

УДК 636.361
№ держреєстрації 0116U002721
Інв. №

Міністерство освіти і науки України
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного
72312, Запорізька обл. м Мелітополь, пр. Б. Хмельницького, 18
тел. (0619) 42-05-70

НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ
МЕХАНІЗАЦІЇ ЗЕМЛЕРОБСТВА ПІВДНЯ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО АГРОТЕХНОЛОГІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ


Відділ “Ресурсозбереження в технологічних процесах АПК”
Науково-дослідна лабораторія “ Ресурсовикористання в тваринництві”


“ЗАТВЕРДЖУЮ”
професор з НР д.т.н., проф.
ВОЛОДИМИР Надикто
_____ 2020 р.

ЗВІТ
ПРО РОБОТУ НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ ЛАБОРАТОРІЇ
„РЕСУРСОВИКОРИСТАННЯ В ТВАРИННИЦТВІ”
(заключний)

Підпрограма: Розробити технічні засоби для приготування кормів та компостної суміші

Завідувач відділу:
д.т.н., проф.





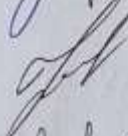


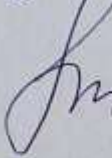
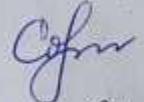


ВОЛОДИМИР Дідур

Завідувач лабораторією:
д.т.н., проф.

ДМИТРО Мілько

ТДАТУ, 2020
Результати роботи розглянуто НТР НДІ,
протокол від 30.12.2020 р., № 2

СПИСОК АВТОРІВ

Завідувач лабораторії, докт. техн. наук., професор		Д.О. Мілько (реферат, вступ, розділи 1, 2, 3, висновки)
Канд. техн. наук., професор		О.Г. Скляр (участь у 3.2)
Канд. техн. наук., доцент		Б.В. Болтянський (участь у 4.4)
Канд. техн. наук., доцент		Р.В. Скляр (участь у 4.3)
Канд. техн. наук., доцент		Н.І. Болтянська (участь у 4.2)
Старший викладач		С.В. Дереза (участь у 4.2)
Інженер		С.М. Григоренко (участь у 3.1)
Інженер		Е.М. Ратніков (участь у 3.3)
Старший лаборант		О.О. Солодка (участь у 3.2)
Технік		А.С. Комар (участь у 4.2)

УДК 636.361
№ держреєстрації 0116U002721
Інв. №

Міністерство освіти і науки України
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного
72312, Запорізька обл. м Мелітополь, пр. Б. Хмельницького, 18
тел. (0619) 42-05-70

НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ
МЕХАНІЗАЦІЇ ЗЕМЛЕРОБСТВА ПІВДНЯ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО АГРОТЕХНОЛОГІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ

Відділ “Ресурсозбереження в технологічних процесах АПК”
Науково-дослідна лабораторія “ Ресурсовикористання в тваринництві”

“ЗАТВЕРДЖУЮ”
Проректор з НР д.т.н., проф.
В.Т. Надикто
“ _____ ” _____ 2020 р.

ЗВІТ
ПРО РОБОТУ НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ ЛАБОРАТОРІЇ
„РЕСУРСОВИКОРИСТАННЯ В ТВАРИННИЦТВІ”
(заключний)

Підпрограма: Розробити технічні засоби для приготування кормів та
компостної суміші

Завідувач відділу:
д.т.н., проф.

ВОЛОДИМИР Дідур

Завідувач лабораторією:
д.т.н., проф.

ДМИТРО Мілько

ТДАТУ, 2020
Результати роботи розглянуто НТР НДІ,
протокол від

СПИСОК АВТОРІВ

Завідувач лабораторії, докт. техн. наук., професор	Д.О. Мілько (реферат, вступ, розділи 1, 2, 3, висновки)
Канд. техн. наук., професор	О.Г. Скляр (участь у 3.2)
Канд. техн. наук., доцент	Б.В. Болтянський (участь у 4.4)
Канд. техн. наук., доцент	Р.В. Скляр (участь у 4.3)
Канд. техн. наук., доцент	Н.І. Болтянська (участь у 4.2)
Старший викладач	С.В. Дереза (участь у 4.2)
Інженер	С.М. Григоренко (участь у 3.1)
Інженер	Е.М. Ратніков (участь у 3.3)
Старший лаборант	О.О. Солodka (участь у 3.2)
Технік	А.С. Комар (участь у 4.2)

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 70 с., 15 рис., 28 посилань.

Об'єкти досліджень:

Потокова сушарка зерновмісних матеріалів, метаногенератор, екструдер, гранулятор, кормороздавач - розкидач.

Мета роботи: підвищення продуктивності праці, зменшення енергетичних витрат та підвищення якості виконання технологічних процесів утилізації пташиного посліду з отриманням якісного кормового, паливного або добривного матеріалу.

Методи досліджень.

Попередні дослідження проводились шляхом аналізу існуючих конструкцій та технологій виконання запропонованих технологічних процесів. Обробка результатів теоретичних досліджень планується виконуватись із використанням персонального комп'ютера та програмних комплексів MathCad та Statistica.

В результаті проведених досліджень:

- Розроблено дослідні зразки барабанної сушарки зерновмісної сировини, екструдера, обладнання для отримання біогазу, гранулятора, потокового змішувача комбінованих кормів;
- Визначено оптимальні параметри кормороздавача-розкидача підстилки;
- Розроблено рекомендації щодо підвищення ефективності функціонування молочно-товарнох ферми.

СУШАРКА БАРАБАННА, ПТАШИНИЙ ПОСЛІД, ГРАНУЛЬОВАНИЙ МАТЕРІАЛ, ГРАНУЛИ, ЕКСТРУДАТ, ПОТОКОВА СУШАРКА, БІОГАЗ, КОРМОРОЗДАВАЧ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ПРОГРАМА ДОСЛІДЖЕНЬ.....	6
2 ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	6
3 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ.....	9
3.1 Методика експериментальних досліджень сушарки барабанної.....	9
3.2 Методика експериментальних досліджень біогазової установки	13
3.3 Методика експериментальних досліджень екструдеру зерновмісних матеріалів.....	18
4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	23
4.1 Результати експериментальних досліджень по визначенню потужності, споживаної на привод робочих органів мобільного розкидача солом'яної підстилки	24
4.2 Теоретичне дослідження взаємодії пресованого матеріалу з робочими органами прес-гранулятора в умовах торцевого обмеження клиновидного простору	28
4.3 Дослідження оптимальних параметрів та режимів роботи метантенків в умовах клиновидного простору	
4.4 Оптимізація добового раціону годівлі дійних корів.....	50
ВИСНОВКИ.....	43
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	45

ВСТУП

У нових умовах формування економічних відносин на селі та розвитку невеликих фермерських господарств першочергове значення має розробка та впровадження у виробництво енергоощадних малогабаритних засобів механізації, які мають високу експлуатаційну надійність.

Актуальність теми обумовлена тим, що для інтенсифікації галузі тваринництва, зокрема, забезпечення якості та зниження втрат основного продукту комплексну механізацію приготування кормових раціонів слід виконувати на основі застосування передових досліджень в галузі зоотехнії.

Існуючі засоби механізації, які суттєво підвищують продуктивність процесу створення повноцінних кормів та знижують його трудомісткість, мають велику масу, та значну питому енергоємність. Використання цих змішувачів на невеликих фермах призводить до необґрунтованої витрати енергії або паливно-мастильних матеріалів, що підвищує собівартість кормових матеріалів. Це також стосується ситуації з переробкою відходів тваринницьких підприємств. Велика кількість пташиного посліду, яка, до речі, має високу вихідну поживність, не використовується ані на енергетичні властивості ані на кормові. Лише деяка частка, після витримки, може потрапляти до полів у якості добрив.

Застосування потокової сушарки з лопатевим барабаном та подальшим екструдуванням зерновмісних матеріалів є провідною ідеєю даної роботи. Для створення подібного сушарного комплексу в основу покладено використання ідеї створення вихрового потоку теплого повітря в середині барабану, що забезпечить збільшенню часу контактування теплоносія із матеріалом, що піддається сушінню та подальшого нагрівання без використання зовнішніх джерел.

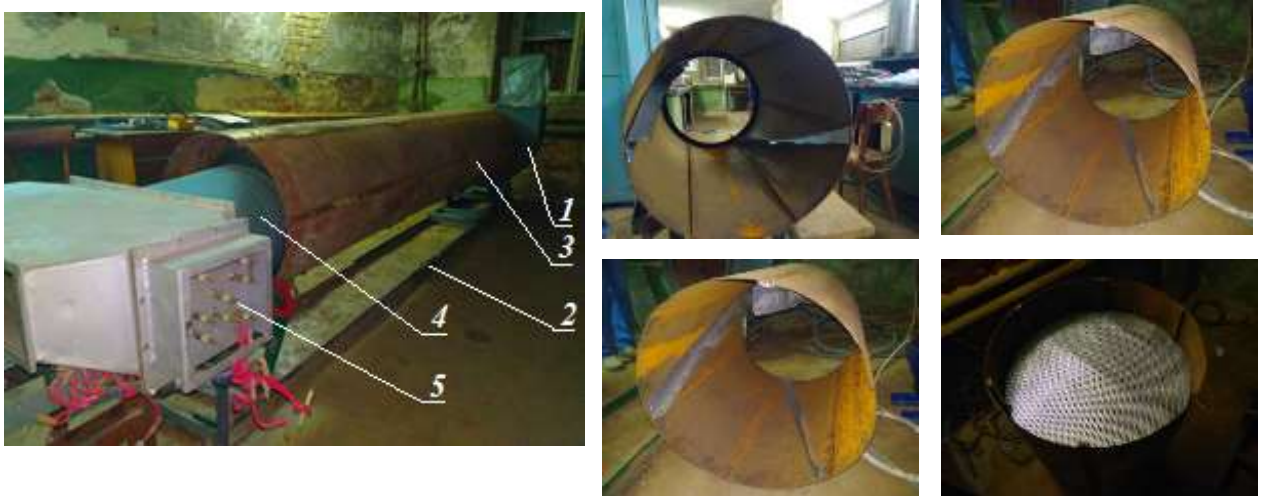
В основу досягнення поставленої мети покладено перевірку сформульованої нами **робочої гіпотези**, суть якої полягає у використанні різної геометрії барабану сушарки та застосуванні різної форми лопатей, що дозволяє контролювати фізико-механічні показники матеріалу, який підлягає сушінню.

1 ПРОГРАМА ДОСЛІДЖЕНЬ

- 1.1. Визначення впливових факторів та інтервалів варіювання процесів сушіння, екструдуювання зерновмісних матеріалів, метаногенерації, гранулювання та змішування комбінованих комрів створенням лабораторного обладнання;
- 1.2. Провести експериментальні дослідження кормороздавача-розкидача;
- 1.3. Провести теоретичне обґрунтування взаємодії пресованого матеріалу з робочими органами прес-гранулятора в умовах торцевого обмеження клиновидного простору.

2 ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 **Об'єкт досліджень** – барабанна сушарка з електричним підігрівачем сушарного агенту (рис. 2.1)



1 – вентилятор відцентровий; 2 – рама; 3 – барабан; 4 – дифузор; 5 – нагрівальний елемент

Рис. 2.1. Сушарка барабанна з електричним підігрівачем сушарного агенту

Коротка технічна характеристика сушарки барабанної

Конструктивна довжина, м	3,5
Кількість внутрішніх лопатей, шт..	4
Діаметр барабану, м	0,45
Кут нахилу секції барабану, град.	0 - 30

Встановлена потужність, кВт

9

2.2 Об'єкт досліджень – біогазова установка з автоматизованим керуванням температури субстрату (рис. 2.2).



1 – реактор, 2 – нагрівальний пристрій, 3 – газгольдер,
4 – терморегулятор МТР-2

Рис. 2.2. Експериментальна лабораторна біогазова установка

Коротка технічна характеристика сушарки барабанної

Об'єм бункера, л	20
Кількість вимірювальних газгольдерів ,шт.	5
Встановлена потужність, кВт	0,5
Тип нагрівального елемента	карбоновий

2.3 Об'єкт досліджень – екструдер зерновмісних матеріалів з холодним нагріванням (рис. 2.3).



Рис. 2.3. Екструдер зерновмісних матеріалів з холодним нагрівом

Коротка технічна характеристика екструдеру зерновмісних матеріалів

Діаметр гвинта, мм	40
Діаметр вихідного отвору фільтри, мм	10
Довжина гвинта, мм	450
Кут сходу до вихідного отвору, град.	45
Швидкість обертання, хв. ⁻¹	60

2.4 Об'єкт досліджень - гранулятор зерновмісних матеріалів (Рис. 2.4)



Рис. 2.4. Гранулятор зерновмісних матеріалів

Коротка технічна характеристика екструдера зерновмісних матеріалів

Діаметр матриці, мм	200
Діаметр вихідного отвору матриці, мм	6-12
Довжина гвинта, мм	450
Потужність двигуна, кВт	11
Швидкість обертання роликів, хв. ⁻¹	600

2.5 Об'єкт досліджень - змішувач комбінованих кормів (Рис. 2.5)

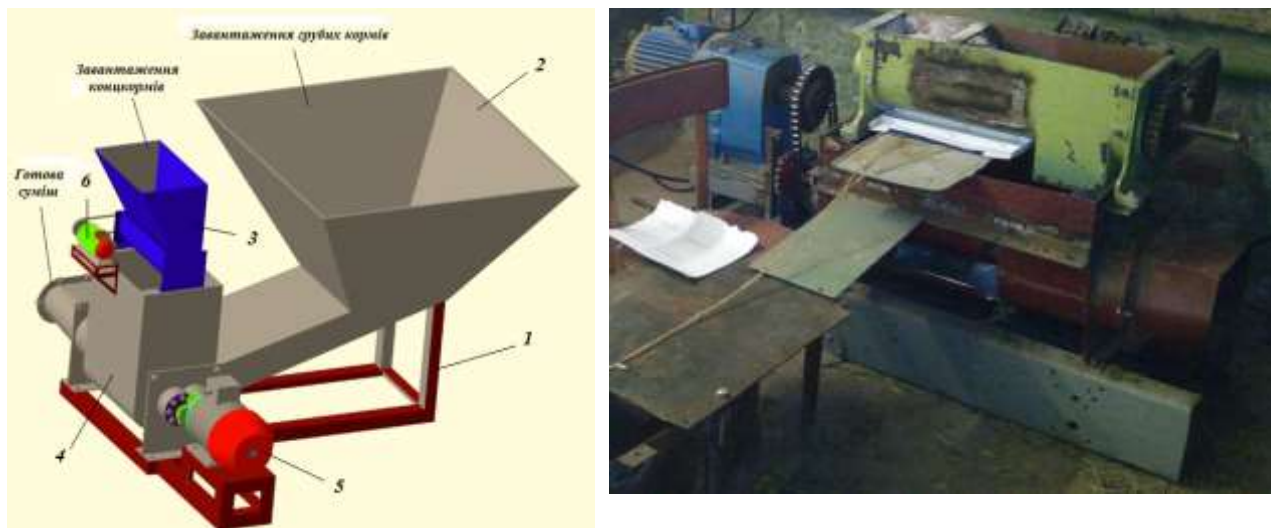


Рис. 2.5. Змішувач комбінованих кормів

3 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Методика експериментальних досліджень сушарки барабанної

Застосування математичних методів, зокрема математичного планування у декілька разів зменшує число дослідів, дає змогу оцінити роль впливаючих факторів; одержати математичну модель процесу і визначити оптимальні умови його параметрів та режимів і т. ін. Поєднання цього з застосуванням електрообчислювальної техніки, яка одержала зараз широкого розповсюдження, дозволяє швидко обробляти результати і вносити корективи в дослідження прямо в процесі їх виконання.

Для опису досліджуваного процесу в області оптимуму використовуються плани другого порядку, що дають можливість одержати функцію відгуку - математичну модель у вигляді полінома другого порядку

$$y = b_0 + b_i x_i + b_j x_i x_j + b_{ii} x_i^2, \quad (3.1)$$

де b_0 , b_i , b_{ij} , b_{ii} - коефіцієнти регресії.

Найбільш економічним проведенням експериментів, яке дозволяє одержати уяву про функцію відгуку - поліном другого порядку, є варіювання факторів на трьох рівнях.

Кодування факторів виконується по формулі

$$x_i = (X_i - X_{0i})/\varepsilon, \quad (3.2)$$

де x_i – кодоване значення фактору (безрозмірна величина), для верхнього, центру експерименту та нижніх рівнів, вони позначена відповідно +1, 0 і -1;

X_i - натуральне значення фактора;

X_{0i} – натуральне значення факторів на нульовому рівні;

ε - натуральне значення інтервалу варіювання фактора.

Інтервали і рівні варіювання факторів при проведенні лабораторних і експериментальних досліджень наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 - Рівні і інтервали варіювання факторів при дослідженнях

Рівні і інтервали варіювання	Кодоване значення	Фактори і їх позначення			
		Довжина барабану L , мм	Швидкість обертання барабану n , об/хв	Швидкість обертання вентилятору γ , %	Кут нахилу барабану α , град.
		X_1	X_2	X_3	X_4
Верхній рівень	+1	3,0	60	1500	30
Основний рівень	0	2,0	40	1000	20
Нижній рівень	-1	1,0	20	500	10
Інтервал варіювання	ε	0,5	20	500	10

Для трифакторного експерименту використана тривірнева матриця оптимального плану Бокса (B_3) наведена в табл.3.2, для чотирьохфакторного - матриця (B_4) для 4^x факторів (табл.3.3) [18].

