УДК 636.361
№ держреєстрації 0116U002721
Інв. №

Міністерство освіти і науки України
Таврійський державний агротехнологічний університет
(ТДАТУ)
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
"_____"_____2018 р.

ЗВІТ
ПРО РОБОТУ НАУКОВО-ДОСЛІДНОЇ ЛАБОРАТОРІЇ „ РЕСУРСОВИКОРИСТАННЯ В ТВАРИННИЦТВІ"

(проміжний)

Підпрограма: Розробити технічні засоби для приготування кормів та компостної суміші

Завідувач відділу:
д.т.н., проф. В.А. Дідур

Завідувач лабораторією: Д.О. Мілько
д.т.н., доц.

ТДАТУ, 2018
Результати роботи розглянуто НТР НДІ,
протокол від

СПИСОК АВТОРІВ

Відповідальний виконавець – завідувач лабораторії, докт. техн. наук., доцент	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 3.3, 3.5)
Канд. техн. наук., доцент	Р.В. Скляр (участь у 3.2)
Канд. техн. наук., доцент	Н.І. Болтянська (участь у 3.4)
Старший викладач	С.В. Дереза (участь у 3.5)
Інженер	С.М. Григоренко (участь у 3.1)
Старший лаборант	О.О. Солодка (участь у 3.1)
Технік	А.С. Комар (участь у 3.4)

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 49 с., 6 рис., 28 посилань.

Об’єкти досліджень:

Потокова сушарка зерновмісних матеріалів, метаногенератор, 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 схему фізичної сутності процесу сушіння зерновмісної сировини;
- Представлені методики зброджування зерновмісної сировини для отримання біогазу;
- Розроблено програму і методику проведення експериментальних досліджень кормороздавача – розкидача підстилки;
- Проведено аналіз теоретичних досліджень процесу ущільнення зерновмісної сировини;
- Пердставлено теоретичне обґрунтування конструктивно-технологічних показників кормороздавача – розкидача підстилки.

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

ЗМІСТ

ВСТУП……..……..5

1 ПРОГРАМА ДОСЛІДЖЕНЬ…….6

2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ……..…6

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ…….….7

3.1. Аналіз фізичної сутності процесу теплової обробки зерновмісних матеріалів……...7

3.2 Особливості процесу метаногенерації пташиного посліду……14

3.3. Програма та методика проведення експериментальних досліджень по енергетичній оцінці розкидача солом’яної підстилки з роторно-пальцевим робочим органом ……22

3.4. Аналіз теоретичних досліджень обладнання для ущільнення сипкої сировини ……..……29

3.5 Визначення конструктивних параметрів змішувача-кормороздавача з вертикальним бункером…….……..37

ВИСНОВКИ……..47

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ…….……48

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.

Для покращення ситуації слід застосовувати потокові технології для попередньої обробки пташиного посліду, які б забезпечували його подальше застосування.

Застосування потокової сушарки з лопатевим барабаном є провідною ідеєю даної роботи. Для створення подібної сушарки в основу покладено використання ідеї створення вихрового потоку теплого повітря в середині барабану, що забезпечить збільшенню часу контактування теплоносія із матеріалом, що піддається сушінню.

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. Провести аналіз фізичної сутності процесу сушіння зерновмісних компонентів та визначити впливові фактори та критерій оптимальності процесу.

1.2. Виявити особливості пташиного посліду з метою визначення оптимальних режимів зброджування для отримання біогазу.

1.3. Розробити програму і методику експериментальних досліджень кормороздавача – розкидача підстилки з метою отримання енергетичних показників процесу.

1.4. Провести теоретичні дослідження ущіленння зерновмісних компонентів з метою виявлення напрямків вдосконалення та застосування.

1.5. Провести аналітичні дослідження конструктивно-технологічних параметів кормороздавача-розкидача.

2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. На основі аналізу фізичної сутності процесу виявити впливові фактори та критерій оптимальності, представлені у вигляді схеми.

2.2. На основі визначених особливостей пташиного посліду запропонувати оптимальні режими зброджування для отримання біогазу.

2.3 Представити програму і методику експериментальних досліджень кормороздавача – розкидача підстилки з метою отримання енергетичних показників процесу.

2.4. Представлення напрямків вдосконалення та застосування перс-грануляторів з обґрунтованою технологічною схемою.

2.5. Представити аналітичні дослідження конструктивно-технологічних параметрів кормороздавача-розкидача.

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Аналіз фізичної сутності процесу теплової обробки зерновмісних матеріалів

Обґрунтування та впровадження новітніх технологій пов’язаних із тепловою обробкою зерновмісних продуктів полягає, зазвичай у розв’язанні цілого переліку завдань. У якості таких завдань виступають визначення теплофізичних характеристик досліджуваної сировини, аналіз та вибір способу підведення теплоти та обґрунтування її впливу на досліджуваний матеріал. Також не виключаються розрахунки тепло-, волого переміщення та обміну. Причому із достатнім контрольно – вимірювальним оснащенням та системами автоматичного регулювання перебігу процессу.

Зазвичай вирішення завдань, що представлені вище, на початковому етапі можна здійснити завдяки моделюванню тепло-фізичних процесів. Такий підхід дозволить обґрунтувати не тільки оптимальні режими термодії з параметрами устаткування, а і дійти висновку щодо найбільш доцільного способу управління цими процесами у виробничих умовах.

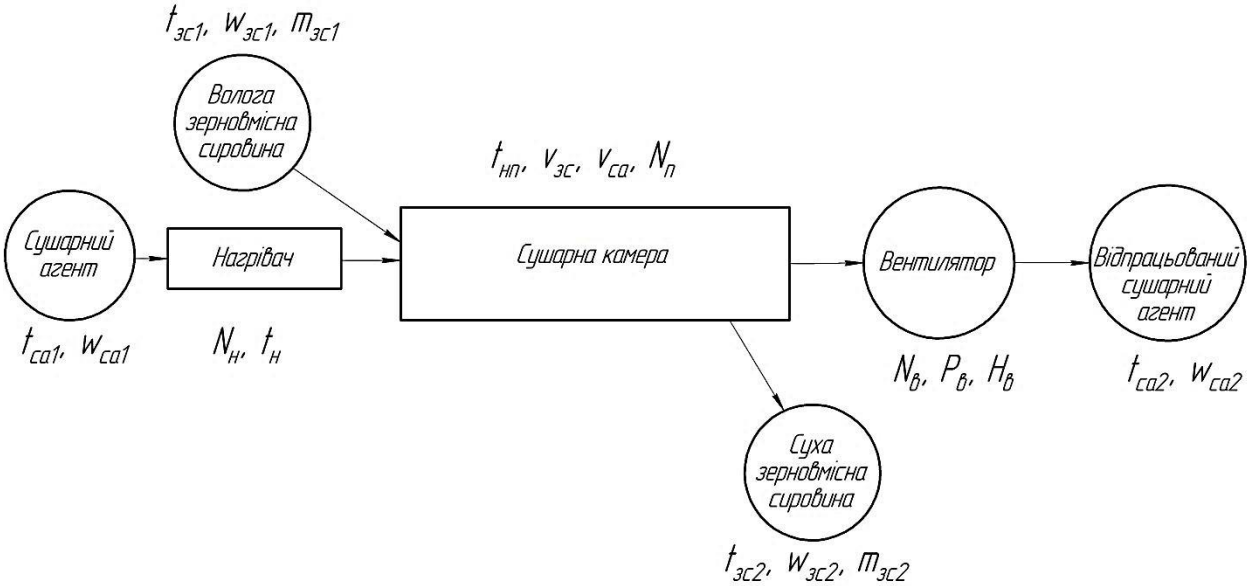
Моделювання теплових процесів взаємодії агентів із зерновмісними продуктами складається на основі динамічних систем та процесів, які відбуваються при цьому.

Використовуються для цієї мети різноманітні види моделювання, а саме фізичне, інформаційне, математичне, економіко – математичне тощо.

Принциповою особливістю фізичного моделювання є часткове або повне відтворювання фізичної природи досліджуваного процесу. Для фізичного уявлення процесів теплової обробки зерновмісних сумішей складаються системи рівнянь, які описують характер зміни стану речовини та вплив конструктивних параметрів на показники процесу. Таким чином описуються процеси тепло- та вологісного обміну при впливі потоку сушарного агенту на зерновмісний матеріал.

Фізичні дослідження явищ з’явилися набагато раніше ніж математичні, що пов’язано зі збільшеною складністю аналізу процесу аналітичними методами ніж при наявному проведенні дослідів. Однак зустрічаються випадки сумісного застосування фізичних та математичних досліджень, а саме коли деякі елементи процесу представляють математичними залежностями поряд із елементами фізичного устаткування.

Вплив сушарного агенту на зерновмісну суміш в устаткуванні, що використовує контактні методи теплопередачі можна представити у вигляді функціональної схеми з параметричними залежностями (рис. 3.1).



$t_{са}$ – температура сушарного агенту, °С; $w_{са}$ – вологість сушарного агенту, %; $t_з$ – температура зерновмісної сировини, °С; $w_{зс}$ – вологість зерновмісної сировини, %; $m_{зс}$ – маса зерновмісної сировини, кг; $t_{нп}$ - температура нагрівальної поверхні, °С; $v_{зс}$ – швидкість руху зерновмісної сировини, м/с; $v_{са}$ - швидкість руху сушарного агенту, м/с; $N_п$ – потужність, на привод транспортувального органу, кВт; $N_н$ – потужність, нагрівального елементу, кВт; $t_н$ – температура нагрівального елементу, °С; $N_в$ – потужність, вентилятору, кВт; $P_в$ – продуктивність (подача) вентилятора, $м^3$/ч; $H_в$ – тиск (напір), вентилятору, Па.

Рисунок 3.1 – Функціональна фізична модель теплового впливу на зерновмісну суміш в установці контактного типу

На зерновмісну суміш, яка потрапляє до сушильної (теплової) камери, впливають повітряний потік, створюваний вентилятором і тепло, що

передається від нагрівального елементу. Схематично цю модель можливо описати наступними параметричними факторами: пропускна здатність пристрою для теплової обробки зерновмісної суміші Q, кг/год, і сумарні питомі енерговитрати на процес випаровування вологи з неї q, МДж/кг.

