НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСТИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко – технологічний факультет

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
Охорона праці та біотехнічних систем у тваринництві
(назва кафедри)

_____ Хмельовський В.С.
(підпис) (ПІБ)

«_____» _____ 2026 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІНА РОБОТА

на тему «Удосконалення системи технічного обслуговування машин та обладнання у молочному тваринництві»

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

Гарант освітньої програми

д.т.н., професор _____ Братішко В.В.
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

к.т.н., доцент _____ Ачкевич О.М.
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Виконав _____ Грибенюк Денис Станіславович
(підпис) (ПІБ)

КИЇВ – 2026

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСТИТЕТ БІОРЕСУРСІВ

І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко-технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Охорона праці та біотехнічних систем у тваринництві
д.т.н., проф. _____**Хмельовський В.С.**
(наук. ступ., вч. звання) (підпис) (ПІБ)
«_____» _____2026 р.

З А В Д А Н Н Я

на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи

Грибенюк Денис Станіславович
(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 208 «Агроінженерія»
(код і назва)

Тема дипломного проєкту бакалавра на тему «Удосконалення системи технічного обслуговування машин та обладнання у молочному тваринництві»
затверджена наказом ректора НУБіП України від «16» лютого 2026р. №510 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру: 04.05.2026
(рік, місяць, число)

Вихідні дані бакалаврської кваліфікаційної роботи: Технічна документація доїльних агрегатів

Перелік питань які потрібно розробити
Вступ;
Аналіз існуючих конструкцій доїльних агрегатів;
Властивості доїльних агрегатів;
Розробка доїльного агрегату;
Техніко-економічна оцінка
Висновки;
Список використаних джерел;
(перелік питань, які потрібно розробити)

Перелік графічного матеріалу: Вступ; мета та завдання дослідження; об'єкт дослідження; класифікація агрегатів; доїльних машин; деталювання. Висновки

Дата видачі завдання «23» лютого 2026 р.

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи _____ Ачкевич О.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____ Грибенюк Д.С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Він складається з реферату, ілюстрацій, таблиць, 22 посилань, та 28 рисунка.

Ключові слова: молочне тваринництво, технічне обслуговування, доїльний апарат, механічне доїння, вакуумна система, механізація, автоматизація, доїльна установка, ефективність доїння.

Дипломна робота присвячена удосконаленню системи технічного обслуговування машин та обладнання у молочному тваринництві. У роботі розглянуто сучасний стан механізації процесів доїння корів, проведено аналіз конструкцій та режимів роботи доїльних апаратів, а також визначено основні фактори, що впливають на ефективність машинного доїння.

У процесі дослідження встановлено, що одним із головних напрямів підвищення ефективності виробництва молока є вдосконалення технічного обслуговування доїльного обладнання та зменшення частки ручної праці під час доїння. Значну увагу приділено роботі вакуумної системи, оскільки стабільність вакуумного режиму безпосередньо впливає на повноту видоювання, продуктивність праці оператора та фізіологічний стан тварини.

У роботі проаналізовано причини виникнення коливань вакууму, зісковзування доїльних стаканів і неповного видоювання корів, що призводять до зниження надоїв та збільшення витрат праці. Запропоновано конструктивне удосконалення доїльного апарата, яке забезпечує автоматичний перерозподіл тягового зусилля на сосок залежно від режиму роботи апарата. Це дозволяє знизити навантаження на вим’я, покращити умови машинного доїння та підвищити ефективність експлуатації обладнання.

У дипломі виконано технологічні, конструктивні та експлуатаційні розрахунки, наведено схеми та креслення удосконаленого обладнання, розроблено заходи з технічного обслуговування машин у молочному тваринництві. Також розглянуто питання охорони праці та економічної ефективності впровадження запропонованих рішень.

Мета роботи: підвищити ефективність машинного доїння та покращити технічне обслуговування обладнання шляхом удосконалення конструкції доїльного апарата.

Об’єкт дослідження: процеси механізованого доїння корів та технічного сервісу обладнання на молочних фермах.

Предмет дослідження: взаємодія робочих органів доїльного апарата з вим'ям корови та вплив вакуумного режиму на якість і швидкість видоювання.

Результати роботи спрямовані на підвищення продуктивності механічного доїння, покращення якості отриманого молока, зменшення виробничих витрат та забезпечення надійної роботи машин і обладнання у молочному тваринництві.

ЗМІСТ

ВСТУП 6

1. АНАЛІЗ СПОСОБІВ, ЗАСОБІВ І ВИКОНАНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ В ГАЛУЗІ МАШИННОГО ДОЇННЯ КОРІВ 8

1.1 Технологія та основні фізичні вимоги, що пред'являються до машинного доїння корів 8

1.2 Аналіз конструкції доїльного апарату 11

1.3. Пристрої, що запобігають зісковзування доїльних склянок на вим’я 16

1.4. Визначення проблеми, мета роботи 20

2. ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИМ’Я КОРОВИ 22

2.1 Характеристики пружних властивостей сосків вим’я 24

2.2. Коефіцієнт тертя молочної залози 25

2.3. Результати досліджень 26

3. ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ І РОБОТИ ДОЇЛЬНОГО АПАРАТУ З НАВАНТАЖЕННЯМ, ЩО ЗМІНЮЄТЬСЯ, НА ВИМ’Я КОРОВИ 30

3.1 Проєктування доїльного апарату зі змінним навантаженням на вим'я корови 30

3.2 Структура та технічна схема доїльного апарату, прикріпленого до вим’я корови 33

3.3 Спроєктована схема взаємодії підвісної частини доїльного апарату з вим’ям корови 35

4. ДОСЛІДЖЕННЯ ДОЇЛЬНОГО АПАРАТУ З НАВАНТАЖЕННЯМ, ЯКОГО ЗМІНЯЄТЬСЯ, ВИМ’Я КОРОВИ 39

4.1. Методика лабораторних досліджень 39

4.2 Визначення часу наростання вакууму 44

4.3 Результати дослідів 47

5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ДОЇЛЬНОГО АПАРАТУ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ 51

5.1 Охорона праці 58

ВИСНОВКИ 60

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 61

ВСТУП

Серед викликів, що стоять перед сільським господарством, є забезпечення населення поживними продуктами харчування та переробної промисловості сировиною. Молочне скотарство, яке виробляє молоко та м'ясо, відіграє ключову роль у цьому виклику. Щоб досягти успіху в сучасних ринкових умовах, сільськогосподарські виробники повинні не лише покращувати якість продукції, але й знижувати виробничі витрати. Зниження виробничих витрат неможливе без впровадження новітніх технологій та механізації.

Одним із ключових викликів у прогресі механізації та автоматизації в молочному скотарстві залишається механічне доїння. На нього припадає 40-60% загальних витрат на оплату праці, пов'язаних з тваринництвом та веденням тваринництва.

Системи доїння зазвичай складаються з кількох технічних систем, включаючи вакуумне відсмоктування, обробку молока, очищення та дезінфекцію, а також подачу та розподіл концентрованих кормів. Оскільки існуючі доїльні апарати застосовують тиск до сосків для відкачування молока, система вакуумного відсмоктування відіграє вирішальну роль у роботі системи доїння. Однак слід зазначити, що при порівнянні механічного доїння з ручним, продуктивність доїльних працівників підвищується лише на 30-35%.

Дослідження вітчизняних та міжнародних вчених показали, що продуктивність операторів доїльних апаратів пропорційна кількості ручної роботи. Виключення або зменшення частини ручної роботи призводить до підвищення ефективності та продуктивності механічного доїння.

Одним із способів зниження витрат на оплату праці у виробництві молока є підвищення рівня механізації доїння шляхом удосконалення існуючих доїльних апаратів та розробки нових. Було розроблено вісім типів доїльних апаратів, які дозволяють швидко та повноцінно доїти тварин.

Вакуумне відсмоктування та його коливання під час доїння суттєво впливають на надій молока. На основі численних досліджень вчених у галузі механізації доїння було встановлено певний рівень вакууму 48-50 кПа. Прийнятний рівень коливань вакууму під час доїння залишається предметом дискусій. Деякі вчені називають явище, коли коливання вакууму призводять до розширення вкладиша, що призводить до його ковзання по соску тварини та передчасної зупинки потоку молока, «розширенням вкладиша».

Оскільки доїльна склянка рухається до основи соска, доярам доводиться доїти механічно, що становить 34-37% витрат на оплату праці при механічному доїнні. Якщо механічне доїння не проводиться, виникають такі проблеми, як недостатній надій (6-8% від загального об'єму молока, 10-16% жиру) та передчасне відпускання корови. Щоб механічне доїння було ефективним, доїльний апарат повинен відповідати фізіологічним вимогам.

Під час доїння доїльний апарат повинен добувати молоко, підтримувати рефлекс секреції молока та бути фізіологічно сумісним з організмом тварини. Існуючі серійні доїльні апарати не мають достатніх конструктивних удосконалень для належного виконання цих функцій.

Для більш ефективного доїння вкрай важливо розробити доїльні апарати, які автоматично перерозподіляють силу тяги до соска відповідно до робочого циклу доїльного апарату. Це зменшить навантаження на вим'я, покращить здоров'я корови та запобіжить зісковзуванню та відокремленню доїльного апарату від вим’я.

Виходячи з вищезазначених пунктів, метою цієї роботи є підвищення ефективності механічного доїння корів шляхом підвищення ефективності доїння та зниження витрат на оплату праці. Це буде досягнуто шляхом розробки доїльного апарату, який автоматично перерозподіляє тягове зусилля на сосок відповідно до швидкості підйому шляхом зміни центру ваги доїльного апарату, та демонстрації його режимів роботи.

Економічне значення розробленого доїльного апарату полягає у підвищенні цілісності молока від корів при одночасному зниженні виробничих та робочих витрат.

1. АНАЛІЗ СПОСОБІВ, ЗАСОБІВ І ВИКОНАНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ В ГАЛУЗІ МАШИННОГО ДОЇННЯ КОРІВ

1.1 Технологія та основні фізичні вимоги, що пред'являються до машинного доїння корів

Техніка доїння корів складається з таких етапів: миття вим’я, витирання та масажування, зливання молока струменем, підключення апарату, власне доїння, доїння з заключним масажем та розбирання доїльного апарату. При розробці нових механізованих інструментів для доїльних апаратів найважливішим критерієм є сумісність розробленого пристрою з фізіологічними функціями тварини. У цьому випадку цим критерієм є повноцінний рефлекс секреції молока. Секреція молока у корів є рефлексом, складним нейрогуморальним рефлексом.

Молочна залоза поділена на дві порожнини, з яких виділяється молоко: молочну цистерну та молочний міхур. Основною функцією молочного міхура є вироблення та зберігання молока та його секреція з везикулярних порожнин та канальців. Молоко виробляється безперервно в молочних міхурцях вим’я, але швидкість вироблення змінюється протягом дня. Молоко виділяється з сосового мішка в цистерну не безперервно, а періодично, починаючи через 4–5 годин після доїння. Гладка мускулатура цистерни періодично та рефлекторно розслабляється у відповідь на періодичне виділення молока з соскового мішка. Однак первинне виділення молока з соскового мішка можливе лише шляхом активації рефлексу викидання молока у тварини. Для виділення молока з цистерни необхідно подолати опір сфінктера сосків.

Рефлекс викидання молока активується шляхом стимуляції рецептивних ділянок молочної залози. Рефлекс викидання молока це складний процес, що включає безумовно-рефлекторне виділення молока, яке відбувається шляхом прямої стимуляції рецептивних ділянок соска та вим’я, та умовно-рефлекторне виділення молока, яке відбувається під дією зовнішніх подразників через нюх та дотик тварини. На думку вчених, виділення молока – це складна рухова реакція молочної залози, яка запускає розслаблення сфінктера сосків, зміни гладкої мускулатури проток та цистерн, а потім зміни судинного тонусу та, нарешті, скорочення секреторних клітин, що складають молочні залози. Ключовим показником процесу виділення молока є латентний період, який вказує на те, коли корова готова почати секрецію молока. Інкубаційний період – це часовий проміжок між початком підготовки до доїння та початком реакції. Багато вчених вважають інкубаційний період необхідним часовим проміжком між початком стимуляції та початком доїння.

Під час інкубаційного періоду гіпофіз виділяє спеціальний гормон, який називається окситоцин. Цей гормон потрапляє через кровотік до молочної залози та викликає скорочення зірчастих м’язових клітин на поверхні молочних фолікулів. Це призводить до виділення молока з молочних фолікулів у протоки та цистернальну порожнину. При механічному доїнні належні процедури

підготовки є важливими для викликання достатнього рефлексу виділення молока. Ступінь вакууму в просторі доїльної склянки надзвичайно важливий. Більшість вчених погоджуються з цим. Вони вважають, що низький вакуум заважає тварині швидко видоїти і зрештою пригнічує рефлекс викиду молока. Достатньо швидке доїння забезпечується правильною системою виділення сосків, в якій вирішальну роль відіграють м’язи сфінктера.

Американський вчений вважає, що високий вакуум під час доїння шкідливий з двох причин. По-перше, якщо під час такту стиснення виникає велика різниця тисків між міжвузловою порожниною та порожниною під кінчиком доїльної склянки, вкладиш зробе звук «клацання» та пошкодить як зовнішню поверхню соска, так і систему випускання. По-друге, доїльна склянка може зісковзнути з соска, порушивши зв'язок між доїльною порожниною та вим'ям, що призводить до неповного доїння тварини.

Якщо негативний тиск у доїльному агрегаті перевищує 50 кПа через несправність або іншу причину, це може пошкодити тканину вим’я корови, спричинити збільшення кількості лейкоцитів у крові та бути ознакою маститу.

На основі численних даних експертів, що працюють у галузі механізації доїння, зроблено висновок, що робочий негативний тиск у доїльному агрегаті слід підтримувати в певному діапазоні. Між вченими та практиками існують розбіжності щодо допустимого рівня коливань негативного тиску під час доїння. Зміни негативного тиску в камері доїльного стакана зазвичай становлять більший ризик для здоров'я тварини, ніж аналогічні явища в міжстінній камері. Коливання негативного тиску можуть бути періодичними, пов'язаними з роботою пульсатора, або випадковими. Причини різноманітні та іноді їх важко усунути, а іноді навіть важко передбачити. Зниження вакуумного тиску в сосковій камері доїльного стакана сильно залежить від швидкості потоку молока коровою, а в пікові години може відрізнятися від номінального значення в 1,5-2 рази. Крім того, видалення або додавання доїльних апаратів до доїльних тварин призводить до різких змін вакуумного тиску всередині доїльних апаратів. У таких випадках недостатня продуктивність вакуумного насоса або несправність вакуумного регулятора значно знизить вакуумну продуктивність доїльного апарату..

