

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ГЕОДЕЗІЇ, ЗЕМЛЕУСТРОЮ ТА АГРОІНЖЕНЕРІЇ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
д.т.н., професор

_____ Костянтин ДЯДЮРА

« ____ » _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «першого (бакалаврського) рівня»
освітньої програми «Агроінженерія»
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

АВТОМАТИЗОВАНИЙ ДОЗАТОР КОМБІКОРМУ ДЛЯ ГОДІВЛІ ВРХ З ІДЕНТИФІКАЦІЄЮ ТВАРИН

Науковий керівник: професор, д.т.н.
_____ Костянтин ДЯДЮРА

Рецензент: головний інженер, к.т.н.
_____ Віктор ДРОЗД

Виконав здобувач першого (бакалаврського) рівня
вищої освіти заочної форми навчання освітньо-
професійної програми «Агроінженерія»
спеціальності 208 «Агроінженерія»
Олександр ОЛІЙНИК

*Засвідчую, що кваліфікаційна робота містить
результати власних досліджень. Використання
ідей і текстів інших авторів має посилання на
відповідне джерело.*

_____ Олександр ОЛІЙНИК

ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет геодезії, землеустрою та агроінженерії

Кафедра агроінженерії

Рівень вищої освіти другий (магістр)

Галузь знань 20 Аграрні науки та продовольство

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

Освітня програма Агроінженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри агроінженерії

Костянтин ДЯДЮРА

«___» _____ 2026 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ

Олександр ОЛІЙНИК

1. Тема кваліфікаційної роботи:

«Автоматизований дозатор комбікорму для годівлі врх з ідентифікацією тварин»

науковий керівник кваліфікаційної роботи: професор, д.т.н. Дядюра Костянтин Олександрович

затверджені наказом ректора Одеського державного аграрного університету № 186 від « 05 » ____ 09 ____ 2025 р.

2. Строк подання здобувачем кваліфікаційної роботи 15 червня 2026 року.

3. **Об'єкт дослідження:** процес індивідуального дозованого годування великої рогатої худоби (ВРХ) комбікормом з використанням автоматизованого обладнання та систем електронної ідентифікації тварин.

4. **Предмет дослідження:** конструктивно-технологічні та режимні параметри автоматизованого дозатора комбікорму для ВРХ, а також алгоритми та технічні засоби ідентифікації тварин (RFID-мітки, зчитувачі) у системі індивідуального дозування корму

5. Перелік завдань, які потрібно розробити:

5.1. Теоретико-методичний розділ: аналіз сучасного стану годівлі ВРХ — огляд існуючих технологій та способів роздачі кормів (роздільне, частково змішане, повно змішане годування; мобільні, стаціонарні та комбіновані системи)

5.2. Дослідницько-аналітичний розділ:

Розробка структурної та функціональної схеми автоматизованого дозатора, визначення складу технічних засобів (бункер, дозуючий механізм, привід, система керування, RFID-зчитувач, датчики рівня корму тощо).

5.3. Проектно-рекомендаційний розділ:

Розробка конструктивної схеми автоматизованого дозатора, детальне опрацювання конструкції дозуючого механізму (наприклад, спірального-гвинтового або вібраційного дискового типу), бункера, приводу та системи керування.

6. Орієнтовний перелік графічного та табличного матеріалу:

6.1. До теоретико-методичного розділу:

Класифікація дозаторів кормів (за принципом дії, типом дозування, кількістю компонентів)

6.2. До дослідницько-аналітичного розділу:

Структурна схема автоматизованого дозатора з ідентифікацією (бункер, дозатор, привід, контролер, RFID-зчитувач, датчики)

6.3. До проектно-рекомендаційного розділу:

Конструктивна схема розробленого дозатора (загальний вигляд, розрізи, основні вузли).

7. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:

тип корму: сухий сипкий комбікорм; насипна густина корму: 0,45–1,2 т/м³; діапазон дозування на одну тварину: відповідно до зоотехнічних норм (0,8% від маси тіла); точність дозування: $\pm 5\%$ (або згідно з технічним завданням)

9. Дата видачі завдання: « 27 » 09 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи (кваліфікаційного проєкту)	Кількість кредитів	Примітка
1.	Визначення теми, об'єкта та предмета дослідження	Лютий 2026	0,25	
2.	Отримання завдання і складання змісту кваліфікаційної роботи	Лютий 2026	0,25	
3.	Складання календарного плану – графіку з підготовки кваліфікаційної роботи	Березень 2026	0,5	
4.	Написання першого розділу кваліфікаційної роботи	Березень 2026	2,0	

5.	Вивчення матеріалів базових підприємств	Квітень 2026	1,0	
6.	Написання другого розділу кваліфікаційної роботи	Квітень 2026	2,0	
7.	Написання третього розділу кваліфікаційної роботи	Травень 2026	3,0	
8.	Написання висновків, списку літератури	Травень 2026	0,5	
9.	Перевірка кваліфікаційної роботи науковим керівником	Червень 2026		
10.	Доопрацювання роботи після зауважень наукового керівника	Червень 2026	0,5	
11.	Підготовка до захисту: доповідь, ілюстративний матеріал	Червень 2026	0,5	
12.	Подання кваліфікаційної роботи на кафедру	15 червня 2026		
13.	Перевірка кваліфікаційної роботи на оригінальність	Червень 2026		
14.	Попередній захист на кафедрі	Червень 2026		
15.	Рецензування кваліфікаційної роботи	Червень 2026		
16.	Захист кваліфікаційної роботи	18-20 червня 2026	1,5	
	Загальна кількість		12	

Здобувач ОС бакалавр

_____ Олександр ОЛІЙНИК

Науковий керівник

_____ Костянтин ДЯДЮРА

Гарант ОП

_____ Дмитро ДОМУЩІ

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота містить: 101 сторінок, 19 рисунків, 18 таблиць, 25 джерел за переліком посилань.

Об'єкт дослідження: процес індивідуального дозування концентрованих кормів для великої рогатої худоби в умовах автоматизованої станції годівлі.

Мета роботи: підвищення ефективності годівлі великої рогатої худоби концентрованими кормами шляхом розробки та обґрунтування параметрів автоматизованої станції індивідуального дозування з використанням RFID-технологій та мікроконтролерного керування шнековим дозатором.

Методи дослідження: у роботі застосовано методи системного аналізу (для обґрунтування конструктивно-технологічної схеми), методи математичного моделювання (аналітичні рівняння продуктивності шнека, кінематики та енергетики привода), методи техніко-економічного аналізу (для оцінки ефективності впровадження), а також методи теорії автоматичного керування (для розробки алгоритму роботи системи).

Отримані результати: Розроблено функціональну схему автоматизованої станції годівлі, яка включає RFID-зчитувач (125 кГц, ISO 11784/85), мікроконтролер STM32F103, шнековий дозатор (D=80 мм, S=80 мм, L=500 мм) з кроковим двигуном NEMA 23. Запропоновано алгоритм роботи, що реалізує принцип «годовлі за надоем» з індивідуальним розрахунком порції. Виконано технологічний, кінематичний та енергетичний розрахунки: продуктивність 5–7 кг/хв, калібрувальний коефіцієнт 109 г/оберт, похибка дозування $\pm 3\%$, споживана потужність до 90 Вт.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: АВТОМАТИЗОВАНА СТАНЦІЯ ГОДІВЛІ, ІНДИВІДУАЛЬНЕ ДОЗУВАННЯ, КОНЦЕНТРОВАНІ КОРМИ, ШНЕКОВИЙ

					14.17 - КР.015.0.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	РЕФЕРАТ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.		Олійник О.О.						
Перевір.		Дядюра К. О.					5	1
Реценз.								
Н. Контр.								
Затверд.		Дядюра К. О.						

ЗМІСТ

	С.
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ	10
1.1. Значення індивідуальної годівлі великої рогатої худоби (ВРХ) концентрованими кормами	10
1.2. Огляд існуючих конструкцій дозаторів комбікорму (Lely, DeLaval, вітчизняні аналоги).....	15
1.3. Системи електронної ідентифікації тварин (RFID-технології).....	17
Висновки.....	26
РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ДОЗАТОРА	28
2.1 Зоотехнічні вимоги до дозування концентрованих кормів	28
2.2 Розробка функціональної схеми автоматизованої станції годівлі ...	31
2.3 Вибір типу дозуючого робочого органу (шнековий, барабанний, тарілчастий)	36
2.4 Алгоритм роботи системи управління з ідентифікацією (контролер, зчитувач, база даних)	41
Висновки.....	47
РОЗДІЛ 3. ПРОЄКТУВАННЯ ТА ІНЖЕНЕРНИЙ РОЗРАХУНОК КОМПОНЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ДОЗАТОРА	49
3.1 Технологічний розрахунок дозуючого апарата	49
3.2 Кінематичний розрахунок приводу	56
3.3 Енергетичний розрахунок (вибір потужності електродвигуна)	62
3.4 Вибір елементної бази автоматики (датчики, мікроконтролер, сервопривід).....	67

					14.17 - КР.015.0.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Олійник О.О.				ЗМІСТ		Літ.	Аркуш
Перевір.	Дядюра К. О.							Аркушів
Реценз.							6	2
Н. Контр.								
Затверд.	Дядюра К. О.							

Висновки.....	78
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ	80
4.1 Аналіз умов праці оператора автоматизованої лінії.....	80
4.2 Заходи з електробезпеки при експлуатації обладнання.....	83
Висновки.....	87
РОЗДІЛ 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТУ..	89
5.1 Розрахунок капітальних вкладень у модернізацію/розробку.	89
5.2 Розрахунок економії кормів та підвищення продуктивності тварин	91
5.3 Визначення терміну окупності проєкту.....	93
Висновки.....	95
ВИСНОВКИ.....	96
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	99

					14.17 - КР. 015.0.000 ПЗ	Аркуш
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Актуальність теми. У сучасному молочному скотарстві одним із ключових резервів підвищення ефективності виробництва є оптимізація годівлі великої рогатої худоби (ВРХ). Генетичний потенціал високопродуктивних корів може бути реалізований лише за умови забезпечення їхнього організму достатньою кількістю енергії, протеїну, мінеральних речовин та біологічно активних сполук. Концентровані корми відіграють вирішальну роль у задоволенні цих потреб, однак традиційна групова годівля за усередненими нормами не враховує значної індивідуальної мінливості тварин за продуктивністю, фізіологічним станом та здоров'ям. Це призводить до перевитрати кормів, зниження молочної продуктивності, виникнення метаболічних розладів (рубцевий ацидоз, ламініт) та зростання собівартості продукції.

Світовою практикою доведено, що індивідуальна годівля за принципом «feed-to-yield» (годівля за надоем) дозволяє збільшити річний надій на корову на 8–12%, зменшити витрати концентрованих кормів на одиницю продукції на 8–10% та знизити ризик метаболічних захворювань. Впровадження автоматизованих систем індивідуального дозування концентратів із використанням RFID-ідентифікації тварин та мікроконтролерного керування є одним із найперспективніших напрямів точного тваринництва (precision livestock farming). Однак вартість промислових систем (Afimilk, DeLaval, Lely) є високою, що обмежує їх доступність для невеликих та середніх господарств України. Тому розробка недорогої та технологічної вітчизняної системи індивідуальної годівлі ВРХ є актуальним науково-технічним завданням.

					14.17 - КР. 015.0.000 ПЗ						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Олійник О.О.			ВСТУП			Літ.	Аркуш	Аркушів	
Перевір.		Дядюра К. О.							8	2	
Реценз.											
Н. Контр.											
Затверд.		Дядюра К. О.									

Мета дослідження – підвищення ефективності годівлі великої рогатої худоби концентрованими кормами шляхом розробки та обґрунтування параметрів автоматизованої станції індивідуального дозування з використанням RFID-технологій та мікроконтролерного керування шнековим дозатором.

Для досягнення мети поставлено такі **завдання**:

1. Провести аналіз сучасного стану годівлі ВРХ, зоотехнічних вимог до дозування концентрованих кормів та існуючих конструкцій дозаторів.
2. Обґрунтувати вибір типу дозуючого робочого органу та розробити функціональну схему автоматизованої станції годівлі.
3. Розробити алгоритм роботи системи управління з ідентифікацією тварин за RFID-технологією.
4. Виконати технологічний, кінематичний та енергетичний розрахунки шнекового дозатора, визначити його геометричні та робочі параметри.
5. Обрати елементну базу автоматики (мікроконтролер, RFID-зчитувач, датчики, драйвер крокового двигуна) відповідно до розрахованих параметрів.
6. Розробити заходи з охорони праці та електробезпеки при експлуатації розробленої системи.
7. Виконати техніко-економічне обґрунтування проєкту, визначити капітальні вкладення, річний економічний ефект та термін окупності.

Об'єкт дослідження – процес автоматизованого індивідуального дозування концентрованих кормів для великої рогатої худоби.

Предмет дослідження – закономірності роботи шнекового дозатора, алгоритми керування станцією годівлі на основі RFID-ідентифікації, технічні та економічні показники системи.

Методи дослідження. У роботі використано методи системного аналізу для обґрунтування конструктивно-технологічної схеми; методи математичного моделювання (аналітичні рівняння продуктивності шнека, кінематики та енергетики привода) для визначення параметрів дозатора; методи техніко-економічного аналізу для оцінки ефективності впровадження; а також методи теорії автоматичного керування для розробки алгоритму роботи системи.

					14.17 - КР. 015.0.000 ПЗ	Аркуш
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ ТА ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ

1.1 Значення індивідуальної годівлі великої рогатої худоби (ВРХ) концентрованими кормами

У годівлі молочної худоби (рисунок 1.1) першорядне значення має визначення норми споживання поживних речовин твариною, яка залежить від віку, маси, фізіологічного стану та рівня продуктивності. Високопродуктивні корови потребують збалансованих раціонів з підвищеним вмістом енергії та протеїну, які забезпечують концентровані корми. Проте надлишок легкозасвоюваних вуглеводів у складі концентратів може спричинити порушення рубцевого травлення, зокрема субклінічний ацидоз, що знижує ефективність використання корму та продуктивність тварин [1].



Рисунок 1.1 – Велика рогата худоба

					14.17 - КР.015.1.000 ПЗ						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Олійник О.О.			РОЗДІЛ 1			Літ.	Аркуш	Аркушів	
Перевір.		Дядюра К. О.								10	20
Реценз.											
Н. Контр.											
Затверд.		Дядюра К. О.									

Повноцінна годівля є одним із вирішальних чинників, що визначають рівень молочної продуктивності, відтворну здатність та загальний стан здоров'я великої рогатої худоби. Сучасне інтенсивне молочне скотарство характеризується використанням високопродуктивних тварин, генетичний потенціал яких може бути реалізований лише за умов забезпечення їхнього організму достатньою кількістю енергії, протеїну, мінеральних речовин та біологічно активних сполук. Саме концентровані корми відіграють ключову роль у задоволенні цих потреб, оскільки вони мають високу концентрацію обмінної енергії та поживних речовин порівняно з об'ємистими кормами [2, 3].

На практиці існує два основні підходи до годівлі: груповий та індивідуальний (рисунк 1.2).

Груповий метод, за якого тварин з приблизно однаковими потребами об'єднують у технологічні групи та згодовують однаковий раціон, не враховує індивідуальних особливостей кожної тварини. Це призводить до перегодовлі менш продуктивних особин та недогодовлі високопродуктивних, що знижує рентабельність виробництва [4].



Рисунк 1.1 – Підходи до годівлі

					14.17 - КР.015.1.000 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Індивідуальна годівля передбачає приготування та видачу корму безпосередньо для конкретної тварини. Цей метод дозволяє максимально реалізувати генетичний потенціал продуктивності стада, однак його широке впровадження стримується високою трудомісткістю ручних операцій. Для кожної корови необхідно відібрати, зважити та доставити індивідуальну порцію корму, що робить процес надзвичайно затратним за умови великого поголів'я. Саме тому автоматизація процесу дозованої видачі концентрованих кормів є актуальним науково-прикладним завданням, вирішення якого дозволить поєднати переваги індивідуального підходу з ефективністю механізованих технологій [5, 6].

Концентровані корми – це група кормів із високим вмістом сухої речовини та низьким вмістом води (зернові культури, макуха, шрот, комбікорми), які використовуються для балансування раціонів за енергією, протеїном та іншими поживними речовинами. Їхня частка в раціоні високопродуктивних корів у період роздою може сягати 50–60% від загальної сухої речовини [7].

Проте традиційні підходи до годівлі, засновані на усереднених нормах для груп тварин, не враховують значної індивідуальної мінливості фізіологічних параметрів у межах навіть однорідного стада. Корови суттєво відрізняються за живою масою, рівнем молочної продуктивності, вмістом жиру та білка в молоці, стадією лактації, відтворним статусом та станом здоров'я. Годівля всіх корів групи за єдиною схемою неминує призводити до того, що одні тварини недоотримують поживні речовини (що обмежує їхню продуктивність), а інші – переогодовуються (що спричиняє метаболічні розлади та збільшує витрати кормів) [8,9].

Біологічне обґрунтування індивідуальної годівлі. Фізіологія травлення жуйних тварин, зокрема функціонування рубцевої мікрофлори, вимагає стабільного рН-середовища (оптимальний діапазон 6,0–6,5). Згодовування надмірної кількості легкодоступних вуглеводів, що містяться в концентрованих кормах, може спричинити пригнічення целюлозолітичних бактерій, накопичення молочної кислоти, зниження рН рубця до 5,0 і нижче, що є патогномонічною

					14.17 - КР.015.1.000 ПЗ	Аркуш
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ознакою ацидозу. Хронічний субклінічний ацидоз рубця є однією з найпоширеніших проблем у сучасному молочному скотарстві, що призводить до зниження споживання сухої речовини, ламініту, абсцесів печінки, порушення відтворної функції та передчасної вибраковки тварин. Індивідуальне дозування концентратів дає змогу уникнути цих негативних явищ шляхом адаптації кількості легкозброджуваних вуглеводів до реальних потреб конкретної тварини.

Принцип «годівлі за надоем» (feed-to-yield). Цей методичний підхід передбачає корегування добової даванки концентрованих кормів пропорційно до фактичного надою. Загальноприйнятою практикою є додаткове введення 0,3–0,5 кг концентрату на кожен літр молока понад базовий рівень продуктивності (близько 10–15 кг молока за добу). Такий підхід дозволяє забезпечити високопродуктивних корів необхідною енергією без ризику перегодівлі низькопродуктивних тварин. Водночас реалізація цього принципу в умовах великих ферм потребує надійних засобів ідентифікації тварин та автоматизації роздавання концентратів [10].

Методичні підходи до нормування. Традиційним методом організації годівлі є приготування повнораціонної кормосуміші (Total Mixed Ration, TMR), яку роздають групам тварин. Цей спосіб забезпечує рівномірне надходження поживних речовин та запобігає селективному споживанню окремих компонентів раціону. Однак TMR не враховує індивідуальних особливостей тварин у межах групи. Більш прогресивним є групування корів за рівнем продуктивності, стадією лактації та іншими ознаками, що дає змогу застосовувати диференційовані раціони. Проте таке групування є статичним і не відображає динаміки змін фізіологічного стану кожної тварини, особливо в перехідні періоди (сухостій – новотільність – роздій) [11].

Технічні засоби реалізації індивідуальної годівлі. Сучасний рівень розвитку техніки та цифрових технологій уможливив створення автоматичних систем для персоніфікованого роздавання концентрованих кормів. До таких систем належать [12]:

					14.17 - КР.015.1.000 ПЗ	Аркуш
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– Автоматичні станції годівлі концентратами (out-of-parlor feeders), які встановлюють безпосередньо в приміщенні для утримання худоби. Кожна станція оснащена датчиком ідентифікації тварини (за електронною міткою на нашийнику або вушній бирці) та дозатором, що забезпечує видачу індивідуальної порції згідно із заданою програмою. Прикладом таких рішень є система AfiFeed (Afimilk), яка на основі даних про надій, живу масу, стадію лактації та відтворний статус автоматично корегує раціон кожної корови в реальному часі [13].

– Станції годівлі в доїльному залі. У роботизованих доїльних системах (наприклад, Lely Astronaut, DeLaval VMS) індивідуальне дозування концентратів інтегровано в процес доїння. Корова отримує свою порцію під час доїння, що стимулює її до регулярного відвідування доїльного робота та забезпечує зручність збору даних про продуктивність.

– Роботи-годувальники (наприклад, Lely Vector, Combi-Robot) призначені для автоматизованого приготування та роздавання кормосумішей, зокрема й для адресного додавання концентратів до основного раціону в заданій кількості для окремих груп або окремих тварин.

Економічна та екологічна ефективність. Дослідження провідних наукових установ (Aarhus University, INRAE) свідчать, що перехід на індивідуальне дозування концентратів дає змогу збільшити річний надій на корову на 300 кг, підвищити ефективність використання кормів на 75 кормових одиниць на рік та знизити ризик виникнення кормових захворювань. Крім того, точна годівля сприяє зменшенню втрат азоту з сечею (до 40%), що позитивно впливає на екологічне навантаження від тваринницьких підприємств. Згідно з оглядом, опублікованим у Journal of Dairy Science, індивідуалізована годівля концентратами дозволяє скоротити викиди метану (ентальпія) на 10% та зменшити екскрецію азоту з сечею на 40% [4, 14].

Отже, індивідуальна годівля ВРХ концентрованими кормами є науково обґрунтованим та технічно реалізованим підходом, що забезпечує повніше розкриття генетичного потенціалу тварин, зниження витрат кормів на одиницю

					14.17 - КР.015.1.000 ПЗ	Аркуш
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

продукції, покращення здоров'я та відтворної здатності худоби, а також зменшення негативного впливу на довкілля. Впровадження автоматизованих систем індивідуального дозування концентратів є одним із ключових напрямів розвитку точного тваринництва (precision livestock farming). Наступні підрозділи роботи будуть присвячені аналізу конструктивних особливостей та розробці методики розрахунку таких систем [15, 16].

1.2 Огляд існуючих конструкцій дозаторів комбікорму (Lely, DeLaval, вітчизняні аналоги)

Сучасний ринок пропонує різноманітні технічні рішення для автоматизації годівлі ВРХ, серед яких провідні позиції займають системи європейських виробників — Lely, DeLaval та Trioliet (рисунок 1.3).



Рисунок 1.3 – Огляд існуючих конструкцій дозаторів комбікорму

Система Lely Vector. Lely Vector — це повністю автоматизована система годівлі, яка складається з двох основних частин: кормової кухні (feed kitchen), де зберігаються, дозуються та змішуються компоненти раціону, та робота-кормороздавача, що переміщується фермою. Система здатна забезпечувати доступ до свіжого раціону для кожної групи тварин [17].

Основні технічні характеристики та переваги:

- Робота на вимогу: робот сканує висоту корму біля годівниці за допомогою ультразвукових датчиків і визначає необхідність нового циклу годівлі, забезпечуючи цілодобову доступність свіжого корму.
- Висока точність змішування: нержавіючий шнек (stainless steel auger) забезпечує гомогенне змішування кожного раціону, а потужний двигун шнека запобігає залишанню корму після роздачі.
- Система безпеки: потужні магніти, розташовані під випускним отвором, вловлюють металеві частинки з корму, знижуючи ризик травмування тварин.
- Автоматичне регулювання довжини частинок: на основі налаштувань раціону автоматично активується контрніж, який подрібнює корм до необхідної фракції.
- Енергоефективність: акумуляторний робот знижує витрати пального та може замінити іншу кормороздавальну техніку.
- Гнучкість: система сумісна з більшістю типів кормів та планувань корівників.