Модель технологічного процесу теплового впливу на зерновмісну суміш в установці з контактним способом підведення теплоти можна представити в наступному вигляді (рис. 3.2) [1].

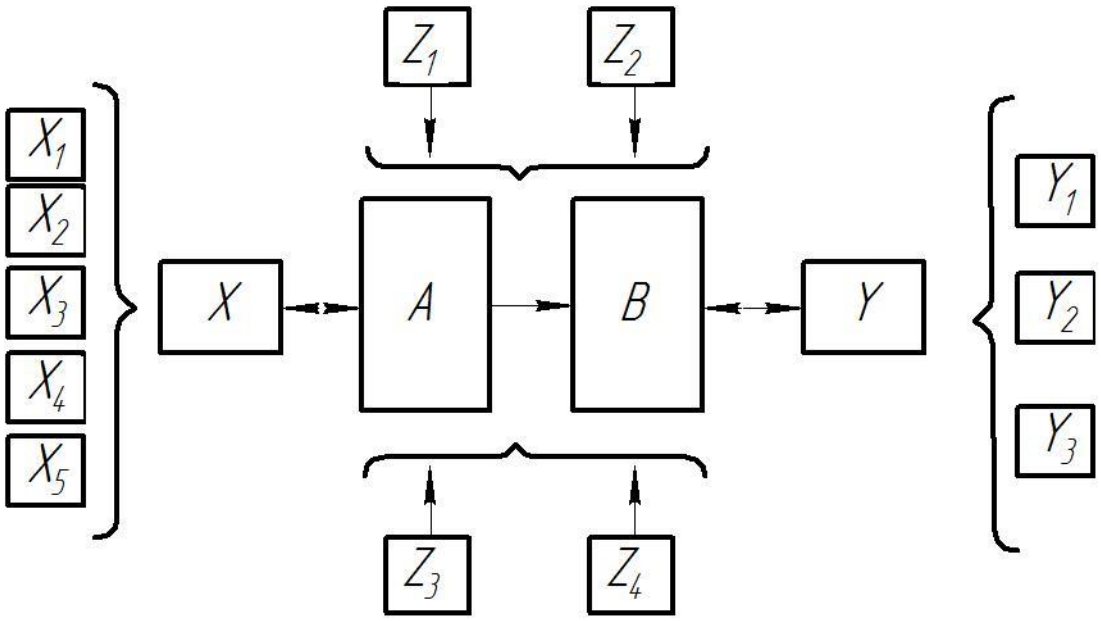


Рисунок 3.2 – Інформаційна модель теплової дії на зерновмісну суміш в обладнанні контактного типу.

Ця модель, яка побудована за типом «вхід-вихід», передбачає, що процес теплового впливу на зерновмісну суміш - є системою заходів і засобів, спрямованих на перетворення вихідного стану вологої зерновмісної суміші (масив А) в продукцію різноманітного призначення: паливне, добривне і кормове (масив В).

При цьому масив А (вхід моделі) характеризує вектор-функція зовнішніх чинників (збурень)

$$X = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5\}, \quad (3.1)$$

де x_1 – вихідна воллогість зерновмісної суміші; x_2 – вихідна температура зерновмісної суміші; x_3 – вид сировини; x_4 – температура навколишнього повітря; x_5 – вологість навколишнього повітря.

В якості вихідної змінної (масив В) приймаємо вектор функцію якісних показників процесу теплового впливу

$$Y = \{y_1, y_2, y_3\}, \tag{3.2}$$

де y_1 – вологість зерновмісної сировини на виході; y_2 – температура зерновмісної сировини на виході з теплової камери; y_3 – сипкість зерновмісної сировини.

Керуючими впливами в запропонованій моделі є: швидкість руху зерновмісної сировини в камері сушіння z_1, середня температура нагрівальної поверхні z_2, швидкість руху повітряного потоку в камері сушіння z_3, напрям руху повітряного потоку в камері сушіння по відношенню до напрямку руху оброблюваної зерновмісної суміші (зворотній або прямий рух і т. п.) z_4.

Математичне моделювання процесів теплового впливу в теплових апаратах характеризується системами рівнянь, що пов’язують вихідні змінні з вхідними впливами, або взаємозв’язком параметру (критерію) оптимізації процесу теплового впливу на зерновмісну сировину із незалежними діючими факторами.

Етапи математичного моделювання при плануванні експерименту з визначення оптимальних режимних параметрів процесу теплового впливу на зерновмісну сировину в установках із контактним способом підводу тепла представляють у вигляді схеми (рис. 3.3) [1].

Параметр оптимізації процесу теплового впливу на зерновмісну сировину повинен бути ефективний з точки зору досягнення мети, універсальним, статистично ефективним, який має фізичну суть та легко обчислюватися. Таким чином, для характеристики процесу сушіння зерновмісної сировини може виступити показник сумарних питомих витрат енергії на 1 кг вологи, яка випаровується, кДж/кг. Цей показник є

відношенням витраченої на сушіння теплоти Q, кДж, до кількості вологи, що випарилася M, кг.

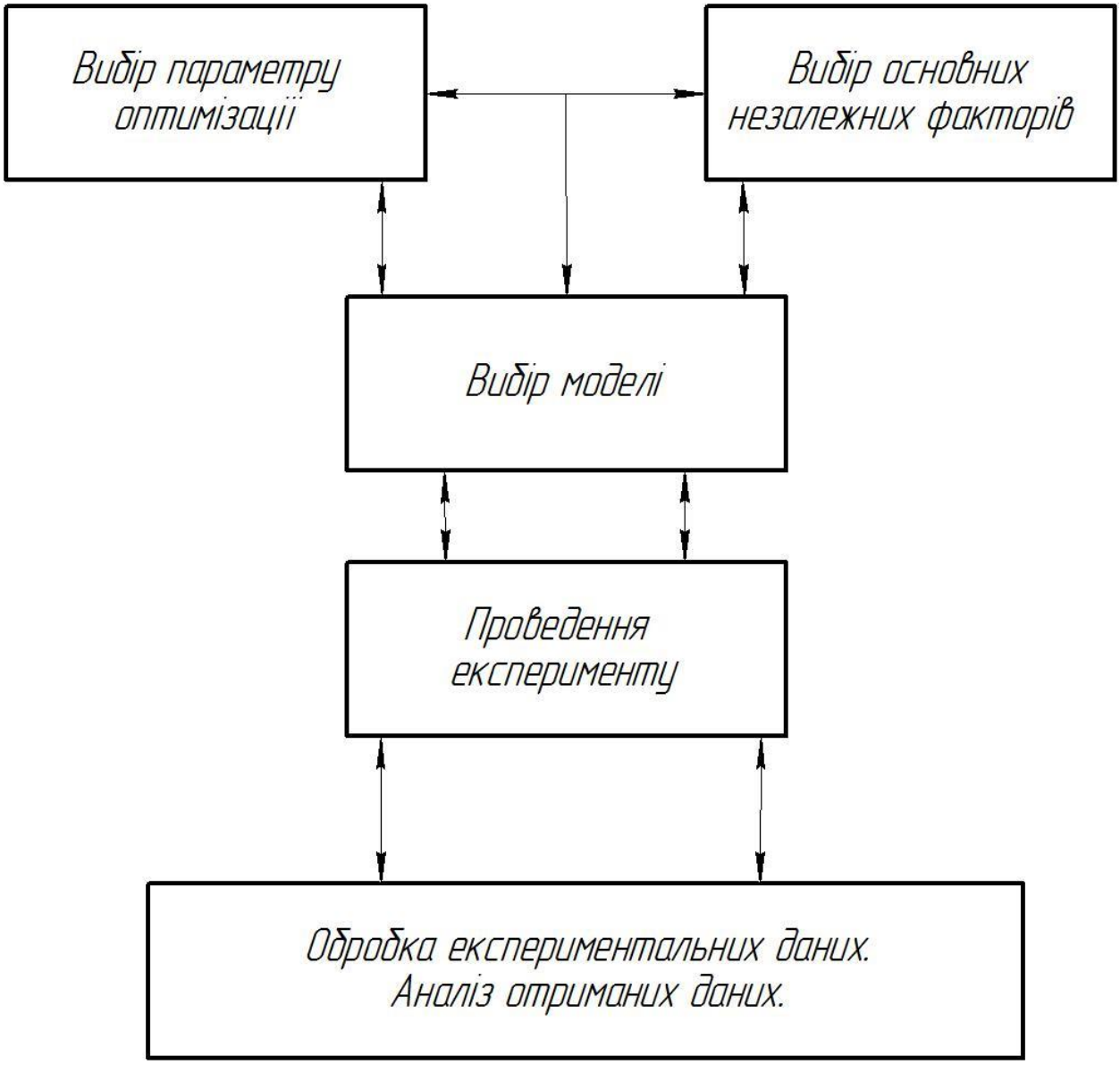


Рисунок 3.3 – Етапи математичного моделювання при плануванні експериментів з дослідження теплового впливу на зерновмісну суміш.

Вибрані незалежні фактори (кількісні та якісні), які характеризують процес теплового впливу на зерно, повинні безпосередньо впливати на об'єкт дослідження. У сукупності діючі фактори повинні володіти сумісністю і відсутністю лінійної кореляції.

Після вибору параметра оптимізації і діючих факторів переходять до вибору математичної моделі досліджуваного процесу теплового впливу, під якою розуміють вигляд функції відгуку.

Основною вимогою до моделі – є здатність передбачати із необхідною імовірністю напрямок наступних досліджень (адекватність моделі).

Важливою вимогою при проведенні експерименту є зменшення випадкових і систематичних помилок досліду. Особливу увагу при цьому приділяють перевірці однорідності дисперсій, так як це одна з передумов, що лежать в основі кореляційно-регресійного аналізу. Для перевірки однорідності дисперсій використовують критерії Кохрена або Бартлета.

Обробку отриманих результатів експерименту здійснюють різними статистичними методами - методом найменших квадратів, кореляційно-регресійний аналізом. При цьому необхідно перевірити адекватність отриманої моделі за критерієм Фішера і значимість коефіцієнтів отриманих регресій за критерієм Стьюдента [2, 3].

