

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Допущений до захисту:
Завідувач кафедри
к.т.н., професор Гунько І.В.

(підпис, вчене звання, прізвище, ініціали)
«___» _____ 2023 р.

**ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ
АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ РОЗДАВАННЯ
КОРМОВИХ СУМІШЕЙ**

Робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр»
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

Виконав: студент групи: 61-АІ
Погонець Дмитро Олегович

Керівник: к.т.н., доцент
Купчук Ігор Миколайович

Вінниця – 2023 р.

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний
факультет

Кафедра агроінженерії
та технічного сервісу

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
к.т.н., професор Гунько І.В.

(підпис, вчене звання, прізвище, ініціали)
« ____ » _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ

студенту _____ Погонцю Дмитру Олеговичу

на тему

«Обґрунтування конструктивно-режимних параметрів автоматизованого пристрою для роздавання кормових сумішей»

затверджену Наказом від 02 грудня 2022 року № 187м

Вихідні дані для підготовки роботи:

1. Методичні вказівки з виконання магістерської роботи.
2. План-проспект магістерської роботи.
3. Підручники і навчально-методичні посібники, статистичні дані.
4. Наукові видання (монографії, книги, збірники, журнали, методики, матеріали ЦНТІ).
5. Методика економічної оцінки результатів досліджень.
6. Дані власних досліджень, одержаних в попередній період.

Календарний план виконання магістерської роботи

Структура роботи		Обсяг стор.	Термін підготовки
Анотація		2	Лютий 2023 року
Вступ		2	Березень 2023 року
Розділ 1	Аналіз технологій організації годівлі великої рогатої худоби на тваринницьких комплексах, технічних засобів та інтелектуальних систем контролю	26	Квітень 2023 року
Розділ 2	Теоретичний аналіз процесу обслуговування годівниць на фермі з використанням роботизованого пристрою для внесення кормових добавок	28	Квітень 2023 року
Розділ 3	Планування експерименту з оптимізації конструктивних параметрів виконавчих механізмів робота і забезпечення алгоритмічного зв'язку у системі	9	Липень 2023 року
Розділ 4	Результати експериментальних досліджень	9	Серпень - Вересень 2023 року
Висновки		1	Жовтень 2023 року
Список використаних джерел		7	Жовтень 2023 року

Термін подання роботи на кафедру

для попереднього захисту «__» _____ 2023 р.

Завдання видано «05» Грудня 2022 р.

Завдання прийняв до виконання _____ Д.О. Погонєць

Керівник _____ І.М. Купчук к.т.н., доцент
(підпис)

АНОТАЦІЯ

Магістерська робота складається зі вступу, 4 розділів, висновку, списку використаної літератури. Повний обсяг роботи 91 сторінки, у тому числі 82 сторінки основного тексту, 43 рисунки та 6 таблиць.

Робота присвячена вирішенню актуальної практичної задачі, що полягає у розробці роботизованого пристрою для внесення кормових добавок під час обслуговування годівниць та обґрунтування параметрів роботи виконавчих вузлів.

При виконанні огляду наукової літератури було встановлено, що як ефективно рішення для дозування кормових добавок, може бути розроблений та застосований колісний роботизований технічний засіб, оснащений керованим дозатором та спектральною системою оцінки годівниць, який дозволить рівномірно розподіляти кормові добавки на всьому фронті годівлі з похибкою до 5 %.

На основі проведеного теоретичного аналізу кінематичних та динамічних характеристик руху роботизованого пристрою для внесення кормових добавок при обслуговуванні годівниць на фермах, розроблена математична модель управління пристроєм, а також імітаційна модель електроприводу з використанням інструментів Matlab Simulink. Для забезпечення найбільшої ефективності роботи роботизованого пристрою необхідно провести експериментальну перевірку та уточнення отриманих аналітичних залежностей.

На основі проведення оптимізаційного експерименту, було встановлено, що найменша похибка дозування кормових добавок досягається при діаметрі шнека (d) 30,1 мм та крокові спіралі (s) 17,48мм, було також виявлено, що рівень наповнення бункера не має суттєвого впливу на похибку дозування тому було вирішено його не враховувати.

Ключові слова: годівля, корм, дозування, премікси, добавки, комбікорм.

ANNOTATION

The master's thesis consists of an introduction, 4 chapters, conclusion, list of used literature. The total volume of the work is 91 pages, including 82 pages of the main text, 43 figures and 6 tables.

The work is devoted to the solution of an actual practical problem, which consists in the development of a robotic device for introducing feed additives during the maintenance of feeders and substantiating the parameters of the executive nodes.

When performing a review of the scientific literature, it was established that as an effective solution for dosing feed additives, a wheeled robotic technical device equipped with a controlled doser and a spectral system for evaluating feeders can be developed and applied, which will allow for the uniform distribution of feed additives on the entire feeding front with an error of up to 5 %.

On the basis of the theoretical analysis of the kinematic and dynamic characteristics of the movement of the robotic device for applying feed additives during the maintenance of feeders on farms, a mathematical model of the control of the device was developed, as well as a simulation model of the electric drive using Matlab Simulink tools. In order to ensure the highest efficiency of the robotic device, it is necessary to carry out experimental verification and clarification of the obtained analytical dependencies.

On the basis of the optimization experiment, it was established that the smallest error in the dosing of feed additives is achieved with auger diameter (d) of 30.1 mm and step spirals (s) of 17.48 mm, it was also found that the level of hopper filling has no significant effect on the error dosage therefore it was decided not to take it into account.

Key words: feeding, fodder, dosage, premixes, additives, compound feed.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ОРГАНІЗАЦІЇ ГОДІВЛІ ВЕЛИКОЇ РОГАТОЇ ХУДОБИ НА ТВАРИНИЦЬКИХ КОМПЛЕКСАХ, ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ.....	10
1.1 Аналіз технологічних особливостей годівлі ВРХ.....	10
1.2 Аналіз патентної інформації, ринкових технологій та технічних засобів для роботизації процесів годівлі великої рогатої худоби на фермах.....	29
1.3 Аналіз алгоритмів управління роботизованими пристроями.....	33
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ОБСЛУГОВУВАННЯ ГОДІВНИЦЬ НА ФЕРМІ З ВИКОРИСТАННЯМ РОБОТИЗОВАНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ ВНЕСЕННЯ КОРМОВИХ ДОБАВОК.....	36
2.1 Обґрунтування методики годівлі великої рогатої худоби з використанням роботизованого пристрою для внесення кормових добавок.....	36
2.2 Теоретичне обґрунтування системи управління роботизованим пристроєм для внесення кормових добавок.....	47
2.2.1 Забезпечення алгоритмічного зв'язку виконавчих систем керованого дозування.....	56
2.3 Теоретичне обґрунтування конструктивних параметрів дозатора концентрованих компонентів кормової суміші.....	58
РОЗДІЛ 3 ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ З ОПТИМІЗАЦІЇ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИКОНАВЧИХ МЕХАНІЗМІВ РОБОТА І ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АЛГОРИТМІЧНОГО ЗВ'ЯЗКУ У СИСТЕМІ	64

3.1	Методика визначення маси дозування сипучих кормів.....	64
3.2	Методика оптимізації конструктивних параметрів шнекового дозатора для сипучих кормів.....	66
3.3	Методика проведення дослідження з отримання кореляційно-спектральних залежностей від вологості кормової суміші.....	68
3.4	Експериментальний зразок роботизованого пристрою для внесення кормових добавок під час обслуговування годівниць.....	71
	РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	73
4.1	Результати обробки експериментальних даних щодо оптимізації конструктивних параметрів дозатора.....	73
4.2	Результати дослідження спектральних характеристик компонентів кормової суміші.....	76
4.3	Результати виробничої перевірки роботизованого пристрою для внесення кормових добавок.....	79
	ВИСНОВКИ.....	82
	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	83

ВСТУП

Актуальність теми. При виконанні операцій з обслуговування годівниць на фермах для утримання великої рогатої худоби використовують різні механізовані та автоматизовані технічні засоби, що агрегуються тракторами або спеціалізованими малогабаритними енергетичними засобами. Використання подібної техніки тягне за собою масу негативних наслідків, таких як підвищений рівень шуму, викиди чадного газу, травматизм, неточне дозування корму, що на пряму впливає на тварин і якість одержуваної продукції. Разом із тим, існуючий спектр технологічного оснащення в сільськогосподарських підприємствах часто не дозволяє в автоматизованому режимі виключаючи людський фактор та з точністю здійснювати дозування БВМД та преміксів у кормову суміш на тваринницьких комплексах, внаслідок чого виникають проблеми перевитрати дорогих кормових компонентів, їх нерівномірний кормовий розподіл по фронту, дисбаланс мінеральних речовин у масі, що поїдається.

Метою роботи є розробка роботизованого пристрою для внесення кормових добавок під час обслуговування годівниць та обґрунтування параметрів роботи виконавчих вузлів.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні завдання:

1. Провести аналіз машинних технологій годівлі великої рогатої худоби на фермах та застосування роботизованих пристроїв для обслуговування годівниць.

2. Теоретично дослідити процес управління виконавчими механізмами роботизованого пристрою для внесення кормових добавок під час обслуговування годівниць;

3. Провести експериментальні дослідження виконавчих механізмів та роботизованого пристрою для внесення кормових добавок під час обслуговування годівниць;

4. Визначити залежність спектрів та рівня вологості кормової суміші для забезпечення керованого дозування кормових добавок з використанням роботизованого пристрою.

Об'єктом дослідження є процес споживання кормової суміші великої рогатої худоби за різних способів обслуговування годівниць.

Предметом дослідження є роботизований пристрій для внесення кормових добавок під час обслуговування годівниць.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження виконано на основі законів теоретичної механіки, основних положень опору матеріалів, матеріалознавства, теорії автоматизованого керування. Експериментальні дослідження виконано з використанням сучасних методик, обладнання та програмних засобів (MATLAB, Excel, Statistica 6).

Наукова новизна полягає в розробці: математичної моделі та алгоритму управління роботизованим пристроєм для внесення кормових добавок при обслуговуванні годівниць на тваринницькому комплексі; методики визначення конструктивних характеристик дозатора для кормових добавок; методу спектральної оцінки кормової суміші на годівниці для забезпечення автоматичного дозування кормових добавок з використанням роботизованого пристрою.

Практична цінність роботи полягає у отриманні кореляційних залежностей між інтенсивністю розсіяного випромінювання та вологістю кормової суміші в діапазоні від 570 до 720 нм, що дозволяють визначати режими дозування концентрованих кормових добавок по фронту годування не порушуючи структуру раціону по заданим межах вмісту сухої речовини.

Достовірність отриманих результатів. Достовірність отриманих результатів підтверджується проведенням вимірювань достатньої вибірки сертифікованого обладнання та підтверджується збіжністю аналітичних результатів з експериментальними даними. Це дозволило забезпечити обґрунтованість і доказовість прийнятих підходів і отриманих результатів.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ОРГАНІЗАЦІЇ ГОДІВЛІ ВЕЛИКОЇ РОГАТОЇ ХУДОБИ НА ТВАРИНИЦЬКИХ КОМПЛЕКСАХ, ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ

1.1 Аналіз технологічних особливостей годівлі ВРХ

Велика рогата худоба, що використовується в молочному тваринництві, це основний засіб виробництва молока, що вимагає витрат на операції з утримання та обслуговування.

Аналізуючи структуру собівартості виробництва молока (рис. 1.1), виявлено, що основною витратною частиною є процес годування, який включає комплекс технологічних операцій із заготівлі кормової бази, транспортування, зберігання, приготування.



Рис. 1.1 – Структура собівартості виробництва молока, %

Історично встановлено, що вигодовування великої рогатої худоби та інших сільськогосподарських тварин, здійснюватися спираючись на потреби організму тварини, які сформовані витратами енергії на виживання та продуктивність тварини по молоку або м'ясу.

На сьогоднішній день на більшості тваринницьких комплексах, які утримують велику рогату худобу, в якості інструменту для розрахунку раціону використовуються автоматизовані системи складання раціонів: Корал -АГРО, Белкофф, АМТС, РАЦІОН, HYBRIMIN Futter.

Остання містить велику базу даних поживності компонентів кормових сумішей використовуваних по всьому світу, потреба різні статево вікових та продуктивних груп тварин в енергії, макро та мікро-елементах.

Таким чином, сучасний рівень зоотехнічних досліджень дозволяє здійснювати розрахунок раціону для великої рогатої худоби максимально наближений до рівня потреб організму, збалансованого за поживністю, засвоюваності та хімічним складом, номенклатури компонентів кормів у конкретному господарстві з урахуванням фізіологічних та продуктивних потреб кожної групи або зокрема однієї тварини.

Говорячи про актуальність проведення науково-технічних досліджень процесів годування у молочному тваринництві можна відзначити, що в цілому годування в галузі, це основний шлях інтенсифікації та розвиток темпів сучасного виробництва.

Так, наприклад, у птахівництві шляхом застосування високоенергетичних добавок, концентрованих кормів, преміксів та мінерально-вітамінних комплексів середній час вирощування бройлера становить до 45 днів, де основу добову раціону до 90 % становлять концентровані корми.

У свинарстві, так само суттєво виросли темпи виробництва, завдяки 70 % частки використання концентрованих компонентів у раціоні.

Така тенденція намічена і в молочному тваринництві, де формування високої продуктивності досягається шляхом згодовування концентрованих зернових компонентів, субпродуктів олійного, цукрового та пивоварного виробництва, що досягає частки до 40% добового раціону.

Однак, процес годування у молочному тваринництві - це виняток щодо інших галузей.

Загалом раціон ВРХ поділяють на об'ємні компоненти рекомендована масова частка в раціоні від 60% до 95% (силос, сінаж, свіжоскошена трава або сіно), концентровані корми рекомендована масова частка в раціоні від 5% до 40% (зернове розмелювання, макухи та шроти олійних культур, так само можуть подаватися у вигляді змішаного комбікорму) та мінеральні добавки, що містять рекомендовану масова частка від 0,5% до 2% (Ca, K, Na, Mg, P, S та ін.), які можуть подаватися у вигляді збалансованого преміксу. На рис. 1.2 представлені зразки компонентів корму ВРХ по кожному типу.



Рис. 1.2 – Типи компонентів кормів для великої рогатої худоби: а) об'ємні компоненти кормової суміші б) концентровані компоненти кормової суміші, в) мінеральні компоненти кормової суміші

Особливістю годування ВРХ, є те, що травна система жуйних тварин нездатна функціонувати без переробки об'ємних компонентів насичують організм тварини клітковиною, що не дозволяє підвищувати частку концентратів у добовому раціоні, що приносять продуктивну енергію тварини.

Так само, варто відзначити, що фізіологічний синтез молока передбачає його збагачення поживними та мінеральними речовинами для доставлення потомству, тому роль мінеральних добавок та вітамінних комплексів стають невід'ємною частиною раціону високопродуктивних тварин.

На сьогоднішній день на фермах широко використовується концентратний тип годування, в якому значне місце займають

високоенергетичні комбікорми. Такий тип годування забезпечує достатньо високу молочну продуктивність, але знижує термін життя корів.

Комбікорм – є складною однорідною й змішаною масою подрібнених до певної фракції різних кормів та мікродобавок, що забезпечує збалансоване та повноцінне годування тварин.

Застосування комбікормів до раціону ВРХ, підвищує продуктивності до 35% і тягне зниження кількості кормів на формування молока від 7% до 15%, що у сукупності дозволяє знизити собівартість продукції.

Підприємства виробляють різні комбікорми, призначені для певного виду тварин з урахуванням їх фізіологічного стану. Згодовування невідповідного виду комбікорму не дає необхідного ефекту і може викликати негативний ефект для продуктивності та здоров'я тварини.

Рецептура приготування комбікормів ґрунтується на складі раціону тварини. Наприклад, враховуючи досвід попередніх років у літній період, коли зелені корми багаті протеїном, коровам давали комбікорм з малою кількістю протеїну.

В даний час, технологія утримання великої рогатої худоби передбачає цілорічне утримання тварин на фермах та використання так званого монокорму, коли основа раціону сформована об'ємними компонентами не змінюється протягом року, наприклад шляхом використання кукурудзяного силосу, що стабілізує рівень продуктивності тварин протягом всього року, так як штами бактерій у рубці тварини не змінюються, як це відбувається при переході із заготовлених кормів на пасовищі.

Використання гранульованих кормів скорочує втрати поживних елементів під час їх зберігання та згодовування.

Згодовування корму у вигляді гранул змінює процес травлення в рубці тварини – повільніше утворюється аміак, а мікроорганізми, що є в рубці, використовують його більше ефективно.

Крім диференціації годування тварин з урахуванням їх життєвого циклу, варто враховувати, що підвищення інтенсивності годування корів

молочного спрямування безпосередньо позначається на ефективності утворення молока. Так, об'ємне збільшення кормів на одну тварину на рік із 3500 до 5100 корм. од., у тому числі комбікормів з 250 г до 450 г на 1 кг отриманого молока супроводжується підвищенням молочної продуктивності з 3000 до 5000 кг та зниженням витрат кормів на одиницю отриманої продукції з 1,16 до 0,93 корм. од. (14... 11,25 МДж). Для корів із річними надоями 5000-6000 кг витрати сухих концентрованих кормів складає від 15% до 20% від сумарної поживності раціону, з надоями 6500-8000 кг – від 20% до 26% і з надоями 8000 кг і більше - до 42%.

Добре відомо, що здоров'я корови безпосередньо пов'язано зі станом її рубцевого травлення, яке неможливо оптимізувати без наявності у раціонах достатньої кількості об'ємних кормів гарної якості. Для вирішення проблем, пов'язаних із тривалістю життя, підвищенням відтворювальних здібностей та зниженням собівартості продукції, особливу увагу треба приділяти якості об'ємних кормів власного виробництва.

Говорячи про концентровані компоненти корму ВРХ, в даний час на фермах широко використовується саме концентратний тип годування, в якому значне місце займають високоенергетичні комбікорми. Такий тип годування забезпечує достатньо високу молочну продуктивність, але знижує термін життя корів, викликаний втратою мікро та макроелементів разом з молоком, під час доїння.

Підвищуючи продуктивність тварин енергетичними комбікормами необхідно чітко регулювати кількість споживання мінеральних добавок. Так наприклад кальцій (Ca) в організмі тварини грає ключову роль на обмін речовин організму, частка якого в організмі досягає 90% від усіх мінеральних речовин. Залежно від стадії лактації від 15% до 30% кальцію перебуває в «рухливому» стані – з кісткової тканини він може перейти в кров та інші тканини, особливо важливо контролювати цей показник у пік лактації коли з великим об'ємом молока виходить велика кількість мінеральних речовин.

У свою чергу фосфор (P) - антагоніст (кальцію) Ca. За рівнем вмісту в організмі займає друге місце після кальцію Ca. Відповідає за утворення клітинних мембран, необхідний для нормальної діяльності мікроорганізмів рубця, грає важливу роль в обміні та транспорті жирів, білків і вуглеводів. Необхідний для нормального засвоєння кальцію є активним каталізатором та стимулятором ефективного використання корму в цілому. Необхідне співвідношення у раціоні Ca /P=1.5-2/1 вміст кальцію необхідно збільшувати у міру зростання продуктивності тварини.

Наявність у кормах великої кількості кальцію (Ca) та фосфору (P), збільшує потреба тварин у магнії (Mg). Надлишок магнію (Mg) в раціоні призводить до підвищеного виведення з організму кальцію (Ca) та фосфору (P). Недостатня його кількість викликає уповільнення росту тварин та порушення у них нервової та м'язової діяльності.

Сірка (S) сприяє покращення використання небілкового азоту (N), перетравленню клітковини та крохмалю в рубці.

Так само одним із найбільш важливих елементів є Калій (K) – ключовий елемент відповідальний за репродуктивну функцію маточного поголів'я великої рогатої худоби. Він так само повинен бути на контролі в організмі тварини, так як їх співвідношення з Натрієм (Na) який відповідає за кислотно- лужний баланс організму та рубця тварини повинен задовольняти наступним вимогам, $Na/K = 1/2-4$.

Норма споживання від натрію (Na) від 0,1% до 0,2% від сухої речовини добового раціону. Проблеми формування балансу натрію (Na) і калію (K) часто обумовлені тим, що вирощування кормових культур для силосування часто супроводжується внесенням добрив та стимуляторів росту підвищують вміст натрію (Na) у ґрунті, а надалі і компонентах корму для ВРХ, що викликає репродуктивну дисфункцію маточного поголів'я в період після 3 лактації і далі, так як кількість одержуваного натрію (Na) суттєво перевищує норму співвідношення з калієм (K).

Так само варто відзначити, що молоко та яловичина одержувані в процесі утримання великої рогатої худоби це найбільш важливі типи продуктів, які формують продовольчу основу більшості держав світу. З огляду чого, уряду більшості країн намагаються стримати зріст цін на молоко та молочну продукцію, у свою черг, виробники молока, протидіють шляхом зниження собівартості виробництва молока та збільшення продуктивних показників тварин.

За останні роки обладнання для виробництва комбікормів компанії Buhler, Ottevanger та ін. дозволяє включати мінеральні добавки та премікси до складу комбікормів.

Найчастіше велика рогата худоба вибуває раніше оптимального терміну продуктивного використання через неможливість підтримки достатнього рівня мінеральних добавок в організмі тварини.

У 70% випадків підвищення продуктивних якостей ВРХ досягається за допомогою маніпуляцій із раціоном шляхом підвищення його енергетичної цінності комбікормів, у свою чергу компенсацію втрат макроелементів шляхом додавання Са, К, Р, Mg, Na та ін. у складі преміксів та мінеральних добавок, що характеризує Рисунок 1.3.

Говорячи про ефективність годування ВРХ, варто відзначити, що невід'ємною частиною виступає технологічна кратність роздачі кормової суміші або кожних компонентів окремо.

Історично, коли велика частина великої рогатої худоби утримувалася на прив'язі об'ємні корма видавалися в рівній кількості для всієї групи, а концентровані вручну операторами доїння залежно від продуктивності тварин, обходилося не без людського фактору та неточності видачі.

Надалі коли світова практика пішла шляхом розвитку безприв'язного утримання великої рогатої худоби на фермах, концентровані корми стали надавати у складі кормових сумішей, а решту частина на місцях доїння для стимуляції молоковіддачі, або через станції догодовування.

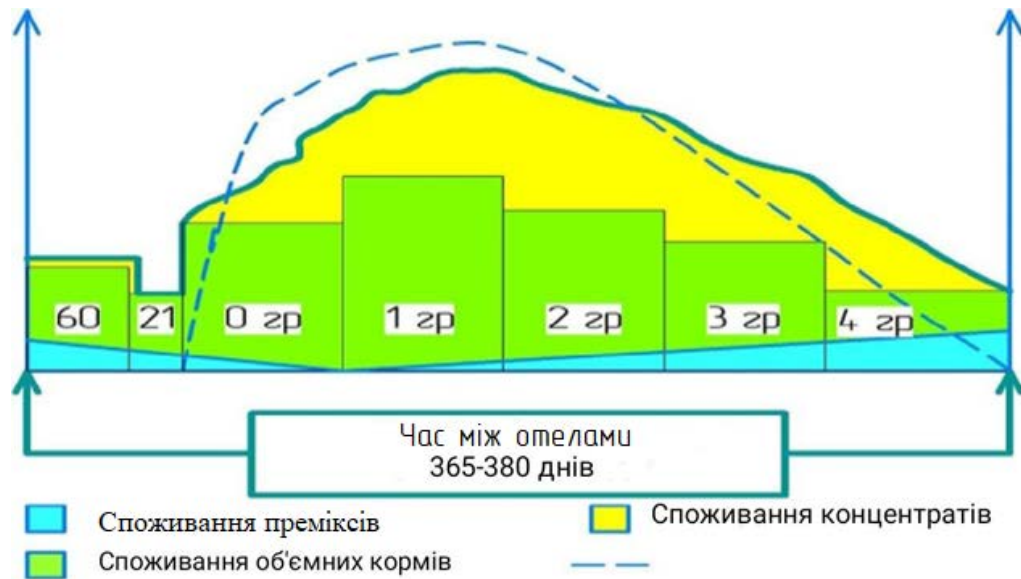


Рис. 1.3 – Структура раціону ВРХ з урахуванням періоду лактації: де, 60 – сухостійна група корів за 60 днів до запланованого отелення, 21 – сухостійна група за 21 день до запланованого отелення, 0 гр - група роздою 0-60 день лактації, 1гр - група дійних корів 60-120 день після отелення, 2гр - група дійних корів 120-180 день після отелення, 3гр - група дійних корів 180-240 день після отелення, 4гр - група дійних корів 240 і більше днів після отелення

Групою дослідників, був проведений експеримент, що визначав оптимальні кратності та часові інтервали між роздачою комбікормів [12].