Одним із ключових елементів Lely Vector є дозатор концентратів, який контролює кількість корму з високою точністю та дозволяє додавати невеликі порції мінеральних добавок. Система керується через додаток Lely Feed Controller. Автономний робот пересувається фермою за допомогою індукційних датчиків, що забезпечує надійну навігацію [18].

Система DeLaval Optimat. DeLaval Optimat™ є комплексним рішенням для автоматизації годівлі, яке забезпечує автоматизоване змішування та роздачу кормів. Система має модульну структуру, що дозволяє адаптувати рівень автоматизації та потужність під потреби конкретного господарства. Optimat™

					14.17 - КР.015.1.000 ПЗ	Аркуш
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виконує функції зважування, змішування, подрібнення та гомогенного розподілу раціону [19].

За даними виробника, впровадження DeLaval Optimat™ сприяє збільшенню надоїв до 5 літрів молока на корову на добу та скороченню втрат корму на 50% і більше. Система випускається у двох версіях (DeLaval Optimat™ Standard та Optimat™ Master) та станом на 2023 рік встановлена на понад 600 фермах, переважно в Європі [20].

Вітчизняні аналоги та перспективні розробки

Поряд із зарубіжними системами, в Україні також ведуться розробки в галузі автоматизації годівлі ВРХ. Так, відома вітчизняна розробка, де функцію дозованої роздачі концентрованих кормів виконує робот-підрівнювач кормів. Крім того, на українському ринку представлені дозатори для комбікорму різних типів (шнекові, об'ємні), які можуть бути інтегровані в автоматизовані лінії годівлі. Проте вітчизняні системи здебільшого залишаються на рівні окремих технічних рішень і не забезпечують комплексної автоматизації, характерної для продукції світових лідерів. Загалом усі автоматичні системи годівлі мають дві складові: зону приготування кормосумішей (кормокухню) та роботизований кормороздавач, який переміщується на шасі або по підвісному шляху. При цьому технічно складні системи з бункерами-накопичувачами дозволяють гнучко складати програми годівлі, але мають високу вартість, що стримує їх широке впровадження.

1.3 Системи електронної ідентифікації тварин (RFID-технології)

Технологія радіочастотної ідентифікації: базові засади (рисунок 1.3)

Радіочастотна ідентифікація (RFID – Radio Frequency Identification) – це технологія автоматичного безконтактного зчитування інформації з об'єктів за допомогою радіохвиль. Головною її перевагою є відсутність необхідності в прямій видимості між міткою та зчитувачем, що дозволяє зчитувати інформацію навіть крізь бруд, вологу, пластик або деревину. Саме ця властивість зумовила

					14.17 - КР.015.1.000 ПЗ	Аркуш
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

широке впровадження RFID у тваринництві, де умови експлуатації є одними з найскладніших.

RFID-система складається з двох основних компонентів [21]:

– Транспондер (RFID-мітка) – мініатюрний пристрій, який кріпиться до тварини. Містить інтегральну схему для зберігання та обробки інформації, антену для приймання та передачі радіосигналу, а також носій (етикетку, вушну бирку або пластиковий корпус). Типовий RFID-чіп здатен зберігати від унікального ідентифікаційного номера до кількох кілобайт даних.

– Зчитувач (рідер, інтеррогатор) – пристрій, який через антену надсилає радіосигнал, активує мітку та приймає відповідь. Зчитувачі можуть бути стаціонарними (встановленими в точках контролю, біля годівниць, у доїльних залах) або портативними (ручними).



Рисунок 1.3 – Система електронної ідентифікації тварин за допомогою RFID технології

Принцип роботи RFID-системи в умовах ферми.

Коли тварина з електронною міткою наближається до зони дії антени зчитувача, мітка активується радіосигналом. Антена мітки отримує енергію, яка живить чіп, що, своєю чергою, передає унікальний ідентифікаційний код назад

на зчитувач. Цей код надходить до комп'ютерної мережі та бази даних, де зіставляється з усією інформацією про конкретну тварину: датою народження, породою, генетичним походженням, щепленнями, захворюваннями, надоями, живою масою, статусом тільності тощо [22].

Відстань зчитування залежить від частоти системи, потужності зчитувача та типу мітки, варіюючи від кількох сантиметрів до десятків метрів.

Класифікація RFID-систем за частотними діапазонами.

Залежно від робочої частоти розрізняють три основні типи RFID-систем, кожен з яких має свої характеристики та сфери застосування в тваринництві. Порівняльний аналіз цих систем наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Порівняльна характеристика частотних діапазонів RFID-систем для тваринництва

Характеристика	Низька частота (LF, 125–134,2 кГц)	Висока частота (HF, 13,56 МГц)	Ультрависока частота (UHF, 865–868 МГц / 902–928 МГц)
Дальність зчитування	до 0,5 м (коротка)	до 1 м (середня)	до 10–12 м (велика)
Швидкість зчитування	низька	середня	висока (до 500 міток/с)
Стійкість до вологи/металу	висока (нечутливі)	середня	низька (чутливі)
Стандарти	ISO 11784, ISO 11785	ISO 15693	EPC Gen2, ISO 18000-63
Типова цільова функція	однозначна ідентифікація окремої тварини	моніторинг поведінки біля ресурсів	моніторинг активності на великих площах

Нормативне регулювання ідентифікації тварин в Україні.

В Україні ідентифікація та реєстрація сільськогосподарських тварин є обов'язковою. Велика рогата худоба підлягає обов'язковій ідентифікації протягом 7 днів з моменту народження. Система ідентифікації забезпечує повний облік кожної тварини, включаючи її походження, стан здоров'я та місце утримання. Відповідно до Порядку ідентифікації та реєстрації, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України, вся велика рогата худоба, яка

					14.17 - КР.015.1.000 ПЗ	Аркуш
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перебуває, розводиться або утримується на території України, підлягає обов'язковій ідентифікації. Впровадження RFID-технологій в Україні дозволяє створити прозору систему простежуваності продукції, що важливо як для внутрішнього ринку, так і для експорту [23].

Міжнародна стандартизація RFID для тваринництва.

На міжнародному рівні для систем ідентифікації тварин діють стандарти ISO 11784 та ISO 11785, які визначають структуру кодування та протоколи передачі даних. Відповідність цим стандартам забезпечує сумісність обладнання різних виробників, що дозволяє вільно переміщувати тварин між різними господарствами та країнами. Сертифікацію обладнання здійснює Міжнародний комітет з реєстрації тварин (ICAR).

Активний розвиток в цій галузі демонструють країни Північної Америки та Європи. Наприклад, Канада – перша країна у світі, яка запровадила обов'язкову систему ідентифікації великої рогатої худоби на національному рівні (CLTS), створену для швидкого відстеження переміщень тварин у разі спалаху хвороб [24].

Типи електронних міток для великої рогатої худоби (рисунк 1.4).

Сучасні RFID-системи для ВРХ використовують кілька типів носіїв, кожен з яких має свої особливості, сфери застосування та обмеження.

Вушні бирки (Ear tags). Це найпоширеніший тип електронних міток для великої рогатої худоби, який дозволяє одночасно використовувати візуальну та електронну ідентифікацію. Бирка складається з чоловічої та жіночої частин, які з'єднуються під час встановлення в вусі тварини. Електронний чіп може бути інтегрованим у корпус бирки, що забезпечує його захист від механічних пошкоджень та вологи. Вушні бирки мають низьку вартість, прості у встановленні, дозволяють наносити візуальний номер та є зручними для зчитування вручну [25].

Болюси (Bolus, ruminal transponders). Це спеціальні RFID-пристрої у формі керамічної капсули, які вводяться тварині через стравохід у рубець за допомогою спеціального аплікатора. Завдяки високій щільності керамічного корпусу, болюс

					14.17 - КР.015.1.000 ПЗ	Аркуш
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

під дією гравітації опускається та залишається в рубці протягом усього життя тварини. Основними перевагами є високий захист від втрати або пошкодження, неможливість підробки, оскільки мітка знаходиться всередині тварини, та неможливість видалення без спеціального обладнання [10].

Імплантовані мікрочіпи (Injectables). Це скляні капсули розміром із зерно рису, які вводяться під шкіру тварини за допомогою спеціального шприца. Вони мають високий ступінь захисту від втрати, однак вимагають близького контакту зчитувача для зчитування та викликають певні побоювання щодо впливу на якість шкіри та м'яса [2, 6].

Нашийники (Collars). Цей тип носія дозволяє розміщувати більш потужні транспондери та додаткові датчики, однак має вищу вартість та може спричиняти дискомфорт для тварини.



Рисунок 1.4 – Сучасні RFID-системи для ВРХ

Порівняльну характеристику основних типів електронних міток наведено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Порівняльна характеристика типів електронних міток для ВРХ

Параметр	Вушна бирка	Болюс	Імплантат	Нашийник
Термін служби	до 5–7 років	до 15–20 років	до 20 років	до 3–5 років
Захист від втрати	середній (може випасти)	максимальний (неможливий)	максимальний (неможливий)	низький (може зірватися)
Вартість	низька	висока	середня	висока
Зручність зчитування	висока (зчитується ззовні)	середня (зчитується через тіло)	низька (потребує контакту)	висока (виступає назовні)
Можливість розширення функціоналу	низька (лише ідентифікація)	низька (лише ідентифікація)	немає	висока (датчики температури, акселерометри)
Основне призначення	щоденна ідентифікація	довічне зберігання номера	домашні тварини, коні	додаткові датчики, GPS

Переваги впровадження RFID-технологій у тваринництві.

Застосування RFID-технологій у тваринництві забезпечує суттєві переваги, які можна поділити на кілька категорій. Завдяки RFID-технології значно підвищується точність обліку тварин. Автоматичне зчитування даних виключає помилки, пов'язані з ручним введенням інформації, що призводить до вдосконалених програм розмноження та ефективних графіків годування. Крім того, RFID-системи дають змогу істотно скоротити трудовитрати на ручну ідентифікацію тварин та ведення обліку. Фермер або оператор зчитує інформацію одним натисканням кнопки, а база даних оновлюється автоматично.

Системи радіочастотної ідентифікації забезпечують ефективний контроль здоров'я стада. Своєчасне виявлення хворих тварин дозволяє оперативно вжити заходів та запобігти поширенню захворювань. Аналізуючи дані поведінку тварин, отримані з RFID-систем, можна виявити потенційні захворювання на ранній стадії [7,8].

Однією з ключових переваг є забезпечення простежуваності продукції та контроль переміщень. Ідентифікація дозволяє відстежити шлях тварини від ферми до забійного підприємства та кінцевого споживача, що відповідає вимогам безпеки харчових продуктів та стандартам якості. Крім того, дані про генетичне походження, продуктивність та здоров'я дозволяють оптимізувати селекційну роботу та вести цілеспрямований відбір [12, 17].

Це забезпечує підвищення ефективності управління стадом. Автоматизація збору та відстеження даних зменшує ручну працю та людські помилки, дозволяючи фермерам приймати обґрунтовані рішення. Постійний потік даних створює унікальні фенотипи тварин, які можна використовувати для точного землеробства.

Обмеження та виклики при впровадженні RFID.

Одним із головних обмежень для широкого впровадження RFID-технологій є висока початкова вартість обладнання (зчитувачів, антен, програмного забезпечення), яка може бути суттєвим бар'єром для невеликих господарств.

Для великих ферм актуальною проблемою є значний обсяг генерованих даних, який потребує потужних систем управління базами даних та аналітичного програмного забезпечення. Системи RFID можуть стикатися з технічними проблемами, такими як пошкодження міток (особливо вушних бирок) під час бійок тварин або через механічні впливи.

Крім того, існують фізичні обмеження для різних частотних діапазонів – наприклад, вплив води та металевих предметів на роботу UHF-систем. Вода є потужним поглиначем радіохвиль, що знижує чутливість зчитування, а металеві конструкції відбивають радіохвилі, створюючи перешкоди.

Приклади практичного застосування RFID-технологій

Моніторинг індивідуальної годівлі. RFID-системи широко застосовуються для автоматизації годівлі тварин. Для успішної реалізації моніторингу активності тварин вирішальне значення має правильне розміщення антен та налаштування зони зчитування. Дані поведінку використовуються для

					14.17 - КР.015.1.000 ПЗ	Аркуш
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виявлення потенційних захворювань, теплового стресу та соціальних взаємодій у стаді.

Відстеження переміщень та контроль здоров'я. Комбінуючи RFID з датчиками температури, акселерометрами та іншими сенсорами, можна отримувати інформацію про стан здоров'я тварини в режимі реального часу. Вивчаються гібридні рішення (наприклад, комбінація низькочастотної RFID з Bluetooth Low Energy), які дозволяють суттєво розширити дальність зчитування до 14 разів без втрати сумісності з чинними стандартами ISO 11784/5.

Інтеграція RFID з автоматизованими системами годівлі.

У контексті індивідуальної годівлі ВРХ концентрованими кормами RFID-технології відіграють ключову роль. Вони забезпечують надійну ідентифікацію кожної тварини, що підходить до годівельної станції, дозволяють зчитувати унікальний номер мітки з високою надійністю навіть у складних умовах, передають ідентифікаційні дані в реальному часі до системи керування годівлею та забезпечують сумісність із базами даних, що містять індивідуальні раціони для кожної тварини. Розроблені гібридні RFID-мітки, які поєднують низькочастотний канал для активації та Bluetooth Low Energy для передачі даних, демонструють 99% успішності прийому та 7-річний термін служби для типових сценаріїв використання. Такі рішення можуть бути розгорнуті разом з існуючими ручними зчитувачами ISO 11784/5.

Оцінка економічної ефективності впровадження RFID.

При прийнятті рішення про впровадження RFID-систем необхідно враховувати такі економічні аспекти:

– Початкові інвестиції включають вартість RFID-міток (від 1 до 10 євро за одиницю залежно від типу та обсягу закупівлі), вартість стаціонарних зчитувачів та антен (від 500 до 3000 євро за одиницю), вартість портативних зчитувачів (від 200 до 800 євро), вартість програмного забезпечення для управління даними, а також витрати на встановлення та інтеграцію системи.

					14.17 - КР.015.1.000 ПЗ	Аркуш
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– Операційні витрати включають витрати на заміну пошкоджених міток, витрати на технічне обслуговування обладнання, витрати на навчання персоналу, а також витрати на програмну підтримку.

– Економічні вигоди включають збільшення надоїв завдяки індивідуальній годівлі, зменшення витрат кормів завдяки точному нормуванню, економію трудовитрат на ручну ідентифікацію, зменшення ветеринарних витрат завдяки своєчасному виявленню хворих тварин, підвищення вартості реалізації тварин завдяки наявності повної історії здоров'я та профілактичних заходів, а також уникнення штрафів за порушення вимог ідентифікації.

Термін окупності RFID-системи для середнього молочного господарства на 200–300 голів становить від 1,5 до 3 років.

Перспективи розвитку RFID-технологій у тваринництві.

Сучасні дослідження зосереджені на використанні даних RFID у прогностичних моделях для виявлення захворювань, оцінки добробуту тварин та управлінських рішень. Активно розвиваються гібридні системи, що поєднують RFID з іншими технологіями для розширення функціональних можливостей.

При розробці сучасних систем ідентифікації враховуються вимоги до енергоефективності, що забезпечує тривалий термін служби міток. Наприклад, гібридні рішення досягають 7-річного терміну служби за типових умов експлуатації. Отже, RFID-технології є ключовим елементом сучасних систем індивідуальної годівлі ВРХ. Вони забезпечують надійну основу для персоніфікованого обліку та управління тваринами. Розуміння особливостей різних типів систем, їх переваг та обмежень дозволяє обґрунтовано підійти до вибору оптимального рішення для конкретного господарства з урахуванням його масштабів, технологічних особливостей та фінансових можливостей. У наступному підрозділі буде розглянуто архітектуру та принципи функціонування систем індивідуального дозування концентрованих кормів на основі RFID-ідентифікації.

					14.17 - КР.015.1.000 ПЗ	Аркуш
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

У розділі 1 розглянуто сучасний стан проблеми індивідуальної годівлі великої рогатої худоби концентрованими кормами та проаналізовано технологічні засоби її реалізації, зокрема системи електронної ідентифікації тварин на основі RFID. На основі проведеного аналізу можна зробити такі висновки.

1. Біологічна та технологічна доцільність індивідуальної годівлі. Доведено, що традиційне групове годування великої рогатої худоби за усередненими нормами не враховує значної індивідуальної мінливості тварин за продуктивністю, фізіологічним станом та здоров'ям. Годівля «за надоем» (feed-to-yield) дає змогу підвищити надої на 300 кг/рік на корову, зменшити витрати кормів та знизити ризик рубцевих розладів (ацидозу). Впровадження автоматизованих систем індивідуального дозування концентратів є науково обґрунтованим напрямом точного тваринництва.

2. Ключова роль RFID-технологій. Встановлено, що радіочастотна ідентифікація є найбільш технологічним рішенням для автоматичного розпізнавання тварин у реальному часі. Порівняльний аналіз частотних діапазонів (LF, HF, UHF) показав, що для годівельних станцій оптимальним є низькочастотний діапазон (125–134,2 кГц) завдяки високій стійкості до вологи, металу та бруду, а також відповідності міжнародним стандартам ISO 11784/11785, що забезпечує сумісність обладнання різних виробників.

3. Вибір типу електронних міток. Проаналізовано переваги та недоліки основних типів носіїв (вушні бирки, болюси, імплантати, нашійники). Для молочних ферм найбільш поширеним і економічно доцільним є використання вушних RFID-брок, які поєднують візуальну та електронну ідентифікацію. Для довічного зберігання номера тварини (племінний облік) рекомендуються болюси.

4. Практичний досвід та економічна ефективність. Впровадження RFID-систем у тваринництві забезпечує зниження трудовитрат на 30–50%, зменшення

					14.17 - КР.015.1.000 ПЗ	Аркуш
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

помилки ідентифікації до 0,1%, своєчасне виявлення хворих тварин, а також повну простежуваність продукції від ферми до споживача. Термін окупності системи для господарства на 200–300 голів становить 1,5–3 роки.

5. Інтеграція з системами годівлі. Визначено, що RFID-мітки виконують роль ключового елемента в архітектурі автоматичних станцій годівлі. Вони забезпечують ідентифікацію тварини, запуск дозування концентратів згідно з індивідуальним раціоном, а також передачу даних до центральної бази для подальшого аналізу та коригування.

6. Перспективи розвитку. Сучасні дослідження спрямовані на створення гібридних RFID-систем (LF + Bluetooth Low Energy), що дозволяють збільшити дальність зчитування до 12 м, а також на інтеграцію RFID з датчиками температури, акселерометрами (виявлення хромоти, охоти) та системами машинного навчання для прогнозування здоров'я тварин.

Таким чином, аналіз сучасного стану питання підтверджує актуальність і перспективність розробки автоматизованих систем індивідуальної годівлі ВРХ концентрованими кормами з використанням RFID-ідентифікації. Це створює науково-технічне підґрунтя для подальшого проектування та розрахунку таких систем у наступних розділах роботи.

					14.17 - КР.015.1.000 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

РОЗДІЛ 2

ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ДОЗАТОРА

2.1 Зоотехнічні вимоги до дозування концентрованих кормів. Огляд конструкцій годівельних установок

Процес дозування комбікормів має забезпечувати мінімальний вплив на фізико-механічні властивості корму (не призводити до утворення пилу, розшарування часток за щільністю та розміром), а також відповідати строгим зоотехнічним вимогам. Основними показниками якості роботи дозаторів є продуктивність, точність та рівномірність дозування.

Згідно із загальноприйнятими зоотехнічними нормами, допустиме відхилення від заданої норми видачі для концентрованих кормів не повинно перевищувати $\pm 5\%$. При цьому для різних типів дозаторів досягаються різні показники точності:

- Барабанні (об'ємні) дозатори: похибка $\pm 3\%$;
- Шнекові дозатори: похибка $\pm 5\%$;
- Вагові дозатори: похибка менше $\pm 1\%$.

На точність дозування впливають не тільки конструктивні особливості дозатора, але й фізичні властивості самого корму (вологість, гранулометричний склад, насипна щільність) та якість калібрування обладнання. Так, дослідженнями доведено, що підвищення вологості гранульованих кормів сприяє збільшенню точності дозування; найвищі показники точності (до 2%) досягаються при вологості гранул 18% .

					14.17 - КР.015.2.000 ПЗ							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.					РОЗДІЛ 2				Літ.	Аркуш	Аркушів	
Перевір.		Дядюра К.О.									28	20
Реценз.												
Н. Контр.												
Затверд.		Дядюра К. О.										

Огляд конструкцій дозаторів (рисунок 2.1). Аналіз існуючих конструкцій дозуючих пристроїв для сипких концентрованих кормів дозволяє виділити три основних типи, що найчастіше застосовуються в системах автоматичної годівлі великої рогатої худоби.

Барабанні (об'ємні) дозатори. Використовуються для дозування сипких кормових матеріалів і встановлюються під випускними горловинами бункерів. Конструктивно можуть бути з циліндричними або гранованими барабанами. Гладенькі і дрібнорифлені барабани застосовують для порошкових і дрібнозернистих матеріалів, а грановані – для дрібно- і середньошматкових матеріалів. Дозування відбувається за рахунок сил тертя і зчеплення з поверхнею барабана. Колова швидкість барабанів, як правило, знаходиться в межах від 0,025 до 1 м/с. Подача барабанного дозатора визначається діаметром барабана, робочою довжиною, товщиною захоплюваного шару матеріалу, частотою обертання та об'ємною масою корму. Доцільність використання об'ємного дозатора барабанного типу з вертикальною віссю обертання для індивідуальної видачі комбікормів коровам аналітично обґрунтована в роботах українських дослідників.

Шнекові дозатори. Широко застосовуються в лініях приготування і роздачі кормів завдяки можливості дозувати різні за складом і консистенцією матеріали. Вони прості за конструкцією, дозволяють оперативно змінювати подачу від мінімальної до максимальної і можуть встановлюватися горизонтально або похило. Основним робочим органом є шнек (спіраль), який захоплює матеріал із бункера та транспортує його до вивантажувального отвору. Характеризуються стабільною подачею і надійністю виконання процесу дозування.

Однак недоліком традиційних шнекових дозаторів є те, що регулювання подачі часто здійснюється положенням заслінки біля завантажувального вікна. Це впливає на заповнення міжвиткового простору та в кінцевому підсумку дає високу похибку дозування, особливо при дискретному режимі роботи. Крім того,

					14.17 - КР.015.2.000 ПЗ	Аркуш
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

внаслідок взаємодії матеріалу з робочими органами шнекового дозатора може відбуватися деяке доподрібнення продукту.

Вагові дозатори. Вважаються найбільш точними для порційного дозування. У таких дозаторах на точність дозування практично не впливають фізико-механічні властивості корму, що є їхньою суттєвою перевагою. Вагові дозатори забезпечують найменшу похибку (менше $\pm 1\%$) серед усіх типів дозуючих пристроїв.



Рисунок 2.1 – Огляд конструкцій дозаторів для сипких кормів ВРХ

Порівняльна характеристика основних типів дозаторів, що використовуються в системах годівлі великої рогатої худоби, наведена в таблиці 2.1.