Комплексне використання принципів математичного моделювання та математичної теорії великих систем, а також досягнень сучасної обчислювальної техніки дозволяє перейти від складної реальної моделі процесу теплового впливу на зерно, як нестаціонарного і оборотного процесу, до його формалізованої математичної моделі.

У цьому випадку на вхід формалізованої фізико-хімічної системи надходять потоки суцільного середовища, що характеризуються вектором вхідних змінних (складом і параметрами стану окремих фаз), які в процесі обробки під дією технологічних чинників перетворюються в вектор вихідних змінних. При цьому реальна залежність замінюється еѐ математичною моделлю, в якій відображають залежність вектора вихідних змінних від вхідних змінних і змінних стану об'єкта теплової обробки в часі. В явному вигляді модель є замкнута система аналітичного опису процесу у вигляді рівнянь регресії, диференціальних, інтегральних і диференційно-

інтегральних рівнянь з відповідними крайовими умовами та емпіричними співвідношеннями.

3.2 Особливості процесу метаногенерації пташиного посліду

За приблизними розрахунками, річний вихід посліду в птахівницьких господарствах України складає близько 4,7 млн. тонн [4]. Зараз послід часто служить джерелом забруднення повітряного середовища, ґрунтів, водоймищ та підземних вод токсичними речовинами, розповсюдження хвороботворних мікроорганізмів, насіння бур'янів, яєць та личинок гельмінтів і мух. Під його складування та зберігання з господарського обороту вилучаються великі площі сільгоспугідь.

В той же час здавна, пташиний послід відомий як висококонцентроване легкозасвоюване органічне добриво[4, 5, 6]. Потреба в таких добривах особливо велика на сучасному етапі, коли мінеральні добрива дорогі, а ґрунти в Україні в значній мірі втратили свій природний потенціал родючості з-за прискореного винесення гумусу. Підготовлений відповідним чином пташиний послід може використовуватися також як кормовий інгредієнт, а останнім часом його почали застосовувати і як енергоресурс.

На врожай пташиний послід діє майже так само, як комплексні мінеральні добрива [4, 6]. Має яскраво виражену післядію протягом 2-3 років після внесення. Це пояснюється тим, що корисні речовини з пташиного посліду вивільняються повільно і поступово.

Для прямого внесення це добриво не можна використовувати в свіжому вигляді, так як в ньому міститься багато сечової кислоти, яка може «спалити» коріння рослин [7, 8, 9]. У його складі в кілька разів більше азоту і фосфору, ніж, наприклад, в коров'ячому гної. Щоб зменшити надмірну концентрацію цих речовин, необхідно залишити послід на відкритому повітрі протягом тривалого терміну. Зайве випарується, і отриманий залишок можна буде застосовувати за призначенням.

Для усунення цих негативних явищ необхідна спеціальна технологія обробки посліду, що дозволяє підвищити концентрацію живильних речовин і одночасно усунути неприємні запахи, подавити патогенні мікроорганізми, понизити вміст канцерогенних речовин. Тому метою досліджень є отримання високоцінних органічних добрив з пташиного посліду.

Птиця використовує на приріст живої маси, продукцію, підтримання температури тіла, роботу внутрішніх органів та інші функції організму - приблизно 35-40% спожитих нею поживних речовин корму, решта виділяється разом з послідом, а частково в атмосферу. Кількість посліду, яку виділяє одна птиця за добу, в 1,1-1,5 разів більша за кількість з'їденого нею корму [4].

Пташиний послід являє собою складну і неоднорідну структуру, до складу якої входять органічні та неорганічні сполуки. До органічних відносять в основному азотисті сполуки (білки, пептиди, амінокислоти) та сполуки вуглецю (ліпіди, гліцерини, жирні кислоти, вуглеводи, у тому числі клітковина, цукри, спирти, целюлозолігнин). До неорганічних сполук відносять воду, аміак, деякі сполуки міді, фосфору, калію, цинку, марганцю тощо. Хімічний склад різних видів птиці має свої відмінності. Він також в значній мірі залежить від умов годівлі та утримання птиці.

Вважається, що курячий гній - найкорисніше добриво. Але це не так. Є менш поширені, дія яких по ефективності перевершує курячий послід. Наприклад, це відходи життєдіяльності перепелів. Вони економічно дуже вигідні, так як на відро корму виходить відро посліду. У цьому добриві майже не містяться яйця глистів, адже температура тіла у перепелів вище, ніж у курей, і наприклад, бактерію сальманульоза вона вбиває. Перепелиний послід менш токсичний, ніж курячий, і в ньому міститься більше органічних речовин через особливості харчування цих птахів.

Цінність посліду як органічного визначається перш за все вмістом таких хімічних елементів, як азот, фосфор та калій. Добриво вироблено з перепелиного посліду шляхом контрольованого процесу ферментизації з

подальшим висушуванням і гранулюванням на лабораторній установці кафедри «Технологічні системи технологій тваринництва» Таврійського державного агротехнологічного університету.

Переваги сухого гранульованого перепелиного посліду перед свіжим:

- не має запаху;
- відсутні життєздатні насіння бур'янів, яєць і личинок гельмінтів і мух;
- відсутні підвищена вологість і липкість, властиві мокрому посліду;
- міститься більше корисних мікроелементів, ніж у свіжому вологому посліді (таблиця 1).

В процесі зберігання мокрий послід сильно розігрівається, що підсилює втрати азоту. При зберіганні гранульованого посліду, істотних змін за хімічним складом не відбувається. Результати порівняльного агрохімічного аналізу перепелиного посліду наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Агрохімічний склад перепелиного посліду, %

Показники	Вид посліду	
	гранульований	свіжий
Вміст загального азоту	8,5	1,3
Вміст загального фосфору	2,4	1,7
Вміст загального калію	1,4	1,0
Органічна речовина	76,4	18,2
Вологість	9,6	65
Зольність	23,6	10,3
Суха речовина	90,4	20,5

Вміст окремих елементів і сполук у послідній масі може також в значній мірі змінюватися залежно від умов та тривалості зберігання [4-6]. Під впливом повітря, вологи, мікроорганізмів, сонця та інших факторів у посліді відбуваються різні хімічні перетворення, в результаті яких одні сполуки переходять у інші, частина з них (вуглекислий газ, аміак, метан, водень, молекулярний азот) вивітрюється в атмосферу і втрачається.

Найбільш перспективною, з точки зору отримання агрохімічної (виробництво добрив), екологічної (знезараження і дезодорація) і енергетичної (виробництво палива і електроенергії) ефективності, є технологія переробки гною в анаеробних умовах в спеціальних герметичних реакторах - метантенках, виконаних, як правило, з металу.

Якщо в процесі компостування беруть участь мікроорганізми-аероби, то в процесах біоенергетичної переробки посліду - мікроорганізми-анаероби, тобто вони живуть в безкисневому середовищі. В процесі анаеробної ферментації посліду отримують так званий біогаз. Біогаз - суміш газів. Його основні компоненти: метан (CH4) - 55-70% і вуглекислий газ (CO2) - 28-43%, а також в дуже малих кількостях інші гази, наприклад - сірководень (H2S) [5, 7]. В середньому з 1 кг органічної речовини (в перерахунку на абсолютно суху речовину), біологічно розкладеного на 70%, можна зробити 0,18 кг метану, 0,32 кг вуглекислого газу, 0,2 кг води і 0,3 кг нерозкладного залишку.

Для отримання біогазу з пташиного посліду, ми рекомендуємо використовувати клітки для утримання птахів або обладнати приміщення спеціальним сідалом для більш ефективного збору органічних відходів. В іншому випадку частка сторонніх включень, таких як тирса, каміння, пісок і т.д. може бути настільки велика, що зробить його непридатним для переробки. Також рекомендується змішувати пташиний послід з гноєм ВРХ, для запобігання виділення надмірно великої кількості аміаку з переробляється біомаси.

Оскільки розкладання органічних відходів відбувається за рахунок діяльності певних типів бактерій, істотний вплив на нього робить навколишнє середовище [7]. Так, кількість газу, що виробляється в значній мірі залежить від температури: чим тепліше, тим вище швидкість і ступінь метаногенерації органічної сировини. Існують психрофільні (при температурі 10-25^{0}C), мезофільні (25-40^{0}C) і термофільні (50-55^{0}C) режими біоконверсії. Виробництво біогазу в термофільному набагато вище в

порівнянні з мезофільним і психрофільним режимами. Саме тому, ймовірно, перші установки для отримання біогазу з'явилися в країнах з теплим кліматом. Однак застосування надійної теплоізоляції, а іноді і підігрів суміші, дозволяє експлуатувати генератори біогазу в районах, де температура взимку опускається до -20ºС. Існують певні вимоги і до сировини: вона повинна підходити для розвитку бактерій, містити біологічно розкладену органічну речовину і в великій кількості воду (90-94%). Однак можна піддавати метаногенерації і звичайний послід і навіть тверді органічні відходи. Бажано, щоб середовище було нейтральним і без речовин, що заважають дії бактерій: наприклад, мила, пральних порошків, антибіотиків. Тривалість ферментації, що забезпечує знезараження посліду, не менше 12 діб. При ферментації в посліді практично повністю зберігаються азот і фосфор. Маса гною майже не змінюється, якщо не брати до уваги випаровування води, яка переходить в біогаз. Зазвичай органічна речовина в процесі біоенергетичної ферментації розкладається на 30-40%; деструкції піддаються в основному легко розкладаємі з'єднання - жир, протеїн, вуглеводи, а основні гумусоутворюючі компоненти - целюлоза і лігнін - зберігаються повністю.

Завдяки виділенню метану і вуглекислого газу оптимізується співвідношення C / N [4, 5]. Частка аміачного азоту збільшується. Реакція одержуваного органічного добрива - лужна (pH 7,2-7,8), що робить таке добриво особливо цінним для кислих ґрунтів. У порівнянні з добривом, що одержуються з посліду звичайним компостуванням, врожайність збільшується на 10-15%. Вміст води в біогазі при 40°С - 50 г / м^3; при охолодженні біогазу вона конденсується, і необхідно вжити заходів до видалення конденсату (осушення газу, прокладка труб з потрібним ухилом і ін.). Енергоємність біогазу в середньому 23 мДж / м^3, або 5500 ккал / м^3.