У літературі описано так зване явище «балонування». Це явище, коли коливання вакууму в підслізному та міжслізному просторах доїльної склянки призводять до збільшення діаметра вкладиша під час всмоктувального такту, що заважає соску тварини та передчасно зупиняє потік молока.

Удосконалення техніки доїння та механізації повинні базуватися на принципах механічного доїння, розроблених з урахуванням фізіологічних особливостей тварин. Під час доїння доїльний апарат повинен спочатку викликати рефлекс виділення молока, що спрацьовує внаслідок реакції молочної залози корови на подразники перед доїнням та доїння. Це змушує корову активно виділяти молоко. Далі доїльний апарат повинен підтримувати цей рефлекс на потрібному рівні та збирати молоко з вим’я корови.

Під час доїння корів доїльним апаратом відсмоктувального типу стимуляція доїння слабка, тому виробництво молока залишається майже постійним до наступного доїння. Вплив вкладиша недостатній навіть для забезпечення нормального потоку молока. Під час ручного доїння та смоктання теляти до основи соска прикладається сильна сила, що забезпечує ефективний стимулюючий ефект. Вважається, що секреція молока між доїннями складається з двох стадій. Перша безперервна секреція з відносно рівномірною швидкістю, що забезпечує 70-80% об'єму молока за одне доїння з відносно сильною стимуляцією доїння. Друга збільшення секреції молока протягом перших 3-4 годин після доїння. Ця стадія перетинається з першою стадією при кожному доїнні та рефлекторно регулюється під впливом стимуляції доїння. Її ефект залежить виключно від інтенсивності стимуляції доїння. Коли стимуляція перевищує поріг чутливості, вона передається від молочної залози до гіпоталамуса, де нервові імпульси, що діють на відповідні ядра, вивільняють ліберин-рилізинг-гормон, що змушує передню частку гіпофіза вивільняти в кров гормони, що розріджують молоко (головним чином пролактин). Це сприяє обміну речовин в організмі та підвищує інтенсивність секреції молока в молочних залозах.

Ефективне доїння вимагає стимуляції секреторної активності молочних залоз, що сприяє підвищенню продуктивності тварин. Враховуючи шкідливий вплив негативного тиску під час «сухостойного періоду» та необхідність концентрованого доїння під час активного молочного рефлексу, доїльні апарати повинні відповідати як фізіологічним вимогам, так і вимогам автоматичної адаптації до змін у процесі доїння.

Стимуляція сосків шляхом мікровібрації вкладиша з тією ж частотою, що й м'язове тремтіння під час доїння, має ефект, еквівалентний ручному попередньому доїнню. Стимуляція молочних залоз може як сприяти, так і гальмувати доїння.

Вимоги до технології механічного доїння можна умовно розділити на дві групи. Перша група стосується фізіологічних вимог, необхідних для повного та стабільного молочного рефлексу у тварин. Друга група зосереджена на правильному виконанні підготовчих, основних та завершальних завдань. Ці вимоги стосуються не лише складу та послідовності основних завдань, що виконуються дояром, але й часу, відведеного на ці завдання. Підготовка повинна тривати не більше 60 секунд, а доїння не більше 4-6 хвилин. Заключний етап включає механічну обробку, зупинку машини та зняття доїльних стаканчиків з вим’я.

Час, необхідний для заключного етапу, значною мірою залежить від ступеня механізації та автоматизації процесу доїння та продуктивності самої доїльної машини. Використання доїльної машини, яка не потребує механічної обробки, не тільки скорочує час доїння, але й знижує витрати праці на 28-44%.

Як показано в цій статті, сучасні доїльні машини все ще не є ідеальними. Розробка доїльної машини, яка є безпечною для здоров'я тварин, повністю видаляє молоко з вим’я без механічного доїння та стимулює молочний рефлекс корови, є нагальним завданням.

1.2 Аналіз конструкції доїльного апарату

Розроблено широкий спектр доїльних апаратів. Залежно від сили, що використовується для доїння, доїльні апарати класифікуються на компресійні, всмоктувальні та відсмоктувальні. За системою приводу вони класифікуються на чвертьтактні, двотактні та синхронні. За принципом роботи вони класифікуються на тритактні, двотактні та безперервного всмоктування. Залежно від режиму роботи, існують апарати з постійною швидкістю та зі змінною швидкістю.

Більшість сучасних доїльних апаратів працюють за принципом відкачування молока з вим’я за допомогою вакууму під соском. Багато вчених проводили дослідження доїльних апаратів відсмоктувального типу. Наразі на українських молочних фермах використовуються синхронні, двотактні та тритактні двотактні відсмоктувальні доїльні апарати. Також використовуються доїльні апарати зарубіжних виробників, таких як DeLaval (Швеція), S.A. Christensen (SAC) (Данія) та Westphalia (Німеччина). Двотактний доїльний апарат (рисунок 1.1) складається з доїльної склянки 1, вакуумних шлангів, що чергуються 2, збірної ємності 3, пульсатора 4, молочного шланга 5 та ручки-перехідника 6. Під час використання двотактного доїльного апарату вам знадобиться доїльне відро для збору молока, що виключає необхідність використання ручки-перехідника..

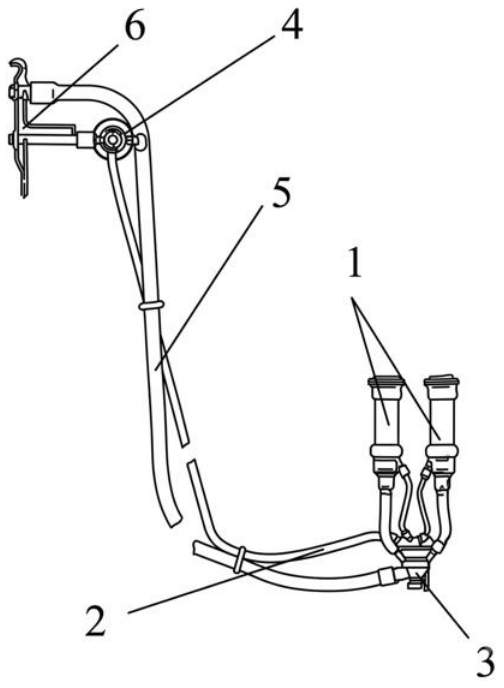


Рисунок 1.1. - Схема двотактного доїльного апарату

Розподільник доїння (3) збирає молоко з доїльних стаканчиків і подає його до молокопроводу або доїльного відра. Розподільник зазвичай розташований зверху пульсатора, який по черзі передає вакуум від пульсатора до доїльних стаканчиків.

Розподільник оснащений клапаном для відключення доїльних стаканчиків від вакууму, коли вони знімаються або від'єднуються від соска. Пульсатор (4) по черзі перетворює постійний вакуум у вакуум. Пульсатор періодично перемикає вакуум у міжстінній камері доїльних стаканчиків назад на атмосферний тиск.

Незважаючи на широке використання, двотактні доїльні апарати мають суттєві недоліки. Під час всмоктувального ходу кровотік у сосці гальмується і не повністю відновлюється під час ходу стиснення. Під час доїння сосок значно розтягується, що призводить до зісковзування доїльних стаканчиків з вим’я корови. Це часто порушує зв'язок між соском і вим'ям, перериваючи доїння та знижуючи якість молока. Внутрішні тканини біля основи соска схильні до пошкоджень, що може призвести до маститу. Залишення доїльних стаканів прикріпленими до сосків корови протягом тривалого часу може спричинити захворювання вим’я.

Тритактні доїльні апарати відрізняються від двотактних головним чином конструкцією колектора. Комутатор тритактного доїльного апарата (рисунок 1.2) містить додаткову діафрагму 1 та клапан 2. Під час роботи ця конструкція колектора дозволяє виконувати третій хід паузи. Це відбувається, коли пульсатор подає атмосферний тиск до міжстінної камери через розподільник колектора. Це призводить до згинання діафрагми колектора, що дозволяє повітрю проходити під сосками корови.

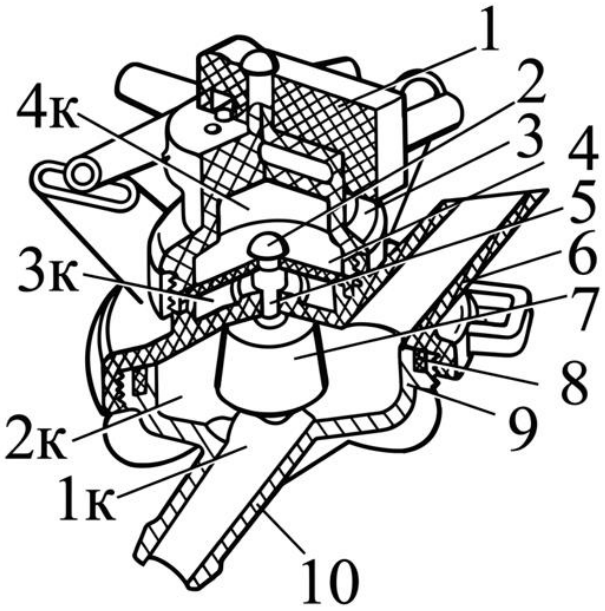


Рисунок 1.2. - Схема колектора тритактного доїльного апарату

1 - клапан відключення колектора від вакууму; .2 - шайба притискна; 3 - розподільник; 4 - мембрана; 5 - стрижень клапана; 6 - корпус; 7 - клапан; 8 - прокладка; 9 - основа; 10 - вихідний штуцер; 1к - камера постійного вакууму; 2к - камера змінного вакууму; 3к - камера постійного атмосферного тиску; 4к - камера змінного вакууму (розподільна)

З фізіологічної точки зору, деякі стверджують, що тритактні доїльні апарати не створюють необхідних умов для маститу, і що доїння у відрі з використанням тритактного апарату є найбільш підходящим методом. Одночасно стверджується, що це значно зменшує кількість корів, у яких розвивається мастит. Однак це твердження є дуже суперечливим. Тритактні доїльні апарати мають серйозні недоліки, такі як тривалий час доїння, можливість забруднення молока через втягування повітря під сосок під час такту паузи та підвищене споживання енергії через збільшення всмоктування повітря. Під час роботи тритактного доїльного апарату відбувається вологе доїння, коли сосок омивається молоком, що потенційно може спричинити мастит у корів.

Низько-вакуумні доїльні апарати займають проміжне положення між двотактними та тритактними доїльними апаратами. На відміну від звичайних доїльних апаратів, вони періодично втягують велику кількість повітря в молочну камеру лише під час такту стиснення. Під час такту всмоктування повітря не надходить у колектор. Цей режим роботи підтримує стабільний негативний тиск у сосковій камері доїльного стакана під час такту всмоктування, а негативний тиск зменшується під час такту стиснення. За словами розробників, це забезпечує повніше видалення молока та жиру, покращує ефективність доїння та підтримує здоров'я молочних залоз. Стабілізація режиму негативного тиску дозволяє знизити загальний рівень негативного тиску в трубопроводі негативного тиску апарата до 45 кПа.

Наразі симетричні доїльні апарати широко використовуються на фермах. До репрезентативних моделей цієї групи належать MU100 (DeLaval) та UNIFL0W3 (SAC). Відмінністю цих моделей від згаданих вище двотактних доїльних апаратів є їхня здатність одночасно доїти як ліве, так і праве (або переднє та заднє) вим'я корови. Цей процес доїння здійснюється пульсатором, який одночасно подає негативний тиск у міжсоскову порожнину однієї чашки та атмосферний тиск у міжсоскову порожнину іншої чашки. Така складна конструкція виправдана забезпеченням сильнішої стимуляції виробництва молока за допомогою парного доїння, зменшенням гідравлічного опору під час відведення молока через молочний шланг та зменшенням коливань рівня вакууму в міжсосковому просторі під час концентрованого доїння..

Доїльний апарат SAC «UNICO 1» відрізняється від вищезгаданих моделей автоматичним видаленням вкладиша при відкритті та плаваючою конструкцією розподільника змінного вакууму на збірному стрижні, що запобігає скручуванню шланга та покращує просторову орієнтацію доїльних склянок. Доїльний апарат

Westfalia «STIMOPULS C» може стимулювати дійки під час та після доїння, залежно від індивідуальних особливостей корови. Він стимулює дійки високочастотними імпульсами у вкладиші на початку доїння та вимикає пульсатор під час ходу стиснення в кінці доїння. Доїльні апарати з подачею зазвичай використовують позитивний тиск повітря на поверхні дійки для відкачування молока. Такі доїльні апарати були поширені на початку розвитку технології доїння. Позитивний тиск вперше був застосований у доїльних апаратах, де під час ходу стиснення на проміжок між доїльними склянками прикладався надлишковий тиск, який регулювався відповідно до довжини та форми дійки. Однак у цьому апараті робочим ходом був хід всмоктування, а хід стиснення грав додаткову та стимулюючу роль.

Під час доїння за допомогою аспіраційних доїльних апаратів зазвичай використовується надмірний тиск повітря на поверхню дійок. Такі доїльні апарати були поширені на зорі розвитку технології доїння. Надмірний тиск вперше застосовувався в доїльних апаратах, які під час ходу стиснення прикладали надмірний тиск до проміжку між доїльними склянками, і цей тиск регулювався залежно від довжини та форми дійки. Однак у цьому апараті хід всмоктування був робочим ходом, тоді як хід стиснення грав додаткову та стимулюючу роль.

Хоча було зроблено багато спроб розробити доїльні апарати, що імітують ручне доїння, жоден з них ще не знайшов практичного застосування. Окрім серійно вироблених моделей, було розроблено різні експериментальні доїльні апарати з різними принципами та конструкціями доїння. Тут ми розглянемо деякі з цих оригінальних конструкцій..

Тому особливо варті уваги доїльні апарати, оснащені однокамерними доїльними стаканами. Ці доїльні апарати мають дуже просту конструкцію, оскільки в них не використовуються гумові вставки в стаканчиках, які схильні до зношування під час використання. Стаканчики виготовлені з прозорого конічного матеріалу з гумовою присоскою зверху.

Хоча однокамерні доїльні апарати з доїльними стаканчиками можуть здаватися простими, вони не отримали широкого застосування на практиці. Досвід показав, що в таких доїльних апаратах сильна сила всмоктування конічних доїльних стаканчиків може викликати стиснення з боків, що потенційно перешкоджає повному відкриттю затискача доїльного апарату під час всмоктувального ходу, що призводить до нечистого доїння. Кожному доїльному апарату необхідно мати кілька комплектів доїльних стаканчиків різного розміру, щоб враховувати корів з різним розміром сосків.

Принцип роботи цього доїльного апарату такий: у робочій камері пульсатора нижня межа вакууму не досягає атмосферного тиску, а верхня межа - це вакуум під соском. Тому вкладиш не повністю закривається і не відкривається, а вібрує з невеликими амплітудами. Цей доїльний апарат характеризується

високою швидкістю доїння. Однак, кровотік до сосків під час доїння уповільнюється.