Таблиця 3.2 - Трирівнева матриця оптимального плану Бокса другого порядку для трьох факторів (B_3)

№ дослід	Фактор			№ дослід	Фактор		
	x_1	x_2	x_3		x_1	x_2	x_3
1	-1	-1	-1	8	-1	0	0
2	1	-1	-1	9	1	0	0
3	-1	1	-1	10	0	-1	0
4	1	1	-1	11	0	1	0
5	-1	-1	1	12	0	0	-1
6	1	-1	1	13	0	0	1
7	1	1	1	14	0	0	0

Для визначення оптимальних параметрів та режимів роботи барабанної сушарки пташиного посліду, зокрема перевірки правильності одержаної розрахункової формули, яка визначає якісні показники барабанної сушарки екструдера з частками пташиного посліду. При сушці посліду витрати енергії на нагрівання робочого агенту, на його транспортування з обертанням залежить від конструктивних параметрів робочого органу (L, α), режимів роботи (γ, n).

При проведенні експерименту спочатку визначаються характеристики корму. На барабанну сушарку встановлюють внутрішні лопаті з потрібним кроком гвинтової лінії. Потім завантажуються бункер барабанної сушарки пташиного посліду, вмикається електричний мотор приводу вентилятору та нагрівальний елемент, після цього вмикається електричний мотор приводу барабану і виконується робочий прохід. При цьому реєструються енергетичні параметри та продуктивність.

Таблиця 3.3 - Трирівнева матриця оптимального плану Бокса другого порядку для чотирьох факторів (B_4)

№ дослід	Фактор				№ дослід	Фактор			
	x_1	x_2	x_3	x_4		x_1	x_2	x_3	x_4
1	-1	-1	-1	-1	13	-1	-1	1	1
2	1	-1	-1	-1	14	1	-1	1	1
3	-1	1	-1	-1	15	-1	1	1	1
4	1	1	-1	-1	16	1	1	1	1
5	-1	-1	1	1	17	-1	0	0	0
6	1	-1	1	1	18	-1	0	0	0
7	-1	1	1	1	19	1	0	0	0
8	1	1	1	1	20	0	-1	0	0
9	-1	-1	-1	-1	21	0	1	0	0
10	1	-1	-1	-1	22	0	0	-1	0
11	-1	1	-1	-1	23	0	0	1	-1
12	1	1	-1	-1	24	0	0	0	1

Отримані величини характеризують всі етапи процесів завантаження та сушіння.

Рівні і інтервали варіювання факторів при дослідженні впливу на продуктивність Q та енергоємність E процесу сушіння пташиного посліду, швидкість обертання барабану n , довжина барабану L , кут нахилу барабану α , швидкість обертання вентилятору γ , наведені в табл. 3.1.

В процесі цих досліджень також визначаються якісні показники роботи, тобто додаткове подрібнення часток у процесі транспортування в залежності від швидкості обертання n барабану і його середньої довжини L .

При виконанні лабораторних і експериментальних досліджень для реєстрації вимірюваних величин використовувались прилади, розташовані на спеціальному стенді, встановлюваному біля лабораторної установки та біля сушарки пташиного посліду і з'єднані з ними за допомогою електричних кабелів та шлейфів.

Вимірювання та реєстрація потужності споживаної на сушку застосовували Danfoss VLT Micro Drive FC51, що з'єднаний з персональним комп'ютером.

При проведенні лабораторних і експериментальних досліджень використовувались матеріали і зразки, отримані природнім шляхом, а саме відходи від життєдіяльності перепелів породи «Фараон», приймалися параметри і режими роботи, які відповідають тим, що мають прийматися для барабанної сушарки, коефіцієнти геометричної, кінематичної та динамічної подібностей дорівнювалися одиницям, тому отримувані результати не вимагали перерахунків.

Результати запису діаграм, їх розшифровка і обробка виконувалась із допомогою програмного комплексу МСТ-10, одержуваний цифровий матеріал оброблявся на IBM PC з використанням програмного комплексу Statistica.

При дослідженнях прийнята трьохкратна повторюваність дослідів. Дані, отримані у результаті паралельних замірів, згідно центральній граничній теоремі, розподіляються по нормальному закону. Вони замінюються середнім арифметичним значенням, тобто найбільш імовірним значенням величини, що вимірюється [1, 2]. При неодноразовому вимірюванні якихось з величин отримані результати можуть викликати сумнів у їх достовірності, тому здійснюється перевірка гіпотез про грубі помилки та про випадковість вибірки за допомогою гіпотези виключення грубих помилок з використанням критерію Стьюдента і метода різниць.

При умові, що гіпотеза про випадковість вибірки відкидається, тобто вибірка не випадкова, що забезпечує з імовірністю 95% помилку менше трьох стандартів.

Застосування математичних методів, зокрема математичного планування у декілька разів зменшує число дослідів, дає змогу оцінити вплив факторів; одержати математичну модель процесу та визначити оптимальні умови його параметрів і режимів і т.ін. Поєднання цього із застосуванням

електрообчислювальної техніки, яка отримала зараз широкого розповсюдження, дозволяє швидко обробляти результати і вносити корективи в дослідження прямо в процесі їх виконання.

Для опису досліджуваного процесу в області оптимуму використовуються плани другого порядку, що дають можливість одержати функцію відгуку - математичну модель у вигляді полінома другого порядку [3, 4]. Найбільш економічним - дозволяючим одержати представлення про неї є варіювання факторів на двох рівнях [3, 4].

Відтворюваність дослідів перевіряється по критерію Кохрена.

Коефіцієнти математичної моделі другого порядку розраховуються за допомогою ЕОМ. Перевірка їх значимості виконується по критерію Стьюдента, а придатність отриманої математичної моделі, тобто її адекватність перевіряється за допомогою критерію Фишера.

Аналіз математичної моделі факторів

1. Аналіз і дослідження рівняння (1), яке представляє математичну модель, яка описує досліджуваний процес чи параметри або режими роботи, в вигляді полінома другого порядку, дозволяє визначити центр поверхні відгуку та її тип та визначити оптимум досліджуваних параметрів.

2. Розв'язання цих задач здійснюється за допомогою методів аналітичної геометрії та лінійної алгебри. Визначення і аналіз типу поверхні відгуку рівняння виконується приведенням рівняння (1) до канонічної форми вигляду з використанням для полінома оптимальної точки критерію оптимізації [8].

3. Для аналізу поверхні відгуку досліджуваних пар факторів, яка описується рівнянням регресії, здійснюється за допомогою двовимірних перетинів при нульових, або інших фіксованих рівнях інших факторів [9].

4. При підстановці різних значень показників факторів одержуються рівняння відповідних контурних кривих, що представляють лінії рівного значення досліджуваного фактора.

5. Рівняння другого ступеню може визначити еліпс (при $J > 0$), гіперболу (при $J < 0$), або параболу (при $J = 0$). При $J = 0$ ці лінії будуть дійсними, а при $J \neq 0$ вони вироджуються у точку. Окрім того еліпс може бути ще удаваним, тобто його осі не матимуть позитивних значень [10].

3.2 Методика експериментальних досліджень біогазової установки

В залежності від мети та очікуваних результатів експериментальних досліджень процесу метанового бродіння можна виділити два основні методи – дослідження в періодичному та у проточному режимі. Визначені за результатами обох методів параметри процесу (вихід та склад біогазу, кінетичні параметри процесу) використовуються для чисельного моделювання процесу метанового бродіння для умов промислових біогазових реакторів. Основною задачею досліджень в проточному режимі є відпрацювання оптимального технологічного режиму до досягнення стабільних, найбільших можливих показників швидкості виходу біогазу. В ході таких досліджень можна відслідкувати зміну показників хімічного складу зброджуваної суміші в реакторі та їх вплив на швидкість виходу біогазу. Також, шляхом зміни величин гідравлічного та органічного навантаження можливо дослідити граничні режими, що призводять до повного розбалансування процесу метанового бродіння. В усталеному режимі можливо дослідити вплив зовнішніх факторів, як то температурного режиму, гідродинамічного режиму, умов перемішування, фізичного та/або хімічного впливів, на швидкість виходу біогазу та стійкість біохімічного процесу. При зміні величини органічного навантаження проточного біореактора можливо також дослідити кінетичні параметри процесу. Одним з недоліків даного методу є складність оцінювання ступеня біодоступності органічної речовини в процесі метанового бродіння. Оцінити можливо лише фактичний ступінь розпаду органічної речовини, що втім не дає уявлення про повноту розпаду біодоступної її частини. Окрім цього, реалізація проточного режиму передбачає постійне внесення свіжої маси субстрату, що у випадку з

гноймовими відходами фактично означає довготривалу інсталяцію дослідної установки в безпосередній близькості до тваринницької ферми.

Дослідження в періодичному процесі передбачає інокуляцію та витримання підготовлених сумішей в заданому температурному режимі протягом тривалого періоду часу (не менше 20 діб) [3, 10], в залежності від задач досліджень. При цьому, свіжий субстрат в ході дослідження не додається, як і не відбирається зброджена маса. Основними задачами, що вирішуються в даному методі досліджень, є оцінка потенціалу виходу біогазу та метану із субстратів та ступеня біодоступності органічної речовини субстратів при метановому бродінні. Метод дослідження процесу метанового бродіння у періодичному режимі є порівняно недорогим та придатним способом для порівняльного аналізу при одночасному збродженні численних, відмінних за складом сумішей субстратів та інокуляту. Особливою задачею може бути встановлення граничного співвідношення органічної речовини субстрату до клітинної маси бактерій, при якому припиняється виділення біогазу, а відтак має місце критичне інгібування процесу метанового бродіння. Аналіз кінетики розпаду субстрату, оціненого за виходом основного продукту процесу – біогазу, дозволяє також оцінити кінетичні константи процесу загалом або окремих його реакцій, як то константу напівнасичення, константу швидкості розпаду органічної речовини, коефіцієнт інгібування, тощо. Недоліком методу періодичного збродження є складність оцінки впливу фізико-хімічного складу вхідної сировини на стабільність та ефективність процесу метанового бродіння, оскільки концентрації окремих елементів субстрату в суміші з інокулятом, відмінного за складом від субстрату, можуть суттєво відрізнятись від таких в умовах роботи біореакторів проточного типу. Таким чином, показники виходу біогазу, змодельовані за результатами періодичного метанового бродіння, можуть не відповідати дійсним при реалізації проточного процесу. Швидкість виходу біогазу при досягненні в реакторі рівноважної концентрації окремих елементів субстрату може впасти до «нуля», що може

бути викликано надмірно високою концентрацією окремої інгібуючої речовини або ж надмірно низькою концентрацією окремих макро- та мікронутрієнтів, необхідних для збалансованого розвитку популяції бактерій метанового бродіння. Не дивлячись на певні обмеження, дослідження процесу метанового бродіння в періодичному режимі дозволяє вирішити поставлені в даній роботі задачі досліджень, а тому його реалізовано в даній роботі. При цьому, з огляду на те, що сумісне метанове бродіння пташиного посліду та рослинних відходів є апробованою промисловою технологією, робиться припущення, що досліджені експериментально та змодельовані числовим методом показники виходу біогазу будуть корелюватись між собою з достатнім рівнем достовірності, а фізико-хімічний склад суміші таких субстратів буде мати неістотний вплив на стабільність процесу в межах робочих режимів біореактора проточного типу.

Визначення сухих речовин у перепелиному посліді і активному мулі здійснювалось ваговим методом.

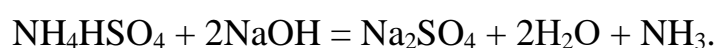
Визначення сухих речовин у посліді полягає у висушуванні залишку при 105 °С до постійної маси та зважуванні.

Визначення сухих речовин у активному мулі полягає у випарюванні певного об'єму відібраної проби на водяній бані, висушуванні залишку при 105 °С до постійної маси та зважуванні.

Для визначення **зольності** посліду та активного мулу сухий залишок прожарюють в муфельній печі при 600 °С до постійної маси та після охолодження в ексікаторі зважують [4,6].

Загальний азот визначався методом К'ельдаля. Органічні речовини окиснюються конц. H_2SO_4 при нагріванні. Продуктами окиснення є вуглекислота, оксид сірки (II), вода і аміак. Аміак зв'язується сірчаною кислотою в гідросульфат амонію NH_4HSO_4 .

Одержаний гідросульфат розкладають 40% розчином їдкого лугу:



Аміак, який виділяється при цьому, відганяють з водяною парою з реакційного середовища і пропускають через надлишок 0,1 М розчину сульфатної кислоти. Кислоту, що не прореагувала титрують розчином лугу і розраховують кількість кислоти, яка прореагувала з аміаком, кількість аміаку, утвореного при спалюванні, та вміст азоту в досліджуваному зразку.

Принцип методу **визначення амонійного азоту** полягає в тому, що аміак реагує в лужному середовищі з йодомеркуриатом калію, утворюючи осад жовто-коричневого кольору. При низькій концентрації аміаку утворюється колоїдний розчин, придатний для колориметричного визначення.

Визначення фосфору здійснювалось фотометрично. Метод заснований на реакції утворення жовтої 12-молібденофосфорної кислоти (МФК) з подальшим відновленням її сіллю заліза (II) до сині.

Визначення калію здійснювалося за допомогою фотометрії полум'я.

Процес метанового бродіння в періодичному режимі організовується шляхом змішування досліджуваних субстратів та наступним витриманням утвореної суміші в герметичній системі експериментальної лабораторної установки (рис. 2.2) без доступу повітря в мезофільних умовах ($37\pm 1^\circ\text{C}$) протягом 20 діб.

У роботі проводяться три окремі серії експериментальних досліджень. У першій серії досліджується вплив співвідношення СОР посліду (СОР П) та СОР макухи рицини (СОР Р) на показники виходу біогазу. Утворюються шість сумішей посліду, макухи рицини та рідкого гною ВРХ з частками СОР Р рівними 15%, 30%, 50% та 75%, та окремо суміші посліду та рідкого гною ВРХ; макухи рицини та рідкого гною ВРХ.

Суміш №1: ПП20%:Р75%:рідкий гній ВРХ 5%.

Суміш №2: ПП45%:Р50%: рідкий гній ВРХ 5%.

Суміш №3: ПП65%:Р30%: рідкий гній ВРХ 5%.

Суміш №4: ПП80%:Р15%: рідкий гній ВРХ 5%.

Суміш №5: P95% :рідкий гній ВРХ 5%.

Суміш №6: ПП95%:рідкий гній ВРХ 5%.

За результатами першої серії досліджень визначаються кінетичні параметри реакції ацетокластичного метаногенезу в залежності від частки СОР Р в суміші.

У другій серії досліджується вплив початкової концентрації органічної речовини в біореакторі S0 суміші П25%:Р75% в діапазоні 10,3-64,5 гСОР/л на швидкість утворення біогазу та метану. За результатами даного етапу встановлюється граничне співвідношення органічної речовини суміші П та Р до бактеріальної маси в біореакторі, при якому припиняється виділення біогазу.

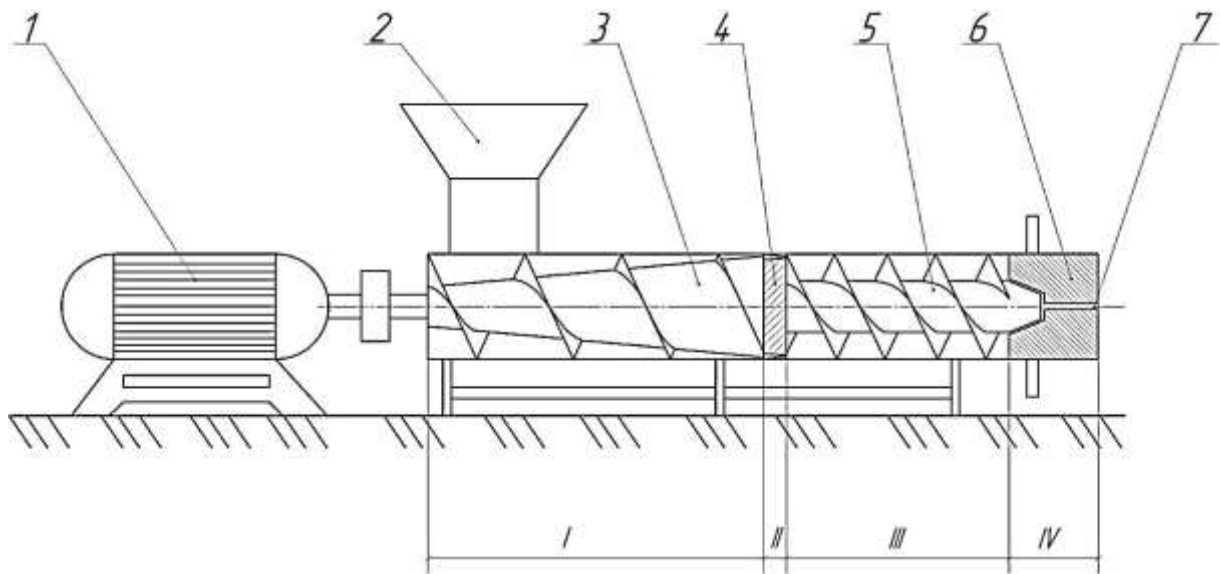
У третій серії досліджується співвідношення С:N та С:Р в органічній речовині Р на питомий вихід біогазу та СН4. Вихід біогазу та СН4 (визначається за допомогою газоаналізатора «Оріон») досліджується в процесі періодичного метанового бродіння зразків в суміші П25% і Р75% та при початковій концентрації СОР субстратів $S_0 = 38,5 \pm 3,5$ гСОР/л.