Слід відзначити, що під час метанового бродіння зберігається до 83% енергії зброджуваної глюкози. Такий високий процент свідчить, що

метаногенез є самим вигідним в енергетичному відношенні шляхом трансформування енергії органічних речовин у паливо.

При виробництві біогазу властивості посліду як добрива зберігаються в так званому шламі, який виявляється більш цінним і ефективним добривом, ніж послід. Біодобриво, що виробляється в біогазових установках, підвищує урожайність пшениці, жита, цукрових буряків, картоплі та інших культур на 35—40% порівняно з врожаями тих же культур, одержаних на полях, удобрених необробленим гноєм. Такий наслідок аж ніяк не випадковий. Адже під час метаногенерації в герметичних метантенках поживні елементи цілком зберігаються. В той же час різноманітні перетворення складних органічних сполук сприяють підвищенню доступності для рослин поживних компонентів.

Методика експериментальних досліджень

3.2.1 Обґрунтування вибору методу експериментальних досліджень

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

Дослідження в періодичному процесі передбачає інокуляцію та витримування підготовлених сумішей в заданому температурному режимі протягом тривалого періоду часу (не менше 20 діб), 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 зброджуванні численних, відмінних за складом сумішей субстратів та інокуляту. Окремою 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 зброджування 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.

3.2.2 Програма експериментальних досліджень

Процес метанового бродіння в періодичному режимі організовується шляхом змішування досліджуваних субстратів та наступним витримуванням утвореної суміші в герметичній системі без доступу повітря в мезофільних умовах (37±1°С).

У роботі проводяться три окремі серії експериментальних досліджень. У першій серії досліджується вплив співвідношення СОР посліду (СОР П) та

СОР рицини (СОР Р) на показники виходу біогазу. Утворюються 6 сумішей посліду, рицини та води з частками СОР Р рівними 15%, 30%, 50% та 75%, та окремо суміші посліду та води; рицини та води. 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 C:N та C:P в органічній речовині Р на питомий вихід біогазу та CH4. Вихід біогазу та CH4 досліджується в процесі періодичного метанового бродіння зразків в суміші П25% та Р75% та при початковій концентрації СОР субстратів S0 = 38,5±3,5 гСОР/л.

3.3 Програма та методика проведення експериментальних досліджень по енергетичній оцінці розкидача солом’яної підстилки з роторно-пальцевим робочим органом

3.3.1. Загальні положення

3.3.1.1 Енергетичну оцінку сільськогосподарських машин і агрегатів проводять з метою визначення витрат енергії на виконання технологічних операцій.

3.3.1.2 Енергетичну оцінку сільськогосподарських машин і агрегатів проводять на режимах роботи, при яких стійко виконуються технологічні

операції, при цьому кількість режимів має встановлюватися стандартами на машини конкретних типів.

3.3.1.3 Умови проведення енергетичної оцінки сільськогосподарських машин і агрегатів повинні відповідати технічним завданням (ТЗ) та технічним умовам (ТУ).

3.3.1.4 При відсутності в стандартах на машини конкретних типів варіантів режимів роботи енергооцінку проводять на режимах, при яких стійко виконується технологічний процес. При цьому режимів має бути не менше трьох.

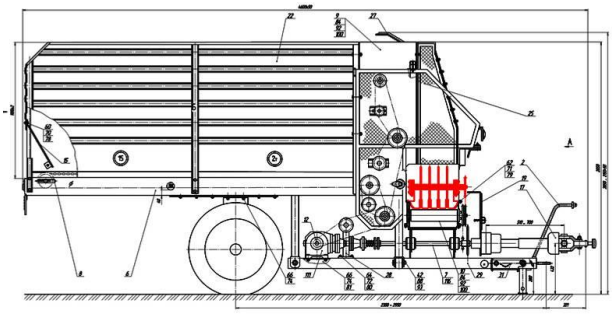
3.3.1.5 Засоби вимірювання повинні бути повірені або калібровані відповідно до вимог державних стандартів.

3.3.1.6 Результати випробувань записують у таблицю 2.

3.3.2. Програма досліджень

Для механізації процесу внесення підстилки в Запорізькому науково-дослідному центрі з механізації тваринництва розроблено розкидач, який призначений для розкидання солом'яної підстилки при безприв'язно-боксовому утриманні великої рогатої худоби. Експериментальний зразок розкидача для внесення солом'яної підстилки з роторно-пальцевим робочим органом спроектований і виготовлений з комплектом комбінації радіальних і гнутих пальців на роторі.

Розкидач солом’яної підстилки, базою якого обрано кормороздавач типу КТУ, призначений для розкидання подрібненої (6-15 см) солом'яної підстилки в бокси з максимальним їх покриттям по площині. Конструктивна схема та загальний вид експериментального розкидача підстилки з роторно-пальцевим робочим органом, який агрегатується з трактором класу 1.4, наведені на рис. 3.4.



а) б)

Рисунок 3.4 - Конструктивна схема (а) та загальний вид (б) експериментального розкидача підстилки.

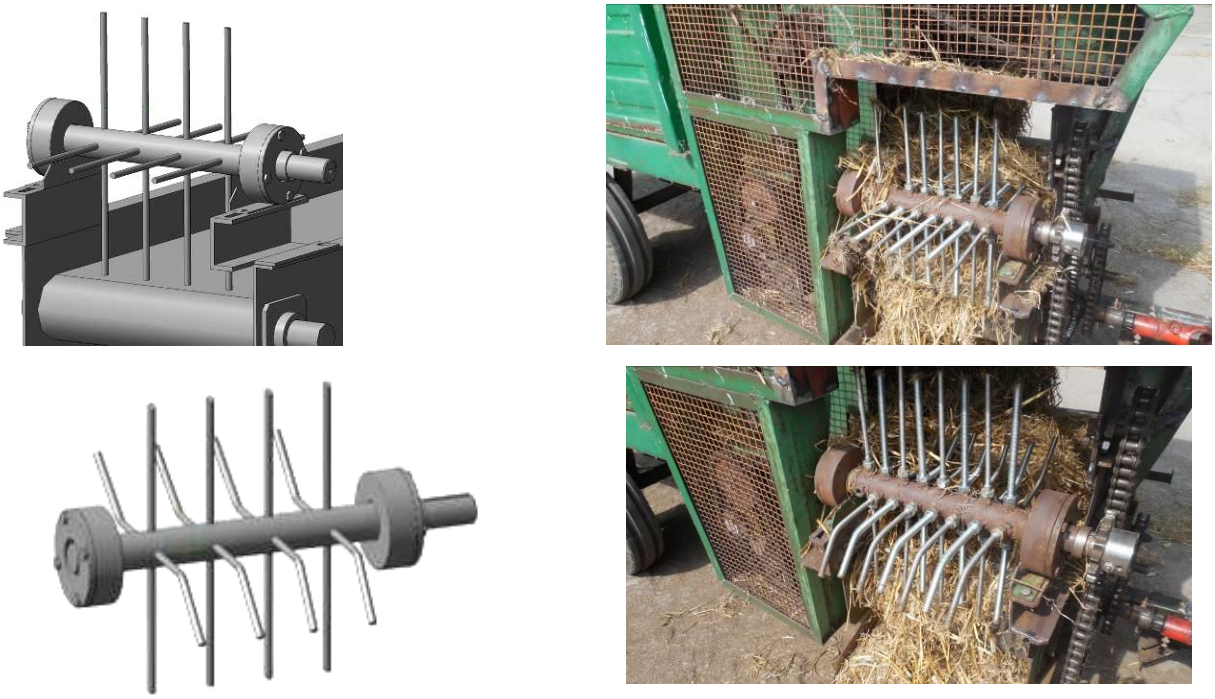
Робочим органом для внесення підстилки є ротор з чотирма рядами пальців. У першому варіанті з прямими пальцями, в другому варіанті - з пальцями, частина з яких виконано гнутими під кутом 30° (45°) (Рис. 3.5).

Роторно-пальцевий робочий орган розкидача встановлено у вивантажувальному вікні роздавача над поперечним стрічковим транспортером таким чином, що вивантажувальна маса викидається з транспортера робочим органом перпендикулярно напряму руху розкидача.

Принцип дії розкидача ґрунтується на механічній подачі солом’яної підстилки із бункера-накопичувача роторно-пальцевим робочим органом, який являє собою обертальний вал із радіально розташованими рядами пальців.

З поперечного транспортеру ротор прямими пальцями одного ряду зчісує солом’яну масу, у тому числі зволожену, і кидає її у розпушеному вигляді на підлогу боксу. Гнуті пальці ротору, які складені з двох відрізків, розташованих під кутом один до одного, спочатку ущільнюють солом’яну масу, а вже потім кидають її у вигляді ущільненої порції, яка долає більшу відстань за рахунок зменшення опору повітря, ніж попередня розпушена порція солом’яної маси. Таким чином, при незмінній частоті обертання валу ротора, солом’яна маса скидається пальцями ротору на різну відстань, чим досягається розширення

смуги розкиданої маси і підвищення рівномірності розкидання підстилки по площині боксу.



а) б)

Рисунок 3.5 - Конструктивні моделі (а) та загальний вид робочого органу (б) роторно-пальцевого типу відповідно з прямими та гнутими пальцями.

Програмою експериментальних досліджень по енергетичній оцінці розкидача солом’яної підстилки з роторно-пальцевим робочим органом з приводом від ВВП трактора передбачено виконання наступних завдань:

- визначити годинну витрату палива;
- визначити потужність, споживану агрегатом;
- визначити потужність, споживану на привод роторно-пальцевого робочого органа;
- визначити питомі енерговитрати.

3.3.3. Величини, що вимірюються при випробуваннях

3.3.3.1 Показники енергетичної оцінки визначають за результатами вимірів, отриманих при випробуваннях. На кожному режимі роботи

сільськогосподарської машини або агрегату повинні бути виконані не менше чотирьох вимірів кожної величини, тривалістю не менше 20 с.