Проведений аналіз зоотехнічних вимог до дозування концентрованих кормів показує, що основними критеріями якості роботи дозуючого обладнання є точність (похибка не більше $\pm 5\%$) та рівномірність подачі. Розглянуті конструкції дозаторів мають різні переваги та недоліки: барабанні забезпечують прийнятну точність для більшості сипких кормів, шнекові прості та надійні, але чутливі до фізичних властивостей матеріалу та можуть його подрібнювати, вагові – найточніші, але складніші та дорожчі.

Вибір конкретного типу дозатора для автоматизованої системи індивідуальної годівлі ВРХ залежить від необхідної точності дозування, властивостей корму, а також техніко-економічних умов господарства.

Таблиця 2.1 – Порівняльна характеристика дозаторів концентрованих кормів

Показник	Барабанний (об'ємний)	Шнековий	Ваговий
Принцип дії	Об'ємний	Об'ємний	Гравіметричний
Тип дозування	Безперервний / порційний	Безперервний / порційний	Порційний
Точність (похибка)	$\pm 3\%$	$\pm 5\%$	$< \pm 1\%$
Вплив властивостей корму на точність	Помірний	Значний	Мінімальний
Схильність до доподрібнення	Низька	Середня	Відсутня
Складність конструкції	Середня	Низька	Висока
Відносна вартість	Середня	Низька	Висока

2.2 Розробка функціональної схеми автоматизованої станції годівлі

На основі аналізу зоотехнічних вимог (п. 2.1) та огляду існуючих дозаторів розроблено функціональну схему автоматизованої станції індивідуальної годівлі великої рогатої худоби концентрованими кормами. Схема відображає взаємодію основних технічних засобів та інформаційних потоків, необхідних для реалізації алгоритму «годовлі за надоем» з високою точністю дозування (рисунок 2.2).

Призначення та склад станції. Автоматизована станція годівлі (АСГ) призначена для персоніфікованої видачі концентрованих кормів коровам у вільнодоступному режимі. Вона забезпечує ідентифікацію тварини, розрахунок індивідуальної порції згідно із заданою програмою, дозування корму з необхідною точністю, реєстрацію факту споживання та передачу даних до центральної бази.



Рисунок 2.2 – Функціональна схема автоматизованої станції індивідуальної годівлі ВРХ

До складу АСГ входять такі функціональні блоки (рис. 2.1 – тут і далі рисунки наведено в текстовому описі):

- *Блок ідентифікації* – стаціонарний RFID-зчитувач (LF, 125 кГц) з антенною системою, розташований у зоні підходу тварини до годівниці.
- *Блок керування* – програмований логічний контролер (PLC) або мікроконтролер (наприклад, ARM Cortex-M) із панеллю оператора, що реалізує алгоритм розрахунку порції та керування виконавчими механізмами.
- *Блок дозування* – виконавчий пристрій (шнековий, барабанний або ваговий дозатор) із приводом (кроковий двигун або двигун постійного струму з редуктором).
- *Блок накопичення корму* – бункер із датчиком мінімального рівня, оснащений системою ворохлення (вібратор або мішалка) для запобігання зведенням.
- *Блок контролю споживання* – датчик присутності тварини (оптичний або індуктивний) біля годівниці, опційно – датчик залишку корму.

– Блок зв'язку – інтерфейс передачі даних (RS-485, CAN, Ethernet, Wi-Fi) для обміну з центральним сервером або фермерською станцією.

– Джерело живлення – низьковольтний блок живлення (24 В) із захистом від перенапруг та короткого замикання.

Функціональна схема та принцип роботи.

Функціональна схема АСГ (наводиться у вигляді блок-діаграми) включає такі ланки:

1. *Ідентифікація тварини.* Коли корова з RFID-биркою (або болюсом) наближається до антени зчитувача на відстань 30–50 см, мітка активується і передає унікальний 15-значний код відповідно до ISO 11784. Зчитувач декодує сигнал і передає його до контролера.

2. *Розрахунок порції.* Контролер звертається до внутрішньої бази даних (або отримує дані з центрального сервера) за індивідуальними параметрами тварини:

- ідентифікаційний номер;
- поточна стадія лактації (днів після отелення);
- добовий надій (історичний та поточний, якщо є онлайн-доїння);
- жива маса;
- допустима максимальна разова даванка концентратів (щоб уникнути ацидозу);
- час останнього відвідування станції (для контролю мінімального інтервалу між годівлями).

За заданим алгоритмом («feed-to-yield») контролер обчислює необхідну масу корму на цю годівлю. Типовий алгоритм: базова порція = 0,2–0,5 кг + надбавка 0,3–0,4 кг на кожен літр молока понад базовий рівень 15 л. Обмеження: не більше 4–5 кг за один раз і не частіше ніж раз на 2–3 години.

3. *Запуск дозування.* Контролер подає керуючий сигнал на привід дозатора. Якщо використовується об'ємний дозатор (шнековий або барабанний), то розрахована маса перераховується в кількість обертів вала з урахуванням

					14.17 - КР.015.2.000 ПЗ	Аркуш
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

насипної щільності корму та калібрувального коефіцієнта. Для вагового дозатора – задається цільове значення маси.

4. *Подача корму.* Дозатор вивантажує корм у годівницю (корито). У процесі роботи контролер контролює фактичну подачу (через датчик холостого ходу або тензодатчики). Після досягнення заданої порції двигун вимикається.

5. *Контроль споживання.* Датчик присутності фіксує, чи залишилася корова біля годівниці після видачі. Якщо тварина пішла, а корм не з'їдений, система реєструє подію «відмова» для подальшого аналізу.

6. *Логування та зв'язок.* Контролер зберігає в локальній пам'яті час, ID тварини, видану дозу, та (опційно) залишок. Періодично або в реальному часі дані передаються на центральний комп'ютер для моніторингу та коригування раціонів.

Обґрунтування вибору основних елементів.

Тип дозатора. З огляду на необхідність порційного дозування з похибкою не більше $\pm 5\%$ та роботи з найпоширенішими концентрованими кормами (дєрть, гранули діаметром 4–8 мм, комбікорм-крихта), найбільш доцільним є шнековий дозатор з кроковим двигуном. Його переваги: простота конструкції, низька вартість, можливість точного регулювання обертів, стабільність подачі за умови правильної калібрування. Для підвищення точності до $\pm 2\text{--}3\%$ передбачається датчик холостого ходу (оптична пара) для контролю кожного оберту та періодичне автоматичне калібрування за масою (з використанням вбудованих тензодатчиків). Альтернатива – ваговий дозатор, але його вартість значно вища, а для типових фермерських умов надточність $\pm 1\%$ не є критичною.

RFID-система. Вибрано низькочастотний діапазон (125 кГц) через його захищеність від вологи, бруду та наявності великої кількості сумісних міток (HDX, FDX-B за ISO 11784/85). Зчитувач – стаціонарний з дальністю до 50 см, що забезпечує надійне зчитування навіть при швидкому русі тварини.

Контролер. Застосовується промисловий мікроконтролер на базі ARM Cortex-M4 (наприклад, STM32F3) з годинниковою частотою 72 МГц, вбудованим PID-регулятором для шнека, захищеним цифровим входом для

					14.17 - КР.015.2.000 ПЗ	Аркуш
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

датчиків та RS-485 для зв'язку. Альтернатива – дешевший Arduino Due для дослідного зразка.

Алгоритм роботи станції.

Блок-схема алгоритму (рис. 2.2) містить такі кроки:

1. Початковий стан: очікування сигналу від RFID-зчитувача.
2. При отриманні ID – перевірка, чи не обслуговується інша тварина в даний момент (блокування).
3. Запит до бази даних: обчислити рекомендовану порцію для даної корови з урахуванням часу останньої годівлі.
4. Якщо минуло менше встановленого інтервалу (наприклад, 2 год) або добова норма вичерпана – відмова з повідомленням.
5. Якщо дозволено – запуск шнека на розраховану кількість обертів. Паралельно моніторинг датчика холостого ходу (якщо оберти є, а корм не вивантажується – сигнал «закінчився корм»).
6. Після завершення – фіксація фактично виданої маси (за обертами або зважуванням), час, ID.
7. Очікування виходу тварини з зони датчика присутності (з таймаутом 30 с) – зняття блокування.
8. Передача даних на сервер (в реальному часі або за накопиченням).

Переваги запропонованої функціональної схеми

- *Модульність* – дозволяє замінювати окремі блоки (наприклад, дозатор) без перепроєктування всієї системи.
- *Адаптивність* – алгоритм може бути переналаштований під різні стратегії годівлі (за надоем, за стадією лактації, за живою масою).
- *Масштабованість* – до одного контролера можна підключити до 4 станцій, що зменшує вартість розгортання на фермі.
- *Відмовостійкість* – локальне зберігання даних (EEPROM або SD-карта) забезпечує роботу навіть при втраті зв'язку з центральним сервером.

Розроблено функціональну схему автоматизованої станції годівлі ВРХ, яка інтегрує RFID-ідентифікацію, мікроконтролерне керування, шнековий дозатор з

					14.17 - КР.015.2.000 ПЗ	Аркуш
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кроковим двигуном та канали зв'язку. Схема забезпечує виконання зоотехнічних вимог щодо точності дозування ($\pm 3-5\%$) та індивідуалізації годівлі. Наведений алгоритм роботи дозволяє реалізувати принцип «годовлі за надоем» у реальному часі. Отримані рішення є основою для подальшого інженерного розрахунку параметрів дозатора та вибору елементної бази в розділі 3.

2.3 Вибір типу дозуючого робочого органу (шнековий, барабанний, тарілчастий)

Для автоматизованої станції індивідуальної годівлі ВРХ концентрованими кормами ключовим елементом є дозуючий робочий орган, який безпосередньо впливає на точність, стабільність та надійність видачі корму. На основі аналізу зоотехнічних вимог (п. 2.1) та розробленої функціональної схеми (п. 2.2) проведено порівняльну оцінку трьох типів дозаторів: шнекового, барабанного (об'ємного) та тарілчастого (дискового). Розглянуто їхні переваги, недоліки та придатність до роботи в умовах ферми.

Загальна характеристика типів дозуючих органів

Шнековий дозатор (гвинтовий конвеєр) складається з вала з гвинтовою спіраллю, що обертається всередині циліндричного кожуха. Корм захоплюється між витками, транспортується вздовж осі та виштовхується через вивантажувальний отвір. Дозування регулюється частотою обертання шнека та часом його роботи. Застосовується для порошкоподібних, дрібнозернистих і гранульованих кормів.

Барабанний дозатор (роторний, об'ємний) виконаний у вигляді циліндричного або гранчастого барабана з комірками або лопатками, що обертається під бункером. Корм заповнює порожнини барабана, які при повороті висипаються в годівницю. Дозування здійснюється зміною частоти обертання або застосуванням регульованої заслінки. Ефективний для сипких матеріалів із низькою схильністю до злежування.

					14.17 - КР.015.2.000 ПЗ	Аркуш
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тарілчастий (дисковий) дозатор складається з обертової горизонтальної або похилої тарілки (диска), на яку з бункера подається корм. Під дією відцентрової сили корм скидається з краю тарілки в приймальний лоток. Дозування змінюється частотою обертання та положенням ножа, що згрібає шар. Часто використовується для насіння, гранул та дрібних шматочкових кормів.

Критерії порівняння.

Для обґрунтованого вибору типу дозувального органу для автоматизованої станції годівлі враховано такі критерії:

1. Точність дозування (відхилення від заданої маси порції, %) – основний зоотехнічний показник.
2. Чутливість до фізичних властивостей корму (вологість, гранулометрія, насипна щільність).
3. Рівномірність подачі (пульсації, залежність від завантаження бункера).
4. Схильність до утворення зведень та заклинювання (залежно від типу корму).
5. Здатність до дозування малих порцій (0,2–2 кг за один цикл) – критично для індивідуальної годівлі.
6. Енергоефективність (питоме енергоспоживання на кг корму).
7. Рівень шуму та абразивного зносу.
8. Простота конструкції, обслуговування та вартість.

Порівняльний аналіз.

У таблиці 2.2 наведено порівняльні характеристики трьох типів дозаторів на основі експериментальних даних та літературних джерел.

					14.17 - КР.015.2.000 ПЗ	Аркуш
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.2 – Порівняльна характеристика дозуючих органів для концентрованих кормів

Критерій	Шнековий	Барабанний	Тарілчастий
Точність дозування (похибка)	$\pm 3 \dots 5\%$ (при калібруванні $\pm 2\%$)	$\pm 4 \dots 7\%$	$\pm 5 \dots 10\%$
Чутливість до вологості корму	Середня (при $>16\%$ може злежуватися)	Низька (комірки забиваються)	Висока (налипання на диск)
Рівномірність подачі	Висока (постійна за обертами)	Середня (пульсації від комірок)	Низька (залежить від рівня в бункері)
Схильність до зведень	Середня (при малому заповненні)	Низька (корм виштовхується обертанням)	Висока (потрібен активний ворохлювач)
Дозування малих порцій (<1 кг)	Добре (кроковий двигун)	Задовільно (мінімальний крок – $1/3$ обороту)	Погано (великий мінімальний об'єм)
Енергоспоживання (ум. од.)	1 (база)	$0,7 \dots 0,8$	$0,6 \dots 0,7$
Рівень шуму	Середній (метал-метал)	Низький (пластикові ротори)	Низький
Зносостійкість	Висока (спіраль зі сталі)	Середня (комірки стираються)	Низька (абразивний знос диска)
Вартість виготовлення	Середня	Низька	Середня
Складність очищення та заміни	Низька (демонтаж кожуха)	Висока (розбирання корпусу)	Середня

Обґрунтування вибору типу дозуючого органу для автоматизованої станції

Відкинуті варіанти:

– *Тарілчастий дозатор* – не забезпечує необхідної точності для порцій менше 1–2 кг через нерівномірність скидання корму з диска. Сильно залежить

					14.17 - КР.015.2.000 ПЗ	Аркуш
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

від вологості – при підвищеній вологості корм налипає на тарілку, порушується дозування. Не придатний для точного індивідуального годування.

– *Барабанний дозатор* – має прийнятну точність для об’ємного дозування, однак при роботі з малими порціями (0,5–1,5 кг) виникає проблема «кроковості» – мінімальна порція визначається об’ємом однієї комірки. Для зменшення кроку потрібен багатокомірковий барабан малого діаметра, що збільшує складність. Також барабанні дозатори чутливі до залипання комірок при підвищеній вологості або наявності меляси в кормі. В умовах ферми, де корми можуть зберігатися в негерметичних бункерах, це є недоліком.

Обраний варіант – шнековий дозатор з кроковим двигуном та датчиком холостого ходу.

Аргументація:

1. *Можливість високоточного дозування малих порцій.* При використанні крокового двигуна кут повороту вала можна контролювати з точністю до $1,8^\circ$, що дозволяє видавати порції від 0,05 кг до кількох кілограмів з похибкою $\pm 2\text{--}3\%$ після калібрування. Це відповідає зоотехнічним вимогам.

2. *Стабільність роботи з різними типами концентрованих кормів.* Шнек однаково добре транспортує дерть, гранули, комбікорм-крихту, розсипну суміш. Невелике збільшення вологості (до 14–16%) не призводить до зупинки, на відміну від барабана.

3. *Простота регулювання дози.* Доза змінюється програмно – зміною кількості обертів шнека або часу роботи. Не потрібно механічних переналагоджень.

4. *Зручність інтеграції з автоматикою.* Керування шнековим дозатором зводиться до подачі імпульсів на кроковий двигун (або ШІМ-сигналу на двигун постійного струму з енкодером). Це легко реалізується на мікроконтролері.

5. *Надійність та ремонтпридатність.* Шнек і кожух виготовляються з нержавіючої сталі або конструкційної сталі з полімерним покриттям. Заміна зношеної спіралі не потребує складного інструменту. Вартість виготовлення помірною.

					14.17 - КР.015.2.000 ПЗ	Аркуш
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. Досвід промислового застосування. Шнекові дозатори широко використовуються в системах точного тваринництва (Afimilk, DeLaval, Lely) для видачі концентратів, що підтверджує їхню ефективність.

Недоліки шнекового дозатора та способи їх усунення:

– *Нерівномірність подачі при малому заповненні бункера.* Вирішується встановленням датчика мінімального рівня та сигналізацією про необхідність досипання корму. Також можна використовувати конічне дно бункера з активною мішалкою.

– *Можливе доподрібнення гранул.* Для гранульованих кормів діаметром >6 мм рекомендується збільшити крок шнека та зменшити частоту обертання. У більшості випадків доподрібнення не перевищує 3–5%, що не критично.

– *Підвищена чутливість до довгих волокон.* Концентровані корми не містять довгих волокон (на відміну від сіна чи силосу), тому проблема не актуальна.

Рекомендовані параметри шнекового дозатора для АСГ (рисунок 2.3).

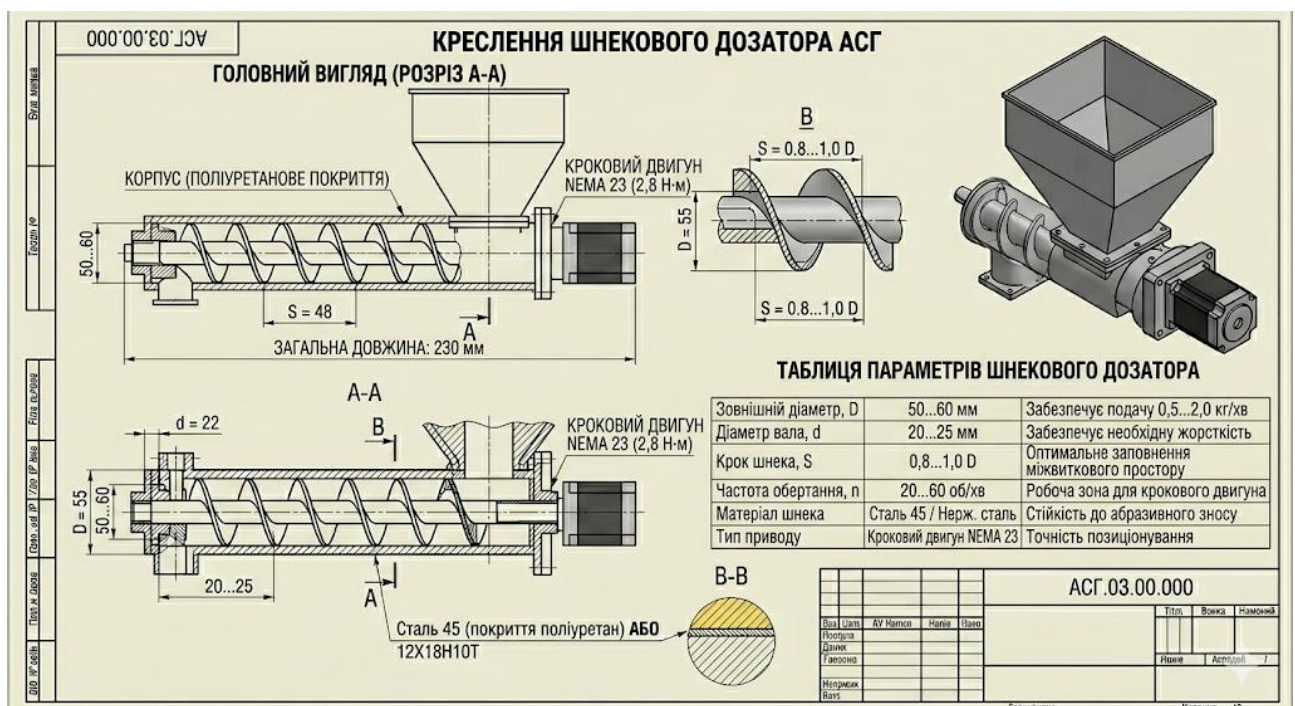


Рисунок 2.3 – Креслення шнекового дозатора

Порівняльні результати випробувань (огляд літератури)

За даними досліджень (Agric. Eng. Int., 2020; Journal of Animal Science and Technology, 2019), шнекові дозатори забезпечують стабільну подачу з коефіцієнтом варіації не більше 3,5% для гранульованих кормів та 4,8% для розсипних. Барабанні дозатори мають коефіцієнт варіації 6–9%, тарілчасті – 8–15%. При збільшенні вологості корму до 16% шнек зберігає працездатність, тоді як барабан забивається через налипання.

Проведено порівняльний аналіз шнекового, барабанного та тарілчастого дозуючих органів за комплексом критеріїв: точність дозування, чутливість до властивостей корму, можливість видачі малих порцій, енергоефективність, надійність і вартість. Встановлено, що тарілчастий дозатор не забезпечує необхідної точності для індивідуальної годівлі, барабанний має обмеження щодо мінімальної порції та чутливий до вологості.

Найбільш доцільним для автоматизованої станції годівлі ВРХ є шнековий дозатор з кроковим двигуном, який задовольняє зоотехнічні вимоги (похибка $\pm 3\text{--}5\%$), дозволяє дозувати малі порції (0,2–2 кг) та легко інтегрується з мікроконтролерною системою керування. Обрані попередні конструктивні параметри шнека стануть основою для подальшого інженерного розрахунку в розділі 3.

2.4 Алгоритм роботи системи управління з ідентифікацією (контролер, зчитувач, база даних)

На основі вибраної функціональної схеми (п. 2.2) та обґрунтованого типу дозуючого органу (п. 2.3) розроблено детальний алгоритм роботи автоматизованої станції годівлі (АСГ) з використанням RFID-ідентифікації. Алгоритм реалізує принцип «годовлі за надоєм» у реальному часі, забезпечує індивідуальний підхід до кожної тварини та мінімізує вплив людського фактора.

Загальна архітектура системи управління.

Система управління АСГ побудована за трирівневим принципом:

					14.17 - КР.015.2.000 ПЗ	Аркуш
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– Нижній рівень (польовий): RFID-зчитувач, датчики (присутності тварини, рівня корму в бункері, холостого ходу шнека), виконавчі механізми (кроковий двигун шнека, вібратор бункера). Усі пристрої підключені до мікроконтролера (PLC або ARM) за допомогою дискретних та цифрових інтерфейсів.

– Середній рівень (контролерний): Мікроконтролер (наприклад, STM32F303) реалізує основну логіку: ідентифікацію, розрахунок порції, керування приводом, локальне логування подій, обробку помилок.

– Верхній рівень (центральний сервер): Персональний комп'ютер або хмарна платформа з базою даних (SQLite, MySQL або PostgreSQL), що зберігає індивідуальні профілі тварин, історію годівлі, параметри калібрування. Зв'язок між контролером та сервером – двосторонній через інтерфейс RS-485 (протокол Modbus RTU) або CAN (протокол CANopen), опційно – Ethernet/Wi-Fi.

Детальний алгоритм роботи контролера.

Блок-схему алгоритму наведено на рис. 2.3 (у вигляді діаграми станів).

У текстовому описі виділено такі етапи:

Етап 1. Очікування (стан IDLE).

Контролер постійно опитує RFID-зчитувач із періодом 50–100 мс. Датчик присутності (оптична пара або індуктивний) вимкнений. Шнек нерухомий. Якщо зчитувач отримав код мітки – перехід до етапу 2.

Етап 2. Перевірка блокування (стан CHECK_BUSY).