В останні роки широко використовуються доїльні апарати з маніпуляторами, особливо на механізованих доїльних підприємствах. Ці доїльні апарати мають як постійні параметри під час доїння, так і параметри, що змінюються залежно від швидкості потоку молока. Серед основних виробників таких доїльних апаратів DeLaval (Швеція), S.A. Christensen (Данія), Westfalia, Impulsa GmbH (Німеччина) та BouMatic.

Наприклад, DeLaval пропонує доїльний апарат MU 350 (Milkmaster) для корів на прив'язі. MU 350 дозволяє контролювати потік молока. На початку та в кінці доїння підтримується низький вакуум 33 кПа та 50 імпульсів за хвилину, щоб м'яко стимулювати секрецію молока. Як тільки секреція молока стає активною, доїльний апарат переходить у звичайну фазу доїння з тиском вакууму 50 кПа та частотою імпульсів 60 імпульсів за хвилину, що дозволяє швидко та ефективно доїти. Після завершення доїння пневматичний двигун маніпулятора автоматично від'єднує доїльний апарат від вим’я та віддаляє його від корови. Це усуває ризик сухого доїння та, як наслідок, ризик маститу.

Розглядаючи сучасний стан доїльних апаратів, їх конструкції далекі від досконалості. Удосконалення технології доїння повинно базуватися на фізіологічній адаптації до організму тварини. Тут особлива увага приділяється доїльному апарату. Доїльний апарат, що складається з доїльних склянок, з'єднаних з розподільником шлангом, є основною частиною доїльного апарату та відповідає за відбір молока з вим’я тварини. Оскільки ця частина безпосередньо контактує з тілом корови, вона є найважливішою частиною всього доїльного обладнання. Тому конструкція, технічний стан та гігієнічний стан цього компонента значно впливають на цілісність доїння, якість молока, здоров'я молочних залоз тварини та навантаження на оператора. Щоб мінімізувати негативні наслідки підвішування доїльного апарату до вим’я, необхідні обтічні та легкі конструкції, а також спрощене обслуговування під час доїння. Одним із перспективних напрямків у проектуванні доїльних апаратів є розробка багатофункціональних конструкцій, які можуть повністю добувати молоко без необхідності механічного доїння та без шкоди для фізіологічних потреб корови. Використання доїльного апарату, який не потребує механічного доїння, може не тільки скоротити час, необхідний для доїння, але й знизити витрати праці працівників.

1.3. Пристрої, що запобігають зіскозування доїльних склянок на вим’я

Найпоширенішим типом доїльного апарату є двотактний всмоктувальний. Цей апарат відкачує молоко, створюючи вакуум у камері доїльної склянки під час всмоктувального ходу. Цей вакуум значно подовжує сосок, що призводить до зісковзування соска з вим’я корови. Це порушує зв'язок між соском і вим'ям,

перериваючи доїння та знижуючи якість молока. Тому усунення зісковзування доїльних склянок, яке призводить до перерв у процесі доїння, підвищення трудомісткості та зниження продуктивності тварин, є одним із найскладніших і найважливіших практичних завдань.

Необхідний систематичний огляд, щоб визначити перспективні напрямки вдосконалення доїльних апаратів для усунення зісковзування доїльних склянок.

Однак цей підхід не охоплює всіх методів і засобів запобігання зісковзуванню доїльних склянок на вим'я, і потрібна подальша розробка. Тому, спираючись на патентну та наукову літературу, ми пропонуємо більш повну класифікацію методів запобігання зісковзуванню доїльних склянок на вим'я тварин під час доїння.

Ковзанню сосків у молочних корів можна запобігти такими методами: Найпоширеніший спосіб зменшення ковзання доїльної склянки це регулювання ваги доїльного апарату. Цього можна досягти за допомогою проєктування та конструкції. Більшість двотактних доїльних апаратів завантажуються таким чином. Якщо не враховувати силу потоку молока з вим'я, вага доїльного апарату залишається постійною протягом усього процесу доїння. Недоліком цього методу є те, що доїльний апарат є громіздким і не дуже добре пристосований до фізіологічних функцій тварини.

При ослабленні молоковіддачі, особливо до кінця доїння, доїльні склянки наповзають соски через те, що маса виявляється недостатньою. Збільшення маси доїльного апарату веде до спадання його підвісної частини з вим'я корови.

Додавання додаткової ваги під час роботи доїльного апарату покращує чистоту доїння та запобігає накопиченню молока, що призводить до чудових результатів. Цей метод використовується в підвісних відерних доїльних апаратах. Під час доїння зростаюча вага видоїного молока у доїльному відрі поступово відтягує вим'я назад. Однак експлуатація цього типу доїльного апарату є складною. Його потрібно підвішувати під животом корови, що вимагає кваліфікованої техніки та ручної праці. Збірна чашка має вихідний отвір у верхній або нижній частині знімної збірної камери. Це підтримує постійну кількість видоїного молока в камері та може використовуватися як додаткова вага для підтягування доїльної склянки. Недоліком є те, що потік молока сильний, може спричинити зворотний потік і потенційно призвести до маститу. Поводження з громіздкими збірними чашками є складним. Хоча частина ваги доїльного відра, що містить видоїне молоко, передається на тіло тварини в доїльному апараті, вага кластера, що містить видоїне молоко, повністю передається на сосок. Коливання вакуумного тиску, особливо під час доїння високопродуктивних корів, можуть призвести до відриву доїльного апарата від вим'я.

Вага соскової чашки, шланга, присоски та рухомої маси всередині чашки (що зміщує центр ваги кластера) додається до маси кластера. Оскільки розвиток

грудей нерівномірний, рекомендується збільшувати вагу соскової чашки, а не всієї чашки.

Особливої уваги заслуговує метод запобігання випинання сосків шляхом зміщення центру ваги кластера. Цей метод використовується в парних молоковідсмоктувачах. Ці молоковідсмоктувачі складаються з соскових чашок з хвилястими присосками, колектора імпульсів та шланга. Під час роботи в одному з двох наборів чашок хвиляста чашка соскової чашки періодично стискається під час всмоктувального ходу. Під цими чашками рух колектора та результуюча зміна центру ваги кластера створюють тягу, запобігаючи прослизанню. У другому наборі чашок тяга пропорційно зменшується, забезпечуючи міцну фіксацію соскової чашки до соска. Періодичне скорочення хвилястої чашки змушує чашку рухатися вперед і назад по соску, забезпечуючи масажний ефект та стимулюючи рефлекс доїння. Переваги цього доїльного апарату очевидні: почергове потягування за ліву та праву сторони вим’я завдяки парному доїнню та зміщення центру ваги кластера, спричинене скороченням хвилястих доїльних склянок, стимулює молочний рефлекс, що робить його ідеально пристосованим до фізіологічних функцій тварини. Недоліком є те, що результуюча сила потягування недостатня, щоб запобігти зісковзуванню доїльних склянок з сосків.

Інерційні компенсатори (ІК) можуть використовуватися для запобігання випинання сосків. Залежно від способу стабілізації ІК класифікуються як активні, пасивні або комбіновані. Компенсатори можуть бути твердими, еластичними або рідкими. Вони також класифікуються як зовнішньо або внутрішньо встановлені залежно від місця встановлення, і обидва використовуються як аксесуари або компоненти доїльних апаратів.

Ваги інерційних компенсаторів, протягнуті через два вакуумні шланги, кріпляться до доїльного апарату. Складна форма вантажів автоматично фіксується в доїльному апараті за допомогою крутного моменту та тертя та залишається на місці під час доїння. Під час доїння корів з рівномірно розвиненим вим'ям ваговий компенсатор залишається прикріпленим до доїльного апарату, збільшуючи вагу підвісної частини апарату та запобігаючи випинанню сосків. Якщо основа вим’я нерівна, оператор доїльної машини переміщує пару вантажів у вакуумних шлангах ближче до соска під час кріплення соскового апарату. Додаткові вантажі в доїльному апараті діють на задню частку вим’я тварини та перерозподіляють вагу доїльної склянки, тим самим сильніше натягуючи задній сосок та зменшуючи перекриття доїльної склянки на сосок.

Недоліком цього методу є те, що у вим’я зі ступінчастою формою додаткові вантажі, що перерозподіляють вагу доїльної склянки, можуть призвести до її нахилу, що може призвести до надмірного перекриття передньої доїльної склянки.

Доїльні склянки оснащені стимуляторами, які сприяють потоку молока та зменшують перекриття доїльних склянок.

У першому варіанті доїльна склянка складається з корпусу, вставки та стимулятора, прикріпленого до бокової частини корпусу. Стимулятор складається з корпусу з пружинним клапаном та демпфіруючими прокладками.

У другому варіанті доїльної склянки корпус стимулятора з пружинним кільцевим клапаном та амортизаційними шайбами розташований на верхній стороні корпусу доїльної склянки.

Під час всмоктування в нижній частині доїльної склянки та міжстінній камері створюється вакуум, який через з'єднувальний прохід потрапляє у верхню камеру стимулятора. Атмосферний тиск діє на клапан знизу через з'єднувальний прохід. Ця різниця тисків змушує клапан стискати пружину та досягати свого піку. Під час стискання в нижній камері доїльної склянки створюється вакуум, а в міжстінній камері - атмосферний тиск. Потім клапан, завдяки власній вазі та пружності пружини, опускається вниз, вдаряється об амортизаційну шайбу та відтягує доїльну склянку назад. Це зменшує перекриття з доїльною склянкою та покращує масажний ефект склянки. Недоліком цієї доїльної склянки є те, що склянка відтягується назад під час всмоктування, а не під час стиснення. Під час ходу стиснення стінки вкладиша змикаються, що призводить до виштовхування доїльної склянки з соска. Тому доїльна склянка може відокремитися від соска тварини під впливом стимуляційного клапана..

Забезпечення зворотно-поступального руху корови може запобігти зісковзуванню соска. Пристрій, що забезпечує цей рух, може бути прикріплений до самої корови або до тримача. Приводом цього пристрою є або рухома додаткова маса, або пружний елемент, такий як пружина чи вставка.

Сповзання соска також може запобігти налаштуванню вакууму. Регулятор вакууму може бути прикріплений до корови, доїльного апарату або вакуумної лінії залежно від місця встановлення. Налаштування вакууму здійснюється комбінацією присоски, міжстінної камери, корови та міжкамерного перерозподілу вакууму. Налаштування вакууму може здійснюватися автоматично, напівавтоматично або безперервно. Налаштування включають зміну частоти пульсацій, зміну коефіцієнта ходу або зміну швидкості потоку вакуумної лінії. Залежно від вхідних даних, налаштування вакууму може бути орієнтоване на еластичність соска, інтенсивність потоку молока або температурні умови вим’я. Корови можуть зісковзувати з соска під час доїння. Однак методи, що використовуються для запобігання цьому зісковзуванню у тритактних доїльних апаратах, мають серйозні недоліки. Впорскування повітря під сосок часто призводить до забруднення молока, збільшення часу доїння, збільшення споживання повітря та відокремлення доїльної склянки від соска.

Вакуум можна регулювати в перегородці доїльної склянки. Мікровібрації в перегородці запобігають підвищенню вакууму всередині соска до рівня, що підтримується вакуумною лінією. Під час доїння вакуум у камері під соском, таким чином, вищий за вакуум у перегородці, і гума частково стискається під час доїння. За словами розробників вібраційного пульсатора, це має запобігти

зісковзуванню доїльної склянки з основи соска, тим самим усуваючи необхідність механічного доїння. Однак це не підтверджено на практиці та створює додатковий гідравлічний опір, особливо в періоди високого надою.

Механічні затискачі можуть зменшити перекриття чашечок сосків із соском тварини. Затискачі класифікуються на обгортальні затискачі зі змінною площею контакту, затискачі зі змінною силою та стопорні затискачі. Ці затискачі також класифікуються на кінцеві затискачі, бічні затискачі та затискачі ареоли. Схема контакту затискача може бути вибрана з точкового контакту, кругового контакту, лінійного контакту, радіального точкового контакту або рівномірно розподіленого контакту. Режим роботи може бути автоматичним або напівавтоматичним без змін конструкції. Вхідний сигнал на затискач впливає на еластичність соска, швидкість потоку молока, величину руху та зміни температури. Приводом може бути стрижень, еластичне кільце, ребриста поверхня або опорна пластина. Компенсатор встановлений у порожнині вкладиша та являє собою порожнисту, герметичну кільцеву мембрану, заповнену атмосферним тиском, закріплену на твердій основі.

Під час всмоктувального ходу, коли до стінки між сосками та підсоскової камери прикладається вакуум, компенсатор намагається зайняти свій максимальний об'єм, оскільки внутрішня порожнина заповнюється атмосферним тиском. Це призводить до надування ефективної частини компенсатора, що підтримує кінчик соска. В результаті це запобігає зісковзуванню чашечки соска з соска.

Недоліком цього доїльного стакана є те, що його не можна використовувати з двотактними доїльними апаратами. Під час такту стиснення кровотік відновлюється не повністю. Оскільки вставлено компенсатор, доїльний стаканчик не може стиснути кінчик соска та виштовхнути застояну кров. Тому для повного відновлення кровотоку необхідний рух спокою. Біль може виникнути, коли кінчик соска втягується в компенсатор.

Двокамерні доїльні стакани мають додатковий гофрований стаканчик, розташований концентрично з основним стаканом, з'єднаний з піддойльною камерою каналом. Під час доїння вакуум з піддойльної камери протікає через з'єднувальний канал у додатковий стаканчик, оточуючи вим'я корови та запобігаючи зміщенню стакана. Однак додатковий стаканчик ускладнює конструкцію доїльного стакана та збільшує його діаметр, що унеможливлює доїння корів з щільно ущільненими сосками. Як альтернатива, для втягування повітря в дойльну камеру можна використовувати присоску.

Незважаючи на різноманітність методів та пристроїв, досліджених для запобігання переповненню доїльних стаканчиків, це шкідливе явище залишається невирішеною проблемою. Сучасні доїльні апарати не можуть досягти чистого доїння без механічного доїння. На нашу думку, сила тяги на сосках повинна автоматично перерозподілятися під час доїння залежно від частоти ходів доїльного апарату. Цього можна досягти, регулюючи центр ваги

доїльного апарату. Це зменшує навантаження на вим'я, покращує здоров'я корови та запобігає переповненню доїльних склянок та їх відшаруванню від вим’я.