3.3.3.2 При визначенні показників енергетичної оцінки навісних, напівнавісних або причіпних сільськогосподарських машин з приводом робочих органів від валу відбору потужності трактора вимірюють:

- час (тривалість) вимірювання;
- тяговий опір сільськогосподарської машини при виконанні технологічних операцій;
- довжину шляху, що пройшла сільськогосподарська машина за час вимірювання;
- крутний момент на валу відбору потужності;
- частоту обертання валу відбору потужності.

3.3.3.3 Допустимі похибки вимірювань наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Допустимі похибки вимірювань

Найменування показника	Відносна похибка вимірювань
Час вимірювань	±0,2 с
Довжина шляху, що пройшла машина	±1,0%
Частота обертання	±1,0%
Тяговий опір машини (агрегату)	±2,5%
Кількість палива, що витрачено за час вимірювань	±1,5%
Крутний момент	±2,5%

3.3.3.4 Інформацію про місце і дату випробувань, умови і режими роботи, марку випробовуваної машини, результати вимірювань реєструють на носії інформації або заносять в журнал випробувань.

3.3.4. Методика визначення потужності, споживаної агрегатом

3.3.4.1 Потужність, споживана агрегатом з приводом від ВВП трактора визначають по залежності експлуатаційної потужності двигуна трактора від годинної витрати палива, отриманої при визначенні його регуляторної

характеристики. Регуляторну характеристику двигуна слід визначати перед проведенням випробувань з встановленим на агрегаті пристроєм для вимірювання витрати палива.

По регуляторній характеристиці і завантаженню двигуна внутрішнього згоряння більш ніж на 100% з двох значень потужності, отриманих при однаковій годинній витраті палива, вибирається те, яке відповідає виміряній частоті обертання колінчастого вала.

Годинну витрату палива (кг/год.), обчислюємо за формулами

$$G_{\text{т}} = 3{,}6\frac{m_{\text{т}}}{t}, \tag{3.3}$$

або

$$G_{\text{т}} = 3{,}6\frac{V_{\text{т}}\rho}{t}, \tag{3.4}$$

де $m_{\text{т}}$ - маса палива, витраченого двигуном трактора за час вимірювання, г;

t - час вимірювання, с;

$V_{\text{т}}$ - об'єм палива, витраченого двигуном трактора за час вимірювання, см^3;

ρ - щільність палива при стандартній температурі, г/см^3.

Потужність, споживану причіпною машиною (розкидачем солом’яної підстилки з роторно-пальцевим робочим органом) з приводом робочих органів від ВВП трактора (кВт), обчислюємо за формулою

$$N_{\text{м}} = 10^{-3}Rv + N_{\text{ВОМ}}, \tag{3.5}$$

де R - тяговий опір причіпної машини, Н;

υ - поступальна швидкість руху агрегату, м/с;

$N_{\text{ВОМ}}$ – потужність приводу робочих органів від ВВП, кВт.

Тяговий опір причіпної машини визначають прямим або непрямим вимірюванням.

Допустиму потужність, споживану причіпною машиною (кВт), обчислюємо за формулою

$$N_{м} = N_{т.а} - N_{т.с}, \quad (3.6)$$

де $N_{т.а}$ - потужність, що витрачається машинно-тракторним агрегатом при виконанні технологічної операції, кВт;

$N_{т.с}$ - потужність, споживана на самопересування трактора, кВт.

В нашому випадку при випробуваннях додатково вимірюємо:

- частоту обертання колінчастого вала двигуна трактора, $с^{-1}$;

- об'єм палива, витраченого двигуном машинно-тракторного агрегату і трактора при його русі без причіпної машини, $см^3$.

Потужності $N_{т.а}$ і $N_{т.с}$ визначають за величинами годинної витрати палива $G_{т.а}$ і $G_{т.с}$ методом, який викладений в п. 3.3.4.1.

3.3.5 Методика визначення потужності, споживаної на привод робочих органів причіпного агрегату

Для машин з приводом робочих органів від ВВП трактора потужність (кВт) розраховують за формулою

$$N_{ВОМ} = 1{,}047 \cdot 10^{-4} M_{ВОМ} n_{ВОМ}, \quad (3.7)$$

де $M_{ВОМ}$ - крутний момент на хвостовику вала відбору потужності, Н·м;

$n_{ВОМ}$ - частота обертання хвостовика вала відбору потужності, $хв^{-1}$.

3.3.6 Визначення питомих енерговитрат

Питомі енерговитрати (МДж/кг, МДж/$м^3$) причіпної машини (розкидача солом'яної підстилки з роторно-пальцевим робочим органом) обчислюємо за формулою

$$E_{уд} = \frac{N_м}{W_о} 3,6 \quad , \qquad (3.8)$$

де $W_о$ - продуктивність машини (агрегату) за годину основного часу, кг/ год., ($м^3$/год.).

3.3.7 Результати випробувань по визначенню показників енергетичної оцінки

Результати випробувань по визначенню показників енергетичної оцінки записуємо в формі таблиці 3.3

Таблиця 3.3 - Показники, що визначаються при енергетичній оцінці розкидача солом'яної підстилки з роторно-пальцевим робочим органом

Найменування показника	Значення показника
Режим роботи: - поступальна швидкість руху, км/год. - дальність розкидання підстилки, мм - ширина смуги розкидання підстилки (*max*), м - продуктивність, $м^3$/год. Витрата палива, кг/год. Потужність, споживана машиной (агрегатом), кВт Питомі енерговитрати, МДж/кг (МДж/$м^3$) Тяговий опір машини (агрегату), Н Потужність, споживана на привод рабочих органів, кВт	

3.4 Аналіз теоретичних досліджень обладнання для ущільнення сипкої сировини

Паливні гранули мають значні переваги порівняно з традиційними видами палива. Так для їх виробництва витрачається близько 3% енергії, при цьому під час виробництва нафти ці енерговитрати становлять близько 10%, а при виробництві електроенергії – 60%, їх теплотворна здатність

коливається у межах від 4,5 до 5,0 кВт/кг, що в 1,5 рази більше, ніж у звичайної деревини і вугілля. При спалюванні 2000 кг паливних гранул виділяється стільки ж теплової енергії, як і при спалюванні: 3200 кг деревини, 957 $м^3$ газу, 1000 л дизельного палива, 1370 л мазуту. Горіння паливних гранул в топці котла відбувається більш ефективно – кількість залишків (золи) не перевищує меж від 0,5 до 1,0% від загального об'єму використаного палива. При спалюванні паливні гранули не впливають негативно на оточуюче середовище [10, 11].

Разом з тим пресове гранулювання - це енергоємний процес, і актуальність його вдосконалення досить висока. Одним з доцільних шляхів вдосконалення процесу пресового гранулювання є розробка нових і оптимізація існуючих конструкцій прес-грануляторів.

В Україні і за кордоном найбільш поширені вальцьово-матричні прес-гранулятори з активною кільцевої матрицею і пасивними пресуючими роликами. Однак за останнє двадцятиріччя конструкції таких пресуючих механізмів хоча і досягли більш високого технічного рівня, але за структурними ознаками змінилися незначно. Шестеренні гранулятори виділені окремо, так як вони поєднують безперервний процес порційного гранулювання матеріалу. Найбільш детальна схема поділу шестеренних пресів-грануляторів за основними ознаками приведена в відомих роботах С.В. Щербини [12]. Ними запропоновано поділ пресів:

- за способом формування гранул - на ті, що формують і ті, що видавлюють;

- за способом приводу робочих органів - на преси з колесами що поєднують функції гранулювання матеріалу і передачі їм обертального моменту, і преси з відокремленою функцією обертання коліс від паралельної передачі;

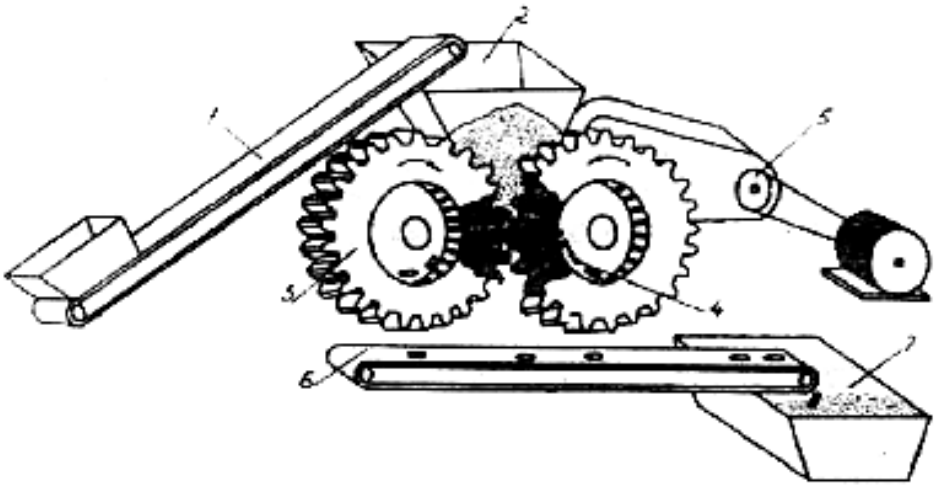
- за способом зачеплення шестерень на два типи – з внутрішнім і зовнішнім зачепленням.

- за типом впливу зубів коліс гранулятора на матеріал - на преси лопатевого і плунжерного типів. Зубчасті колеса з лопатевим впливом на корм упресовують його боковою поверхнею зуба, а з плунжерним – головкою зуба.

- по розташуванню пресуючих коліс - на преси з вертикальним або горизонтальним компонуванням робочих органів.

Шестеренні гранулятори здійснюють переробку великого набору сировини, при цьому у багатьох з них немає можливості здійснювати регулювання каналу пресування, через що енергоємність у таких пристроїв завищена.

У брикетуванні рослинних матеріалів Ю.А. Сімакін [13] першим застосував зубчасті колеса. Одночасно з пресуванням зубчасті колеса його преса передавали обертальний момент (рис. 3.6).



1 - завантажувальний стрічковий транспортер; 2 - завантажувальний бункер; 3 - пресувальні зубчасті колеса; 4 - ніж обламувальний; 5 - привід преса; 6 - вивантажувальний стрічковий транспортер; 7 - ємність накопичувача.