Досліди проводились методом латинського квадрату у першому випадку – 4×4, вивчалось 2-, 3-, 6-, 8-кратне годування комбікормами, у другому 3×3, вивчалось 2,5-, 3- та 4 годинний інтервал між годівлею.

Контрольне годування проводили раз на декаду протягом двох днів. Раціон годування змінювали двічі на місяць за підсумками контрольних доїв, встановлено, що для високопродуктивних дійних корів кратність годування комбікормами у першу фазу лактації повинна бути до 6 разів на добу, в другу 3 – 4 рази та в третю фазу лактації 2 – 3 рази.

Максимальний об'єм порції комбікормів при годуванні не повинен перевищувати 2 кг за раз. При шестиразовому годуванні дійних корів комбікормами оптимальний інтервал видачі становить 3 години.

Також дослідження [22, 31, 32] свідчать про те, що фізіологічної особливістю ВРХ, особливо у статевозрілому віці, являється інстинкт сортування компонентів кормової суміші на користь енергетично-цінних (комбікорми, дробина тощо), у зв'язку з чим тварини нехтують грубими об'ємними компонентами (сіно, солома, сінаж та ін.), які у свою чергу насичують рубець тварини клітковиною, що часто може викликати дисбаланс основних хімічних елементів рубця тварини.

Оптимізація процесу годування на фермах згідно зоотехнічних вимог, повинна здійснюватися по ряду критерій:

- тривалість разового годування (тривалість роздачі корму) обмежується 20-ма хвилинами;
- максимальна порція дозування енергетичного комбікорму для однієї тварини протягом 2-х годин до 1,5 кг;
- максимально допустимий добовий об'єм концентратів не більше 12 кг/добу для високопродуктивних корів;
- забезпечення балансу Са (кальцію) і Р (фосфору), К (калію) і Na (натрію), Mg (магнію) і S (сірки) та ін.

Показник варіюється в залежності від типу приміщень на фермах (наявність наскрізних проїздів, довжина годівниць, кількість поголів'я у будівлі тваринницького комплексу та ін.), використовуваної породи ВРХ та пріоритету продуктивних якостей (молоко/ м'ясо).

Для забезпечення перерахованих факторів та інших умов використовуються різні стратегії годування ВРХ, а також технологічне обладнання для розробленої стратегії.

З урахуванням сказаного, можна відзначити:

- годування великої рогатої худоби необхідно нормувати за співвідношенням об'ємних компонентів та концентрованих;
- надання великої кількості енергетично цінних комбікормів повинно бути неодноразовим у складі кормової суміші, а розділятися на рівні порції та надаватися у розподілених інтервалах;

- при досягненні високого рівня продуктивності тварин необхідно здійснювати контроль за споживанням мінеральних добавок.

На сьогоднішній день існує безліч технологій та технічних засобів, які формують здатність ефективного годування, одна аналіз конкретних машин показав ряд недосконалостей.

Проаналізуємо існуючі технології організації годування великої рогатої худоби.

Дослідження технологій для приготування кормової суміші та її роздачі, було класифіковано на 4 типи та оцінено на предмет похибки дозування концентрованих компонентів під час використання конкретних машин.

1. Найбільш поширена технологія організації годування ВРХ, де використовується причіпний міксер-роздавач агрегований трактором, причому наповнення ємності міксера-роздавача здійснюється навантажувачом, а дозування концентратів за допомогою шнека встановленого в бункер для зберігання, контроль маси дозованого матеріалу за допомогою бортовий системи зважування на міксері-роздатчику, технологічна схема описується рис. 1.4.

2. Використання самохідного міксера-роздавача із системою самозавантаження, бортовою системою зважування дозованих компонентів. У свою чергу дозування концентрованих компонентів так само здійснюється за допомогою дозаторів у накопичувальних бункерах технологічна схема представлена на рис. 1.5.

3. Стаціонарний кормоцех – одна з найдорожчих технологій годування великої рогатої худоби, яка припускає зведення технологічного приміщення з бункерами проміжного зберігання об'ємних кормів (сіно, силос, сінаж та ін.), де в свою чергу, зберігання та дозування концентрованих кормів здійснюватися аналогічно технології (1) та (2), роздачу кормової суміші здійснює кормовий вагон, що рухається по жорстко закріпленій рейці або

робот роздавальник з автоматичною системою позиціонування, технологічна схема описується рис. 1.6.

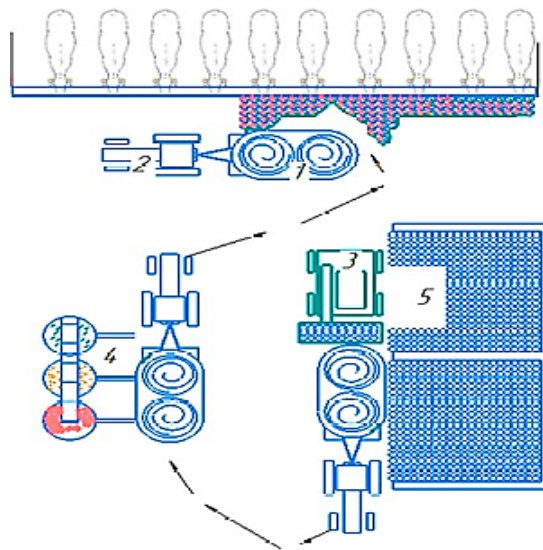


Рис. 1.4 – Принципова схема технології організації годування № 1 (використання причіпного міксера-роздавача): 1 – причіпний міксер-роздавач, 2 – енергетичний засіб, 3 - навантажувач, 4 - бункери дозатори концентрованих кормів, 5 – сховище об'ємних кормів.

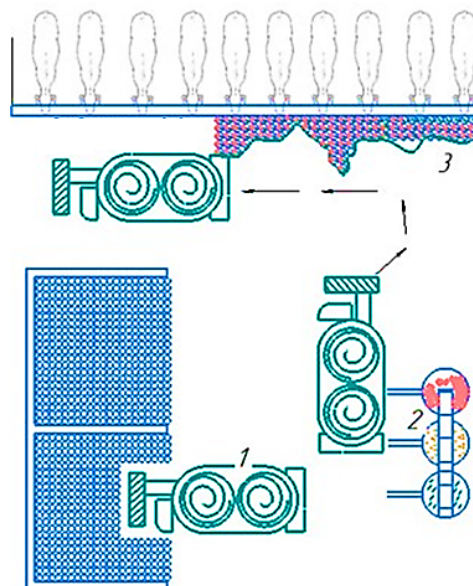


Рис. 1.5 – Принципова схема технології годування №2 (використання самохідного міксера-роздавача із системою самозавантаження): 1 - самохідний міксер-роздавач, 2 – бункери дозатори концентрованих кормів, 3 – годівниця на фермі

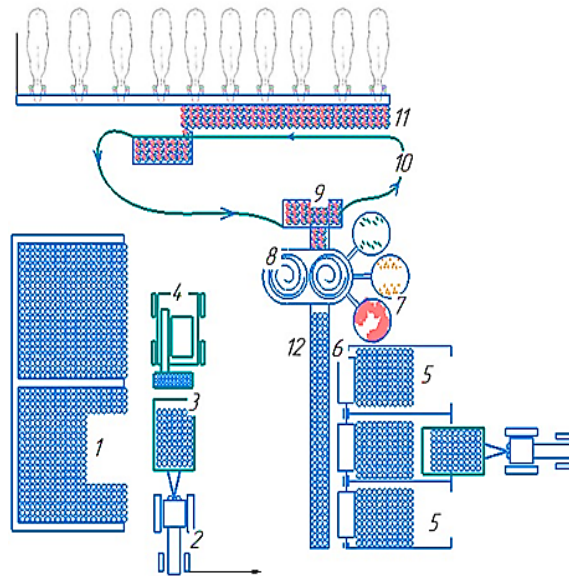


Рис. 1.6 – Принципова схема технології годування №3 (стаціонарний кормоцех): 1 - основне сховище об'ємних кормів, 2 – енергетичний засіб, 3 – причіп, 4 – навантажувач, 5 – проміжне сховище об'ємних кормів, 6 – дозатор об'ємних кормів, 7 – бункер-дозатор концентрованих кормів, 8 – змішувач, 9 - вагон роздавач, 10 – умовна траєкторія переміщення, 11 – годівниця, 12 - транспортер.

4. Одне з самих нових рішень на світовому ринку технологічного обладнання для великої рогатої худоби. Тара змішувача кормів встановлюється на мобільне шасі та оснащується автономною системою дозування концентрованих кормів для різних технологічних груп, за рахунок можливості дозування у русі концентрати можуть подаватися в змішувач у процесі руху, що суттєво скорочує час виконання операцій. Технологічна схема описується рис. 1.7

Усі сучасні машини та технологічне обладнання для приготування кормової суміші оснащується системою автоматичного зважування дозованих компонентів кормової суміші.

У процесі аналізу, була зроблена оцінка ефективності роботи систем дозування на предмет похибки, за результатами отриманих протоколів ваговий системи Daily TMR Manager, яка була встановлена на конкретній машині характеризующа кожну з типів технологій.

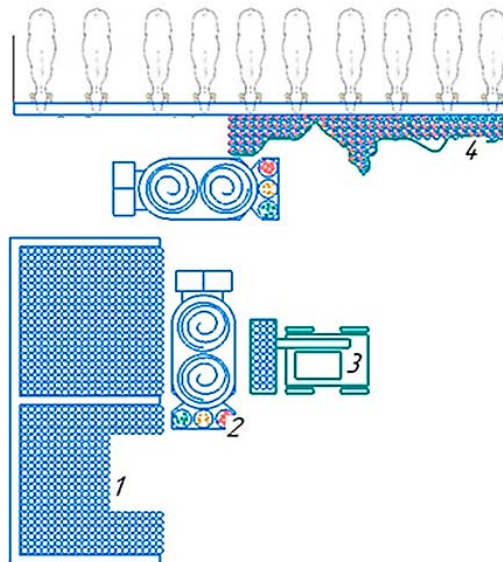


Рис. 1.7 – Принципова схема технології годування №4 (Самохідний міксер-роздавач з роздільними бункерами для комбікормів): 1 – сховище об'ємних кормів, 2 – роздавальник-змішувач з бункерами для концентратів, 3 – навантажувач, 4 – годівниця на фермі

Технологія годування №1 описана рисунком 1.4, успішно досліджувалася у на прикладі міксера-роздавача «Господар», оснащеного бортовою системою зважування «Dailly TMR Manager», що працює в парі з навантажувачем кормів.


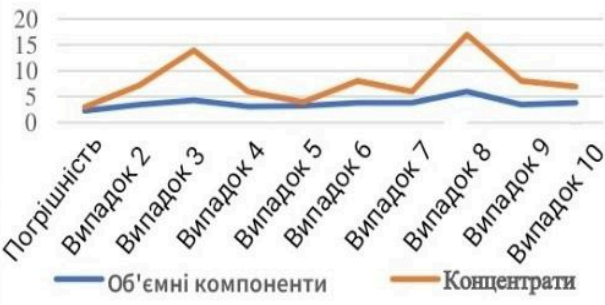

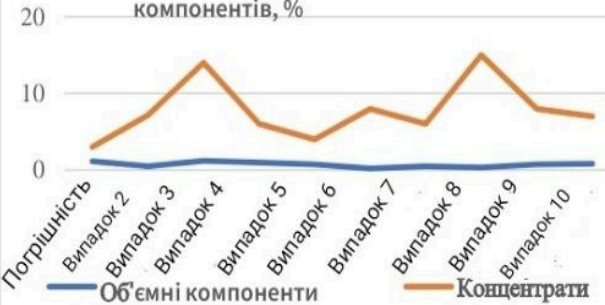
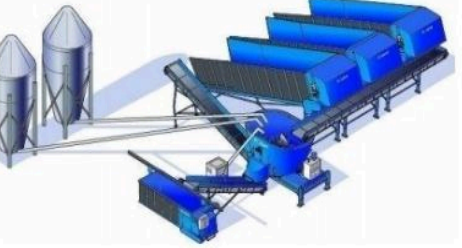
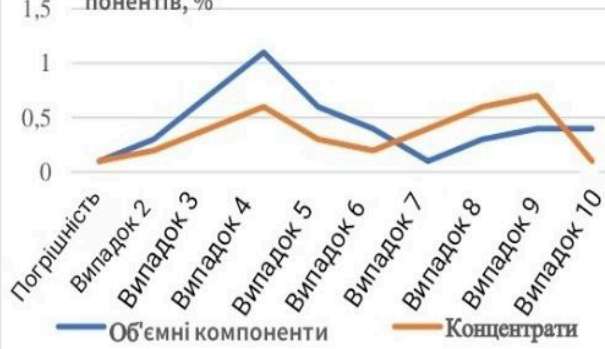

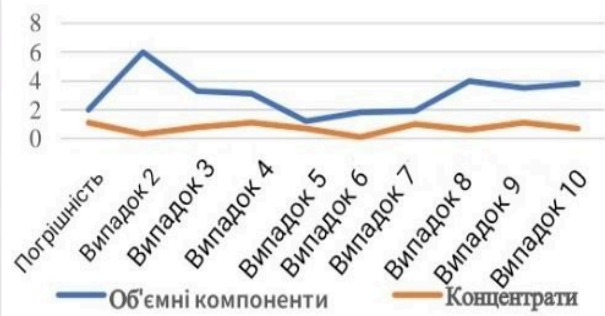
Технологія вигодовування №2 описана рисунком 1.5, досліджувалась на прикладі самохідного міксера-роздавача Delaval, виробленого за ліцензією Siloking, оснащеного бортовою системою зважування «Dailly TMR Manager».

Технологія годування № 3 описана рисунком 1.6, була оцінена за наданими результатами ферми, де використовується кормовий вагон Delaval RA - 135.

Технологія годування № 4 описана рисунком 1.7 була оцінена на фермі де використовується самохідний міксер-роздавач Пента МКС 25У на базі КАМАЗ.

Принципова схема досліджуваних машин та результати оцінки роботи наведено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Системи кормоприготування в молочному тваринництві

№	Найменування	Результати аналізу вагового дозування																																	
Технологія – 1		<p>Результати оцінки похибки дозування компонентів, %</p>  <table border="1"> <caption>Результати оцінки похибки дозування компонентів, % (Технологія 1)</caption> <thead> <tr> <th>Випадак</th> <th>Об'ємні компоненти (%)</th> <th>Концентрати (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Погрішність</td><td>~2</td><td>~2</td></tr> <tr><td>Випадак 2</td><td>~3</td><td>~10</td></tr> <tr><td>Випадак 3</td><td>~4</td><td>~15</td></tr> <tr><td>Випадак 4</td><td>~3</td><td>~8</td></tr> <tr><td>Випадак 5</td><td>~3</td><td>~5</td></tr> <tr><td>Випадак 6</td><td>~4</td><td>~8</td></tr> <tr><td>Випадак 7</td><td>~3</td><td>~5</td></tr> <tr><td>Випадак 8</td><td>~4</td><td>~18</td></tr> <tr><td>Випадак 9</td><td>~3</td><td>~8</td></tr> <tr><td>Випадак 10</td><td>~3</td><td>~5</td></tr> </tbody> </table>	Випадак	Об'ємні компоненти (%)	Концентрати (%)	Погрішність	~2	~2	Випадак 2	~3	~10	Випадак 3	~4	~15	Випадак 4	~3	~8	Випадак 5	~3	~5	Випадак 6	~4	~8	Випадак 7	~3	~5	Випадак 8	~4	~18	Випадак 9	~3	~8	Випадак 10	~3	~5
Випадак	Об'ємні компоненти (%)	Концентрати (%)																																	
Погрішність	~2	~2																																	
Випадак 2	~3	~10																																	
Випадак 3	~4	~15																																	
Випадак 4	~3	~8																																	
Випадак 5	~3	~5																																	
Випадак 6	~4	~8																																	
Випадак 7	~3	~5																																	
Випадак 8	~4	~18																																	
Випадак 9	~3	~8																																	
Випадак 10	~3	~5																																	
Технологія – 2		<p>Результати оцінки похибки дозування компонентів, %</p>  <table border="1"> <caption>Результати оцінки похибки дозування компонентів, % (Технологія 2)</caption> <thead> <tr> <th>Випадак</th> <th>Об'ємні компоненти (%)</th> <th>Концентрати (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Погрішність</td><td>~1</td><td>~2</td></tr> <tr><td>Випадак 2</td><td>~1</td><td>~8</td></tr> <tr><td>Випадак 3</td><td>~1</td><td>~14</td></tr> <tr><td>Випадак 4</td><td>~1</td><td>~6</td></tr> <tr><td>Випадак 5</td><td>~1</td><td>~4</td></tr> <tr><td>Випадак 6</td><td>~1</td><td>~8</td></tr> <tr><td>Випадак 7</td><td>~1</td><td>~6</td></tr> <tr><td>Випадак 8</td><td>~1</td><td>~15</td></tr> <tr><td>Випадак 9</td><td>~1</td><td>~8</td></tr> <tr><td>Випадак 10</td><td>~1</td><td>~7</td></tr> </tbody> </table>	Випадак	Об'ємні компоненти (%)	Концентрати (%)	Погрішність	~1	~2	Випадак 2	~1	~8	Випадак 3	~1	~14	Випадак 4	~1	~6	Випадак 5	~1	~4	Випадак 6	~1	~8	Випадак 7	~1	~6	Випадак 8	~1	~15	Випадак 9	~1	~8	Випадак 10	~1	~7
Випадак	Об'ємні компоненти (%)	Концентрати (%)																																	
Погрішність	~1	~2																																	
Випадак 2	~1	~8																																	
Випадак 3	~1	~14																																	
Випадак 4	~1	~6																																	
Випадак 5	~1	~4																																	
Випадак 6	~1	~8																																	
Випадак 7	~1	~6																																	
Випадак 8	~1	~15																																	
Випадак 9	~1	~8																																	
Випадак 10	~1	~7																																	
Технологія – 3		<p>Результати оцінки похибки дозування компонентів, %</p>  <table border="1"> <caption>Результати оцінки похибки дозування компонентів, % (Технологія 3)</caption> <thead> <tr> <th>Випадак</th> <th>Об'ємні компоненти (%)</th> <th>Концентрати (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Погрішність</td><td>~0.1</td><td>~0.1</td></tr> <tr><td>Випадак 2</td><td>~0.3</td><td>~0.2</td></tr> <tr><td>Випадак 3</td><td>~0.6</td><td>~0.4</td></tr> <tr><td>Випадак 4</td><td>~1.1</td><td>~0.6</td></tr> <tr><td>Випадак 5</td><td>~0.6</td><td>~0.3</td></tr> <tr><td>Випадак 6</td><td>~0.4</td><td>~0.2</td></tr> <tr><td>Випадак 7</td><td>~0.1</td><td>~0.4</td></tr> <tr><td>Випадак 8</td><td>~0.3</td><td>~0.6</td></tr> <tr><td>Випадак 9</td><td>~0.4</td><td>~0.7</td></tr> <tr><td>Випадак 10</td><td>~0.4</td><td>~0.1</td></tr> </tbody> </table>	Випадак	Об'ємні компоненти (%)	Концентрати (%)	Погрішність	~0.1	~0.1	Випадак 2	~0.3	~0.2	Випадак 3	~0.6	~0.4	Випадак 4	~1.1	~0.6	Випадак 5	~0.6	~0.3	Випадак 6	~0.4	~0.2	Випадак 7	~0.1	~0.4	Випадак 8	~0.3	~0.6	Випадак 9	~0.4	~0.7	Випадак 10	~0.4	~0.1
Випадак	Об'ємні компоненти (%)	Концентрати (%)																																	
Погрішність	~0.1	~0.1																																	
Випадак 2	~0.3	~0.2																																	
Випадак 3	~0.6	~0.4																																	
Випадак 4	~1.1	~0.6																																	
Випадак 5	~0.6	~0.3																																	
Випадак 6	~0.4	~0.2																																	
Випадак 7	~0.1	~0.4																																	
Випадак 8	~0.3	~0.6																																	
Випадак 9	~0.4	~0.7																																	
Випадак 10	~0.4	~0.1																																	
Технологія – 4		<p>Результати оцінки похибки дозування компонентів, %</p>  <table border="1"> <caption>Результати оцінки похибки дозування компонентів, % (Технологія 4)</caption> <thead> <tr> <th>Випадак</th> <th>Об'ємні компоненти (%)</th> <th>Концентрати (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Погрішність</td><td>~2</td><td>~1</td></tr> <tr><td>Випадак 2</td><td>~6</td><td>~0.5</td></tr> <tr><td>Випадак 3</td><td>~3</td><td>~1</td></tr> <tr><td>Випадак 4</td><td>~3</td><td>~1</td></tr> <tr><td>Випадак 5</td><td>~1.5</td><td>~0.5</td></tr> <tr><td>Випадак 6</td><td>~2</td><td>~0.5</td></tr> <tr><td>Випадак 7</td><td>~2</td><td>~1</td></tr> <tr><td>Випадак 8</td><td>~4</td><td>~1</td></tr> <tr><td>Випадак 9</td><td>~3</td><td>~1</td></tr> <tr><td>Випадак 10</td><td>~3.5</td><td>~0.5</td></tr> </tbody> </table>	Випадак	Об'ємні компоненти (%)	Концентрати (%)	Погрішність	~2	~1	Випадак 2	~6	~0.5	Випадак 3	~3	~1	Випадак 4	~3	~1	Випадак 5	~1.5	~0.5	Випадак 6	~2	~0.5	Випадак 7	~2	~1	Випадак 8	~4	~1	Випадак 9	~3	~1	Випадак 10	~3.5	~0.5
Випадак	Об'ємні компоненти (%)	Концентрати (%)																																	
Погрішність	~2	~1																																	
Випадак 2	~6	~0.5																																	
Випадак 3	~3	~1																																	
Випадак 4	~3	~1																																	
Випадак 5	~1.5	~0.5																																	
Випадак 6	~2	~0.5																																	
Випадак 7	~2	~1																																	
Випадак 8	~4	~1																																	
Випадак 9	~3	~1																																	
Випадак 10	~3.5	~0.5																																	

Збір статистичних даних для побудови графіків, що характеризують похибку дозування концентрованих компонентів кормової суміші, здійснювався з використанням програми управління на ваговому терміналі бортової системи вагового дозування установленної на змішувач-роздавач кормової суміші, а також програмного забезпечення *dinamica generally*, яка дозволяє структурувати дані щодо кожної технологічної групи тварин.

Проаналізувавши ефективність функціонування 4 типів технологій годування великої рогатої худоби, було виявлено, що найбільш негативний фактор, що знижує ефективність годування – це висока похибка дозування концентрованих компонентів кормової суміші (зернове розмелювання, шроти і макухи олійних культур, комбікорму тощо), а також мінеральних добавок.

Значимість виявлених недоліків конкретних технологічних машин дозволили побудувати діаграму (рис. 1.8), що характеризує послідовність етапів формування ефективного годування ВРХ.



Рис. 1.8 – Етапи формування ефективного годування ВРХ

Згідно блок-схеми представленої рисунком 1.8 чинником (1) першого порядку є визначення потенційно необхідного енергетичного складу добового раціону годування ВРХ у конкретній продуктивній групі.