3.3 Методика експериментальних досліджень екструдеру зерновмісних матеріалів

Підвищення ефективності використання зерновмісних сумішей та відходів життєдіяльності тварин і птиці на сучасному етапі можливо шляхом удосконалення технологічного процесу екструдювання та раціональному використанню фізико-механічних та технологічних властивостей матеріалу. Тому для досягнення цієї мети слід приділити достатньо уваги оптимізації параметрів і режимів роботи шнекового екструдера, що забезпечить енерго- і ресурсозбереження та зниження собівартості основної продукції птахівництва.

Екструдер (Рис. 3.1) працює наступним чином: компоненти зерновмісної суміші (послід) завантажуються в отвір 2, після чого вмикається привод 1. Суміш транспортується по ділянці I ущільнювальною частиною

шнека 3, на ділянці II суміш додатково перемішується та перетирається в змішувальній частині 4 із додатковим нагріванням. Після виходу з ділянки II суміш потрапляє до ділянки III де підхоплюється двозахідною частиною 5 шнека та транспортується до ділянки екструдувannya IV з фільтрою 6.



1 – привод; 2 – завантажувальний отвір; 3 - шнековий робочий орган (ущільнювальна частина); 4 – змішувальна частина; 5 – нормалізуюча частина; 6 - фільтр; 7 - вивантажувальний отвір.

Рис. 3.1. Конструктивно-технологічна схема екструдера.

Застосування математичних методів, зокрема математичного планування у декілька разів зменшує число дослідів, дає змогу оцінити роль впливових факторів; одержати математичну модель процесу і визначити оптимальні умови його параметрів та режимів і т.ін. Поєднання цього з застосуванням електрообчислювальної техніки, яка одержала зараз широкого розповсюдження, дозволяє швидко обробляти результати і вносити корективи в дослідження прямо в процесі їх виконання.

Для опису досліджуваного процесу в області оптимуму використовуються плани другого порядку, що дають можливість одержати функцію відгуку - математичну модель у вигляді полінома другого порядку за формулою 3.1.

Найбільш економічним проведенням експериментів, яке дозволяє одержати уяву про функцію відгуку - поліном другого порядку, є варіювання факторів на трьох рівнях.

Кодування факторів виконується по формулі 3.2

Інтервали і рівні варіювання факторів при проведенні лабораторних і експериментальних досліджень наведені в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 - Рівні і інтервали варіювання факторів при дослідженнях

Рівні і інтервали варіювання	Кодоване значення	Фактори і їх позначення			
		Дисперсність посліду l , мм	Швидкість обертання шнеку n , об/хв	Середня вологість посліду γ , %	Відстань між витками шнеку B , мм
		X_1	X_2	X_3	X_4
Верхній рівень	+1	0,5	300	55	12
Основний рівень	0	1,0	600	60	17
Нижній рівень	-1	1,5	900	65	22
Інтервал варіювання	ε	0,5	300	5	5

Для трифакторного експерименту використана трирівнева матриця оптимального плану Бокса (B3) наведена в табл. 3.2, для чотирьохфакторного - матриця (B4) для 4-х факторів (табл. 3.3).

Для визначення оптимальних параметрів та режимів роботи екструдера пташиного посліду, зокрема перевірки правильності одержаної розрахункової формули, яка визначає зусилля взаємодії екструдера з частками пташиного посліду. При ущільненні посліду момент сил на гвинті залежить від конструктивних параметрів робочого органу (R , S , n), властивостей посліду (l , γ).

При проведенні експерименту спочатку визначаються характеристики корму l , γ . На екструдер пташиного посліду встановлюють гвинт з потрібним кроком та діаметром. Потім завантажують бункер екструдера пташиного

посліду, вмикається електричний мотор-редуктор і виконується робочий прохід. При цьому реєструються енергетичні параметри та продуктивність.

Отримані величини характеризують всі етапи процесів завантаження та екструдювання.

Рівні і інтервали варіювання факторів при дослідженні впливу на продуктивність Q та енергоємність E процесу екструдювання пташиного посліду, швидкість обертання гвинта n , середня дисперсність часток пташиного посліду l , середня вологість пташиного посліду γ , відстань між витками шнеку B , наведені в табл.3.4.

В процесі цих досліджень також визначаються якісні показники роботи, тобто додаткове подрібнення часток рослинної сировини у процесі перетирання в залежності від швидкості обертання n гвинтів і середньої довжини l часток закладеної маси.

При виконанні лабораторних і експериментальних досліджень для реєстрації вимірюваних величин використовувались прилади, розташовані на спеціальному стенді, встановлюваному біля лабораторної установки та біля екструдера пташиного посліду і з'єднані з ними за допомогою електричних кабелів та шлейфів.

Вимірювання та реєстрація потужності споживаної на екструдювання застосовували Danfoss VLT Micro Drive FC51, що з'єднаний з персональним комп'ютером.

При проведенні лабораторних і експериментальних досліджень використовувались матеріали і зразки, отримані природнім шляхом, а саме відходи від життєдіяльності перепелів породи «Фараон», приймалися параметри і режими роботи, які відповідають тим, що мають прийматися для екструдера, коефіцієнти геометричної, кінематичної та динамічної подібностей дорівнювалися одиницям, тому отримувані результати не вимагали перерахунків.

Результати запису діаграм, їх розкодування і обробка виконувалась із допомогою програмного комплексу МСТ-10, одержуваний цифровий

матеріал оброблявся на IBM PC з використанням програмного комплексу Statistica.

При дослідженнях прийнята трьохкратна повторюваність дослідів. Дані, отримані у результаті паралельних замірів, згідно центральній граничній теоремі, розподіляються по нормальному закону. Вони замінюються середнім арифметичним значенням, тобто найбільш імовірним значенням величини, що вимірюється [3, 4]. При неодноразовому вимірюванні якихось з величин отримані результати можуть викликати сумнів у їх достовірності, тому здійснюється перевірка гіпотез про грубі помилки та про випадковість вибірки за допомогою гіпотези виключення грубих помилок з використанням критерію Стьюдента і метода різниць.

При умові, що гіпотеза про випадковість вибірки відкидається, тобто вибірка не випадкова, що забезпечує з імовірністю 95% помилку менше трьох стандартів.

Застосування математичних методів, зокрема математичного планування у декілька разів зменшує число дослідів, дає змогу оцінити вплив факторів; одержати математичну модель процесу та визначити оптимальні умови його параметрів і режимів і т.ін. Поєднання цього із застосуванням електрообчислювальної техніки, яка отримала зараз широкого розповсюдження, дозволяє швидко обробляти результати і вносити корективи в дослідження прямо в процесі їх виконання.

Для опису досліджуваного процесу в області оптимуму використовуються плани другого порядку, що дають можливість одержати функцію відгуку - математичну модель у вигляді полінома другого порядку [2, 3]. Найбільш економічним - дозволяючим одержати представлення про неї є варіювання факторів на двох рівнях [1, 4].

Відтворюваність дослідів перевіряється по критерію Кохрена.

Коефіцієнти математичної моделі другого порядку розраховуються за допомогою ЕОМ. Перевірка їх значимості виконується по критерію Стьюдента, а придатність отриманої математичної моделі, тобто її адекватність перевіряється за допомогою критерію Фишера.

4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Результати експериментальних досліджень по визначенню потужності, споживаної на привод робочих органів мобільного розкидача солом'яної підстилки

4.1.1 Визначення потужності, споживаної на привод робочих органів мобільного розкидача солом'яної підстилки

Аналіз експериментальних даних показав (Рис. 4.1), що більш напруженим є пуск робочих органів мобільного розкидача солом'яної підстилки в тому випадку, коли хвостовик редуктора ВВП трактора ЮМЗ-8040.2 налаштований на частоту обертання 540 хв.^{-1} [17].

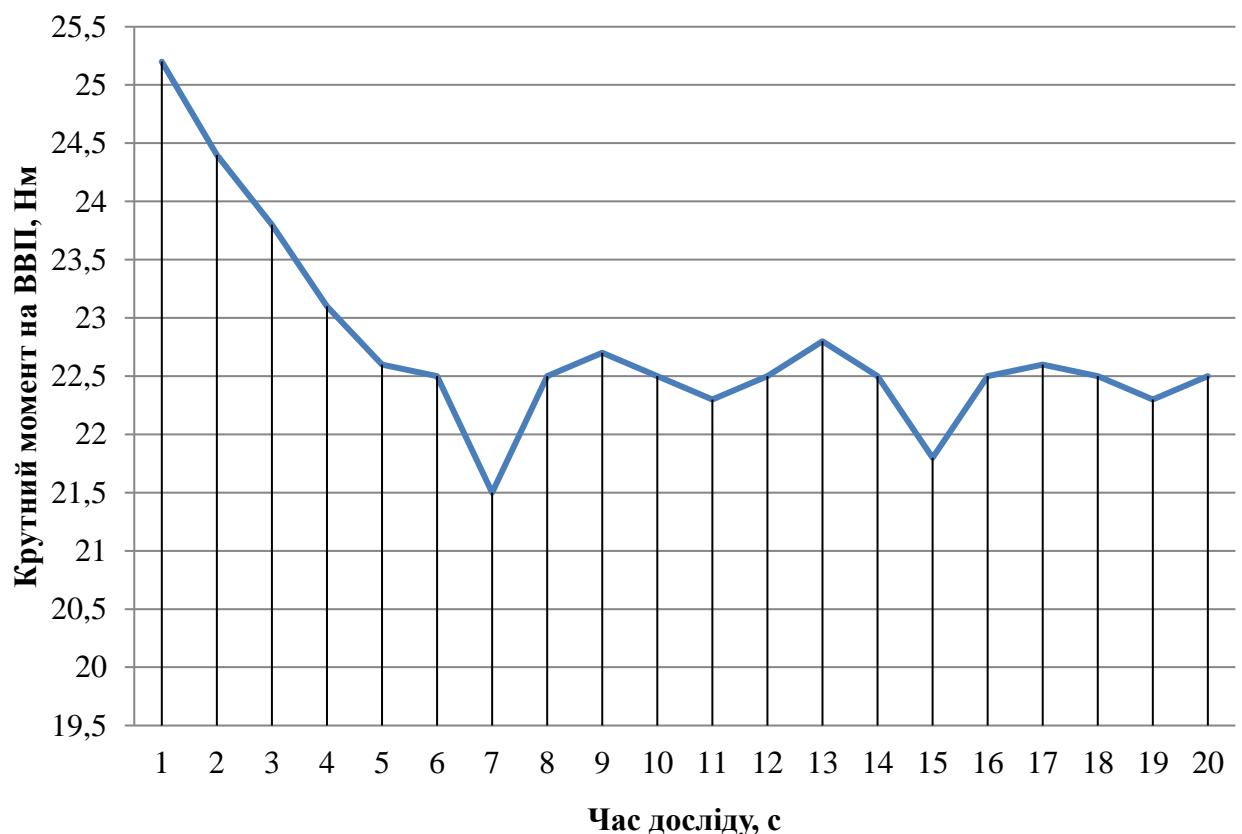


Рис. 4.1. Динаміка зміни крутного моменту на ВВП трактора при частоті обертання хвостовика 540 хв.^{-1} .

Крутний момент при цьому приблизно через 1 с після пуску досяг свого максимального значення на рівні 25,2 Нм. Починаючи з 8 с досліду середнє значення крутного моменту становило 22,5 Нм (див. рис. 4.1).

Частота обертання роторно-пальцевого робочого органа при передаточному відношенні приводу 0,6 склала 324 хв.⁻¹.

Отже, потужність, споживана на привод роторно-пальцевого робочого органа мобільного розкидача солом'яної підстилки дорівнює

$$N_{BPI} = 1,047 \cdot 10^{-3} \cdot 22,5 \cdot 324 = 7,633 \text{ кВт}.$$

Згідно з технічною характеристикою базового кормороздавача КТУ-10А, в якому потужність, що витрачається на привод робочих органів, складає 7кВт. В нашому випадку у зв'язку з встановленням роторно-пальцевого робочого органа для розкидання солом'яної підстилки споживана потужність зростає, як бачимо, на 9%. Дане зростання споживаної потужності не буде мати суттєвого впливу на загальну енергоємність робочого процесу внесення підстилкового матеріалу, оскільки запас потужності трактора даного класу цілком дозволяє його використання.

4.1.2 Вплив конструктивно-режимних параметрів роторно-пальцевого робочого органу на енергоємність процесу розкидання підстилкового матеріалу

Результати проведених досліджень впливу конструктивно-режимних параметрів роторно-пальцевого робочого органу на енергоємність процесу розкидання підстилкового матеріалу у графічному вигляді наведено на рисунках 8, 9, 10, та представляють собою попарну залежність енергоємності від швидкості обертання роторного барабану ω , радіусу центра мас σ та кута встановлення пальців відносно радіусу α_0 [17].

Аналіз рисунка 8 вказує на той факт, що при невеликих обертах роторного барабану збільшення радіусу центра мас не призведе до суттєвого збільшення енергоємності, тоді як при зростанні швидкості обертання

барабану понад 100 рад/с починає значно підвищуватися енергоємність процесу. Це пов'язано зі збільшенням інерційної складової. А збільшення енергоємності на великих швидкостях при збільшенні радіуса центра мас пов'язано зі зростанням зусиль, необхідних на подолання зростаючого обертового моменту.

Також було проведено та складено графічну інтерпретацію залежності енергоємності від кута встановлення пальців відносно радіусу α_0 та швидкості обертання роторно-пальцевого робочого органа ω при постійному радіусі центру мас σ (Рис. 4.2, 4.3).

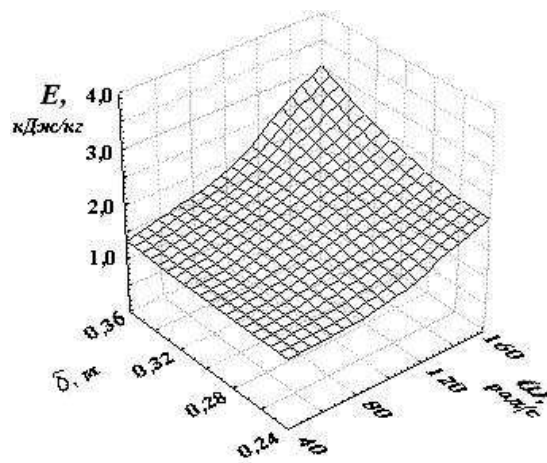


Рис.4.2. Залежність енергоємності E від радіусу центра мас σ , та швидкості обертання роторно-пальцевого робочого органа ω при $\alpha_0 = \text{const}$.

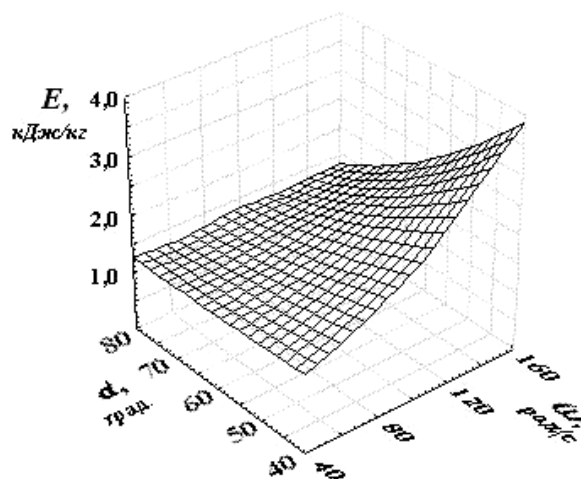


Рис.4.3. Залежність енергоємності E від кута встановлення пальців відносно радіусу α_0 та швидкості обертання роторно-пальцевого робочого органа ω при $\sigma = \text{const}$.

При розгляді графіка залежності енергоємності від кута встановлення пальців відносно радіусу α_0 та швидкості роторно-пальцевого робочого органа можна помітити тотожну тенденцію зі збільшенням швидкості обертання барабану понад 80-100 рад/с, тобто енергоємність починає різко зростати, адже збільшення кута встановлення пальців відносно радіусу до 80° практично нівелює підвищення швидкості обертання. Все це пов'язано зі збільшенням сили опору сходження підстилки по поверхні пальця [18].

Графічна інтерпретація, яка наведена на рисунку 4.4, відображає залежність енергоємності від кута встановлення пальців відносно радіусу, та радіусу центра мас при постійній швидкості обертання роторно-пальцевого робочого органа.