Рисунок 3.6 - Схема лабораторно-виробничої установки Ю.А. Сімакіна

1 і 6 - завантажувальний і вивантажувальний стрічковий транспортери; 2 - завантажувальний бункер; 3 - пресувальні зубчасті колеса; 4 - ніж обламувальний; 5 - привід преса; 7 - ємність накопичувача.

Їм отримана залежність щільності пресованого матеріалу від кута поворота пресуючих коліс, яка має вигляд:

$$\rho = \gamma \frac{r_e^2\left(\frac{\pi}{2z} + \sin\alpha_e - inv\alpha\right) - \frac{r_0^2}{3}(\alpha_e + inv\alpha_e) - }{r_0^2\left[\frac{\pi}{z}\varphi^2 - \frac{2\pi}{z}\left(\mathrm{tg}\,\alpha - \frac{\pi}{z}\right)\varphi + \frac{\pi}{z}\left(1 + 2tg^2\alpha - \frac{2\pi}{z}\mathrm{tg}\,\alpha + \frac{4\pi^2}{3z^2}\right) - \frac{1}{3}tg^3\alpha_e\right] - }$$

$$\frac{-r_з^2\left(\frac{\pi}{2z} - inv\alpha\right)}{-r_е^2\left(\frac{\pi}{2z} + inv\alpha - inv\alpha_e\right) - z_з^2\left(\frac{\pi}{2z} - inv\alpha\right)} \quad (3.9)$$

де γ - насипна маса корму, кг / м^3;

r_e, r_0, $r_з$ - радіуси кіл відповідно верхніх зубів, основний і заходу зубів у западини коліс, м;

z - число зубів коліс;

a - кут зачеплення зубчастих коліс, рад.;

α - кут радіус-вектору евольвенти в вершині зуба колеса, рад.;

φ - кут повороту зубчастих коліс, рад..

Зусилля стиснення за його даними варіює відповідно зміни площі западин між зубами:

$$q_{см} = \gamma \frac{k_0 \gamma S_b}{\rho_k\left(S_{зп} - \frac{\gamma}{\rho_к} S_b\right)} \quad (3.10)$$

де $S_в$ і $S_{зп}$ - первісна і поточна площі поперечного перерізу западин, м^2.

Пропускну здатність такого зубчастого гранулятора пропонується їм визначати за формулою:

$$\varphi = \mathrm{B}z\omega\gamma K_з K_б \frac{1}{\pi}\left[r_e^2\left(\frac{\pi}{2z} + inv\,\alpha_e - inv\alpha\right) - \frac{r_0^2}{3}(\alpha_e - inv\alpha_e)^2 - r_0^2\left(\frac{\pi}{2z} - inv\alpha\right)\right] \quad (3.11)$$

де B - ширина, м;

ω - кутова швидкість зубчастих коліс, $с^{-1}$;

$K_з$ - коефіцієнт заповнення западин;

$K_б$ - коефіцієнт брикетування (частка готових гранул від маси поданого корму).

Відомо також вираз і для визначення довжини пресувальних отворів [13]

$$L_0 = \frac{S_b}{Uf\delta} \tag{3.12}$$

де S_0 - площа перетину, $м^2$;

U - периметр перетину, м;

f - коефіцієнт тертя;

δ - коефіцієнт бокового тиску.

У дослідженнях Ю.А. Сімакіна застосовувалася нова компоновка філь'єр в западинах - строго радіальний отвір подовжений округлий, що підвищує коефіцієнт живого перетину. Зубчастий вінець пресуючих коліс був стандартним евольвентним, зміщення профілю рейки не передбачалося. На пресі застосовувалися рівновеликі зубчасті колеса. Визначено закономірність зміни питомої енергоємності гранулятора кормів від швидкості обертання пресуючих коліс, модуля зачеплення і кількості зубів. За результатами досліджень Ю.А. Сімакіна використання такого преса знижує енергоємність пресування люцерни на 30%.

Певний інтерес в аналізі роботи пресів представляє і робота Е.А. Ладигіна [14], присвячена так само шестеренним грануляторам. У ній розглядалося виробництво кормових гранул із суміші лікарських препаратів і подрібненого зерна. Вперше Е.А. Ладигін визначив стадії пресування: лінеарного стиснення зубами і стиснення корму в міжзубовому просторі матриць. Автором було відзначено явище розширення втиснутої порції матеріалу в каналі пресування при виході її з каналу пресування.

Їм отримана математична модель пресування досліджуваної кормової суміші зубчастими колесами при варіюванні модуля зубів в межах 8...16 мм, вологості 13...21% і числа обертів зубчастих коліс 20...40 хв$^{-1}$:

$$Э=30,79321+1,57431m+0,6n-575,379\,Q-17,95875mQ-6,4125nQ+4863,2Q^2 \quad (3.13)$$

де *Э* - енергоємність пресування, кВт/кг;

m - модуль зубів, мм;

n - частота обертання робочих коліс, хв$^{-1}$;

Q - подача суміші, кг/с.

За нею оптимальними співвідношеннями параметрів є: частота обертання пресуючих коліс 29,05 ... 31,45 хв$^{-1}$, модуль 16 мм, а подача матеріалу 0,0969 ... 0,1053 кг/с.

Е.А. Ладигін запропонував і залежність для визначення моменту опору обертанню робочих органів досліджуваного преса

$$M_c = \frac{aBД^2\varphi P_0 f}{4e^{2a\rho_0}} e^{2a\rho_0\lambda} \quad (3.14)$$

де *B* - ширина колеса, м;

a, P_o - постійні;

Д - діаметр колеса, м;

φ - кут повороту, рад;

f - коефіцієнт тертя;

λ - ступінь стиснення;

ρ_o - щільність (насипна маса) кормової суміші, кг/м^3.

Необхідно відзначити, що в основному відомі дослідження шестеренних пресів-грануляторів присвячені зубчастим колесам з традиційним евольвентним зачепленням.

Робота С.А. Белоконова [15] присвячена також вивченню процесу гранулювання кормів шестеренним пресом, приготування гранул з кормових

сумішей зернових культур. Їм отримана регресійна математична модель стиснення кормів у вигляді рівнянь для визначення роботи стиснення (питомої):

$$W_{уд}=122,2323 - 3,69221 - 0,2824l - 0,2183T - 0.6902B - (53,71il - 64,12iT + 38,46Bi - 13,44lT + 12,70lB - 18,75TB - 853,6i^2 - 12,11B^2)10^{-4} \quad (3.15)$$

та розкрошуваності гранул:

$$K=18,18 - 0,6169i - 0,0438l - 0,0174T - 0,3259B - 0,0175Bi + 0,019i^2 + 9,637\cdot 10^{-4}B^2 \quad (3.16)$$

де B - вологість суміші;

l - довжина частинок матеріалу;

T - температура;

i - масова частка комбікорми.

Отримані залежності дозволяють визначити ступінь зволоження вихідної сировини для зниження роботи його стиснення. За його даними використання криволінійних камер пресування прискорює релаксацію напружень в стислому матеріалі і дозволяє підвищити пропускну здатність шестеренного преса на 32...36%.

Одержувані ним при температурі 70°С, вологості вихідної сировини 19...21%, довжини частинок кормів 0,5...0,7 см і масової, максимально можливої за рецептурою, частки комбікорми, гранули відповідали встановленим стандартами показниками якості.

Аналіз роботи А.Ф. Зоріна [15] по дослідженню процесу стиснення кормового матеріалу шестеренним пресом з лопатевим впливом на кормосуміш показав, що можливе підвищення його продуктивності за рахунок збільшення щільності в западину корми і сумарного об'єму цих

западин. При цьому необхідно застосування максимального значення модуля, позитивного зміщення вихідного профілю зубів і максимальної висоти зуба.

Збільшення питомої пропускної здатності преса на 20...23% з зубчастими колесами при поєднанні функцій А.Ф. Зорін пояснює підвищенням маси матеріалу, що подається в матричний канал, поліпшенням конструкції зубчастого вінця і траєкторії переміщення зуба в западині. Для зубчастих коліс з відокремленої функцією збільшення пропускної здатності отримано їм в межах 35 ... 45%.

Він рекомендує роботу преса при наступних параметрах: діаметр зубчастого колеса по ділильній окружності 0,45...0,48 м; модуль зуба 15…16 мм; кут їх зачеплення 15°; висота головки зуба - максимальна; зміщення вихідного профілю зубів +0,25; матричний канал з кутом нахилу 21°; частота обертання матриць 26,8 в $хв^{-1}$ при розкрошуваності гранул до 20%. Ці параметри зубчастих матриць забезпечують енергоємність стиснення матеріалу не більше 36 кДж/кг, причому вона практично незмінна була для досліджених їм конструктивних варіантів зубчастих коліс.

У дослідженні Ж.В. Матвейкіна [16] розроблена технологія і обґрунтовані параметри преса для приготування жирозбагачених гранул. Зроблено обґрунтування геометрії і кінематики робочих органів гранулятора, що забезпечують зниження енергоємності процесу і збільшення питомої продуктивності шестеренного гранулятора.

Ж.В. Матвейкіна показала можливість отримання гранул з межею міцності при стисненні 1,6...2,0 МПа і щільності їх 1000...1100 кг/$м^3$ при прийнятному рівні розкрошуваності. Об'ємна питома подача суміші зубчастими колесами за її даними оптимальна при поєднанні наступних параметрів: модуль зуба (евольвентного) 0,013 м, кут їх зачеплення 10°, коефіцієнт зміщення профілю рейки в діапазоні 0,14 ... 0,18. При цьому коефіцієнт висоти у головки зуба рекомендований близько 0,5.

Однак процес гранулювання у них має ряд істотних особливостей, які ще недостатньо досліджені, і такі прес-гранулятори серійно не випускаються.

3.5 Визначення конструктивних параметрів змішувача-кормороздавача з вертикальним бункером

Однією з найбільш актуальних проблем сучасного аграрного виробництва в Україні є забезпечення населення в достатній кількості якісними продуктами тваринництва. З метою успішного задоволення зростаючих потреб в м'ясомолочних продуктах необхідно розвивати скотарство, що, в свою чергу, безпосередньо пов'язано зі створенням міцної кормової бази. Раціональне використання кормів передбачає їх згодовування тваринам тільки в підготовленому вигляді, а також у суміші з іншими компонентами і при високій якості приготування.