На сьогоднішній день існує безліч методик, рекомендацій та програмних інструментів які враховують особливості продукування певного об'єму молока, конкретної породи тварини на межі фізіологічних можливостей та визначають необхідну кількість споживаної енергії та мінеральних добавок через раціон.

Чинником (2) другого порядку є достатня номенклатура компонентів кормової суміші з яких буде складений якісний раціон з допустимим балансом хімічних речовин одержуваних з об'ємних компонентів, енергетичного комбікорму та мінеральних добавок.

Чинником (3) третього порядку є можливість проведення достовірного аналізу на предмет енергетичної цінності кожного компонента кормової суміші заготовленого у конкретному господарстві.

На сьогоднішній день у кожному регіоні існує лабораторія аналізу кормів на предмет енергетичної цінності та інших якісних показників – питання аналізу компонентів кормової суміші не є проблемою галузі.

Чинником (4) четвертого порядку є методика розрахунку раціону на основі показників поживної цінності. З використанням програмного забезпечення для автоматизованого розрахунку раціону: Корал -АГРО, Белкофф, АМТS, РАЦІОН, HYBRIMIN Futter – ймовірність помилки при розрахунку зводиться до мінімуму.

Чинником (5) п'ятого порядку є відповідність теоретичного складання раціону для годування ВРХ, який буде забезпечувати максимальні продуктивні якості кожної продуктивної групи тварин, важливо лише ефективно виконати всі раніше перераховані чинники.

Чинником (6) шостого порядку є технологічна реалізація розрахункового раціону.

Як показали результати анкетування фахівців галузі, аналіз літератури та регулярно проведений технологічний аудит тваринницьких підприємств технологічну ефективність формує безліч операцій.

1) Точність дозування компонентів кормової суміші. Проблема

дозування об'ємних кормів обумовлюється тим, що навіть за наявності бортової системи вагового дозування на міксері-роздавачі, яка дає зворотній зв'язок оператору навантажувача не дозволяє оператору вчасно зреагувати на випадкове перекидання утрамбованого силосної або сінажної маси з ковша. Згідно з результатами оцінки технологічної ефективності різних типів машин, найбільшу точність дозування забезпечує самохідний міксер-роздавач із системою самозавантаження реалізованого у вигляді фрез-барабана технологія № 2 представлена у таблиці. 1.1.

Проблема пов'язана із забезпеченням точності дозування концентрованих компонентів кормів та мінеральних добавок, як показали результати оцінки протоколів системи вагового контролю, описані графіком (рис.1.9), стоїть ще найбільш гостро через те, що питома маса концентратів у раціоні суттєво менше, це вимагає використання найбільш точного обладнання для дозування вимикаючи людський фактор.



Рис. 1.9 – Залежність похибки дозування компонентів кормової суміші

Проблема якості дозування комбікормів та мінеральних добавок обумовлюється і тим, що перевитрата корму суттєво збільшить собівартість молока, яка буде сформована витратами на корми.

У свою чергу, брак мінеральних добавок може знижувати ефективність протікання обмінних процесів тварин тим самим погіршувати показники здоров'я у поголів'я ферми.

2) Якість змішування кормової суміші. Якість змішування об'ємних компонентів кормової суміші задовольняє всім регламентує вимогам, однак

якщо переглянути структуру раціону годування (табл. 1.3), масова частка концентратів та мінеральних (містять консистенцію до 14% вологості) добавок мізерно мала на увазі чого включення різних преміксів або комбікормів до складу об'ємних кормів під час приготування може викликати налипання на вологий силос та добавки не розподілятися рівномірно у всьому об'ємі.

Таблиця 1.2 – Приклад раціону дійної корови з групи на 70 день лактації зі середньорічними навоями 11 000 літрів

Найменування компонента	Маса компонент а, кг	Масова частка в загалому об'ємі	Вологість компонента	Маса СВ	Питома вологість, %
Силос кукурудзяний	20	0,4084	0,72	5,6	55,519
Сінаж злакових трав	16	0,3267	0,55	7,2	33,928
Солома вівсяна	0,5	0,0102	0,15	0,425	0,289
Зерно кукурудзи	4	0,0816	0,15	3,4	2,313
Шрот ріпаковий	3,5	0,0714	0,1	3,15	1,349
Шрот соєвий	0,5	0,0102	0,11	0,445	0,212
Шрот соняшниковий	1	0,0204	0,11	0,89	0,424
Ячмінь дворядний	1,5	0,0306	0,15	1,275	0,867
Премікс AgroFEED	0,2	0,004	0,1	0,18	0,077
Трикальцій фосфат	0,2	0,0040	0,1	0,18	0,077
Абсорбент	0,07	0,0014	0,1	0,063	0,026
Патока	1,5	0,0306	0,85	0,225	4,91
Разом	48,97	1		23,03	100

3) Постійна підтримка корму у годівниці. Наявність корму у годівниці забезпечується кратністю та достатнім об'єму кормової суміші на кожену групу ВРХ.

4) Доступність корму на годівниці. Доступність корму на годівниці, багато визначається якістю роботи персоналу ферми та своєчасним використанням технічних засобів, які підштовхують корм.

5) Свіжість та смакові якості корму. Свіжість та смакові якості корму – це так само процес повністю залежить від людини, яка забезпечується

кратністю роздачі корму, операціями, що запобігають стеження (особливо влітку), підсипка комбікормів для покращення смакових якостей.

Згідно виявленим факторам, які формують технологічну ефективність годування великої рогатої худоби на фермах, у даній дисертаційній роботі, пропонується наступне рішення:

- як основний енергетичний засіб, що здійснює роздачу кормової суміші використовувати самохідний міксер-роздавач з автоматичною системою вагового контролю та пристроєм самозавантаження;
- для запобігання неточності дозування концентратів або мінеральних добавок, їх низько ефективного змішування, а також для забезпечення доступності корму на годівниці та його смакових якостей використовувати малогабаритний роботизований технічний засіб.

Схема запропонованої технології організації процесу годування великої рогатої худоби з використанням роботизованого пристрою для внесення кормових добавок при обслуговуванні годівниць представлена на рис. 1.10.

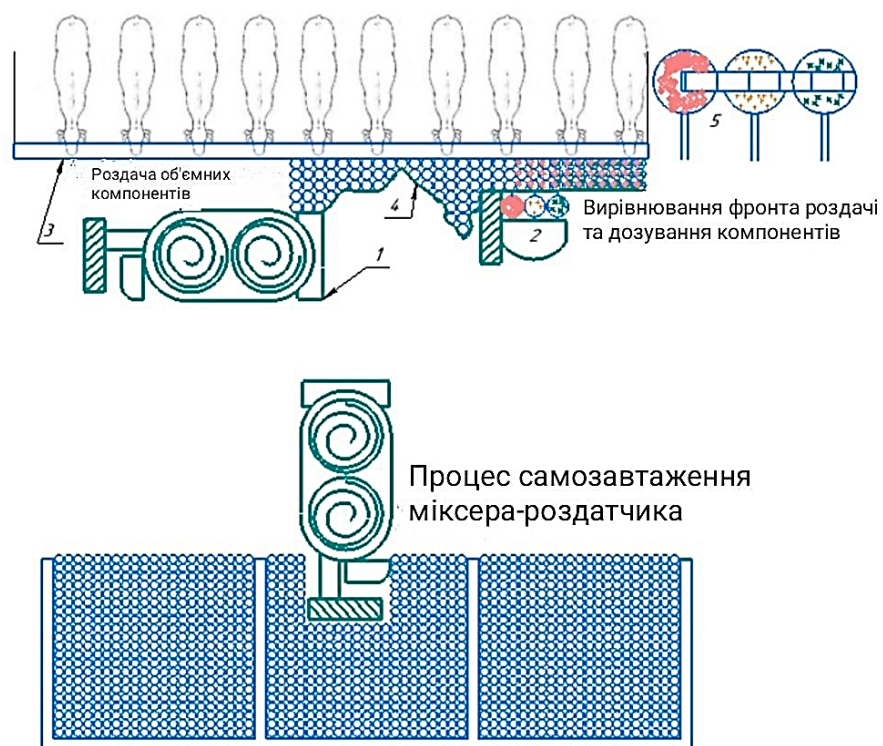


Рис. 1.10 – Технологічна схема запропонованого методу годування ВРХ на фермах

Представлена схема технології організації годування великої рогатої худоби, пропонує використання роботизованого пристрою для внесення кормових добавок під час обслуговування годівниць на фермах. Використання якого дозволить суттєво знизити рівень не ефективного використання компонентів кормової суміші, виключити вплив людського фактора на процес виробництва, підвищити продуктивність тварин.

1.2 Аналіз патентної інформації, ринкових технологій та технічних засобів для роботизації процесів годівлі великої рогатої худоби на фермах

Пошук науково-технічної, кон'юнктурної, нормативної документації та матеріалів державної реєстрації, проводився з метою виявлення охоронних документів обмежуючи дії з вдосконалення роботизованого пристрою для внесення кормових добавок під час обслуговування годівниць на фермах.

Одним з перших пристроїв для обслуговування годівниць на фермах у світі з'явилася машина Lely Juno, патент (NL2015909B1, МПК А01К5/00. Заявка подана «Lely Patent Nv», опублікована 30.06.2017 року.). Це колісний робот з бамперним штовхачем для переміщення корму до огороження годівниць у формі конуса, що обертається на валу в момент переміщення робота, який має електропривод. Робот включає автоматичну систему позиціонування з GPS маяків або реперних точок визначаючих траєкторію руху, у якості робочого органу, який забезпечує переміщення кормової суміші в зону досяжності тварин використовується бамперний пристрій, представлений рис. 1.11.

Від самого початку пристрій було розроблено нідерландської компанією Lely, як пристрій що дозволяє компенсувати працю людини у процесі підштовхування кормових сумішей до огорожі годівниць для забезпечення доступності корму тваринам.

В результаті аналіз досліджень [11, 15, 23], з'ясувалося, що для сприйняття тварин проїжджаючі пристрій по годівниці є імітацією роздачі корму, що спонукає їх підходу до годівниць та споживання кормів, внаслідок

чого у всіх групах тварин зростала продуктивність від 6 % до 15 %, залежно від кратності роботи пристрою.

Недоліком відомого пристрої (Lely Juno), є складність конструкції: циліндричний бампер в якому замкнутий торець з однієї із сторін. У процесі обслуговування годівниць, при виштовхуванні корму до огорожі, частина корму потрапляє всередину бампера, що засмічує його зсередини, згодом, механізм поворотного колеса працює нестабільно і параметри зкомандованої системи позиціонування не реалізує механіка пристрою, пристрій переходить на аварійний режим.

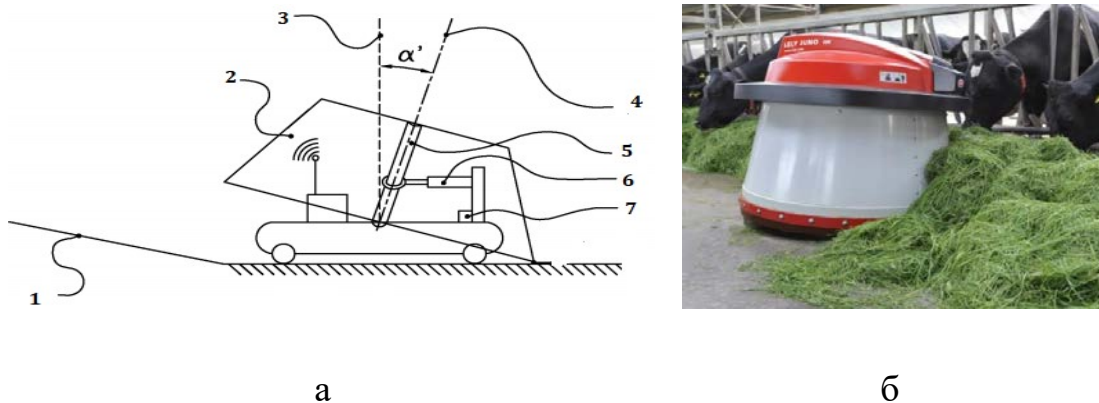


Рис. 1.11 – Пристрій для обслуговування годівниць Lely Juno: а) принципова схема з патенту; б) промисловий зразок; 1 – основа годівниць, 2 – GPS датчик, 3 – вертикальна вісь, 4 – вісь відхилення від вертикалі, 5 – механізм обертання штовхача, 6 – кроковий актуатор 7 – поворотний механізм кермового колеса.

На основі першої машини Lely Juno, машинобудівним заводом було також розроблено роботизований пристрій для обслуговування годівниць на фермах, принципова схема якого представлена рисунку 1.12 і який має такі ж недоліки як і пристрій Lely Juno. Однак за рахунок виносу приводних коліс з під бампера, він має більшу прохідність та надійність.

Через деякий час компанією Vobman так само стали виробляється машини для підштовхування корму, тільки агреговані людиною, в основному машини виробляються для Турецького ринку, Індії та інших країн.

Важливим відмінністю було використання шнекового робочого органу для підштовхування корму, основна перевага досягається тим, що можна, можливо роздавати кормову суміш один раз на добу, у свою чергу проїзд машини Bobman (рис.1.13), здійснює спускування корму, тим самим запобігаючи парниковому ефекту всередині, зберігаючи смакові якості та свіжість протягом доби.

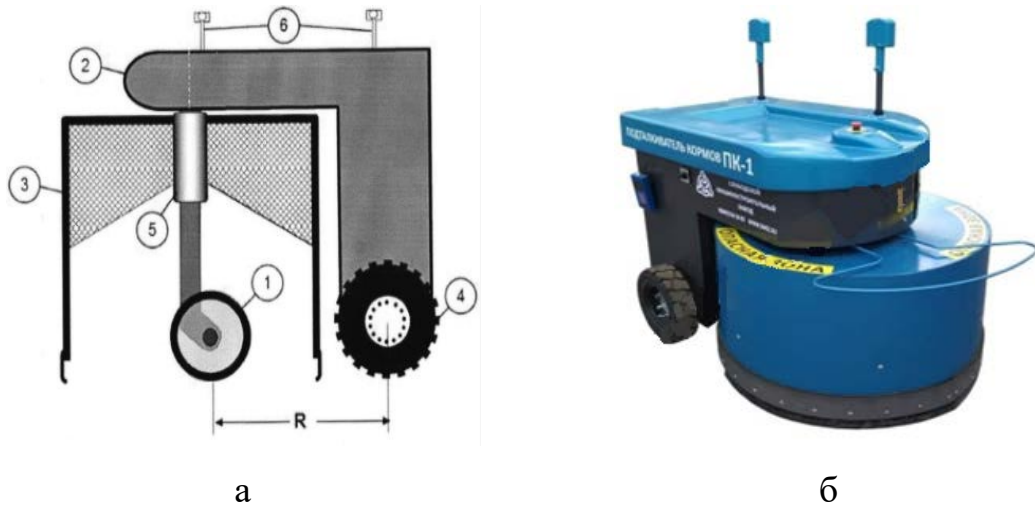


Рис. 1.12 – Підштовхувач кормів ПК – 1: а) принципова схема з патенту; б) промисловий зразок; 1 – опорне колесо, 2 – передня частина корпусу, 3 – бампер-штовхач, 4 – приводні колеса, 5 – поворотний механізм б – датчики позиціонування



Рис. 1.13 – Машина для підштовхування кормів Bobman

Основним недоліком машини Vobman є підвищений шум роботи двигуна внутрішнього згоряння, що підвищує рівень стресу у корів, а також необхідність використання праці людини для реалізації технологічного процесу.

Цікаве рішення для внесення кормових добавок під час обслуговування годівниць на фермах було представлено компанією Wasserbauer.

Пристрій включає рейку закріплену зверху до бруса і пересувний агрегат, що працює в автоматичному режимі (рис. 1.14), який не тільки здійснює переміщення вздовж годівниць та підштовхування корму, але й дозування концентрованих кормових добавок.



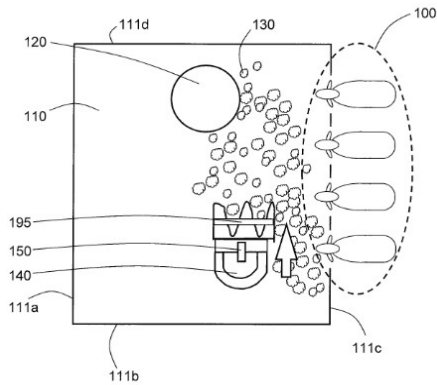
Рис. 1.14 – Пристрій для внесення кормових добавок під час обслуговування годівниць Wasserbauer

Однак ключовим недоліком цієї і подібних машин є висока металомісткість конструкції яка зростає пропорційно довжині годівниць, шумність роботи рейкового механізму.

Враховуючи світовий досвід застосування подібних машин, пізніше компанією DeLaval був випущений робот «DeLaval OptiDuo™» (рисунок 1.15) [43]. Пристрій містить датчик для вимірювання складових, фізичних, хімічних властивостей кормів, накопичувальний пристрій для зберігання результатів фізичних та хімічних показників властивостей кормової суміші,

блок управління системою електроприводу робота, шнек (гвинтовий штовхач), що переміщає кормову суміш у зону досяжності тварин, захисний корпус.

Основним недоліком відомого пристрою є відсутність можливості дозування кормових добавок під час обслуговування годівниць.



а



б

Рис. 1.15 – Робот підштовхувач кормів Delaval

Загалом аналіз виробників роботизованого технологічного обладнання для годування великої рогатої худоби показав, що всі існуючі машини можна, класифікувати за типом робочого органу, як шнекові і бамперні, принциповою відмінністю є спосіб механічного впливу на кормову суміш яку потрібно виштовхувати до огороження годівниць.

1.3 Аналіз алгоритмів управління роботизованими пристроями

Роботизований пристрій Delaval Opti Duo та Lely Juno працює згідно з блок-схемою, представленою на рисунку 1.16.

Вузьким місцем алгоритму управління є відсутність блоку, який дозволить враховувати ступінь завантаження пристрою при штовханні корму, що може викликати підвищені навантаження на електропривод роботизованого пристрою.

З урахуванням проаналізованої літератури, рівня техніки, а також аналізу зоотехнічних особливостей годування великої рогатої худоби, в

рамках цього дослідження пропонується розробка та обґрунтування параметрів роботи роботизованого пристрою для внесення кормових добавок при обслуговуванні годівниць на фермах, що здійснює:

- автономну роботу без участі людини;
- підтримку доступності кормової суміші для тварин в годівниці;
- точне дозування концентрованих компонентів безпосередньо в годівниці;
- підтримка смакових якостей та підвищення рівня споживання корму.

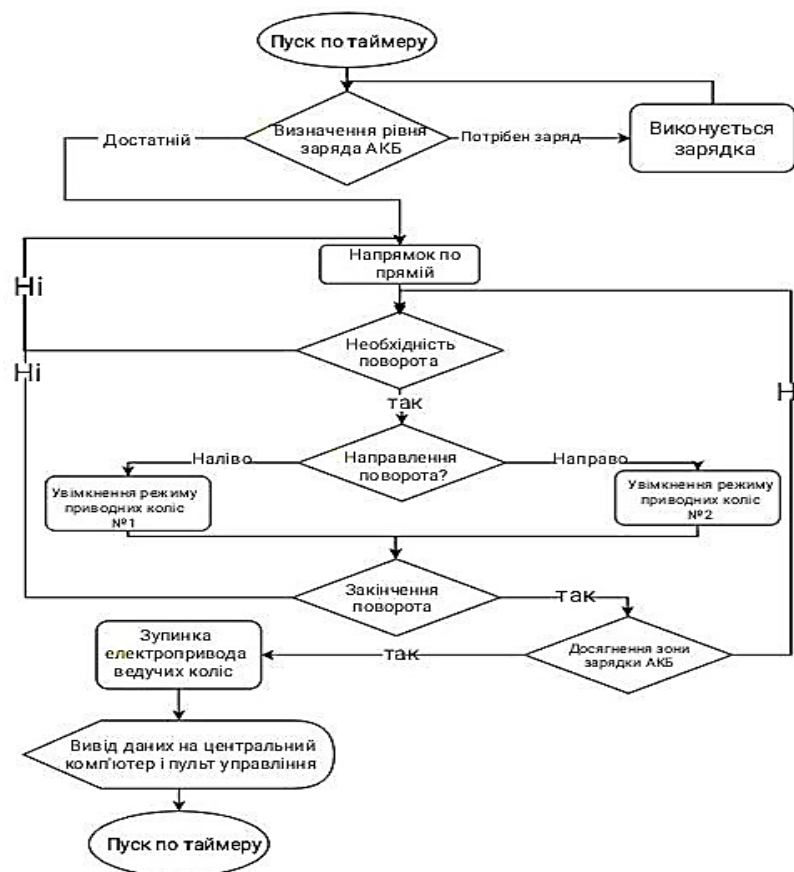


Рис. 1.16 – Блок-схема, що характеризує алгоритм управління роботизованою машиною Delaval Opti Duo та Lely Juno

На рис. 1.17 представлена принципова схема запропонованого роботизованого пристрою для внесення кормових добавок під час обслуговування годівниць на фермах із системою дозування кормових добавок.

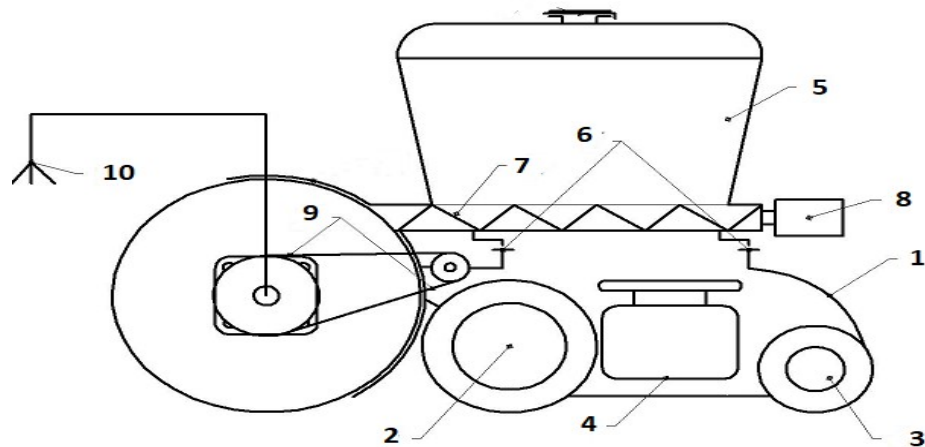


Рис. 1.17 – Принципова схема роботизованого пристрої для внесення кормових добавок під час обслуговування годівниць: 1 – корпус, 2 – приводне мотор-колесо, 3 – опорно-поворотне колесо, 4 – акумулятор, 5 – накопичувальний бункер, 6 – тензодатчики, 7 – шнек дозатора, 8 – електропривод шнека, 9 – пасовий привід шнека штовхача, 10 – антена

Запропонований пристрій оснащується автоматичною системою позиціонування та виконання передбачуваних технологічних операцій.

РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ОБСЛУГОВУВАННЯ ГОДІВНИЦЬ НА ФЕРМІ З ВИКОРИСТАННЯМ РОБОТИЗОВАНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ ВНЕСЕННЯ КОРМОВИХ ДОБАВОК

2.1 Обґрунтування методики годівлі великої рогатої худоби з використанням роботизованого пристрою для внесення кормових добавок

Як було з'ясовано під час аналізу в 1-му розділі роботи, найбільшу значимість з погляду формування собівартості виробництва молока при витратах на годівлю, а також для забезпечення здоров'я поголів'я великої рогатої худоби необхідно максимально точно здійснювати дозування концентрованих комбікормів та мінеральних добавок.

Однак, якість дозування, не впливає на кінцевий баланс компонентів кормової суміші одержуваних за допомогою змішування у міксері-роздатчику, який пояснюється рівнянням 2.1:

$$\frac{dc}{dt} = \frac{1}{t} (C_{\text{вх}} - c) \quad (2.1)$$

c – концентрація кормових добавок, що характеризує кінетичний баланс компонентів кормової суміші на виході;

$C_{\text{вх}}$ – концентрація кормових добавок у поверхневому шарі на момент дозування;

t – час витрачається для досягнення кінетичного балансу всіх компонентів кормової суміші, с.