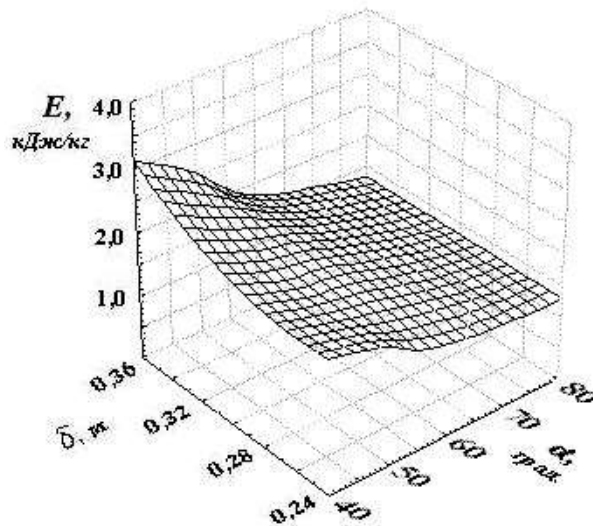


Рис.4.4. Залежність енергоємності E від радіусу центра мас σ та кута встановлення пальців відносно радіусу α_0 , при $\omega = \text{const}$.

Графік парної взаємодії енергоємності від радіусу центра мас та кута встановлення пальців відносно радіусу α_0 вказує на існуючий оптимальний кут встановлення пальців роторного робочого органа, який знаходиться у межах $60-65^\circ$. Саме це дозволяє отримати зазначену продуктивність при незначній енергоємності процесу кидання відокремленої від потоку підстилки. А збільшення радіусу центра мас також призводить до підвищення енергоємності процесу розкидання підстилкового матеріалу.

4.2 Теоретичне дослідження взаємодії пресованого матеріалу з робочими органами прес-гранулятора в умовах торцевого обмеження клиновидного простору

Одним з доцільних шляхів вдосконалення процесу пресового гранулювання є розробка нових і оптимізація існуючих конструкцій прес-грануляторів. Однак огляд наукових джерел дає підстави вважати, що за останнє двадцятиріччя конструкції вітчизняних і зарубіжних пресуючих механізмів з кільцевої матрицею хоча і досягли більш високого технічного рівня, але по структурним ознаками змінилися незначно.

З аналізу напружено-деформованого стану пресованого матеріалу в незамкненому клиновидному просторі (умовно розділеному на зону відставання, зону видавлювання в філь'єри і зону випередження) між матрицею і кожним з пресуючих роликів витікає, що для робочого процесу всіх існуючих і знов проєктованих прес-грануляторів з кільцевою матрицею характерно бічне видавлювання продукту. Бічне видавлювання - переміщення матеріалу в напрямку торців робочих органів і його видавлювання за межі області контакту - особливо виражено в зоні відставання і менш інтенсивно в зоні видавлювання в філь'єри матриці. Інтенсивність поперечної течії матеріалу визначається його напруженим станом в клиновидному просторі, а також істотно залежить, як і саме напружений стан, від ряду факторів: структурно-механічних (реологічних) властивостей оброблюваного продукту (границі текучості при стисненні, коефіцієнта контактного тертя), конструктивних параметрів прес-гранулятора.

В результаті бічного видавлювання матеріалу значно знижується продуктивність прес-гранулятора. Частина матеріалу, що видавлюється за межі робочої області, надходить на повторне стиснення, що збільшує енерговитрати на гранулювання. При вдосконаленні процесу гранулювання у

прес-грануляторах з кільцевою матрицею процес бокового видавлювання і пов'язані з ним недоліки досі не враховувалися ні вітчизняними, ні зарубіжними фахівцями.

Процес пресування без бокового видавлювання можливий тільки в умовах, коли контактні поверхні робочих органів прес-гранулятора утворюють замкнений контур поперечного перерізу шару продукту. Це може бути забезпечено шляхом створення додаткових торцевих контактних поверхонь, що дозволяють реалізувати в зонах відставання і видавлювання в філь'єри матриці схему плоского деформованого стану пресованого матеріалу. Важливим завданням дослідження багатопараметричного нелінійного процесу пресового гранулювання в вальцово-матричному прес-грануляторі є його математичний опис. Математична модель процесу пресування повинна відображати енергетичний стан системи «прес-гранулятор - відпрацьований матеріал», який виступає в якості її внутрішньої характеристики.

У прес-грануляторах з торцевим обмеженням клиновидного простору між робочими органами механічна енергія передається пресованому матеріалу через контактні поверхні матриці, пресуючих роликів і обмежувальних кілець. Мірою переданої енергії доцільно вважати напружений стан елементарного обсягу продукту на цих поверхнях, яке є основою для визначення параметрів ефекту, що характеризують процес гранулювання. Таким чином, необхідно описати напружений стан пресованого матеріалу в клиновидному просторі між робочими органами прес-гранулятора.

Пресований матеріал в клиновидному просторі будемо вважати суцільним ізотропним середовищем, що володіє властивостями пружного тіла. Можливість поширення даної моделі пресованого матеріалу на процес гранулювання рослинної сировини і переваги її застосування обґрунтовані різними авторами. При цьому, розглядаючи пластичну деформацію продукту,

можна виходити як з теорії малих пружно деформацій (деформаційної теорії пластичності), так і з теорії пластичної течії.

$$\frac{d \ln \rho(\vec{x}, t)}{dt} + \operatorname{div} \vec{v} = 0 \quad (4.1)$$

де $\rho(\vec{x}, t)$ – щільність продукту в деякій точці клиновидного простору, заданої радіусом-вектором \vec{x} (напружений стан в даній точці відомо), кг/м³;

t – час, с;

\vec{v} – поле швидкостей руху частинок пресованого матеріалу.

Пластичне деформування матеріалів, що ущільнюються завжди супроводжується об'ємною деформацією зі зміною або без зміни геометричної форми. Початок зони відставання характеризується найбільш інтенсивним ущільненням продукту і переважно структурною деформацією. Однак тут контактні напруги, що виникають на поверхні шару матеріалу, що контактує з робочими органами пресуючого механізму ще не роблять помітного впливу на продуктивність преса, потужність сил корисного опору і інші параметри ефекту. При дослідженні напруженого стану пресованого матеріалу основний інтерес представляє активна, з точки зору впливу контактних напружень на параметри ефекту, частина зони відставання. У цій області клиновидного простору матеріал все більше проявляє пружно-пластичні властивості (цьому сприяє і попередня волого-теплова обробка сировини) і його щільність вже досить висока. Подальше зростання щільності частково компенсується збільшенням витрат в зону видавлювання в філь'єри матриці, де значення щільності стабілізується і його можна вважати постійним і рівним щільності гранул в філь'єрах. У зоні випередження ущільнення відсутнє.

Уже при відносній щільності порядку 0,8 і порівняно невеликих значеннях середнього тиску (що справедливо для процесу пресового гранулювання) поведінка матеріалу, що ущільнюється мало відрізняється від

поведінки нестискуваних тіл, що припускає використання методів теорії пластичності нестискуваних тіл.

Ґрунтуючись на вищесказаному, для опису напруженого стану пресованого матеріалу приймемо допущення:

$$\rho(\vec{x}, t) = \dot{\rho} = const \quad (4.2)$$

де $\dot{\rho}$ – середня щільність пресованого матеріалу в активній частині клиновидного простору, кг / м³.

В такому випадку буде справедливо умова сталості елементарного обсягу пластично деформованого матеріалу. З урахуванням (4.2) повна похідна $d \ln \dot{\rho} / dt$. Тензор градієнта швидкості обертається в нуль, і рівняння нерозривності (4.1) запишеться наступним чином:

$$\operatorname{div} \vec{v} = 0 \quad (4.3)$$

На елементарний об'єм dV пресованого матеріалу, що переміщається в клиновидному просторі з полем швидкостей \vec{v} , діє зовнішня масова сила $\dot{\rho} \vec{F} dV$, де \vec{F} – вектор одиничної масової сили. На кожен елемент dS поверхні, що обмежує довільний об'єм продукту V , м³, діє зовнішня по відношенню до цього обсягу сила $\bar{\sigma} \vec{n} dS$, де $\bar{\sigma}$ – вектор поверхневих напружень на площі dS з зовнішньої нормаллю \vec{n} . Тоді рівняння зміни кількості руху матеріалу в клиновидному просторі прес-гранулятора матиме вигляд:

$$\frac{d}{dt} \iiint_V \dot{\rho} \vec{v} dV = \iint_S \bar{\sigma} \vec{n} + \iiint_V \dot{\rho} \vec{F} dV \quad (4.4)$$

З огляду на те, що $\frac{d}{dt} \iiint_V \dot{\rho} \vec{v} dV = \iiint_V \dot{\rho} \frac{d\vec{v}}{dt} dV$ і $\iint_S \bar{\sigma} \vec{n} dS = \iiint_V \operatorname{div} T_\sigma dV$, з рівняння (4.4) отримуємо в загальному вигляді диференціальне рівняння руху продукту в клиновидному просторі:

$$\dot{\rho} \frac{d\vec{v}}{dt} = \operatorname{div} T_\sigma + \dot{\rho} \vec{F}, \quad (4.5)$$

де T_σ – тензор напружень в пресованому матеріалі (складений для схеми плоского деформованого стану).

У прес-грануляторі інерційним членом $\rho \frac{d\vec{v}}{dt}$, а також масовою силою, що представляє собою величину третього порядку малості, можна знехтувати в порівнянні з компонентами тензора напружень в оброблюваному матеріалі. Таким чином, рівняння (5) перетворюється в рівняння рівноваги:

$$\operatorname{div} T_{\sigma} = 0, \quad (4.6)$$

що описує параметри напруженого стану в пресованому матеріалі в усіх точках замкнутого клиновидного простору.

Для вирішення завдання по визначенню напружень в пресованому матеріалі, що знаходиться в умовах плоского деформованого стану, доцільно застосувати інженерний метод. Даний метод передбачає визначення нормальних і дотичних напружень не в кожній точці об'єму деформованого матеріалу, а лише на контактних поверхнях. Точне рівняння рівноваги (6) може бути спрощено в припущенні, що нормальні напруги залежать тільки від однієї з координат. Наближене рівняння рівноваги буде являти собою одне диференціальне рівняння в звичайних похідних.

Введемо відповідно до рисунком 1 циліндричну систему координат (r, φ, z) з полюсом в точці O_M , що лежить на осі обертання матриці O_M . Ось збігається з віссю обертання $O_M z$. Полярна вісь $O_M r$ вибирається на прямій, утвореній перетином площини радіального перетину шару продукту з мінімальною висотою, h_{δ} , м, і площині, перпендикулярній осям обертання робочих органів. Циліндрична контактна поверхня матриці з радіусом r_M , м, задається координатною поверхнею $r = r_M = \text{const}$.

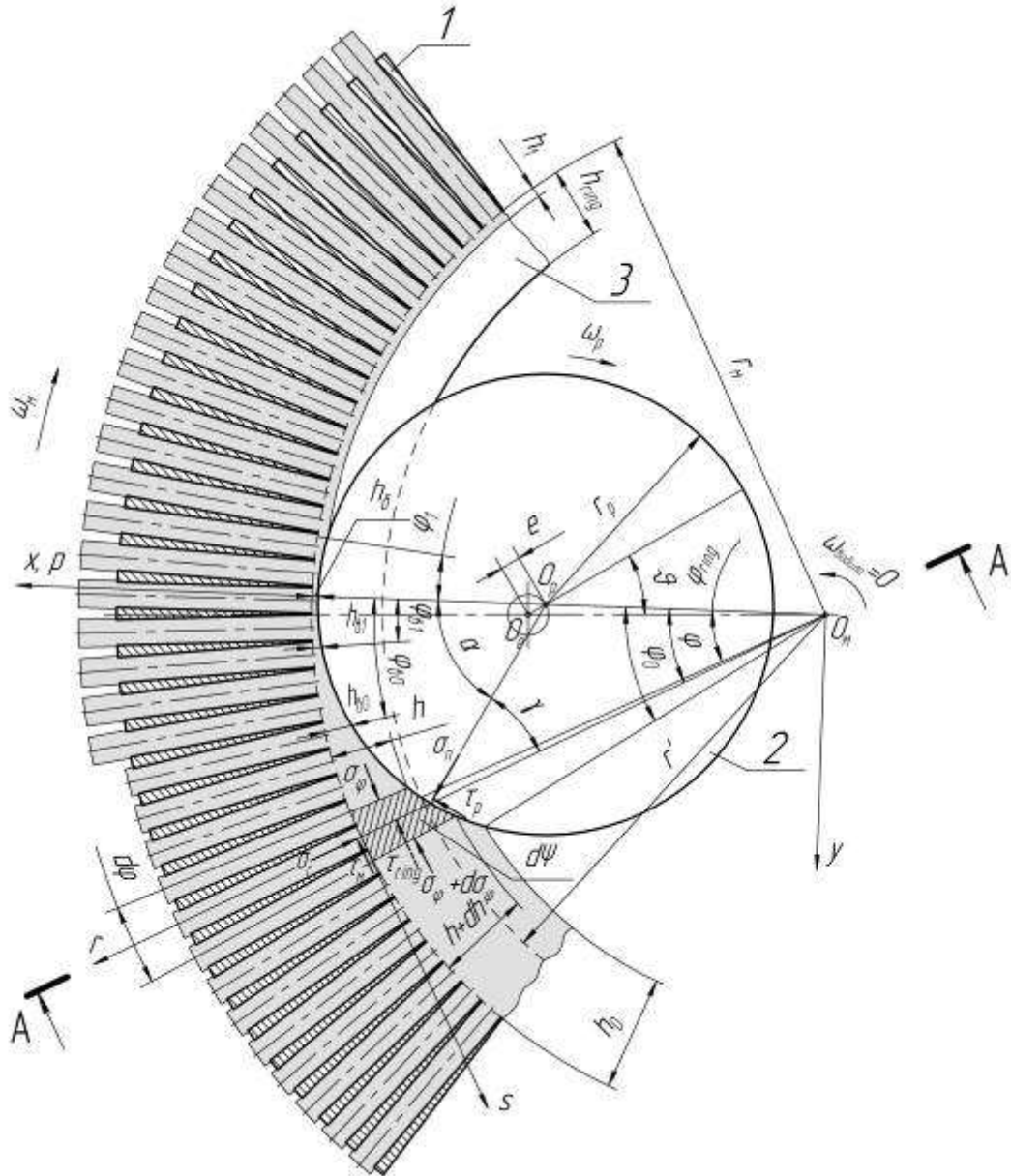
Мінімальна висота h_{δ} шару пресованого матеріалу забезпечується поворотом ексцентрикової осі пресуючого ролика на кут ϑ , рад:

$$\vartheta = \arccos \frac{a_0^2 + e^2 - [r_M(1 - k_r) - h_{\delta}]^2}{2a_0 \cdot e}, \quad (4.7)$$

де a_0 – міжосьова відстань, $O_M O_e$ м;

e – ексцентриситет, м;

$k_r = r_p/r_m$ – відносний радіус пресуючого ролика (r_p – радіус циліндричної контактної поверхні обичайки пресує ролика, м).



1 - кільцева матриця; 2 – пресуючий ролик; 3 обмежувальне кільце

Рис. 4.5. Схема взаємодії пресованого матеріалу з робочими органами пресгранулятора в умовах торцевого обмеження клиновидного простору

При цьому кут ϑ , відлічуваний від лінії $O_M O_e$ (що з'єднує центри матриці і ексцентрикової осі) в напрямку, протилежному обертанню матриці,

знаходиться в межах:

$$0 \leq \vartheta \leq \arccos \frac{a_0^2 + e^2 - r_M^2(1 - k_r)^2}{2a_0 \cdot e}$$

Виділимо в зоні відставання елементарний об'єм пресованого матеріалу, обмежений циліндричними поверхнями матриці 1 і пресуючого ролика 2, контактними поверхнями обмежувальних кілець 3, а також двома радіальними перерізами з елементарним кутом $d\varphi$ між ними. Кордон, на якій припиняється контакт торцевих поверхонь обмежувальних кілець з шаром матеріалу, задамо полярним рівнянням:

$$r = \acute{r} = \sqrt{k_r^2 r_M^2 - [r_M(1 - k_r) - h_\delta]^2 \sin^2 \varphi} + [r_M(1 - k_r) - h_\delta] \cos \varphi + (h - h_{butt}), \quad (4.8)$$

де φ – кут повороту кільцевої матриці, рад;

h – радіальна висота шару пресованого матеріалу в клиновидному просторі, м;

h_{butt} – радіальна висота проекції торцевої контактної поверхні шару матеріалу на площину, перпендикулярну осям обертання робочих органів, м.

Параметр h_{butt} залежить від співвідношення h_{ring}/h_0 , де h_{ring} – радіальна висота проекції торцевої контактної поверхні обмежувального кільця на площину, перпендикулярну осям обертання робочих органів, м; h_0 – радіальна висота вільного від тиску робочих органів шару матеріалу, що залежить від подачі продукту в робочу камеру преса, м.

Якщо $h_{ring}/h_0 \geq 1$ то:

$$h_{butt} = h \text{ при } -\varphi \leq \varphi \leq \varphi_0, \quad (4.9)$$

де φ_0 – кутова координата радіального перетину, де починається зона відставання і виникає контакт шару матеріалу з пресуючим роликом, рад;

φ_1 – кутова координата радіального перетину, де закінчується зона випередження і припиняється контакт шару матеріалу з пресуючим роликом, рад.

