

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінженерії

Допущено до захисту
“ _____ ” 2025р.
Зав. кафедри д.т.н., професор
(науковий ступінь, вчене звання)

Володимир ДІДУР
(підпис) (ініціали, прізвище)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА (дипломний проект)
магістр
(назва освітнього ступеня)

Тема роботи: **«Обґрунтування конструктивно-режимних параметрів багатофункціонального стимулювання молочного доїльного апарату для підвищення надоїв, комфорту тварин та покращення якості продукції.»**

Виконав: студент 2 курсу, групи 21 м-з-ім
освітньої програми магістр
спеціальності Н7 «Агроінженерія»
СУШКОВ Віталій Вадимович
(прізвище та ініціали)

Керівник канд. с-г наук, доцент Головатюк А.А.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Рецензент: _____
(прізвище та ініціали)

м. Умань – 2025 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінженерії

Освітня програма магістр

Спеціальність Н7 «Агроінженерія»

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Володимир ДІДУР

“___” _____ 2025р

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ)

студенту Сушкову Віталію Вадимовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Обґрунтування конструктивно-режимних параметрів багатофункціонального стимулювання молочного доїльного апарату для підвищення надоїв, комфорту тварин та покращення якості продукції.»

керівник роботи Головатюк Анатолій Анатолійович, канд. с-г наук, доцент,

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від

“___” листопада 202___ р. №

2. Строк подання студентом роботи 20.11.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: обґрунтування конструктивно-технологічної схеми агрегатів і параметрів робочих органів багатофункціонального стимулювання молочного доїльного апарату для підвищення надоїв, комфорту тварин та покращення якості продукції

4. Перелік питань, які потрібно розробити: вступ; аналіз інформаційних матеріалів з досліджуваного питання; теоретичне обґрунтування конструктивно-технологічна схема багатофункціонального стимулюваль-ного доїльного апарату агрегатів і параметрів робочих органів для для підвищення надоїв, комфорту тварин та покращення якості продукції; охорона праці; економічна ефективність; загальні висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): підготувати ілюстративний матеріал у вигляді презентації (до 20 слайдів) як додаток до доповіді за темою дипломної роботи: мета і завдання дослідження; конструктивно-технологічної схеми, параметрів та режимів роботи доїльного апарату; результати розрахунку економічного ефекту; висновки.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Прокопенко Е.В., доцент		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/ п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	При- мітка
1.	Підбір та вивчення літературних джерел, підготовка вступу	16.10.2024 р.	
2.	Розділ 1. Сучасний стан досліджуваного питання. Мета та завдання дослідження	14.11.2024 р.	
4.	Розділ 2. Теоретичні дослідження	05.02.2025 р.	
5.	Розділ 3. Експериментальні дослідження	4.03.2025 р.	
6.	Розділ 4. Охорона праці	24.05.2025 р.	
7.	Розділ 5. Техніко-економічне обґрунтування запропонованої технології	15.09.2025р.	
8.	Виконання ілюстративної частини роботи	5.10.2025р.	
9.	Представлення роботи керівнику на перевірку	20.11.2025 р.	

Студент

Сушков В. В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

Головатюк А.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Реферат

Дипломна робота присвячена вирішенню актуального завдання підвищення ефективності молочного скотарства шляхом удосконалення конструкції та режимів роботи багатофункціонального стимулювального доїльного апарату. У сучасних умовах виробництво молока потребує не лише збільшення надоїв, але й покращення якості продукції, забезпечення комфорту тварин та зменшення впливу стресових факторів під час доїння. Це зумовлює необхідність розробки нових технічних рішень у сфері машин доїння.

У роботі проведено аналіз сучасного стану молочного скотарства та тенденцій розвитку технічних засобів для доїння корів. Обґрунтовано актуальність дослідження та визначено мету й завдання роботи. Теоретична частина включає розробку конструктивно-технологічної схеми доїльного апарату, розрахунок його основних параметрів та прогноз впливу запропонованих рішень на продуктивність і якість молока. Запропонована конструкція апарату передбачає поєднання функцій доїння та стимулювання молочної залози, що дозволяє підвищити фізіологічну адекватність процесу, зменшити ризик захворювань вимені та підвищити комфорт тварин.

В експериментальній частині викладено програму та методику досліджень, наведено результати випробувань, що підтверджують ефективність удосконаленого апарату. Отримані дані свідчать про зростання надоїв, покращення якісних показників молока (зокрема, зниження бактеріального обсіменіння та підвищення вмісту жиру і білка), а також зменшення частоти виникнення маститу. Оцінено економічну доцільність впровадження нової технології, яка полягає у зниженні собівартості виробництва та підвищенні рентабельності молочного виробництва.

Особливу увагу приділено питанням охорони праці та безпеки обслуговуючого персоналу. Розглянуто можливі небезпечні та шкідливі фактори при експлуатації доїльного обладнання, запропоновано комплекс заходів для їх усунення чи мінімізації.

У висновках узагальнено результати дослідження та підтверджено, що запропонований багатофункціональний доїльний апарат є перспективним технічним рішенням для підвищення ефективності та якості молочного скотарства в умовах сучасних аграрних підприємств.

Ключові слова: молочне скотарство, доїльний апарат, стимулювання, надої, якість молока, охорона праці, економічна ефективність.

ЗМІСТ

Вступ	7
1. СУЧАСНИЙ СТАН ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ПИТАННЯ	
1.1. Аналіз інформаційних матеріалів з досліджуваного питання.....	8
1.2. Аналіз існуючих технологій, технічних засобів і наукових досліджень.	9
1.3. Аналіз механіко-технологічних властивостей матеріалів, з якими працює машина.....	14
1.4. Мета і завдання досліджень.	16
2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	
2.1. Обґрунтування і розробка конструктивно-технологічної схеми досліджуваної машини	18
2.2. Розробка моделі функціонування машини	20
2.3. Теоретичне дослідження продуктивності машини	22
2.4. Теоретичне дослідження енергоємності технологічного процесу досліджуваної машини	23
3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	
3.1. Методика експериментальних досліджень.....	25
3.2. Результати експериментальних досліджень	27
3.3. Обробка і аналіз результатів експериментальних досліджень	32
4. ОХОРОНА ПРАЦІ.	
4.1. Загальні положення. Аналіз умов праці. Електробезпека.....	34
4.2. Вимоги виробничої санітарії та гігієни.....	34
4.3. Охорона праці та комфорт тварин.....	35
4.4. Пожежна безпека.....	35
4.5. Надання першої допомоги. Висновок.....	36
5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ	
5.1. Техніко-економічне обґрунтування розробки	38
5.2. Рекомендації з використання машини у виробництві.	39
Загальні висновки.....	41
Список літератури.....	43

Вступ

Молочне скотарство посідає одне з провідних місць серед галузей аграрного сектору економіки, маючи вирішальне значення для продовольчої безпеки та забезпечення населення продуктами харчування [1 12, 20, 55]. В Україні воно є складною, праце- та капіталомісткою галуззю, де економічний успіх можливий лише при комплексному використанні біологічних, технологічних, технічних та організаційних чинників [5, 6, 25, 33, 49]. Сучасний стан виробництва молока значно відстає від потреб, що пов'язано зі зростанням ролі приватних господарств та зменшенням частки великих підприємств [21, 22]. Водночас, високі показники продуктивності корів неможливо отримати без повноцінної годівлі та оптимальних умов утримання, оскільки висока концентрація тварин, гіподинамія, стресові ситуації та недотримання правил догляду, доїння та годівлі негативно впливають на фізіологічні процеси, зокрема на молокоутворення [13,14,18].

Для підвищення ефективності виробництва молока необхідне впровадження сучасних високотехнологічних рішень [3, 4, 15, 49, 51]. Доїння залишається однією з найбільш трудомістких операцій, і інноваційні технології в доїнні корів швидко розвиваються, спрямовані на підвищення молочної продуктивності, ефективності виробництва, комфорту та здоров'я тварин, а також забезпечення якісного та безпечного молока [45, 46, 47]. Однак, існують проблеми та обмеження, такі як високі інноваційні ціни, складність інтеграції з існуючими системами управління фермою та потенційний стрес для корів при переході до автоматизованих систем [28, 34, 39].

Наразі промисловістю не освоєно випуск багатофункціонального доїльного обладнання, яке володіє повним спектром параметрів режиму доїння та може використовуватися як на великих молочних комплексах, так і у фермерських господарствах з прив'язним утриманням корів [7, 19, 31]. Таке обладнання має забезпечувати повне та безпечне виведення молока з вимені, враховуючи фізіологічні особливості тварини [7, 9, 11, 23, 51].

1. СУЧАСНИЙ СТАН ДОСЛІДЖУВАНОВОГО ПИТАННЯ

1.1. Аналіз інформаційних матеріалів з досліджуваного питання

Молоковиведення є складним фізіологічним процесом, в якому задіяні як гормональна, так і нервова системи лактуючої тварини [5, 42]. Тривалість процесу евакуації молока з вимені обмежена 2-3 хвилинами через дію гормону окситоцину, тому основним вимогам до доїльних апаратів є достатньо швидке виведення молока [2, 55]. Постійний вплив вакуумметричного тиску може порушувати кровообіг у сосках, призводити до їх подовження, неповного видоювання та маститу ("холосте доїння") [25, 46, 57]. Неадекватне подразнення рецепторів вимені гальмує молоковіддачу, тоді як адекватне стимулює позитивний зворотний зв'язок [1, 8, 14, 18].

Якість молока неможливо поліпшити в процесі переробки, тому система управління якістю повинна акцентувати увагу на технологічних процесах виробництва та первинній обробці молока [44, 46]. Висока концентрація соматичних клітин у молоці свідчить про запальні процеси у вимені, що знижує надої та якість молока [4, 47, 56]. Забруднення молока мікроорганізмами та механічними частинками, а також інфікування корів патогенною мікрофлорою та потрапляння залишків мийних засобів є основними ризиками на етапі доїння [44, 45, 46]. Механізм адгезії та утворення молочних забруднень на поверхні обладнання представлений на Рисунку 1.1 [3, 7, 27].

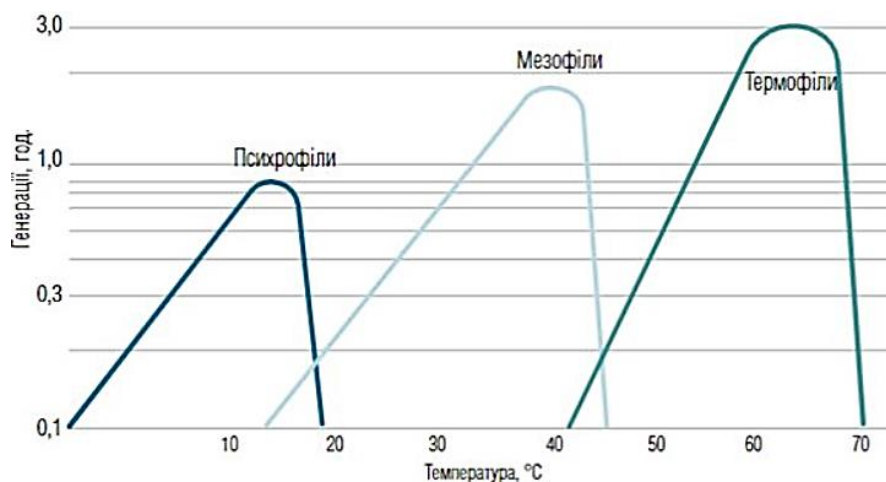


Рисунок 1.1 – Види забруднення на доїльно-молочному обладнанні [E377]

1.2. Аналіз існуючих технологій, технічних засобів і наукових досліджень. Доїльні апарати класифікують за принципом роботи, способом добування молока, характером впливів на соски вимені, конструкцією доїльного стакана, колектора та пульсатора [20, 21, 27]. Більшість пристроїв є відсмоктувальними (вакуумними) [41, 45].