Згідно представленому рівнянню (2.1), для досягнення ідеального кінетичного балансу компонентів кормової суміші на виході, показник витрачуваного часу « t » буде прагнути до нескінченності.

Це обумовлено тим, що частка кормових добавок у структурі кормової суміші не перевищує 1%, згідно діаграмі представленю на рисунку 2.1, яка побудована на основі табл. 1.2.

У свою чергу модель ідеального кінетичного балансу компонентів кормової суміші згідно з рисунком 2.2 передбачає, що при поділі спільного

об'єму кормової суміші на рівні частини, у кожній з цих частин пропорції компонентів повинні бути рівні.

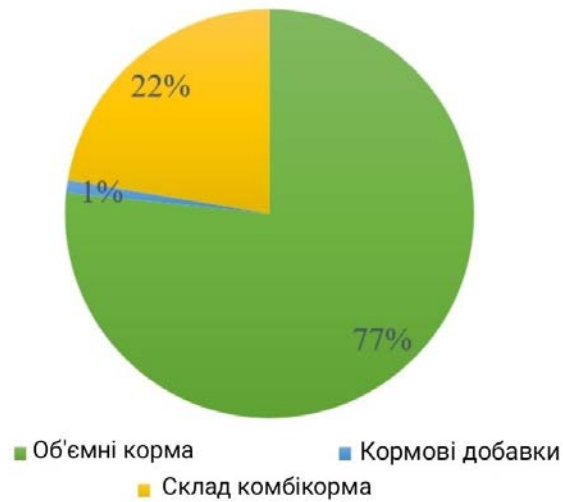


Рис. 2.1 – Структура раціону ВРХ за типами складових компонентів кормової суміші

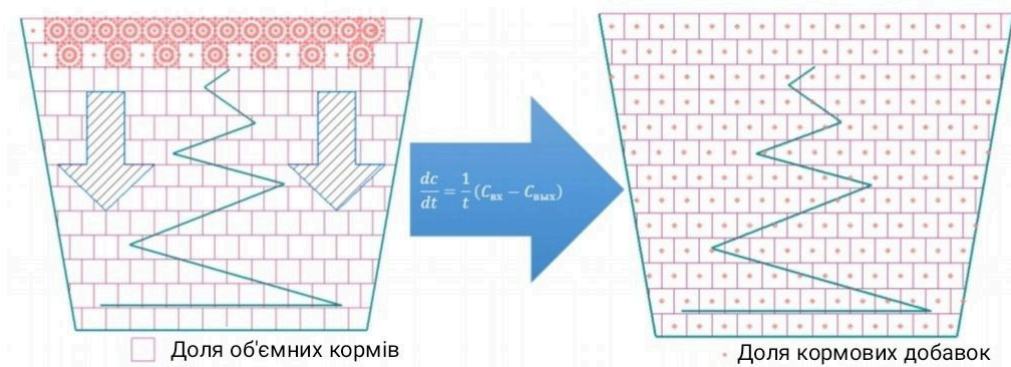


Рис. 2.2 – Модель ефективного змішування кормової суміші з кормовими добавками

Проведемо теоретичний аналіз 4-х типів технологій годування ВРХ, розглянутих у 1-му розділі роботи (принципові схеми кожні з яких представлені на рис. 1.4, 1.5, 1.6 та 1.7) у порівнянні з запропонованою технологією, яка описана принциповою схемою рис. 1.10.

Розглянемо кожен з досліджуваних технологічних процесів за критеріями:

- перелік використовуваних машин та обладнання в технологічному процесі;

- кількість персоналу задіяного в технологічному процесі;
- кількість виконуваних операцій та час на реалізацію.

1) Реалізація технології № 1 передбачає використання наступного переліку машин:

- енергетичне засіб (трактор);
- причіпний агрегований міксер-роздатчик;
- навантажувач;
- шасі з самоскидом (для транспортування кормів з силосних траншей);
- стаціонарний кормовий майданчик з бункерами для зберігання комбікормів та преміксів.

Кількість персоналу задіяного безпосередньо у процесі приготування кормів:

- оператор енергетичного засобу для агрегування причіпного міксера-роздавача;
- оператор навантажувача;
- оператор шасі з самоскидом;
- скотар.

Перелік операцій виконуваних персоналом при використанні машин з часовими витратами:

t_{si} - час витрачається на навантаження самоскида шасі об'ємними кормами з сховища (силосна або сінажна траншея);

t_{ti} - час витрачається на транспортування об'ємних кормів на стаціонарний кормовий майданчик;

t_{pi} - час витрачається на завантаження міксера-роздавача компонентами кормової суміші;

t_m - час витрачається на змішування компонентів кормової суміші у міксері-роздавачі;

t_k - час витрачається на транспортування кормової суміші на ферму;

t_{ri} - час витрачається на роздачу кормової суміші для конкретної технологічної групи;

t_c – час витрачається на підштовхування кормової суміші на годівниці.

Ефективність процесу годування великої рогатої худоби, для технології 1 характеризує вираз (2.2):

$$T_1 = \left(\sum_{i=1}^n t_{si} + \sum_{i=1}^n t_{ti} \right) + \left(\sum_{i=1}^n t_{pi} + t_m + t_k + t_{ri} + t_c \right) \cdot n_c \cdot k_t \quad (2.2)$$

$\sum_{i=1}^n t_{si}$ – вираз характеризує кількість завантажень самоскида за конкретної потреби у кормах;

$\sum_{i=1}^n t_{ti}$ – вираз характеризує кількість поїздок самоскида;

$\sum_{i=1}^n t_{pi}$ – вираз характеризує багатокomпонентність кормової суміші при приготуванні та навантаженні в міксер-роздавач;

n_c – добова кратність роздачі корму для конкретної технологічної групи, раз/добу;

k_t – кількість технологічних груп годування на фермі, шт.

2) Реалізації технології № 2 передбачає використання наступного переліку машин:

- самохідний міксер-роздавач із системою самозавантаження;
- автоматизовані бункери-дозатори для зберігання комбікормів та

преміксів.

Кількість персоналу задіяного безпосередньо у процесі приготування кормів:

- оператор самохідного міксера-роздатчика;
- скотар.

Перелік операцій із часовими витратами:

t_{pi} - час витрачається на навантаження міксера-роздавача компонентами кормової суміші;

t_m - час витрачається на змішування компонентів кормової суміші у міксері-роздавачі;

t_k - час витрачається на транспортування кормової суміші на ферму;

t_{ri} - час витрачається на роздачу кормової суміші для конкретної технологічної групи;

t_c - час витрачається на підштовхування кормової суміші на годівниці.

Ефективність процесу годування великої рогатої худоби, для технології № 2 характеризує вираз (2.3):

$$T_2 = \left(\sum_{i=1}^n t_{pi} + t_m + t_k + t_{ri} + t_c \right) \cdot n_c \cdot k_t \quad (2.3)$$

$\sum_{i=1}^n t_{ti}$ - вираз характеризує багато-компонентність кормової суміші при приготуванні та завантаженні в міксер-роздавач;

n_c - добова кратність роздачі корму для конкретної технологічної групи, раз/добу;

k_t - кількість технологічних груп годування на фермі, шт.

3) Реалізація технології № 3 передбачає використання наступного переліку машин:

- навантажувач;
- шасі з самоскидом (для транспортування кормів з силосних траншеї у проміжне сховище).
- стаціонарний кормоцех інтегрований у будівлю ферми, який оснащується:
 - проміжним сховищем об'ємних компонентів кормової суміші з барабанными дозаторами;
 - бункерами-дозаторами для зберігання комбікормів та преміксів;
 - стаціонарним змішувачем-роздавачем;
 - пересувним кормо-вагоном.

Кількість персоналу задіяного безпосередньо у процесі приготування кормів:

- оператор навантажувача;
- оператор шасі з самоскидом;
- оператор кормоцеху;

- скотар.

Перелік операцій із часовими витратами:

t_{si} - час витрачається на навантаження самоскида шасі об'ємними кормами з сховища (силосна або сінажна траншея);

t_{ti} - час витрачається на транспортування об'ємних кормів до кормоцеху;

t_{pi} - час витрачається на навантаження змішувача компонентів кормової суміші в стаціонарний змішувач;

t_m - час витрачається на змішування компонентів кормової суміші у стаціонарному змішувачі;

t_{mm} - час витрачається на наповнення кормовагону та стаціонарного змішувача;

t_k - час витрачається на транспортування кормової суміші до годівниць;

t_{ri} - час витрачається на роздачу кормової суміші для конкретної технологічної групи.

t_c - час витрачається на підштовхування кормової суміші на годівниці.

Ефективність процесу годування великої рогатої худоби, для технології № 3 характеризує вираз (2.4):

$$T_3 = \left(\sum_{i=1}^n t_{si} + \sum_{i=1}^n t_{ti} \right) + \left(\sum_{i=1}^n t_{pi} + t_m + t_{mm} + t_k + t_{ri} + t_c \right) \cdot n_c \cdot k_t \quad (2.4)$$

$\sum_{i=1}^n t_{si}$ - вираз характеризує кількість завантажень самоскида за конкретної потреби у кормах;

$\sum_{i=1}^n t_{ti}$ - вираз характеризує кількість поїздок самоскида;

$\sum_{i=1}^n t_{pi}$ - вираз характеризує багатоконпонентність кормової суміші при приготуванні та навантаженні в міксер-роздавач;

n_c - добова кратність роздачі корму для конкретної технологічної групи, раз/добу;

k_t - кількість технологічних груп годування на фермі, шт.

4) Реалізація технології № 4 передбачає використання наступного

переліку машин:

- самохідний міксер-роздавач із відсіком для проміжного зберігання концентратів та преміксів (на прикладі Пента МКС - 25у);
- навантажувач.

Кількість персоналу задіяного безпосередньо у процесі приготування кормів: - оператор міксера-роздавача;

- оператор навантажувача;
- скотар.

Перелік операцій виконуваних персоналом при використанні машин з часовими витратами:

t_{pi} - час витрачається на навантаження міксера-роздавача компонентами кормової суміші;

t_m - час витрачається на змішування компонентів кормової суміші у міксері-роздавачі;

t_k - час витрачається на транспортування кормової суміші на ферму;

t_{ri} - час витрачається на роздачу кормової суміші для конкретної технологічної групи;

t_c - час витрачається на підштовхування кормової суміші на годівницю.

Ефективність процесу годування великої рогатої худоби, для технології 4 характеризує вираз (2.5):

$$T_4 = \left(\sum_{i=1}^n t_{pi} + t_m + t_k + t_{ri} + t_c \right) \cdot n_c \cdot k_t \quad (2.5)$$

$\sum_{i=1}^n t_{si}$ - вираз характеризує кількість навантажень самоскида за конкретної потреби у кормах;

$\sum_{i=1}^n t_{ti}$ - вираз характеризує кількість поїздок самоскида;

$\sum_{i=1}^n t_{pi}$ - вираз характеризує багатоконпонентність кормової суміші при приготуванні та завантаженні в міксер-роздавач;

n_c - добова кратність роздачі корму для конкретної технологічної групи, раз/добу;

k_t – кількість технологічних груп годування на фермі, шт.

За основу реалізації запропонованої технології годування великої рогатої худоби взята «Технологія – 2» - реалізована за допомогою використання самохідного міксера-роздавача із системою самозавантаження.

Таким чином у процесі будуть задіяні:

- самохідний міксер-роздатчик із системою самозавантаження, на прикладі Siloking Self Line Premium 2115;
- запропонований роботизований пристрій для внесення кормових добавок під час обслуговування годівниць на фермах.

Кількість персоналу задіяного безпосередньо у процесі приготування кормів: - оператор міксера-роздавача.

Запропонована технологія годування великої рогатої худоби дозволяє:

- відмовитися від використання стаціонарного кормового майданчика куди завозяться компоненти кормової суміші та дозуються в міксері-роздавачі;
- не експлуатувати навантажувач та наймати оператора;
- не використовувати самоскид для транспортування компонентів кормової суміші на стаціонарний кормовий майданчик.

Таким чином ефективність запропонованого методу годування великої рогатої худоби, описується виразом (2.6). Де показники:

t_c – час витрачається на підштовхування кормової суміші на годівниці;

n_c – добова кратність роздачі корму для конкретної технологічної групи, раз/добу;

k_t – кількість технологічних груп годування на фермах, шт., не враховуватиметься, оскільки підштовхування кормової суміші буде здійснювати без участі людини, шляхом використання робота, а роздача об'ємних компонентів кормової суміші буде здійснюватися один раз на добу для всіх технологічних груп по усередненому раціоні. У свою чергу запропонований роботизований пристрій для внесення кормових добавок при

обслуговуванні годівниць на фермах, буде оптимізувати раціон годування за допомогою циклічного ведення концентрованих комбікормів з урахуванням необхідної кількості кожної технологічної групи.

З погляду зоотехнічної ефективності за допомогою циклічності дозування концентратів збільшиться кратність їх споживання, що посприє найбільш ефективному засвоєнню енергетично цінних кормів. Шнековий механізм для розпушування корму запобігає процесу бродіння в літній період, тим самим забезпечуючи постійну доступність корму за допомогою відштовхуючих дій до огороження годівниць, при цьому робот не вимагає трудовитрат скотаря.

$$T_p = \sum_{i=1}^n t_{pi} + t_m + t_k + t_r \quad (2.6)$$

$\sum_{i=1}^n t_{pi}$ – вираз характеризує багатоконпонентність кормової суміші при приготуванні та навантаженні в міксер-роздавача;

t_m - час витрачається на змішування компонентів кормової суміші у міксері-роздавача;

t_k - час витрачається на транспортування кормової суміші на ферму;

t_r - час витрачається на роздачу кормової суміші для конкретної технологічної групи.

Результати теоретичної оцінки технологічної ефективності годування великої рогатої худоби представлені у таблиці 2.1.

Запропонований пристрій для внесення кормових добавок при обслуговуванні годівниць, технологічно припускає проїзд міксера-роздавача по годівниці, а потім багаторазовий автономний проїзд роботизованого пристрою. Через те що міксер-роздавач здійснює транспортування кормів з розміщених на вулиці сховищ для наступних проїздів робота необхідно витримувати санітарну зону годівниць, для забезпечення гігієни годування великої рогатої худоби необхідно забезпечити не попадання бруду в момент підштовхування кормів. Тому важливо витримувати санітарну зону між границею розкиду корму та колії міксера-роздавача.

Таблиця 2.1 – Результати теоретичної ефективності аналізованих технологій годування великої рогатої худоби

Розглянуті технології	Структура ефективності процесу	Кількість операторів	Кількість технічних об'єктів задіяних операторами
№ 1	$T_1 = \left(\sum_{i=1}^n t_{si} + \sum_{i=1}^n t_{ti} \right) + \left(\sum_{i=1}^n t_{pi} + t_m + t_k + t_{ri} + t_c \right) \cdot n_c \cdot k_t$	4	4
№ 2	$T_2 = \left(\sum_{i=1}^n t_{pi} + t_m + t_k + t_{ri} + t_c \right) \cdot n_c \cdot k_t$	2	1
№ 3	$T_3 = \left(\sum_{i=1}^n t_{si} + \sum_{i=1}^n t_{ti} \right) + \left(\sum_{i=1}^n t_{pi} + t_m + t_{mm} + t_k + t_{ri} + t_c \right) \cdot n_c \cdot k_t$	4	3
№ 4	$T_4 = \left(\sum_{i=1}^n t_{pi} + t_m + t_k + t_{ri} + t_c \right) \cdot n_c \cdot k_t$	3	2
Запропонована технологія	$T_p = \sum_{i=1}^n t_{pi} + t_m + t_k + t_r$	1	1

З урахуванням цього значення оптимальну ширину кормушок B_s , мм. можна, виразити за формулою 2.7:

$$B_s = b_m + 2b_k + 2b_z \quad (2.7)$$

b_m – ширина колії міксер-роздавача, м;

b_k – ширина зони годування доступною для тварин, м;

b_z – ширина санітарної зони між кордонами b_m і b_k , м.

Визначення ширини санітарної зони годування b_k , повинно задовольняти умови формули 2.8, 2.9:

$$b_k + b_z \geq b_r \quad (2.8)$$

b_r – дальність розкиду кормової суміші на кормушці від огорожі для тварин, м.

$$b_z \geq b_r - b_k \quad (2.9)$$

Ширина зони годування визначається за формулою 2.10:

$$b_k = \frac{V_K^{\text{п/м}}}{n_K^{\text{п/м}}} \quad (2.10)$$

$V_K^{\text{п/м}}$ – обсяг корму однією погонному метрі кормушок, м³;

$n_k^{п/м}$ – висота шару корму на одному погонному метрі кормушок, м;

q_p – маса добового раціону годування на одну тварину, кг;

$n_{к.м}^{ж}$ – кількість тварин у групі;

S_k – насипна щільність корма,

K_p – кратність роздачі корму, раз/добу.

Введемо коефіцієнт $k = \frac{n_k^{п/м}}{b_k}$ і виразимо формулу 2.11:

$$n_k^{п/м} = k \cdot b_k \quad (2.11)$$

де, k – коефіцієнт враховує висоту шару корму (0,3-0,4).

Використовуючи формули 2.9, 2.10 та 2.11, отримаємо формулу 2.12:

$$b_k = \sqrt{\frac{q_p \cdot n_{к.м}^{ж}}{k \cdot K_p \cdot S_k}} \quad (2.12)$$

З урахуванням формули 2.12, ширину санітарної зони визначаємо за формулою 2.13:

$$b_z = b_r - \sqrt{\frac{q_p \cdot n_{к.м}^{ж}}{k \cdot k_p \cdot S_k}} \quad (2.13)$$

Таким чином довжина робочого органу (шнек-розпушувач) розроблюваного роботизованого пристрою для внесення кормових добавок під час обслуговування кормушок на фермах мають задовольняти умови формули 2.14:

$$l_{шн} \geq b_r \leq b_z + b_k \quad (2.14)$$

Представлений теоретичний розрахунок дозволяє визначати характеристики та перелік машин для різних технологій організації годування великої рогатої худоби.

2.2 Теоретичне обґрунтування системи управління роботизованим пристроєм для внесення кормових добавок

На етапі розробки системи управління роботизованого пристрою для внесення кормових добавок під час обслуговування кормушок на фермах, була змодельована запропонована траєкторія руху.

Для забезпечення автономного позиціонування розроблюваного робота траєкторія його руху є примітивною, в основному він рухається по прямій з незначними відхиленнями залежно від кількості залишку корму на годівниці, (рис. 2.3) та здійснює повороти на 90°.

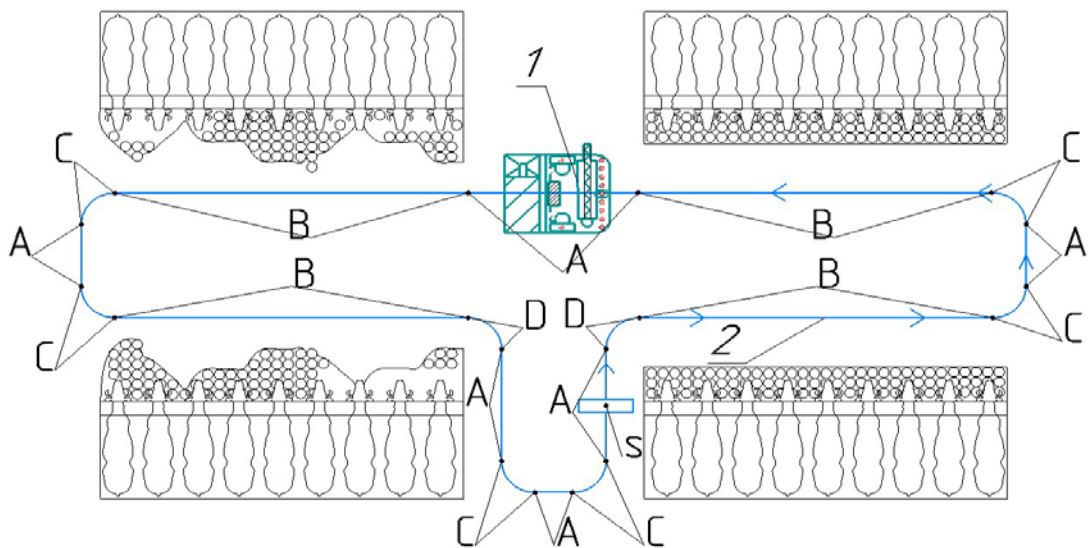


Рис. 2.3 – Схема, що описує процес переміщення робота по кормушці на фермі: 1 – роботизований пристрій для внесення кормових добавок під час обслуговування кормушок на фермах, 2 – траєкторія руху

Рух робота починається з точки (S) відображеної на принциповій схемі руху (рис. 2.3) – ця ділянка є місцем зарядження акумуляторної батареї робота та місцем заповнення бункера-дозатора кормовими добавками.

Ділянка (A) – робот рухається по прямій, в цей момент привід шнека-штовхача та дозатора відключені, привід правого та лівого колеса обертається з постійною швидкістю.

Ділянка (B) – робот рухається по прямій вздовж кормушок з незначними відхиленнями залежно від ступеня розкидування корму

тваринам. У процесі руху по ділянці (В) шнек-штовхач обертається із частотою обертів від 80 до 120 об/ хв., а також здійснюється процес дозування кормових добавок із бункера дозатора. Привід ведучих коліс обертається з однаковою частотою.

Ділянка (С) – робот здійснює поворот наліво, таким чином, що привід лівого колеса зафіксований, а привід правого колеса здійснює обертання з постійною швидкістю до моменту повного повороту на 90^0 при цьому привід дозатора і шнека штовхача відключені.

Ділянка (D) – робот здійснює поворот праворуч, таким чином, що привід правого колеса зафіксований, а привід лівого колеса здійснює обертання з постійною швидкістю до моменту повного повороту на 90^0 при цьому привід дозатора і шнека штовхача відключені.

На етапі підбору елементної бази системи управління роботом, були проведені кінематичні, динамічні розрахунки та дослідження, що враховують масу робота, показники діючих сил у процесі руху, згідно розрахункової схеми представленої на рис. 2.3, розглядається процес відпрацювання повороту робота за заданою траєкторією.

Робот представляє собою мобільну платформу з двома ведучими та одним веденим колесами. Ведучі колеса розташовуються на одній осі і центр кожного колеса позначається буквою A_1 та A_2 відповідно, при цьому $|A_1 A_3| = |A_1 A_2| = L$. Робот переміщається по поверхні, яка розташовується у площині Oxy .

Припускається, що центр ваги робота розташований у точці A_3 через яку проходить система координат мобільного робота $A_3x_1y_1$. На корпусі робота закріплено навісне обладнання, яке призначається для підштовхування розкиданого корму.

Вісь A_3x_1 жорстко пов'язана з роботом і є вертикаллю рухомої основи. Кут повороту вертикалі основи щодо осі Ox позначається α , а кутова швидкість платформи $\dot{\alpha}$.

Положення мобільного робота відносно системи координат Oxy позначається точкою A_3 з координатами (x, y) .

Розрахункова схема представлена рис. 2.4.