1.4. Визначення проблеми, мета роботи

Невідповідні доїльні апарати, повітроводи та вакуумні системи, а також недотримання правил щодо механічного доїння можуть призвести до маститу та передчасного вибракування. Продуктивність корів можна підвищити завдяки підвищеному генетичному потенціалу, збалансованому годуванню та використанню механічних доїльних апаратів з фізіологічно відповідними параметрами та режимами роботи. Сучасні доїльні апарати не досягають повної механізації процесу доїння. Перекриття доїльних склянок вимагає механічного доїння, на яке припадає 28-44% роботи, необхідної для всіх ручних операцій. Вчені, які проводили дослідження механічного доїння корів, стверджують, що продуктивність праці пропорційна кількості ручної роботи. Тому потрібен доїльний апарат, який дозволяє швидко та чисто доїти без механічного доїння, зменшує загальне навантаження на вим'я та полегшує роботу оператора. Іншими словами, робота доїльного апарату повинна бути адаптована не лише до технічних вимог, але й до фізіологічних особливостей тварини. Доїльний апарат повинен сприяти потоку молока під час очікування перед початком доїння, забезпечувати швидке доїння та досягати повного доїння без необхідності механічного доїння.

Виходячи з вищезазначеного, метою цієї роботи є підвищення ефективності механічного доїння корів шляхом досягнення повного видоїння та зниження витрат ручної праці. Це буде досягнуто шляхом розробки доїльного апарату, який автоматично перерозподіляє тягову силу на соски корови відповідно до робочого циклу шляхом зміни центру ваги колектора, та шляхом демонстрації його режимів роботи.

Для досягнення цієї мети поставлені такі дослідницькі завдання:

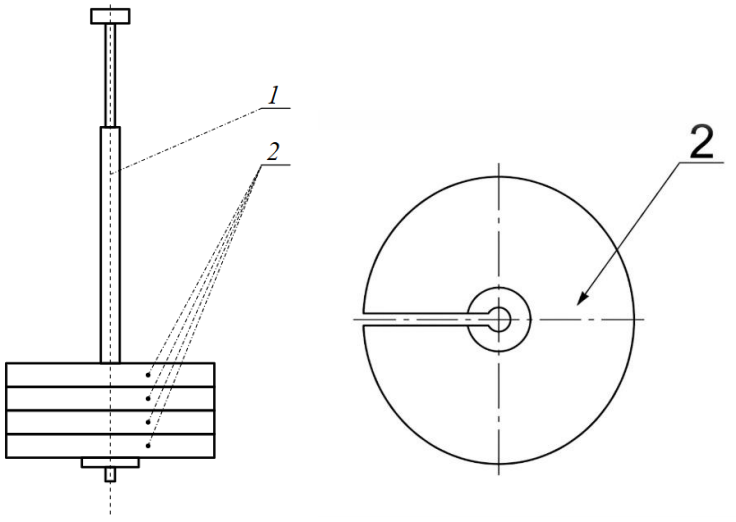
1. Визначити фізичні та механічні властивості сосків корови.
2. Розробити конструкцію та технічну схему доїльного апарату.
3. Продемонструвати конструкцію та параметри роботи доїльного апарату зі змінним навантаженням на чотири секції вим’я корови.
4. Визначити оптимальні параметри та режими роботи доїльного апарату зі змінним навантаженням на чотири секції вим’я корови.

2. ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИМ'Я КОРОВИ

Цей експериментальний апарат використовувався для вимірювання морфологічних та фізико-механічних властивостей сосків корів. Для вимірювання морфологічних параметрів сосків, а саме відстані між переднім та заднім сосками, відстані між переднім та заднім сосками, а також діаметра та довжини сосків, використовувалися штангенциркуль та лінійка.

Було розроблено спеціальний апарат для вимірювання пружних властивостей сосків, таких як коефіцієнт поперечної деформації та модуль пружності (рис. 2.1).

Цей апарат складається з циліндричного стрижня 1 та металевого диска, на який можна поступово та швидко розміщувати вантажі 2. Вантаж 2 являє собою металевий диск з пазами для пропускання циліндричного стрижня.



а) б)

рисунок 2.1 - Схема приладу визначення коефіцієнтів деформації сосків вим'я корови: А - загальний вигляд; Б - вантаж

Для вимірювання коефіцієнта тертя між соском корови та вкладишем соска (рисунок 2.2) було розроблено та виготовлено спеціалізований пристрій. Цей пристрій складається з двох напівциліндричних вигнутих пластин 1, з'єднаних з можливістю обертання та оснащених вкручуваним затискачем 2 та циліндричною пружиною стиснення 3. До внутрішньої поверхні вигнутих пластин 1 закріплено шматок вкладиша 4. Внизу вигнутих пластин 1 передбачено шарнірне підвішування 5 з резервуаром для води 6. Вигнуті пластини 1 рухаються одна відносно одної за допомогою вкручуваного затискача 2. Коли вигнуті пластини 1 наближаються одна до одної, циліндрична пружина 3 одночасно стискається. Сила цієї пружини діє перпендикулярно до вигнутих пластин 1. Довжина стиснутої пружини 3 визначає силу, що діє з вигнутими пластинами 1 на поверхню соска. Пружина 3 попередньо відкалібрована. Для цього було розроблено та виготовлено спеціальний пристрій (рисунок 2.3). Цей

пристрій має основу 1, до якої кріпиться стрижень 2, а вздовж стрижня 2 рухається втулка 3. До втулки 3 закріплена чаша 4, а зверху на неї розміщено вантаж 5. Між основою 1 та втулкою 3 до стрижня 2 кріпиться калібрована пружина 6. Зміна довжини пружини 6 вимірюється за допомогою штангенциркуля 7..

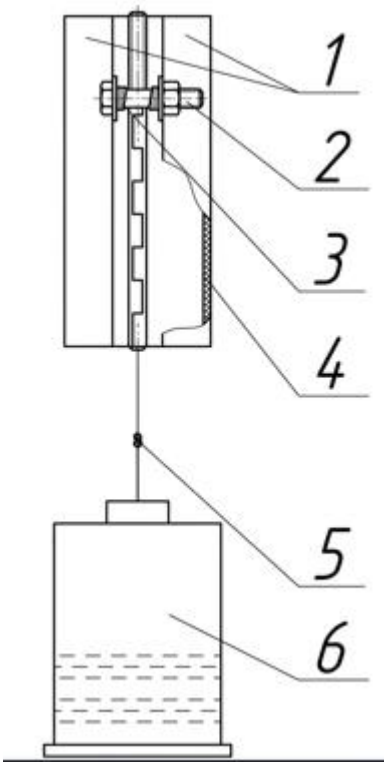


Рисунок 2.2 - Схема підключення вимірювача коефіцієнта тертя
1 - Вигнута пластина; 2 - Затискач, що вкручується; 3 - Пружина; 4 - Вставка; 5 - Шарнірна підвіска; 6 - Резервуар для води.

Безпосередні виміри діаметра і довжини сосків вим’я корови проводили штанген-циркулем, а виміри розташування сосків на вим’я проводили лінійкою згідно зі схемою, на якій зображено вид знизу на вим'я корови (рис. 2.3)

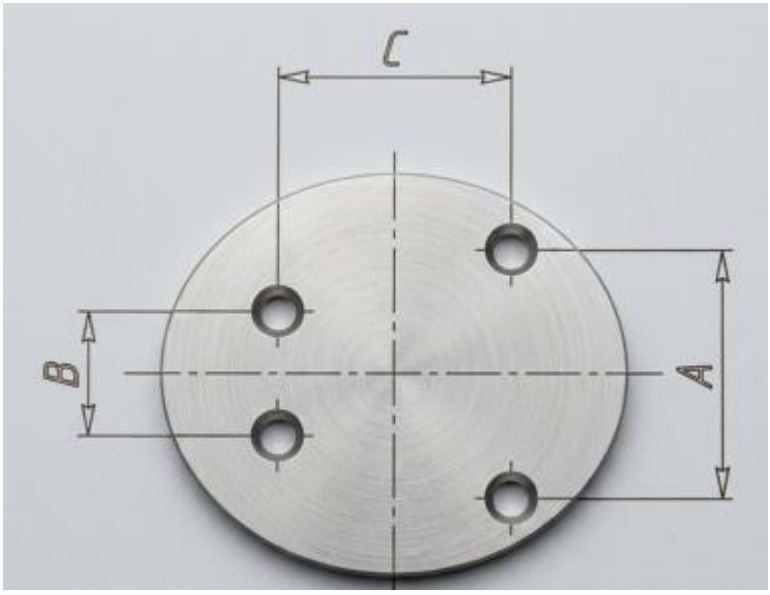


Рисунок 2.3 - Схема вимірів розташування сосків на вим’я

2.1 Характеристики пружних властивостей сосків вим’я

Паралельні лінії були намальовані чорнилом по центру соска корови. Далі, циліндричний стрижень 1 був прикріплений до соска за допомогою клейкої стрічки. До соска поступово прикладали навантаження, розміщуючи різну кількість вантажів 2 на циліндричному стрижні 1. Соско фотографували кожного разу, коли прикладалося навантаження. Лінійку 3 розміщували на тій самій площині, що й соска, і використовували як ваги. Під час експерименту вага вантажів 2 коливалася від 0,135 до 0,675 кг. Після експерименту сфотографовані зображення були перетворені в цифровий формат і надруковані в тому ж масштабі. Зміни довжини та діаметра соска вимірювали кожного разу, коли прикладалося навантаження. Потім було проведено статистичний аналіз. Модуль пружності *E* був розрахований за відомою формулою:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon_1}, \tag{2.1}$$

де σ - нормальна напруга, Н/м^2 ;

ε_1 - відносне подовження соска.

Нормальна напруга та відносне подовження 1 визначаються з виразів:

$$\sigma = \frac{P}{F_1'}, \tag{2.2}$$

$$\varepsilon_1 = \frac{(l_2' - l_1')}{l_1'}, \tag{2.3}$$

де P - навантаження, що діє на сосок, Н;

F_1' - площа перерізу елементарної ділянки, м^2;

l_1', l_2' - відповідно довжина ділянки до та після навантаження, м.

Коефіцієнт поперечної деформації μ соска визначали за формулою:

$$\mu = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}, \tag{2.4}$$

де ε_2 - відносна поперечна деформація соска.

$$\varepsilon_2 = \frac{(d_2' - d_1')}{d_2'}, \tag{2.5}$$

де d_1', d_2' - відповідно діаметр ділянки соска до та після навантаження, м.

Визначення характеристик пружних властивостей сосків вим'я корови. Перед закріпленням приладу на сосках та проведення здійснювали стимуляцію рефлексу молоковіддачі шляхом масажу вим’я.

2.2. Коефіцієнт тертя молочної залози

Спочатку до соска грудей прикріплювали напівциліндричну пластину 1 та злегка притискали до неї, доки вона не торкнулася поверхні соска. Згодом циліндричну пружину 3 стискали за допомогою різьбового затискача 2, тим самим притискаючи вигнуту пластину 1 до соска. Пристрій фіксували на соску за допомогою тертя. Довжину стиснутої пружини 3 вимірювали за допомогою штангенциркуля. Потім за допомогою ручного поршневого насоса повільно наливали воду в ємність 6 пристрою, змушуючи вигнуту пластину 1 рухатися вздовж соска. Вагу ємності 6, заповненої водою, вимірювали для визначення загальної ваги пристрою. У цьому випадку сила тяжіння відповідає силі тертя, коли пристрій рухається з рівноважного стану на соску. Зусилля притискання пластини 1 визначали за допомогою калібрувальної кривої пружини 3.

Коефіцієнт тертя f визначали за формулою:

$$f = \frac{G}{N_{пл}}, \tag{2.6}$$

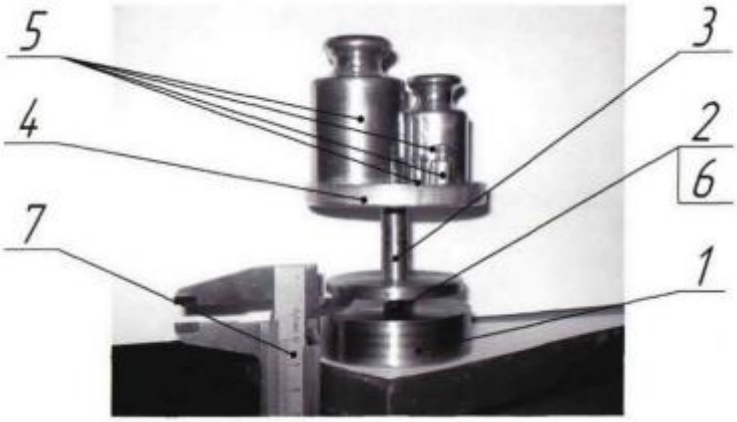
де G - сила тяжіння, що діє на прилад, Н;

$N_{пл}$ - зусилля притискання криволінійних пластин,Н.

Досліди щодо визначення коефіцієнтів тертя взаємодіючої пари сосок вим’я корови соскова гума доїльної склянки. Було поставлено дві серії

експериментів. У першій серії дослідів визначали коефіцієнт тертя сухої пари, що труться, у другому варіанті сосок і фрагменти соскової гуми приладу перед притисканням змочували молоком.

Процедура калібрування пружини виглядає наступним чином: Калібрована пружина 6 кріпиться до стрижня 2 між основою 1 та корпусом 3. Далі пружина 6 послідовно стискається за допомогою різної кількості вантажів 5, прикріплених до піддону 4. Після кожного навантаження довжина стиснутої пружини 6 вимірюється штангенциркулем 7. Під час калібрування зусилля на пружині 6 змінюється в діапазоні від 8,8 до 9,8 Н. На рисунку 2.4 показано роботу пристрою..



Малюнок 2.4 - Тарування пружини
1 - основа; 2 - шток; 3 - втулка; 4 - чаша; 5 - вантажі; 6 - пружина, що тарується; 7 - штангенциркуль.

2.3. Результати досліджень

За результатами досліджень геометричних параметрів сосків було побудовано графіки. Аналізи розподілу діаметрів і довжин сосків вим’я корів показує, що 8090 % випадків вибірки лежить у межах від 19 до 34 мм і від 35 до 65 мм відповідно. Аналіз вимірів сосків на вим’я показує їхню нерівномірність розташування на вим’я. Так, відстань між сосками передніх часток у більшості корів знаходиться в межах від 9 до 18 см, а задніх від 5 до 11 см, що практично вдвічі менше, ніж у передніх. Відстань між сосками передніх і задніх часток лежить у межах від 8 до 14 см.