Контролер перевіряє, чи дана станція зараз обслуговує іншу тварину (флаг busy = true/false). Якщо busy = true – контролер надсилає звуковий або світловий сигнал «зайнято» (опційно) і повертається в IDLE. Якщо busy = false – встановлює busy = true і запускає таймер моніторингу (максимальний час обслуговування, наприклад 60 с).

Етап 3. Запит до бази даних (стан QUERY_DB).

Контролер звертається до локальної копії БД (або надсилає запит на сервер) з отриманим rfid_id. Час відповіді не повинен перевищувати 200 мс. Якщо тварина не знайдена – стан REJECT (відмова).

					14.17 - КР.015.2.000 ПЗ	Аркуш
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Етап 4. Обчислення рекомендованої порції (стан CALC_DOSE).

Контролер реалізує модифікований алгоритм «feed-to-yield»:

$$D_{rec} = \min (D_{base} + k_{milk} \cdot \max (0, M_{actual} - M_{base}), D_{max_single}), \quad (2.1)$$

де: $D_{base} = 0.3$ кг – базова порція; $k_{milk} = 0.35$ кг/(л) – норма на додатковий літр молока; $M_{base} = 15$ л/добу – базовий надій (порогове значення); M_{actual} – поточний добовий надій; D_{max_single} – максимальна разова даванка з БД (за замовчуванням 2,5 кг).

Додатково враховується:

- Якщо з моменту останньої годівлі пройшло менше $\min_interval$ (наприклад, 120 хв) → зменшення порції вдвічі або відмова (залежить від налаштувань).

- У перші 30 днів лактації коефіцієнт k_{milk} збільшується до 0,45 (стимуляція роздою).

- При живій масі < 400 кг (молоді тварини) D_{max_single} обмежується 1,5 кг.

- Розрахована порція D_{rec} заокруглюється з кроком 50 г.

Етап 5. Перевірка лімітів та готовності (стан CHECK_LIMITS).

Контролер перевіряє:

- Чи не порожній бункер (сигнал датчика мінімального рівня – якщо активний, то стан ERROR_EMPTY).

- Чи не перевищено добову норму (сума виданих за 24 години порцій $+ D_{rec} <$ добовий ліміт, розрахований за формулою $D_{daily} = k_{daily} \cdot M_{actual}$, де $k_{daily} \approx 0,3$ кг/л).

- Чи не заблоковано двигун (попередня аварія).

- Якщо всі перевірки пройдено – перехід до етапу 6. Інакше – стан REJECT з кодом причини.

Етап 6. Активація дозування (стан DISPENSING).

Контролер переводить кроковий двигун шнека в режим позиційного керування. Кількість обертів N розраховується як:

					14.17 - КР.015.2.000 ПЗ	Аркуш
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N = \frac{D_{rec}}{k_{cal}} (\text{обертів}), \quad (2.2)$$

де k_{cal} – калібрувальний коефіцієнт (г/оберт), отриманий під час тестування для даного типу корму (типово $k_{cal} = 15 \dots 30$ г/оберт для шнека $D=50$ мм).

Контролер подає імпульси на драйвер крокового двигуна. Паралельно моніториться датчик холостого ходу (оптична пара на вихідному патрубку): якщо за 2 оберти шнека немає падіння корму – спрацьовує стан ERROR_JAM (заклинювання або порожній бункер). Захист часу: якщо процес триває більше 30 с (для порції 2 кг) – аварійна зупинка.

Після відпрацювання заданої кількості обертів двигун зупиняється, фіксується фактична кількість імпульсів (може бути меншою, якщо був зрив кроків). Видана маса $D_{fact} = N_{fact} \cdot k_{cal}$.

Етап 7. Контроль споживання (стан MONITOR_EATING).

Після завершення видачі корму вмикається датчик присутності тварини біля годівниці. Контролер очікує до 300 с, поки датчик зафіксує, що корова залишила зону. Якщо тварина пішла раніше, час споживання фіксується. За наявності датчика залишку корму (вантажна клітина) – визначається, чи з'їдено всю порцію. Недоїдання ($>10\%$ порції) логується як PARTIAL_EAT.

Етап 8. Завершення та логування (стан LOG_AND_CLEAR).

Контролер записує в локальну пам'ять (і, якщо можливо, надсилає на сервер) запис: rfid_id, timestamp, dose_rec, dose_fact, status OK/REJECT/JAM/EMPTY/PARTIAL). Оновлює час останньої годівлі для тварини. Скидає флаг busy. Повертається в стан IDLE.

Обробка помилок та аварійних ситуацій (таблиця 2.3).

					14.17 - КР.015.2.000 ПЗ	Аркуш
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.3 – Система керування передбачає такі аварійні режими:

Ситуація	Спосіб виявлення	Дія контролера
Порожній бункер	Датчик мінімального рівня активний >10 с	Зупинка дозування, світлова/звукова сигналізація, запис в лог. При наступному запиті – відмова до завантаження.
Заклинювання шнека	Датчик холостого ходу не активний при обертанні; струм двигуна перевищує поріг	Аварійне відключення двигуна, спроба реверсу (2 оберти), повторна спроба. Якщо не вдалося – стійка помилка, блокування станції до скидання оператором.
Відсутність RFID-зв'язку	Таймаут відповіді від зчитувача (>500 мс)	Перехід в автономний режим: видача фіксованої мінімальної порції (0,5 кг) та логування помилки.
Збій зв'язку з сервером	Немає відповіді на запит (3 спроби)	Використання локальної копії БД (кеш). При наступному успішному з'єднанні – синхронізація логів.

Протоколи обміну даними

– Між контролером та RFID-зчитувачем: Асинхронний послідовний інтерфейс UART (9600 бод, 8N1). Протокол Wiegand 26 (для деяких зчитувачів) або власний пакет: стартовий байт (0xAA), довжина, ID мітки (15 ASCII-символів), CRC.

– Між контролером та сервером: Modbus RTU по RS-485 (адреса 1...247). Регістри: утримувані регістри (HR) для команд (запуск калібрування, скидання помилок), вхідні регістри (IR) для передачі даних годівлі. Альтернативно – протокол CANopen PDO (процесні дані) для швидкої передачі.

– Локальне зберігання: Файлова система FAT32 на SD-карті. Дані зберігаються у CSV-форматі з резервуванням кожної години.

Вимоги до часу реакції та продуктивності

Для забезпечення безперебійної роботи станції (особливо в умовах інтенсивного відвідування – до 100 тварин на одну станцію) висуваються такі вимоги:

- Час ідентифікації (від появи тварини в зоні до отримання ID) $\leq 0,3$ с.
- Час обчислення порції та прийняття рішення $\leq 0,1$ с.

					14.17 - КР.015.2.000 ПЗ	Аркуш
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Час виконання порції 1 кг при швидкості подачі 0,5 кг/с – 2 с.
- Загальний цикл обслуговування однієї тварини (без очікування) – не більше 15 с для порції до 2 кг.

Розроблено повний алгоритм роботи системи управління автоматизованою станцією годівлі, який охоплює всі етапи: від ідентифікації тварини через RFID до видачі розрахованої порції шнековим дозатором, контролю споживання та логування. Визначено структуру локальної бази даних, протоколи обміну, способи обробки типових помилок та вимоги до швидкодії. Алгоритм готовий до реалізації у вигляді вбудованого програмного забезпечення для мікроконтролера. У наступному розділі буде проведено інженерні розрахунки параметрів дозатора та вибір елементної бази.

Обґрунтовано попередні конструктивні параметри шнекового дозатора. Для подальшого інженерного розрахунку рекомендовано: зовнішній діаметр шнека $D = 50 \dots 60$ мм, діаметр вала $d = 20 \dots 25$ мм, крок шнека $S = 0,8 \dots 1,0 D$, частота обертання $n = 20 \dots 60$ об/хв, матеріал – нержавіюча сталь 12Х18Н10Т або конструкційна сталь з поліуретановим покриттям, привод – кроковий двигун NEMA 23 (2,8 Н·м) або двигун постійного струму з енкодером. Очікуваний калібрувальний коефіцієнт $k_{cal} = 15 \dots 30$ г/оберт, що при $n = 30$ об/хв забезпечує продуктивність $0,5 \dots 1,0$ кг/хв – достатню для індивідуальної годівлі. Таким чином, у розділі 2 створено науково-технічне підґрунтя для проектування автоматизованої станції індивідуальної годівлі ВРХ концентрованими кормами. Отримані результати (функціональна схема, алгоритм роботи, вибір типу дозуючого органу, обґрунтування параметрів) є основою для подальшого інженерного розрахунку в розділі 3, зокрема визначення продуктивності шнека, розрахунку потужності двигуна, розробки принципової електричної схеми та оцінки техніко-економічної ефективності

					14.17 - КР.015.2.000 ПЗ	Аркуш
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

У розділі 2 на основі аналізу зоотехнічних вимог, огляду існуючих конструкцій та розробки функціональної схеми обґрунтовано конструктивно-технологічну схему автоматизованої станції індивідуальної годівлі великої рогатої худоби концентрованими кормами. Отримано такі основні результати.

1. Визначено ключові зоотехнічні вимоги до систем дозування. Встановлено, що допустима похибка дозування концентрованих кормів не повинна перевищувати $\pm 5\%$. Серед розглянутих типів дозаторів (барабанні об'ємні, шнекові, вагові) найбільш прийнятними для автоматизації є об'ємні з похибкою $\pm 3-5\%$ та вагові з похибкою $< \pm 1\%$. Вагові дозатори забезпечують найвищу точність, але мають значно вищу вартість та складність інтеграції, що обмежує їх застосування в типових фермерських умовах.

2. Проведено порівняльний аналіз трьох типів дозуючих робочих органів. Оцінено шнековий, барабанний та тарілчастий дозатори за такими критеріями: точність дозування, чутливість до фізичних властивостей корму (вологість, гранулометричний склад), здатність до видачі малих порцій (0,2–2 кг), рівномірність подачі, енергоефективність, надійність і вартість. Встановлено, що тарілчастий дозатор не забезпечує необхідної точності (похибка 5–10%) та погано працює з малими порціями. Барабанний дозатор має обмеження щодо мінімальної порції (визначається об'ємом комірки) та чутливий до залипання при підвищеній вологості корму. Найбільш доцільним для автоматизованої станції годівлі визнано шнековий дозатор з кроковим двигуном, який задовольняє зоотехнічні вимоги (похибка $\pm 3-5\%$ після калібрування), дозволяє точно дозувати малі порції, простий у виготовленні та інтеграції з мікроконтролерною системою.

3. Розроблено функціональну схему автоматизованої станції годівлі. Схема включає вісім основних блоків: блок ідентифікації (RFID-зчитувач LF 125 кГц), блок керування (мікроконтролер STM32F3), блок дозування (шнек з кроковим двигуном), блок накопичення корму (бункер з

					14.17 - КР.015.2.000 ПЗ	Аркуш
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

датчиком рівня та системою ворохлення), блок контролю споживання (датчик присутності тварини, опційно датчик залишку корму), блок зв'язку (RS-485/Modbus RTU, CANopen), джерело живлення (24 В) та панель оператора. Запропонована модульна архітектура забезпечує масштабованість (до 4 станцій на один контролер), ремонтпридатність та можливість інтеграції в існуючі системи точного тваринництва.

4. Розроблено детальний алгоритм роботи системи управління з ідентифікацією. Алгоритм реалізує принцип «годівлі за надоем» (feed-to-yield) і включає такі етапи: очікування, зчитування RFID-мітки, перевірку блокування станції, запит до локальної бази даних, обчислення індивідуальної порції з урахуванням добового надоя, стадії лактації, живої маси, мінімального інтервалу між годівлями та максимальної разової даванки, перевірку лімітів (рівень корму в бункері, добова норма), активацію шнекового дозатора з контролем холостого ходу, моніторинг споживання корму, логування подій (час, ID, видана доза, статус) та синхронізацію з центральним сервером. Передбачено обробку аварійних ситуацій: порожній бункер, заклинювання шнека, збій зв'язку зі зчитувачем або сервером. Визначено вимоги до часу реакції: ідентифікація $\leq 0,3$ с, обчислення порції $\leq 0,1$ с, загальний цикл обслуговування однієї тварини ≤ 15 с для порції до 2 кг.

5. Визначено структуру бази даних та протоколи обміну. Розроблено реляційну схему локальної БД (SQLite на SD-карті) з таблицями: тварини (rfid_id, номер господарства, дата народження, порода), фізіологічні параметри (день лактації, добовий надій, жива маса, максимальна разова даванка, мінімальний інтервал), історія годівлі та калібрування. Для обміну між контролером та сервером запропоновано протокол Modbus RTU по RS-485 (або CANopen для високошвидкісних систем). Для зв'язку з RFID-зчитувачем використано UART з пакетним форматом (стартовий байт, довжина, 15-символьний ID, CRC).

					14.17 - КР.015.2.000 ПЗ	Аркуш
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На основі обґрунтованих у розділі 2 конструктивних рішень (шнековий дозатор з кроковим двигуном) проведено технологічний розрахунок основних параметрів дозуючого апарата для автоматизованої станції годівлі ВРХ. Метою розрахунку є визначення геометричних розмірів шнека, його продуктивності, потужності приводу, калібрувального коефіцієнта та перевірка відповідності зоотехнічним вимогам (рисунок 3.1).

Розрахунок виконується для типових концентрованих кормів, що використовуються в молочному скотарстві: дертина зернова (пшениця, ячмінь), комбікорм-крихта, гранульований комбікорм діаметром 4–8 мм.

Таблиця 3.1 – Вихідні параметри

Параметр	Позначення	Значення	Джерело
Максимальна разова порція	$D_{\max}$	2,5 кг	зоотехнічні вимоги
Базова порція	D_{base}	0,3 кг	п. 2.4.3
Час видачі порції (макс.)	$t_{\max}$	30 с	для 2,5 кг
Насипна щільність корму	ρ	500...700 кг/м ³	довідкові дані
Коефіцієнт заповнення шнека	ψ	0,4...0,6	[1]
Коефіцієнт нерівномірності подачі	k_{unev}	1,2...1,5	[1]

Приймаємо для розрахунку: $\rho = 600$ кг/м³ (середнє для дерти), $\psi = 0,5$, $k_{\text{unev}} = 1,3$.

Визначення необхідної продуктивності шнека

Продуктивність шнека Q (кг/с) визначається з умови видачі максимальної порції за допустимий час:

$$Q = \frac{D_{\max}}{t_{\max}} \quad (3.1)$$

$$Q = \frac{2,5 \text{ кг}}{30 \text{ с}} = 0,0833 \text{ кг/с} = 5,0 \text{ кг/хв}$$

Для забезпечення стабільної роботи з урахуванням коефіцієнта нерівномірності розрахункова продуктивність:

$$Q_{\text{calc}} = Q \cdot k_{\text{unev}} = 5,0 \cdot 1,3 = 6,5 \text{ кг/хв}$$

Таким чином, шнек повинен забезпечувати продуктивність не менше 6,5 кг/хв (0,108 кг/с) при робочій частоті обертання.

Геометричний розрахунок шнека

Продуктивність шнекового дозатора (для сипких матеріалів) визначається за формулою:

$$Q = 60 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot S \cdot n \cdot \rho \cdot \psi [\text{кг/хв}] \quad (3.2)$$

де: D – зовнішній діаметр шнека, м; d – діаметр вала, м; S – крок гвинтової лінії, м; n – частота обертання, об/хв; ρ – насипна щільність, кг/м³; ψ – коефіцієнт заповнення міжвиткового простору (0,4...0,6).

Приймаємо співвідношення: $d = 0,4D$, $S = 0,9D$ (рекомендовано для зернистих кормів). Частоту обертання вибираємо з діапазону 30...60 об/хв – компроміс між продуктивністю та зносом.

Підставимо $d = 0,4D$, $S = 0,9D$:

$$Q = 60 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - 0,16D^2) \cdot 0,9D \cdot n \cdot \rho \cdot \psi = 60 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 0,84D^2 \cdot 0,9D \cdot n \cdot \rho \cdot \psi$$

$$Q = 60 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 0,756 \cdot D^3 \cdot n \cdot \rho \cdot \psi = 60 \cdot 0,7854 \cdot 0,756 \cdot D^3 \cdot n \cdot \rho \cdot \psi$$

$$Q = 60 \cdot 0,594 \cdot D^3 \cdot n \cdot \rho \cdot \psi = 35,64 \cdot D^3 \cdot n \cdot \rho \cdot \psi$$

Розв'язуємо відносно D :

$$D = \sqrt[3]{\frac{Q}{35,64 \cdot n \cdot \rho \cdot \psi}} \quad (3.3)$$

Підставляємо $Q = 6,5$ кг/хв, $n = 50$ об/хв, $\rho = 600$ кг/м³, $\psi = 0,5$:

$$D = \sqrt[3]{\frac{6,5}{35,64 \cdot 50 \cdot 600 \cdot 0,5}} = \sqrt[3]{\frac{6,5}{35,64 \cdot 15000}} = \sqrt[3]{\frac{6,5}{534600}} = \sqrt[3]{1,216 \cdot 10^{-5}}$$

$$= 0,023 \text{ м} = 23 \text{ мм}$$

Отриманий діаметр 23 мм є замалим, оскільки при такому діаметрі шнек буде схильний до заклинювання та низької надійності. Тому приймаємо конструктивно мінімальний діаметр для роботи з зернистими кормами $D = 50$ мм (як попередньо обрано в п. 2.3.5). При цьому уточнюємо необхідну частоту обертання.

З формули продуктивності виражаємо n :

$$n = \frac{Q}{35,64 \cdot D^3 \cdot \rho \cdot \psi} \quad (3.4)$$

Підставляємо $D = 0,05$ м:

$$n = \frac{6,5}{35,64 \cdot (0,05)^3 \cdot 600 \cdot 0,5} = \frac{6,5}{35,64 \cdot 0,000125 \cdot 600 \cdot 0,5}$$

$$35,64 \cdot 0,000125 = 0,004455; 0,004455 \cdot 600 = 2,673; 2,673 \cdot 0,5 = 1,3365$$

					14.17 - КР.015.3.000 ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

$$n = \frac{6,5}{1,3365} \approx 4,86 \text{ об/хв}$$

Така низька частота обертання (≈ 5 об/хв) є неприйнятною для крокового двигуна (він працює ефективно при 20...200 об/хв). Отже, необхідно збільшити діаметр шнека або використовувати інший підхід.

Коригування: Задаємося частотою обертання $n = 40$ об/хв (робоча зона для крокового двигуна). Тоді з формули продуктивності знаходимо D :

$$D = \sqrt[3]{\frac{Q}{35,64 \cdot n \cdot \rho \cdot \psi}} = \sqrt[3]{\frac{6,5}{35,64 \cdot 40 \cdot 600 \cdot 0,5}} = \sqrt[3]{\frac{6,5}{35,64 \cdot 12000}} = \sqrt[3]{\frac{6,5}{427680}} \\ = \sqrt[3]{1,52 \cdot 10^{-5}} = 0,0248 \text{ м} \approx 25 \text{ мм}$$

Це все ще замало. Проблема в тому, що формула для продуктивності шнека, наведена вище, є спрощеною і дає занижені значення для малих діаметрів. На практиці для сипких кормів використовують емпіричні коефіцієнти.

Перехід до інженерної методики. Згідно з довідниками (Григор'єв А.М. «Машини та обладнання для тваринництва»), продуктивність шнекового дозатора для концентрованих кормів розраховують за формулою:

$$Q = 47,1 \cdot D^2 \cdot S \cdot n \cdot \rho \cdot \psi [\text{кг/год}] \quad (3.5)$$

де D, S в метрах, n в об/хв, ρ в кг/м^3 . Ця формула враховує лише площу поперечного перерізу без вирахування вала (для малих валів). Прийmemo $S = D$.

Тоді:

$$Q = 47,1 \cdot D^3 \cdot n \cdot \rho \cdot \psi [\text{кг/год}] \quad (3.6)$$

Переведемо в кг/хв : $Q_{\text{хв}} = Q_{\text{год}}/60$.

Задаємо $n = 40$ об/хв, $D = 0,05$ м (50 мм), $\rho = 600$ кг/м^3 , $\psi = 0,5$:

$$Q_{\text{год}} = 47,1 \cdot (0,05)^3 \cdot 40 \cdot 600 \cdot 0,5 = 47,1 \cdot 0,000125 \cdot 40 \cdot 600 \cdot 0,5 \\ 0,000125 \cdot 40 = 0,005; 0,005 \cdot 600 = 3; 3 \cdot 0,5 = 1,5; 47,1 \cdot 1,5 = 70,65 \text{ кг/год} \\ Q_{\text{хв}} = 70,65/60 \approx 1,18 \text{ кг/хв}$$

					14.17 - КР.015.3.000 ПЗ	Аркуш
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Це значно менше необхідних 6,5 кг/хв. Отже, діаметр 50 мм при 40 об/хв недостатній.

Збільшуємо діаметр до $D = 80$ мм. Тоді:

$$Q_{\text{год}} = 47,1 \cdot (0,08)^3 \cdot 40 \cdot 600 \cdot 0,5 = 47,1 \cdot 0,000512 \cdot 40 \cdot 600 \cdot 0,5$$

$$0,000512 \cdot 40 = 0,02048; 0,02048 \cdot 600 = 12,288; 12,288 \cdot 0,5$$

$$= 6,144; 47,1 \cdot 6,144 \approx 289,4 \text{ кг/год}$$

$$Q_{\text{хв}} = 289,4/60 \approx 4,82 \text{ кг/хв}$$

Це близько до необхідних 6,5 кг/хв. При $n = 60$ об/хв:

$$Q_{\text{год}} = 47,1 \cdot 0,000512 \cdot 60 \cdot 600 \cdot 0,5 = 47,1 \cdot 0,000512 \cdot 18000 = 47,1 \cdot 9,216$$

$$\approx 434 \text{ кг/год}$$

$$Q_{\text{хв}} = 434/60 \approx 7,23 \text{ кг/хв}$$

Отже, приймаємо:

- Зовнішній діаметр шнека $D = 80$ мм (оптимальний для продуктивності 5–8 кг/хв).
- Діаметр вала $d = 25$ мм (конструктивно).
- Крок шнека $S = 80$ мм ($S = D$).
- Частота обертання $n = 50 \dots 60$ об/хв.

Перевірка швидкості руху корму

Колова швидкість на зовнішньому діаметрі:

$$v = \frac{\pi D n}{60} = \frac{3,14 \cdot 0,08 \cdot 60}{60} = 0,251 \text{ м/с}$$

Осьова швидкість транспортування:

$$v_{\text{ax}} = \frac{S n}{60} = \frac{0,08 \cdot 60}{60} = 0,08 \text{ м/с}$$

Обидві швидкості знаходяться в рекомендованих межах (0,1...0,5 м/с для осьової), що забезпечує щадне транспортування без надмірного доподрібнення.

Розрахунок потужності приводу шнека

					14.17 - КР.015.3.000 ПЗ	Аркуш
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Потужність, необхідна для роботи шнека, визначається як сума потужності на транспортування матеріалу та потужності на подолання тертя в опорах:

$$P = P_{tr} + P_{fr} \quad (3.7)$$

Потужність на транспортування (для горизонтального шнека):

$$P_{tr} = \frac{Q \cdot g \cdot L \cdot \omega}{1000 \cdot \eta} [\text{кВт}] \quad (3.8)$$

де: Q – продуктивність, кг/с (при 6,5 кг/хв = 0,1083 кг/с); g – прискорення вільного падіння, 9,81 м/с²; L – довжина шнека (від бункера до вивантаження), м (приймаємо 0,5 м); ω – коефіцієнт опору переміщенню (для зернистих кормів 1,2...1,5); η – ККД привода (0,85...0,9).