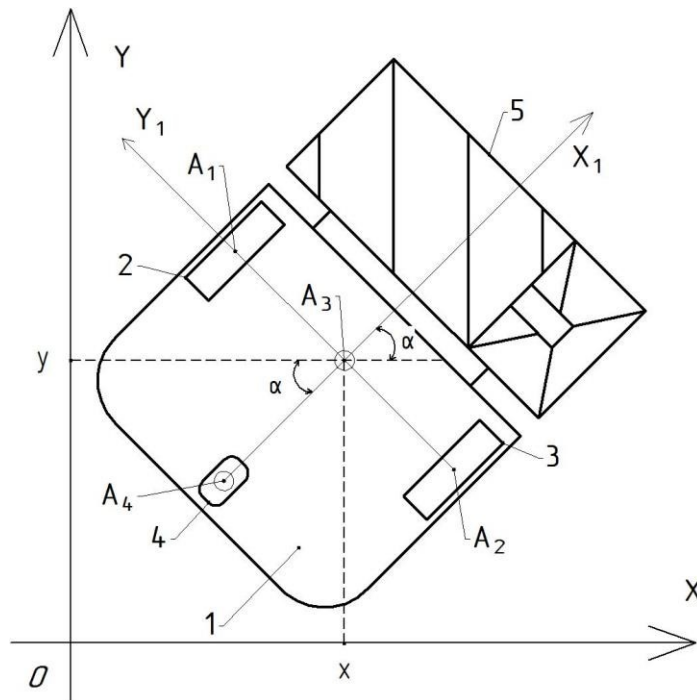


Рис. 2.4 – Кінематична схема, що описує процес повороту робота: 1 – мобільна платформа, 2 – приводне колесо, 3 – приводне колесо, 4 – опорне колесо, 5 – шнек-штовхач

Швидкість переміщення точки вздовж координати Ox та Oy описується виразом 1 і 2 відповідно:

$$\dot{x} = \frac{dx}{dt} \quad (2.15)$$

$$\dot{y} = \frac{dy}{dt} \quad (2.16)$$

Справедлива рівність $\dot{x} \cdot \sin(\alpha) = \dot{y} \cdot \cos(\alpha)$.

Швидкість точки A_3 визначається виразом 3:

$$v = \dot{x} \cdot \cos(\alpha) + \dot{y} \cdot \sin(\alpha) \quad (2.17)$$

Кути повороту ведучих коліс (з центрами в точках A_1 та A_2 відповідно) щодо горизонтальних площин рівні β_1 і β_2 , тоді кутова швидкість буде рівна $\dot{\beta}_1$ та $\dot{\beta}_2$ відповідно.

Швидкість переміщення точки A_3 визначається виразом:

$$v = -L \cdot \dot{\alpha} + R \cdot \dot{\beta}_1 = L \cdot \dot{\alpha} + R \cdot \dot{\beta}_2 \quad (2.18)$$

де R – радіус ведучих коліс.

Система рівнянь рухів роботизованої установки набуде вигляду:

$$\begin{cases} \dot{x} \cdot \sin(\alpha) = \dot{y} \cdot \cos(\alpha) \\ \dot{x} \cdot \cos(\alpha) + \dot{y} \cdot \sin(\alpha) = -L \cdot \dot{\alpha} + R \cdot \dot{\beta}_1 \\ \dot{x} \cdot \sin(\alpha) = \dot{y} \cdot \cos(\alpha) = L \cdot \dot{\alpha} + R \cdot \dot{\beta}_2 \end{cases} \quad (2.19)$$

Для опису динаміки мобільного робота використовуємо рівняння Апеля яке можна, записати наступним чином у матричній формі:

$$\left(\frac{\delta S}{\delta \dot{\pi}} \right)^T = \Pi \quad (2.20)$$

Тут виконується операція диференціювання скалярної функції Апеля S за вектором псевдоприскорень $\dot{\pi} = (\ddot{x} \ \ddot{y})$; $\Pi = (\Pi_v \ \Pi_\alpha)$ – вектор псевдоузагальнених сил. При цьому компоненти вектора псевдоузагальнених сил визначаються виразами:

$$\Pi_v = \frac{1}{R} \cdot (M_{дв1} + M_{дв2}); \quad \Pi_\alpha = \frac{1}{R} (M_{дв1} - M_{дв2}) \quad (2.21)$$

де, $M_{дв1}$, $M_{дв2}$ – моменти, що розвиваються кроковими електроприводами коліс.

На рисунку 2.5 представлена математична модель робота, складена за допомогою бібліотеки Simulink Matlab.

Відповідно до моделей описаних у працях [12, 15, 22], кінематичну модель переміщення роботизованого пристрою для внесення кормових добавок під час обслуговування годівниць на фермах в координатах описуваних системою $Oxuz$ з вектором руху узагальнених сил $q_1 = |xu\psi\varphi_1\varphi_2|$ де (x) і (y) – координати точки центру мас робота, можна подати у вигляді системи рівняння, формула 2.22:

$$\begin{cases} -\dot{x}\sin\psi + \dot{y}\cos\psi = 0 \\ \dot{x}\cos\psi + \dot{y}\sin\psi + l\dot{\psi} - r\dot{\varphi}_1 = 0 \\ \dot{x}\cos\psi + \dot{y}\sin\psi - l\dot{\psi} - r\dot{\varphi}_2 = 0 \end{cases} \quad (2.22)$$

l – половина відстані між точками опори приводних коліс;

r – радіус приводних коліс;

$\phi_1 \phi_2$ – кути повороту ведучих коліс;

Ψ – кут повороту навколо вертикальної осі із центру мас робота.

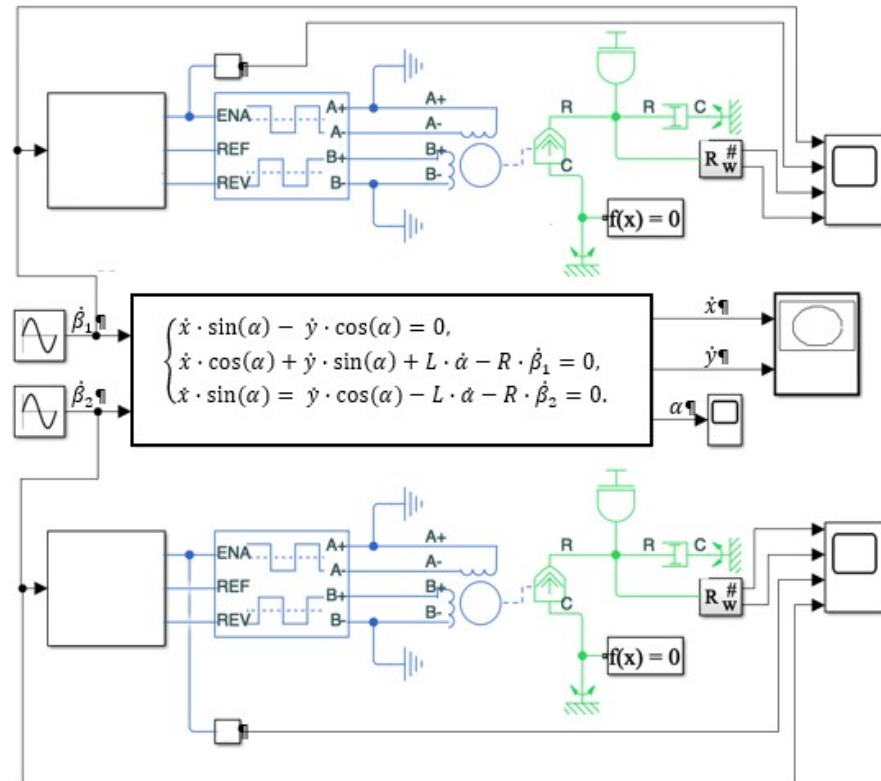


Рис. 2.5 – Імітаційна модель приводу роботизованого пристрою для внесення кормових добавок під час обслуговування кормушок на фермах

Динамічну модель руху колісного робота по горизонтальній площині з двома незалежними провідними колесами, можна подати у вигляді системи рівнянь представлених формулою 2.23, враховуючи рис. 2.5 та 2.6, де представлені розрахункові схеми динамічного процесу руху роботизованого пристрою для внесення кормових добавок, для обслуговування годівниць на фермах.

$$\begin{cases} mV = \frac{nc}{r} (i_1 + i_2) + \frac{1}{r} (M_{fr_1} + M_{fr_2}) + m_1 a \Omega^2, \\ J\Omega = \frac{ncl}{r} (i_1 - i_2) + \frac{1}{r} (M_{fr_1} - M_{fr_2}) - m_1 a \Omega^2, \\ L \frac{di_1}{dt} + Ri_1 + \frac{nc}{r} (V + l\Omega) = U_1, \\ L \frac{di_2}{dt} + Ri_2 + \frac{nc}{r} (V - l\Omega) = U_2. \end{cases} \quad (2.23)$$

m_1 – сумарна маса робота та статорів електродвигуна;

m_k – сумарна маса ведучого колеса та ротора електродвигуна;

R – опір електричного кола;

$M_{fr} M_{fr2}$ – моменти тертя кочення;

n – передатне число редуктора;

c – коефіцієнт електромеханічної взаємодії

L – узагальнена індуктивність ланцюга електродвигуна;

$i_1 = \dot{e}_1, i_2 = \dot{e}_2$ – крок повороту вала електродвигуна;

Ω – прискорення;

U_1, U_2 – керуюча напруга електродвигуна приводних коліс.

a – відстань від датчика скануючого задану траєкторію до центру мас робота.

Показник m , обчислюється за формулою 2.24:

$$m = m_1 + 2m_k + 2\frac{J_y}{r^2} \quad (2.24)$$

Наведений момент інерції колеса J_y , можна визначити за формулою 2.25:

$$J_y = J_{ky} + n^2 J_{ry} \quad (2.25)$$

J_{ky} – момент інерції колеса щодо горизонтальної осі;

J_{ry} – момент інерції ротора електродвигуна.

$$J_y = J_1 + (m_1 + 2m_k)a^2 + 2\frac{J_y}{r^2}J^2$$

Значення M_{frk} для K -го приводного колеса визначимо з рівняння (2.27):

$$M_{frk} = \begin{cases} -\delta N_k \operatorname{sign}(\dot{\varphi}_k), \dot{\varphi}_k \neq 0 \\ -nci_k, \dot{\varphi}_k = 0, |nci_k| \leq \delta N_k, \\ -\delta N_k \operatorname{sign}(i_k), \dot{\varphi}_k = 0, |nci_k| > \delta N_k \end{cases} \quad (2.27)$$

δ – коефіцієнт тертя кочення;

N_k – сила нормальної реакції горизонтальною опорною площиною, що діє на ведуче колесо.

Для визначення значення N_1 та N_2 був застосований принцип Даламбера, який дозволяє розробити розрахункові схеми, представлені рисунком 2.6 і рисунком 2.7.

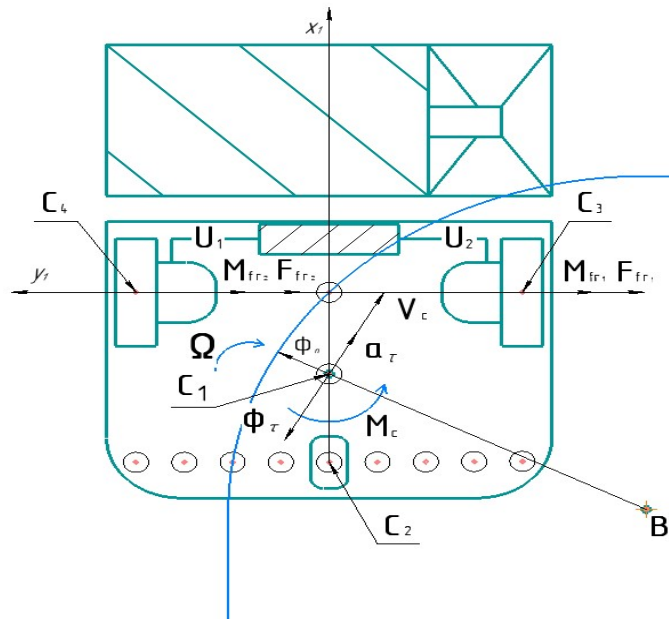


Рис. 2.6 – Принципова схема, що описує динамічний процес руху робота: Φ_n – відцентрова сила інерції, яка визначається нормальним прискоренням a_n ; Φ_τ – сила інерції, яка визначається тангенціальним прискоренням a_τ ; M_e – момент інерції, що визначається прискоренням Ω ; M_{z1} – рівнодіючою моментів M_e , моментів визначається силами M_{fr1}/r і M_{fr2}/r ; G – вага робота; V_c – швидкість центру мас робота.

Рівнодіюча паралельних осі A_{y1} складових сил Φ_n Φ_τ - Φ_{y1} спільно з рівнодіючою силою тертя ковзання (у спокої) F_{fr1} і F_{fr2} , утворює пару сил, вплив якої визначає зміну сил нормальної шорсткої площини N_1 та N_2 при русі робота вздовж криволінійних траєкторій.

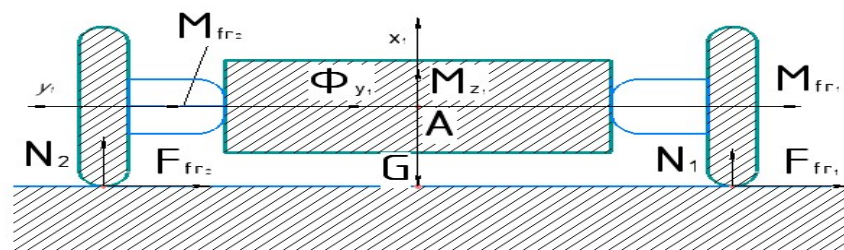


Рис. 2.7 – Принципова схема, що описує динамічний процес руху робота

З урахуванням зазначеної зміни значення N_1 та N_2 для лівого та правого приводного колеса за відсутності поперечного проковзування ведучих коліс визначаються за формулою 2.28 та 2.29:

$$N_1 = \frac{m_1 + 2m_k}{2} \left(\frac{ga_1}{a + a_1} + \frac{r \left((V^2 + (\Omega a)^2) \cos \beta \operatorname{sign}(\Omega) + \dot{\Omega} a p \right)}{lp} \right) \quad (2.28)$$

$$N_2 = \frac{m_1 + 2m_k}{2} \left(\frac{ga_1}{a + a_1} - \frac{r \left((V^2 + (\Omega a)^2) \cos \beta \operatorname{sign}(\Omega) + \dot{\Omega} a p \right)}{lp} \right) \quad (2.29)$$

де, g – прискорення вільного падіння;

Радіус кривизни траєкторії руху центру мас робота ρ можна, визначити за формулою 2.30:

$$\rho = \frac{a}{|\sin \beta|} \quad (2.30)$$

Значення кута відхилення від траєкторії β визначається за формулою 2.31:

$$\beta = \begin{cases} \frac{\pi}{2}, V = 0 \\ \arctg\left(\frac{\Omega a}{V}\right), V \neq 0 \end{cases} \quad (2.31)$$

Таким чином рух буде описуватися формулою 2.32:

$$(m_1 + 2m_k) \left| \frac{((V^2 + (\Omega a)^2) \cos \beta \operatorname{sign}(\Omega) + \dot{\Omega} a p)}{p} + \Omega a \right| < (N_1 + N_2) f \quad (2.32)$$

де, f – коефіцієнт тертя ковзання.

Отримані математичні закономірності будуть фундаментом під час створення фізичної моделі роботизованого пристрою для внесення кормових добавок при обслуговуванні кормушок на фермах.

Викладені теоретичні положення, що описують процес автоматичного переміщення роботизованого пристрою для внесення кормових добавок під час обслуговування кормушок на фермах, перевірені з використанням імітаційного моделювання у програмному забезпеченні Matlab Simulink, траєкторія руху відповідала, описаній геометричній схемі представленої на рис. 2.8.

Обробка заявленої траєкторії під час ініціалізації процесу руху включала самопозиціонування, на початку руху робот зробив розворот, оскільки був орієнтований у протилежний бік, потім слідував заданому маршруту, різними лініями представлені траєкторії руху різних коліс

платформи, алгоритм автоматичного управління робота, влаштований так, що система прагне самопозиціонуватися в заданій точці центра ваги робота.

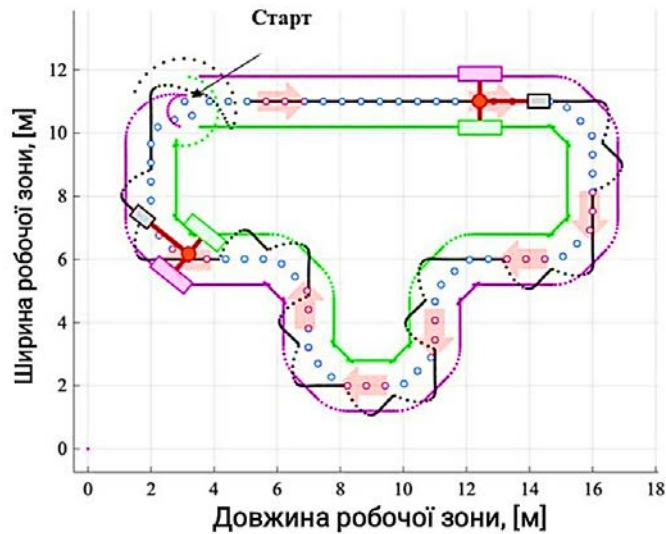


Рис. 2.8 – Процес автоматичного позиціонування робота за заданою траєкторією переміщення

На рис. 2.9 представлені траєкторії переміщення координат x та y центру ваги мобільного робота. Пунктирними лініями представлені задані траєкторії, суцільними – результати моделювання роботи розробленого інтелектуального алгоритму.

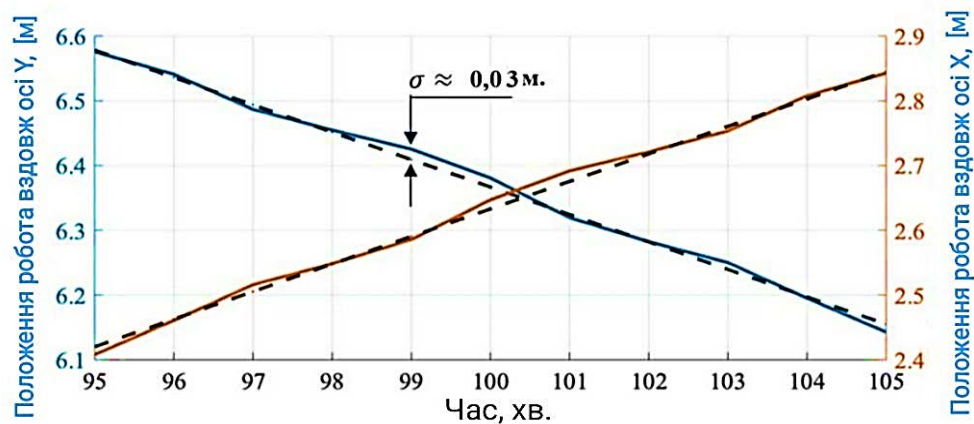


Рисунок 2.9 – Траєкторії переміщення координат x та y центру мас роботизованого пристрою для внесення кормових добавок під час обслуговування кормушок (σ – похибка позиціонування робота)

Максимальна помилка неузгодженості між заданим значенням та результатом моделювання позиціонування центру мас рухливої платформи досягає $\sigma \approx 3$ см.

Отримані результати дозволяють зробити висновок про надійність використаних виконавчих механізмів електроприводу та дають можливість на основі проектних рішень виготовити дослідний зразок роботизованого пристрою для внесення кормових добавок при обслуговуванні годівниць на фермах.

2.2.1 Забезпечення алгоритмічного зв'язку виконавчих систем керованого дозування

Зважаючи на те, що годування у 70% випадків формує продуктивність тварин, а відтак і капіталовіддачу ферми, то фермеру надзвичайно важливо розуміти характеристики поживності раціону, якого споживає тварина, це в тому числі забезпечує досягнення максимальних показників здоров'я тварин, тому результат залежить від уміння фермера правильно конфігурувати кормову сировину.

Згідно опису розділу 1 цієї роботи, згадувалося, що запропонований роботизований пристрій для внесення кормових добавок під час обслуговування годівниць на фермах буде здійснювати дозування концентрованих кормових добавок багатостадійно, з метою запобігання інстинкту сортування кормів на користь енергетично цінних, що забезпечить більше рівномірне споживання енергії з передбаченого раціону серед всього поголів'я.

З урахуванням того, що тварини споживають раціон з годівниць хаотично, під час дозування кормових добавок з використанням запропонованого рішення необхідно враховувати кількість залишків корму на годівниці у конкретній позиції робота. Це дозволить зберігати пропорцію концентрованих та об'ємних кормів у раціоні при керованому дозуванні.

Теоретична основа скринінгу годівниць полягає у використанні скануючого лазера (рис. 2.10), який розташовується в передній частині роботизованого пристрою для внесення кормових добавок при обслуговуванні годівниць на фермах та при проїзді здійснює оцінку кількості кормів на годівниці.

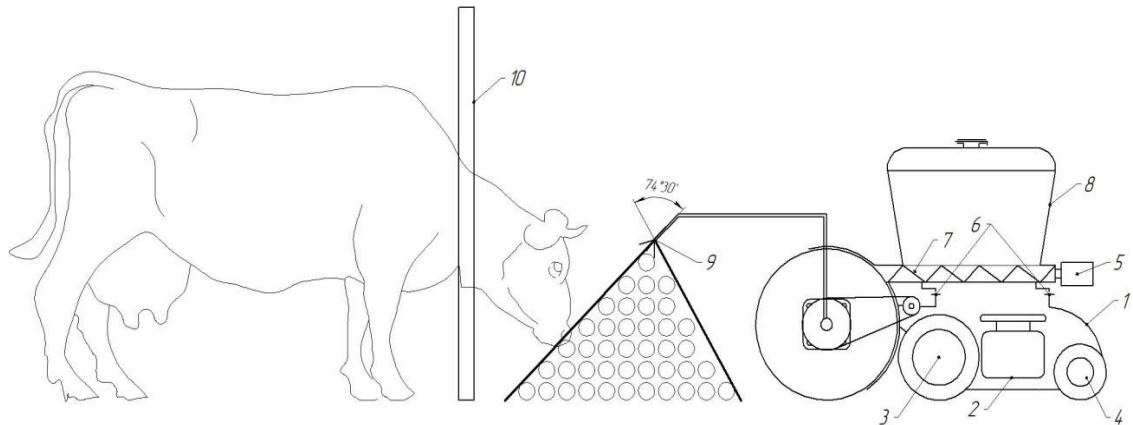


Рис. 2.10 – Умовна схема, що описує спосіб оцінки кількісних та якісних характеристик кормової суміші на годівлі: 1 – корпус пристрою, 2 – акумуляторна система живлення, 3 – ведуче колесо, 4 – опорне колесо, 5 – привід дозатора, 6 – система динамічного зважування, 7 – шнек дозатора, 8 – накопичувальний бункер, 9 – лазерно-спектральна система скринінгу кормушок.

Крім функції визначення залишків корму, лазерно-спектральна система скринінгу кормушок (9), здійснює вимір показників флуоресценції кормів.

Флуоресценція дозволяє сканувати різні спектри відбитого світла, збуджені лазером з діодним накачуванням, що в сукупності дозволяє за непрямыми спектральним характеристикам інтерпретувати показники сухої речовини або поживною цінності раціону на кормушці.

Принципова схема взаємодії виконавчих механізмів для спектрального моніторингу кормушок представлено на рис. 2.11.

Спектри зареєстровані детектором (компактним спектрометром), перетворюються центральною платою управління в числові значення та обробляються математично, що служить основою для побудови алгоритму роботи автоматичного дозуючого пристрою.