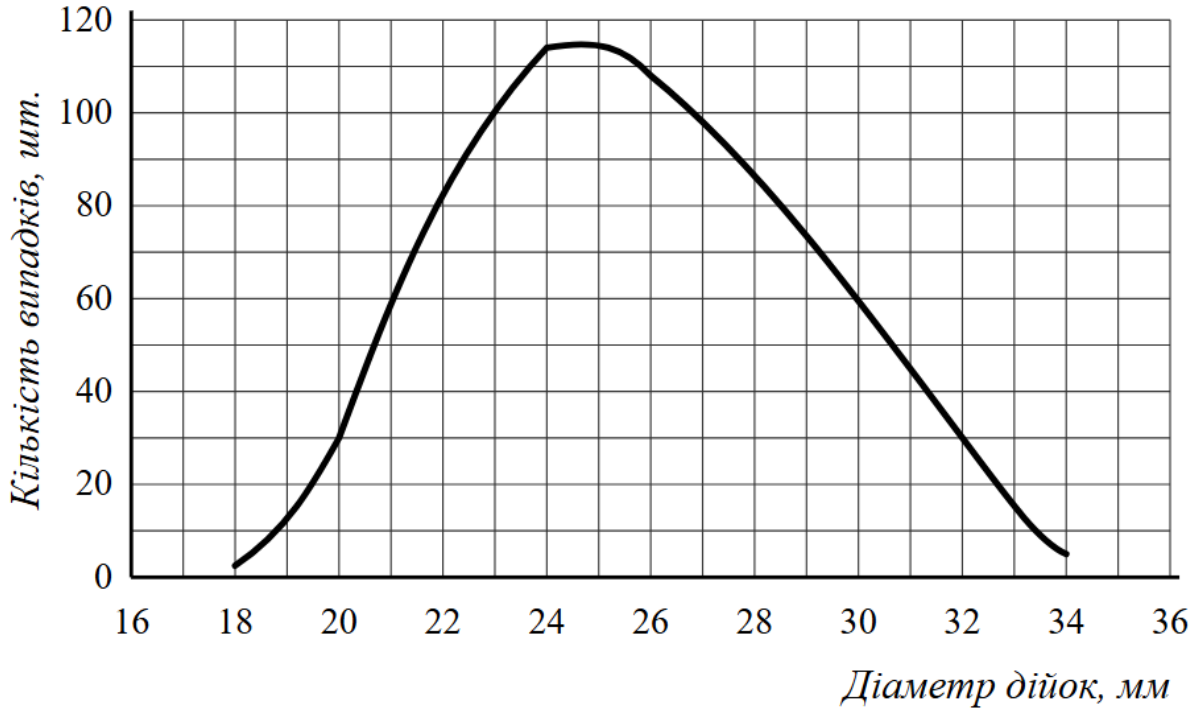


Рисунок 2.5 - Характер розподілу діаметра сосків вим’я корови

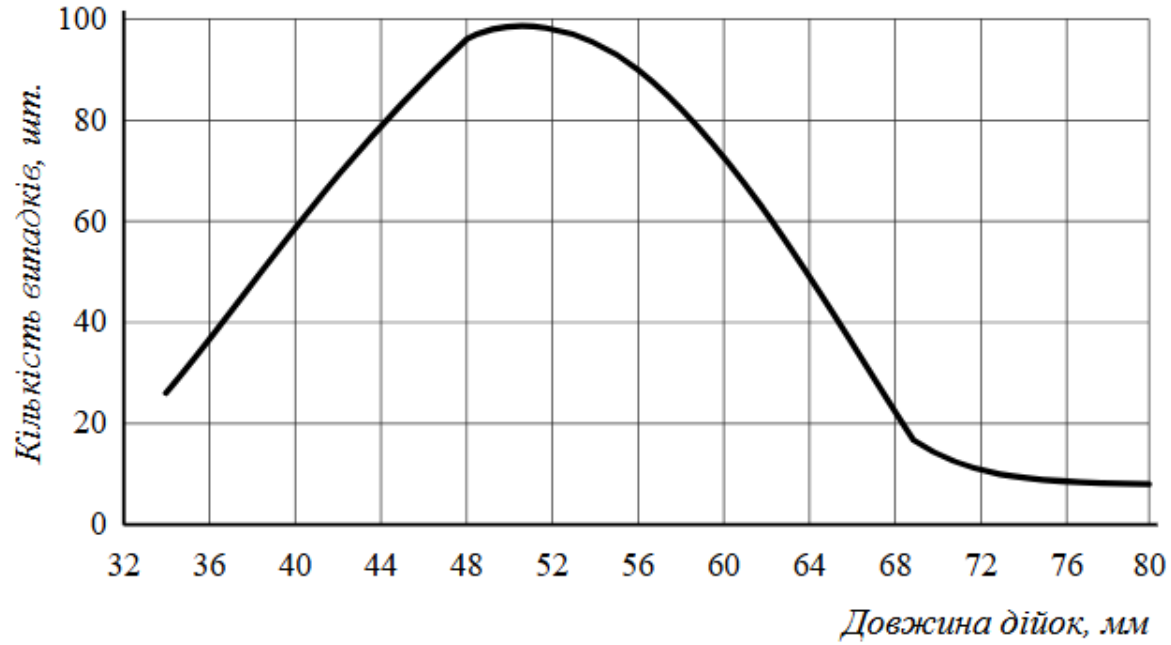


Рисунок 2.6 - Характер розподілу довжини сосків вим’я корови

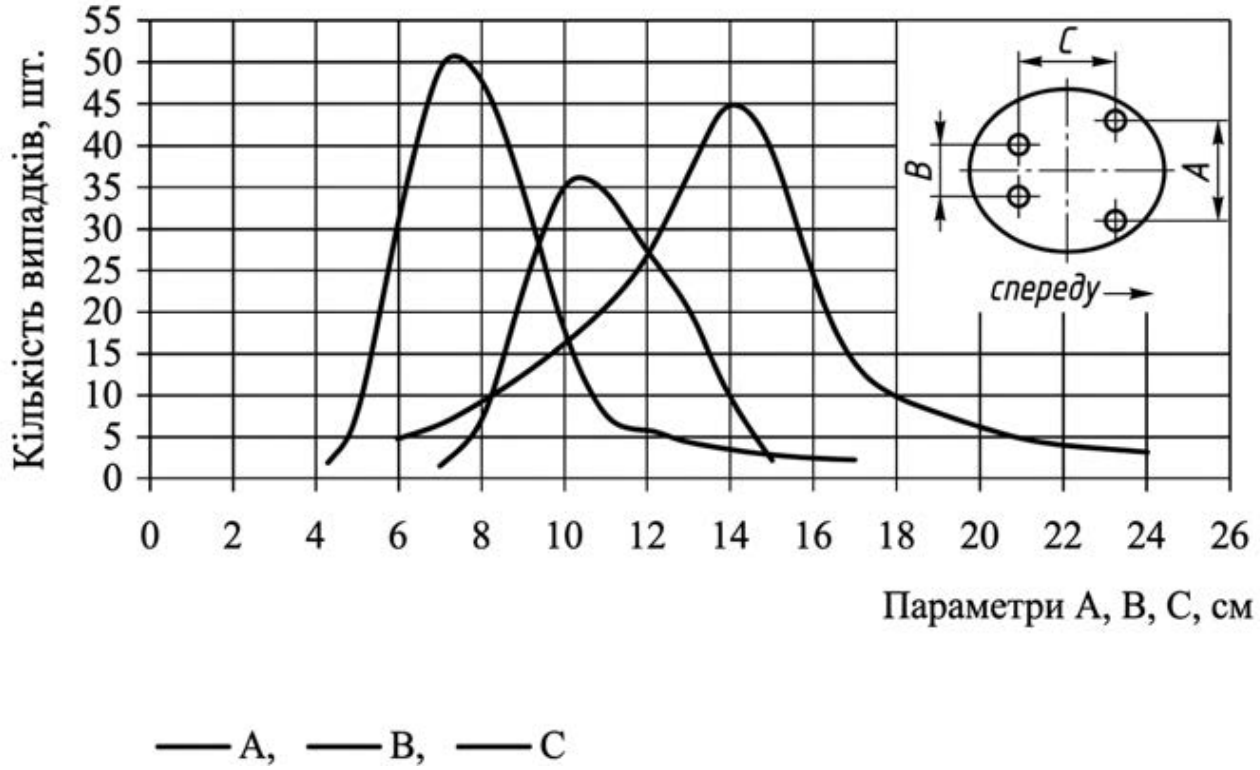


Рисунок 2.7 - Характер розподілу розмірів між сосками вим’я

Обробка дослідних даних показала, що подовження сосків залежать нелінійно від напруги, що діє, а значення модуля пружності *E* і коефіцієнта поперечної деформації змінюються у широкому діапазоні. Пояснюється це тим, що сосок вим’я є тілом зі змінною масою, в процесі доїння в ньому змінюється режим циркуляції крові і тиск молока. Для сосків з початковим діаметром 24-26 мм та довжиною 55-65 мм значення модуля пружності Е знаходяться в межах 18,5-51,0МПа, а коефіцієнта поперечної деформації відповідно в межах 0,17-0,50. За результатами досліджень коефіцієнтів тертя взаємодіючої пари сосок вим’я корови - соскова гума доїльного склянки побудовано графічну залежність коефіцієнта тертя від зусилля притискання криволінійних пластин рис. 2.8.

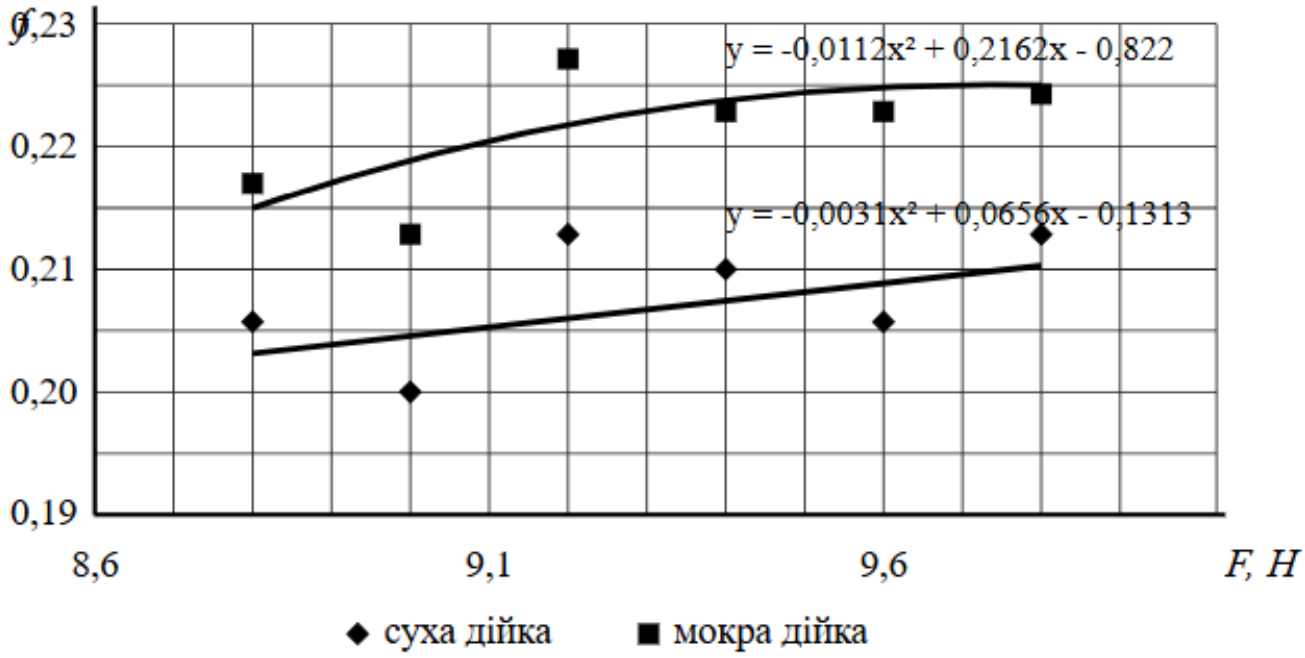


Рисунок 2.8 - Графічна залежність коефіцієнта тертя від зусилля притискання криволінійних пластин

Аналіз отриманих результатів показав, що коефіцієнти тертя практично не залежать від зусилля притискання в біологічно допустимому межі соскової гуми до тіла соска, і для сухих поверхонь вим'я соскова гума в межах 0,19-0,23, а для мокрих відповідно 0,21-0,24.

Деяке парадоксальне збільшення коефіцієнтів тертя для мокрих поверхонь сосок вим'я соскова гума очевидно через дію сил поверхневого натягу та білка в молоці. У практичній площині відхилення величини лежить у межах похибки досвіду.

У ході проведення дослідження визначено, що у лактуючих корів діаметр сосків вим'я змінюється в межах від 19 до 34 мм, а їхня довжина від 35 до 65 мм; відстань між сосками передніх часток лежить у межах 9 18 см, а задніх 5 11 см, що практично вдвічі менше, ніж у передніх; відстань між сосками передніх і задніх часток знаходиться в межах 8-14см.

Встановлено, що значення модуля пружності Е та коефіцієнта поперечної деформації змінюються у широкому діапазоні. Для сосків з початковим діаметром 24-26 мм та довжиною 55-65 мм значення модуля пружності Е знаходяться в межах $(18,5\text{-}51,0)10^{-3}$ МПа, а коефіцієнта поперечної деформації відповідно в межах 0,17-0,50. Встановлено, що коефіцієнти тертя/не залежать від зусилля притискання (у біологічно допустимій межі) соскової гуми до тіла соска, і знаходяться для сухих поверхонь сосок вим'я соскова гума в межах 0,19-0,23, а для мокрих-відповідно 0,21-0,24.

3. ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ ДОЇЛЬНОГО АПАРАТУ З НАВАНТАЖЕННЯМ, ЩО ЗМІНЮЄТЬСЯ, НА ВИМ'Я КОРОВИ

3.1 Проєктування доїльного апарату зі змінним навантаженням на вим'я корови

Під час доїння корів двотактними синхронними доїльними апаратами доїльні склянки можуть надмірно перекриватися, перериваючи потік молока. Ручне опускання доїльних склянок для запобігання цьому перекриттю є трудомістким та громіздким. Тому давайте розглянемо теоретичні аспекти, що підтверджують розробку фізіологічно адаптованих доїльних апаратів.

Спад доїльних склянок відбувається під час всмоктувального ходу доїльного апарату. Розглянемо взаємодію між доїльною склянкою та соском вим'я корови. Сили, що діють на соско, показані на рисунку 3.1.