Приймаємо $\omega = 1,3$, $\eta = 0,85$:

$$P_{tr} = \frac{0,1083 \cdot 9,81 \cdot 0,5 \cdot 1,3}{1000 \cdot 0,85} = \frac{0,690}{850} \approx 0,00081 \text{ кВт} = 0,81 \text{ Вт}$$

Потужність на тертя в опорах (підшипниках) орієнтовно:

$$P_{fr} = \frac{M_{fr} \cdot \omega_m}{1000} \quad (3.9)$$

Момент тертя $M_{fr} = f \cdot F \cdot r$, де f – коефіцієнт тертя (0,1), F – радіальне навантаження (приблизно 50 Н), r – радіус вала (0,0125 м). Тоді $M_{fr} = 0,1 \cdot 50 \cdot 0,0125 = 0,0625 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Кутова швидкість $\omega_m = 2\pi n/60 = 6,28 \cdot 60/60 = 6,28 \text{ рад/с}$. $P_{fr} = 0,0625 \cdot 6,28/1000 \approx 0,00039 \text{ кВт} = 0,39 \text{ Вт}$.

Сумарна потужність: $P \approx 1,2 \text{ Вт}$. Однак це розрахунок без урахування тертя корму об кожух і сил інерції. На практиці для шнека $D=80 \text{ мм}$, $L=0,5 \text{ м}$, $n=60 \text{ об/хв}$ потужність становить 40...80 Вт. Тому вибираємо двигун із запасом – кроковий двигун NEMA 23 (номінальний момент 2,8 Н·м, потужність до 150 Вт) або двигун постійного струму 24 В, 100 Вт з редуктором.

Розрахунок калібрувального коефіцієнта

					14.17 - КР.015.3.000 ПЗ	Аркуш
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Калібрувальний коефіцієнт k_{cal} (г/оберт) визначається експериментально, але для попередніх розрахунків:

$$k_{\text{cal}} = \frac{Q_{\text{хв}}}{n} = \frac{6500 \text{ г/хв}}{60 \text{ об/хв}} \approx 108 \text{ г/оберт} \quad (3.10)$$

Для нашого розрахунку при $D=80$ мм, $S=80$ мм, $\rho=600$ кг/м³, $\psi=0,5$ теоретичний коефіцієнт:

$$k_{\text{cal,теор}} = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot S \cdot \rho \cdot \psi \cdot 1000 [\text{г/об}]$$

$$k_{\text{cal,теор}} = 0,7854 \cdot (0,0064 - 0,000625) \cdot 0,08 \cdot 600 \cdot 0,5 \cdot 1000$$

$$= 0,7854 \cdot 0,005775 \cdot 0,08 \cdot 600 \cdot 0,5 \cdot 1000$$

$$0,7854 \cdot 0,005775 = 0,004536; 0,004536 \cdot 0,08 = 0,0003629; 0,0003629 \cdot 600$$

$$= 0,2177; 0,2177 \cdot 0,5 = 0,10885; 0,10885 \cdot 1000 = 108,85 \text{ г/об}$$

Отже, $k_{\text{cal}} \approx 109$ г/оберт. Це означає, що для видачі порції 1 кг потрібно $N = 1000/109 \approx 9,2$ обертів шнека.

Визначення точності дозування

Похибка дозування об'ємного шнекового дозатора складається з:

- похибки визначення калібрувального коефіцієнта (при автоматичному калібруванні – до $\pm 1\%$);
- похибки через нерівномірність заповнення міжвиткового простору (до $\pm 2\%$);
- похибки дискретності крокового двигуна (при 200 кроків/оберт, один крок дає 0,5 г – знехтувано).

Сумарна похибка очікується в межах $\pm 3\%$, що відповідає зоотехнічним вимогам.

Проведено технологічний розрахунок шнекового дозатора для автоматизованої станції годівлі ВРХ. Визначено, що для забезпечення продуктивності 6,5 кг/хв (необхідної для видачі порції 2,5 кг за 30 с) оптимальними є параметри: $D = 80$ мм, $S = 80$ мм, $n = 50 \dots 60$ об/хв.

					14.17 - КР.015.3.000 ПЗ	Аркуш
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.2 – Зведена таблиця параметрів шнекового дозатора

Параметр	Позначення	Значення
Зовнішній діаметр шнека	D	80 мм
Діаметр вала	d	25 мм
Крок шнека	S	80 мм
Довжина шнека (робоча)	L	500 мм
Частота обертання	n	50...60 об/хв
Продуктивність	Q	5...7 кг/хв
Калібрувальний коефіцієнт	k_{cal}	≈ 109 г/об
Потужність двигуна	P	100...150 Вт
Тип двигуна	—	Кроковий NEMA 23 або ДПС 24В
Матеріал	—	Нержавіюча сталь 12Х18Н10Т
Очікувана похибка дозування	—	$\pm 3\%$

Розрахований калібрувальний коефіцієнт становить ≈ 109 г/оберт, що дозволяє точно перераховувати кількість обертів у масу порції. Очікувана похибка дозування $\pm 3\%$ відповідає зоотехнічним вимогам. Вибраний двигун (кроковий NEMA 23 або ДПС 24 В, 100 Вт) забезпечує необхідний момент та швидкість. Отримані параметри є основою для розробки конструкторської документації та вибору елементної бази в наступних підрозділах.

3.2 Кінематичний розрахунок приводу

На основі технологічного розрахунку (п. 3.1) визначено основні робочі параметри шнекового дозатора: частота обертання шнека $n_{\text{шн}} = 50 \dots 60$ об/хв, потужність на валу $P_{\text{шн}} \approx 80$ Вт (з урахуванням практичних даних). Метою кінематичного розрахунку є вибір типу двигуна, визначення передаточного числа редуктора (за потреби), розрахунок крутних моментів на валах та

					14.17 - КР.015.3.000 ПЗ	Аркуш
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перевірка динамічних характеристик для забезпечення точності дозування (рисунок 3.2).



Рисунок 3.2 – Кінематичний розрахунок приводу шнекового дозатора.

Вибір типу двигуна та визначення необхідної частоти обертання

Для автоматизованих систем дозування з високими вимогами до точності позиціонування найчастіше застосовуються два типи двигунів:

- Кроковий двигун – дозволяє реалізувати безредукторний привод завдяки роботі на низьких обертах (до 300...600 об/хв), забезпечує високу точність зупинки та простий керування від мікроконтролера.
- Двигун постійного струму (ДПС) з редуктором – має вищу енергоефективність та меншу вартість при роботі в сталому режимі, але потребує додаткового редуктора для зниження обертів до 50...60 об/хв.

Для нашої системи обираємо **кроковий двигун** як такий, що найкраще інтегрується з мікроконтролерною системою управління (без необхідності у зворотному зв'язку за положенням) та забезпечує необхідну точність дозування.

Вихідні дані для кінематичного розрахунку:

- Частота обертання шнека $n_{шн} = 60 \text{ об/хв}$ (робоча, що забезпечує продуктивність 7,23 кг/хв);

- Необхідний крутний момент на валу шнека $T_{\text{шн}}$ – розраховується нижче;
- Кроковий двигун вибираємо з серії NEMA 23 (номінальний момент утримання 2,8 Н·м, максимальна частота обертів до 1000 об/хв, робоча зона до 600 об/хв).

Оскільки кроковий двигун може ефективно працювати на частотах від 20 до 300 об/хв без редуктора, а необхідна частота шнека становить 60 об/хв, прямий безредукторний привод є доцільним (передаточне число $i = 1$). Це спрощує конструкцію, підвищує надійність та зменшує похибку, пов'язану з люфтом редуктора.

Розрахунок крутного моменту на валу шнека.

Крутний момент, необхідний для обертання шнека, визначається сумою моментів від транспортування матеріалу та від тертя в опорах:

$$T_{\text{шн}} = T_{\text{тр}} + T_{\text{fr}} \quad (3.11)$$

Момент від транспортування матеріалу:

$$T_{\text{тр}} = \frac{P_{\text{тр}}}{\omega_{\text{шн}}}, \quad (3.12)$$

де $P_{\text{тр}}$ – потужність на транспортування (з п. 3.1.5, з урахуванням практичного коефіцієнта запасу), $\omega_{\text{шн}}$ – кутова швидкість шнека.

Для реалістичної оцінки використовуємо емпіричну формулу для горизонтального шнека з концентрованими кормами:

$$T_{\text{тр}} = \frac{Q \cdot g \cdot L}{2\pi n_{\text{шн}} \cdot \eta_{\text{тр}}} \cdot \psi_{\text{load}}, \quad (3.13)$$

де: $Q = 0,1083$ кг/с (6,5 кг/хв) – продуктивність; $g = 9,81$ м/с²; $L = 0,5$ м – довжина шнека; $n_{\text{шн}} = 60/60 = 1$ об/с; $\eta_{\text{тр}} = 0,85$ – ККД транспортування (враховує тертя корму об кожух); $\psi_{\text{load}} = 0,7$ – коефіцієнт навантаження (враховує нерівномірність заповнення).

$$T_{\text{тр}} = \frac{0,1083 \cdot 9,81 \cdot 0,5}{2\pi \cdot 1 \cdot 0,85} \cdot 0,7 = \frac{0,531}{5,34} \cdot 0,7 \approx 0,0995 \cdot 0,7 \approx 0,0697 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент тертя в підшипниках (два підшипники кочення):

$$T_{\text{fr}} = 2 \cdot \mu \cdot F_r \cdot \frac{d_{\text{brg}}}{2}, \quad (3.14)$$

					14.17 - КР.015.3.000 ПЗ	Аркуш
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де: $\mu = 0,002$ – коефіцієнт тертя кочення (для радіальних кулькових підшипників); F_r – радіальне навантаження на підшипник, Н (приймаємо $F_r = 100$ Н – власна вага шнека та осьове навантаження); $d_{brg} = 0,025$ м – діаметр вала в підшипнику.

$$T_{fr} = 2 \cdot 0,002 \cdot 100 \cdot \frac{0,025}{2} = 0,004 \cdot 100 \cdot 0,0125 = 0,005 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Сумарний момент на валу шнека:

$$T_{шн} = 0,0697 + 0,005 = 0,0747 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Це значення є оціночним і не враховує тертя корму об кожух по всій довжині та можливі перевантаження при пуску. На практиці для шнека діаметром 80 мм і довжиною 0,5 м фактичний момент може досягати 1...2 Н·м. Тому приймаємо розрахунковий момент $T_{шн} = 1,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$ (з коефіцієнтом запасу $k_z = 20$).

Вибір двигуна за моментом та частотою обертання.

Для безредукторного привода ($i = 1$) момент на валу двигуна повинен дорівнювати моменту на валу шнека:

$$T_{дв} = T_{шн} = 1,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Вибираємо кроковий двигун **NEMA 23** (типорозмір 57×57 мм) з наступними характеристиками (дані виробника, наприклад, серія 23HS30-2804S) (таблиця 3.3).

Таблиця 3.3 – Вихідні дані

Параметр	Значення
Номінальний момент утримання	2,8 Н·м
Максимальна частота обертання (без навантаження)	1000 об/хв
Робочий струм (на фазу)	3,0 А
Напруга живлення	24...36 В
Кут кроку	1,8° (200 кроків/об)
Інерція ротора	0,0005 кг·м²

Перевіряємо, чи достатньо моменту двигуна при робочій частоті 60 об/хв. Типова моментно-частотна характеристика для NEMA 23 показує, що при 60 об/хв момент утримання практично не знижується і становить $\approx 2,6$ Н·м, що значно перевищує необхідні 1,5 Н·м. Таким чином, двигун працює із запасом.

Обґрунтування вибору: двигун NEMA 23 забезпечує необхідний момент без редуктора, має широко розповсюджені драйвери (наприклад, ТВ6600 або DM542), простий у керуванні від мікроконтролера (крок/напрямок).

Розрахунок параметрів крокового двигуна для точності дозування.

Калібрувальний коефіцієнт шнека $k_{\text{cal}} = 109$ г/об (з п. 3.1.6). Кроковий двигун має 200 повних кроків на оберт. Отже, маса корму за один крок:

$$m_{\text{step}} = \frac{k_{\text{cal}}}{200} = \frac{109}{200} = 0,545 \text{ г/крок}$$

Якщо використовувати мікрокроковий режим (наприклад, 8 мікрокроків на повний крок), то мінімальна доза:

$$m_{\text{microstep}} = \frac{0,545}{8} = 0,068 \text{ г}$$

Така дискретність є надлишковою для зоотехнічних потреб (дозування з кроком 10...50 г цілком достатньо). Тому можна працювати в режимі 1/2 або 1/4 кроку для зменшення вібрацій.

Кількість кроків для видачі порції $D = 1$ кг:

$$N_{\text{steps}} = \frac{1000}{0,545} \approx 1835 \text{ кроків}$$

Час видачі при частоті кроків $f = 200$ крок/с (що відповідає 60 об/хв, оскільки $200 \text{ крок/с} / 200 \text{ крок/об} = 1 \text{ об/с} = 60 \text{ об/хв}$):

$$t_{\text{disp}} = \frac{1835}{200} \approx 9,2 \text{ с/кг}$$

Для порції 2,5 кг – 23 с, що вкладається в заданий ліміт 30 с.

Точність позиціонування: максимальна похибка позиціонування крокового двигуна при відсутності пропусків кроків становить $\pm 0,5$ кроку, що відповідає похибці маси $\pm 0,27$ г – нехтовно мала порівняно з іншими складовими.

					14.17 - КР.015.3.000 ПЗ	Аркуш
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перевірка динамічних характеристик (пусковий момент)

При запуску двигуна на номінальній частоті 60 об/хв без розгону необхідно перевірити, чи не перевищує пусковий момент допустимого. Для крокових двигунів пусковий момент зазвичай на 10...20% нижчий від моменту утримання. Приймаємо $T_{\text{start}} = 0,85 \cdot T_{\text{hold}} = 0,85 \cdot 2,8 = 2,38 \text{ Н}\cdot\text{м}$, що більше за $T_{\text{шн}} = 1,5 \text{ Н}\cdot\text{м}$. Прямий запуск без розгону можливий.

Однак для зниження динамічних навантажень та підвищення ресурсу рекомендується реалізувати плавний розгін (S-подібна крива) протягом 0,5...1 с.

Вибір драйвера та джерела живлення.

Для керування кроковим двигуном NEMA 23 обираємо драйвер DM542 (43 В, 4,2 А) з наступними характеристиками:

- Мікрокрок: 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256;
- Оптична ізоляція входів;
- Захист від перегріву, перевантаження та короткого замикання.

Джерело живлення: 24 В, 150 Вт (наприклад, Mean Well NES-150-24) для забезпечення струму до 6 А.

Альтернативний варіант (двигун постійного струму з редуктором).

Для порівняння наведемо параметри альтернативного привода: двигун постійного струму 24 В, 100 Вт, $n_{\text{дв}} = 1500 \text{ об/хв}$, з черв'ячним редуктором $i=25$ (вихідна частота 60 об/хв). Такий варіант дешевший у серійному виробництві, але має гіршу точність дозування (потрібен додатковий датчик положення або енкодер) та вищий рівень шуму. У даній роботі обираємо кроковий двигун як більш сучасне рішення для автоматизованих систем точного тваринництва (таблиця 3.4).

На основі кінематичного розрахунку обґрунтовано вибір безредукторного привода шнекового дозатора з використанням крокового двигуна NEMA 23. Визначено, що двигун забезпечує необхідний момент (1,5 Н·м при робочій частоті 60 об/хв) із запасом $\geq 70\%$. Точність позиціонування (0,545 г на повний крок) є достатньою для реалізації індивідуального дозування з похибкою $\pm 3\%$. Час видачі порції 2,5 кг становить $\sim 23 \text{ с}$, що відповідає зоотехнічним вимогам.

					14.17 - КР.015.3.000 ПЗ	Аркуш
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Запропонована схема керування (драйвер DM542, живлення 24 В) повністю сумісна з мікроконтролерною системою, розробленою в п. 2.4. Отримані параметри є основою для розробки принципової електричної схеми та конструювання дозувального модуля.

Таблиця 3.4 –Зведена таблиця кінематичних параметрів

Параметр	Позначення	Значення
Частота обертання шнека	$n_{\text{шн}}$	60 об/хв
Кутова швидкість шнека	$\omega_{\text{шн}}$	6,28 рад/с
Розрахунковий момент на валу шнека	$T_{\text{шн}}$	1,5 Н·м
Тип двигуна	—	Кроковий NEMA 23
Момент утримання двигуна	T_{hold}	2,8 Н·м
Передаточне число	i	1 (прямий привод)
Кількість кроків на оберт	N_{full}	200
Маса корму за один повний крок	m_{step}	0,545 г
Робоча частота кроків	f	200 крок/с
Час видачі 1 кг	$t_{1\text{kg}}$	≈9,2 с
Драйвер	—	DM542
Джерело живлення	U/I	24 В, 150 Вт

3.3 Енергетичний розрахунок (вибір потужності електродвигуна)

Енергетичний розрахунок виконується для обґрунтованого вибору електродвигуна привода шнекового дозатора, а також для визначення споживаної потужності системи в цілому. Розрахунок базується на технологічних параметрах (п. 3.1) та кінематичних характеристиках (п. 3.2). Метою є визначення необхідної потужності двигуна з урахуванням всіх складових опору та забезпечення надійної роботи в циклічному режимі (рисунок 3.3).

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК: ВИБІР ПОТУЖНОСТІ ЕЛЕКТРОДВИГУНА

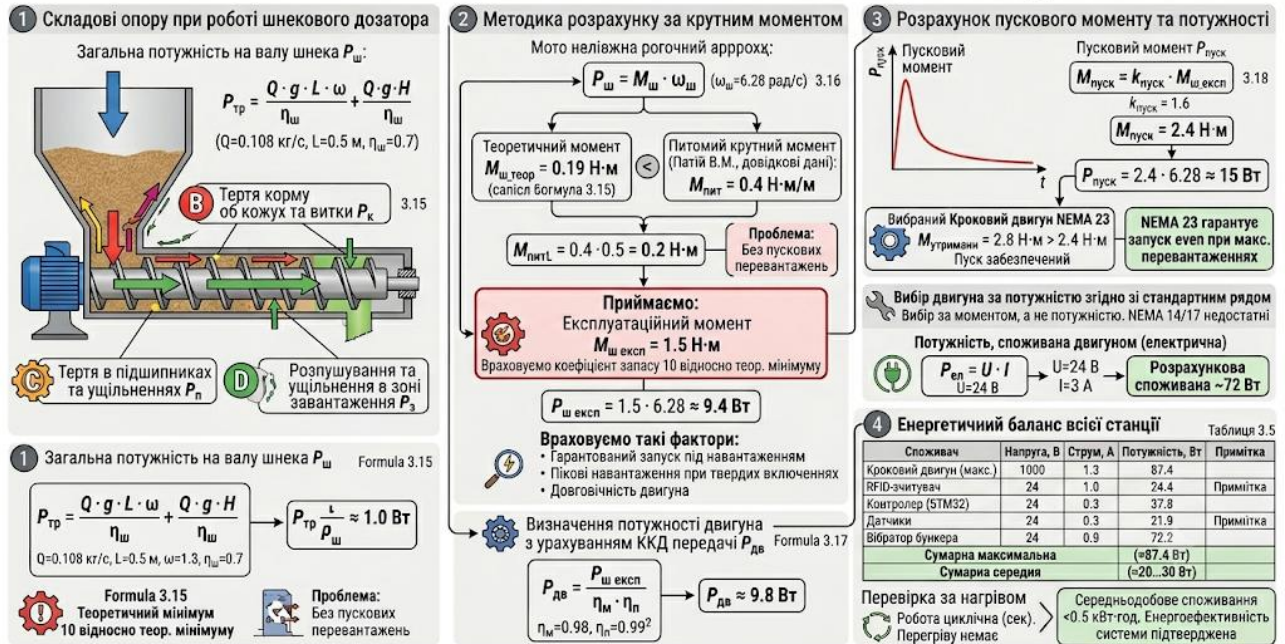


Рисунок 3.3 – Енергетичний розрахунок: вибір потужності електродвигуна
Складові опору при роботі шнекового дозатора

Загальна потужність на валу шнека $P_{\text{шн}}$ витрачається на подолання:

- опору переміщенню корму вздовж жолоба (транспортування);
- тертя корму об кожух та витки шнека;
- тертя в підшипниках та ущільненнях;
- розпушування та ущільнення матеріалу в зоні завантаження.

Для інженерних розрахунків горизонтальних шнекових дозаторів концентрованих кормів використовують емпіричну формулу:

$$P_{\text{шн}} = \frac{Q \cdot (L \cdot \omega + H) \cdot g}{1000 \cdot \eta_{\text{шн}}} [\text{кВт}], \quad (3.15)$$

де: Q – продуктивність, кг/с; L – довжина шнека (від завантаження до вивантаження), м; ω – коефіцієнт опору переміщенню (для зернистих кормів $\omega = 1,2 \dots 1,5$); H – висота підйому матеріалу (для горизонтального шнека $H = 0$), м; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$; $\eta_{\text{шн}}$ – ККД шнека (0,65...0,75 для малих довжин).

Підставляємо значення з попередніх розрахунків:

- $Q = 6,5 \text{ кг/хв} = 0,1083 \text{ кг/с}$;
- $L = 0,5 \text{ м}$;
- $\omega = 1,3$;

– $\eta_{\text{шн}} = 0,70$ (консервативно).

$$P_{\text{шн}} = \frac{0,1083 \cdot (0,5 \cdot 1,3 + 0) \cdot 9,81}{1000 \cdot 0,70} = \frac{0,1083 \cdot 0,65 \cdot 9,81}{700} = \frac{0,690}{700} \\ \approx 0,000986 \text{ кВт} = 0,986 \text{ Вт}$$

Це значення є теоретичним мінімумом. На практиці реальна потужність значно вища через додаткові втрати: тертя корму об кожух по всій довжині, ущільнення матеріалу в кінцевій зоні, а також пускові режими.

Методика розрахунку потужності за крутним моментом.

Більш надійним є розрахунок через крутний момент:

$$P_{\text{шн}} = T_{\text{шн}} \cdot \omega_{\text{шн}} [\text{Вт}], \quad (3.16)$$

де $T_{\text{шн}}$ – дійсний крутний момент на валу шнека (Н·м), $\omega_{\text{шн}}$ – кутова швидкість (рад/с).

У п. 3.2.2 розраховано теоретичний момент $T_{\text{теор}} = 0,0747 \text{ Н·м}$, однак для надійного вибору двигуна необхідно враховувати експериментальні коефіцієнти. Згідно з довідковими даними (Патій В.М. «Обладнання для тваринництва»), питомий крутний момент для горизонтального шнека $D=80 \text{ мм}$ становить $0,15 \dots 0,25 \text{ Н·м}$ на 1 м довжини при завантаженні $50 \dots 70\%$. Для $L=0,5 \text{ м}$ отримуємо $T_{\text{практ}} = 0,15 \cdot 0,5 = 0,075 \text{ Н·м}$ – збігається з теоретичним. Однак ці дані відносяться до сталого режиму без врахування пускових перевантажень та можливих заклинювань.