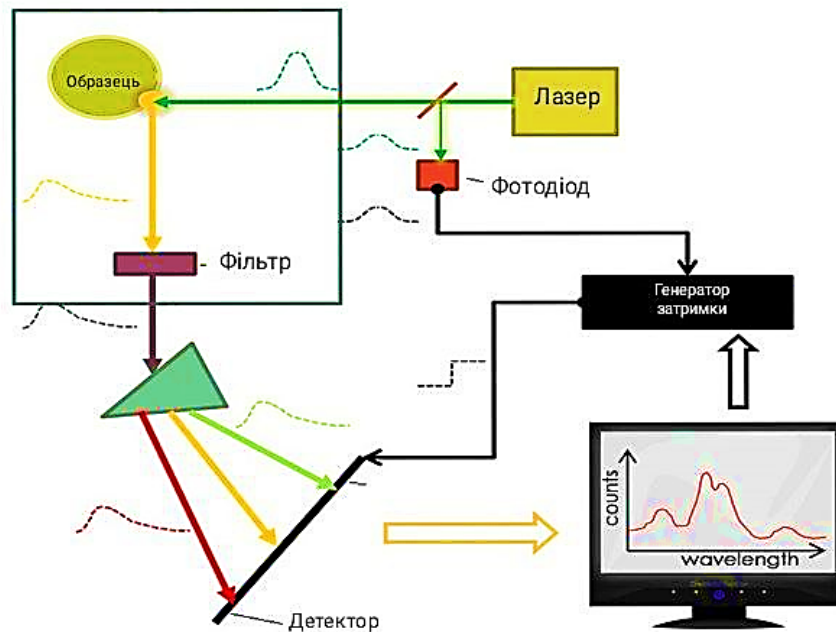


Рис. 2.11 – Принципова схема взаємодії виконавчих механізмів системи спектральної оцінки кормової суміші

2.3 Теоретичне обґрунтування конструктивних параметрів дозатора концентрованих компонентів кормової суміші

Вивантаження бункера-дозатора та заповнення частини гвинтової спіралі шнека концентрованими компонентами кормової суміші здійснюється безперервним потоком під дією сили тяжіння.

Тому для опису процесу заповнення міжвиткового простору гвинтової спіралі мінеральними добавками або комбікормом допустимо застосувати теорію суцільного середовища.

Використання даної теорії припускає прийняття вихідних умов:

- у якості моделі сипучого середовища використовується тіло, яке складається з повністю твердих та однакових за розміром елементів, які знаходяться у щільному контакті один з одним. Причому об'єм окремо взятого елемента щодо всього об'єму дозованого матеріалу нескінченно малий, це дозволяє вважати, що матеріал, розташований у бункері-живильнику, є суцільним середовищем, що дозволяє застосовувати поняття «напруга», в механіці суцільних середовищ;

- процес руху матеріалу та його насипна густина залишається незмінною, причому на початку закінчення сипучого продукту з отвору бункера частина опору всередині бункера втрачається, в зв'язку з чим є зміна тиску всередині матеріалу, що призводить до зменшення насипної щільності;

- механічні властивості сипучого продукту в різних напрямках однакові, рух елементів сипучого продукту характеризується їх структурною деформацією, порушення рівноваги, супроводжується виникненням напруг та їх перерозподілом.

Є гіпотеза саморуйнівного динамічного склепіння, що полягає в тому, що при витіканні сипучого продукту з бункера, над його вивантажним отвором, виходить особлива структура – динамічне склепіння, що швидко руйнується.

Частинки, що пройшли через динамічне склепіння, потрапляють в отвір згідно із законом тяжіння. Відповідно до даної теорії швидкість витікання продукту залежить від висоти склепіння і ні як не залежить від висоти стовпа продукту, що знаходиться в бункері, проте окремі науковці [12] стверджують, що динамічне склепіння експериментами не підтвержене, а гіпотеза має необґрунтований характер.

Витікання з бункера має складний характер і зазвичай прийнято розділяти стале витікання продукту на нормальне та гідравлічне.

У поданих розрахунках використана тільки усереднена швидкість витікання дозованого матеріалу.

Заповнення забірної частини кожуха зі спіраллю відбувається під дією сил тяжіння. Для розрахунків приймаємо, що насипна густина дозованого матеріалу в процесі роботи залишається незмінною. Ефективне дозування сипучих матеріалів передбачає, що пропускна здатність завантаженої горловини бункера перевищує транспортуючу здатність гвинтової спіралі шнека або дорівнює їй. Край спіралі на ділянці завантаженої горловини, захоплює частинки продукту та переміщає їх у кожух.

Розглянемо схему представлену рис. 2.9. Ширину вікна h , як правило, приймають $0,6 \dots 0,8$ від діаметра D кожуха в якому міститься циліндричний шнек. У свою чергу довжину вікна l_0 визначають як $l_0 = 1,5-2,5 \times s$, де s – крок спіралі, згідно з рис. 2.12.

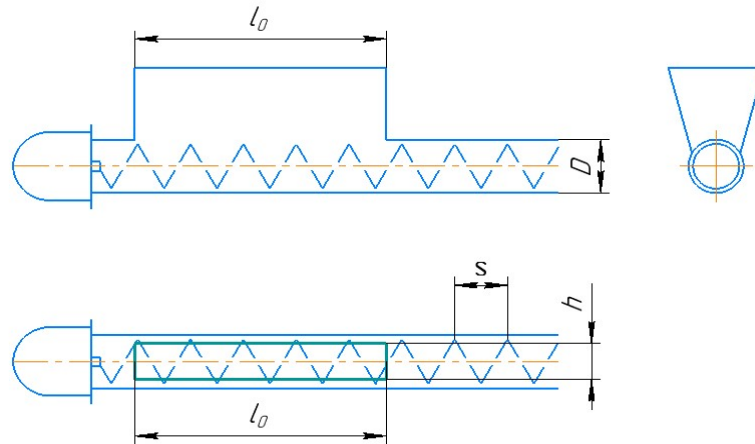


Рис. 2.12 – Принципова схема спіраль-гвинтового дозатора для дозування концентрованих комбікормів та мінеральних добавок

Нормальна робота дозатора, Q_d – продуктивність, повинна забезпечуватись умовами формули 2.33:

$$Q_0 \geq Q_d \quad (2.33)$$

де, Q_0 – пропускна здатність вивантажного отвору, яка визначається за формулою 2.34:

$$Q_0 = \mu \cdot \gamma \cdot g \cdot v \cdot F_0 \quad (2.34)$$

де, μ - коефіцієнт враховує сипкість матеріалу;

γ - насипна густина дозованого матеріал, $\text{кг}/\text{м}^3$;

g – прискорення вільного падіння;

v - швидкість закінчення дозованого матеріалу, $\text{м}/\text{с}$;

F_0 – площа вихідного отвору завантажувальної горловини, м^2 .

Для найточнішого визначення коефіцієнта витрати матеріалу розглядається вираз 2.35:

$$\mu = \sqrt{2\lambda} \cdot \frac{\lambda_1}{3} \quad (2.35)$$

де, λ – показник враховує насипну густина дозованого матеріалу;

λ_1 – розмір частинок дозованого матеріалу.

Найбільш популярним методом розрахунку швидкості закінчення сипучого матеріалу через завантажувальне вікно v , використовується вираз 2.36:

$$v = \sqrt{\frac{g \cdot R_r}{f}} \quad (2.36)$$

де, R_r - гідравлічний радіус вихідного отвору завантажувальної горловини, м;

f - коефіцієнт внутрішнього тертя.

Гідравлічний радіус R_r , можна визначити з формули 2.37:

$$R_r = \frac{F_0}{L} \quad (2.37)$$

де, L - периметр отвору завантажувального вікна, м.

Тоді Q_d продуктивність дозатора кормових добавок роботизованого пристрою буде визначатися виразом 2.38:

$$Q_d = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot s \cdot n \cdot \psi \cdot \gamma}{240} \quad (2.38)$$

Об'єднавши вирази 2.33 і 2.37, отримаємо вираз 2.39:

$$\mu \cdot \gamma \cdot g \cdot v \cdot F_0 = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot s \cdot n \cdot \psi \cdot \gamma}{240} \quad (2.39)$$

Якщо, $s = c \cdot D$, то формула 2.40 набуває після зведення у квадрат наступного виду (2.39):

$$\frac{1,2 \cdot l_0^2}{9} \cdot \frac{0,8 \cdot l_0 \cdot g}{f(0,8 \cdot D + l_0)} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \frac{c \cdot D \cdot n}{60} \cdot \psi \quad (2.40)$$

Виразивши з формули 2.40 l_0 , ми отримуємо рівняння 2.41 яке дозволяє визначити довжину завантажувального вікна шнекового дозатора для різних типів дозованого матеріалу:

$$l_0 = \sqrt[3]{\frac{15 \cdot 10^{-4} \cdot (0,8D + l_0) \cdot (c \cdot n \cdot \psi)^2 \cdot D^2 \cdot f}{g}} \quad (2.41)$$

Визначивши геометричні параметри дозуючого пристрою, в процесі роботи важливо оцінювати похибки.

Як правило, похибка обладнання обумовлена недосконалістю конструкції дозатора, а також від неврахованих геометричних параметрів робочих органів, а також фізико-механічних властивостей дозованого матеріалу.

Абсолютну похибку дозування можна, визначити за формулою 2.42:

$$\Delta q = q_i - q_z \quad (2.42)$$

де, q_i - маса фактично дозованого корму, що дозується, кг;

q_z – зоотехнічна норма споживання кормової добавки для конкретної технологічної групи, кг.

Водночас відносну похибка дозування можна, визначити за формулою 2.43:

$$\delta = \frac{\sum_{i=1}^n (q_i - q_z)}{q_z \cdot i} \cdot 100\% \quad (2.43)$$

i - кратність операцій дозування.

У дослідженнях авторів [23] розглядалися різні випадки роботи шнекових дозаторів встановлені в бункери живильники. Як критерій враховувалася відносна похибка дозування, поділена на добуток коефіцієнтів конструктивних та режимних похибок.

Для зменшення похибки дозування рекомендується керувати дозатором за кількістю обертів, що дозволяє робити кроковий електродвигун, або електродвигун з енкодером.

Сумарну похибку дозування можна, визначити за формулою 2.44:

$$\frac{\Delta G}{G} = 2 \cdot \left(\frac{\Delta D}{D} - \frac{\Delta d}{d} \right) + \frac{\Delta S}{s} + \frac{\Delta \gamma}{\gamma} + \frac{\Delta \psi}{\psi} + \frac{\Delta n}{n} \quad (2.44)$$

де, D – зовнішній діаметр шнека, м;

d – внутрішній діаметр шнека, м;

s - крок спіральної навівки циліндричного шнека, м;

n – кількість обертів шнека дозатора в циклі, що перевіряється, од;

γ - насипна густина дозованого матеріалу, кг/м³.

Для ефективної роботи шнекового дозатора необхідно враховувати необхідний момент на валу електроприводу шнека та споживану потужність N , кВт за формулою 2.45.

Використовуваний дозатор у роботизованому пристрою для внесення кормових добавок при обслуговуванні годівниць на фермах, являється горизонтальним, згідно цього параметра, краще скористатися залежністю:

$$N = \frac{Q_d}{360 \cdot \eta} \cdot (L_p \cdot w) \cdot 2 \cdot n_p \quad (2.45)$$

де, Q_d - теоретична продуктивність дозатора;

η - ККД використовуваного електроприводу;

L_p – показник враховує горизонтальне розташування дозатора;

w - коефіцієнт враховує опір дозованого матеріалу;

n_p - коефіцієнт враховує тертя у застосовуваних підшипниках для фіксації шнека.

Теоретичне дослідження процесу дозування концентрованих компонентів кормової суміші для ВРХ, дозволило уточнити вирази для визначення параметрів дозуючого пристрою з необхідною продуктивністю:

- довжина завантажувального вікна у кожусі шнека;
- абсолютна та відносна похибка дозування;
- помилка керованого дозування;
- визначення споживаної потужності.

РОЗДІЛ 3. ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ З ОПТИМІЗАЦІЇ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИКОНАВЧИХ МЕХАНІЗМІВ РОБОТА І ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АЛГОРИТМІЧНОГО ЗВ'ЯЗКУ У СИСТЕМІ

У задачу експериментальних досліджень входить перевірка теоретичних положень. Зокрема оптимізація конструктивних параметрів дозатора до роботизованого пристрою для внесення кормових добавок при обслуговуванні кормушок на фермах, а також отримання кореляційно-спектральних залежностей відбивають вміст сухої речовини в кормах з використанням компактного спектрометра та діодного лазера.

Чинники, які впливають на роботу пристрою обрали аналізуючи відомості, отримані з літературних джерел, а також спираючись на результати власних досліджень.

Статистична обробка даних здійснювалася з використанням програмного забезпечення MS Excel та Matlab (при побудові поверхонь відгуку).

Вимірювання для кожного з параметрів проводилися з 5-кратною повторністю. Обробка результатів дослідження проводилася з використанням математичних методів регресійного та кореляційного аналізу.

3.1 Методика визначення маси дозування сипучих кормів

Методика визначення маси дозування сипучих кормів, пропонує використання експериментальної установки, яка оснащується електроприводом з контролем кута повороту валу, а також системою зважування, згідно принциповою схемою, що представлена на рис. 3.1.

Таким чином, експериментальна установка зібрана згідно представленою принциповою схемою, дозволяє проводити вимірювання дозованого матеріалу, з урахуванням кількості обертів шнека.

У накопичувальний бункер експериментальної установки поміщається дозований матеріал з необхідним рівнем наповнення. Використовуючи

регулювання, визначається режим роботи крокового двигуна в декількох режимах:

- в режимі 1 здійснюється поворот валу електродвигуна на 360° з паузою до повного спустошення вихідного отвору дозатора;
- у режимі 2 здійснюється кілька обертів з попередньо обраною постійною швидкістю обертання.

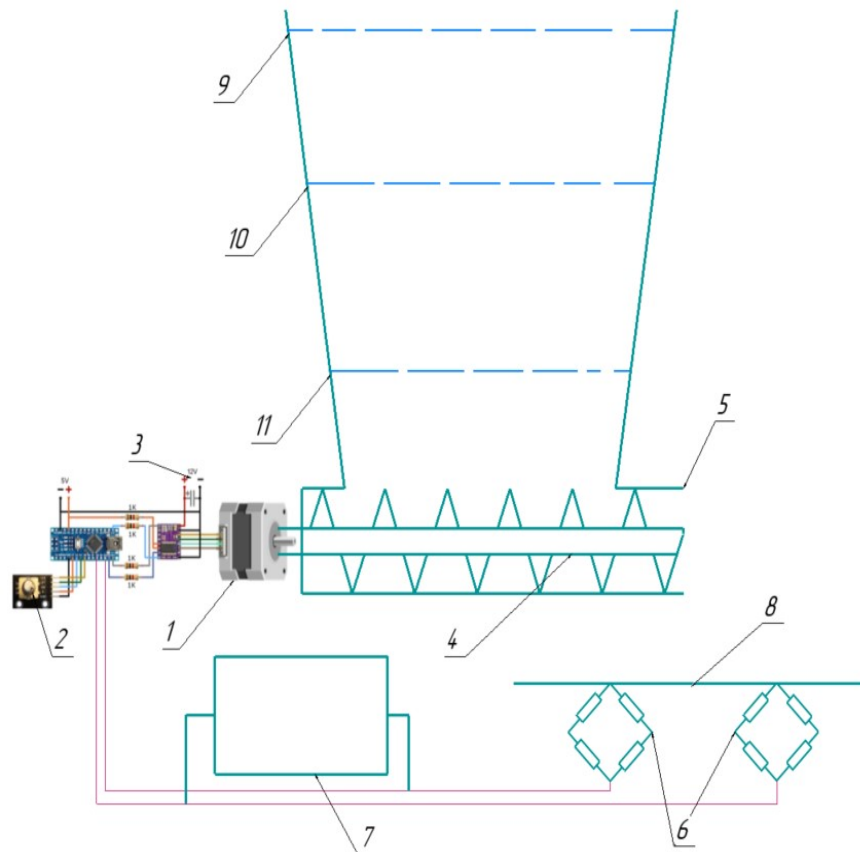


Рис. 3.1 – Принципова схема експериментальної установки дозатора кормових добавок: 1 - кроковий електродвигун (КД), 2 – керування частотою обертання (КД), 3 – джерело харчування, 4 – шнек, 5 – вихідний отвір дозатора, 6 – система зважування, 7 – дисплей, 8 – майданчик для дозованого матеріалу, 9 – межа верхнього рівня насипної щільності 10 – межа середнього рівня насипної щільності, 11 – межа нижнього рівня насипної щільності.

Використовуючи вагову систему оцінюється маса за один оберт валу в одиночному обертанні, а також при динамічному дозуванні. Експериментальні дані зводяться до таблиці 3.1.

3.2 Методика оптимізації конструктивних параметрів шнекового дозатора для сипучих кормів

Оптимізація конструктивних параметрів дозатора до роботизованого пристрою для внесення кормових добавок під час обслуговування годівниць на фермах, потребує використання експериментальної установки розробленої на основі принципової схеми представленої на рис. 3.1, а також використання шнеків різної конструкції.

Факторами, що надають значний вплив на критерій оптимізації (похибка дозування), а так само ступінь їх варіювання, наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Чинники надають вплив на якісні показники похибки дозування

Чинники	Позначення	Кодовані значення	Рівні факторів	
			Верхній	Нижній
Крок шнека спіралі	S	x	0,02 м	0,06 м
Діаметр шнека вала	d	y	0,02 м	0,04 м

Відповідно до визначених рівнів зміни факторів, шнеки які використовуються в установці, у якості основного робочого органу дозування виготовлялися з використанням технології 3-D друку, таким чином, що конструктивні параметри кожного із зразків не мали повторюваності між собою, як відображено на рис. 3.2.

Далі в експериментальну установку монтувався шнек з відповідними параметрами та здійснювалися вимірювання маси дозованого матеріалу, згідно фотографії представленої на рис. 3.3.

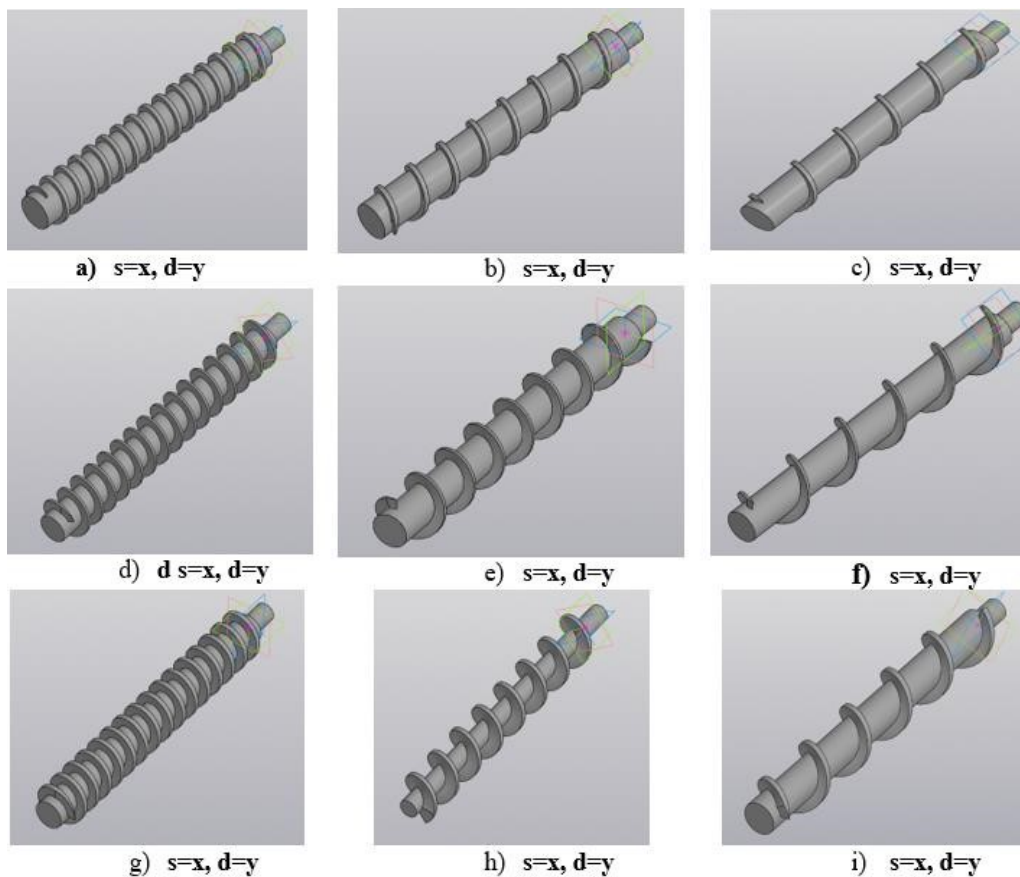


Рис. 3.2 – Типи експериментальних зразків шнеків з різними конструктивними параметрами для дозатора кормових добавок: D – зовнішній діаметр спіралі, $D=0,048\text{м}$ для всіх; d – внутрішній діаметр спіралі (діаметр валу), м; N – кількість витків; S – крок спіралі м.

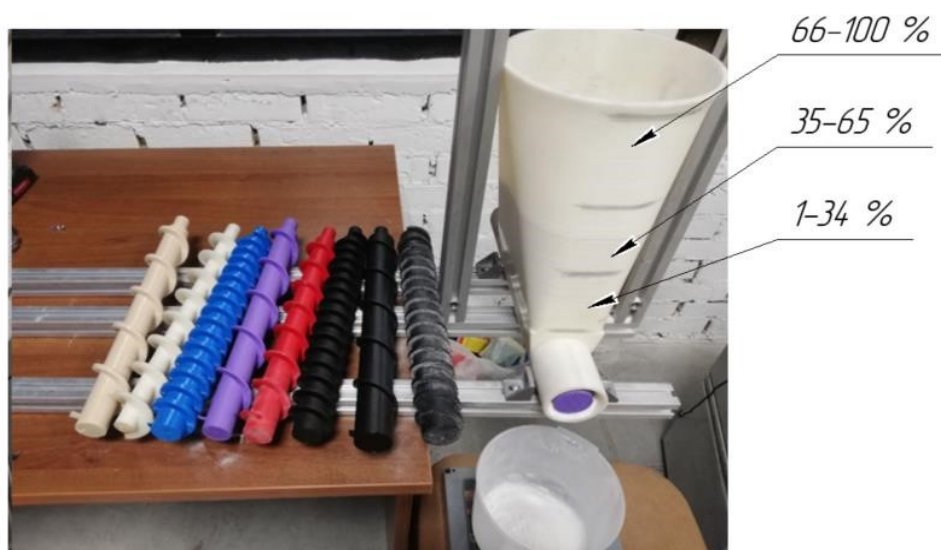


Рис. 3.3 – Фізична модель експериментальної установки

Збір експериментальних даних проводився з 5-ти кратною повторюваністю для кожного фактора та занесенням результату до таблиці з наступною обробкою.

3.3 Методика проведення дослідження з отримання кореляційно-спектральних залежностей від вологості кормової суміші

Ключовим індикатором поживності раціону є показник сухої речовини. У кормах природного походження, як правило рівень вологості високий і становить до 70 % і для того, щоб заповнити поживність раціону в корм вводяться різні комбікорми з високим вмістом сухої речовини і рівнем вологості до 14 %. Таким чином при змішуванні загальний показник сухої речовини в раціоні складає близько 50 %.

Сучасний рівень розвитку оптики та спектральних технологій дозволяє візуалізувати та досліджувати різні параметри фізичних об'єктів щодо змісту конкретні хімічних речовин, тому як основна перевага що дозволяє здійснювати інтелектуальне управління дозуванням кормових добавок, в розробці роботизованого пристрою, пропонується використання компактного флуоресцентного лазера, який дозволяє оцінювати кількість залишків кормової суміші при проїзді роботизованого пристрою по годівниці, а також вимірювати вологість/кількість сухої речовини в них.

Для забезпечення алгоритмічного зв'язку компактного флуорометра оцінюючого інтенсивність спектрів флуоресценції на годівниці та генерації управління впливу електроприводу дозатора необхідно провести оцінку спектрів флуоресценції компонентів кормової суміші на прикладі кукурудзяного силосу з використанням лазера, як інструменту збуджуючого флуоресценцію та спектрометра, що здійснює оцінку спектрів.

Попереднім етапом проведення експериментальних досліджень є підготовка проб експериментальних зразків компонентів кормової суміші, яка полягає в отриманні від 5 і більше зразків компонентів корму з рівним кроком показника вмісту сухої речовини, від максимально еталонного

значення (зразок, який взятий з сховища не піддавався сушінню), далі кожен зразок піддається сушінню з інтервалом в 10% до мінімально можливого значення.