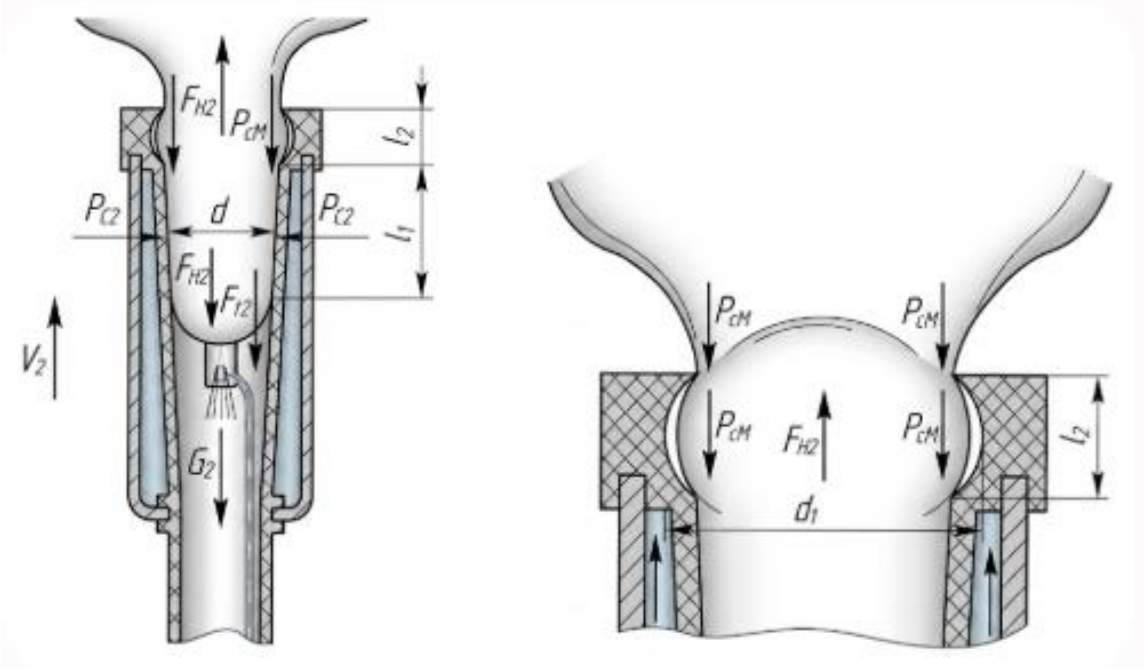


Рисунок 3.1 - Схема сил, що діють на сосок при такті ссання

Припустимо, що сили, що діють на чашку під час ходу стиснення, мають нижній індекс 1, а під час ходу всмоктування нижній індекс 2. Під час ходу всмоктування під ніпелем діє постійне розрідження, яке викликає силу, що переміщує чашку на ніпель. $P_{н2}$, спрямовану нагору. При переміщенні склянки по соску з'являється сила тертя $F_{тр2}$, цей рух.

Крім того, сила тяжіння G2 генерується масою доїльної склянки. Гумова оболонка соска всередині склянки знаходиться в розтягнутому стані, і прогин, викликаний різницею тиску між міжсосковою та підсосковою порожнинами, не враховується. Припускається, що сила $P_{с2}$, викликана тиском гумової оболонки соска, діє на сосок у напрямку, перпендикулярному до осі Y, спричиняючи опір еластичності тканини соска та виникнення сили реакції N_2 внаслідок цього

стиснення. Потовщена частина соска деформується всередині соска. Це призводить до появи двох сил, що діють знизу вгору: сили $P_{гр}$ на потовщену частину та сили P_{pr}, що діє з боку вим'я. Також необхідно враховувати силу, викликану різницею тиску між внутрішньою та зовнішньою частинами соска.

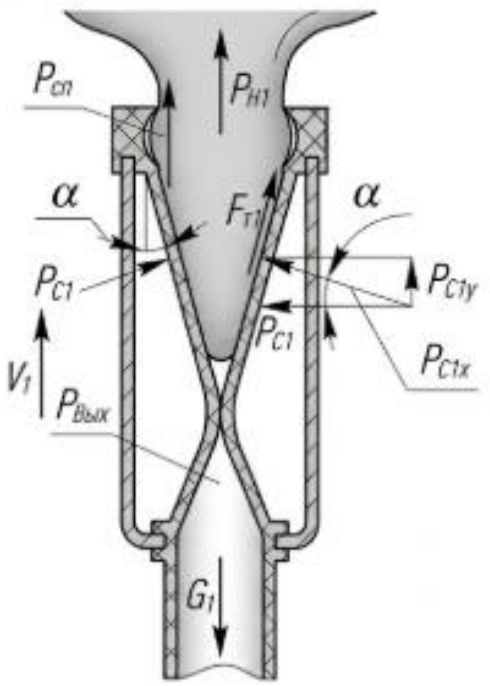


Рисунок 3.2 - Діаграма сил, що діють на сосок під час такту стиснення

Під час такту стиснення вакуум під соском значно зменшується, і закриття вкладиша створює силу, яка виштовхує сосок назовні, в середньому понад 1 кг.

За відсутності тертя або зі зменшеним тертям плавучість стає сильнішою за всмоктування, що призводить до відриву чашки від соска. Коли починається такт стиснення, стінки вкладиша спочатку закриваються під соском, а потім розширюються вгору. Це зменшує об'єм під соском, зменшуючи вакуум

У випадку циліндричних стінок вкладиша повного закриття не відбувається. Поперечний переріз вкладиша має форму білизняної мотузки, а простір під соском залишається під вакуумом. Судячи зі зміни площі поперечного перерізу внаслідок закриття вкладиша та стиснення соска, поперечний переріз кінчика соска стає еліптичним. Моделюючи геометричну криву стиснення сосків, коли стінки вкладиша сосків закриті, та імітуючи процес доїння за допомогою тонкої гумової штучної соски, заповненої літолом, було показано, що площа кінчика сосків зменшується приблизно в 2,7-3,0 рази порівняно з початковим значенням.

Отже, використовуючи зміну площі кінчика сосків, пов'язану з джерелом вакууму, як орієнтир, та припускаючи середній діаметр сосків 25 мм у вкладиші та вакуум 48 кПа під соском під час такту всмоктування, сила, спрямована вгору на сосків, буде такою:

$$P_{H2} = \frac{\pi \cdot (25 \cdot 10^{-3})^2 48 \cdot 10}{4} \approx 23{,}5H\,, \qquad (3.1)$$

А під час такту стиснення сила, що діє на скло вгору, дорівнює P_{H1} =7,9-8,7*H*.

У верхню частину чашки соска вбудовано присоску для покращення утримання та запобігання випаданню чашки з грудей під час стискань. Ця частина чашки соска має більший внутрішній діаметр, ніж трубка соска. У стандартній чаші соска стінки деформуються в одній площині та рухаються одна до одної, спочатку закриваючись під соском. Закриття чашки соска створює силу, яка виштовхує сосок назовні, що призводить до опору еластичної тканини на кінчику соска, тобто реакції на кінчику соска. Загальна сила плавучості P_{vit}, що діє на чашку соска, спрямована вниз, але сила, що діє на закриту чашку соска, спрямована вгору. Оскільки дослідження показали, що тиск на стінки чашки соска змінюється вздовж довжини, корисно розділити загальну плавучість на дві складові: бічну силу, що виникає внаслідок реакції з боків соска, та кінцеву силу R_{SV}. Найбільший тиск виникає на кінчику соска, коли стінки чашки соска закриваються. Чашка починає опускатися вздовж соска. Коли чашка рухається вздовж соска, виникає сила тертя F_{T1}, спрямована вгору, під кутом α відносно вертикалі. Крім того, сила тяжіння G_1 генерується масою чашки. Внутрішня оболонка соска розтягується, а її стінки стискаються, тому тиск оболонки P_{C1} діє на сосок перпендикулярно до стінок під кутом α відносно осі *X*. Це створює опір завдяки еластичності тканини соска, що призводить до сили реакції стиску N_1. Сила P_{sp} всередині чашки має таку ж величину, як і під час ходу всмоктування, але напрямок протилежний, оскільки чашка опускається над соском. Зміни рівня вакууму всередині чашки не враховуються.

Отже, загальна маса підвісу становить M_{szh} = 2,5 кг. Оскільки хід стиснення триває приблизно 0,3 секунди, маса підвісу може бути трохи більшою за розраховане значення. Це пояснюється тим, що рух наконечника вниз зупиняється одночасно з початком дії всмоктування.

Виникає певна дилема. З одного боку, щоб запобігти зважанню корови вименю та забезпечити чисте доїння, вага кластера доїльного апарату повинна становити приблизно 5 кг. Це важливий момент. Вчені зазначають, що сила тяги варіюється від корови до корови. Менші вим’я потребують легших доїльних апаратів, тоді як більші виграють від важчих апаратів для легшого доїння. Межа сили тяги визначається діаметром молочних проток, еластичністю тканини та об'ємом вим’я.

Вага кластера доїльного апарату має вирішальний вплив на надій молока. Найнижчий надій молока спостерігається при вазі кластера 4,55 кг. Однак доїльний апарат з кластером такого розміру не буде надійно прикріплений. З іншого боку, щоб надійно прикріпити доїльний апарат до вим’я корови, вага кластера теоретично повинна становити приблизно 2,5 кг. Однак, доїльний

апарат з таким важким кластером заважатиме соску та стискатиме молочні протоки, що з'єднують сосок з чотирма секціями вим’я.

Максимальна вага кластера для двотактного доїльного апарату становить 3,3 кг. Вага кластера в ідеалі не повинна перевищувати 3,4 кг. Оскільки дояр несе його власними силами, він має бути якомога легшим. Комерційно доступні доїльні апарати мають вагу кластера від 2,2 кг до 3,0 кг. Однак це лише компроміс науково доведених варіантів. Вага кластера вибирається таким чином, щоб дояр не заважав соску та не відривався від нього. Ця проблема досі не повністю вирішена.

Рекомендується використовувати доїльні апарати, які доять парами. Ці доїльні апарати характеризуються тим, що однакові рухи відбуваються одночасно лише у двох доїльних склянках, тоді як рухи в інших двох доїльних склянках відбуваються з різницею фаз 180°. Така складна конструкція виправдана перевагами сильнішої стимуляції потоку молока шляхом доїння сосків парами, зменшенням гідравлічного опору під час всмоктування молока через молочні протоки та мінімізацією коливань вакууму в камерах сосків під час концентрованого доїння.

Однак ні синхронні доїльні апарати, ні парні доїльні апарати не забезпечують фізіологічно обґрунтованого зчеплення з вим’ям корови, щоб гарантувати повне та швидке доїння без використання механічного доїння.

3.2 Структура та технічна схема доїльного апарату, прикріпленого до вим’я корови

Підвісна секція сучасних доїльних апаратів далеко не ідеальна. Ця секція є найважливішою частиною доїльного апарату, безпосередньо контактуючи з коровою та являючи собою межу між фізіологією тварин та технологією. Підвісна секція доїльного апарату повинна відображати асиметрію положення сосків та ідеально відповідати природній формі вим’я. Під час доїння сила тяги на сосках повинна автоматично перерозподілятися відповідно до циклу доїльного апарату. Сила тяги повинна збільшуватися для сосків, що проходять цикл всмоктування, і зменшуватися для сосків, що проходять цикл стиснення. Це забезпечує стабільний процес доїння. В результаті з вим'ям поводяться належним чином, здоров'я корови покращується, а підвісна секція доїльного апарату запобігає відриву від вим’я.

Нижче ми описуємо доїльний апарат, який застосовує змінне навантаження до однієї чверті вим’я корови.

Під час розробки компонування доїльного апарату були враховані основні вимоги щодо підвісної секції.

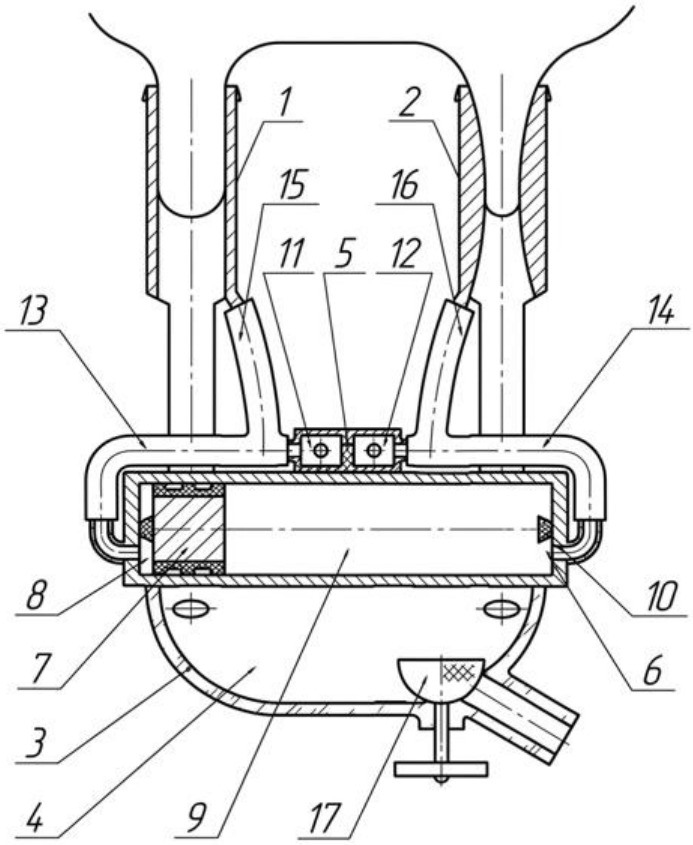


Рисунок 3.3- Підвісна частина доїльного апарату
1,2 - доїльна склянка; 3 - колектор; 4, 8, 9, 11, 12 - камера; 5 - розподільник; 6 - циліндр; 7 - поршень; 10 - демпфер; 13,14 - канал; 15, 16 - патрубок; 17-клапан.

Підвісна частина доїльного апарату (рис. 3.3) складається з двокамерних склянок 1,2 з'єднаних із колектором 3. Колектор оригінальної конструкції. Містить молокозбірну камеру 4 і розподільник 5. Над розподільником встановлений порожнистий горизонтальний циліндр 6. У циліндрі 6 розміщений поршень 7 з утворенням камер 8 і 9 по обидва боки поршня.

Переміщення поршня обмежують пружні демпфери 10 на торцевих стінках порожнистого циліндра 6. У розподільнику 5 розміщені камери змінного вакууму 11 і 12, пов'язані шлангами з пульсатором попарної дії не показаний. Камери змінного вакууму 11 і 12 працюють у протифазах і повідомлені каналами 13 і 14 з камерами 8 і 9, а патрубками 15 і 16 з міжстінними камерами доїльних склянок 1 і 2. Якщо камеру 11 від пульсатора подається повітря, то камеру 12 - для підключення колектора до молокоприймача служить клапан 17. Поршень 7 виготовлений з матеріалу з великою питомою вагою, щоб мати малий масу при малих розмірах.

Доїльний апарат працює в такий спосіб. Після підключення доїльного апарату до джерела вакууму оператор надягає доїльні склянки на соски вим’я корови. Доцільно, щоб порожнистий циліндр колектора 6 був перпендикулярно поздовжньої осі тварини. Що забезпечує попарне доїння половин вим’я корови.

Пульсатор подає синхронно камеру 12 колектора повітря, а камеру 11 вакуум. Вакуум з камери 11 по патрубку 15 надходить у міжстінні порожнини доїльних склянок 1, у цій частині вим’я настає такт ссання. Одночасно повітря з камери 12 по патрубку 16 подається в міжстінні камери доїльних склянок другої 2 половини вим’я, де настає такт стиснення. Синхронно з цим вакуум каналу 13 поширюється в камеру 8, а повітря каналом 14 в камеру 9 циліндра 6.