Двотактні апарати використовують вакуумметричний тиск у міжстінній та підсосковій камерах, забезпечуючи такти смоктання та стиску [22, 23, 57]. Однак, постійний вплив вакууму порушує кровообіг у сосках, сприяючи неповній молоковіддачі та ризику маститу [25, 29, 48]. Принцип роботи доїльного апарату безперервного відсмоктування "Темп" із застосуванням вакууму, що надходить від редуктора, та надлишкового тиску в такті вичавлювання, що надходить із трубопроводів до міжстінних камер доїльних стаканів, ілюструє Рисунок 1.2 [21].

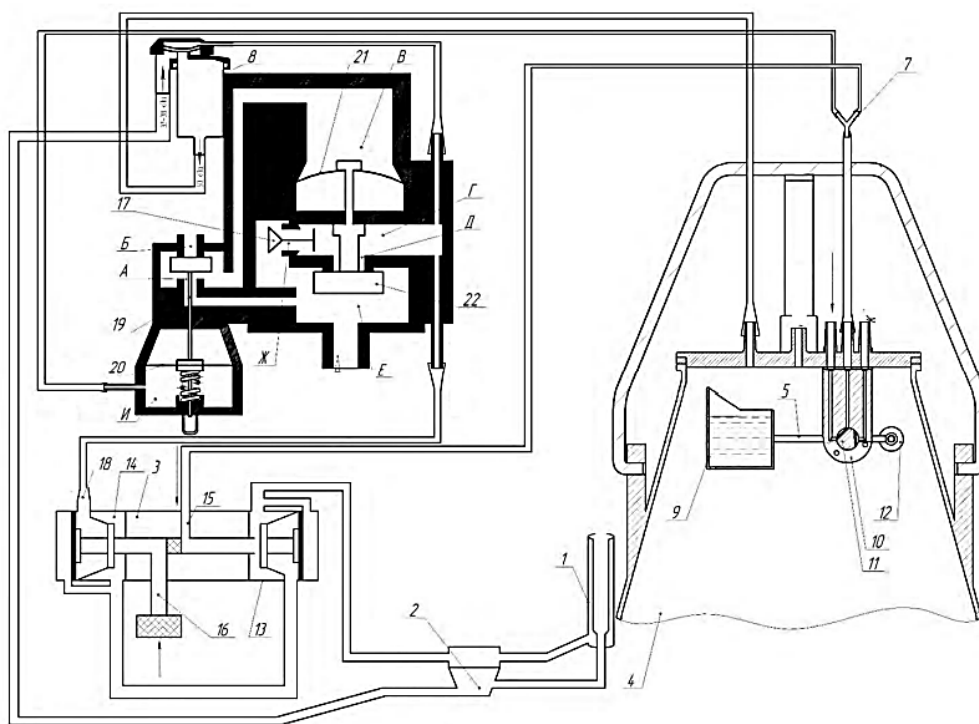


Рисунок 1.2 – Принцип роботи доїльного апарату безперервного відсмоктування "Темп" [Е209]

Тритактні апарати додають такт відпочинку, дозволяючи відновлювати кровообіг у діях за рахунок надходження атмосферного тиску під дійки [23, 28, 49]. Це значно покращує фізіологічний вплив. Фізіологічні трифазні доїльні апарати попарної дії, такі як «DaMilk AІД-3», MU200 "Дуовак" і Duovac 300

(DeLaval), завдяки блоку управління рівнем вакууму дозволяють встановлювати рівень низького вакууму в початковий і кінцевий період доїння, знижуючи ймовірність захворювання вимені та збільшуючи повноту видоювання корів [29]. Доїльний апарат «DaMilk АІД-3» (Рисунок 1.3) складається з блоку керування, приймача та пульсатора, об'єднаних в один вузол, і підвісної частини [46].



Рисунок 1.3 – Доїльний апарат «DaMilk АІД-3» [Е461]

Стимулюючі доїльні апарати, такі як АДУ-1-04, використовують вібропульсатор, що створює коливання соскової гumi амплітудою 1-2 мм і частотою 10 Гц, імітуючи смоктання телям та стимулюючи рефлекс молоковіддачі [25, 39]. Ця частота (10 Гц) є найбільш природною в управлінні м'язової активності, що сприяє виклику рефлексу молоковіддачі [40]. Усереднена осцилограма акту смоктання корови телям (Рисунок 1.4) демонструє характерні періоди зміни тиску і вакууму за час циклу [44].

Стимуляція рефлексу молоковіддачі має важливе значення для повного видоювання корів. Правильно організована фаза переддоїльної стимуляції забезпечує коротший час доїння, більший потік молока та ефективніше відсмоктування [34].

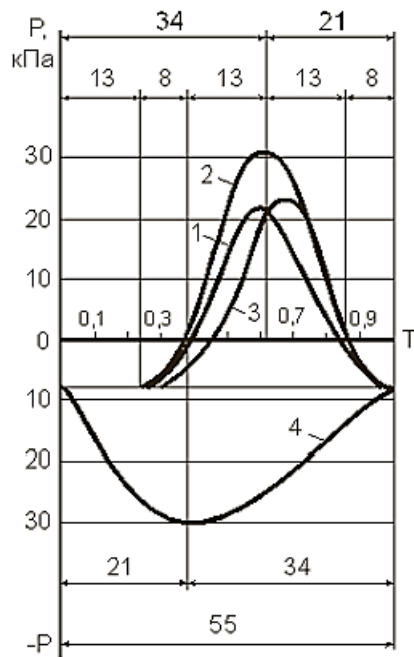


Рисунок 1.4— Усереднена осцилограма акту смоктання корови телям [44].

Стимуляція перед доїнням протягом однієї хвилини дозволяє молоковіддачі початися одразу, без затримки між надходженням молока з цистерн і альвеол, як показано на Рисунку 1.5 [36].

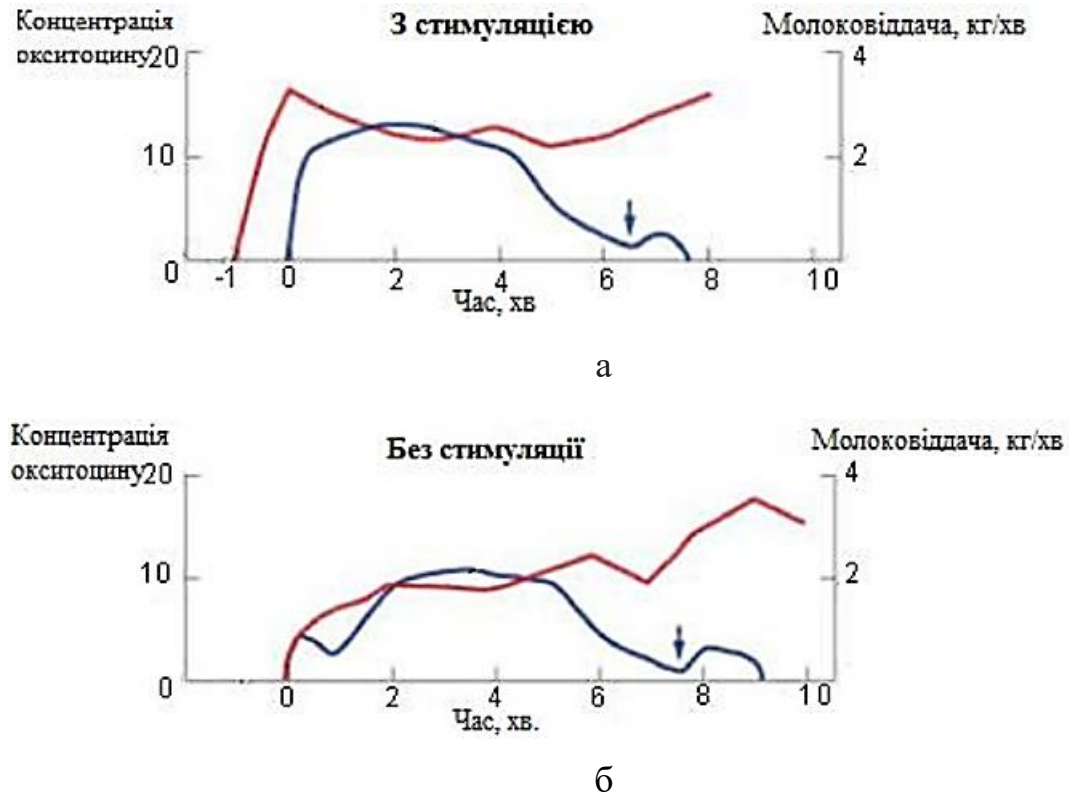


Рисунок 1.5 – Стимуляція перед доїнням протягом однієї хвилини та доїння без стимуляції [34, 56]. а - Стимуляція перед доїнням протягом однієї хвилини; б - Доїння без стимуляції перед доїнням

Адаптивні доїльні апарати (наприклад, розробки О.В. Ужика) включають регулятори вакуумметричного тиску для камер та чотирикамерний колектор, що дозволяє знизити захворюваність вимені на мастит на 18-22% та підвищити разовий удій на 4,7% за рахунок своєчасного зниження рівня вакууму [20, 27]. Існують також апарати, що автоматично відключаються при зниженні інтенсивності молоковіддачі, щоб уникнути "сухого" доїння [2, 6, 27].

Дворежимні доїльні апарати, як ДДА-2М, здатні автоматично перебудовувати режими роботи залежно від інтенсивності виділення молока, працюючи в щадному режимі з тактом відпочинку на початку та в кінці доїння, та в режимі безперервного відсмоктування під час інтенсивного молоковіддачі [7, 14, 35]. Це запобігає маститу навіть при перетримці апарату на сосках [Н75]. Доїння корів на кумисній фермі також відбувається із використанням доїльної установки ДДУ-2М та двотактних доїльних апаратів ДДА-2М [18, 27].

Інноваційні технології та Smart-ферми:

Доїльні роботи: Фірми "Лелі", "Проліон Б.В.", "Меко", "Гасконь Мелотт", "АМС Ліберті", "Вестфалія" є лідерами у виробництві доїльних роботів [23, 44]. Роботи "Астронавт" фірми "Лелі" використовують лазерну техніку для швидкого визначення положення дійок та підключення доїльних стаканів [23, 34]. Роботи "Ценіт" використовують ультразвукові сенсори, які менше забруднюються, для пошуку дійок [23, 26].