Далі кожен відкалібрований компонент кормової суміші за вмістом сухої речовини необхідно помістити в алюмінієву посудину і опромінювати безперервним випромінюванням діодного лазера. При цьому розсіяне назад випромінювання необхідно збирати з використанням діахронічної лінзи та аналізувати в спектрометрі.

Зареєстровані спектри флуоресценції, збирати у числовому вигляді з використанням програмного забезпечення MS Excel.

Як джерело світла, що здійснює збудження флуоресценції використовували безперервний діодний лазер із хвилями 405 нм завдовжки та потужністю випромінювання до 150 мВт.

Фіксація отриманих спектрів флуоресценції здійснювалась із використанням дифракційного спектрометра на прикладі Ocean Optics STS-VIS, вхідне вікно 200 мкм, 1024 пікс, диф. решітка 600 шт /мм.

Для синхронізації управління лазера та спектрометра необхідно використовувати транзисторний ключ та мікроконтролер.

У процесі експерименту, ємність із зразком необхідно розміщувати під джерелом світла збуджуючого флуоресценцію на відстані 15 см, згідно з схемою представленою на рис. 3.4 і переміщати кювету із зразком, щоб усереднити спектр за площею досліджуваного зразка.

Конструкція компактного флуориметра представлена рис. 3.4. Вимірювання спектральних характеристик компонентів кормової суміші з використанням компактного флуориметра передбачає розміщення зразка силосу або кормової суміші в алюмінієву посудину. Далі зразок необхідно піддати опроміненню, використовуючи безперервний діодний лазер.

Прилад побудований на базі безперервного діодного лазера з довжиною хвилі 405 нм та потужністю випромінювання 150 мВт та дифракційного спектрометра (Ocean Optics STS-VIS, вхідна щіль 200 мкм,

1024 пікс, диф. решітка 600 шт /мм). Синхронізацію лазера і спектрометра та управління лазером через транзисторний ключ виконував мікроконтролер.

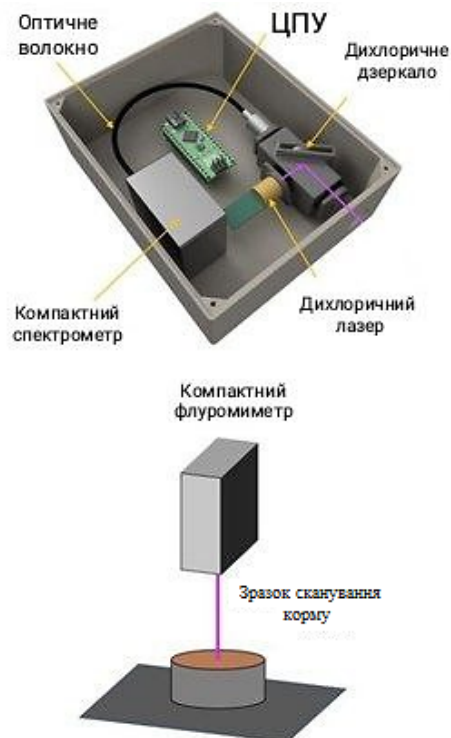


Рис. 3.4 – Пристрій компактного флуориметра зі схемою проведення вимірювань

У свою чергу розсіяне назад випромінювання необхідно зібрати за допомогою лінзи та проаналізувати використовуючи компактний спектрометр, причому зареєстровані спектри флуоресценції повинні послужити даними для побудови кореляційно-спектральних залежностей.

У ході експерименту посудину із зразком розміщували під флуориметром на відстані 15 см, згідно з рис. 3.4, у свою чергу при вимірах зразок переміщався площиною променя, щоб усереднити спектр по площі зразка.

Процес вимірювання припускав, калібрування кожного зразка використовуючи дегідрат, таким чином, що масив збираючих спектрів співвідносився з попередньо відкаліброваними показниками вмісту вологості /сухої речовини компонента кормової суміші.

Таблиця 3.2 – Калібрування компонентів кормової суміші з вологості

№	Маса зразка нетто, г	Від. вологість зразка, %	Примітка
0	110,5	67	Виміряний спектр (до сушіння)
1	99,7	64	Виміряний спектр (ітерація сушіння 1)
2	86,7	58	Виміряний спектр (ітерація сушіння 2)
3	76,9	53	Виміряний спектр (ітерація сушіння 3)
4	68,0	47	Виміряний спектр (ітерація сушіння 4)
5	59,1	39	Виміряний спектр (ітерація сушіння 5)
6	49,6	27	Виміряний спектр (ітерація сушіння 6)
7	43,9	18	Виміряний спектр (ітерація сушіння 7)

У вимірах враховувався фоновий спектр з експозицією 50 мс з вимкненим лазером, потім включали лазер та реєстрували спектр флуоресценції з тим же часом експозиції та віднімали спектр фону. Далі, цикл був повторений 100 разів для накопичення, і проведено 5 вимірювань для кожного значення вологості зразка для визначення розкиду.

Далі використовуючи інструменти математичної статистики здійснюється побудова залежностей двох вибраних метрик від вологості зразка корму. Для дистанційного вимірювання вологості/сухої речовини силосу за спектрами флуоресценції необхідно математичний опис цих залежностей.

Для цього залежності метрик від вологості були апроксимовані декількома різними функціями, та за допомогою інформаційного критерію Акаїке були обрані функції, що забезпечують найкращу апроксимацію.

Для метрики Integral 1 це спадна експонента $y_1 = A_1 \exp(-B_1 x) + C_1$, для метрики Integral 2 – поліном 2-го ступеня $y_2 = A_2 x^2 + B_2 x + C_2$.

3.4 Експериментальний зразок роботизованого пристрою для внесення кормових добавок під час обслуговування годівниць

У якості системи автоматичного позиціонування робота було прийнято рішення використовувати систему двох камер, що розміщуються на фокусній відстані один відносно одного та плату Nvidia Jetson, що забезпечує обробку

зображення та генерацію керуючих сигналів для драйверів електроприводу ведучих коліс (рис. 3.5).

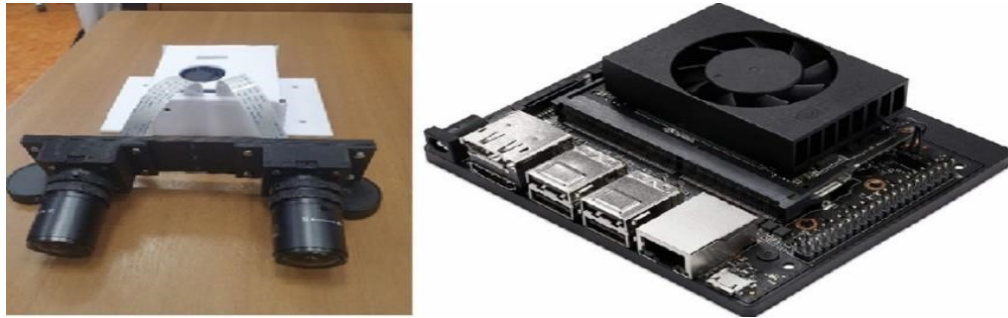


Рис. 3.5 – Система технічного зору для автоматичного позиціонування роботизованого пристрою

Згідно розробленої 3-D моделі та конструкторської документації розроблено та виготовлено в натуральну величину роботизований пристрій для внесення кормових добавок під час обслуговування годівниць на фермах (рис. 3.6).



Рис. 3.6 – Експериментальний зразок роботизованого пристрою для внесення кормових добавок під час обслуговування годівниць на фермах

В якості електроприводу ведучих коліс у розробленому експериментальному зразку використовується кроковий двигун. Вал крокового двигуна обертається дискретними переміщеннями. Досягається це за рахунок хитрої форми ротора та двох/чотирьох обмоток. В результаті чого, шляхом чергування напрямку напруги в обмотках можна добитися того, що ротор буде по черзі займати фіксовані значення (становище вихідного валу).

РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Результати обробки експериментальних даних щодо оптимізації конструктивних параметрів дозатора

Згідно з планом побудови експерименту, у якості змінних величин прийнято показники d – діаметр валу, s – крок спіралі та рівень заповненості бункера r , які можуть впливати на насипну густину матеріалу та точність подальшого дозування.

На основі дослідних даних були отримані рівняння регресії, що характеризують процес дозування, а також вплив конструктивних параметрів шнека дозатора на її похибку, наочність результатів оптимізаційного експерименту демонструють поверхні відгуку (рис. 4.1-4.3) побудовані на основі рівнянь регресії та із використанням програмного пакету MATLAB Optimization Toolbox.

Кожне рівняння та поверхня відгуку відповідають рівню наповнення бункера, при якому були отримані дані.

Рівняння регресії, яке характеризує похибку дозування на основі конструктивних параметрів при наповненості бункера в діапазоні від 1 до 33% описується залежністю 4.1:

$$\delta Q_1 = 0.061d^2 + 0.03ds + 0.006s^2 - 4.18d - 1.12s + 72.9 \quad (4.1)$$

Поверхня відгуку характеризує оптимальні конструктивні параметри шнека дозатора, які забезпечують мінімальну похибку при дозуванні з бункера з наповненням від 1 до 33% представлена на рис. 4.1.

Далі були оброблені статистичні показники експериментального дозування сипучих кормів при заповненні бункера в діапазоні від 34 до 65%, а також отримано рівняння регресії яке описує вибір оптимальних конструктивних параметрів при мінімальній похибці:

$$\delta Q_2 = 0.043d^2 + 0.023ds + 0.006s^2 - 2.97d - 0.93s + 52.81 \quad (4.2)$$

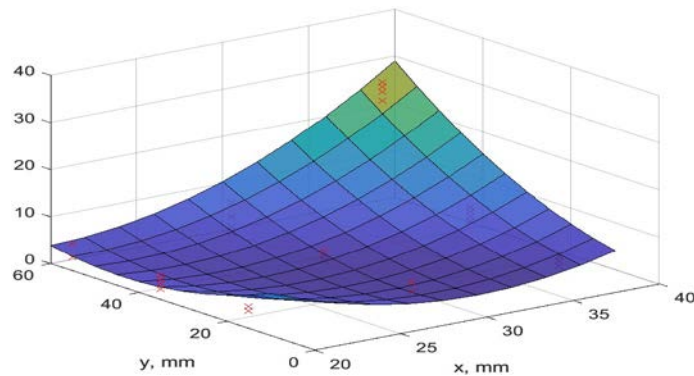


Рис. 4.1 – Поверхня відгуку, яка характеризує оптимальні конструктивні параметри шнека при наповненні бункера від 1 до 33 %

Використовуючи отримане рівняння регресії, була побудована поверхня відгуку, яка характеризує оптимальні конструктивні параметри шнека дозатора для забезпечення мінімальної похибки при дозуванні з наповненням бункера від 34 до 65% (рис. 4.2).

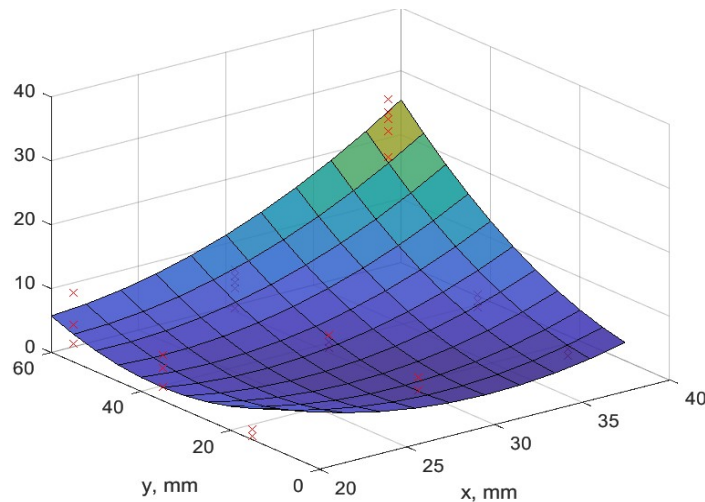


Рис. 4.2 – Поверхня відгуку, яка характеризує оптимальні конструктивні параметри шнека при наповненні бункера від 34 до 65%

Далі були оброблені статистичні показники експериментального дозування сипучих кормів при заповненні бункера в діапазоні від 66 до 100%, а також отримано рівняння регресії, що описує вибір оптимальних конструктивних параметрів при мінімальній похибці:

$$\delta Q_3 = 0.05d^2 + 0.017ds + 0.008s^2 - 3.14d - 0.89s + 53.54 \quad (4.3)$$

Використовуючи отримане рівняння регресії, була побудована поверхня відгуку, що характеризує оптимальні конструктивні параметри шнека дозатора, які забезпечують мінімальну похибку при дозуванні з бункера з наповненням від 66 до 100% (рис. 4.3).

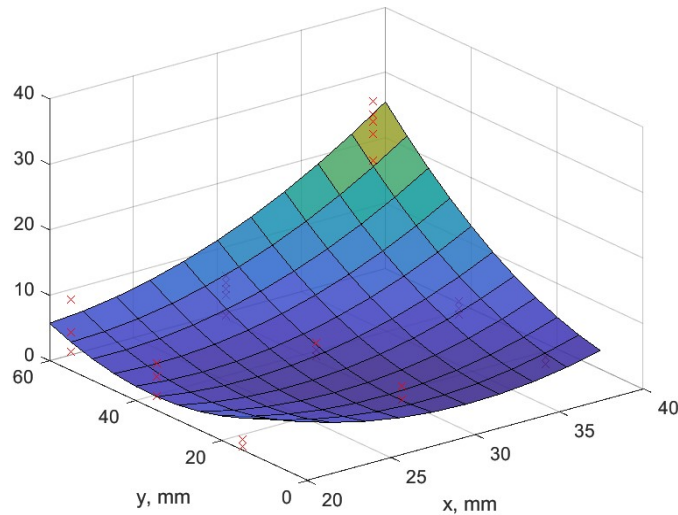


Рис. 4.3 – Поверхня відгуку, що характеризує оптимальні конструктивні параметри шнека при наповненні бункера від 66 до 100%

Подальшим кроком був аналіз поверхонь відгуку на положення мінімуму в області допустимих значень для параметрів діаметра валу d , мм та кроку спіралі s , мм. Результати представлені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Оптимальні конструктивні параметри шнека дозатора виявлені за допомогою аналізу поверхонь відгуку

Рівень,% Параметр	Рівень заповнення 1-33 %	Рівень заповнення 34-65 %	Рівень заповнення 66-100 %
d , мм	29,85	30,1	26,99
s , мм	18,81	17,48	26,67

Для того, щоб переконатися у ступені впливу 3-го фактору (рівень заповнення бункера), була використана функція побудови трьох поверхонь відгуку в одній системі координат (рис. 4.4), кожна з яких характеризує

похибку дозування при заповненні бункера в діапазоні від 1% до 33%, від 34% до 65%, від 66% до 100%.

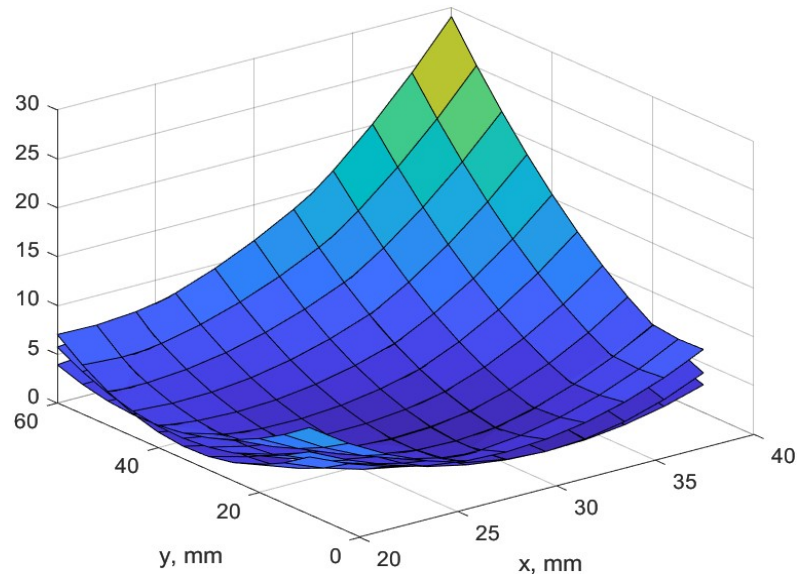


Рис. 4.4 – Три поверхні відгуку побудованих в одній системі координат

Виходячи з цього було виявлено, що найменше відхилення від теоретичних значень отримано для рівнів заповнення від 1 до 33%, а також від 34 до 65%, проте при цьому середня похибка не перевищує 2%, що говорить про низький вплив третього фактора.

4.2 Результати дослідження спектральних характеристик компонентів кормової суміші

Відповідно до явища поглинання світла, інтенсивність протохлорофіліда (центр смуги 630 нм) зростає сильніше, ніж інтенсивність смуги хлорофілу – «а» (центр смуги 680 нм), що свідчить про зміну властивостей хромофорів при зниженні концентрації молекул води у зразку корму та дозволяє використовувати явище флуоресценції, яке збуджується пучком світла діодного лазера, як інструмент детектування кількості сухої речовини в компонентах кормової суміші.

Для живих рослин інтенсивність індукованої лазером флуоресценції мала, оскільки пігмент-білкові антени ефективно поглинають

випромінювання, після заготівлі та дозрівання силосу починаються процеси руйнування хлоропластів які посилюються при зменшенні вологості.

Під час проведення експериментального дослідження кожен зразок досліджуваного компонента кормової суміші був відкалібрований за вологістю використовуючи дегідратор, (рис. 4.5)



Рис. 4.5 – Зразки компонентів кормової суміші, які пройшли пробо- підготовку

Для вимірювання сухої речовини силосу за спектрами флуоресценції необхідно ввести метрику, що кількісно описує зміни спектру при зміні вологості зразка.

Для оцінки змін спектрів та вибору метрики були побудовані різні спектри (спектри зразків впродовж сушіння, з яких виокремлений спектр зразка до сушіння) (рис. 4.6).

Набір отриманих кривих, які характеризують кореляційно-спектральну залежність властивостей кукурудзяного силосу, оцінювався за допомогою

вимірювання площі кожної кривої у трьох діапазонах вимірювання (А) (В) (С), як представлено на рис. 4.7.

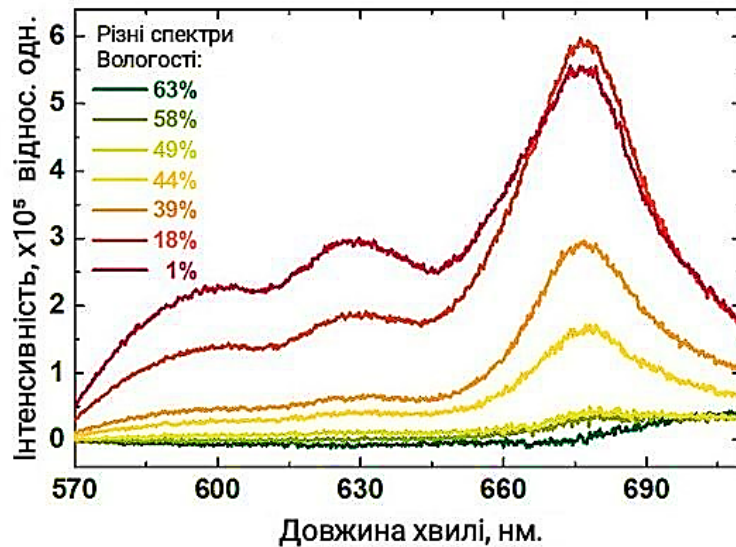


Рис. 4.6 – Спектри флуоресценції кукурудзяного силосу з урахуванням рівня вологості

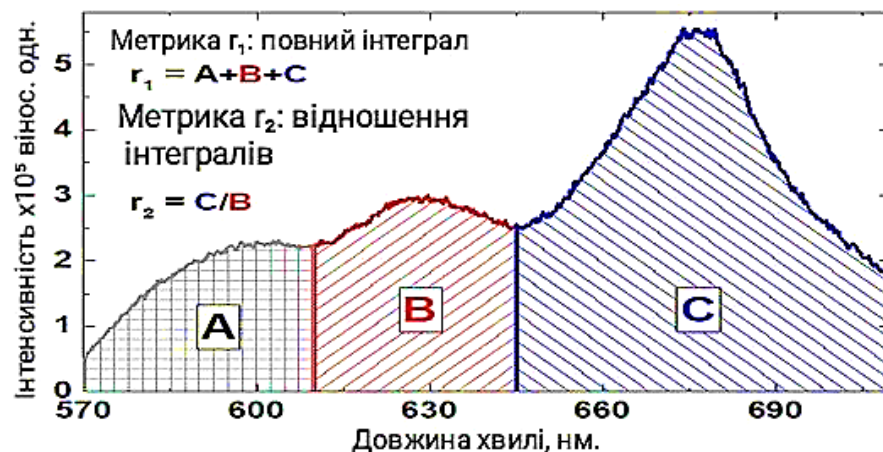


Рис. 4.7 – Методика обробки кореляційно-спектральних залежностей

Як видно з рис. 4.7, при сушінні зразка силосу зростає загальна інтенсивність спектру, швидко зростає амплітуда смуги в області 650-710 нм, а також проявляються смуги в областях 570-610 нм та 610-650 нм.

Були обрані дві метрики спектра для визначення вологості: загальний інтеграл спектра області 570-710 нм (метрика r_1 на рис. 4.7, сума інтегралів А, В, С) та відношення інтегралів смуг в областях 650-710 нм (хлорофіл – «а») та 610-650 нм (протохлорофіліду) (метрика r_2 на, відношення інтегралів С/В).

Для забезпечення скринінгу годівниць було зроблене градування отриманих кореляційно-спектральних залежностей, шляхом побудови залежностей вибраних метрик від вологості зразків силосу.

Залежність обох метрик від вологості силосу різноспрямовані, але обидві залежності можуть бути апроксимовані лінійними функціями (коефіцієнт кореляції $R^2 = 0.909$ і $R^2 = 0.966$ для метрик r_1 і r_2 відповідно). Точність вимірювання вологості з використанням метрик r_1 та r_2 визначили як ширину довірчого інтервалу апроксимації метрики, яка склала до $\pm 2.1\%$ і $\pm 1.6\%$ відповідно для метрик r_1 і r_2 .

Отримані кореляційно-спектральні залежності, які характеризують поживну цінність компонентів кормової суміші, зокрема показник вмісту сухої речовини, дозволяють використовувати компактний флуоресцентний лідар, як інструмент алгоритмічного зв'язку керованого дозування концентрованих компонентів на годівниці використовуючи роботизовані пристрої.

Максимально виявлена похибка визначення вмісту сухої речовини становила 4.6 %.

4.3 Результати виробничої перевірки роботизованого пристрою для внесення кормових добавок

Згідно проведених теоретичних та експериментальних досліджень, алгоритмічний зв'язок режимів роботи дозатора та отриманих спектральних характеристик про кількість залишків корму на годівниці та їх поживної цінності буде збудований в центральній платі управління, що поєднана з компактним флуориметром, який складається з лазера з діодною накачкою і спектрометра, таким чином, що спектральні характеристики оцінки годівниць, служать даними для прийняття рішень та відправки керуючих сигналів із центральної плати на драйвер електродвигуна встановленого у дозаторі.

На етапі розробки експериментального зразка було прийнято рішення виготовити деякі елементи для внесення кормових добавок під час обслуговування кормушок на фермах з використанням технології 3-D друку.

Розроблена система керування роботом дозволяє відстежити динаміку роботи двигуна та характер керуючого впливу.