Застосування кормосумішей дозволяє розширити використання рослинних відходів, підвищити поїдання і перетравність кормів, збільшити продуктивність тварин і знизити витрату кормів на одиницю продукції. Важливу роль в технологічних процесах приготування кормосумішей відіграють операції змішування, доставки та роздавання, які відчутно позначаються на продуктивності тварин. Ці операції вимагають значних витрат енергії, які впливають на собівартість приготування корму. Однак існуючі кормороздавачі-змішувачі, часто не відповідають зоотехнічним вимогам, малопродуктивні і не завжди забезпечують отримання суміші необхідної якості. У зв'язку з цим вдосконалення кормороздавачів-змішувачів кормів, їх робочих органів, спрямоване на підвищення пропускної спроможності машин, зниження енергоємності процесу змішування, поліпшення якості кормової суміші являється актуальним народно - господарським завданням.

Сільськогосподарське виробництво являється пріоритетною галуззю економіки України. Проблеми виведення економіки із кризи, в якій вона опинилась в останній час, являються дуже актуальними і для сільського господарства. Невід'ємною частиною і однією з найважливіших складових частин сільського господарства є тваринництво. В дійсний час тваринництво у зв'язку з деякими об'єктивними і суб'єктивними причинами переживає свої не найкращі часи. Поголів'я тварин і птиці в усіх регіонах України значно скоротилось, продуктивність їх дуже низька. Виробництво продукції тваринництва стало збитковим і не рентабельним. Підвищити рентабельність тваринництва можна за рахунок зниження витрат на утримання тварин і підвищення їх продуктивності шляхом покращення годування, збалансованості раціонів, належної підготовки кормів перед згодовуванням, нормованої видачі кормів тваринам. Максимальне зниження питомих витрат кормів можна забезпечити насамперед на основі механізації кормоприготування збалансованих кормових сумішей та їх нормованої видачі. Традиційна технологія приготування і роздавання кормів на фермах ВРХ у нашій країні базувалась на застосуванні універсальних завантажувачів, тракторних причепів, кормоцехів КОРК-15 і КЦК-5, роздавачів КТУ-10А і РММ-Ф-6. Ця технологія енерго-, метало-, трудомістка і не забезпечує в умовах України середніх надоїв прибуткового молока і конкурентних на ринку продуктів переробки молока. Аналіз систем приготування і роздавання кормів у зарубіжних країнах із розвинутим молочним скотарством свідчить, що там застосовуються малокомпонентні кормосуміші, а для їх приготування і роздавання - переважно універсальні комбіновані машини, які забезпечують навантаження, подрібнення, дозування, змішування, транспортування і роздавання кормів. За кордоном такі машини отримали назву «міксер». На даний момент найбільшого поширення знайшли міксери з вертикальним розміщенням змішувальних робочих органів – шнеків. У статті розглянуто умови самоочищення шнеків

від кормової суміші та визначені основні чинники для правильного вибору площі вивантажувального вікна.

У сільськогосподарському виробництві України, в умовах ринкової економіки, спостерігається тенденція розвитку нових та реконструйованих тваринницьких ферм різного розміру. Разом з тим на фермах залишається невисокий рівень механізації виробничих процесів. Так, якщо на молочних фермах в цілому по країні комплексна механізація становить близько 80%, то на малих - всього лише 18% [17].

Проблемним є питання застосування технологій і технічних засобів механізації приготування і роздавання кормів. Ці процеси займають основну частку витрат праці (до 40% в загальному балансі витрат) [17, 18].

Аналіз останніх досліджень. В даний час практично на всіх тваринницьких фермах і комплексах процеси приготування і роздавання кормів здійснюють універсальні змішувачі-роздавачі з різними типами робочих органів: бітерними, лопатевими, шнековими з горизонтальним або вертикальним розташуванням валів [19, 20, 21, 22, 18, 23, 24].

Поєднання двох або кількох операцій в одному технічному засобі дозволяє знизити енергоємність і металоємність процесу приготування і роздавання повнораціонних кормових сумішей, а також скоротити кількість нававантажувально - розвантажувальних і транспортних робіт [25, 26].

На сучасному етапі розвитку тваринництва однією з найбільш перспективних є технологія годівлі великої рогатої худоби, відповідно до якої всі види кормів роздають тваринам одночасно у вигляді збалансованої за поживністю кормової суміші, приготовленої в багатофункціональних агрегатах подрібнювачах-змішувачах-роздавачах кормів [27, 28]. Для реалізації даної технології до 30 європейських фірм виробляють щорічно більше 10 тисяч багатофункціональних агрегатів. В Україні виробництво таких агрегатів налагодило ВАТ «Брацлав».

Створення кормороздавачів-змішувачів для ферм ВРХ у світовій практиці велось в трьох напрямах [17, 23, 25]:

- роздавачі лопатевого типу змішування;
- роздавачі горизонтального типу змішування;
- роздавачі вертикального типу змішування.

Вертикальне змішування при умові дотримання усіх висунутих до нього вимог на сьогодні є найбільш досконалим,. Вертикальні кормороздавачі дозволяють одержати більш гомогенну кормову масу. Вони схильні до незначного зношування різальних робочих органів, а затрати палива порівняно менші [22, 25, 26, 27, 28].

Бункери вертикального типу мають конусну форму (при наявності одного турбошнека) і видовжену, коли турбошнеків два чи три. Різноманітність конструктивних рішень пов’язана із пошуками мінімальних затрат енергії на процес приготування кормової суміші та підвищенням стійкості до зношування і довговічності робочих органів [22, 25, 26, 27, 28].

Але в той же час вертикальні змішувачі мають і ряд недоліків. Базові машини всесвітньо відомих виробників, зокрема, таких як «Kuhn», «Seko», «Marmix», «Italmix», «DeLaval», «Patz», «Jay Lor», не цілком і не завжди відповідають потребам українських умов виробництва. Як було виявлено під час експлуатації, багатофункціональні кормові агрегати з вертикальним бункером і конічним шнеком забезпечують прийом по масі, якісне подрібнення і змішування кормових компонентів та дозовану видачу їх тваринам. Однак при впровадженні агрегатів доводиться стикатися з великими труднощами, викликаними великою потужністю, потрібної на їх привод (більше 30 кВт) та зношеністю наявних тракторів класу 1,4 (ЮМЗ, МТЗ всіх марок). Так як потужність, потрібна на привод робочих органів, практично прямо пропорційна частоті обертання шнека, то часто доводиться знижувати частоту обертання шнека з 35 до 29 хв-1. Однак при такій частоті обертання наявний шнек з перпендикулярним розміщенням витка до осі обертання не самоочищається від кормової суміші в кінці вивантаження. Самоочищення витків шнека при низькій частоті їх обертання може бути забезпечено в разі, якщо витки розташовані не перпендикулярно, а похило до

осі шнека. Тому нами були проведені аналітичні дослідження для визначення залежності кута нахилу витка в залежності від частоти обертання шнека.

Результати і обговорення. В якості гіпотези було прийнято, що нахил утворюючої витка шнека щодо горизонталі дозволить інтенсифікувати процес сходу кормової маси з витків шнека.

Розрахунок проведемо на прикладі частки, розташованої на витку шнека. Граничним умовою процесу очищення шнека приймемо момент початку руху частки, коли її швидкість V=0 і дотримується рівновага сил, що намагаються зрушити частку, і сил, що утримують її на поверхні витка шнека. Прикладемо до частки сили, які діють на неї і розглянемо її рівновагу в декартовій системі координат.

На частку діють наступні сили:

сила тяжіння

$$F_{тяж} = m_ч g, \tag{3.17}$$

де $m_ч$ – маса частки кормової суміші, кг;

g – прискорення вільного падіння, м/с2;

відцентрова сила

$$F_ц = m_ч R\omega^2, \tag{3.18}$$

де R – відстань від частки до осі обертання шнека, м;

ω – кутова швидкість обертання шнека, с-1;

N -сила реакції опори ;

сила тертя

$$F_т = fN, \tag{3.19}$$

де f – коефіцієнт тертя частки кормової суміші по витку шнека.

Для знаходження реакції опори N розглянемо діючі сили в системі координат, утвореній векторами сили опори і тертя. Вісь X співпадає з силою тертя Fт, вісь Y з силою реакції опори N.

Спочатку розглянемо вектори діючих сил на вісь Y і знайдемо силу реакції опори N:

$$\begin{aligned} &N + F_ц \sin\theta\cos\alpha - mg\cos\alpha\cos\theta = 0; \\ &N = mg\cos\alpha\cos\theta - F_ц \sin\theta cos\alpha; \\ &N = m\cos\alpha\left(g\cos\theta - \omega^2 R\sin\alpha\right), \end{aligned} \quad , \qquad (3.20)$$

де R – відстань від частки до осі обертання шнека, м;

ω – кутова швидкість обертання шнека, с-1;

α – кут підйому гвинтової лінії, град.;

θ – кут нахилу утворюючої витка шнека до горизонталі, град.;

g – прискорення вільного падіння, м/с2.