Переваги роботів: Зменшення ручної праці на 30%, підвищення продуктивності корів на 10-20% за рахунок оптимізації рефлексу молоковіддачі та використання генетичного потенціалу, постійний контроль фізіологічного стану, підвищення здоров'я вимені, зменшення стресу та підвищення престижності праці [23, 35, 37, 55]. Доїльні роботи компанії ДеЛаваль, наприклад, VMS 2010, підвищують інтелектуальність системи, розширюючи її можливості та покращуючи простоту використання і надійність [9, 43].

Класифікація доїльних установок за умовами експлуатації, розміщенням корів, характером використання станків, розміщенням станків та способом збирання молока представлена на Таблиці 1.1 [4, 8, 17].

Марка та модифікація	Характеристика	Вакуумметричний тиск, кПа	Частота пульсації, хв-1	Витрати повітр. м ³ /год		Маса підвісної частини кг
				загальні	колекторо м	
АДУ-1 (основне виконання)	двотактний із постійним підсмоктуванням повітря в колектор	48	67 ± 5	2,7	0,3 - 0,6	2,65
АДУ-1-02	двотактний із постійним підсмоктуванням повітря в колектор і системою очищення повітря в пульсаторі	48	67 ± 5	2,7	0,3 - 0,6	2,65
АДУ-1-03	низьковакуумний двотактний із періодичним впуском повітря в молокозбірну камеру колектора	45	65 ± 5	3,2	0,8-2,3	2,75
АДУ-1-04	двотактний із вібропульсатором і постійним підсмоктуванням повітря в колектор	48	66 ± 6 630 ± 90	3,5	0,3-0,6	2,75
АДУ-1-05	двотактний із постійним підсмоктуванням повітря в колектор і оглядовими конусами в стаканах	48	67 ± 5	2,7	0,3-0,6	2,65
АДУ-1-09	низьковакуумний двотактний із вібропульсатором і періодичним (за такту стиску) впуском повітря в колектор	44	66 ± 6 630 ± 90	4,05	0,8-1,3	2,75
МДФ.03.100 (для автоматизованих установок)	двотактний із постійним підсмоктуванням повітря в колектор, оснащений механізмами додоювання та знімання доїльних стаканів з вимені	46	67 ± 5	2,7	0,3-2,6	2,4
ДА-2М «Майга»	двотактний із постійним підсмоктуванням повітря в колектор	48	80 ± 5	2,4	0,3	2,85
ДА-3 Волга»	тритактний	53	60 ± 5	2,3		1,8
ДА-Ф-50	двотактний із пульсоколектором	50	66 ± 6	2,1		2,65
МУ210 (Дуовак 300) (пульсатор НР-102 з блоком керування)	двотактний, попарної дії, забезпечує режими низького та високого вакууму, гідропульсатор	50/33	60±2/ 48±1	-	-	3,0
І.02 Інтерпульс	двотактний, попарної дії, пневматичний	50	60	-	-	2,4

Рисунок 1.1 – Класифікація доїльних установок.

Типи вакуумних насосів, що використовуються в доїльних установках, включають поршневі, ротаційні, шестеренні, водокільцеві та ежекторні [4,26, 46]. На Рисунку 1.6 представлені різні схеми вакуумних насосів [47].

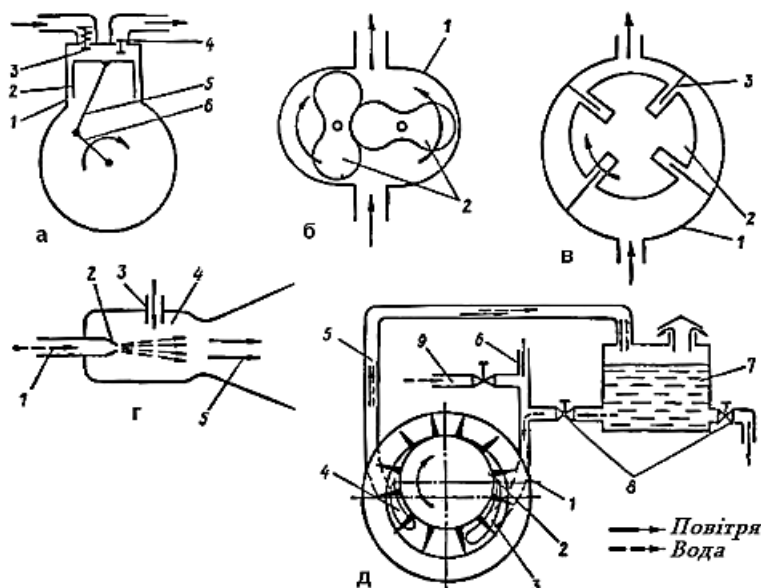


Рисунок 1.6 – Схеми вакуумних насосів.

1.3. Аналіз механіко-технологічних властивостей матеріалів, з якими працює машина.

Дійкова гума є найважливішим елементом доїльного апарату, оскільки вона знаходиться в безпосередньому контакті з вим'ям тварини і здійснює на нього прямий вплив [3, 51, 58]. Від її якості, матеріалу виготовлення, правильних геометричних параметрів та фізико-механічних властивостей (жорсткість, пружність, цілісність) залежить здоров'я дійок вимені, швидкість молоковіддачі та якість молока [39].

Втрата властивостей: Нова дійкова гума має високу еластичність, яка забезпечує ефективний масаж дійок та максимальну молоковіддачу [36, 49]. Однак, після 600-650 годин напруження, вона втрачає еластичність, розтягується, її поверхня грубіє та тріскається [36, 37, 41, 42]. Нормативний термін експлуатації вітчизняних та деяких закордонних виробників становить 900 годин, але через низьку якість матеріалів та недотримання правил експлуатації фактичний термін використання складає 180-500 годин [42].

Негативний вплив зношеної гуми: Зниження еластичності та жорсткості гуми зменшує масажуючий ефект, погіршує циркуляцію крові та лімфи, викликає застій та набряк дійок, збільшує тривалість впливу вакууму, що підвищує ризик інфікування та маститу [8, 10, 16, 19]. Мікротріщини на

внутрішніх стінках гуми створюють ідеальні умови для розвитку бактерій та відкладень, що призводить до підвищеного бактеріального обсіменіння молока та зниження його якості [7, 18, 29, 45]. Негерметичність гуми може призвести до спадання доїльного стакана [37]. Дослідження рівня бактеріального обсіменіння дійкової гуми за часом її експлуатації та його впливу на якість молока, включали змиви з внутрішньої поверхні дійкової гуми, що дозволяли визначити ступінь обсіменіння, як показано на Рисунку 1.7 [27, 29].

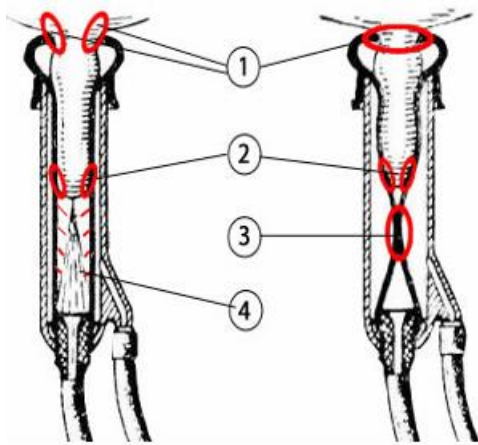


Рис. 1.7. Проблемні ділянки дійкової гуми доїльних стаканів

Забрудненість дійкової гуми доїльних апаратів та станкового обладнання

Група	Кількість проб		Експрес-метод оцінки, бали							
			дійкова гума				станкове обладнання			
	n	%	I	II	III	IV	I	II	III	IV
1 – гладка поверхня дійкової гуми	96		75	21	-	-	3	1	-	-
		100	78,1	21,9	-	-	75,0	25,0	-	-
2 – шорстка поверхня дійкової гуми	96		60	30	6	-	3	1	-	-
		100	62,4	31,3	6,3	-	75,0	25,0	-	-

Забрудненість дійкової гуми доїльних апаратів та станкового обладнання

дійкова гума станкове обладнання Експрес-метод оцінки, бали Група Кількість проб n % I II III IV I II III IV

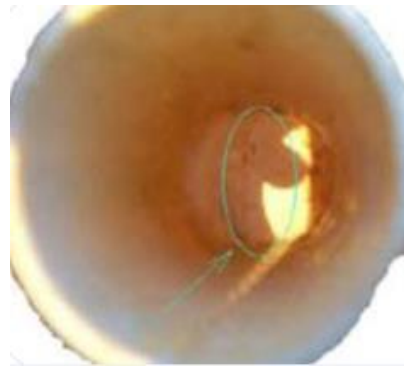
1 – гладка поверхня дійкової гуми 96 75 21 - 100 - 3 1 - -

1 - - 78,1 2 – шорстка поверхня дійкової гуми 96 60 21,9 30 - 6 - 75,0 25,0 - - 100

- 3 1 - - 62,4 190 31,3 6,3 - 75,0 25,0.



Мікробне забруднення



Швидкість накопичення та особливості розвитку окремих видів мікроорганізмів.

Рисунок 1.8 – Рівень бактеріального обсіменіння внутрішньої поверхні дійкової гуми.

Агресивне середовище: Дійкова гума працює в агресивному середовищі, постійно піддаючись впливу молочного жиру, гарячої води та різних миючих засобів, що прискорює процеси старіння та руйнування її полімерної структури [28, 33, 45].

Вибір та контроль: Необхідно використовувати високоякісну дійкову гуму, яка відповідає техніко-технологічним параметрам, враховує фізіологічні особливості тварин, та регулярно замінювати зношені вироби [11, 15, 23, 36]. Пропонуються нові методики дослідження властивостей гуми в агресивних рідинах для оцінки на стадії проектування, що дозволить оптимально підбирати композиції для її виготовлення [30].

1.4. Мета і завдання досліджень. Метою даної роботи є обґрунтування конструктивно-режимних параметрів багатофункціонального стимулювального доїльного апарату для підвищення надоїв, комфорту тварин та покращення якості продукції.

Для досягнення поставленої мети були визначені такі завдання:

1. Розробити конструктивно-технологічну схему багатофункціонального стимулювального доїльного апарату .
2. Обґрунтувати режимні параметри багатофункціонального стимулювального доїльного апарату та визначити фізіологічні параметри впливу розроблюваного апарату на молочну залозу в різних режимах доїння.

3. Обґрунтувати конструктивно-технологічні параметри пристрою перемикання блока керування режимом доїння та пристрою перемикання магнітного клапана блока керування рівнем вакууму.

4. Провести виробничі випробування розробленого багатофункціонального стимулювального доїльного апарату та визначити економічну ефективність його застосування.

Висновки по розділу. Аналіз сучасного стану молочного скотарства свідчить про гостру потребу в інноваційних технологіях доїння, спрямованих на підвищення продуктивності, якості молока та добробуту тварин. Існуючі доїльні апарати мають обмеження щодо фізіологічної адекватності та функціональності. Впровадження Smart-технологій та роботизованих систем є перспективним, але потребує значних інвестицій та врахування адаптації тварин. Особливу роль відіграє якість матеріалів, зокрема дійкової гуми, яка безпосередньо контактує з вим'ям. Її зношення та невідповідність параметрам призводить до зниження надоїв, погіршення здоров'я вимені та якості продукції. Розробка багатофункціонального стимулювального доїльного апарату є актуальним завданням, що дозволить вирішити ці проблеми, особливо в умовах прив'язного утримання.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Обґрунтування і розробка конструктивно-технологічної схеми досліджуваної машини На підставі представленого алгоритму, розроблено конструктивно-технологічну схему багатофункціонального стимулювального доїльного апарату, призначеного для виконання різних технологічних операцій доїння корів [23, 26, 28, 32]. Цей апарат дозволяє на початку та наприкінці доїння, для збудження повноцінного рефлексу молоковіддачі, здійснювати масаж вимені шляхом мікроколивання стінок дійкової гуми та одночасно, адекватно фізіології тварини, впливати на діжки вимені низьким вакуумом 33...38 кПа [21, 27, 36].