Якщо $h_{ring}/h_0 < 1$ то:

$$\begin{cases} h_{butt} = h \text{ при } -\varphi \leq \varphi \leq \varphi_{ring} \\ h_{butt} = h_{ring} \text{ при } \varphi_{ring} \leq \varphi \leq \varphi_0 \end{cases} \quad (4.10)$$

де φ_{ring} – кут повороту матриці, при якому утворюється замкнутий клиновидний простір, рад.

$$\varphi_{ring} = \arccos \frac{(r_m - h_{ring})^2 - k_r^2 r_m^2 + [r_m(1 - k_r) - h_\delta]^2}{2(r_m - h_{ring}) \cdot [r_m(1 - k_r) - h_\delta]} \quad (4.11)$$

Площа $d\Psi$ проекції торцевої контактної поверхні елементарного об'єму матеріалу на площину, перпендикулярну осям обертання робочих органів, з урахуванням рівняння (4.8), записаного в короткій формі, виразиться в такий спосіб:

$$d\Psi = \left(r_m h_{butt} - \frac{1}{2} h_{butt}^2 \right) d\varphi, \quad (4.12)$$

Тоді площа торцевої контактної поверхні елементарного об'єму матеріалу можна отримати, скорегувавши $d\Psi$ множенням на коефіцієнт k_{ring} , що враховує форму зазору Δ , м, між бічними поверхнями обмежувальних кілець і торцями пресуючих роликів.

У разі, коли торцева контактна поверхня обмежувального кільця перпендикулярна контактної поверхні матриці,

$$k_{ring} = 1 \quad (4.13)$$

Коли торцева контактна поверхня обмежувального кільця розташована під кутом λ , рад, до контактної поверхні матриці, k_{ring} знаходиться за формулою:

$$k_{ring} = \frac{1}{\sin \lambda} \quad (4.14)$$

Якщо торцева контактна поверхня обмежувального кільця криволінійна і утворена в діаметральному перетині опуклою стороною звичайної циклоїди з початковою точкою, що лежить на колі з радіусом

$r_m - h_{ring}$, k_{ring} то знаходиться за формулою:

$$k_{ring} = \frac{\frac{16R^2}{3}(\cos^3\chi - 3\cos\chi) - 8R(r_m - h_{ring})\cos\chi + 8R(r_m - h_{ring})}{2r_m h_{ring} - h_{ring}^2}, \quad (4.15)$$

де R – радіус, виробляє коло циклоїди, м;

$$\chi = \frac{1}{2} \arccos\left(1 - \frac{h_{ring}}{R}\right)$$

Регулюванням величини зазору Δ і оптимізацією його форми забезпечується можливість зміни опору видавлювання матеріалу через цей зазор.

Через точку з кутовою координатою φ , що належить контактній поверхні матриці і бісектрисі кута $d\varphi$, проведемо вісь r в радіальному напрямку (по нормалі до даної поверхні) і вісь s в окружному напрямку (по дотичній до напрямної даної поверхні). Докладемо до елементарного об'єму реакції зв'язків і спроектуємо елементарні сили на осі r і s (Рис 4.5).

Приймемо, що на виділений об'єм з боку шару матеріалу, що примикає до радіального перетину з висотою h , діє нормальне тангенціальна напруга σ_φ , Па. Тоді в радіальному перетині з висотою шару $h + dh$ буде діяти напруга

$$\sigma_\varphi + \frac{\partial\sigma_\varphi}{\partial\varphi} d\varphi = \sigma_\varphi + d\sigma_\varphi$$

Друга частина останнього рівності отримана з урахуванням припущення, що σ_φ не залежить від координати r і є середнім по висоті перетину, тобто для контактної поверхні справедливо умова

$$\frac{\partial\sigma_\varphi}{\partial\varphi} = \frac{d\sigma_\varphi}{d\varphi}$$

Виключивши з двох отриманих рівнянь рівноваги нормальну напругу, σ_n Па, нехтуючи нескінченно малими другого порядку малості, вважаючи $\sin\frac{d\varphi}{2} \approx \frac{d\varphi}{2}$, $\cos\frac{d\varphi}{2} \approx 1$ і $d\varphi = \frac{dh}{\operatorname{tg}\gamma(r_m - h)}$ (з точністю до малих вищого порядку), з урахуванням виразу (4.12) і подальших перетворень, отримаємо диференціальне рівняння у вигляді:

$$d\sigma_\varphi + \left(\frac{r_M}{r_M-h}\right) (\sigma_\varphi - \sigma_r) \frac{dh}{h} + \left[k_b \left(1 + \frac{2\Delta}{b}\right) \left(\frac{r_M}{r_M-h}\right) \tau_M + (\text{tg}^2\gamma + 1) \tau_p + \frac{2k_{ring}}{b(r_M-h)} \left(r_M h_{butt} - \frac{1}{2} h_{butt}^2\right) \tau_{ring} \right] \frac{dh}{h \text{tg}\gamma} = 0 \quad (4.16)$$

де σ_r – нормальне радіальне напруження в продукті, Па;

$\tau_M, \tau_p, \tau_{ring}$ контактних поверхнях матриці, пресуючих роликів і обмежувальних кілець, Па;

γ – кут, утворений дотичними до контактних поверхонь матриці і ролика в точках, що лежать в одній площині радіального перетину шару продукту і одній площині, перпендикулярній осях обертання – дотичні тангенціальні напруги відповідно на робочі органи, рад, і пов'язаний з координатою φ залежністю:

$$\gamma = \arcsin \left[\frac{r_M(1-k_r)-h\delta}{k_r r_M} \right] \quad (4.17)$$

b – робоча ширина кільцевої матриці, м;

k_b – коефіцієнт, який визначається конфігурацією обмежувальних кілець: контактна поверхня вертикальна – $k_b = 1$, похила – $k_b = 1 + \frac{2h_{ring}}{\text{tg}\lambda(b+2\Delta)}$, циклоїдальних – $k_b = 1 + \frac{2R(2\chi - \sin 2\chi)}{b+2\Delta}$.

При сталому робочому процесі прес-гранулятора в зонах відставання і випередження шар матеріалу, що контактує з продуктом, запресованим в філь'єри матриці та утримується нерівностями пресуючих роликів. Тому, відповідно до закону мінімальної витрати енергії, витрати енергії на внутрішні зрушення в пресованому матеріалі на контактній поверхні менше, ніж на зовнішнє ковзання. Дотичні напруження τ_M і τ_p будуть відповідати межі текучості при зсуві τ_S , Па, пресованого матеріалу. Більшого значення дотичні напруження досягти не можуть, так як в протилежному випадку почнеться заїдання і руйнування контактної поверхні. Дотичне напруження на шорсткуватих контактних поверхнях обмежувальних кілець τ_{ring} також приймемо рівним величині τ_S , що відповідає найбільш математично строгому

вирішенню завдання і дозволить здійснювати розрахунок прес-гранулятора по максимально можливих значеннях нормальних напружень оскільки:

$$\tau_M = \tau_P = \tau_{ring} = \hat{f}\tau_S,$$

де фактор тертя \hat{f} дорівнює одиниці, то для плоского деформованого стану циліндрична умова пластичності, яка є точною при $\tau \rightarrow \tau_S$, запишеться в обраній системі координат наступним чином:

$$\sigma_\varphi - \sigma_r = 0 \quad (4.18)$$

Отримуємо диференціальне рівняння:

$$d\sigma_\varphi + \operatorname{sgn}\tau \cdot \left[k_b \left(1 + \frac{2\Delta}{b} \right) \left(\frac{r_M}{r_M - h} \right) + (\operatorname{tg}^2\gamma + 1) + \frac{2k_{ring}}{b(r_M - h)} \left(r_M h_{butt} - \frac{1}{2} h_{butt}^2 \right) \right] \frac{\hat{f}\tau_S dh}{h \operatorname{tg}\gamma} = 0 \quad (4.19)$$

де $\operatorname{sgn}\tau = 1$ – для зони відставання; $\operatorname{sgn}\tau = 0$ – в нейтральному перетині зони видавлювання в філь'єри (де дотичні тангенціальні напруження дорівнюють нулю); $\operatorname{sgn}\tau = -1$ – для зони випередження.

Рішення рівняння (19) щодо обраної змінної дозволяє знайти розподіл контактних напружень на всій довжині клиновидного простору з урахуванням того, що дотичні тангенціальні напруги в зоні видавлювання змінюються за лінійним законом, а також отримати координати меж зони видавлювання в філь'єри матриці. Це необхідно для подальшого визначення радіальної навантаження на робочі органи прес-гранулятора, сил, що діють на обмежувальні кільця, моменту сил корисного опору, продуктивності прес-гранулятора.

Продуктивність Q , кг/с, прес-гранулятора доцільно визначити за наступним виразом:

$$Q = \rho_B q Q_\phi, \quad (4.20)$$

де ρ_B – щільність продукту в зоні видавлювання в філь'єри матриці, кг/м³;

q – число пресуючих роликів;

Q_{ϕ} – витрата матеріалу через філь’єри матриці, м³/с.

В умовах незамкненого клиновидного простору між робочими органами прес-гранулятора витрата може бути представлена у вигляді:

$$Q_{\phi} = Q_0 - Q_{в1} - 2(Q'_{бок} + Q''_{бок}), \quad (4.21)$$

де Q_0 – витрата матеріалу через радіальний перетин (висоту) клиновидного простору, що відповідає початку зони відставання, м³/с;

$Q_{в1}$ – витрата матеріалу через радіальний перетин (висоту) клиновидного простору, що визначає межу між зоною видавлювання в філь’єри матриці і зоною випередження, м³/с;

$Q'_{бок}$ – витрата матеріалу через перетин зони видавлювання в філь’єри матриці площиною, що збігається з вільною торцевою поверхнею шару, м³ / с;

$Q''_{бок}$ – витрата матеріалу через перетин зони відставання площиною, що збігається з вільною торцевою поверхнею шару, м³ / с.

З виразу (4.21) випливає, що загальна продуктивність прес-гранулятора, обумовлена витратою Q_{ϕ} , може бути збільшена, по-перше, за рахунок запобігання бічного видавлювання матеріалу і, по-друге, за рахунок збільшення різниці витрат Q_0 і $Q_{в1}$.

У прес-грануляторі з торцевим обмеженням клиновидного простору витрата Q_{ϕ} у формулі (4.21) коригується на величину зменшення бокового видавлювання пресованого матеріалу. При цьому передбачається, що висота торцевих контактних поверхонь обмежувальних кілець обрана оптимальною, виходячи з її впливу на енергоємність процесу і навантаження на робочі органи, пресуючого механізму. Якщо обмежувальні кільця повністю компенсують поперечну деформацію продукту, то загальна продуктивність прес-гранулятора зростає на величину $2(Q'_{бок} + Q''_{бок})$:

$$Q_{\phi} = Q_0 - Q_{в1} \quad (4.22)$$

Для замкненого клиновидного простору на підставі рівняння (3) можна вважати, що:

$$Q_0 = Q_{B0}, \quad (4.23)$$

де Q_{B0} – витрата матеріалу через радіальний перетин (висотою h_{B0}) клиновидного простору, відповідне початку зони видавлювання в філь'єри матриці, м³/с.

З вищевикладеного очевидно, що умова (4.23) несправедлива для існуючих конструкцій прес-грануляторів, які не мають обмежувальних кілець.

Об'ємні витрати Q_{B0} і Q_{B1} при пластичному протіканні матеріалу в клиновидному просторі можна визначити інтегруванням елементарних потоків. Тоді без урахування розміру зазорів Δ і конфігурації обмежувальних кілець маємо:

$$Q_\phi = Q_{B0} - Q_{B1} = b \left(\int_{r_M - h_{B0}}^{r_M} v_\phi dr - \int_{r_M - h_{B1}}^{r_M} v_\phi dr \right), \quad (4.24)$$

де v_ϕ - швидкість елементарного шару матеріалу в граничних перетинах зони видавлювання в філь'єри матриці, м/с.

Вважаємо, що окружні швидкості v_M і v_p , м/с, точок контактних поверхонь матриці і пресує ролика рівні між собою:

$$v_M = \left(1 - \frac{h_p}{r_M} \right) v_p \approx v_p, \quad (4.25)$$

Тоді проекція швидкості v_p на вісь s на початку зони видавлювання в філь'єри матриці менше швидкості v_M . Виходячи з цих міркувань і представивши елементарні шари у вигляді концентричних кіл з центром в точці O_M , швидкість v_ϕ визначимо залежністю:

$$v_\phi = \omega_M r, \quad (4.26)$$

де ω_M – кутова швидкість кільцевої матриці щодо водила пресуючих роликів, рад / с;

r – координата, що визначає положення елементарного шару пресованого матеріалу, м.

Перетворивши вираз (4.24) з урахуванням (4.26) і підставивши його в

формулу (4.20), отримаємо:

$$Q = \rho_b q b \omega_m (h_{B0} - h_{B1}) (r_m - \bar{h}_B), \quad (4.27)$$

де \bar{h}_B – середня висота зони видавлювання в філь'єри матриці, м.

$$\bar{h}_B = \frac{h_{B0} - h_{B1}}{2}, \quad (4.28)$$

Змінні h_{B0} і h_{B1} (рис. 4.5) можна виразити через кутові координати верхньої φ_{B0} , рад, і нижньої φ_{B1} , рад, меж зони видавлювання:

$$\begin{cases} h_{B0} = r_m - \sqrt{k_r^2 r_m^2 - [r_m(1 - k_r) - h_\delta]^2 \sin^2 \varphi_{B0}} - [r_m(1 - k_r) - h_\delta] \cos \varphi_{B0} \\ h_{B1} = r_m - \sqrt{k_r^2 r_m^2 - [r_m(1 - k_r) - h_\delta]^2 \sin^2 \varphi_{B1}} - [r_m(1 - k_r) - h_\delta] \cos \varphi_{B1} \end{cases} \quad (4.29)$$

Відома залежність для продуктивності прес-грануляторів практично збігається з отриманою формулою (27), тобто справедлива для досліджуваного випадку торцевого обмеження клиновидного простору. Іншими словами, ця залежність показує завищену дійсну продуктивність пресуючих механізмів без обмежувальних кілець і її необхідно коригувати на величину бокового видавлювання.

З виразів (4.27) і (4.29) випливає, що продуктивність прес-гранулятора залежить від меж зони видавлювання в філь'єри матриці. Визначимо межі зони видавлювання в умовах торцевого обмеження клиновидного простору.

Перепишемо рівняння (19) щодо змінної φ :

$$d\sigma_\varphi + \operatorname{sgn} \tau \cdot \left[k_b \left(1 + \frac{2\Delta}{b} \right) \frac{r_m}{h} + (\operatorname{tg}^2 \gamma + 1) \left(\frac{r_m - h}{h} \right) + \frac{2k_{ring}}{bh} \left(r_m h_{butt} - \frac{1}{2} h_{butt}^2 \right) \right] \dot{f} \tau_s d\varphi = 0 \quad (4.30)$$

У рівнянні (30) суму, закладену в квадратні дужки, позначимо як функцію конструктивних параметрів робочих органів прес-гранулятора. Тоді з урахуванням (4.20) і (4.21), розділивши змінні, отримаємо:

$$\frac{d\sigma_\varphi}{\exp \beta \sigma_\varphi} = -\operatorname{sgn} \tau \cdot \dot{f} \frac{\sigma_{s0}}{\sqrt{3}} K d\varphi \quad (4.31)$$

Рішення рівняння (31) для зони відставання ($\varphi_{B0} \leq \varphi \leq \varphi_0$) і для упругопластичної частини зони випередження ($0 \leq \varphi \leq \varphi_{B1}$) (нормальною

радіальною напругою в перерізі з висотою шару h_δ нехтуємо) може бути записано у вигляді функції з проміжним змінним параметром - певним інтегралом із змінною верхньою межею. При цьому повинні бути враховані умови (4.9), (4.10). Рішення для зони відставання має вигляд:

$$\sigma_\varphi = \sigma_r = \sigma_z = -\frac{1}{\beta} \ln \left(1 + \int \frac{\beta \sigma_{s0}}{\sqrt{3}} \int_{\varphi_0}^{\varphi} K d\varphi \right) \quad (4.32)$$

Рішення для зони випередження:

$$\sigma_\varphi = \sigma_r = \sigma_z = -\frac{1}{\beta} \ln \left(1 + \int \frac{\beta \sigma_{s0}}{\sqrt{3}} \int_0^{\varphi} K d\varphi \right) \quad (4.33)$$

Для знаходження і (чисельними методами) у вирази (32), (33) необхідно підставити граничні значення меж інтегрування:

$$\sigma_{r_{B0}} = -\frac{1}{\beta} \ln \left(1 + \int \frac{\beta \sigma_{s0}}{\sqrt{3}} \int_{\varphi_0}^{\varphi_{B0}} K d\varphi \right) \quad (4.34)$$

$$\sigma_{r_{B1}} = -\frac{1}{\beta} \ln \left(1 + \int \frac{\beta \sigma_{s0}}{\sqrt{3}} \int_{\varphi_0}^{\varphi_{B1}} K d\varphi \right) \quad (4.35)$$

Нормальні радіальні напруги $\sigma_{r_{B0}}$ та $\sigma_{r_{B1}}$ на кордонах зони видавлювання приймаються рівними нормальній осьовій напрузі на вході в філь'єру – опору філь'єри, яка визначається конструктивними параметрами філь'єр і структурно-механічними властивостями продукту.