Результуюча різниця тисків переміщує поршень 7 у крайнє ліве положення. Демпфер 8 пом'якшує удар поршня 7 об передню стінку. Рух поршня 7 перерозподіляє вагу колектора, що діє на доїльні склянки. Великий поршень 7 концентрує силу тяжіння під доїльною склянкою 1 і запобігає її зісковзуванню з ніпеля. І навпаки, сила тяжіння під доїльною склянкою 2 пропорційно зменшується, забезпечуючи міцне прикріплення склянки до ніпеля, коли вставка закривається під час ходу стиснення. Перемикання пульсатора змінює ці ефекти на протилежні. У чашці 2 відбувається хід всмоктування, а в чашці 1 - хід стиснення. Це змінює напрямок різниці тисків, що діє на поршень 7 у циліндрі 6. Повітря надходить у камеру 8, а вакуум - у камеру 9, що переміщує поршень 7 у крайнє праве положення. В результаті вага всередині колектора, що діє на доїльні склянки 1 і 2, перерозподіляється. Зміна робочого ходу пристрою та зміна положення поршня в циліндрі відбуваються майже одночасно.

Таким чином, положення поршня змінюється відповідно до ходу, що генерується пульсатором, а вага, що діє на доїльну склянку, автоматично та відповідно перерозподіляється, що виключає одночасний рух доїльної склянки вгору та вниз під час доїння. Це підвищує експлуатаційну надійність доїльного апарату, забезпечує повне доїння без механічного доїння та зменшує загальне навантаження на вим'я тварини, а отже, і робоче навантаження оператора.

3.3 Спроєктована схема взаємодії підвісної частини доїльного апарату з вим’ям корови

Унікальною конструктивною особливістю доїльного апарату зі змінним навантаженням на вим'я є наявність рухомої маси в головці. Ця рухома маса змінює центр ваги соска доїльного апарату відповідно до ходу пульсатора. Розтягувальне навантаження збільшується для сосків, що відчувають всмоктувальні рухи, і відповідно зменшується для сосків, що відчувають стискальні рухи

Це призводить до стабільного процесу доїння. В результаті, циліндр трохи коливається під час доїння. Це зменшує навантаження на вим'я, покращує здоров'я корови та запобігає відокремленню сосків від нього

Аналіз взаємодії між соском доїльного апарату та вим'ям корови є складним, тому ми робимо кілька припущень.

При застосуванні навантаження корови висувається, а кут нахилу відносно основи вим’я також змінюється. Тут ми припускаємо, що маса соска обрана таким чином, щоб головка залишалася нерухомою відносно соска під час доїння.

Стакан, закріплений на дійці, розглядається як невід'ємна частина дійки, тому його масою можна знехтувати. Шланг, що з'єднує доїльний стакан із колектором доїльного апарата, вважається стрижнеподібним елементом, а його маса умовно зосереджена в підвісній частині доїльного апарата. У результаті коливальних рухів підвісної частини доїльного апарата змінюється кут нахилу дійки разом із доїльним стаканом відносно вертикальної осі.

З урахуванням зазначених припущень для дослідження процесу взаємодії підвісної частини доїльного апарата з вим'ям корови використовується імітаційна модель, наведена на рисунку 3.4.

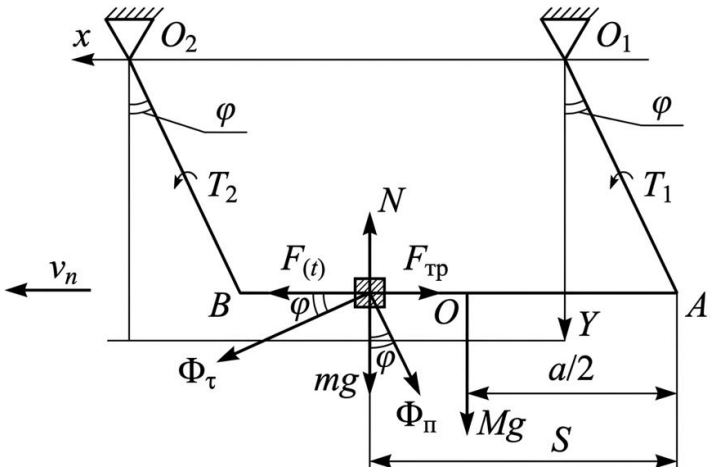


Рисунок 3.4 - Розрахункова схема взаємодії підвісної частини доїльного апарата з вим’ям корови

Введемо систему координат з точкою O_1 як початком координат, віссю O_1X, що проходить справа наліво, та віссю O_1Y, спрямованою вниз. Використовуємо такі символи: m - маса поршня (кг), M - маса всієї системи (корпусу колектора) з точкою O як центром ваги, S - відстань від правого кінця циліндра колектора до поршня (м), φ - кут відхилення штока від вертикального положення, l - довжина штока (м), T_1 та T_2 - сили реакції колектора та поршня на лівому та правому сосках відповідно, a - довжина напрямної. Корпус колектора, оснащений циліндром поршня, розглядається як напрямна для руху поршня.

Визначаємо значення сил реакції T_1 та T_2, тобто довжину штока $O_1A = O_2B = const$, так що чашка залишається нерухомою на соску грудей, поки вся система рухається.

Вибираємо довільне положення в системі та прикладаємо діючі сили (рис. 3.4). Рух складається з відносного руху поршня та поступального руху всієї системи. Повний цикл руху колектора виглядає наступним чином (рис. 3.5).

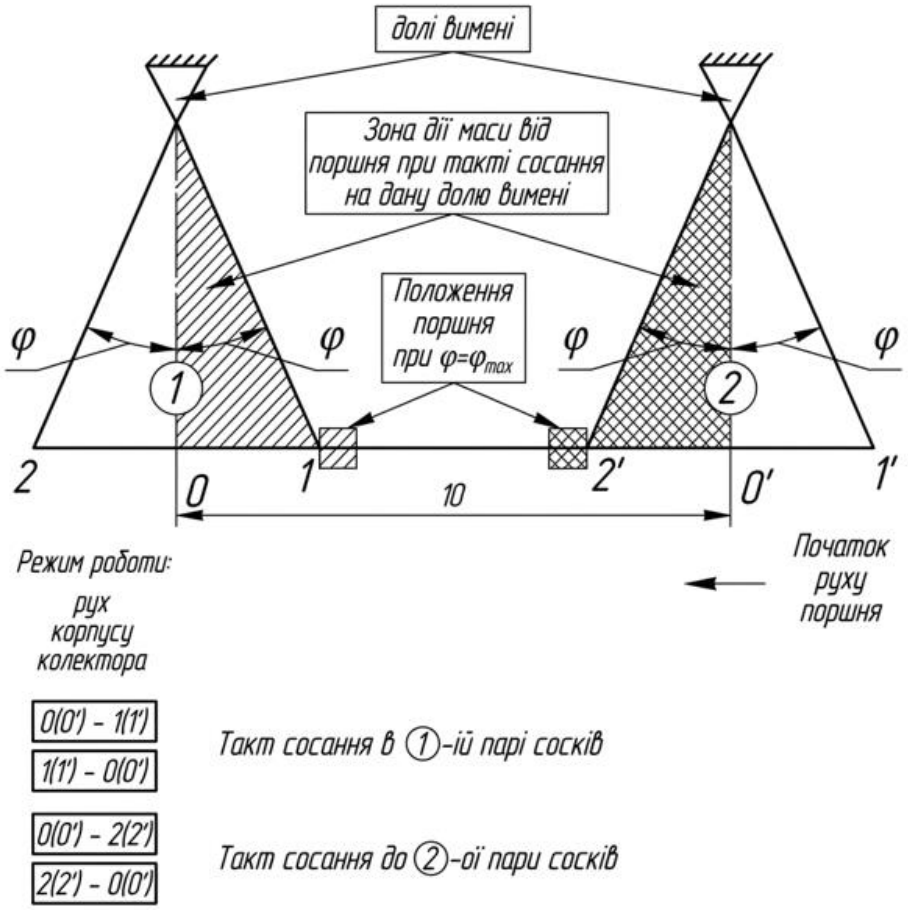


Рисунок 3.5 - Кінематична схема положення підвісної частини доїльного апарату

Фаза 0(0')-l(l'). Коли доїльний апарат підключено до вакуумного пристрою, різниця тисків передається на поршень, змушуючи його рухатися вздовж напрямної (колекторного циліндра) від правого кінця до лівого, тим самим змінюючи центр ваги системи. Поршень і напрямна рухаються в протилежних напрямних. Оскільки обидва кінці напрямної прикріплені до шарнірів молочної трубки доїльного стакана, рух напрямної призводить до згинання шарнірів, тим самим збільшуючи кут повороту шарнірів відносно вертикалі.

Фаза l(l')-0(0'). Коли поршень досягає свого крайнього положення, він вдаряється об торцеву стінку напрямної. Це зупиняє збільшення кута повороту. Оскільки сила, викликана різницею тисків, продовжує діяти на поршень, поршень залишається в контакті з торцевою стінкою після зіткнення. Це зіткнення можна вважати непружним. В результаті удару напрямна та поршень рухаються в протилежних напрямних. Кут зменшується, а поршень залишається нерухомим відносно напрямної, тому рух системи є лише поступальним. Фаза 0(0')-2(2'). Коли рухома система досягає заданого кута, пульсатор перемикається та змінює напрямок різниці тисків, що діє на поршень. Поршень відокремлюється від торцевої стінки напрямної та починає рухатися в протилежному напрямку вздовж напрямної, від лівого крайнього положення до правого крайнього положення. Поршень і напрямна знову рухаються в

протилежних напрямках. Кут відносно вертикалі збільшується, але напрямок змінюється на протилежний.

Фаза 2(2')-0(0'). Поршень вдаряється об протилежну торцеву стінку. Кут відхилення шарніра від вертикалі максимальний. Потім поршень і напрямна починають рухатися разом (у поступальному русі), і кут зменшується.

Этап 0(0')-l(l').

Коли рухома система досягає кута 0°, пульсатор перемикається, змінюючи різницю тиску на поршні, і цикл повторюється. Під час роботи підвісна частина доїльного апарату м'яко коливається над соском корови.

Спочатку виведемо диференціальне рівняння для першого етапу руху до зіткнення поршня з торцевою стінкою напрямної. Поршень рухається відносно напрямної. Оскільки напрямна, по якій рухається поршень, є прямою лінією, швидкість усіх точок на напрямній однакова як за напрямком, так і за величиною. Точки А та В, де напрямна з'єднана зі стрижнем підвіски, обертаються зі зміною кута повороту. Водночас точки А та В є точками на напрямній АВ. Отже, поступальна швидкість решти точок на напрямній відносно нерухомих стрижнів підвіски 0_1 та 0_2 є дотичною до кола руху точок А та В, тобто перпендикулярною до стрижнів підвіски 0_1A та 0_2B. Коли стрижень підвіски коливається, напрямна АВ завжди займає горизонтальне положення.

4. ДОСЛІДЖЕННЯ ДОЇЛЬНОГО АПАРАТУ З НАВАНТАЖЕННЯМ, ЯКОГО ЗМІНЯЄТЬСЯ, НА ВИМ'Я КОРОВИ

4.1. Методика лабораторних досліджень

Для перевірки порушених питань було сконструйовано експериментальний апарат. Було розроблено та виготовлено спеціальний апарат (рис. 4.1) для вимірювання часу переміщення поршня від одного кінця циліндра до іншого. Цей апарат складається з експериментального доїльного апарата 1, реєструючого пристрою (електрокардіографа 2) та випрямляючого/стабілізаційного кола 3. Незалежні кнопкові вимикачі 5 встановлені на внутрішній стороні торцевої стінки циліндра 4 у підвісній секції 1 доїльного апарата. Ці вимикачі з'єднані з електрокардіографом 2 за допомогою проводки 6 через розподільну коробку 7. Коли рухомий поршень 8 всередині циліндра 4 досягає свого кінцевого положення, один з вимикачів 5 активується, замикаючи електричне коло. Електричний сигнал надсилається від випрямляючого/стабілізаційного кола 3 до електрокардіографа 2 через замкнутий вимикач 5, що призводить до переміщення голки на реєструючому пристрої 2 з початкового положення. Як тільки поршень перестає натискати на вимикач 5, електричне коло розмикається, і голка повертається у початкове положення. Спеціальний апарат був розроблений та виготовлений для вимірювання часу, необхідного для підвищення рівня вакууму всередині камери циліндра (рис. 4.2).

Цей пристрій складається з циліндра 1, розташованого в підвісній секції експериментальної доїльної машини, та іншого циліндра 1, підключеного до джерела вакууму через шланг 2 та електромагнітний клапан 3. Вакуумметр 4 прикріплений до циліндра 1. Час, необхідний для підвищення рівня вакууму, вимірюється електричним секундоміром 5, який вимірює час, необхідний для коливання стрілки вакуумметра 4 від нуля до встановленого значення. Електромагнітний клапан 3 та електричний секундомір 5 підключені до загального вимикача 7 через проводку 6. Вимикач 7 призначений для одночасного відкриття електромагнітного клапана 3 з активацією електричного секундоміра 5.

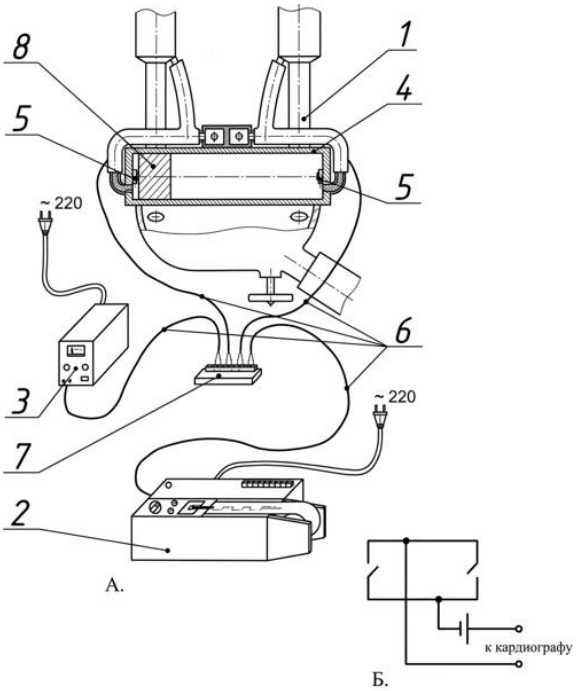


Рисунок 4.1 - схема установки для визначення часу руху поршня: А - загальний вигляд; Б - електрична схема

1 - лабораторний доїльний апарат; 2 - самописний прилад - кардіограф; 3 - випрямляч-стабілізатор; 4 - циліндр; 5 - вимикач; 6 - дроти; 7 - комутаційна коробка; 8 - поршень

В установці загальний об'єм циліндра 1 та шланга 2, що з'єднує циліндр та електромагнітний клапан 3, дорівнює загальному об'єму камери циліндра експериментальної доїльної машини, простору між стінками доїльних стаканів та шланга кондиціонера.