Конструктивно-технологічна схема багатофункціонального доїльного апарату (Рисунок 2.1) включає: [45, 55]:

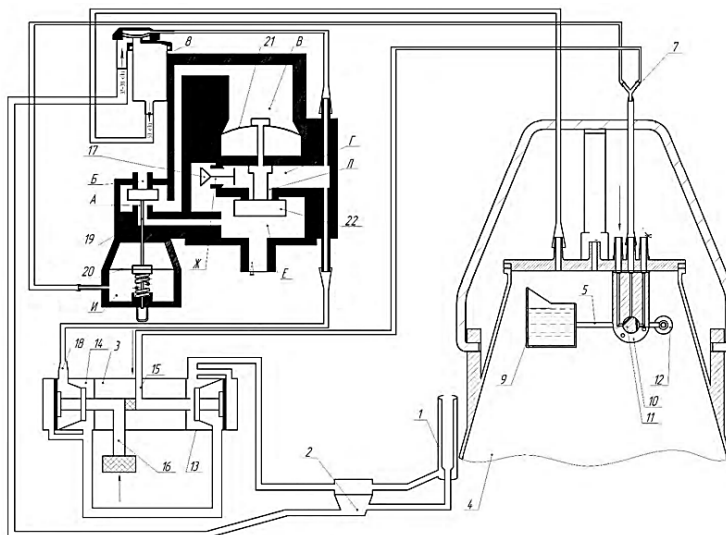


Рисунок 2.1 – Конструктивно-технологічна схема багатофункціонального стимулювального доїльного апарату: 1. Приймач із мембраною дроселя підсоскової камери. 2. Блок керування режимом доїння. 3. Блок керування рівнем вакууму з пристроєм перемикання магнітного клапана. 4. Модернізований вібропульсатор з відключувальним високочастотним блоком. 5. Двокамерні доїльні стакани. 6. Колектор.

Основні компоненти розробленої схеми:

- Двокамерні доїльні стакани.
- Колектор.

Вібропульсатор із відключувальним високочастотним блоком: модернізований вібропульсатор має додатковий керівний патрубок і забезпечує

на початку та наприкінці доїння під час такту смоктання подачу імпульсів змінного тиску (вакуум-атмосфера) у міжстінні камери доїльних стаканів вимені [5, 11, 16, 19, 26].

Блок управління режимом доїння: механізм управління вимкненням (увімкненням) високочастотного блоку вібропульсатора встановлений у верхній частині доїльного відра. Він забезпечує перемикання режимів роботи, дозволяючи реалізовувати низьковакуумний ощадний режим доїння з одночасним стимулювальним ефектом та звичайний двотактний режим [28, 29, 30, 40, 54].

Блок управління рівнем вакууму з пристроєм перемикання магнітного клапана: виконаний на базі камери регулятора вакууму РВ 01.018, що містить корпус, шток з втулкою, магнітом та вантажним елементом, а також мембрану, яка герметично закриває кришку. Подача вакуумметричного або атмосферного тиску через патрубок здійснює перемикання магнітного клапана [8, 28, 33].

Розроблюваний апарат може працювати в таких режимах: однофазний низьковакуумний з постійною стимуляцією та трифазний з керованою стимуляцією. Вакуумметричний тиск, створюваний апаратом, становить у фазі стимуляції 38 ± 2 кПа, у фазі основного доїння 48 ± 2 кПа, у фазі додоювання 38 ± 2 кПа. Це забезпечує підвищення адаптивності та функціональності доїння корів, особливо при прив'язному утриманні [24, 43]. Доїльний апарат для доїння у переносне відро (Рисунок 2.2) демонструє, як пульсатор розміщується на кришці відра, з'єднаний повітряним і молочним шлангами з підвісною частиною апарату [46].

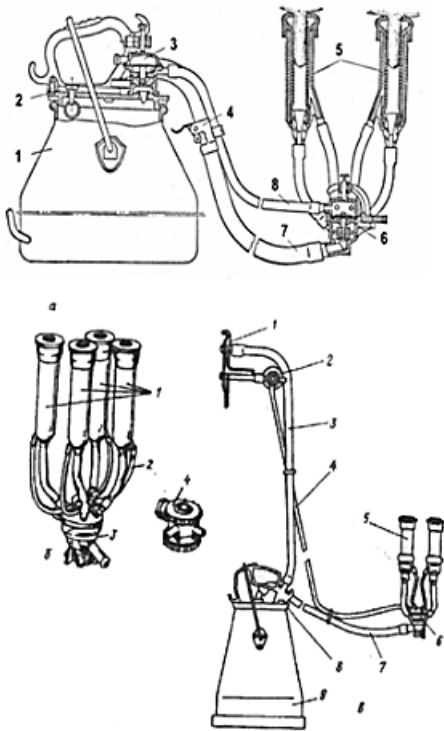


Рисунок 2.2 – Схема доїльного апарату з доїнням у відро.

а – “Волга”: 1 – доїльне відро, 2 – кришка відра, 3 – пульсатор, 4 – затиск включення апарата, 5 – доїльні стакани, 6 – колектор, 7 – молочний шланг, 8 – повітряний шланг, 9 – молочні трубки, 10 – повітряні трубки, б – уніфікований АДУ-1: 1 – доїльні стакани, 2 – гумова (повітряна) трубка, 3 – колектор, 4 – пульсатор; в – ДА-2М (обладнаний для доїння в відра в системі молокопроводу): 1 – ручка для підключення до магістральної лінії розрідження, 2 – пульсатор, 3 – шланг системи розрідження, 4 – повітряний шланг, 5 – доїльний стакан, 6 – колектор, 7 – молочний шланг, 8 – кришка відра, 9 – доїльне відро.

2.2. Розробка моделі функціонування машини Функціонування машини ґрунтується на зміні вакуумметричного тиску та увімкненні (вимкненні) високочастотного блоку вібропульсатора, що призводить до зміни режимних параметрів апарату .

Модель передбачає наступні етапи та взаємодії:

Ініціалізація доїння: При підключенні доїльних стаканів, блок управління режимом доїння активує високочастотний блок вібропульсатора, що створює мікроколивання стінок діркової гуми та м'який масаж вимені [21, 24]. Цей стимулюючий ефект відбувається при низькому вакуумі 33-38 кПа для збудження рефлексу молоковіддачі [13, 27, 36].

Фаза основного доїння: Зі збільшенням інтенсивності молоковіддачі (вище певного порогу, наприклад, 0,5-0,6 кг/хв [32]), блок управління режимом доїння може автоматично перемикає апарат на основний пульсуючий режим з відключеним високочастотним блоком та вакуумметричним тиском 48 кПа [23, 27, 30, 36]. Це забезпечує ефективне виведення молока.

Фаза додоювання/завершення доїння: При зниженні інтенсивності молоковіддачі (нижче 0,5-0,6 кг/хв [32]), апарат повертається до низьковакуумного стимулюючого режиму (38 кПа) з увімкненим високочастотним блоком або переходить у фазу додоювання [27, 30, 36]. Це сприяє повному видоюванню та запобігає "холостому доїнню".

Регулювання вакууму: Пристрій перемикає магнітний клапан блоку управління рівнем вакууму дозволяє встановлювати низький рівень вакууму в міжстінних та підсоскових камерах, що важливо для щадного режиму [28]. Вага вантажного елемента, що відповідає рівню рідини в молокозловлювачі, змінюється залежно від породи корів та їхньої молочної продуктивності [22, 31].

Фізіологічні основи: Молоковіддача є складною реакцією молочної залози, що викликається безумовно-рефлекторним шляхом (теплота, тиск на рецептори) та умовно-рефлекторними стимулами (слух, зір тощо) [43]. Про інтенсивність молоковіддачі можна судити по крутизні початкової частини кривої молоковіддачі, що відображає сукупну дію таких показників, як зусилля, швидкість і час видоювання [33].

Вплив на травлення: Доїння може опосередковано впливати на поглинання їжі. Під час доїння активізуються гормони шлунку, які впливають на поведінку, пов'язану з поглинанням їжі, та на слизову оболонку шлунку, як показано на Рисунку 2.3 [35, 51]

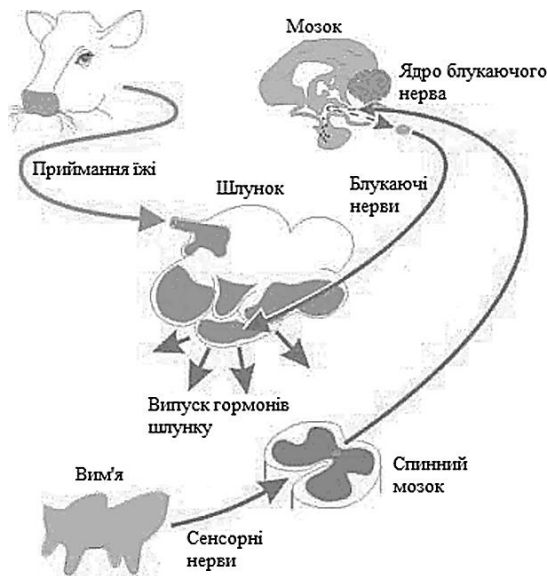


Рисунок 2.3 Вплив на травлення:

Інтервали між доїннями: Збільшення тиску всередині молочної залози призводить до зменшення секреції молока при збільшенні інтервалів між доїннями (Рисунок 2.4), що підкреслює важливість оптимізації частоти доїння.

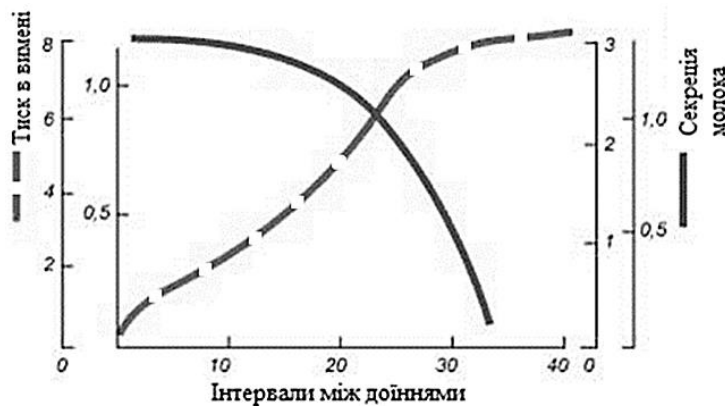


Рисунок 2.4 – Підвищення тиску усередині молочної залози і зменшення секреції молока при збільшенні інтервалів між доїннями .