Аналіз рівнянь (4.34), (4.35) та інших залежностей, отриманих на основі рівняння (4.30), показує, що за рахунок введення додаткових контактних поверхонь обмежувальних кілець (функція К) при тому ж опорі філь'єр забезпечується зміщення зони відставання в напрямку, протилежному обертанню робочих органів, з одночасним розширенням меж зони видавлювання. Це означає, що збільшується різниця h_{B0} і h_{B1} в формулі (4.27) і, відповідно, різниця витрат Q_0 і Q_{B1} в правій частині виразу (4.22). Отже, збільшується продуктивність прес-гранулятора.

4.3 Дослідження оптимальних параметрів та режимів роботи метантенків в умовах клиновидного простору

В процесі переробки на біогазовій установці вихідна сировина (пташиний послід) поділяється на три складові: газоподібна фаза – біогаз, що містить 60...70% метану, окису вуглецю 2...5% та інші гази; рідка фаза – стоки, які отримані після розподілу збродженого посліду, і є знезараженою рідиною з вмістом сухої речовини 2...5% (наявність у стічних водах азоту, окислу фосфору і калію дозволяє використовувати їх в якості рідких органічних добрив) [6-8].

В біогазових установках безперервної дії для стабільного протікання бродіння необхідно рівномірно подавати послід в метантенк, тобто порціями не тільки однакового об'єму, але також з однаковим вмістом сухих органічних речовин. Навантаження по сухій органічній речовині в залежності від виду і початкової вологості посліду становить 8...20 кг на 1 м³ метантенка на добу і для кожного конкретного субстрату повинна бути строго дозованим [4].

Інтенсивність бродіння можна підвищити механічним розщепленням і руйнуванням структури твердих органічних компонентів або механічної деструкцією [9], що приводить до збільшення активної поверхні, яка обробляється метанотвірними мікроорганізмами, руйнування клітин і вивільнення здатної до бродіння внутрішньоклітинної рідини, що містить легкокорозивні органічні речовини .

Одна з основних завдань щодо обґрунтування режиму біогазових установок – визначення оптимальної тривалості переробки посліду в метантенку: недостатньо довге перебування посліду в анаеробних умовах призводить до неповної переробки посліду, надмірно довга переробка зменшує масу утилізованого за рік посліду і веде до економічних втрат [8]. Нижче наводиться формула (5), що дозволяє обґрунтувати тривалість переробки посліду.

Введемо цільову функцію, що враховує дохід від утилізації посліду протягом року (перший доданок) і вартість енергії, отриманої в результаті спалювання біогазу (другий доданок)

$$F(x) = \frac{T}{x} Mc + R\beta \frac{T}{x} M \cdot 100h. \quad (4.36)$$

де T – кількість діб у році, діб;

x – тривалість знаходження посліду в метантенку (добу);

M – місткість метантенку (ц);

c – вартість утилізації 1 ц посліду, грн./ц;

$R = 0,16 - 0,11/x$ – вихід біогазу (м³/кг) в залежності від тривалості знаходження посліду в метантенку;

β - енергія згоряння 1м³ біогазу, Дж/м³;

h - вартість 1Дж одержуваного тепла, грн./Дж;

Після перетворень отримаємо наступний вираз для цільової функції

$$F(x) = \frac{MT}{x} (c + 100h\beta(0,16 - \frac{0,11}{x})). \quad (4.37)$$

Продиференціюємо $F(x)$ і прирівнюємо похідну до нуля

$$F' = MT \left[\left(-\frac{1}{x^2}\right)(c + 100h\beta(0,16 - \frac{0,11}{x})) + \frac{1}{x} 100h\beta(-0,11)\left(-\frac{1}{x^2}\right) \right] = 0. \quad (4.38)$$

Звідси,

$$c + 16h\beta = \frac{22h\beta}{x_{opt}}. \quad (4.39)$$

$$x_{opt} = \frac{22h\beta}{c + 16h\beta}. \quad (4.40)$$

Оптимальна тривалість переробки посліду x_{opt} не залежить від місткості метантенка (M).

Мінімізація витрат на корпус метантенка. Технічних варіантів реалізації метаногенезу біомаси досить багато, починаючи з конструктивно простих, непрофесійно виготовлених місцевими силами установок і

кінчаючи технологічно досконалыми установками довготривалого безперервного дії з використанням автоматизованих систем [9-12].

Процес бродіння здійснюється в спеціальних герметичних ємностях – метантенках [9].

Метантенка має форму циліндра довжиною L , основи якого конуси заввишки X з круговою основою радіуса R .

Об'єм метантенка дорівнює

$$\begin{aligned} V &= \pi R^2 L + 2\pi R^2 X / 3 = \pi R^2 (L + 2X / 3). \\ m &= \sqrt{R^2 + X^2}, S_R = \pi R m = \pi R \sqrt{R^2 + X^2}, S_C = 2\pi R L, \\ S_r &= 2S_R + S_C = 2\pi R (\sqrt{R^2 + X^2} + L), \end{aligned} \quad (4.41)$$

де m - бічна сторона конуса,

S_R - бічна поверхня конуса,

S_C - бічна поверхня циліндра,

S_r - площа поверхні метантенка.

Цільовою функцією є відношення площі поверхні метантенка до його об'єму, графік функції $F(x)$ наведено на рис. 2.

$$\begin{aligned} F(x) &= S_r / V \rightarrow \min . \\ F(x) &= (2/R)(\sqrt{R^2 + X^2} + L)/(L + 2X/3). \end{aligned} \quad (4.42)$$

Для знаходження мінімуму $F(x)$ знайдемо її похідну і прирівнюємо до нуля:

$$F'(x) = (2/R)[(2X/3 + L)X/\sqrt{R^2 + X^2} - 2(\sqrt{R^2 + X^2} + L)/3]/(2X/3 + L)^2 = 0. \quad (8)$$

Після елементарних перетворень отримуємо квадратне рівняння

$$5L^2 X^2 - 12LR^2 X + 4R^4 = 4L^2 R^2; \quad (4.43)$$

враховуючи, що висота конуса – позитивна величина, отримуємо його єдине рішення

$$X_{\min} = (6R^2 + 2R\sqrt{4R^2 + 5L^2}) / 5L. \quad (4.44)$$

Приклад: при $R=2\text{м}$, $L=8\text{м}$ [10-12]

$$X_{\min} = (24 + 4\sqrt{16 + 320}) / 40 = 2,4\text{м}. \quad (4.45)$$

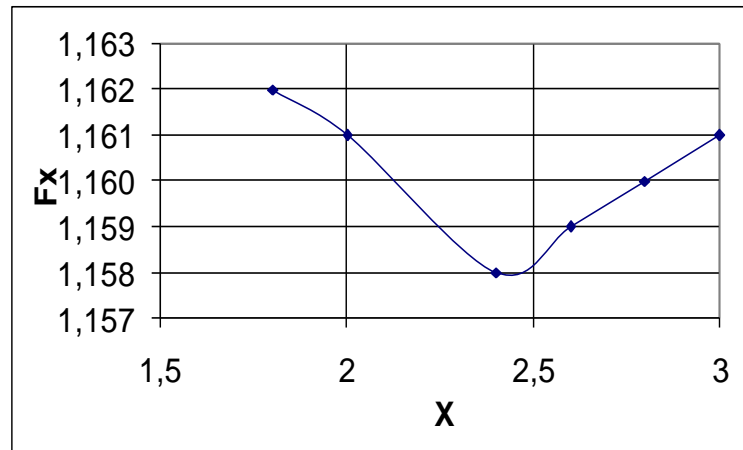


Рис. 4.6. Залежність цільової функції від висоти конуса.

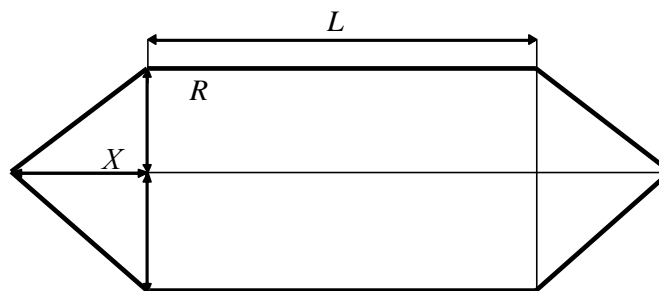


Рис. 4.7. Схема визначення кута конусності.

Таким чином, витрата металу на стінки метантенку (в розрахунку на один кубічний метр його робочого об'єму) досягає мінімуму при висоті конусу, яка дорівнює 2,4 м.

Вибір кута нахилу вертикальної частині метантенка.

Метантенк являє собою циліндр радіуса r , в основі якого – конус, причому основи циліндра і конуса збігаються, а вершина конуса є нижньою точкою метантенка. Вихідна сировина насосом піднімається на висоту метантенка, на що витрачається енергія, яку необхідно ввести в цільову функцію. Циліндрична частина метантенка від l не залежить і тому її висота прийнята рівною нулю. Будемо вважати, що протягом досить великого

періоду часу T (терміну експлуатації метантенка) метантенк завантажується на a днів (як показав розрахунок, а найчастіше для оптимального режиму експлуатації близько до десяти днів), після чого звільняється від рідких і твердих фракцій і завантажується знову.

Цільова функція залежить від довжини твірної конуса l і дорівнює

$$F(l) = c\sqrt{l^2 - r^2} gm + Sq - mp, \quad (4.46)$$

де g – прискорення вільного падіння;

m – маса сировини, що надійшла протягом періоду T ;

S – площа бічної поверхні конуса:

$$S = \pi rl, \quad (4.47)$$

q – вартість 1 м^2 металу, з якого виготовляється конус;

$$V = \frac{1}{3} \pi r^2 \sqrt{l^2 - r^2}, \quad (4.48)$$

V – об'єм конуса;

$$m = dV \frac{T}{a}, \quad (4.49)$$

d – питома вага посліду.

Звідси

$$F(l) = dV \frac{T}{a} (c\sqrt{l^2 - r^2} g - p) + \pi rlq. \quad (4.50)$$

Знайдемо похідну $F(l)$ і прирівняємо до нуля.

В результаті після перетворень отримаємо алгебраїчне рівняння другого ступеня

$$k^2 + 4cglk + 4l^2 c^2 g^2 = \frac{l^2 p^2}{l^2 - r^2}, \quad (4.51)$$

де

$$k = \frac{3a\pi q}{dT}. \quad (4.52)$$

Рівняння вирішується за допомогою стандартних математичних пакетів при заданих значеннях вхідних у нього параметрів. При цьому слід брати ті корені рівняння, які задовольняють умові

$$\frac{\sqrt{l^2 - r^2}}{r} > \operatorname{tg} \alpha, \quad (4.53)$$

де $\operatorname{tg} \alpha$ – коефіцієнт тертя добрива про бічну поверхню конуса. Для м'якого заліза коефіцієнт тертя дорівнює 0,49, для інструментальної сталі – 0,48, для хромовольфрамкової сталі – 0,47.

Таким чином, на відміну від коефіцієнта тертя, вартості посліду та вартості одного Джоуля енергії, на форму метантенка впливають насамперед витрати, що пов'язані з виробництвом його корпусу.

4.4 Оптимізація добового раціону годівлі дійних корів

На якість молока впливає безліч чинників, але найважливішими з них все-таки є годівля та утримання дійних корів. А особливо – постійний і добре налагоджений обмін речовин, що є обов'язковою умовою для здоров'я вимені.

Тому, годівлю дійних корів організовують так, щоб одержати від них максимум високоякісного молока при низьких витратах корму і збереженні здоров'я тварин. За фізіологічним станом корів і пов'язаними з ним змінами молочної продуктивності період лактації можна поділити на 3 фази: роздоювання, середина лактації і згасання лактації, по 100 днів кожна. Особливості кожного з цих періодів враховують при визначенні потреби корів у поживних речовинах.

Оптимальний раціон для тварин являє собою табличну форму, своєрідну модель, яка описує у спрощеному вигляді взаємодію основних параметрів живлення з генотипом тварин, у результаті якої досягається певна мета: підтримання життєво важливих функцій організму у нормі та виробництво певного виду продукції.

При ідеальному балансуванні раціонів годівлі корів за всіма поживними речовинами, особливо крохмалем і клітковиною, в них

максимально ефективно працює рубець й практично не виникає потреби в додаткових вуглеводних добавках [10]. Проте такої збалансованої годівлі корів протягом року важко досягти. Відмітимо, що використання кормових і цукрових буряків, гарбузів у годівлі молочної худоби вкрай неефективне через високу собівартість їх виробництва та короткий термін використання – лише до нового року, а переробка після цього періоду неефективна (цукор у буряках розщеплюється) [10, 11]. Відмова підприємств від вирощування коренеплодів стала причиною витрат протеїну (й амінокислот) на енергетичні потреби із відповідним зростанням його в раціоні на 20-30% [10]. За умови дефіциту цукру в раціоні засвоєння протеїну буде мінімальним (20% замість 50%). При цьому знижується мікробіальний синтез білка, що негативно впливає на перетравлення клітковини. Тому у світовій практиці застосовують цукровий сироп, сиру глюкозу, зернову мелясу тощо. Наприклад, замість коренеплодів і дефіцитної меляси як вуглеводну підгодівлю вводять до 0,25 кг цукрового сиропу із вмістом 78 % глюкози.

Вміст жиру, білка, сечовини в молоці, як і кількість видоєного молока, – ось ті дані, які можна й треба використовувати для оцінки годівлі тварин і виявлення помилок кормового менеджменту.

Кожне молочне підприємство має у своєму розпорядженні такі показники, як результати контрольних доїнь. Але, на жаль, їх рідко беруть до уваги, і цей безцінний матеріал залишається невикористаним.

Тому, в ПП «Могучий» були зроблені заміри якісних показників молока (Рис. 4.8) за допомогою ультразвукового аналізатора молока «Екомилк» тип Милкана КАМ-98 2А (таблиця 4.1) з метою оптимізації добового раціону дійних корів.

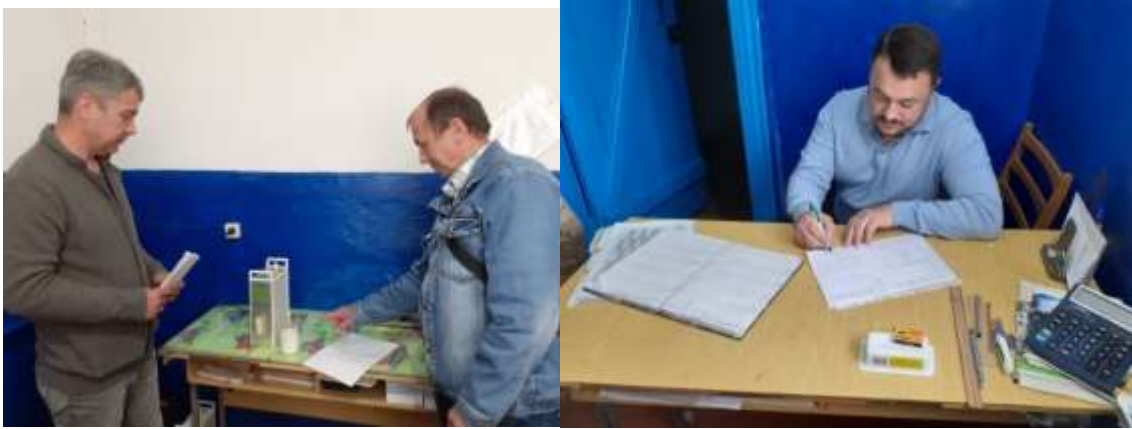


Рис. 4.8 - Заміри якісних показників молока за допомогою ультразвукового аналізатора молока «Екомилк» тип Милкана КАМ-98 2А

Аналіз таблиці 4.1 показує на низькі показники масової частки жиру та білка, також вміст 1,9% доданої води.

Вміст жиру в молоці характеризує, насамперед, чи забезпечено потрібну структуру раціону [6]. Оскільки за утворення молочного жиру, в основному, відповідає оцтова кислота, що утворюється в рубці, а синтезується вона з рослинної клітковини, то саме достатній вміст у раціоні якісного сіна, сінажу, силосу, соломи забезпечує потрібний рівень жиру в молоці (контроль співвідношення об'ємних кормів до концентрованих, кількості корму, що поїдається).

Таблиця 4.1 - Результати експериментального дослідження якісних показників молока (вихідні дані: червона степова (голштинізована), 14-18 тиждень лактації, маса тварини – 415-420 кг)

Температура молока, °С	Масова частка жиру, проц.	Масова частка СОМО, проц.	Масова частка білку, проц.	Масова частка доданої води, проц.	Щільність, кг/м ³	Точка замерзання, °С
20	3,4	8,29	2,95	1,9	1021	-0,55

Аналіз таблиці 4.1 показує на низькі показники масової частки жиру та білка, також вміст 1,9% доданої води.

Вміст жиру в молоці характеризує, насамперед, чи забезпечено потрібну структуру раціону [6]. Оскільки за утворення молочного жиру, в основному, відповідає оцтова кислота, що утворюється в рубці, а синтезується вона з рослинної клітковини, то саме достатній вміст у раціоні якісного сіна, сінажу, силосу, соломи забезпечує потрібний рівень жиру в молоці (контроль співвідношення об'ємних кормів до концентрованих, кількості корму, що поїдається).

У перші тижні лактації вміст жиру показує, чи достатньо енергії одержує тварина. Зазвичай вміст жиру дуже різко знижується з першого по четвертий тиждень лактації, потім ще трохи знижується до 10 тижня. Після цього показник жиру починає плавно підвищуватися, і це триває до самого запуску й свідчить про те, що тварина починає заповнювати жирові резерви (див. рис. 4.9) [6].

