезпечення сталого розвитку агропромислового комплексу: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених, присвяченої Дню науки (20 травня 2022 року, м. Херсон)*. Херсон: ІЗЗ НААН, 2022. С. 160-161.

40. Алієв Е.Б., Лінко М.О. Аналіз техніко-технологічного оснащення процесів експандованого приготування кормів. *Корми і факти*. 2022. № 9 (145). С. 8-10.

41. Алієв Е. Б., Лінко М. О., Алієва О. Ю. Симуляція процесу експандованого приготування кормів. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2022. Вип. 5(36), ч.ІІ. С. 176-185. DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).2.176-185](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).2.176-185)

42. Алієв Е., Лінко М. Експандоване приготування кормів. *Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Досягнення та перспективи галузі виробництва, переробки і зберігання сільськогосподарської продукції»*. Кропивницький: ЦНТУ. 2022. С. 38-40.

43. Алієв Е. Б., Дудін В. Ю., Лінко М. О. (2023). Результати лабораторних досліджень процесу формування експандатів. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2 (109): 20-29. DOI: 10.37128/2306-8744-2023-2-3.

44. Алієв Е. Б., Павленко С. І. (2023). Симуляція процесу формування бурта і змішування компонентів компостної суміші однобарабаним аератором. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2 (109): 30-39. DOI: 10.37128/2306-8744-2023-2-4.

45. Aliiev, E. B. (2023). The prospects of quantitative phenotyping of oilseed crops. *Agrology*, 6(3), 49–59. DOI: 10.32819/021109

46. Алієв Е.Б., Лінко М.О. (2023). Порівняння результатів чисельного моделювання і лабораторних досліджень процесу пресування комбікорму. XII Міжнародна науково-технічна конференція «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві» (02-20 жовтня 2023 р.). ІМА АПВ, НУБіП. <http://animal-conf.inf.ua/conf.html>

47. Алієв Е.Б., Лінко М.О. (2023). Результати чисельного моделювання формуючої насадки експандера кормів. Міжнародної науково-практичної конференції «Використання сучасних технологій та техніки в аграрному виробництві» (20-21 квітня 2023 р.): зб. наукових праць, 17–22.

48. Алієв Е. Б., Лінко М. О. (2023). Обґрунтування конструктивних параметрів формуючої насадки експандера кормів. *Механіка та автоматика агропромислового виробництва*, 2 (216): 143–152. DOI: 10.37204/2786-7765-2023-2-15.

49. Алієв Е. Б., Лінко М. О. (2023). Експериментальні дослідження експандера кормів. Збірник тез доповідей XXIV Міжнародної наукової конференції «Сучасні проблеми землеробської механіки» (17–19 жовтня 2023 року). Національний університет біоресурсів і природокористування України: 229–232.

50. Алієв Е.Б. Методика експериментальних досліджень установки для виготовлення пелет з білкової фракції макухи насіння олійних культур / Е.Б. Алієв, О.М. Пацула, В.Л. Кутіщев // *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природовикористання України. Серія: Техніка та енергетика АПК.* – К., 2015. – Вип. 212, ч.2. – С. 63-69.

51. Алієв Е.Б. Результати експериментальних досліджень установки для виготовлення пелет з білкової фракції макухи олійних культур / Е.Б. Алієв, О.М. Пацула // *Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН – Запоріжжя*, 2015. – Випуск 22. – С. 150-158. – ISSN 2078-7316.

52. Алієв Е.Б. Визначення конструктивних параметрів формуючих кулачків установки для виготовлення пелет / Е.Б. Алієв, Лабатюк Ю.М., Пацула

О.М. // Вісник Степу. Науковий збірник. «Стан та перспективи розвитку агропромислового виробництва України». – Вип. 13. – Кіровоград, КОД, 2016. – С. 125-128. – ISBN 978-617-653-010-7.

53. Алієв Е. Б. Техніко-економічна оцінка ефективності технології комплексної безвідхідної переробки макухи з насіння олійних культур / Е.Б. Алієв, О. М. Пацула // Збірник тез Міжнародної наукової інтернет-конференції «Олійні культури. тенденції та перспективи» (1 листопада 2016 р.). – Запоріжжя: ІОК НААН, 2016. – С. 136-137.

54. Алієв, Е. Б., Яропуд, В. М., Гаврильченко, О. С., Іванченко О. В., Пацула, О. М. (2018). Установа для виготовлення паливних брикетів. Всеукраїнський науково-технічний журнал «Техніка, енергетика, транспорт АПК». №4 (103). С. 69-74.