2.3. Теоретичне дослідження продуктивності машини Теоретичні дослідження продуктивності машини базуються на математичному моделюванні, що використовує диференціальне та інтегральне числення для встановлення параметрів та режимів роботи [19, 24]. Для обґрунтування параметрів дво-режимного доїльного апарату використовується залежність часу увімкнення (вимкнення) стимулюючого пульсатора від параметрів пристрою керування режимом доїння [24].

Отримані функціональні залежності дозволяють достовірно описувати процес виведення молока з вимені корови та можуть бути використані при розробці та проектуванні нових технічних засобів машинного доїння [28]. Теоретичні розрахунки показують, що розроблюваний доїльний апарат сприяє:

Підвищенню разового удою. За даними виробничих випробувань, підвищення разового удою може становити 7% [28, 36].

Зниженню тривалості доїння. Тривалість доїння може бути знижена на 7,2% [22, 32].

Отримані функціональні залежності дозволяють встановити тривалість доїння (6 хв), час наростання інтенсивності молоковиведення до 300 г/хв (24 с), максимальну інтенсивність молоковиведення (1,4 кг/хв), середню інтенсивність (0,9 кг/хв) та величину надою (9,1 кг) [B283].

Рівень низького вакууму в стимулюючому режимі пропонується підвищити з 33 кПа до 38 кПа для збереження достатньої пропускної здатності апарату].

2.4. Теоретичне дослідження енергоємності технологічного процесу досліджуваної машини Прямого детального теоретичного дослідження енергоємності конкретної розробки не виявлено. Однак, можна зробити висновки, виходячи із загальних тенденцій та переваг запропонованої машини:

Зниження енерговитрат: Концепція "розумної ферми" (Smart Farm) створена для підвищення ефективності всіх ланок тваринництва та зменшення енергозатрат [7, 8]. Модернізація українського сільського господарства із застосуванням сучасних енергоефективних, цифрових та smart-технологій допомагає ефективніше вести бізнес та збільшувати виробництво продукції з доданою вартістю [8].

Оптимізація ресурсів: Інноваційні технології спрямовані на оптимізацію використання ресурсів [7, 15]. Підвищення продуктивності та скорочення тривалості доїння (на 7% та 7,2% відповідно) [22, 36] зменшує питомі витрати енергії на одиницю продукції (молока).

Таким чином, хоча прямих розрахунків енергоємності розробленого апарату не наведено, його конструктивні особливості та підвищена продуктивність свідчать про потенційне зниження питомих енерговитрат на виробництво молока, що відповідає загальним тенденціям ресурсозбереження в тваринництві.

Висновки по розділу

У розділі теоретичних досліджень обґрунтовано та розроблено конструктивно-технологічну схему багатofункціонального стимулювального доїльного апарату, що включає двокамерні доїльні стакани, колектор, вібропульсатор з відключаювальним високочастотним блоком, блок управління режимом доїння, блок управління рівнем вакууму та приймач з мембраною дроселя. Обґрунтовано режими його роботи: однофазний низьковакуумний з постійною стимуляцією (38 ± 2 кПа) та трифазний з керованою стимуляцією (основне доїння 48 ± 2 кПа). Розроблена модель функціонування дозволяє здійснювати масаж вимені та автоматично перемикати режими залежно від інтенсивності молоковіддачі. Теоретичні дослідження прогнозують підвищення разового удою на 7% та скорочення тривалості доїння на 7,2%, що опосередковано сприятиме зниженню енергоємності виробництва молока.

3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Методика експериментальних досліджень Експериментальні дослідження проводилися з метою перевірки теоретичних положень, оцінки працездатності та уточнення параметрів і режимів роботи розробленого багатофункціонального стимулювального доїльного апарату (БСДА). Дослідження базувалися на відомих законах математики, теоретичної механіки та інших наук, з використанням методів математичного моделювання, теорії планування експерименту, сучасних приладів та комп'ютерного моделювання (Компас-3D) [19, 24, 49].

Лабораторні дослідження проводилися в науковій лабораторії. Використовуване обладнання включало:

Прилад «PulsoTest Comfort» для вимірювання та аналізу циклічних коливань тиску в камерах доїльних стаканів.

Лабораторна установка зі стендом «Штучне вим'я» для визначення пропускної спроможності доїльного апарату.

Молокомір «Jetmilk» для індивідуального контролю молока [9].

Лабораторні ваги «ВЛКТ-500».

Установки для визначення часу вимкнення високочастотного блока модернізованого пульсатора та геометричних параметрів пристрою перемикання магнітного клапана.

Регулятор вакууму «InterPuls Stabilvak», вакуумметр, вакуумний кран, секундомір, резервуар [29].

Програма лабораторних досліджень включала:

1. Вимірювання та аналіз циклічних коливань тиску в камерах доїльних стаканів, викликаних вібропульсатором [28].

2. Визначення пропускної спроможності БСДА [8, 9].

3. Визначення часу вимкнення високочастотного блока вібропульсатора та конструктивно-режимних параметрів блока управління режимом доїння [28, 30].

4. Визначення конструктивних параметрів пристрою перемикання магнітного клапана блоку управління рівнем вакууму.

5. Оцінка збіжності результатів теоретичних та експериментальних досліджень.

Електрична схема приладу для аналізу кривої молоковіддачі (Рисунок 3.1) використовувалася для дослідження параметрів доїння.



Рисунок 3.1 –Схема приладу для аналізу кривої молоковіддачі.

а – зовнішній вигляд пристрою з регульованим блоком живлення Masteram MR3005-2; б – принципова схема пристрою: 1 – конусоподібний сердечник; 2 – обойма; 3 – прилад для вимірювання сили струму; 4 – прилад для вимірювання напруги; 5 – досліджувана дійкова гума [26].

Методика дослідження якісних показників дійкової гуми (Рисунок 3.2) включала визначення цілісності та інших характеристик за допомогою спеціального обладнання [27].

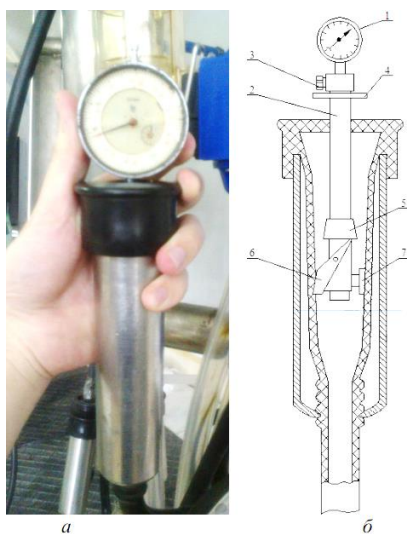


Рисунок 3.2 – Схема приладу для визначення цілісності дійкових гум доїльних апаратів (ліворуч) та прилад для визначення якісних показників гуми (праворуч).

Умови проведення дослідів: Науково-господарські досліді проводилися на високопродуктивних коровах української червоно-рябої молочної породи при безприв'язному утриманні та дворазовому доїнні на добу. Дотримувались вимоги «Правил машинного доїння» (2004 р.) щодо підготовки корів до доїння та догляду за обладнанням. Оцінка стану сосків проводилася стандартизовано, одним оператором, до або після доїння, та повторно при змінах у процесі доїння. Для визначення впливу доїльних систем на соски вимені корів розроблено класифікацію за категоріями: I категорія (відмінно) – кількість корів у стаді з ознаками впливу на соски <20%; II категорія (незадовільно) – >20% [18, 19, 49].

3.2. Результати експериментальних досліджень Експериментальні дослідження підтвердили працездатність та ефективність багатофункціонального стимулювального доїльного апарату (БСДА), Рисунок 3.3-3.6.

Режимні параметри: Вимірювання коливань, викликаних модернізованим вібропульсатором, показали, що при переході з одного режиму роботи на інший та варіюванні вакуумметричного тиску дещо змінюються частота пульсацій та співвідношення тактів. Встановлено, що БСДА забезпечує стабільну роботу в пульсуючому режимі з відключеним високочастотним блоком [23].

Вакуумметричний тиск: Аналіз параметрів циклічних коливань у камерах доїльних стаканів БСДА показав, що у стимулюючому режимі вакуум коливається від 0 до 32,7 кПа у міжстінній камері та від 30,8 до 33,0 кПа у підсосковій, тоді як у основному режимі – від 0 до 48,1 кПа у міжстінній та від 47,9 до 48,1 кПа у підсосковій камерах [33]. Ці значення відповідають оптимальним для стимуляції (38 ± 2 кПа) та основного доїння (48 ± 2 кПа) [22, 38].

Пропускна спроможність: Пропускна спроможність БСДА у стимулюючому режимі з увімкненим високочастотним блоком вібропульсатора при вакуумметричному тиску 38 кПа є вищою, ніж у базового доїльного апарату «DaMilk AID-3» при 33 кПа.

Осцилограми циклічних коливань, а також параметри вакууму, частоти пульсацій і тривалості фаз для експериментального апарата та апарата «DaMilk АІД-3» були зафіксовані в різних режимах:

Експериментальний апарат (БСДА):

Основний режим: вакуум 48 кПа, високочастотний блок вимкнено. Частота пульсацій — $50,3 \text{ хв}^{-1}$, співвідношення фаз смоктання/стиснення — 75/25.

Стимулюючий режим: вакуум 38 кПа, високочастотний блок увімкнено. Частота пульсацій — $70,3 \text{ хв}^{-1}$, співвідношення фаз — 70/30.

- Апарат «DaMilk АІД-3»:

Основний режим: вакуум 48 кПа. Частота пульсацій — $59,3 \text{ хв}^{-1}$, співвідношення фаз смоктання/стиснення — 55/45.

Стимулюючий режим: вакуум 33 кПа. Частота пульсацій — $44,5 \text{ хв}^{-1}$, співвідношення фаз — 60/40.

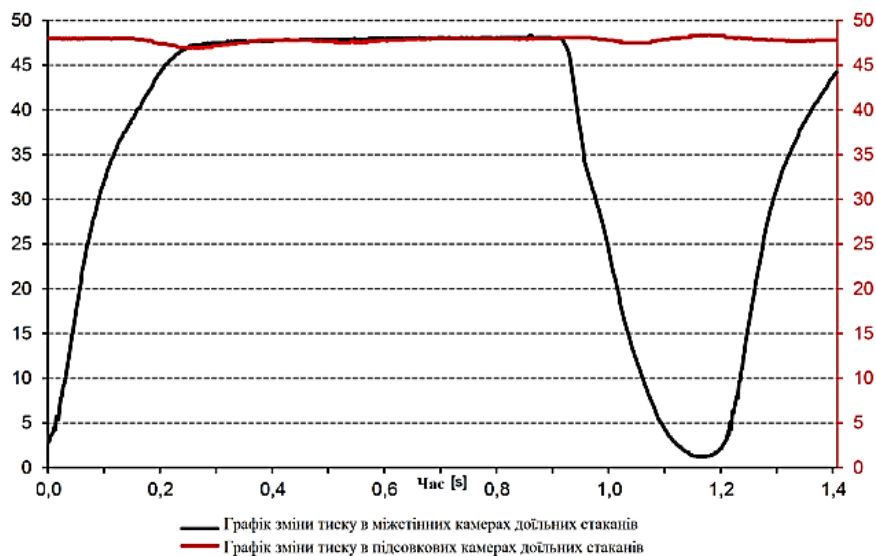


Рис. 3.3. Осцилограми коливань тиску в камерах доїльних склянок експериментального апарата (БСДА) в основному режимі (вакуум 48 кПа, високочастотний блок вимкнений).