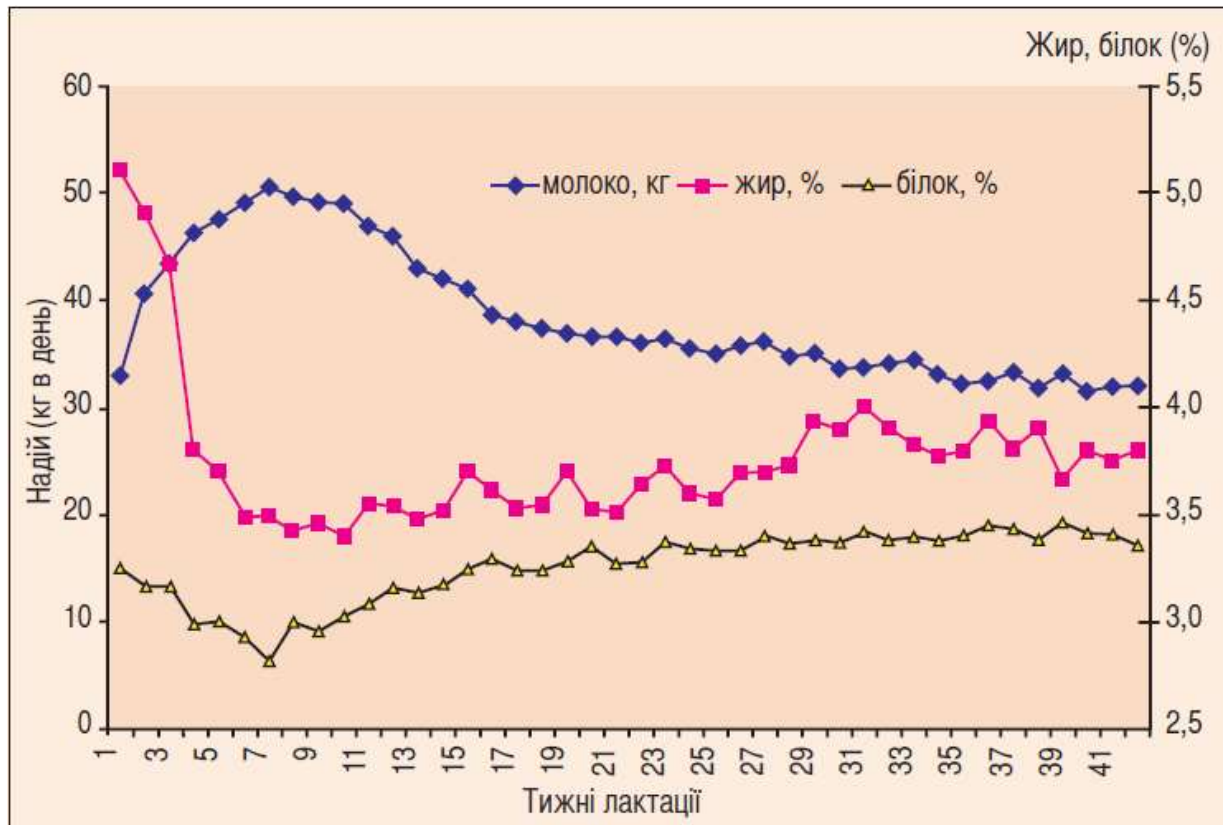


Рис. 4.9 - Продуктивність корови, показники жиру та білка в молоці протягом лактації

Молочний білок – важливий показник якості молока, на його збільшення націлена сучасна генетика. А розкрити весь потенціал тварин, зокрема й наявність високих показників білка в молоці, – це завдання виробників [6-8].

Вміст білка в молоці свідчить про те, чи добре забезпечена корова енергією, що є своєрідним енергетичним барометром для стада. Саме від того, чи досить енергії є в розпорядженні мікробів рубця, що синтезують мікробний протеїн, залежить, яким буде показник білка в молоці. І тільки за високої продуктивності дедалі більшого значення набуває протеїн, який не розщеплюється в рубці. В жодному разі навіть за дуже високих надоїв вміст білка в молоці не повинен бути нижчим 3,1% (у ПП «Могучий» – 2,95%).

Тому, в таблиці 4.2 наведені помилки годівлі та можливості покращення показників якості молока у ПП «Могучий».

Таблиця 4.2 - Рекомендації щодо покращення показників якості молока у ПП «Могучий»

Вміст якісного показника в молоці	Помилки годівлі	Можливості покращення
Низький вміст жиру	Недостатнє забезпечення енергією	<ul style="list-style-type: none"> - підвищити якість основних кормів і їхнє поїдання; - збалансована кількість концентратів; - перевірити склад комбікорму й наскільки він підходить; - не перегодовувати тварин наприкінці лактації
	Вміст сирової клітковини нижче 18 (16) % або ADF* нижче 19% у сухій речовині раціону	<ul style="list-style-type: none"> - збільшити поїдання основного й структурного корму; - подовжити час годівлі; частіше підсувати/ роздавати основний корм; - зменшити кількість концентратів (максимально 50% загальної сухої речовини раціону)
	Погані структурні якості основного корму	<ul style="list-style-type: none"> - якісно в'ялені сінажі, сіно й кукурудзяний силос молочно-воскової стиглості; - поліпшити травостій пасовищ, зменшити частку вологих сінажів; - збалансувати кількість концентратів у раціоні; - не робити каші з корму в кормозмішувачі; - додати 0,5-1,0 кг соломи в раціон
	Неправильна техніка годівлі	<ul style="list-style-type: none"> - основний корм досхочу; - максимально 2 кг концентратів за 1 раз; - однаковий раціон ранком і ввечері
	Швидка зміна корму	<ul style="list-style-type: none"> - поступово перейти до плавної зміни корму (протягом мінімум 1 тижня), особливо навесні й восени; - здійснити підготовчу годівлю перед отеленням; - поступово збільшити норму концентратів після отелення
	Неправильний вид, спосіб приготування й склад концентрованого корму	<ul style="list-style-type: none"> - концентрований корм подрібнювати грубо або плющити, за винятком повнозмішаного раціону; перевірити вміст крохмалю й цукру (максимально 25% у загальному раціоні); - зменшити кількість легкозасвоюваного крохмалю (пшениця, тритикале, жито); - підвищити частку кукурудзи в комбікормі; - перевірити вміст жиру в комбікормі (максимально 5% у загальному раціоні); - обмежити макуху; - давати добавки, що підвищують буферність (сода, оксид магнію)
Низький вміст білку	Недостатнє забезпечення енергією й засвоюваням у кишківнику протеїном	<ul style="list-style-type: none"> - покращити якість основного корму; - збільшити кількість споживання корму; - давати комбікорм у кількості, що відповідає продуктивності; - використовувати сировину з високою часткою протеїну, що не розщеплюється в рубці (соєва макуха, макуха гарбузового насіння, пивна дробина кукурудза, сухий жом)

*ADF, КДК — кислото-детергентна клітковина (целюлоза і лігнін)

На підставі вітчизняного та зарубіжного досвіду менеджмент годівлі високопродуктивних корів охоплює комплекс правил, рекомендацій, прийомів, невиконання яких в господарствах приводить до зниження на 20-30% і більше молочної продуктивності.

Основні правила і рекомендації з організації повноцінної, науково-обґрунтованої годівлі корів у ПП «Могучий» наступні:

- Забезпечення нормованого, фізіологічно максимального споживання сухої речовини кормів у відповідності з вимогами фізіологічного періоду і фаз лактації. Після отелення необхідно дати можливість корові поступово, протягом 10-12 днів, досягти оптимально споживання сухої речовини раціону відповідно сучасним нормам годівлі, не допускаючи порушень режиму годівлі. Кількість сухої речовини в кормах раціону для сухостійних корів повинна бути в межах 50-75% від максимальної норми. Рівень годівлі за 2 тижні до розтелення та 2 тижні після розтелення повинні бути ідентичними.
- З метою максимального споживання енергії кормів раціону необхідно, щоб він був збалансований відповідно деталізованих норм годівлі з урахуванням кислотно-детергентної, нейтрально-детергентної клітковини, вуглеводів (крохмаль, цукор), розчинного, розщеплюваного в рубці протеїну (до 60-70% від загальної кількості сирого протеїну) та нерозщеплюваного (30-40%). Споживання сухої речовини зростає, якщо рівень нейтрально-детергентної клітковини (НДК) становить 28-30% від сухої речовини раціону, а кислотно-детергентної 19-21 %.
- Для стимулювання процесу жуйки до рівня 11-12 годин на добу, необхідно забезпечити оптимальне подрібнення силосу, в якому 15-20% часток повинні бути розміром більше 3,8 см. Зменшення вмісту таких часток скорочує час та інтенсивність жуйки, підвищує кислотність рубцевого вмісту, змінює співвідношення продуктів ферментації (ацетату до пропіонату) в напрямку зменшення вмісту оцтової кислоти, що зменшує процент жиру в молоці.

- З метою збільшення надходження нерозщепленого білка і амінокислот з рубця в дуоденум необхідно забезпечити вміст в сухій речовині раціону 17-19 % сирого протеїну, в якому 60-65% повинен становити розчинний протеїн і 35-40 % нерозчинний протеїн. Якщо добовий надій становить 35-40 кг і досягає більше 5% від живої маси корови, то необхідно ще збільшити вміст нерозчинного білка в раціоні до рівня більше 35-40% за рахунок повільно розщеплюваного в рубці білка, наприклад термічно обробленої сої (екструдованої сої), екструдованого гороху, термооброблених (тостованих) шротів (сої).

- Не допускати надлишкової кількості в раціоні корови загально спожитого і швидкорозщеплюваного в рубці протеїна при недостатньому рівні вуглеводів, що сприяє швидкому підвищенню вмісту амоніаку в рубцевому вмістимому.

- З метою покращення утилізації (використання) білка і вуглеводів в організмі корів необхідно використовувати корми в складі добре змішаних (рівномірність змішування близько 90 %) кормосумішок; систематично аналізувати грубі, об'ємисті корми за вмістом основних поживних речовин.

- Якщо кукурудзяний силос є основним кормом в раціоні, то необхідно вводити в раціон повільнорозщеплюваний протеїн із кормів, які не є похідними продуктами переробки кукурудзи.

- Затримка із заплідненням корів пов'язана з великими втратами маси тіла і вгодованості, а тому покращення запліднення може бути досягнуто шляхом збільшення вмісту енергії в раціоні за рахунок додаткового згодовування жирових добавок.

- Найбільш раціонально згодовувати жирові добавки в перші 150 днів лактації. Необхідно при цьому дотримувати обережність, щоб не допустити накопичення жиру в печінці і захворювання під назвою «синдром жирної печінки». В основному це проблема у корів в перший період лактації, коли найбільший дефіцит енергії в організмі. Захворювання проявляється

коли надмірна кількість жиру надходить в печінку, порушуються ключеві функції обміну речовин, із яких найбільш важливим є глюконеогенез, тобто утворення глюкози із метаболітів вуглеводно-жирового і протеїнового обміну та знешкодження амоніаку шляхом синтезу сечовини.

Основними причинами є:

- а) надмірна вгодованість корови в сухостійний період і при отеленні;
- б) порушення травлення і обміну речовин.

Ці фактори сприяють інтенсивній мобілізації коровою запасів енергії із жирових депо організму, щоб забезпечити підвищену потребу в енергії для синтезу жиру і білку молока. Мобілізований із жирових депо жир надходить в печінку, де приєднується до триглицеридів [10, 11]. Цей процес накопичення жиру в печінці відбувається швидше, ніж видалення жиру із печінки у формі ліпопротеїнів низької питомої щільності. Не допускати надмірного, вище фізіологічної норми, використання жиру із жирових депо в перші 30-60 днів лактації, враховуючи, що близько 30 % енергії, що виділяється з молоком в цей період, є енергією депонованого жиру, для чого забезпечувати в раціонах корів в перші 2-3 місяці лактації концентрацію обмінної енергії в сухій речовині на рівні 11,0-11,5МДж обмінної енергії в 1 кг сухої речовини, сирого протеїну 14-16,9 г на 1 МДж обмінної енергії, сирого клітковини 17-18%, крохмалю 13,5-17% в сухій речовині, концентратів до 400 г на 1 кг молока 4%-ної жирності. Вважати фізіологічно доцільним середню кількість мобілізованого жиру депо 57-63 кг, що становить 50-60% загальної кількості жиру в тілі корови.

- Не допускати надмірного, вище норми, споживання кальцію і фосфору, підтримуючи оптимальне відношення кальцію до фосфору в середньому як 2:1, без перевищення загального рівня фосфору; обмежувати до норми споживання бобових кормів, що містять високі рівні кальцію і калію та кукурудзяного силосу не більше 50 % за вмістом сухої речовини; підтримувати рівень вологості кормів раціону менше 50 %.

Рекомендації з технології годівлі для корів трьох періодів лактації у ПП «Могучий» наведені нижче.

Годівля корів у перший період (фазу) лактації.

Годівля новотільних корів. Через 1-1,5 години після отелення корові доцільно дати тепле пійло (на відро теплої 35-38 °С води 0,5-1 кг пшеничних висівки і 100-120 г цукру або кухонної солі). Холодної води давати не можна, бо це може викликати передчасне закриття матки і затримати відділення посліду. Найкращими кормами в перші дні після отелення є доброякісне сіно, висівки, вівсяна дерть, макуха. З 3-4-го дня, контролюючи стан вим'я, вводять до раціону сінаж, а згодом - доброякісний силос, щоденно збільшуючи даванку кормів. На повний раціон переводять корів на 8-14 день після отелення і розпочинають їх поступове роздоювання.

Годівля корів першого періоду лактації. Перший період лактації (90-100 днів) для корів є дуже відповідальним, адже він супроводжується різким підвищенням рівня молочної продуктивності і водночас відновленням відтворної функції на фоні незадовільного забезпечення елементами живлення через недостатнє споживання корму. Внаслідок цього більшість корів має негативний енергетичний баланс. Організм корови покриває дефіцит енергії із жирових відкладень, обмежену кількість протеїну - із м'язової тканини, кальцій і фосфор - із тканин кісток. Такий фізіологічний механізм підтримання продуктивності зумовлює зниження живої маси і вгодованості тварин. Проте, у перший період лактації втрати живої маси у корів не повинні бути більшими 0,5 кг за добу.

Встановлено, що стан балансу енергії впродовж перших трьох місяців після отелення є важливим у визначенні початку статевої активності корів. Тварини, які різко знижують живу масу після отелення, мають значно нижчу запліднюваність, ніж ті, що поступово використовують резерви тіла.

Принципова схема годівлі корів у перший період лактації.

Через вісім днів після отелення раціони корів поступово доводять до норми відповідно до надою та стану здоров'я.

Упродовж 3-4 місяців лактації раціони розробляють з «авансом» для роздоювання.

Підвищують споживання кормів раціону шляхом застосування різних прийомів підготовки їх до згодовування, особливо таких, що призводить до зростання концентрації енергії в 1 кг сухої речовини.

Використовують у раціонах корів не подрібнене сіно високої якості, що сприяє збільшенню часу жуйки і виробництву слини.

Перші шість тижнів після отелення концентровані корми згодовують не менше шести разів на добу.

Коровам, які швидко втрачають живу масу, згодовують добавки жиру та постійно контролюють вміст мінеральних речовин і вітамінів.

Проводять оцінку раціону корів за вмістом і співвідношенням кислих і лужних елементів.

До нових кормів корів привчають поступово.

Постійно запобігають стресовим ситуаціям.

Свідченням правильної годівлі і догляду за коровами в перший період лактації є стійкість лактаційної кривої, плідне осіменіння та оптимальний стан вгодованості.

Годівля корів у другий період (фазу) лактації.

Після того як корову роздоїли до максимального, генетично зумовленого рівня продуктивності, розпочинається другий період (фаза) лактації. У цей період (100-200 днів) годівлю організують так, щоб досягнута під час роздоювання продуктивність, утримувалася якомога довше, без помітного зниження і так, щоб корови могли відновлювати витрачені, при роздоюванні, запаси поживних речовин у тілі. Тепер корови вже здатні споживати кормів більше, ніж їх необхідно для утворення молока, і тому частина енергії й поживних речовин може відкладатися як резерв. Молоко у цей період необхідно одержувати за рахунок високоякісних об'ємистих кормів, при оптимальній кількості концентрованих. Залежно від якості кормів можна використовувати раціони напівконцентратного (250-300 г

концкормів на 1 кг молока) або висококонцентратного (300-350 г/кг) типу. Слід враховувати й той факт, що у цьому періоді корови особливо сильно реагують на зміну структури раціону й умов годівлі. Зміни в годівлі впливають не лише на молочну продуктивність, а й на формування плода, оскільки середина лактації майже завжди співпадає з першою половиною тільності.

Добрий ефект одержують при згодовуванні кормів у вигляді повнораціонних кормосумішей. Використання кормосумішей, збалансованих за всіма елементами живлення, сприяє підвищенню енергетичного забезпечення організму й збільшенню - на 8-12% і більше надоїв. При згодовуванні повнораціонних кормосумішей загальне використання кормів, порівняно із згодовуванням кожного компонента окремо, також підвищується. При цьому загальна кількість клітковини в складі суміші не повинна перевищувати 20-25% сухої речовини раціону.