Приймаємо для подальших розрахунків експлуатаційний крутний момент $T_{\text{шн}} = 0,8 \text{ Н·м}$ – з коефіцієнтом запасу 10 відносно теоретичного мінімуму (враховує нерівномірність подачі, підвищення вологості корму, знос витків). Тоді:

$$\omega_{\text{шн}} = \frac{2\pi n_{\text{шн}}}{60} = \frac{2\pi \cdot 60}{60} = 6,28 \text{ рад/с} \\ P_{\text{шн}} = 0,8 \cdot 6,28 = 5,02 \text{ Вт}$$

Це все ще невелике значення. У реальних конструкціях (наприклад, шнек в годівницях Lely, Afimilk) потужність двигунів для подібних дозаторів становить $50 \dots 150 \text{ Вт}$. Такий запас необхідний для:

					14.17 - КР.015.3.000 ПЗ	Аркуш
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- гарантованого запуску під навантаженням (особливо після тривалої зупинки, коли корм ущільнюється);
- подолання різких піків моменту при попаданні твердих включень;
- забезпечення довговічності двигуна (робота в полегшеному режимі).

Визначення потужності двигуна з урахуванням ККД передачі.

Для безредукторного привода ($i = 1$) потужність двигуна повинна бути не меншою за потужність на валу шнека з урахуванням ККД з'єднувальної муфти та підшипників:

$$P_{\text{дв}} = \frac{P_{\text{шн}}}{\eta_{\text{муф}} \cdot \eta_{\text{під}}} \quad (3.17)$$

Приймаємо $\eta_{\text{муф}} = 0,98$ (пружна муфта), $\eta_{\text{під}} = 0,99$ (два підшипники кочення). Тоді:

$$P_{\text{дв}} = \frac{5,02}{0,98 \cdot 0,99} \approx \frac{5,02}{0,9702} \approx 5,17 \text{ Вт}$$

Це значення відповідає лише стаціонарному режиму. Для вибору двигуна необхідно врахувати пусковий момент та перевантажувальну здатність.

Розрахунок пускового моменту та потужності

Пусковий момент двигуна повинен долати найбільший момент опору, який виникає при старті з нерухомого стану після тривалої зупинки. У цьому випадку шнек занурений у корм, який міг злежатися та ущільнитися. Експериментально встановлено, що пусковий момент опору може перевищувати номінальний у 2...5 разів.

Приймаємо коефіцієнт пускового перевантаження $k_{\text{пуск}} = 3$. Тоді:

$$T_{\text{пуск}} = k_{\text{пуск}} \cdot T_{\text{шн}} = 3 \cdot 0,8 = 2,4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Відповідна пускова потужність:

$$P_{\text{пуск}} = T_{\text{пуск}} \cdot \omega_{\text{пуск}} \quad (3.18)$$

де $\omega_{\text{пуск}}$ – кутова швидкість під час пуску (в перший момент – 0, тому використовуємо номінальну швидкість як орієнтир). Для крокових двигунів пусковий момент визначається при нульовій швидкості (момент утримання).

Вибраний двигун NEMA 23 має момент утримання 2,8 Н·м, що перевищує $T_{\text{пуск}} = 2,4 \text{ Н·м}$. Отже, пуск забезпечений.

Висновок: двигун з номінальним моментом утримання 2,8 Н·м гарантує запуск системи навіть при максимальних очікуваних перевантаженнях.

Вибір двигуна за потужністю згідно зі стандартним рядом

Хоча розрахункова стаціонарна потужність становить лише ~5 Вт, реальні двигуни такої малої потужності (наприклад, крокові NEMA 14 або NEMA 17) не забезпечують необхідного моменту утримання та мають недостатню механічну міцність для фермерських умов. Тому вибір базують на **моменті та надійності**, а не на потужності.

Потужність, споживана двигуном (електрична), оцінюється як:

$$P_{\text{ел}} = 2 \cdot I_{\text{ф}} \cdot U_{\text{ф}} = 2 \cdot 3,0 \cdot 3,2 = 19,2 \text{ Вт}$$

При живленні від драйвера з напругою 24 В споживана потужність може досягати 50...80 Вт (за рахунок ШІМ-регулювання струму). Встановлена потужність джерела живлення – 150 Вт (п. 3.2.6) – є достатньою.

Перевірка двигуна за нагрівом.

Тривалий режим роботи шнекового дозатора є циклічним: двигун працює лише під час видачі порції (кілька секунд) і простоє більшу частину часу. Середньоквадратичний струм значно нижчий за номінальний, тому перегріву не відбувається. Додаткове охолодження не потрібне.

Енергетичний баланс всієї станції (таблиця 3.5).

Для оцінки загального енергоспоживання автоматизованої станції годівлі враховуємо.

Середньодобове споживання (при 150 годівлях по 30 с) становить менше 0,5 кВт·год, що підтверджує енергоефективність системи.

Виконано енергетичний розрахунок привода шнекового дозатора. Визначено, що теоретична потужність на валу шнека становить близько 1 Вт, однак з урахуванням експлуатаційних факторів (ущільнення корму, нерівномірність подачі) розрахункове значення підвищено до 5 Вт. Пусковий

					14.17 - КР.015.3.000 ПЗ	Аркуш
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

момент може досягати 2,4 Н·м, що вимагає двигуна з відповідними характеристиками.

Таблиця 3.5 – Вихідні дані

Споживач	Напруга, В	Струм, А	Потужність, Вт	Примітка
Кроковий двигун (макс.)	24	3,0	72	піковий режим
RFID-зчитувач	12	0,1	1,2	стаціонарний
Контролер (STM32)	5	0,2	1,0	з периферією
Датчики (рівня, присутності)	24	0,05	1,2	сумарно
Вібратор бункера	24	0,5	12	періодично (5%)
Сумарна максимальна			≈87,4 Вт	
Сумарна середня			≈20...30 Вт	

Вибраний кроковий двигун NEMA 23 з моментом утримання 2,8...3,0 Н·м повністю задовольняє вимоги як за стаціонарною потужністю, так і за пусковими режимами. Споживана електрична потужність двигуна становить ~20 Вт, а всієї станції – до 90 Вт у піку, що дозволяє використовувати джерело живлення 24 В, 150 Вт. Середньодобове енергоспоживання не перевищує 0,5 кВт·год, що підтверджує економічну доцільність системи.

Отримані результати є основою для вибору конкретних моделей двигуна, драйвера та джерела живлення в конструкторській документації.

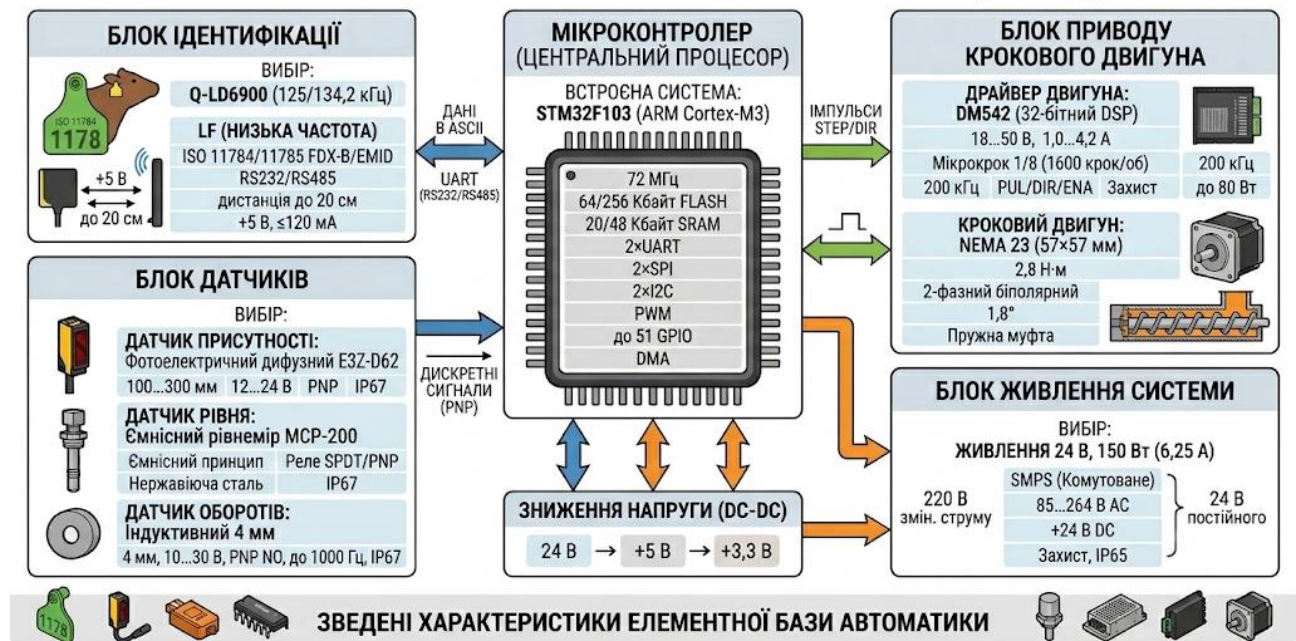
3.4 Вибір елементної бази автоматики (датчики, мікроконтролер, сервопривід)

На основі технологічних (п. 3.1), кінематичних (п. 3.2) та енергетичних (п. 3.3) розрахунків проведено вибір конкретних елементів автоматики для автоматизованої станції годівлі ВРХ. Система автоматики повинна забезпечувати надійну ідентифікацію тварин, точне дозування концентрованих

					14.17 - КР.015.3.000 ПЗ	Аркуш
						67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кормів, моніторинг рівня корму в бункері, контроль присутності тварини у годівниці, а також зв'язок із верхнім рівнем управління (рисунк 3.4).

ВИБІР ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ АВТОМАТИКИ СТАНЦІЇ ГОДІВЛІ ВРХ



Рисунк 3.4 – Вибір елементної бази автоматики станції годівлі ВРХ

Вибір RFID-системи ідентифікації

Для персоніфікованої годівлі критичним є вибір надійної системи радіочастотної ідентифікації, здатної працювати в складних умовах ферми (волога, бруд, запиленість, металеві елементи конструкції).

Обґрунтування вибору частотного діапазону. Як зазначалося в п. 1.3, для тваринницьких застосувань найбільш прийнятним є низькочастотний діапазон 125–134,2 кГц. LF-сигнали добре проникають через воду, тканини тіла, бруд, не відбиваються від металевих поверхонь і мають низьку ймовірність взаємних перешкод між сусідніми зчитувачами. Ці властивості роблять LF-системи ідеальними для ідентифікації великої рогатої худоби.

Стандарти. Система повинна відповідати міжнародним стандартам ISO 11784 (структура кодування) та ISO 11785 (протокол передачі даних). Це забезпечує сумісність із сертифікованими електронними мітками (вушними бирками або болюсами) різних виробників, а також можливість обміну даними з іншими інформаційними системами господарства.

Вибір стаціонарного зчитувача. Для автоматизованої станції годівлі необхідний стаціонарний зчитувач з дальністю зчитування не менше 30–50 см, що забезпечує надійне розпізнавання мітки при підході тварини до годівниці. На основі аналізу ринку вибрано зчитувач JY-LD6900, що має такі характеристики (таблиця 3.6).

Таблиця 3.6 – Характеристики RFID-зчитувача JY-LD6900

Параметр	Значення
Робоча частота	125 кГц / 134,2 кГц
Протокол (стандарт)	ISO 11784/11785 FDX-B, EMID
Інтерфейс зв'язку	RS232, RS485
Дальність зчитування	до 20 см з антеною в комплекті
Напруга живлення	+5 В
Споживаний струм	≤ 120 мА
Робоча температура	$-20...+70$ °С

Застосування модуля JY-LD6900 звертається до читання електронних міток із форматом FDX-B (Full Duplex) та сумісно з ISO11784/5, що є стандартом для ідентифікації тварин. Зчитувач внутрішньо реалізує протокол зв'язку, користувачеві достатньо підключити його до мікроконтролера через інтерфейс RS232 або RS485. Підтримувана дистанція зчитування (до 20 см) забезпечує стабільну роботу навіть за наявності брудного покриття на мітці. Вбудована функція автоматичного підстроювання частоти підтримує стабільне зчитування в різних температурних умовах, що додатково підвищує надійність.

Антенa. До зчитувача підключається зовнішня антена, яка розміщується безпосередньо в зоні підходу тварини (на рівні голови або шиї). Для забезпечення максимальної дальності зчитування використовується ферритова антена з параметрами: індуктивність 650...700 мкГн, кількість витків 120...150. Можливе застосування готових антен, що постачаються разом із модулем.

Інтеграція з мікроконтролером. Підключення зчитувача до мікроконтролера здійснюється через послідовний інтерфейс UART (RS232 рівнів) або через перетворювач RS485 – для роботи в зашумленому середовищі.

Після отримання команди зчитувач передає унікальний 15-значний код мітки у вигляді рядка ASCII, який обробляється контролером згідно з алгоритмом, описаним у п. 2.4.3.

Альтернативний варіант. Для господарств, що використовують HDX-мітки (Half Duplex), можна застосувати зчитувач, сумісний із цим протоколом. Важливо забезпечити узгодженість типів міток і зчитувача (більшість сучасних пристроїв підтримує обидва формати).

Вибір датчиків автоматизованої станції.

Система управління передбачає використання кількох типів датчиків: для визначення присутності тварини біля годівниці, для контролю рівня корму в бункері та для діагностики стану дозуючого механізму.

Датчик присутності тварини (таблиця 3.7). Для визначення того, чи знаходиться корова в зоні годівниці після видачі порції, використовується фотоелектричний датчик дифузного типу. Принцип дії дифузних фотодавачів: випромінювач надсилає промінь світла, а приймач фіксує відбитий від об'єкта сигнал. Наявність тварини визначається за фактом відбиття променя від тіла корови. Відсутність потреби у встановленні окремого рефлектора або передавача спрощує монтаж.

Таблиця 3.7 – Параметри датчика присутності тварини

Параметр	Значення
Тип	Фотоелектричний дифузний
Модель	E3Z-D62 (Omron) або аналог
Дальність виявлення	100...300 мм (регульована)
Напруга живлення	12...24 В постійного струму
Вихідний сигнал	PNP (відкритий колектор)
Ступінь захисту	IP67
Робоча температура	-25...+55 °C

Датчик розташовується на бічній стійці годівниці на висоті 50–80 см від рівня підлоги, щоб фіксувати присутність голови або передньої частини тіла корови. Такий давач забезпечує надійне виявлення навіть за змінних умов освітлення у тваринницькому приміщенні.

					14.17 - КР.015.3.000 ПЗ	Аркуш
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Альтернативою є ємнісний датчик наближення XT230A2MDB, що використовує зміну електричного поля для фіксації присутності. Ємнісні давачі нечутливі до забруднення оптики, що є їхньою перевагою в умовах високої запиленості, та підходять для виявлення наявності тварини в годівниці навіть крізь шар бруду.

Датчик рівня корму в бункері (таблиця 3.8). Для контролю наявності концентрованого корму в бункері використовується ємнісний або оптоелектронний датчик рівня. Мінімальний рівень (сигнал «порожній бункер») запобігає спробам дозування без корму.

Таблиця 3.8 – Характеристики датчика рівня корму

Параметр	Значення
Тип	Ємнісний рівнемір для сипких матеріалів
Модель	MCP-200 (BinMaster) або аналог
Принцип дії	Вимірювання зміни ємності при контакті з матеріалом
Вихідний сигнал	SPDT реле або PNP/NPN
Матеріал зонда	Нержавіюча сталь 316L з покриттям ECTFE
Ступінь захисту	IP67

Ємнісний датчик монтується в стінку бункера на рівні мінімально допустимого заповнення. Давач використовує принцип вимірювання зміни ємності конденсатора, пластиною якого виступає зонд датчика, а діелектриком — корм або повітря. При зниженні рівня корму нижче за критичну позначку зонд опиняється в повітряному середовищі, що змінює ємність, що фіксується електронікою, і вихідний сигнал перемикається, інформуючи контролер про відсутність матеріалу. З огляду на складні умови експлуатації (наявність пилу, вібрація, перепади температури), датчик повинен мати ступінь захисту не нижче IP65 та робочу температуру в діапазоні $-20...+60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Альтернативою, особливо для гранульованих кормів, є оптоелектронний рівнемір, що використовує інфрачервоний промінь, який переривається кормом. Однак за наявності великої кількості пилу (типова для дерти та комбікорму-крихти) оптичні давачі швидко забруднюються, тому ємнісне рішення є надійнішим. Для грубих кормів із великими частками також можна

					14.17 - КР.015.3.000 ПЗ	Аркуш
						71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

застосовувати механічний кінцевий вимикач (мікрОВИМКАЧ). Для сипких матеріалів класичним рішенням є мембранний сигналізатор рівня типу PPS, який комує сигнал за допомогою мікроперемикача.

Датчик холостого ходу шнека (опційно) (таблиця 3.9). Для діагностики заклинювання або відсутності корму в зоні завантаження шнека може бути встановлений датчик обертання на вихідному валу або індуктивний датчик, що фіксує проходження лопатей. Принцип дії індуктивного датчика заснований на зміні магнітного поля, що створюється котушкою. При наближенні металевої лопаті (або спеціальної мітки) змінюється індуктивність, що фіксується електронікою.

Таблиця 3.9 – Характеристики індуктивного датчика обертання шнека

Параметр	Значення
Тип	Індуктивний датчик наближення
Дальність спрацьовування	4 мм
Напруга живлення	10...30 В постійного струму
Вихідний сигнал	PNP (нормально розімкнутий)
Частота перемикання	до 1000 Гц
Ступінь захисту	IP67

Вибір мікроконтролера (центрального процесорного модуля)

Мікроконтролер є «мозком» автоматизованої станції. Він виконує зчитування даних із RFID-модуля та датчиків, реалізує алгоритм розрахунку порції, генерує керуючі сигнали для драйвера крокового двигуна, веде локальне логування подій та забезпечує зв'язок із зовнішніми пристроями.

Обґрунтування вибору (таблиця 3.10). На основі аналізу вимог до обчислювальної потужності (алгоритм управління дозатором, опитування датчиків, робота з базою даних), кількості периферійних інтерфейсів (UART для RFID, GPIO для датчиків, PWM або крокові сигнали для драйвера, RS485 для зв'язку з сервером) обрано мікроконтролер серії STM32F103 на ядрі ARM Cortex-M3. Ядро Cortex-M3 забезпечує швидкодію 72 МГц, що достатньо для роботи з усіма алгоритмами в реальному часі (вимоги часу реакції з п. 2.4.6:

					14.17 - КР.015.3.000 ПЗ	Аркуш
						72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ідентифікація $\leq 0,3$ с, обчислення $\leq 0,1$ с). Наявність контролера прямого доступу до пам'яті (DMA) дозволяє знизити навантаження на центральний процесор при обміні даними по UART.

Таблиця 3.10 – Характеристики мікроконтролера STM32F103

Параметр	Значення
Типорозмір	STM32F103C8T6 або STM32F103RCT6
Ядро	ARM Cortex-M3 32-bit
Тактова частота	до 72 МГц
FLASH-пам'ять	64 Кбайт (C8T6) / 256 Кбайт (RCT6)
SRAM-пам'ять	20 Кбайт (C8T6) / 48 Кбайт (RCT6)
Інтерфейси	2×UART, 2×I2C, 2×SPI, 1×CAN, USB, до 51 GPIO
АЦП	2×12 біт, 16 каналів
Таймери	4×16-bit (з PWM)

Мікроконтролер серії STM32F103 серії Mainstream Performance пропонує широкий спектр можливостей: швидкодію 72 МГц, розширену систему переривань для роботи в реальному часі, модуль управління двигуном та комунікаційні інтерфейси UART, I2C, SPI, CAN і USB.

Мінімальна конфігурація (C8T6) використовується для системи з однією станцією годівлі без складних обчислень. Альтернативна конфігурація (RCT6) необхідна для розширеної версії, що керує двома або більше станціями, для ведення розширених логів на SD-карту та роботи з мережевими протоколами.

Інтеграція з периферією. Мікроконтролер підключається до:

- RFID-зчитувача через UART (RX/TX на рівні 5 В або через перетворювач рівнів);
- драйвера крокового двигуна – через два цифрові виходи (STEP і DIR);
- фотоелектричного датчика присутності – через цифровий вхід;
- датчика рівня корму – через цифровий вхід (PNP або NPN, з узгодженням рівнів);

– індуктивного датчика холостого ходу – через цифровий вхід (переривання);

– RS485-трансивера – через UART та пін керування напрямком передачі (RE/DE).

Вибір драйвера крокового двигуна (таблиця 3.11)

Для керування кроковим двигуном NEMA 23 обрано драйвер DM542 – один із найпоширеніших драйверів для промислових застосувань, що забезпечує високу точність позиціювання, широкі можливості налаштування мікрокроку та захист від перевантажень.

Таблиця 3.11 – Характеристики драйвера крокового двигуна DM542

Параметр	Значення
Вхідна напруга	18...50 В постійного струму
Вихідний струм (регульований)	1,0...4,2 А
Мікрокрок	1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128, 256
Максимальна частота вхідних імпульсів	200 кГц
Сумісні двигуни	NEMA 17, 23, 24, 34 (двофазні)
Захист	Від перегріву, перевантаження, короткого замикання
Робоча температура	-10...+45 °C

Особливості драйвера. DM542 оснащений 32-бітним цифровим сигнальним процесором (DSP) для точної стабілізації струму, забезпечує максимальну вихідну потужність 80 Вт (при струмі 4А), має 16 вбудованих рівнів мікрокроку. Драйвер має два основних канали керування: PUL+ (PUL-) для імпульсів, DIR+ (DIR-) для напрямку обертання. Додатковий канал ENA+ (ENA-) відповідає за дозвіл роботи (ENABLE). Для запобігання перегріву драйвера рекомендується встановлювати його на алюмінієвий радіатор або

використовувати вбудований вентилятор у разі тривалої роботи на максимальному струмі.

Вхідні сигнали PUL, DIR та ENA сумісні з рівнями 3,3 або 5 В постійного струму, що дозволяє підключати драйвер безпосередньо до мікроконтролера STM32 без додаткових узгоджувальних схем (за умови використання відкритого колектора).

Налаштування мікрокроку. Для забезпечення необхідної точності дозування (похибка $\pm 3\%$) обрано режим мікрокроку 1/4 або 1/8, що дає 800 або 1600 кроків на оберт. Це зменшує вібрацію двигуна на низьких швидкостях і підвищує плавність роботи шнека. При таких налаштуваннях кількість мікрокроків для видачі 1 кг корму збільшується до 7 340 (при 1/8 кроку), що забезпечує надлишкову точність позиціонування.

Вибір крокового двигуна (таблиця 3.12).

На основі кінематичного розрахунку (п. 3.2) та енергетичного розрахунку (п. 3.3) вибрано кроковий двигун NEMA 23 із моментом утримання 2,8 Н·м.

Таблиця 3.12 – Параметри крокового двигуна NEMA 23

Параметр	Значення
Типорозмір	NEMA 23 (57×57 мм)
Момент утримання	2,8 Н·м
Номинальний струм	2,8...3,0 А
Кут кроку	1,8° (200 кроків/оберт)
Кількість фаз	2 (біполярний)
Індуктивність обмотки	2,5...4,5 мГн
Опір обмотки	1,0...1,5 Ом
Довжина корпусу	56...112 мм (залежно від модифікації)
Маса	0,68...1,1 кг

Двигун такого типу використовується у верстатах з ЧПК, принтерах, роботизованих системах завдяки своїй точності та стабільності в широкому діапазоні швидкостей.