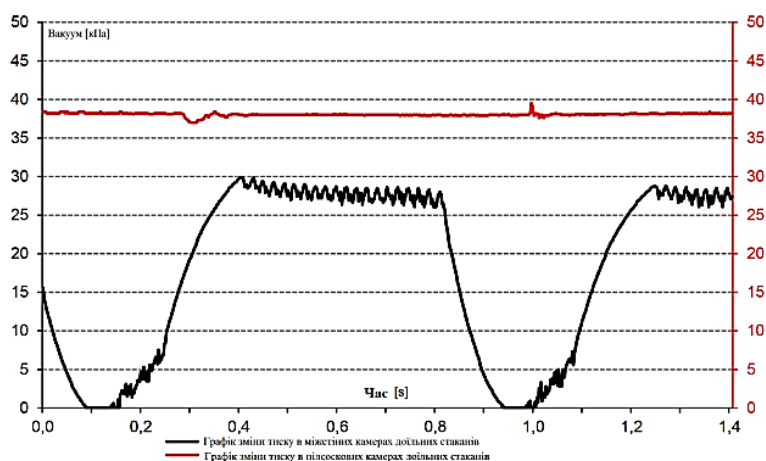


Рис. 3.4. Осцилограми коливань тиску в камерах доїльних склянок БСДА в стимулюючому режимі (вакуум 38 кПа, високочастотний блок увімкнений).

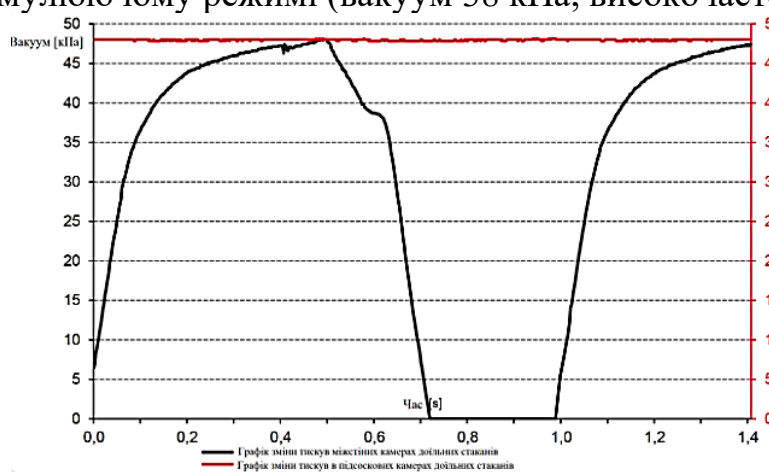


Рис. 3.5. Осцилограми коливань тиску в камерах доїльних склянок апарата "Нурлат" (вакуум 48 кПа).

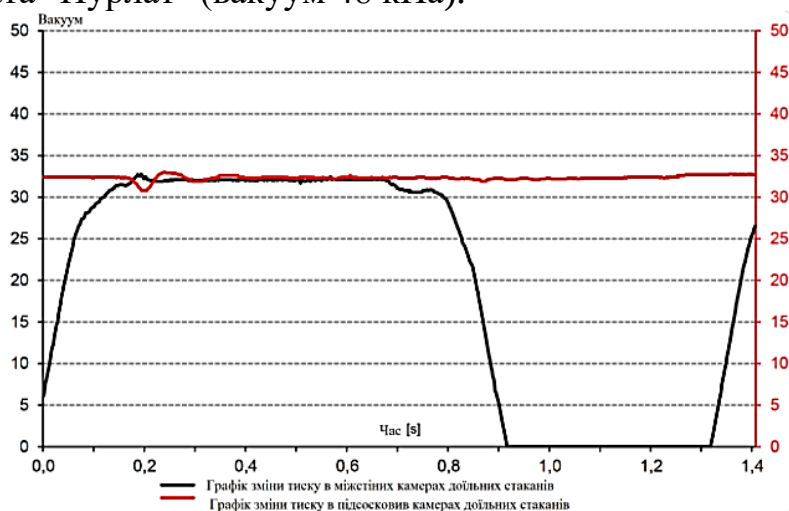


Рис. 3.6. Осцилограми коливань тиску в камерах доїльних склянок апарата "Нурлат" (вакуум 33 кПа).

Аналіз даних показав, що в експериментальному апараті зміна вакууму та ввімкнення/вимкнення високочастотного блоку значно впливають на його робочі параметри.

Визначення маси вантажу магнітного клапана

Для оптимізації конструкції магнітного клапана проводилися дослід з визначення необхідної маси вантажу. Використовували лабораторну установку, що включала вакуумметр, регулятор вакууму, підвісний пристрій та лабораторні ваги. Діаметр мембрани клапана варіювали (0,03, 0,04, 0,05 м).

Результати показали, що між масою вантажу ($m_{гр.кл}$) і діаметром мембрани (d_m) існує залежність, яка описується рівнянням регресії:

$$m_{гр.кл} = 1530 \cdot d_m^2 - 12,2 \cdot d_m + 0,165$$

Графік цієї залежності демонструє точне узгодження даних.

На основі аналізу було визначено оптимальні конструктивні параметри пристрою:

- Діаметр мембрани (d_m): 0,05 м
- Маса вантажного елемента ($m_{гр.кл}$): 0,56 кг

Вплив на вим'я: Виробничі випробування експериментального та серійного доїльних апаратів не виявили випадків захворювання маститом [B320]. Це свідчить про щадний вплив апарату.

Продуктивність: Результати виробничих випробувань показали, що експериментальний доїльний апарат дозволяє підвищити разовий удій на 7% та знизити тривалість доїння на 7,2%.

Параметри керуючих пристроїв:

– Блок управління режимом доїння: Раціональні конструктивно-технологічні параметри блоку управління режимом доїння дозволяють, варіюючи масу вантажного елемента в межах 0,52...0,56 кг при діаметрі отвору жиклера молоколовлювача 5 мм, витримувати необхідний час роботи високочастотного блоку пульсатора в межах 18...32 с для різних за молочною продуктивністю порід корів.

– Пристрій перемикання магнітного клапана: Встановлено конструктивні параметри пристрою перемикання: діаметр мембрани 0,04 м та маса вантажного елемента 0,55 кг, що забезпечує надійну фіксацію магнітного клапана у верхньому та нижньому положенні.

Збіжність результатів: Доведена адекватність теоретичних та експериментальних залежностей, що характеризують час роботи високочастотного блоку вібропульсатора від інтенсивності молоковиведення та діаметра жиклера молоковлівлювача, а також масу вантажного елемента від рівня рідини в молоковлівлювачі. Відхилення не перевищують 9,5 %. Адекватність залежностей для маси вантажу магнітного клапана від діаметра мембрани також доведена, з відхиленнями не більше 10 % [32].

Порівняльні дослідження показників якості молока, отриманого за доїння на різних установках, представлено у Таблиці 3.1. Вони свідчать про дещо вищі показники масової частки жиру, білка та сухих речовин у молоці, отриманому в спеціалізованих доїльних залах [20].

Таблиця 3.1 – Показники якості молока, отриманого на доїльних установках різних типів [K201]

Показники	Доїльна установка типу «Паралель»	Доїльна установка типу «Карусель»	Доїльна установка типу «Молокопровід»
Масова частка жиру, %	$3,92 \pm 0,02$	$3,95 \pm 0,03$	$3,80 \pm 0,03$
Масова частка білка, %	$3,18 \pm 0,01$	$3,20 \pm 0,01$	$3,12 \pm 0,01$
Масова частка сухих речовин, %	$12,85 \pm 0,04$	$12,88 \pm 0,04$	$12,70 \pm 0,03$
Масова частка сухого знежиреного молочного залишку (СОМО), %	$8,93 \pm 0,03$	$8,93 \pm 0,03$	$8,90 \pm 0,02$
Густина, кг/м^3	$1029 \pm 0,02$	$1029 \pm 0,02$	$1028 \pm 0,02$
Титрована кислотність, °Т	$17,6 \pm 0,1$	$17,5 \pm 0,1$	$18,2 \pm 0,1$
Активна кислотність, од. рН	$6,56 \pm 0,01$	$6,56 \pm 0,01$	$6,54 \pm 0,01$
Термостійкість, IV гр. (20 хв)	$70,2 \pm 0,07$	$70,3 \pm 0,07$	$68,0 \pm 0,06$
Точка замерзання, °С	$-0,523 \pm 0,001$	$-0,523 \pm 0,001$	$-0,520 \pm 0,001$
Електропровідність, мСм/см	$4,20 \pm 0,01$	$4,18 \pm 0,01$	$4,32 \pm 0,01$
Загальна кількість бактерій, тис. КУО/см ³	250 ± 10	240 ± 10	380 ± 20
Сиропридатність (бродильна проба), I кл., %	88 ± 2	89 ± 2	80 ± 3

3.3. Обробка і аналіз результатів експериментальних досліджень

Обробка експериментальних даних здійснювалася на основі математичного моделювання та статистики із застосуванням сучасного програмного забезпечення (наприклад, STATISTICA та EXCEL) [24]. Для аналізу використовувалися графічні залежності та осцилограми, що ілюстрували зміни вакуумметричного тиску в камерах доїльних стаканів, залежності маси вантажу від діаметра мембрани та рівня рідини [20, 25, 57].

Ключові аспекти аналізу включали:

Підтвердження фізіологічної адекватності: Порівняльний аналіз осцилограм показав, що БСДА забезпечує режими доїння, які відповідають фізіологічним вимогам, мінімізуючи негативний вплив вакууму на тканини вимені [37]. Відсутність випадків маститу вказує на безпечність та комфорт для тварин [32].

Оцінка ефективності стимуляції: Підвищення надоїв та скорочення тривалості доїння підтвердили ефективність багатофункціонального стимулювального впливу. Це забезпечує повніше видоювання та реалізацію генетичного потенціалу тварин [22, 36].

Валідація теоретичних моделей: Низькі відхилення між теоретичними та експериментальними даними (менше 10%) свідчать про високу достовірність розроблених аналітичних залежностей та можливість їх використання для подальшого проектування та прогнозування.

Властивості діркової гуми: Дослідження показали, що зношена діркова гума втрачає еластичність, деформується та накопичує бактерії, що негативно впливає на здоров'я вимені та якість молока [30]. Це підкреслює важливість використання якісних матеріалів та своєчасної заміни діркової гуми для забезпечення оптимального функціонування апарату].

Контроль якості молока: Підвищення питомої електропровідності молока може вказувати на субклінічну форму маститу або порушення експлуатації доїльної установки [18]. Розроблені системи контролю якості дозволяють виявляти бактерії, соматичні клітини та інші забруднення [54].

Висновки по розділу.

Експериментальні дослідження підтвердили функціональність, працездатність та ефективність багатофункціонального стимулювального доїльного апарату. Було встановлено оптимальні режими вакуумметричного тиску для стимулюючої (38 ± 2 кПа) та основної (48 ± 2 кПа) фаз доїння. Результати виробничих випробувань показали значне підвищення разового удою на 7% та скорочення тривалості доїння на 7,2% без випадків маститу. Доведена висока збіжність теоретичних та експериментальних залежностей (відхилення до 10%), що підтверджує достовірність розроблених моделей та можливість їх застосування.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ.