Розглянемо вектори діючих сил на вісь X:

$$F_m - mg\sin\alpha\sin\theta - F_ц\cos\theta\sin\alpha = 0. \qquad (3.21)$$

Зважаючи на те що сила тертя

$$F_т = fN,$$

де f – коефіцієнт тертя, а відцентрова сила

$$F_ц = mR\omega^2$$

та підставивши значення N з рівняння (4), отримаємо:

$$\begin{aligned} &fN - mg\,sin\alpha\,sin\theta - F_ö\,cos\theta\,sin\alpha = 0; \\ &fmcos\alpha\left(g\,cos\theta - \omega^2 R\,sin\theta\right) = mg\,sin\alpha\,sin\theta - F_ö\,cos\theta\,sin\alpha + \\ &+ m\omega^2 R\,cos\theta\,sin\alpha; \\ &f\,cos\alpha\left(g\,cos\theta - \omega^2 R\,sin\theta\right) = sin\alpha\left(g\,sin\theta + \omega^2 R\,cos\theta\right); \\ &fg\,cos\theta - f\omega^2 R\,sin\theta = g\,sin\theta\cdot tg\alpha + \omega^2 R\,cos\theta tg\alpha; \\ &\omega^2 R\,cos\theta tg\alpha + f\omega^2 R\,sin\theta = g\left(f\,cos\theta - sin\theta tg\alpha\right); \\ &\omega^2 R = \frac{g\left(f\,cos\theta - sin\theta tg\alpha\right)}{cos\theta tg\alpha + f\,sin\theta}. \end{aligned} \qquad (3.22)$$

Розділивши чисельник і знаменник останнього виразу на cosθ отримаємо:

$$\omega^2 R = \frac{g\left(f - tg\theta tg\alpha\right)}{tg\alpha + ftg\theta}. \tag{3.23}$$

Звідси визначаємо

$$\omega = \sqrt{\frac{g\left(f - tg\theta tg\alpha\right)}{R\left(tg\alpha + ftg\theta\right)}}. \tag{3.24}$$

Кут α не має постійного значення і зв'язаний з відстанню до центра обертання шнека наступним виразом

$$tg\alpha = \frac{S}{2\pi R}, \tag{3.25}$$

де S – крок навивки шнека, м.

Тоді, підставивши (3.25) у формулу (3.24), отримаємо

$$\omega = \sqrt{\frac{2\pi gf - \frac{S}{R}tg\theta}{S + 2\pi ftg\theta}}. \tag{3.26}$$

Із формули (3.22) маємо також можливість визначити залежність кута нахилу утворюючої витка шнека до горизонталі θ від інших параметрів:

$$\begin{aligned} &\omega^2 Rtg\alpha + \omega^2 Rtg\theta = gf - tg\theta tg\alpha; \\ &tg\theta\left(\omega^2 Rf + gtg\alpha\right) = gf - \omega^2 Rtg\alpha; \\ &\theta = arctg\left(\frac{gf - \omega^2 Rtg\alpha}{\omega^2 Rf + gtg\alpha}\right). \end{aligned} \tag{3.27}$$

Підставивши (3.27) у формулу (3.25) остаточно отримаємо:

$$\theta = arctg\left(\frac{2\pi Rgf - \omega^2 SR}{2\pi f\omega^2 R^2 + gS}\right). \tag{3.28}$$

Отже, кут нахилу утворюючої витка шнека до горизонталі буде залежати від співвідношення коефіцієнта тертя кормової суміші по витку шнека, кроку навивки шнека і кутової швидкості обертання шнека. При виконанні умов формули (3.28) турбошнек міксера буде самоочищуватись при мінімально допустимих оборотах.

Важливим елементом технологічного процесу роздавання кормів тваринам є дотримання заданої норми їх видачі. Одним із способів

забезпечення дозованої видачі кормів можна вважати правильний вибір площі вивантажувального вікна.

Під час роздавання корм, досягнувши вивантажувального вікна, потрапляє в годівницю або кормовий стіл. У загальному вигляді площа вивантажувального вікна можна визначити за формулою:

$$S_в = \frac{Q_{\max}}{V_к \rho_к}, \qquad (3.29)$$

де Q_{max} – задана максимальна норма видачі кормової суміші худобі, кг/с;

$V_к$ – швидкість руху кормової суміші в зоні вивантажувального вікна, м/с;

ρк – щільність кормової суміші, кг/м^3.

Задана максимальна норма видачі кормової суміші худобі визначається за формулою:

$$Q_{\max} = \frac{V_р m_к}{l_р}, \qquad (3.30)$$

де $V_р$ – швидкість руху кормороздавача при роздаванні кормової суміші, м/с;

$m_к$ – маса кормової суміші, що згодовується в розрахунку на одну голову, кг/гол.;

$l_р$ – довжина фронту годування однієї тварини, м/гол.

Швидкість руху кормової суміші в зоні вивантажувального вікна визначається за формулою:

$$V_к = l_ч \omega, \qquad (3.31)$$

де $l_ч$ – відстань від частки кормової суміші в бункері до площини вивантажувального вікна, м;

ω – кутова швидкість обертання шнека, с-1.

У формулі (3.31) невідомою величиною є відстань $l_ч$. Для її визначення розглянемо сили, які діють на частку корму в момент коли вона виходить з площини вивантажувального вікна.

На частку діють сили:

сила тяжіння – $F_{тяж} = m_ч g$;

сила тертя по витку шнека – $F_т = f m_ч g$;

відцентрова сила – $F_ц = m_ч\, l_ч \omega^2$;

коріолісова сила,

$$F_{кор} = 2m_ч \omega \frac{dl_ч}{dt_ч}, \qquad (3.32)$$

де $\frac{dl_ч}{dt_ч}$ – швидкість переміщення частки кормової суміші в бункері до площини вивантажувального вікна, м/с.

Із врахуванням перерахованих сил отримаємо диференціальне рівняння відносного руху частинки корму:

$$-m_÷ \frac{d^2 l_÷}{dt_÷^2} + m_÷ \omega^2 l_÷ - f m_÷ g - f\left(2m_÷ \omega \frac{dl_÷}{dt_÷} + f m_÷ g\right) = 0. \qquad (3.33)$$

Після перетворень рівняння (14) прийме наступний вид:

$$\frac{d^2 l_÷}{dt_÷^2} - \omega^2 l_÷ + 2 f \omega \frac{dl_÷}{dt_÷} = fg. \qquad (3.34)$$

Отриманий вираз являється повним диференціальним рівнянням другого порядку. Повне рішення такого рівняння є сума загального лінійного і приватного рівнянь.

Загальне рішення неповного диференційного рівняння матиме наступний вид:

$$l_{ч1} = C_1 e^{\left(f\omega + \omega\sqrt{f^2+1}\right)t_ч} + C_2 e^{\left(f\omega - \omega\sqrt{f^2+1}\right)t_ч}, \qquad (3.35)$$

де C1,C2 - похідні постійної інтегрування.

Приватне рішення рівняння (3.34) знаходимо при умові, що $l_ч^2 = C$. Звідси $\frac{d^2 l_ч}{dt_ч^2}$=0 і $\frac{dl_ч}{dt_ч} = 0$. Тоді формула (3.34) матиме вигляд:

$$-\omega^2 C = fg. \qquad (3.36)$$

Звідси

$$C = -\frac{f \cdot g}{\omega^2}. \qquad (3.37)$$

Тоді рішення рівняння (3.33) матиме наступний вигляд:

$$l_{\div} = l_{\div 1} + l_{\div 2} = C_1 e^{\left(f\omega + \omega\sqrt{f^2+1}\right)t_{\div}} + \tilde{N}_2 e^{\left(f\omega - \omega\sqrt{f^2+1}\right)t_{\div}} - \frac{fg}{\omega^2}. \qquad (3.38)$$

При початкових умовах, коли $t_ч$=0, $\frac{dl_ч}{dt_ч} = 0$, $l_ч$=0, отримуємо:

$$C_1 = -\frac{fg}{\omega^2}\left(1 - \frac{f + \sqrt{f^2+1}}{2\sqrt{f^2+1}}\right),$$
$$C_2 = fg\,\frac{\left(f + \sqrt{f^2+1}\right)}{2\omega^2\sqrt{f^2+1}}. \qquad (3.39)$$

Підставивши отримані значення С1 і С2 у формулу (19) маємо:

$$l_ч = \frac{fg}{\omega^2}\left[\left(1 - \frac{f + \sqrt{f^2+1}}{2\sqrt{f^2+1}} e^{\left(f\omega + \omega\sqrt{f^2+1}\right)t_ч} + \frac{f + \sqrt{f^2+1}}{2\sqrt{f^2+1}} e^{\left(f\omega - \omega\sqrt{f^2+1}\right)t_ч}\right) - 1\right]. \qquad (3.40)$$

Отримане значення lч підставляємо в формулу (10):

$$S_в = \frac{V_p m_к}{l_p \rho_к \omega \frac{fg}{\omega^2}\left[\left(1 - \frac{f + \sqrt{f^2+1}}{2\sqrt{f^2+1}} e^{\left(f\omega + \omega\sqrt{f^2+1}\right)t_ч} + \frac{f + \sqrt{f^2+1}}{2\sqrt{f^2+1}} e^{\left(f\omega - \omega\sqrt{f^2+1}\right)t_ч}\right) - 1\right]}. \qquad (3.41)$$

З отриманого виразу видно, що площа вивантажувального вікна кормороздавача-змішувача буде залежати від коефіцієнта тертя та щільності кормової суміші, довжини фронту годування, швидкості руху кормороздавача при роздаванні і кутової швидкості обертання шнека.

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз фізичної сутності процессу сушіння, який дозволив виявити основні впливові фактори та критерії оптимальності процессу сушіння зерновмісної сировини;

2. Відмінною рисою пташиного посліду від інших субстратів - є високий вміст протеїну, який є джерелом азоту. Тому пташиний послід в чистому вигляді (моносубстрат) переробляється по двостадійній технології. Біогазова установка укомплектовується додатковим реактором гідролізу. Для отримання біогазу з пташиного посліду, в реакторі гідролізу створюються спеціальні температурні умови, підвищується вологість і контролюється рівень pH. Технологічний цикл біогазової установки проектується замкнутим (рідка фракція після ферментації використовується для розведення свіжого сировини), і мати у наявності систему видалення амонійного азоту, оскільки він пригнічує процес;

3. Розроблена програма і методика експериментальних досліджень дозволяє провести експериментальні дослідження та оцінити енергетичні показники розкидача підстилки;

4. Проведений аналіз теоретичних досліджень засобів пресування дозволив виявити напрямок вдосконалення прес-гарнуляторів та перспективи їх розвитку і впровадження;

5. Проведені аналітичним шляхом розрахунки дозволять оптимізувати конструктивні параметри кормороздавача-змішувача з вертикальним бункером.

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/tekhnolohiia-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 біодобрив, 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 C02F 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 жирообогащенных 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 *Макарцев Н.Г.* Кормление сельскохозяйственных животных / Н.Г. Макарцев // 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.