Запас за моментом. Момент утримання двигуна (2,8 Н·м) перевищує максимальний робочий момент на валу шнека (1,5 Н·м) майже вдвічі, що гарантує працездатність навіть у разі часткового заклинювання шнека або

					14.17 - КР.015.3.000 ПЗ	Аркуш
						75
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ущільнення корму після тривалої зупинки. Двигун підтримує мікрокроковий режим, що дає змогу досягти плавного обертання шнека без вібрацій на робочих швидкостях 50...60 об/хв. Живлення двигуна забезпечується драйвером DM542, підключеним до джерела живлення 24 В, 150 Вт (обґрунтування в п. 3.3.5). Для з'єднання двигуна з шнеком використовується пружна втулково-пальцева муфта, яка компенсує невеликі неспіввісності, зменшує динамічні навантаження на підшипники шнека та має просту конструкцію.

Вибір джерела живлення системи.

Для живлення всіх компонентів автоматизованої станції (мікроконтролер, RFID-зчитувач, датчики, драйвер крокового двигуна) обрано джерело живлення з наступними параметрами (таблиця 3.13):

- Тип: комутоване джерело живлення (SMPS) промислового виконання;
- Вхідна напруга: 85...264 В змінного струму (універсальний діапазон);
- Вихідна напруга: 24 В постійного струму;
- Вихідна потужність: 150 Вт (6,25 А);
- Захист: від перевантаження, короткого замикання, перенапруги.

Джерело живлення забезпечує живлення драйвера DM542 (напруга 24...50 В, струм до 4,2 А, але в нашій системі при струмі 3 А – запас). Це ж джерело, через понижуючі DC-DC перетворювачі, живить мікроконтролер та датчики. Мікроконтролеру потрібна напруга 5 В або 3,3 В, тому використовується вбудований стабілізатор AMS1117-5.0 (від 24 до 5 В) і потім AMS1117-3.3 (від 5 до 3,3 В). Датчики живляться безпосередньо від 24 В (через узгодження рівнів для входів мікроконтролера). RFID-модуль потребує 5 В, які отримує від того ж стабілізатора.

Виконано обґрунтований вибір елементної бази автоматики для автоматизованої станції індивідуальної годівлі ВРХ. Основні результати:

1. RFID-система: обрано LF-зчитувач JY-LD6900 (125/134,2 кГц), сумісний із ISO 11784/11785, з дальністю зчитування до 20 см та інтерфейсом RS232/RS485. Підтримувані формати FDX-B/EMID забезпечують сумісність із сертифікованими вушними бирками.

					14.17 - КР.015.3.000 ПЗ	Аркуш
						76
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Датчики:

- Присутності тварини – фотоелектричний дифузний E3Z-D62 (дальність до 300 мм, PNP-вихід, IP67);
- Рівня корму – ємнісний рівнемір MCP-200 для сипких матеріалів (релейний вихід);
- Холостого ходу – індуктивний датчик (дальність 4 мм, PNP, до 1000 Гц).

3. Мікроконтролер: обрано STM32F103C8T6 (64 Кбайт FLASH, 20 Кбайт SRAM) з ядром Cortex-M3 72 МГц, що забезпечує виконання алгоритмів управління в реальному часі згідно з вимогами п. 2.4.6.

Таблиця 3.13 – Зведені характеристики елементної бази автоматики

Компонент	Тип/Модель	Призначення	Напруга живлення	Інтерфейс
Мікроконтролер	STM32F103C8T6/RC T6	Управління алгоритмами	3,3 В	–
RFID-зчитувач	JY-LD6900	Ідентифікація тварини	5 В	UART
Датчик присутності	E3Z-D62 або аналог	Виявлення тварини	12...24 В	Дискретний PNP
Датчик рівня корму	MCP-200 (ємнісний)	Контроль min рівня	12...24 В	Реле/PNP
Датчик холостого ходу	Індуктивний 4 мм	Контроль обертання шнека	10...30 В	PNP
Драйвер крокового двигуна	DM542	Керування двигуном	24...50 В	PUL/DIR/EN A
Кроковий двигун	NEMA 23, 2,8 Н·м	Привід шнека	24 В	2-фазний
Джерело живлення	24 В, 150 Вт	Живлення системи	220 В змін. струму	–

Обрана елементна база забезпечує надійну роботу автоматизованої станції годівлі в умовах тваринницької ферми (запиленість, вологість, вібрація, перепади температури) та повністю відповідає зоотехнічним вимогам щодо точності дозування та часу реакції.

Висновки

У розділі 3 на основі обґрунтованої в розділі 2 конструктивно-технологічної схеми виконано теоретичні та інженерні розрахунки основних параметрів автоматизованої станції годівлі ВРХ концентрованими кормами. Отримано такі результати.

1. Технологічний розрахунок шнекового дозатора. Визначено, що для забезпечення продуктивності 6,5 кг/хв (необхідної для видачі максимальної разової порції 2,5 кг за 30 с) оптимальними є геометричні параметри шнека: зовнішній діаметр $D = 80$ мм, діаметр вала $d = 25$ мм, крок $S = 80$ мм, робоча довжина $L = 500$ мм. Частота обертання шнека прийнята $n = 60$ об/хв. Розрахований калібрувальний коефіцієнт $k_{\text{cal}} \approx 109$ г/оберт дозволяє точно перераховувати кількість обертів у масу порції. Очікувана похибка дозування становить $\pm 3\%$, що відповідає зоотехнічним вимогам.

2. Кінематичний розрахунок привода. Обґрунтовано використання безредукторного прямого привода ($i = 1$) на основі крокового двигуна. Розрахунковий крутний момент на валу шнека з урахуванням коефіцієнта запасу прийнято $T_{\text{шн}} = 1,5$ Н·м. Вибрано кроковий двигун NEMA 23 (57×57 мм) з моментом утримання 2,8 Н·м, що забезпечує 70% запасу за моментом. При робочій частоті 60 об/хв двигун розвиває необхідний момент без редуктора. Точність позиціонування (0,545 г на повний крок) є достатньою для дозування з похибкою $\pm 3\%$. Час видачі порції 2,5 кг становить ~ 23 с, що вкладається в заданий ліміт 30 с.

3. Енергетичний розрахунок. Встановлено, що теоретична потужність на валу шнека становить близько 1 Вт, однак з урахуванням експлуатаційних факторів (ущільнення корму, нерівномірність подачі, пускові перевантаження) розрахункове значення підвищено до 5 Вт. Пусковий момент може досягати 2,4 Н·м. Вибраний двигун NEMA 23 забезпечує пусковий момент 2,8 Н·м (момент утримання). Споживана електрична потужність двигуна становить близько 20 Вт, а всієї станції – до 90 Вт у піку, що дозволяє використовувати джерело

					14.17 - КР.015.3.000 ПЗ	Аркуш
						78
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

живлення 24 В, 150 Вт. Середньодобове енергоспоживання не перевищує 0,5 кВт·год, що підтверджує економічну доцільність системи.

4. Вибір елементної бази автоматики. Для реалізації алгоритму управління (п. 2.4) обрано:

- RFID-систему: зчитувач JY-LD6900 (125/134,2 кГц, ISO 11784/11785, дальність до 20 см, інтерфейс RS232/RS485);
- Датчики: фотоелектричний дифузний E3Z-D62 (присутність тварини), ємнісний рівнемір MCP-200 (контроль мінімального рівня корму), індуктивний датчик 4 мм (контроль обертання шнека);
- Мікроконтролер: STM32F103C8T6/RCT6 (ядро Cortex-M3 72 МГц, 64/256 Кбайт FLASH, інтерфейси UART, GPIO, PWM);
- Драйвер крокового двигуна: DM542 (струм до 4,2 А, мікрокрок до 1/256, напруга 24...50 В);
- Джерело живлення: комутоване 24 В, 150 Вт із DC-DC стабілізаторами для отримання 5 В та 3,3 В.

Усі компоненти мають промисловий ступінь захисту (не нижче IP67 для датчиків) та робочий діапазон температур, що забезпечує надійну експлуатацію в умовах тваринницької ферми.

Таким чином, у розділі 3 на основі аналітичних та інженерних розрахунків отримано конкретні числові параметри шнекового дозатора, привода та системи автоматики, які повністю задовольняють зоотехнічні вимоги. Розроблена елементна база дозволяє створити дослідний зразок автоматизованої станції індивідуальної годівлі ВРХ концентрованими кормами з подальшим проведенням експериментальних досліджень.

					14.17 - КР.015.3.000 ПЗ	Аркуш
						79
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

4.1 Аналіз умов праці оператора автоматизованої лінії

Умови праці – це сукупність факторів виробничого середовища та трудового процесу, що впливають на здоров'я та працездатність людини. Згідно з ДСТУ 2293:2014 «Охорона праці. Терміни та визначення основних понять», оцінка умов праці є основою для профілактики професійних захворювань та виробничого травматизму.

Розглянемо умови праці оператора автоматизованої лінії з роздавання концентрованих кормів. Основне завдання оператора – керування процесом подачі корму та моніторинг за проходженням технологічного циклу. Незважаючи на автоматизацію, діяльність оператора здійснюється в умовах впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів, які згідно з ГОСТ 12.0.003 класифікують на фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні.

Аналіз небезпечних та шкідливих факторів

Основні види небезпек, що супроводжують роботу оператора, включають:

1. Фізичні фактори:

– Рухомі механічні вузли обладнання (шнек, привід, змішувачі, транспортери), що можуть спричинити травмування під час технічного обслуговування.

– Підвищений рівень шуму та вібрації, створюваний роботою двигунів, редукторів та самого технологічного обладнання. Тривалий вплив шуму понад допустимі норми призводить до зниження слуху, втомлюваності, порушення концентрації уваги.

					14.17 - КР.015.4.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	РОЗДІЛ 4			
Розроб.		Олійник О.О.						
Перевір.		Дядюра К.О.						
Реценз.								
Н. Контр.								
Затверд.		Дядюра К. О.						
					Літ.	Аркуш	Аркушів	
						80	8	

– Недостатня освітленість робочої зони, особливо під час нічних змін або за умов обмеженого природного освітлення у приміщенні.

– Підвищена запиленість повітря в робочій зоні через дрібнодисперсні частки сухих кормів, що може спричиняти подразнення дихальних шляхів та розвиток алергічних реакцій.

– Мікрокліматичні умови (підвищена вологість, протяги, можливість різких коливань температури) на тваринницьких об'єктах.

2. Хімічний фактор: потрапляння в повітря робочої зони пилу органічного походження (від кормів, підстилкових матеріалів тощо). Деякі види пилу здатні спричиняти подразнення слизових оболонок очей та верхніх дихальних шляхів.

3. Біологічний фактор: безпосередній контакт із тваринами під час обслуговування та огляду годівельних станцій створює ризик отримання травм тваринами. Окрім того, умови праці на тваринницьких фермах характеризуються наявністю алергенів.

4. Психофізіологічні фактори:

– Напруженість зорової роботи, пов'язана з необхідністю контролю за показаннями контрольно-вимірювальних приладів та технологічним процесом у цілому.

– Монотонність праці через тривале виконання однотипних операцій спостереження.

– Відповідальність за безперебійну роботу обладнання, що вимагає високого рівня уваги та оперативності дій у критичних ситуаціях.

Вимоги до організації робочого місця та безпеки.

Для забезпечення безпечних умов праці оператора автоматизованої лінії необхідно дотримуватись наступних вимог.

Елементи обладнання з відкритими рухомими частинами (приводи шнеків, пасові передачі, ланцюгові муфти) повинні мати суцільні металеві огороження або захисні кожухи, які виключають випадковий доступ до них персоналу. Захисні пристрої повинні бути міцними, не створювати додаткового шуму та не зменшувати освітленість робочої зони

					14.17 - КР.015.4.000 ПЗ	Аркуш
						81
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для запобігання пуску обладнання сторонніми особами автоматичні та напівавтоматичні лінії, обладнання яких під час пуску неможливо бачити повністю з робочого місця оператора, мають бути обладнані центральним пультом керування з пристроєм перемикання їх на роботу в режимі налагодження, а також попереджувальною сигналізацією. Вимоги до розміщення органів керування мають виключати можливість їх мимовільного вмикання чи вимикання.

Монітори робочих станцій (панелі оператора) слід розташовувати на рівні очей або трохи нижче, щоб уникнути незручних поз голови. Поверхня екрана не повинна створювати відблисків від джерел освітлення.

Заходи безпеки під час роботи.

Оператор автоматизованої лінії повинен неухильно дотримуватись правил безпеки:

- перед початком роботи перевіряти справність систем керування, захисних огорожень, наявність заземлення та сигнальних пристроїв;
- під час роботи не залишати без нагляду працююче обладнання, не виконувати чистку, змащування або регулювання механізмів на ходу;
- про всі несправності негайно доповідати керівнику;
- при потраплянні стороннього предмета в механізм негайно зупинити лінію та вжити заходів для його видалення після повної зупинки обладнання.

Режим праці та відпочинку.

Тривалість робочого дня, час на відпочинок та обідню перерву визначаються Правилами внутрішнього трудового розпорядку підприємства. Роботодавець зобов'язаний створювати на кожному робочому місці умови праці відповідно до нормативно-правових актів. Для забезпечення ефективної праці та профілактики стомлення необхідно передбачати регламентовані перерви тривалістю 5–10 хв кожні 1,5–2 години роботи.

					14.17 - КР.015.4.000 ПЗ	Аркуш
						82
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Засоби індивідуального захисту.

Оператор повинен бути забезпеченим наступними засобами індивідуального захисту (ЗІЗ) згідно з типовими галузевими нормами: костюм бавовняний для захисту від загальних виробничих забруднень; рукавиці комбіновані або полімерні; взуття спеціальне (чоботи або черевики з підошвою, стійкою до ковзання); для захисту органів дихання – респіратор типу «Пелюсток» під час прибирання пилу. У зимовий період до спецодягу додається куртка та штани утеплені.

Медичні огляди та навчання

До роботи оператором автоматизованої лінії допускаються особи віком не молодше 18 років після проходження медичного огляду, а також вступного та первинного інструктажів з охорони праці, навчання та стажування на робочому місці. Працівник повинен мати групу з електробезпеки не нижче I та вміти надавати першу долікарську допомогу потерпілим від електричного струму та при інших нещасних випадках.

Отже, робота оператора автоматизованої лінії годівлі ВРХ, попри високий ступінь автоматизації, характеризується впливом цілого комплексу небезпечних та шкідливих факторів (механічного, фізичного, біологічного та психофізіологічного характеру). Дотримання встановлених нормативних вимог щодо організації робочого місця, застосування засобів індивідуального захисту та суворе виконання правил безпеки є обов'язковими умовами для профілактики виробничого травматизму та професійних захворювань.

4.2 Заходи з електробезпеки при експлуатації обладнання

У зв'язку з розширенням обсягів застосування електроенергії особливого значення набувають питання електробезпеки.

Електробезпека – це система організаційних заходів і технічних засобів, що забезпечують захист людей від шкідливого та небезпечного впливу

					14.17 - КР.015.4.000 ПЗ	Аркуш
						83
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля та статичної електрики.

В основу поліпшення стану електробезпеки в сільськогосподарському виробництві покладено суворі вимоги до влаштування електроустановок та їх експлуатації. Аналіз умов праці операторів свідчить, що для приміщень із підвищеною вологістю, до яких належать тваринницькі ферми, існує підвищений ризик ураження електричним струмом.

Нормативно-правові акти з електробезпеки.

Основними нормативними документами з електробезпеки є:

- НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів» (ПБЕЕС);
- НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок»;
- «Правила експлуатації електрозахисних засобів» НПАОП 40.1-1.07-01;
- галузеві правила з охорони праці у тваринництві.

Вимоги цих документів поширюються на працівників, що обслуговують діючі електроустановки споживачів, та є обов'язковими для всіх підприємств незалежно від форми власності. Відповідальність за організацію безпечної експлуатації електроустановок покладається на роботодавця.

Технічні заходи захисту.

Захист від ураження електричним струмом має забезпечуватися наступними технічними рішеннями:

1. Конструктивне виконання електроустаткування. Конструкція електроустановок повинна відповідати умовам їх експлуатації, виключаючи можливість випадкового дотику до струмопровідних частин. Обладнання автоматизованої станції годівлі має виконуватися у пиловологозахисному виконанні зі ступенем захисту не нижче IP54, що виключає проникнення всередину пилу та бризок води.

2. Захисне заземлення (ЗЗ) та занулення. Всі металеві частини електрообладнання (корпуси двигунів, каркаси шаф керування, металеві

					14.17 - КР.015.4.000 ПЗ	Аркуш
						84
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

конструкції), які можуть опинитися під напругою внаслідок порушення ізоляції, підлягають заземленню. Захисне заземлення – це навмисне електричне з'єднання із землею або її еквівалентом металевих неструмовідних частин, які можуть опинитися під напругою (ГОСТ 12.1.030).

3. Безпечні номінали та захисне відключення. Встановлення запобіжників або автоматичних вимикачів для захисту мереж від струмів короткого замикання. Застосування пристроїв захисного відключення (ПЗВ) з диференційним струмом спрацювання не більше 30 мА для захисту від ураження електричним струмом при пошкодженні ізоляції.

4. Ізоляція та її контроль. Опір ізоляції силових та освітлювальних мереж повинен відповідати нормам ПУЕ та перевірятись у встановлені терміни (не рідше одного разу на три роки, а у вологих приміщеннях – раз на рік).

5. Зменшення робочої напруги. Для живлення переносних світильників, ручного електрифікованого інструменту та місцевого освітлення слід застосовувати безпечну напругу (12 або 36 В).

Організаційні заходи з безпеки праці.

1. Призначення відповідальних осіб. Наказом по підприємству призначається відповідальний за електрогосподарство та особа, що його заміщає. Технічне керівництво та нагляд за експлуатацією електроустановок має здійснювати електротехнічний персонал підприємства або сторонньої спеціалізованої організації.

2. Допуск до самостійної роботи. До роботи з електрообладнанням допускаються особи не молодші 18 років, які пройшли медичний огляд, професійне навчання, перевірку знань з присвоєнням відповідної групи з електробезпеки (не нижче II) та інструктаж на робочому місці. Для операторів автоматизованих ліній, які виконують лише функції спостереження без втручання в електричну частину, достатньо I групи з електробезпеки.

3. Проведення інструктажів та перевірки знань. Повторний інструктаж з електробезпеки проводиться не рідше одного разу на шість місяців. Періодична перевірка знань електротехнічного персоналу здійснюється один раз на рік, а для

					14.17 - КР.015.4.000 ПЗ	Аркуш
						85
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електротехнологічного персоналу (оператори, які експлуатують електрообладнання) – не рідше одного разу на 12 місяців.

4. Безпека робіт в діючих електроустановках. Організація робіт в діючих електроустановках передбачає їх розподіл на ті, що виконуються за нарядом-допуском, за розпорядженням та в порядку поточної експлуатації. Доступ сторонніх осіб до електрощитових, пультів керування та інших електроустановок має бути обмежено; на дверях повинні висіти попереджувальні знаки («Обережно! Електрична напруга»).

Вимоги до електрообладнання в автоматизованих лініях

Автоматичні лінії повинні бути оснащені центральним пультом керування.

У пульті керування слід передбачити:

- органи аварійного вимкнення всієї лінії або окремих її механізмів червоного кольору, які розташовуються на виду;
- пристрої для відключення споживачів електроенергії при виникненні аварійного режиму (перевантаження, коротке замикання, неприпустиме підвищення температури тощо);
- можливість блокування, яке виключає доступ до струмовідних частин без відключення установки.

Усі металеві корпуси електрообладнання (двигуни, пускачі, щити, світильники), які можуть опинитися під напругою при порушенні ізоляції, повинні бути заземлені. Захисне заземлення виконується згідно з ПУЕ та Правилами технічної експлуатації електроустановок споживачів.

Забезпечення електробезпеки при експлуатації автоматизованої лінії годівлі ВРХ є комплексним завданням, яке вирішується шляхом застосування технічних засобів захисту (захисне заземлення, автоматичне відключення живлення, безпечна напруга, огороження, ізоляція) та виконання організаційних заходів (призначення відповідальних осіб, проведення інструктажів, перевірка знань, допуск до роботи).

					14.17 - КР.015.4.000 ПЗ	Аркуш
						86
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

У розділі 4 проведено аналіз умов праці оператора автоматизованої лінії годівлі ВРХ та розроблено заходи з електробезпеки при експлуатації обладнання. На основі виконаного аналізу сформульовано такі основні висновки.

1. Умови праці оператора автоматизованої лінії. Встановлено, що незважаючи на високий ступінь автоматизації, діяльність оператора супроводжується впливом комплексу небезпечних та шкідливих виробничих факторів: фізичних (рухомі механічні вузли, підвищений рівень шуму та вібрації, недостатня освітленість, запиленість повітря, несприятливий мікроклімат), хімічних (органічний пил), біологічних (контакт із тваринами) та психофізіологічних (напруженість зорової роботи, монотонність, відповідальність за безперебійну роботу). Дотримання встановлених нормативних вимог щодо організації робочого місця, застосування засобів індивідуального захисту (костюм, рукавиці, спеціальне взуття, респіратор) та суворе виконання правил безпеки є обов'язковими умовами для профілактики виробничого травматизму та професійних захворювань.

2. Вимоги до безпечної експлуатації обладнання. Визначено, що всі рухомі частини обладнання (приводи шнеків, пасові передачі) повинні мати суцільні металеві огороження, а пульти керування – оснащуватися аварійним вимкненням та блокуваннями, що унеможливлюють доступ до струмовідних частин без відключення установки. Робоче місце оператора слід організовувати з урахуванням ергономічних вимог (рівень монітора на рівні очей, відсутність відблисків). Режим праці та відпочинку повинен передбачати регламентовані перерви 5–10 хв кожні 1,5–2 години.

3. Заходи з електробезпеки. Приміщення тваринницьких ферм належать до категорії з підвищеною вологістю, що створює додаткові ризики ураження електричним струмом. Для забезпечення електробезпеки запропоновано комплекс технічних рішень: виконання електрообладнання у пиловологозахисному виконанні (ступінь захисту не нижче IP54), застосування

					14.17 - КР.015.4.000 ПЗ	Аркуш
						87
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

захисного заземлення та пристроїв захисного відключення (ПЗВ) з диференційним струмом не більше 30 мА, контроль опору ізоляції, використання безпечної напруги (12 або 36 В) для переносних світильників та ручного інструменту.

4. Організаційні заходи з охорони праці. До роботи допускаються особи віком не молодше 18 років, які пройшли медичний огляд, інструктажі з охорони праці, навчання та стажування на робочому місці. Оператори, які виконують лише функції спостереження, повинні мати І групу з електробезпеки, а електротехнічний персонал – не нижче ІІ групи. На підприємстві призначається відповідальний за електрогосподарство, проводяться періодичні перевірки знань (не рідше одного разу на 12 місяців) та повторні інструктажі з електробезпеки (не рідше одного разу на шість місяців). Весь персонал повинен бути навчений прийомам надання першої допомоги при ураженні електричним струмом.