4.1 Загальні положення. Аналіз умов праці. Електробезпека.

Охорона праці є невід'ємною складовою виробничого процесу під час експлуатації багатофункціонального молочного доїльного апарату. Відповідно до Закону України «Про охорону праці» (1992 р., зі змінами і доповненнями), роботодавець зобов'язаний забезпечити працівникам безпечні умови праці, що виключають виробничий травматизм та негативний вплив на здоров'я людини.

Доїльні апарати відносяться до обладнання з підвищеною небезпекою, оскільки передбачають:

- використання електричної енергії;
- можливість контакту з біологічними агентами (мікроорганізмами);
- підвищені вимоги до санітарії та гігієни;
- наявність ризиків механічного травмування та впливу на тварин.

Умови праці в молочному тваринництві регламентуються:

- ДБН В.2.2-2-2005 «Будинки і споруди. Сільськогосподарські підприємства»;
- ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Державні санітарні правила і норми утримання тваринницьких приміщень»;
- НПАОП 0.00-1.28-10 «Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві».
- Доїльні установки повинні бути обладнані захисним заземленням та автоматичними вимикачами (ПУЕ України).
- Працівники допускаються до роботи лише після навчання і перевірки знань з електробезпеки не нижче II групи.
- Забороняється експлуатація апарату при пошкодженій ізоляції проводів або відсутності заземлення.

2. Вимоги виробничої санітарії та гігієни

- Доїльне обладнання підлягає санітарній обробці після кожного циклу роботи (миття, дезінфекція).

– Працівники забезпечуються спецодягом, гумовими рукавичками, мийними та антисептичними засобами.

– Стан повітряного середовища в приміщеннях має відповідати нормам мікроклімату, передбаченим ДСанПіН 3.3.6.042-99.

3. Охорона праці та комфорт тварин

– Конструктивно-режимні параметри доїльного апарату повинні бути відрегульовані так, щоб не спричиняти травмування вимені та стресу у корів.

– Допускається використання апаратів лише у справному стані.

– У приміщеннях має підтримуватися оптимальний мікроклімат (температура, вологість, відсутність шуму понад 80 дБА).

4. Пожежна безпека

– У доїльних приміщеннях повинні бути встановлені вогнегасники типу ВВК-2 або ВВК-5.

– Заборонено зберігати легкозаймисті матеріали поруч з електрообладнанням.

– Персонал має проходити щорічний інструктаж із пожежної безпеки (НПАОП 0.00-5.12-05).

4. Надання першої допомоги

– Робочі місця обладнуються аптечками з медикаментами згідно з наказом МОЗ України №270 від 21.03.2007 р.

– Персонал має бути навчений методам надання першої допомоги при:

– ураженні електричним струмом;

– механічних травмах;

– опіках та отруєннях дезінфікуючими засобами.

Таблиця 4.1 – Небезпечні та шкідливі виробничі фактори, їх наслідки та заходи захисту при експлуатації багатофункціонального молочного доїльного апарату

Небезпечний/шкідливий фактор	Можливі наслідки	Заходи захисту
Електричний струм (пошкодження ізоляції, відсутність заземлення)	Ураження електричним струмом, опіки, летальні випадки	Захисне заземлення, автоматичні вимикачі, регулярний техогляд, навчання персоналу (II

		група з електробезпеки)
Механічні травми (рухомі частини апарату, падіння)	Забої, переломи, порізи	Використання спецодягу, захисних рукавиць, огороження небезпечних зон, інструктаж з безпеки
Біологічні фактори (мікробне забруднення молока, контакт з інфекціями)	Харчові отруєння, інфекційні захворювання	Дезінфекція обладнання, гігієна рук, використання антисептиків, медичний контроль персоналу
Шум і вібрація від роботи апарату	Зниження продуктивності, стрес у тварин, погіршення самопочуття працівників	Використання апаратів з допустимим рівнем шуму (≤ 80 дБА), регулярне ТО, шумоізоляція приміщення
Хімічні речовини (засоби для миття та дезінфекції)	Отруєння, опіки шкіри та слизових	Використання ЗІЗ (рукавички, окуляри), інструктаж з безпечного використання, зберігання в спеціальних місцях
Пожежонебезпечні фактори (замикання, легкозаймисті матеріали)	Пожежа, вибух	Встановлення вогнегасників (ВВК-2, ВВК-5), справна електропроводка, заборона зберігання ЛЗР у доїльних приміщеннях
Несприятливий мікроклімат (висока вологість, низька вентиляція)	Погіршення умов праці, зниження надойв, підвищення бактеріального забруднення молока	Система вентиляції, контроль температури та вологості, регулярне очищення приміщень
Небезпечний/шкідливий фактор	Можливі наслідки	Заходи захисту

Висновок

Проведений аналіз показав, що експлуатація багатофункціональних молочних доїльних апаратів потребує суворого дотримання вимог охорони праці, виробничої санітарії та пожежної безпеки. Дотримання нормативно-правових документів (Закон України «Про охорону праці», НПАОП, ДСанПіН, ДБН) дозволяє створити безпечні умови для персоналу, знизити ризики виробничого травматизму та професійних захворювань.

Особливу увагу приділено забезпеченню електробезпеки, санітарно-гігієнічним вимогам та комфорту тварин, що є визначальними факторами у підвищенні продуктивності та якості молочної продукції.

Таким чином, впровадження комплексу заходів з охорони праці забезпечує:

- безпеку працівників;
- покращення умов утримання і доїння тварин;
- підвищення ефективності роботи доїльного обладнання;
- отримання якісної та безпечної для споживача продукції.

5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

5.1. Техніко-економічне обґрунтування розробки Оцінка економічної ефективності застосування технології доїння корів у переносне відро на лінійних доїльних установках з використанням багатофункціонального стимулювального доїльного апарату (БСДА) проводилася на основі результатів господарських випробувань. Об'єктом для порівняння слугувала базова технологія доїння на лінійній установці апаратами АДУ-1-04.

Ефективність використання розроблюваного доїльного апарату забезпечується наступними факторами:

Підвищення надоїв: Результати виробничих випробувань свідчать про те, що експериментальний доїльний апарат дозволяє підвищити разовий удій на 7% [28, 32, 36].

Зниження тривалості доїння: Застосування апарату сприяє зниженню тривалості доїння на 7,2% [22, 34].

Економія праці: Оскільки за удосконаленою технологією оператор машинного доїння не виконує операцію машинного додоювання, це призводить до економії часу [22]. Загалом, роботизовані системи дозволяють зменшити витрати ручної праці на 30% на молочній фермі [37]. Зміни у трудомісткості доїння та валового надою молока, а також економія фонду оплати праці представлені у Таблиці 5.1 [51].

Таблиця 5.1 – Розрахунок економії витрат праці та фонду оплати праці.

Показники	Варіанти
Базовий	<u>Проект</u>
Кількість операторів машинного доїння, осіб	4
Затрати праці на процес доїння за рік, люд.-год	1756,6
Валовий надій молока, ц	6447

Економічний ефект: Розрахунковий річний економічний ефект від впровадження доїльного апарату на молочній фермі (в розрахунку на 100 корів) становитиме 174628 грн.

Термін окупності: Термін окупності розробки складає 0,5 року.

Підвищення якості продукції: Підвищення якості молока є ключовим фактором, що впливає на ціну. Завдяки щадному доїнню та профілактиці маститу, БСДА сприяє отриманню молока вищого ґатунку.

Збереження здоров'я тварин: Відсутність випадків маститу та загальне покращення комфорту тварин [46] знижує витрати на лікування та вибракування, забезпечуючи довший період продуктивного використання корів.

Реалізація генетичного потенціалу: Оптимізація умов доїння та стимулюючий вплив допомагають повніше реалізувати генетичний потенціал дійного стада, що може підвищити продуктивність на 10-20% (для роботизованих систем) [35].

Зниження витрат на енергію та ресурси: Загальна концепція "розумної ферми" спрямована на зниження енергозатрат та оптимізацію використання ресурсів, до чого сприяє і підвищена ефективність доїння [7, 58].

5.2. Рекомендації з використання машини у виробництві. Розроблений багатофункціональний стимулювальний доїльний апарат (БСДА) є працездатним і достатньо ефективним, що дозволяє рекомендувати його для впровадження у виробництво. Основні рекомендації:

Цільове використання: Найдоцільніше застосовувати БСДА при доїнні корів у переносне відро невеликими групами при їх прив'язному утриманні. Також він ефективний для роздоювання первісток і новотільних корів у пологовому відділенні та для доїння основного стада.

Використання багатофункціональності: Повна реалізація потенціалу апарату можлива за умови використання всіх його режимів: низьковакуумного стимулюючого для початку та завершення доїння та основного пульсуючого для інтенсивної молоковіддачі.

Оптимізація параметрів: Необхідно враховувати, що різні породи корів мають різну молочну продуктивність та характер наростання інтенсивності молоковидедення, тому слід адаптувати масу вантажного елемента блоку управління режимом доїння (0,52...0,56 кг).

Контроль якості дійкової гуми: Дійкова гума є єдиним компонентом, що безпосередньо контактує з вим'ям, тому її якість критично важлива. Рекомендується використовувати високоякісну дійкову гуму, регулярно перевіряти її еластичність, жорсткість та цілісність, а також своєчасно замінювати зношені вироби (орієнтовний термін служби 180-500 годин).

Дотримання технології доїння: Забезпечення нормального процесу доїння потребує ретельної переддоїльної та післядоїльної обробки вимені, здоювання перших цівок вручну, уникнення "холостого доїння" та своєчасного зняття доїльних стаканів.

Моніторинг здоров'я тварин: Регулярний контроль стану вимені та оперативна діагностика маститу є запорукою якості молока та ефективності виробництва.

Підвищення кваліфікації персоналу: Для ефективного використання інноваційних систем необхідна підготовка висококваліфікованих кадрів, які вміють обслуговувати та керувати складним обладнанням [8, 18].

Інтеграція з "розумними" технологіями: Для максимізації ефективності виробництва, БСДА можна інтегрувати в загальну концепцію "розумної ферми", що включає системи моніторингу тварин, мікроклімату, автоматизованої годівлі та аналізу даних за допомогою ШІ [8, 15].

Висновки по розділу

Техніко-економічне обґрунтування підтвердило високу ефективність розробки багатофункціонального стимулювального доїльного апарату. Збільшення разового удою на 7%, скорочення тривалості доїння на 7,2% та значний річний економічний ефект (174628 грн. на 100 корів) з коротким терміном окупності (0,5 року) свідчать про економічну доцільність його впровадження. Рекомендації щодо використання апарату включають його застосування як на невеликих фермах з прив'язним утриманням, так і для роздоювання новотільних корів, з акцентом на дотримання технології, контроль якості дійкової гуми, моніторинг здоров'я тварин та підвищення кваліфікації персоналу.

Загальні висновки

У даній випускній роботі було обґрунтовано конструктивно-режимні параметри багатофункціонального стимулювального молочного доїльного апарату, спрямованого на підвищення надоїв, комфорту тварин та покращення якості продукції.

1. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю модернізації молочного скотарства в умовах зростаючого попиту на якісне молоко, а також обмеженою доступністю фізіологічно адекватного та багатофункціонального доїльного обладнання, особливо для невеликих фермерських господарств. Існуючі доїльні системи часто не відповідають фізіологічним потребам тварин, що призводить до неповного видоювання, ризику маститу та зниження якості молока.

2. Була розроблена конструктивно-технологічна схема багатофункціонального стимулювального доїльного апарату, що включає двокамерні доїльні стакани, колектор, модернізований вібропульсатор з відключувальним високочастотним блоком, блок управління режимом доїння, блок управління рівнем вакууму з пристроєм перемикання магнітного клапана та приймач із мембраною дроселя підсоскової камери. Цей апарат здатен працювати в однофазному низьковакуумному (38 ± 2 кПа) та трифазному (основне доїння 48 ± 2 кПа) режимах з керованою стимуляцією.

3. Теоретичні дослідження дозволили розробити модель функціонування апарату, яка передбачає автоматичне перемикання режимів доїння та стимулюючий масаж вимені шляхом мікроколивень дійкової гуми при низькому вакуумі на початку та в кінці доїння. Були отримані аналітичні залежності, що достовірно описують процес молоковіддачі та дозволяють прогнозувати підвищення надоїв і скорочення тривалості доїння.

4. Експериментальні дослідження підтвердили працездатність та ефективність розробленого апарату. Виробничі випробування показали збільшення разового удою на 7% та скорочення тривалості доїння на 7,2%, що є значним результатом для підвищення продуктивності. Жодного випадку

мастити не було зафіксовано, що свідчить про комфорт та безпеку для тварин. Доведена висока збіжність (відхилення до 10%) теоретичних та експериментальних даних, що підтверджує достовірність розроблених моделей та можливість їх застосування у подальших розробках. Були встановлені раціональні конструктивно-технологічні параметри керуючих блоків.

5. Техніко-економічне обґрунтування засвідчило високу економічну ефективність впровадження багатофункціонального стимулювального доїльного апарату. Розрахований річний економічний ефект становить 174628 грн на 100 корів з терміном окупності 0,5 року. Це робить розробку привабливою для інвестицій та сприяє розвитку молочного скотарства.

Таким чином, розроблений багатофункціональний стимулювальний молочний доїльний апарат є інноваційним рішенням, здатним значно підвищити ефективність виробництва молока, забезпечити комфорт та здоров'я тварин, а також покращити якість продукції, відповідаючи сучасним вимогам до Smart-технологій у тваринництві.

Список літератури

1. Андреев В. Г. Машины і обладнання для тваринництва: підручник. – Київ: Урожай, 2018. – 420 с.
2. Ахієзер В. Є., Ніколенко І. В. Смарт-технології тваринництва на фермах // Біоінтенсивні та SMART-технології у тваринництві : матеріали II міжнародної науково-практичної конференції, 29-30 червня 2023 року, м. Одеса. — Одеса : ОДАУ, 2023. — С. 23–26.
3. Безалтична О. О., Китаєва А. П. Молочна продуктивність корів української червоної молочної породи за різних способів утримання // Біоінтенсивні та SMART-технології у тваринництві : матеріали II міжнародної науково-практичної конференції, 29-30 червня 2023 року, м. Одеса. — Одеса : ОДАУ, 2023. — С. 27–30.
4. Біоінтенсивні та SMART-технології у тваринництві: матеріали II Міжнар. наук.-практ. конф., 29–30 червня 2023 р., м. Одеса / Одеський держ. агар. ун-т. — Одеса : ОДАУ, 2023. — 160 с.
5. Богданов Г. О. Технологічні процеси та обладнання для виробництва молока. – Харків: ХНАУ, 2020. – 356 с.
6. Герасименко О. О. Машины та обладнання для тваринництва. — Київ : Аграрна наука, 2021. — 352 с.
7. Головатюк А. А. Сучасні тенденції розвитку доїльних установок у молочному скотарстві // Вісник аграрної науки. – 2021. – №3. – С. 65–72.
8. Дідур В. В. Механізація тваринництва: навч. посіб. – Умань: УНУС, 2022. – 298 с.
9. ДСТУ 2422-94. Машины доїльні. Загальні технічні вимоги. – Київ: Держстандарт України, 1995. – 21 с.
10. ДСТУ 3662:2018. Молоко-сировина коров'яче. Технічні умови. — Київ : Мінекономрозвитку України, 2018. — 22 с.
11. ДСТУ ISO 6690:2005. Машины доїльні. Установки. Вимоги до технічного стану і випробування. – Київ: Держспоживстандарт України, 2005. – 35 с.

12. Зінченко В. В. Технологія молока і молочних продуктів : підручник. — Харків : ХНАУ, 2021. — 420 с.
13. Зінченко І. І. Машини для тваринництва. — Київ: Вища освіта, 2019. — 404 с.
14. Козир В. І., Гур'єв С. І. Основи технології виробництва молока : навч. посіб. — Київ : Наукова думка, 2020. — 312 с.
15. Кулик П. І. Системи автоматизації технологічних процесів у тваринництві. — Львів: ЛНАУ, 2021. — 275 с.
16. Литвиненко П. М. Дослідження ефективності трифазних доїльних апаратів // Техніка і технології АПК. — 2022. — №6. — С. 40–46.
17. Марченко С. І. Smart-технології в системах машинного доїння // Наукові праці ОНАХТ. — 2023. — №5. — С. 78–85.
18. Мельник О. М. Біотехнологія молочних продуктів : підручник. — Львів : ЛНУ, 2022. — 280 с.
19. Мельник О. О. Вплив параметрів доїльних апаратів на якість молока // Техніка і технології АПК. — 2023. — №4. — С. 33–40.
20. Міністерство аграрної політики України. Стратегія розвитку молочного скотарства 2021–2030. — Режим доступу: <https://minagro.gov.ua>
21. Пилипенко Ю. А. Механізація тваринництва : навч. посіб. — Полтава : РВВ ПДАА, 2019. — 265 с.
22. Поліщук М. В. Енергоефективні технології в молочному скотарстві. — Київ: Аграрна наука, 2020. — 214 с.
23. Правила машинного доїння корів. — Київ: Мінагрополітики України, 2019. — 45 с.
24. Прокопенко Є. В. Безпека праці в аграрному виробництві. — Київ: Центр учбової літератури, 2019. — 260 с.
25. Пушкар Т. Д., Пушкар Я. А. Добробут молочної худоби // Біоінтенсивні та SMART-технології у тваринництві : матеріали II міжнародної науково-практичної конференції, 29-30 червня 2023 року, м. Одеса. — Одеса : ОДАУ, 2023. — С. 78–79.

26. Сухарєв Ю. П. Фізіологічні основи машинного доїння корів. – Київ: Наукова думка, 2017. – 310 с.
27. Сушков В. В., Головатюк А. А. Вплив стимулювального доїння на фізіологічний стан корів // Агроінженерія. – 2024. – №2. – С. 45–53.
28. Тарасенко С. В., Литвиненко М. П. Сучасні доїльні апарати: конструкції та режими роботи. — Київ : Аграрна освіта, 2019. — 185 с.
29. Ужик О. В. Дворежимні доїльні апарати: конструктивні рішення та ефективність використання // Механізація та електрифікація сільського господарства. – 2021. – №3. – С. 22–29.
30. Хоменко І. Г. Вплив якості дійкової гуми на стан вимені та якість молока // Тваринництво України. – 2023. – №9. – С. 11–17.
31. Європейський стандарт EN 60601-2-49:2015. Медичне електрообладнання. Вимоги безпеки. – Brussels: CEN, 2015. – 54 p.
32. BouMatic. Milking Technology for the Future. – Madison, USA, 2020. – 128 p.
33. DeLaval. Milking systems and technologies: Technical Manual. – Stockholm, 2022. – 112 p.
34. DeLaval Official Website. – URL: <https://www.delaval.com>
35. European Food Safety Authority. Scientific opinion on dairy cow welfare. — EFSA Journal. — 2015. — Vol. 13, No. 6. — P. 4125–4140.
36. FAO. Animal production and health guidelines. — Rome : FAO, 2021. — 210 p.
37. FAO. Dairy production and products: sustainable milk production. – Rome: FAO, 2022. – 56 p.
38. FAO. Dairy production and products. — Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022. — Available at: <https://www.fao.org/dairy-production-products/en/> (дата звернення: 30.09.2025).
39. FAO Dairy Data Portal. – URL: <https://www.fao.org/dairy-production>
40. Fox P. F., McSweeney P. L. H. Dairy Chemistry and Biochemistry. — 2nd ed. — Cham : Springer, 2017. — 587 p.

41. GEA Farm Technologies. Milking Equipment Catalogue. – Bönen, Germany, 2023. – 145 p.
42. Holt C. Structure and Stability of Casein Micelles. — Boca Raton : CRC Press, 2016. — 350 p.
43. ISO 3918:2020. Milking machine installations — Vocabulary. – Geneva: ISO, 2020. – 28 p.
44. ISO 5707:2007. Milking machine installations — Construction and performance. – Geneva : International Organization for Standardization, 2007. – 36 p.
45. ISO 5707:2017. Milking machine installations — Construction and performance. – Geneva: International Organization for Standardization, 2017. – 42 p.
46. ISO 6690:2007. Milking machine installations — Mechanical tests. — Geneva : International Organization for Standardization, 2007. — 28 p.
47. ISO Online Browsing Platform. – URL: <https://www.iso.org>
48. Ivanov I., Petrenko O. Smart technologies in dairy farming // Agricultural Engineering International. — 2021. — Vol. 23, No. 1. — P. 12–19.
49. Kovács, P. Evaluation of vacuum control systems in milking machines // Journal of Agricultural Engineering. – 2021. – Vol. 72, No. 3. – P. 142–151.
50. Lely Global. Smart robotic milking systems. – URL: <https://www.lely.com>
51. Lely Industries N.V. Astronaut A5 Milking Robot: User Manual. – Maassluis, Netherlands, 2021. – 98 p.
52. McClements D. J. Food Emulsions: Principles, Practices, and Techniques. — 3rd ed. — Boca Raton : CRC Press, 2015. — 714 p.
53. Müller, T., Weber, F. Physiological effects of vacuum fluctuations during milking // Animal Science Journal. – 2020. – Vol. 91, No. 11. – P. 530–540.
54. Petrova, E., & Ivanov, D. Comparative analysis of different pulsation systems in milking technology // Agronomy Research. – 2022. – Vol. 20(4). – P. 333–345.
55. Pushkar T. D., Pushkar Y. A. Animal welfare in modern dairy farming // Ukrainian Journal of Animal Science. — 2022. — Vol. 13, No. 2. — P. 45–52.

56. Smart Dairy Farming 2024: Innovations and Sustainability. – Wageningen: Wageningen University Press, 2024. – 210 p.
57. Smith J., Johnson R. Advances in milking machine design // Journal of Dairy Research. — 2020. — Vol. 87, No. 3. — P. 345–354.
58. Walstra P., Wouters J. T. M., Geurts T. J. Dairy Science and Technology. — 2nd ed. — Boca Raton : CRC Press, 2019. — 808 p.