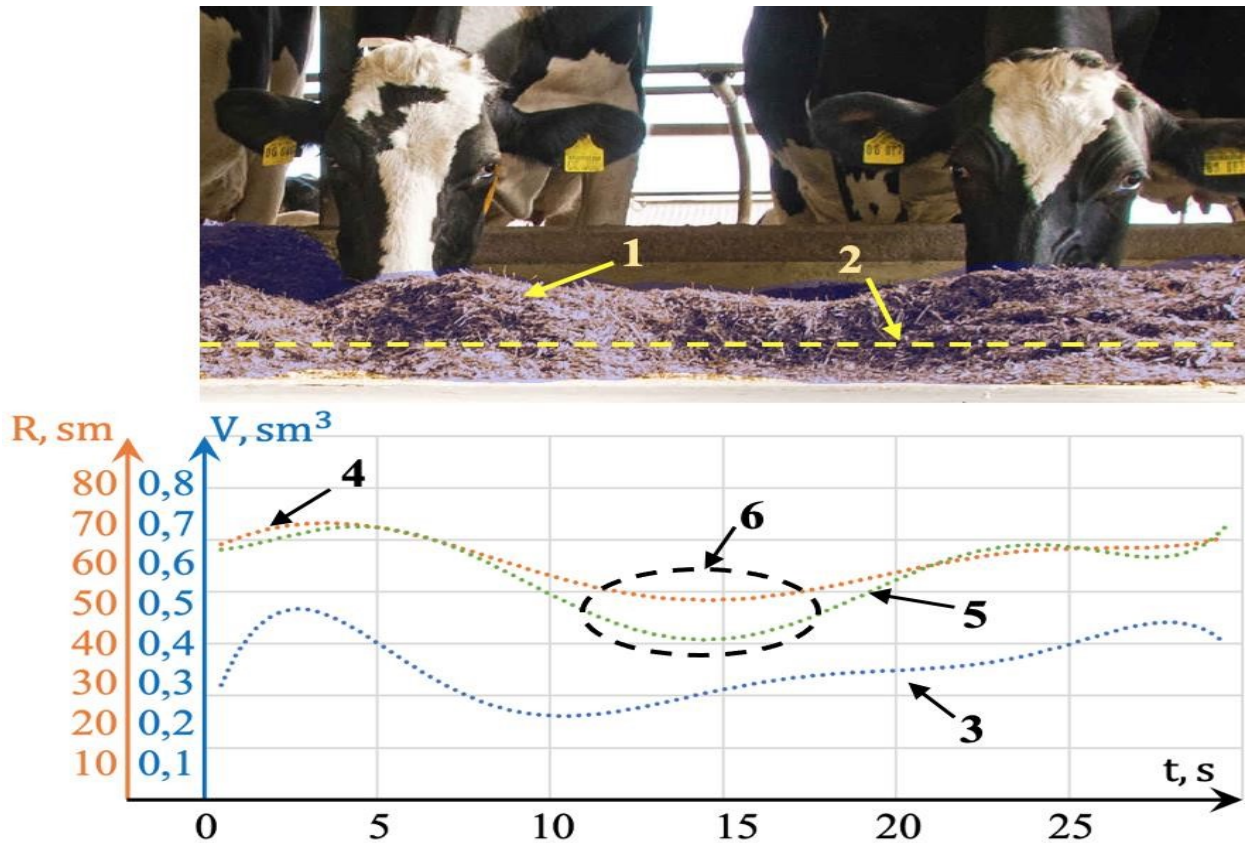


Рис. 4.8 – Характер відхилення траєкторії руху роботизованого пристрою по годівниці щодо заданої траєкторії: 1,2 – крайні границі розкиду корму на годівниці, 3 – траєкторія, що відображає розкид корму, 4 – задана траєкторія (визначається алгоритмом бінарного зору), 5 – відпрацьована траєкторія, 6-робот

Виробнича перевірка полягала у проведенні експерименту щодо визначення ефективності взаємодії автоматичної системи позиціонування та виконавчих механізмів електроприводу ведучих коліс таким чином, що плата управління відображала заплановану траєкторію переміщення робота та реально відпрацьовану. У свою чергу завданням виробничої перевірки було,

виявлення максимального значення неузгодженості заданої траєкторії та реально відпрацьованої.

На рис. 4.8 представлені графічні залежності при автономному русі роботизованого пристрою для внесення кормових добавок, при виробничій перевірці.

Максимальне значення неузгодженості траєкторії переміщення роботизованого пристрою для внесення кормових добавок при обслуговуванні годівниць, склало 10 см, що говорить про ефективне автономне переміщення, з допустимими межами похибки.

Виявлена похибка позиціонування задовольняє вимоги використання колісних роботизованих технічних засобів на фермах.

ВИСНОВОК

1. Порівняльний аналіз машинних технологій для годування великої рогатої худоби показав, що при використанні традиційних змішувачів-кормороздавачів похибка дозування концентрованих кормових добавок може досягати 10%, викликаючи дисбаланс макроелементів в організмі тварини. При цьому обслуговування годівниць доцільно виконувати з використанням роботизованого пристрою, оснащеного автоматичним дозатором.

2. Розроблено математичну модель управління роботизованим пристроєм для внесення кормових добавок при обслуговуванні годівниць, що враховує кінематичні та динамічні параметри роботи, дослідження якої показало, що критичне значення похибки між заданою траєкторією переміщення пристрою та фактичною не має перевищувати 0,1 м.

3. Розроблено конструкцію роботизованого пристрою для внесення кормових добавок при обслуговуванні годівниць на фермах, що дозволяє здійснювати підштовхування кормової суміші до огорожі годівниць, дозувати та змішувати кормові добавки з урахуванням раціону різних технологічних груп тварин. При цьому значущими параметрами пристрою є діаметр шнека дозатора, крок спіралі шнека дозатора та ширина захвату робочої частини.

4. В результаті проведення експериментальних досліджень, виявлено, що рівень наповнення бункера не має суттєвого впливу на насипну густину дозованих кормових добавок, причому мінімальне значення похибки дозування досягається, коли діаметр шнека дозатора $d=30,1$ мм крок спіралі шнека дозатора $s=17,48$ мм.

5. Встановлено, що роботизований пристрій для внесення кормових добавок при обслуговуванні годівниць здійснює автономне переміщення характеризується похибкою автоматичного позиціонування не більше 0,09 м, що задовольняє вимоги використання колісних роботизованих технічних засобів на виробництві. При цьому найбільш ефективна безконтактна оцінка рівня вологості кормів на кормушці досягається шляхом аналізу характеристики спектра розсіяного випромінювання в діапазоні від 570 до 720 нм.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Aliev E.B., Bandura V.M., Pryshliak V.M., Yaropud V. M., Trukhanska O.O.. Modeling of mechanical and technological processes of the agricultural industry. *INMATEH - Agricultural Engineering*. 2018. Vol. 54, 1. P. 95–104.
2. Andersson J., Krus P., Wallace D. Multi-objective optimization of hydraulic actuation systems. *Proceedings of the 2017 ASME Design Automation Conference (DETC'17)*.
3. Bandura V., Bezbah I., Kupchuk I., Fialkovska L. Innovative methods of drying rapeseeds using microwave energy. *Polityka Energetyczna – Energy Policy Journal*. 2023. Vol. 26, Iss. 2. P. 217–230
4. Borysiuk D., Spirin A., Kupchuk I., Tverdokhlib I., Zelinskyi V., Smyrnov Ye., Ognevyy V. The methodology of determining the place of installation of accelerometers during vibrodiagnostic of controlled axes of wheeled tractors. *Przegląd Elektrotechniczny*. 2021. Vol. 97, № 10. P. 44-48.
5. Chen L. Q. Analysis and control of transverse vibrations of axially moving strings. *Appl. Mech. Rev.* 2005. Vol. 58, № 2. P. 91–116.
6. Chen L.Q., Zu J.W., Wu J. Transverse vibrations of an axially accelerating viscoelastic string with geometric nonlinearity. *Journal of Engineering Mathematics*. 2004. № 48. P. 171–182.
7. Chudak R.A., Poberezhets Y.M., Vozniuk O.I., Dobronetska V.O. *Echinacea pallida* extract effect on quils meat quality. *Ukrainian journal of ecology*. 2019. Vol. 9, № 2. P. 151-155.
8. Extrusion-Cooking Techniques: Applications, Theory and Sustainability: [edited by Leszek Moscicki]. Weinheim: WILEY-VCH, 2011. 234 p.
9. Fellows P.J. Food Processing Technology.Principles and Practice. Cambridge: CR’C, Woodhead Publishing, 2002. 575 p.
10. Food Science and Technologi: [edited by Geoffrey Campbell - Platt]. Singapore: John Wiley & Sons, Ltd., 2009. 520 p.

11. Frolov V.Yu., Sysoev D.P., Tumanova M.I. Improvement of the livestock production efficiency. *British Journal of Innovation in Science and Technology*. 2016. № 1. P. 25-34.

12. Honcharuk I., Kupchuk I. Study of mechanical-rheological parameters of feed grain during to the impact-cutting loading. In: *Theoretical and practical aspects of the development of modern scientific research: scientific monograph*. Part 2. Riga, Latvia: Baltija Publishing, 2022. P. 1-28. DOI: 10.30525/978-9934-26-195-4-15

13. Honcharuk I., Kupchuk I., Yaropud V., Kravets R., Burlaka S., Hraniak V., Poberezhets Ju., Rutkevych V. Mathematical modeling and creation of algorithms for analyzing the ranges of the amplitude-frequency response of a vibrating rotary crusher in the software Mathcad. *Przegląd Elektrotechniczny*. 2022. Vol. 98, № 9. P. 14-20

14. Ibatullin I.I., Omelian A.M., Sychov M.Yu. Impact of different levels of arginine on zootechnical indices and slaughter characteristics of young Quails. *Ukrainian journal of ecology*. 2017. № 7 (1). P. 37-45.

15. Klemens K., Lindsay J. Co-Rotating Twin Screw Extruders. Hanser Gardner, 2007. 362 p.

16. Kobets A. S., Naumenko M. M., Ponomarenko N. O., Kharytonov M. M., Velychko O. P., Yaropud V. M. Design substantiation of the three-tier centrifugal type mineral fertilizers spreader. *INMATEH - Agricultural Engineering*. 2017. Vol. 53, № 3. P. 13–20.

17. Kotov B., Stepanenko S., Tsurkan O., Hryshchenko V., Pantsyr Y., Garasymchuk I., Spirin A., Kupchuk I. Fractioning of grain materials in the vertical ring air channel during electric field imposition. *Przegląd Elektrotechniczny*. 2023. Vol. 99, № 1. P. 100-104

18. Kupchuk I., Telekalo N. Substantiation of the constructive and mode parameters of vibratory disc crusher for the farm animals compound feeds production. In: *Development of scientific, technological and innovation space in Ukraine and EU countries: collective monograph*. Riga, Latvia: “Baltija

Publishing”, 2021. P. 166-194. DOI: 10.30525/978-9934-26-151-0-38.

19. Kupchuk I., Voznyak O., Burlaka S., Polievoda Y., Vovk V., Telekalo N., Hontaruk Y. Information transfer with adaptation to the parameters of the communication channel. *Przegląd elektrotechniczny*. 2023. Vol. 99, № 3. P. 194-199

20. Kupchuk I., Yaropud V., Hraniak V., Poberezhets Ju., Tokarchuk O., Hontar V., Didyk A. Multicriteria compromise optimization of feed grain grinding process. *Przegląd Elektrotechniczny*. 2021. Vol. 97, №11. P. 179-183.

21. Poberezhets J., Kupchuk I. Effectiveness of the use of probiotics in the diet of broiler chickens. *Roczniki Naukowe Polskiego Towarzystwa Zootechnicznego*. 2021. Vol. 17 (4). P. 9-16. DOI: 10.5604/01.3001.0015.6857

22. Poberezhets J., Kupchuk I., Yaropud V., Burlaka S. Digestibility of nutrients and broiler chicken productivity under the action of probiotic entero-active. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки*. 2021. № 4 (299). С. 182-186. DOI 10.31891/2307-5732-2021-299-4-182-187

23. Poberezhets Ju., Chudak R., Kupchuk, I., Yaropud V., Rutkevych V. Effect of probiotic supplement on nutrient digestibility and production traits on broiler chicken. *Agraarteadus*. 2021. Vol. 32, №2. P.296-302. DOI: 10.15159/jas.21.28

24. Polievoda Y., Kupchuk I., Hontaruk Y., Furman I., Mytko M. Method for determining homogeneity of fine dispersed mixtures based on the software analysis of photo cross-cut of the sample. *Przegląd elektrotechniczny*. 2022. Vol. 98, № 11. P. 109–113

25. Rutkevych V., Kupchuk I., Yaropud V., Hraniak V., Burlaka S. Numerical simulation of the liquid distribution problem by an adaptive flow distributor. *Przegląd Elektrotechniczny*. 2022. Vol. 98, № 2. P. 64-69.

26. Solona O., Derevenko I., Kupchuk I. Determination of plasticity for pre-deformed billet. *Solid State Phenomena*. 2019. 291, P. 110-120.

27. Solona O., Kupchuk I. Development of a functional model of a

vibrating mill with adaptive control system of mode parameters. In: *Modernization of research area: national prospects and European practices: scientific monograph*. Riga, Latvia: Baltija Publishing, 2022. P. 302-328. DOI: 10.30525/978-9934-26-221-0-12

28. Tsurkan O., Kupchuk I., Polievoda Y., Wozniak O., Hontaruk Y., Prysiazhniuk Y. Digital processing of one-dimensional signals based on the median filtering algorithm. *Przegląd Elektrotechniczny*. 2022. Vol. 98, № 11. P. 51-56

29. Братішко В.В. Аналіз продуктивності гвинтового гранулятора кормів зі змінними геометричними параметрами гвинта за його довжиною. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2013. № 43, ч. II. С. 43-49.

30. Братішко В.В. Науково-технічні основи приготування комбікормів гвинтовими грануляторами: монографія. *Тернопіль: Видавництво «Крок»*, 2017. 234 с.

31. Булгаков В.М., Адамчук В.В., Черниш О.М., Березовий М.Г., Калетнік Г.М., Яременко В.В. Прикладна механіка: Навчальний посібник. *Київ : Аграр. наука*, 2016. 816 с.

32. Войтюк Д. Г., Булгаков В. М., Кропивко С. В., Онищенко В. Б. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: підруч. для студ. вузів. *Київ : Друк*, 2005. 464 с.

33. Гевко Б.М., Гевко І.Б., Радик Д.Л. Технологія сільськогосподарського машинобудування: навч. посіб. К. : Кондор, 2006. 496 с.

34. Гевко І.Б. Гвинтові транспортно-технологічні механізми: розрахунок і конструювання. *Тернопіль: ТДТУ імені Івана Пулюя*. 2008. 307 с.

35. Гевко Р.Б., Гладич Б.Б., Павх І.І., Соломка Т.П. Техніко-економічне обґрунтування застосування машин, обладнання і технологій. *Тернопіль: Видавничий відділ ТДПУ*, 2002. 164 с.

36. Грицун А.В., Бабин І.А., Грицун О.А. Деякі результати досліджень

мобільного подрібнювача-роздавача стеблових кормів. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2015. №3, 92. С. 17-20.

37. Грицун А.В., Яропуд В.М., Слонівський І.А. Пат. на корисну модель 114578 Україна, МПК (2017.01) A23N 17/00. Навантажувач-роздавач кормів; заявник і власник патенту Вінницький національний аграрний університет; №u201609904; заявл. 26.09.2016; опубл. 10.03.2017, Бюл. №5

38. Дмитренко В.П., Гевко Б.М., Третьяков О.Л. Конструктивно-технологічна характеристика гвинтових деталей у машинобудуванні. *Збірник наукових праць ВНАУ. Серія: Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2016. № 2 (94). С. 46-51.

39. Дячун А.Є., Дмитренко В.Д., Клендій В.М., Навроцька Т.Д., Катрич О.П. Технологічні передумови розрахунку гвинтового розходоміра. *Збірник наукових праць. Перспективні технології та прилади*. 2014. №. 5. С. 51-57.

40. Єдина система конструкторської документації. Експлуатаційні документи : ДСТУ ГОСТ 2.601:2006. – [Чинний від 2007-01-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2007. – 144 с. – (Національний стандарт України).

41. Журенко Ю.І., Яропуд В.М., Лободюк В.М. Пат. на корисну модель 114575 Україна, МПК (2017.01)A01F 29/00. Подрібнювач грубих кормів; заявник і власник патенту Вінницький національний аграрний університет; №u201609888; заявл. 26.09.2016; опубл. 10.03.2017, Бюл. №5

42. Калетнік Г.М., Кулик М.Ф., Глушко Я.Т. Енергоощадні технології кормів – основа конкурентоздатності тваринництва: монографія. *Вінниця: Теза*, 2006. 340 с.

43. Клендій В.М., Скиба О.П., Дмитренко В.П. Обґрунтування конструкцій гвинтових робочих органів екструдерів. *Перспективні технології та прилади» збірник наукових праць*. 2016. №8, 1. С. 22-28.

44. Ковбаса В. П., Алі Ахмед Кадем, Калініченко Д. Ю. Визначення модуля пружності та коефіцієнта в'язкості ґрунту шляхом дослідження його

коливань. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2016. № 1. С. 36-41.

45. Ковбаса В. П., Швайко В. М., Гуцол О. П. Механіка сільськогосподарських матеріалів та середовищ: навч. посібник. *Ніжин: Видавець ПП Лисенко М. М.*, 2015. 536 с.

46. Ковбаса В. П., Ярошенко В. В. Розподіл напружень у сипкому середовищі обмеженому стінками споруди силосного типу. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2010. № 40, 1. С. 314-324.

47. Ковбаса В. П., Ярошенко В. В. Про критерій міцності та співвідношення між компонентами напружень сипкого середовища. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2010. № 40(1). С. 35-39.

48. Ковбаса В.П., Курка В.П., Алі Ахмед Кадем Про подолання труднощів при вирішенні контактних задач пружності. *Сільськогосподарські машини*. 2015. № 32. С.79-86.

49. Кондратюк Д.Г., Дмитренко В.П. Комплексні експериментальні дослідження виготовлення кормової суміші для тваринництва. *Збірник наукових праць ЛНТУ. Перспективні технології та прилади*. 2016. № 9, 2. С. 237-244.

50. Кондратюк Д.Г., Дмитренко В.П., В.М. Волошиненко Математична модель динаміки: середовище – пружний шнек екструдера. *Збірник наукових праць ВНАУ. Серія: Технічні науки*. 2016. № 1 (93). С. 43-47.

51. Купчук І.М. Компромісна оптимізація режимних параметрів процесу подрібнення зернової сировини при виробництві етилового спирту. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2017. №4. С. 91-100.

52. Купчук І.М. Перспективи розвитку конструктивних схем вібраційних приводів транспортних і технологічних машин АПК. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2018. №3. С. 44-52.

53. Купчук І.М., Дідик А.М. Експериментальна оцінка якості подрібнення зернових кормів залежно від конструкційних параметрів та

режимів експлуатації вібраційної дискової дробарки. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2022. № 2 (105). С.33-44. DOI: 10.37128/2306-8744-2022-2-4

54. Ляшук О.Л., Клендій В.М., Третьяков О.Л., Дмитренко В.П., Обґрунтування конструкції гвинтового робочого органу екструдера. *Збірник наукових праць ЛНТУ. Перспективні технології та прилади*. 2017. № 3, 2. С. 29-37.

55. Мазур В.А., Гончарук І.В., Дідур І.М., Панцирева Г.В., Телекало Н.В., Купчук І.М. Інноваційні аспекти технологій вирощування, зберігання і переробки зернобобових культур: монографія. Вінниця: НІЛАН-ЛТД, 2021. 186 с

56. Малаков О.І., Бурлака С.А., Михальова Ю.О. Математичне моделювання та основи конструювання вібраційних змішувачів. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки*. 2019. № 5 (277). С. 30-33.

57. Малаков О.І., Бурлака С.А., Ярошук Р.О. Моделювання живильно-подрібнювального апарата кормозбирального комбайна КСК-600. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2019. № 2(105). С. 18-24.

58. Паламарчук І.П., Янович В.П., Купчук І.М. Дослідження фізико-механічних властивостей зернової крохмаловмісної сировини як об'єкта технологічної дії спиртового виробництва. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2016. № 3(95). С.126-129.

59. Побережець Ю.М., Яропуд В. М., Купчук І.М. Яєчна продуктивність та гематологічні показники курок-несучок під впливом пробіотичної добавки. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2021. № 3. С.127-134. DOI: 10.31210/visnyk2021.03.15

60. Пришляк В.М., Яропуд В.М. Пат. на корисну модель 126076 Україна, МПК (2016.01) А01К 5/02. Мобільний кормороздавач; заявник і власник патенту Вінницький національний аграрний університет; №и 201711095; заявл. 13.11.2017; опубл. 11.06.2018, Бюл. №11

61. Пришляк В.М., Яропуд В.М., Волинець О.О., Базулько В.М. Пат.

на корисну модель 114571 Україна, МПК (2017.01) A23N 17/00. Мобільний навантажувач-роздавач кормів; заявник і власник патенту Вінницький національний аграрний університет; №u201609864; заявл. 26.09.2016; опубл. 10.03.2017, Бюл. №5

62. Пришляк В.М., Яропуд В.М., Іщук В.О. Пат. на корисну модель 114568 Україна, МПК (2017.01) A23N 17/00. Навантажувач-роздавач кормів; заявник і власник патенту Вінницький національний аграрний університет; №u201609848; заявл. 26.09.2016; опубл. 10.03.2017, Бюл. №5

63. Сивак Р.І., Деревенько І.А. Короткий курс теоретичної механіки. *Вінниця: ТОВ Вінницька міська друкарня, 2016. 200 с.*

64. Солона О. В., Купчук І.М. Теорія механізмів і машин. Курсове проектування : Навчальний посібник. *Вінниця : ВНАУ, 2019. 249 с.*

65. Солона О.В. Статика взаємодії абсолютно твердих тіл із сипучим середовищем. *Вібрації в техніці та технологіях. 2018. № 3. С. 105-116.*

66. Солона О.В., Купчук І.М. Практикум з Теорії механізмів і машин : навчальний посібник. *Вінниця : Друк, 2020. 250 с.*

67. Turych V., Veselovska N., Rutkevych V., Shargorodsky S. Investigation of the process of thread extrusion using the ultrasound. *Eastern-European Journal of Enterprise technologies. 2017. Vol. 6 (1). P. 60–68.*

68. Чудак Р. А., Побережець Ю. М., Купчук І. М., Вугляр В.С. Використання кормових добавок і комбікормів нового покоління у годівлі свиней та птиці: монографія. *Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2022. 248 с.*

69. Чудак Р. А., Побережець Ю. М., Купчук І. М., Вугляр В.С. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір. Монографія «Використання кормових добавок і комбікормів нового покоління у годівлі свиней та птиці». Свідоцтво № 113768 від 13.07.2022; заяв. № с202202597 від 23.06.2022.

70. Чудак Р.А., Побережець Ю. М., Лютка Г. І., Купчук І. М. Сучасні кормові добавки у годівлі птиці: монографія. *Вінниця: ТОВ «ТВОРИ», 2021. 281 с*

71. Чудак Р.А., Побережець Ю.М., Шпаковська (Льотка) Г.І., Купчук І. М. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір. Монографія «Сучасні кормові добавки у годівлі птиці». Свідоцтво № 113764 від 13.07.2022; заяв. № с202202596 від 23.06.2022.

72. Швець Л.В., Яропуд В.М. Пат. на корисну модель 107447 Україна, МПК (2016.01) А01К 5/00. Мобільний змішувач-кормороздавач для свиноферм.; заявник і власник патенту В.М. Яропуд; №u201511241; заявл. 16.11.2015; опубл. 10.06.2016, Бюл. №11

73. Янович В.П., Купчук І.М., Мельник Ю.І. Пат. на корисну модель 103863 Україна (UA), МПК В02В 3/00, В02С 9/00. Спосіб обробки зерно-круп'яної сировини.; заявник і патентовласник Янович В.П. Заявл. 04.03.2015; опубл. 12.01.2016, Бюл. № 1

74. Янович В.П., Полевода Ю.А, Купчук І.М., Михайловська М.А. Розробка фотоаналітичного методу експрес-оцінки вихідної однорідності сипких матеріалів. *Збірник наукових праць ВНАУ. Серія: Технічні науки.* 2014. №1 (84). С. 182-186.