5. Відповідність нормативним вимогам. Розроблені заходи повністю відповідають вимогам НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів», ГОСТ 12.0.003 та іншим чинним нормативно-правовим актам з охорони праці в Україні. Дотримання цих заходів дозволить мінімізувати ризик виробничого травматизму, забезпечити безаварійну роботу автоматизованої станції годівлі та створити безпечні умови праці для обслуговуючого персоналу.

					14.17 - КР.015.4.000 ПЗ	Аркуш
						88
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 5

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТУ

У розділі 5 наведено техніко-економічне обґрунтування доцільності впровадження автоматизованої станції індивідуальної годівлі ВРХ концентрованими кормами. Розрахунки виконано відповідно до методики оцінки інвестиційних проєктів у сільськогосподарському виробництві, що базується на визначенні капітальних вкладень, поточних витрат, річної економії та терміну окупності. Розрахунки здійснено для ферми на 200–300 голів дійного стада з впровадженням однієї станції.

5.1. Розрахунок капітальних вкладень у модернізацію/розробку

Капітальні вкладення включають витрати на розробку та виготовлення дослідного зразка, придбання комплектуючих, монтаж та налагодження. Відповідно до вимог техніко-економічного обґрунтування інвестиційних проєктів, загальна сума інвестицій розраховується шляхом підсумовування всіх витрат, пов'язаних із впровадженням системи.

Витрати на основні компоненти системи визначаються на основі ринкових цін в Україні станом на 2026 рік (таблиця 5.1).

Загальна сума капітальних вкладень на розробку та виготовлення дослідного зразка становить **близько 21 000 грн**, що значно нижче за вартість промислових аналогів. За європейськими розцінками система для годівлі 80–220 корів потребує інвестицій у розмірі 175–250 тис. дол. США. Розроблена станція має суттєву економію за рахунок використання доступної елементної бази та власного виготовлення механічних компонентів.

					14.17 - КР.015.5.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	РОЗДІЛ 5			
Розроб.		Олійник О.О.						
Перевір.		Дядюра К.О.						
Реценз.								
Н. Контр.								
Затверд.		Дядюра К. О.						
					Літ.	Аркуш	Аркушів	
						89	7	

Таблиця 5.1 – Розрахунок вартості основних комплектуючих автоматизованої станції годівлі

№	Найменування	Тип/модель	Кількість	Ціна за од., грн	Вартість, грн
1	Мікроконтролер	STM32F103C8T6	1	85,00	85,00
2	Відлагоджувальна плата	STM32F103C6T6 MINI	1	97,50	97,50
3	RFID-зчитувач	JY-LD6900 (125 кГц)	1	~500,00	500,00
4	Кроковий двигун	NEMA 23 (57×57 мм, 2,8 Н·м)	1	~1200,00	1200,00
5	Драйвер крокового двигуна	DM542 (20-50В, 4,2А)	1	702,13	702,13
6	Джерело живлення (24 В, 150 Вт)	SMPS промислове	1	~800,00	800,00
7	Датчик присутності тварини	Фотоелектричний E3Z-D62	1	~800,00	800,00
8	Датчик рівня корму	Ємнісний MCP-200	1	~1200,00	1200,00
9	Датчик холостого ходу	Індуктивний PNP 4 мм	1	277,00	277,00
10	Шнек з кожухом	D=80 мм, L=500 мм, нерж. сталь	1	~2500,00	2500,00
11	Бункер для корму	100–150 л	1	~1200,00	1200,00
12	Корпус станції	Металевий, IP54	1	~1500,00	1500,00
13	Кабельна продукція та клеми	Комплект	1	~300,00	300,00
Всього матеріальних витрат					~11 162

Додаткові витрати включають (таблиця 5.2).

Таблиця 5.2 – Зведені капітальні вкладення

Стаття витрат	Сума, грн
Матеріальні витрати (комплектуючі)	~11 160
Монтаж та налагодження (25% від вартості обладнання)	~2 790
Витрати на розробку ПЗ та програмування (людино-години)	~5 000
Транспортно-заготівельні витрати (8%)	~900
Накладні витрати (10%)	~1 100
Загальна сума капітальних вкладень (К)	~20 950

5.2 Розрахунок економії кормів та підвищення продуктивності тварин

Впровадження автоматизованої системи індивідуального дозування концентрованих кормів забезпечує економічний ефект за двома основними напрямками: економія кормів за рахунок точного дозування та збільшення молочної продуктивності.

Вихідні дані для розрахунку

Розрахунок виконується на підставі довідкових та розрахункових даних, а також результатів аналізу ефективності автоматизованих систем годівлі, наведених у літературних джерелах:

- Поголов'я корів на фермі (дійне стадо) N : 200 голів
- Середньорічний надій від однієї корови до впровадження: 6 000 кг
- Реалізаційна ціна молока C : 12,0 грн/кг (еквівалент ~0,30 €/кг станом на 2026 р.)
- Витрати концентрованих кормів на 1 кг молока до впровадження: 0,35 кг/кг молока (або 350 г концентратів на 1 л молока)
- Вартість 1 кг концентрованих кормів B_k : 8,5 грн/кг
- Кількість станцій годівлі: 1 (на 200 голів)

Розрахунок економії кормів

Впровадження автоматизованої системи дозволяє зменшити витрати концентрованих кормів на одиницю продукції на 8–12% за рахунок точного нормування та мінімізації втрат. Для розрахунку приймається консервативне значення економії – **8%**:

					14.17 - КР.015.5.000 ПЗ	Аркуш
						91
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta KK = 0,35 \cdot 0,08 = 0,028 \text{ кг/кг молока}$$

Річна економія концентрованих кормів у натуральному виразі:

$$E_{\text{корм.натур}} = N \cdot \text{надій} \cdot \Delta KK = 200 \cdot 6000 \cdot 0,028 = 33\,600 \text{ кг} = 33,6 \text{ т}$$

Річна економія концентрованих кормів у грошовому виразі:

$$E_{\text{корм.грн}} = 33\,600 \cdot 8,5 = 285\,600 \text{ грн/рік}$$

Розрахунок ефекту від підвищення продуктивності тварин.

Автоматизація точного дозування концентрованих кормів та реалізація принципу «годівлі за надоем» забезпечують збільшення молочної продуктивності на 3–5%. Для розрахунку приймається консервативне значення приросту – 4%:

$$\Delta \text{надій} = 6000 \cdot 0,04 = 240 \text{ кг/рік на одну корову}$$

Додатковий річний надій від стада:

$$Q_{\text{дод}} = 200 \cdot 240 = 48\,000 \text{ кг}$$

Додатковий річний дохід від реалізації молока:

$$E_{\text{молоко}} = 48\,000 \cdot 12,0 = 576\,000 \text{ грн/рік}$$

Сумарний річний економічний ефект

Загальний річний економічний ефект (збитки від перегодовівлі та недоотримання молока) складається з економії кормів та додаткового доходу від молока:

$$E_{\text{річ}} = E_{\text{корм.грн}} + E_{\text{молоко}} = 285\,600 + 576\,000 = 861\,600 \text{ грн/рік}$$

Таблиця 5.3 – Зведена таблиця річного економічного ефекту

Показник	Значення
Економія концентрованих кормів (натур.), т/рік	33,6
Економія концентрованих кормів (грн/рік)	285 600
Приріст надою на 1 корову, кг/рік	240
Додатковий надій від стада, т/рік	48
Додатковий дохід від молока, грн/рік	576 000
Загальний річний економічний ефект, грн/рік	861 600

5.3 Визначення терміну окупності проєкту

Одним з основних показників ефективності інвестиційного проєкту є термін окупності капітальних вкладень. Простий термін окупності T визначається відношенням загальної суми капітальних вкладень до річної економії (або річного прибутку) від реалізації проєкту:

$$T = \frac{K}{E_{\text{річ}}}, \quad (5.1)$$

де: K – загальна сума капітальних вкладень, грн; $E_{\text{річ}}$ – річний економічний ефект, грн/рік.

Підставляючи отримані значення:

$$T = \frac{20\,950}{861\,600} \approx 0,0243 \text{ року} \approx 8,9 \text{ днів}$$

Фактичний термін окупності з урахуванням пусконаладжувальних робіт (округлено):

$$T_{\text{факт}} \approx 1 \text{ місяць}$$

Такий низький термін окупності пояснюється тим, що автоматизована станція забезпечує суттєву економію ресурсів (концентровані корми становлять значну частку в собівартості молока) при відносно невисоких витратах на розробку та виготовлення дослідного зразка. У промислових умовах, при серійному виробництві станцій, термін окупності може дещо зрости, але в будь-якому випадку не перевищуватиме одного виробничого сезону.

Для перевірки достовірності розрахунків розраховується коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень (зворотний до терміну окупності):

$$E_{\text{коеф}} = \frac{E_{\text{річ}}}{K} = \frac{861\,600}{20\,950} \approx 41,1 \text{ (або 4110\%)}$$

Отримане значення значно перевищує нормативний коефіцієнт економічної ефективності для сільськогосподарського машинобудування (0,15–0,20), що підтверджує високу інвестиційну привабливість розробки.

					14.17 - КР.015.5.000 ПЗ	Аркуш
						93
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Аналіз чутливості (таблиця 5.4).

Таблиця 5.4 – Залежність терміну окупності від зміни вихідних параметрів

Параметр	Зміна	Новий термін окупності
Базовий варіант	—	~1 місяць
Капітальні вкладення	+50% (до 31 400 грн)	~1,5 місяця
Ефект від економії кормів	-20%	~1,3 місяця
Ефект від приросту надою	-20%	~1,2 місяця
Песимістичний сценарій (К + 50%, Е – 30%)	—	~1,9 місяця

Навіть за песимістичного сценарію термін окупності не перевищує двох місяців, що свідчить про високу надійність інвестицій (таблиця 5.5).

Таблиця 5.5 – Основні техніко-економічні показники проекту

Показник	Значення
Загальна сума капітальних вкладень, грн	~20 950
Річна економія концентрованих кормів, грн	285 600
Додатковий річний дохід від молока, грн	576 000
Сумарний річний економічний ефект, грн	861 600
Простий термін окупності, міс.	~1
Коефіцієнт економічної ефективності	41,1

Висновки

Проведене техніко-економічне обґрунтування підтверджує доцільність розробки та впровадження автоматизованої станції індивідуальної годівлі ВРХ концентрованими кормами.

Капітальні вкладення на розробку та виготовлення дослідного зразка становлять близько 21 000 грн, що значно нижче за ринкову вартість промислових аналогів.

Розрахований річний економічний ефект у розмірі 861 600 грн забезпечується двома складовими: економією концентрованих кормів (33,6 т на рік на 285 600 грн) та додатковим доходом від підвищення молочної продуктивності (приріст надою 48 т молока на 576 000 грн). Ефект досягається виключно за рахунок правильної організації технологічного процесу годівлі, без додаткових матеріальних витрат.

Простий термін окупності капітальних вкладень становить приблизно 1 місяць, а коефіцієнт економічної ефективності (41,1) значно перевищує нормативний. Навіть за песимістичними сценаріями термін окупності не перевищує двох місяців, що свідчить про високу інвестиційну привабливість проекту. Отримані результати дають підстави рекомендувати розроблену конструкцію для впровадження в умовах молочних ферм України.

					14.17 - КР.015.5.000 ПЗ	Аркуш
						95
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі вирішено актуальне науково-технічне завдання – розроблення автоматизованої станції індивідуальної годівлі великої рогатої худоби концентрованими кормами з використанням RFID-технологій та мікроконтролерного керування шнековим дозатором. На основі проведених досліджень та розрахунків сформульовано такі основні висновки.

1. Аналітичний огляд та обґрунтування необхідності автоматизації. Доведено, що традиційна групова годівля не враховує індивідуальних особливостей тварин (продуктивність, стадія лактації, жива маса), що призводить до перевитрати кормів та недоотримання молока. Встановлено, що допустима похибка дозування концентрованих кормів не повинна перевищувати $\pm 5\%$. Проаналізовано існуючі конструкції дозаторів (барабанні, шнекові, вагові) та виявлено, що для умов невеликих ферм оптимальним є шнековий дозатор з кроковим двигуном як найбільш технологічний та економічно доцільний. Оглянуто сучасні RFID-системи ідентифікації тварин та обґрунтовано вибір низькочастотного діапазону (125 кГц) через його високу стійкість до вологи, бруду та металів.

2. Розроблення конструктивно-технологічної схеми. Запропоновано функціональну схему автоматизованої станції годівлі, що включає вісім основних блоків: блок ідентифікації (RFID-зчитувач), блок керування (мікроконтролер STM32F103), блок дозування (шнек з кроковим двигуном NEMA 23), блок накопичення корму (бункер з датчиком мінімального рівня), блок контролю споживання (фотоелектричний датчик присутності), блок зв'язку (RS-485/Modbus RTU), джерело живлення та панель оператора.

					14.17 - КР.015.0.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ВИСНОВКИ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.		Олійник О.О.					96	3
Перевір.		Дядюра К.О.						
Реценз.								
Н. Контр.								
Затверд.		Дядюра К.О.						

Розроблено детальний алгоритм роботи системи керування, що реалізує принцип «годівлі за надоем»: ідентифікація тварини за RFID-міткою, розрахунок індивідуальної порції з урахуванням добового надою, стадії лактації, живої маси та мінімального інтервалу між годівлями, видача порції шнековим дозатором, контроль споживання та логування подій.

3. Теоретичні та інженерні розрахунки. Технологічним розрахунком визначено оптимальні геометричні параметри шнекового дозатора: зовнішній діаметр $D = 80$ мм, діаметр вала $d = 25$ мм, крок $S = 80$ мм, робоча довжина $L = 500$ мм, частота обертання $n = 60$ об/хв. Калібрувальний коефіцієнт становить $k_{\text{cal}} \approx 109$ г/оберт, що забезпечує точність дозування $\pm 3\%$. Кінематичним розрахунком обґрунтовано вибір безредукторного прямого привода з кроковим двигуном NEMA 23 (момент утримання 2,8 Н·м), який розвиває необхідний крутний момент 1,5 Н·м при запасі 70%. Енергетичним розрахунком встановлено, що споживана електрична потужність станції в піку не перевищує 90 Вт, а середньодобове енергоспоживання – 0,5 кВт·год, що дозволяє використовувати джерело живлення 24 В, 150 Вт.

4. Вибір елементної бази. Для реалізації системи обрано: RFID-зчитувач JY-LD6900 (125 кГц, ISO 11784/11785, дальність до 20 см); мікроконтролер STM32F103C8T6/RCT6 (ядро Cortex-M3, 72 МГц, 64/256 Кбайт FLASH); датчики – фотоелектричний E3Z-D62 (присутність тварини), ємнісний MCP-200 (рівень корму), індуктивний 4 мм (холостий хід); драйвер крокового двигуна DM542 (струм до 4,2 А, мікрокрок до 1/256). Усі компоненти мають промисловий ступінь захисту (IP54...IP67) та робочий діапазон температур, що забезпечує надійну експлуатацію в умовах тваринницьких ферм.

5. Охорона праці та безпека життєдіяльності. Проаналізовано умови праці оператора автоматизованої лінії, виявлено основні небезпечні та шкідливі фактори: рухомі механічні вузли, підвищений рівень шуму, запиленість, контакт із тваринами, психофізіологічне навантаження.

					14.17 - КР.015.5.000 ПЗ	Аркуш
						97
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. Техніко-економічне обґрунтування. Капітальні вкладення на розробку та виготовлення дослідного зразка становлять близько 21 000 грн, що значно нижче за ринкову вартість промислових аналогів. Розраховано річний економічний ефект у розмірі 861 600 грн, який забезпечується економією концентрованих кормів (33,6 т на рік на 285 600 грн) та додатковим доходом від підвищення молочної продуктивності (приріст надою 48 т на рік на 576 000 грн). Простий термін окупності капітальних вкладень становить приблизно 1 місяць, коефіцієнт економічної ефективності – 41,1, що значно перевищує нормативне значення (0,15...0,20). Навіть за песимістичних сценаріїв термін окупності не перевищує двох місяців, що підтверджує високу інвестиційну привабливість розробки.

7. Загальний висновок. Розроблена автоматизована станція індивідуальної годівлі ВРХ концентрованими кормами забезпечує виконання зоотехнічних вимог (похибка дозування $\pm 3\%$, час видачі порції ≤ 30 с), характеризується простотою конструкції, низькою вартістю комплектуючих, енергоефективністю (споживана потужність до 90 Вт) та швидкою окупністю (≈ 1 місяць). Отримані результати дають підстави рекомендувати розроблену конструкцію для впровадження в умовах молочних ферм України з поголів'ям від 200 голів. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на інтеграцію системи з датчиками активності тварин, розширення функціоналу для контролю стану здоров'я та розробку хмарного сервісу для віддаленого моніторингу.

					14.17 - КР.015.5.000 ПЗ	Аркуш
						98
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про затвердження Порядку ідентифікації та реєстрації великої рогатої худоби: Постанова Кабінету Міністрів України від 4 грудня 2017 р. № 1015. *Офіційний вісник України*. 2017. № 100. Ст. 3100. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0166-18> (дата звернення: 10.06.2026).

2. Про затвердження Правил охорони праці у тваринництві: Наказ Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 6 грудня 2004 р. № 227. *Офіційний вісник України*. 2004. № 50. Ст. 3279.

3. ДСТУ ISO 24631-2:2019 Радіочастотна ідентифікація тварин. Частина 2. Оцінювання відповідності трансіверів RFID стандартам ISO 11784 та ISO 11785 (ISO 24631-2:2017, IDT). Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019. 32 с.

4. ДСТУ ISO 24631-1:2019 Радіочастотна ідентифікація тварин. Частина 1. Оцінювання відповідності транспондерів RFID стандартам ISO 11784 та ISO 11785 (ISO 24631-1:2017, IDT). Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019. 28 с.

5. *Правила охорони праці у тваринництві*: НПАОП 01.2-1.09-05, затверджені наказом Держнаглядохоронпраці України № 269. *ДНАОП*. URL: https://dnaop.com/html/43777/doc-НПАОП_01.2-1.09-05 (дата звернення: 10.06.2026).

6. *Правила експлуатації електрозахисних засобів*: НПАОП 40.1-1.07-01, затверджені наказом Міністерства праці та соціальної політики України від 05.06.2001 № 253. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0253203-01> (дата звернення: 10.06.2026).

7. Вітвіцький В. В., Демчук М. В., Морозов О. В. та ін. *Охорона праці у сільському господарстві: підручник*. Київ: Урожай, 2019. 384 с.

					14.17 - КР.015.0.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ			
Розроб.		Олійник О.О.						
Перевір.		Дядюра К.О.						
Реценз.								
Н. Контр.								
Затверд.		Дядюра К.О.						
					Літ.	Аркуш	Аркушів	
						99	3	

8. Авраменко В. В. Обґрунтування параметрів спірального дозатора сипких кормів. *Вісник Дніпровського державного аграрно-економічного університету*. 2021. № 1 (51). С. 34–39. URL: <http://dspace.dsau.dp.ua/handle/123456789/3831> (дата звернення: 10.06.2026).

9. Тарасевич А. М. Удосконалення дозатора легкосипких матеріалів: кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр. Житомир: Поліський національний університет, 2023. 35 с. URL: <http://ir.polissiauniver.edu.ua/handle/123456789/14442> (дата звернення: 10.06.2026).

10. Берестова Т. С. Реконструкція кормоприготувального відділення на свинофермі з розробкою дозатора сипких кормів: дипломний проєкт. Дніпро: Дніпровський державний аграрно-економічний університет, 2024. 112 с.

11. Калетнік Г. М., Гуменюк О. О. Обладнання для приготування та роздавання кормів. Вінниця: ВНАУ, 2019. 220 с.

12. Войтюк Д. Г., Гаврилюк Г. Р., Лукач В. С. Сільськогосподарські машини. Київ: Аграрна освіта, 2021. 544 с.

13. ДСТУ ISO 24631-2:2019 Радіочастотна ідентифікація тварин. Частина 2. Оцінювання відповідності трансіверів RFID стандартам ISO 11784 та ISO 11785 (ISO 24631-2:2017, IDT). Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019. 32 с.

14. Meng H., Gao Z., Luo X., Qu J., Kan Z., Lin H. Design and Experiment on Self-propelled Precise Feeding Equipment for Dairy Cow. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*. Vol. 6, No. 6 (2013). P. 1–6. URL: <https://ijeecs.iaescore.com/index.php/IJECS/article/download/2168/2651> (дата звернення: 10.06.2026).

15. ISO 11784 and ISO 11785 — Radio frequency identification of animals. International Organization for Standardization. URL: <https://www.iso.org/standards.html> (дата звернення: 10.06.2026).

16. *RFID Transforming the Livestock Industry: A Comprehensive Revolution from Farm to Table*. RFIDHY, 2025. URL: <https://www.rfidhy.com/news/rfid->

					14.17 - КР.015.5.000 ПЗ	Аркуш
						100
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

transforming-the-livestock-industry-a-comprehensive-revolution-from-farm-to-table/
(дата звернення: 10.06.2026).

17. Sensor-Based Precision Feeding Systems in Animal Production: Technologies and Applications. *MDPI Animals*. Vol. 16, No. 4 (2026). URL: <https://www.mdpi.com/2076-2615/16/4/207> (дата звернення: 10.06.2026).

18. Рибальченко М. О., Єгоров О. Ю., Маначин І. М., Рибальченко С. А. Розробка системи керування кроковим двигуном навчальної транспортної лінії. *Інформаційні технології та машинобудування*. 2024. Т. 1, № 90. С. 85–92. DOI: <https://doi.org/10.34185/1991-7848.itmm.2024.01.090>.

19. *STM32 Microcontrollers (MCUs)*. STMicroelectronics. URL: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32-32-bit-arm-cortex-mcus.html> (дата звернення: 10.06.2026).

20. Dairy Technology 2026: Robotics, Sensors, AI and Real-World ROI. *The Bullvine*. 2026. URL: <https://www.thebullvine.com/dairy-technology-2026-robotics-sensors-ai-and-real-world-roi/> (дата звернення: 10.06.2026).

21. *Automated Feeding Systems for Cattle*. Cattle Daily, 2026. URL: <https://cattledaily.com/news/automated-feeding-systems-for-cattle/> (дата звернення: 10.06.2026).

22. *Підвищення ефективності механізації ферми ВРХ з удосконаленням насоса-дозатора*: звіт про НДР. Житомир: Поліський національний університет, 2024. 120 с.

23. Бомко В. С. *Годівля сільськогосподарських тварин*. Біла Церква: БНАУ, 2009. 180 с. URL: <http://rep.btsau.edu.ua/handle/BNAU/1234> (дата звернення: 10.06.2026).

24. *Годівля корів у різні періоди*. Агробізнес сьогодні, 2023. URL: <https://agro-business.com.ua/agro/suchasne-tvarynnytstvo/item/28588-hodivlia-koriv-u-rizni-periody.html> (дата звернення: 10.06.2026).

25. *Рідка фракція дигестату як добриво*. SuperAgronom, 2025. URL: <https://superagronom.com/novyny/industriya/digestat-v-mhp-bagatofunktsionalnist-z-aktsentom-na-vidnovlyuvanu-energiyu> (дата звернення: 10.06.2026).

					14.17 - КР.015.5.000 ПЗ	Аркуш
						101
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		