Годівля корів у третій період (фазу) лактації.

У цьому періоді (200-300 днів) корови повинні продовжувати відновлювати втрати живої маси в період роздоювання, аби бути в добрій кондиції (3-3,5 бали) до початку запуску.

Сучасними дослідженнями встановлено, що відновлення живої маси має відбуватися не в останні два місяці перед отеленням, коли використання енергії на синтез тканин менш ефективне, а починаючи з третього періоду лактації. Наприкінці лактації ефективність відновлення маси тіла у корів значно вища, ніж у сухостійний період. Тому рівень підтримуючої годівлі в сухостійний період має бути дещо меншим, ніж наприкінці лактації. У третьому періоді лактації є можливість звести до мінімуму витрати концентрованих кормів за рахунок збільшення в раціоні до 70-75 % частки високоякісних грубих і соковитих кормів, щоб задовольнити потребу, пов'язану з надоєм молока і вгодованістю.

Кількість концентрованих кормів, у кожному конкретному випадку, залежить від якості об'ємистих кормів раціону і вгодованості корови.

Найбільш позитивно на обмін речовин у організмі корови цього періоду лактації, і в останні місяці тільності, впливають раціони малоконцентратного й об'ємистого типів.

У кінці цього періоду (фази) корів запускають. Під час запуску у раціоні корів зменшують кількість соковитих і концентрованих кормів, а також скорочують час та інтенсивність підготовки вим'я до доїння, переходять з триразового на дво-, а потім і одноразове доїння.

Норми годівлі для корів живою масою 400-410 кг наведені в таблиці 4.3 [6, 11].

Норми енергетичного і протеїнового живлення дійних корів диференціюються на величину, що забезпечує підтримання життя, і складову, необхідну для утворення продукції. У молодих корів потреба в чистій енергії лактації (ЧЕЛ) для підтримання життя з розрахунку на 1 кг метаболічної живої маси (ЖМ 0,75) на 8,3% вища, ніж у повновікових, що становить відповідно 0,317 і 0,293 МДж [10].

Потреба у сирому протеїні для підтримання життя становить 3,9 г на 1 кг ЖМ 0,75. У молодих корів цей показник також вищий, ніж у повновікових. Потреба у протеїні для утворення молока визначається за вмістом в ньому білка з урахуванням гарантованої надбавки у розмірі 5 %.

Для визначення норм годівлі дійних корів необхідно мати інформацію про живу масу, вік, вгодованість, добовий надій, фазу лактації, вміст жиру і білка у молоці та спосіб утримання тварин.

Таблиця 4.3 - Норми годівлі для корів живою масою 400 кг

Поживні і біологічно активні речовини	Добовий надій, кг 4%-ного молока
	10
1	2
Обмінна енергія, МДж	104,5
Енергетичні кормові одиниці	10,45
Суша речовина, кг	17,0
Сирий протеїн, г	1595
Протеїн, здатний до розщеплення, г	1435
Протеїн, нездатний до розщеплення, г	160
Перетравний протеїн, г	1045
Сира клітковина, г	3080
Нейтрально-детергентна клітковина, % СР	30
Кислотно-детергентна клітковина, % СР	20
Крохмаль, г	1210
Цукор, г	825
Сирий жир, г	308
Сіль, г	71,5
Кальцій, г	71,5
Фосфор, г	49,5
Магній, г	26,4
Калій, г	89,1
Сірка, г	30,8
Цинк, мг	605
Марганець, мг	605
Мідь, мг	88
Кобальт, мг	6,6
Залізо, мг	770
Йод, мг	7,7
Селен, мг	2,2
Молібден, мг	5,5
Вітамін Д, тис. МО	11,0
Вітамін Е, мг	440
Каротин, мг	440

Дійним коровам згодуюють різні доброякісні об'ємисті і концентровані корми у певному співвідношенні, визначеному з урахуванням зміни потреби у поживних речовинах і місткості шлунково-кишкового тракту протягом лактації (таблиця 4.4, 4.5) [10].

Таблиця 4.4 - Структура раціонів дійних корів
У відсотках за поживністю

Корм	Фаза лактації		
	роздоювання	середина	кінець
Сіно	10	12	15
Силос	15-20	20-30	30-35
Сінаж	15-20	20-25	25-30
Концентровані корми	50-60	35-40	20-25

Таблиця 4.5 - Споживання сухої речовини об'ємистих кормів коровами
молочних порід за фазами лактації, кг СР/100 кг ЖМ

Місяць лактації	Споживання об'ємистих кормів
1	1,4-1,6
2-3	1,6-2,0
4-9	2,0-2,2
10-11	1,9-2,1
Сухостійний період	1,4-1,7

Найпоширенішим є силосно-сінажний тип годівлі лактуючих корів, у раціонах яких значну частку становить силос у поєднанні з сінажем за помірного витрачання сіна. З об'ємистих кормів дійним коровам також можна згодувати свіжий і силосований жом 1,5-2,0 кг/100 кг живої маси або близько 15% за поживністю, замінюючи відповідну частку силосу [11]. При цьому слід контролювати забезпеченість корів грубоструктурованою клітковиною, яка у жомі відсутня. Концентровані корми вводять до раціону для забезпечення необхідного рівня енергетичного і протеїнового живлення корів.

Даванка концентрованих прямо залежить від рівня продуктивності корови та від якості об'ємистих кормів у раціоні. Чим вищий надій, тим більше згодовують концкормів. Разом з тим, слід намагатися забезпечити потребу в енергії і поживних речовинах не тільки за рахунок збільшення частки концкормів, але й високої якості об'ємистих кормів.

Комбікорм для корів складається з зернових злакових і білкових кормів, а також вітамінних і мінеральних добавок, введених у вигляді преміксу. У злакових кормах слід брати до уваги сумарний вміст цукру і розщеплюваного у рубці крохмалю, необхідних для забезпечення мікрофлори енергією. У цьому відношенні зерно кукурудзи хоча і має найвищий вміст крохмалю, але частка, розщеплюваного у рубці, менша порівняно з зерном пшениці і ячменю. В той же час підвищений вміст у кукурудзі рубцевостабільного крохмалю поліпшує забезпечення організму корів глюкозою з тонкого кишечника, що особливо важливо для високопродуктивних тварин. З білкових кормів найкраще використовувати соевий шрот, протеїн якого має вищі показники використання у тонкому кишечнику порівняно з протеїном соняшникової макухи чи шроту. Цінним білковим кормом є також свіжа пивна дробина, яка містить багато мікробного білка, стабільного у рубці. Її можна згодовувати 1,5-2 кг/100 кг живої маси або 10% за поживністю, замінюючи частку концкормів [10, 11]. Окремі концентровані корми, які специфічно впливають на якість молока і молочних продуктів, вводять до раціону в обмеженій кількості, кг: овес, кукурудза, ячмінь, жито, соняшникова і лляна макуха – до 4, пшеничні висівки – до 6, ріпакова макуха, меляса – до 1,5.

Оптимальний вміст сухої речовини в кормосумішах повинен знаходитися в межах 45-55%. Якщо вміст сухої речовини перевищує 60%, доцільно додати в суміш воду, водний розчин патоки чи вологі корми у такій кількості, щоб середній вміст сухої речовини становив 45-55%. Якщо кормосуміш надто волога (>55 %), необхідно ввести до раціону сухі корми – сіно, сухий жом, висівки, солому, зменшивши відповідно вміст вологих

кормів, наприклад силосу. Перед введенням до кормосуміші сіна його необхідно подрібнити до частинок величиною 2,5-5 см. В основному, кормосуміші коровам роздають на кормові столи: напівсухі –1, а напіввологі – 2 рази на добу, щоб корм залишався свіжим і не самогрівався. При цьому в процесі поїдання корму, його підгортають через кожні 2-4 години після роздавання. При збільшенні числа роздач кормосумішей до 3-4 разів спостерігається позитивна реакція до підвищення молочної продуктивності корів, але слід враховувати зростання витрат, що може не компенсуватись прибавкою надоїв. Важливий контроль тривалості часу змішування, щоб з одного боку, не допустити надмірного подрібнення грубих вегетативних кормів, і в той же час, забезпечити однорідність суміші та мінімізувати витрати праці і часу.

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз впливових факторів процесів сушіння, метаногенерації та екструдювання із розробленням методики проведення експериментальних досліджень;

2. Розроблено лабораторні зразки установок для сушіння, екструдювання, метаногенерації, гранулювання та змішування зерновмісних матеріалів.

3. Експериментальними даними встановлено, що потужність, споживана на привод роторно-пальцевого робочого органа мобільного розкидача солом'яної підстилки агрегату в складі кормороздавача КТУ-10А і трактора ЮМЗ-8040.2 при частоті обертання хвостовика ВВП трактора 540 хв.-1, поступальній швидкості руху агрегату 2 км/год. та продуктивності 1,5 кг/с дорівнює 7,633 кВт.

Дослідження зміни енергоємності процесу розкидання від радіусу центра мас частини підстилкового матеріалу та швидкості обертанні роторно-пальцевого робочого органа вказують на несуттєве її збільшення (до 2,1 кДж/кг) при обертах барабану до 100 рад/с, тоді як значне збільшення споживання питомої енергії (понад 3,0 кДж/кг) буде відбуватися при збільшенні швидкостей обертання та радіусу центра мас понад 0,3 м та 100 рад/с відповідно, що пов'язано зі зростанням зусиль, необхідних на подолання зростаючого обертового моменту.

Встановлено вплив швидкості обертання роторно-пальцевого робочого органа на енергоємність процесу розкидання підстилкового матеріалу. Аналіз отриманих даних вказує на значне її підвищення, понад 2,0 кДж/кг, при швидкості обертання на рівні 80-100 рад/с. Тобто енергоємність починає різко зростати, адже збільшення кута встановлення пальців відносно радіусу до 80° практично нівелює підвищення швидкості обертання. Все це пов'язано зі збільшенням сили опору сходження підстилкового матеріалу по пальцю.

Енергоємність процесу розкидання відокремленого підстилкового матеріалу до стійла (бокса) становила $E = 1,2 - 3,8$ кДж/кг та збільшувалася із зменшенням кута встановлення пальців відносно радіусу з 80 до 40° . Визначено значення оптимального кута встановлення пальців роторного барабану, який знаходиться у межах $60-65^\circ$.

4. Проведений теоретичні дослідження взаємодії пресованого матеріалу з робочими органами прес-гранулятора в умовах торцевого обмеження клиновидного простору. Аналіз рівнянь (4.34), (4.35) та інших залежностей, отриманих на основі рівняння (4.30), показує, що за рахунок введення додаткових контактних поверхонь обмежувальних кілець (функція K) при тому ж опорі філь'єр забезпечується зміщення зони відставання в напрямку, протилежному обертанню робочих органів, з одночасним розширенням меж зони видавлювання. Це означає, що збільшується різниця $h_{в0}$ і $h_{в1}$ в формулі (4.27) і, відповідно, різниця витрат Q_0 і $Q_{в1}$ в правій частині виразу (4.22). Отже, збільшується продуктивність прес-гранулятора.

5. Оптимізовані конструктивні параметри метантенку, та виявлено, що на форму метантенка впливають насамперед витрати пов'язані з виробництвом його корпусу.

6. Аналіз продукovanого молока в ПП «Могучий» дозволив виявити недоліки раціону та впровадити необхідні рекомендації щодо покращення рецептури для трьох видів великої рогатої худоби.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1 *Павлушин А.А.* Механико-технологическое обоснование и разработка энергосберегающих средств механизации тепловой обработки зерна [Электронный ресурс]: дис. ... д-ра техн. наук / А.А. Павлушин; - Ульяновск : Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия имени П.А. Столыпина», 2014.

2 *Спиридонов А.А.* Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А.А. Спиридонов. – М.: Машиностроение, 1981. – 184 с.

3 *Хартман К.* и др. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов. - М.: Мир, 1977. – 552 с.

4 *Мельник В.О.* Режим доступу: http://avianua.com/ua/index.php/statty_po_pticevodstvu/tekhnohiiia-ptakhivnytstva/40-

5 *Шацький В.В.* Вплив структури субстрату на вихід біогазу при метановому зброджуванні/ *В.В. Шацький, О.Г. Скляр, Р.В. Скляр, О.О.Солодка* // Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2013. - Вип. 13. Т.3, - С. 3-12.

6 *Скляр О.Г.* Властивості біодобриків, що отримуються після анаеробної ферментації гною / *О.Г. Скляр, Р.В. Скляр* // Праці ТДАТУ. – Мелітополь, 2013. - Вип. 13. Т.3, - С.110-118.

7 Біогазова установка: пат. України № 123934: МПК С02F 11/04/ *Мілько Д. О., Скляр О. Г., Скляр Р. В., Григоренко С. М.* - № 201710282; заявл. 24.10.2017; опубл. 12.03.2018, Бюл. №5.

8 *Сеитбеков Л.С.* Микробиологическая анаэробная конверсия биомассы/ *Л.С. Сеитбеков, Е.Б. Нестеров, В.Г. Некрасов.* – Алматы: Издательство «Эверо», 2005. – 276 с.

9 BiogasWorks. - 2002. – Режим доступу: www.biogasworks.com

10 *Курка Р.Р.* Особливості технології формування паливних гранул з подрібненої деревини листяних порід / *Р.Р. Курка* // Науковий вісник НЛТУ

України: зб. наук.-техн. праць. – Львів: РВВ НЛТУ України. – 2011. – Вип. 21.13. – С. 132-136.

11 *Мельничук М.Д.* Альтернативна енергетика: навч. посібник для студ. вищ. навч. закл. / М.Д. Мельничук, В.О. Дубровін, В.Г. Мироненко та ін. – К.: Аграр Медіа Груп, 2011. – 612 с.

12 *Щербина В.И.* Ресурсосберегающие процессы гранулирования и брикетирования кормов шестеренными прессами: дис. докт. техн. наук. – зерноград, 2004.

13 *Симакин Ю.А.* Исследование процесса брикетирования кормов зубчатым рабочим органом: дис. канд. техн. наук. – зерноград, 1977. – 201 с.

14 *Ладыгин Е.А.* Технология и пресс для гранулирования кормолекарственных смесей: дис. канд. техн. наук. – зерноград, 1992. – 159 с.

15 *Белоконов С.А.* Анализ факторов производительности шестеренного гранулятора / С.А. Белоконов, А.Ф. Зорин, В.И. Щербина // Совершенствование процессов и технических средств в АПК. – зерноград, 1999. С. 48–51.

16 *Матвейкина Ж.В.* Совершенствование технологии и параметров гранулятора для приготовления жиросодержащих кормов: дис. канд. техн. наук. – зерноград, 2004. – 148 с.

17 *Ревенко І.І.* Машини та обладнання для тваринництва: підручник / І.І. Ревенко, М.В. Брагінець, В.І. Ребенко – К.: Кондор, 2009. – 731 с.

18 *Ревенко І.І.* Роздавачі кормів для рогатої худоби / Ревенко І.І., Лісовенко Т.О., Хмельовський В.С., Ревенко Ю.І. – К.: ВПВ УкрІНТЕІ, 2009. – 200с.

19 *Палкин Г.С.* Технология и техника кормления высокопродуктивных коров / Г.С. Палкин // Техника и оборудование для села, 2007. – № 5. – с. 36-38.

- 20 *Ревенко І.* Сучасний ринок засобів роздавання кормів рогатій худобі / І. Ревенко, Т. Лісовенко, В. Хмельовський // Пропозиція. – 2008. – № 9. – с. 106-114.
- 21 *Геремезов Д.* Применение кормораздатчиков-смесителей - залог повышения продуктивности крупного рогатого скота / Д. Геремезов, В. Шейченко // Техніка АПК. – 2006. – №4. – с. 16-18.
- 22 *Смоляр В.* Фермський комбайн – універсальний технічний засіб / В. Смоляр, С. Постельга, Л. Кириченко, Ю. Калітинський // Техніка АПК. – 2007. – №10. – с. 20-21.
- 23 *Палкін Г.С.* Сучасні мобільні кормороздавачі-змішувачі для годівлі худоби кормосумішками / Г.С. Палкін // Пропозиція. – 2004. – № 4. – с. 88-91.
- 24 *Дереза О.О.* Основні напрямки удосконалення конструкцій змішувачів – кормороздавачів / О.О. Дереза, С.В. Дереза // Науковий вісник ТДАТУ. – Мелітополь: ТДАТУ, 2012. – Вип.2. Т.2. – С. 20-27.
- 25 *Пивовар В.С.* Нові технології приготування та роздавання кормосумішей на фермах великої рогатої худоби / В.С. Пивовар, Г.П. Гнатюк // Мясное дело: ежемесячный производственно-практический журнал. – 2008. – №1. – с. 66-69.
- 26 *Палкин Г.С.* Технология и техника кормления высокопродуктивных коров / Г.С. Палкин // Техника и оборудование для села, 2007. – № 5. – с. 36-38.
- 27 *Макарецев Н.Г.* Кормление сельскохозяйственных животных / Н.Г. Макарецев // Калуга: Издательство научной литературы, 2007. – 608 с.
- 28 *Костенко Д.* Кормові суміші – перспективний напрям годівлі великої рогатої худоби / Д. Костенко, О. Заболотько, В. Хмельовський // Пропозиція. – 2008. – № 4. – с. 134-136.