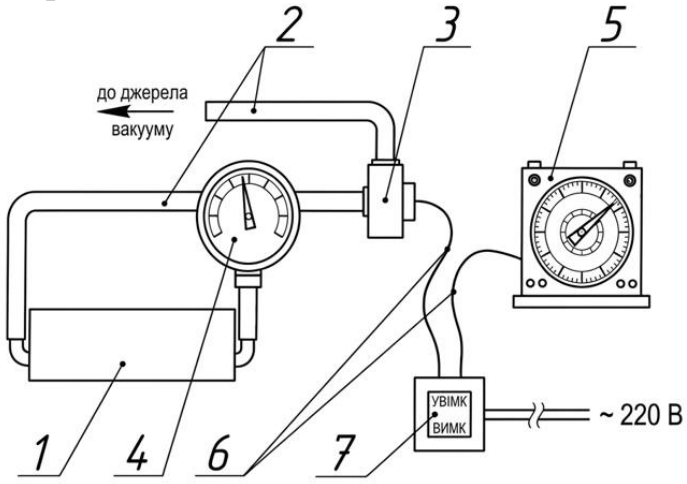


Рисунок 4,2 - Таймер генерації вакууму

1 - Циліндр; 2 - Шланг; 3 - Електромагнітний клапан; 4 - Вакуумметр; 5 - Електричний секундомір; 6 - Проводка; 7 - Головний вимикач

Для вимірювання відхилення підвіски доїльного апарату від вертикалі використовувався спеціальний апарат (рис. 4.3). Цей апарат складався з лабораторного доїльного апарату 1, підставки для грудей 2 та цифрової камери 3.

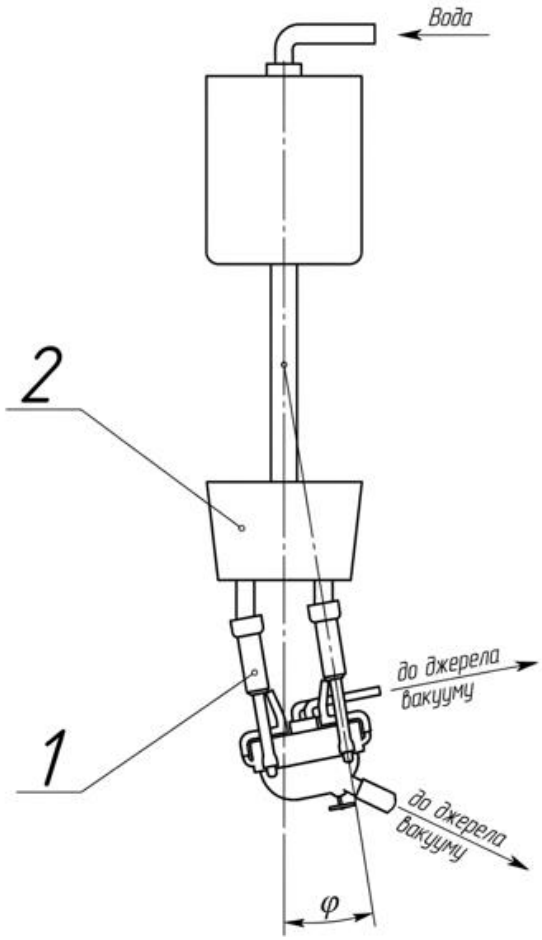


Рисунок 4.3 - Схема установки для визначення кута відхилення підвісної: частини від вертикалі1 ; 2 - стенд штучне вим'я;

Для дослідження впливу конструктивних та робочих параметрів зі змінним навантаженням на величину виступання чашки було розроблено та запроєктовано спеціальний апарат. Принципова схема показана на рисунку 4.4, а її зовнішній вигляд на рисунку 4.5. Доїльний апарат (рисунок 4.4) складається зі штучної грудей 1, що тестується 2, штовхача зі стрілкою 3, шкали 4 та електронного секундоміра 5.

Штучна установка складається з резервуара для рідини 1, трубки для створення тиску 2, резервуара для накачування 3, імітатора сосків 4 з наскрізним каналом та пружинного клапана 5, який закриває отвір, що з'єднує канал резервуара для накачування 3 та імітатор сосків 4.

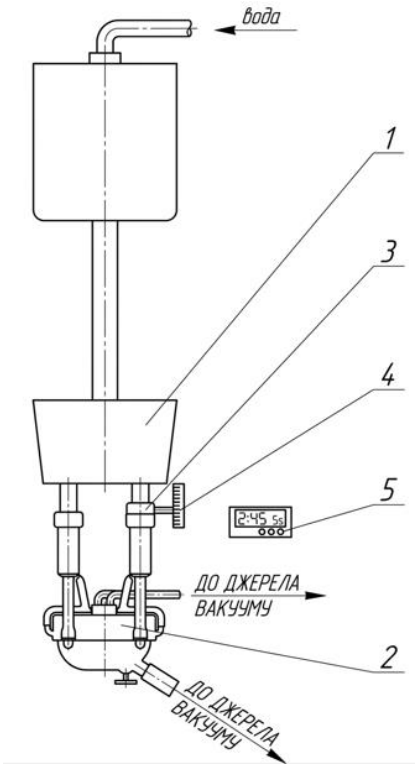


Рисунок 4.4 - Схема установки
1 - штучне вим'я; 2 - доїльний апарат; 3 - штовхач зі стрілкою; 4 - шкала;
5 - секундомір

У процесі розробки волокнистої суміші ми провели огляди літератури та власні дослідження для визначення необхідних значень геометричних параметрів, пружних властивостей та коефіцієнта тертя волокнистого імітатора.

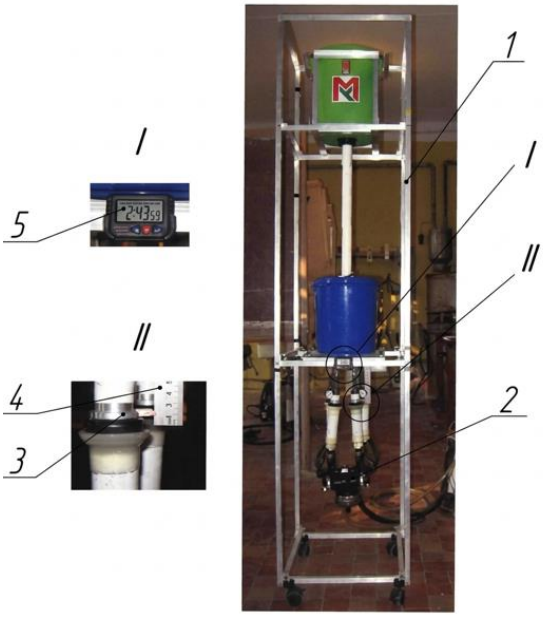


Рисунок 4.5 - Огляд обладнання:
1 - Штучна слина; 2 - Швейна машинка; 3 - Штовхач зі стрілкою; 4 - Різак; 5 - Секундомір

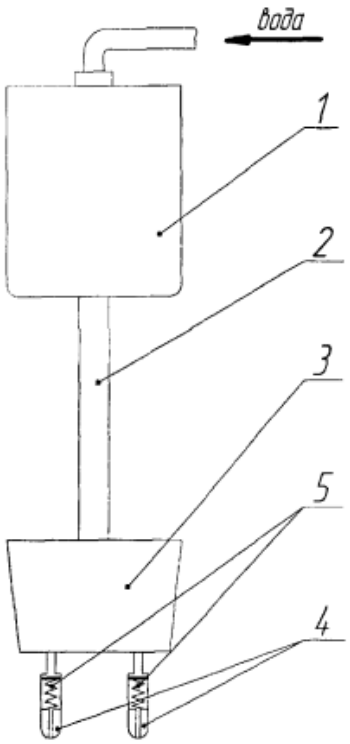


Рисунок 4.6 - Схема штучного вим’я:
1 - бак для рідини; 2 - напірна труба; 3 - розширювальна ємність; 4 - імітатор соска; 5 - пружинний клапан.

Виходячи з вищезазначеного, було розроблено ручний симулятор грудей діаметром 25 мм. Поверхня волокнистого симулятора демонструвала коефіцієнт тертя 0,22 при контакті підкладки та гуми.

Під час вибору значень підшкірного тиску та м'язового тонусу було підкреслено взаємозв'язок між ними. Коли тонус сфінктера сечового міхура знижується, тиск усередині сечового міхура збільшується і стає нульовим після сечовипускання. Рівень води під час сечовипускання низький, не перевищуючи 5,3-10,6 кПа, але тонус сфінктера щурів після сечовипускання коливається від 39,9-53,2 кПа до сечовипускання до 13,3-20,0 кПа після сечовипускання.

Враховуючи вищезазначене, висота встановлення резервуара 1 (рис. 4.3) була обрана таким чином, щоб підтримувати тиск усередині резервуара 3 на рівні 108,0–109,3 кПа. Клапанна пружина 5, яка закриває вхід симулятора сечового міхура, була відрегульована таким чином, щоб вона відкривалася, коли під сечовим міхуром прикладався вакуум приблизно 20,0 кПа. Діаметр вим’я молочних корів коливається від 2,5 до 4,5 мм, в середньому 3,0 мм. У корів, які мають труднощі з доїнням, діаметр протоки коливається від 1,5 до 2,5 мм, в середньому 2,0 мм. У симуляторі діаметр протоки було встановлено на рівні 3,0 мм, що відповідає максимальному надою корови.

Апарат працює наступним чином: вода заповнюється в резервуар 1 і протікає через напірну трубу 2 до розширювального резервуара 3, а потім до

симулятора шкіри 4. Пружина клапана 5 запобігає витоку зі штока 4. Коли на пружину клапана 5 через протоки в шлунку прикладається тиск, клапан відкривається. Через різницю тиску вода з розширювального резервуара 3 надходить у проточний тракт симулятора вим’я, через нижню камеру вим’я та в колектор. Коли прибув молоковоз, він підібрав насос з козячою шапкою та рушницею. Стрілка вільно гойдалася вздовж шкали, встановленої збоку, показуючи необхідну відстань підйому.

За допомогою розробленого апарату під час імітаційних експериментів було виявлено напади на пральні машини та лабораторні пральні машини.

У лабораторних експериментах як джерело вакууму використовувався зварювальний апарат DAS-2B. Він включав вакуумний насос, вакуумний регулятор, вакуумметр та секцію вакуумного трубопроводу з вакуумними клапанами.

4.2 Визначення часу наростання вакууму

Метод визначення часу наростання вакууму в циліндричній камері полягає в наступному: спочатку експериментальний апарат підключали до електромережі та джерела вакууму. Далі електричний секундомір 5 увімкнули за допомогою головного вимикача (лінійного фільтра) 7, а електромагнітний клапан 3 відкривали для зупинки вакууму. Одночасно проводився відеозапис за допомогою цифрової камери. Під час експерименту використовувалися рівні вакууму 42, 48 та 54 кПа. Після експерименту відео оброблялося на персональному комп'ютері. Під час обробки відео вибиралися кадри, в яких стрілка вакуумметра 4 досягала певного значення вакууму, і на основі показань секундоміра 5 для цього кадру визначався час наростання вакууму в циліндричній камері. На рисунку 4.9 показано вирівнювання під час роботи.

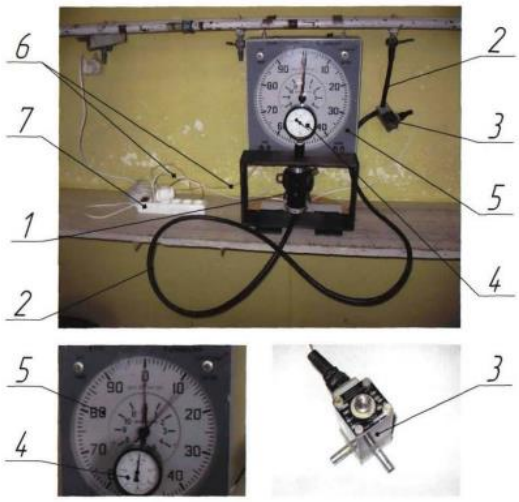


Рисунок 4.7 - Вимірювання часу наростання вакууму
1 - Циліндр, 2 - Шланги, 3 - Електромагнітний клапан, 4 - Вакуумметр, 5 - Електричний секундомір, 6 - Проводка, 7 - Головний вимикач

Метод визначення кута зміщення кластера швів від вертикалі полягає в наступному: лабораторний доїльний апарат 1 підключали до джерела вакууму, а штучного птаха 2 до симулятора птаха. Одночасно проводився відеозапис цифровою камерою. Під час експерименту використовували поршні масами 0,5, 0,75 та 1,0 кг та тиском вакууму 42, 48 та 54 кПа. Після експерименту відео обробляли на персональному комп'ютері. Під час обробки вибирали та роздруковували кадр з найбільшим кутом переміщення кластера швів. Далі на зображенні проводили вертикальну лінію, паралельну основі штучного кігтя, та пряму лінію, паралельну чашкі кігтя. Кут, утворений прямою та вертикальною лінією, є кутом зміщення кластера зрошення від вертикальної осі.

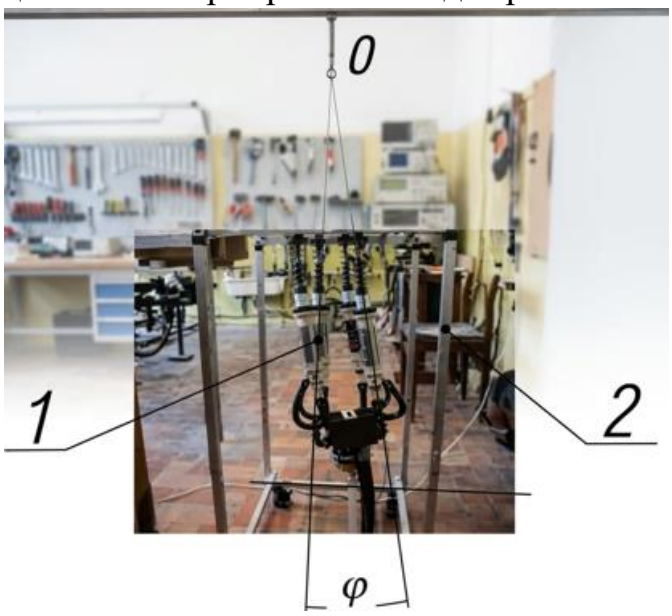


Рисунок 4.8 - Вимірювання кута відхилення підвішеної частини від вертикалі: 1 - Лабораторний доїльний пристрій; 2 - Штучне вим’я - Кут відхилення підвішеного об'єкта від вертикалі

Конструктивні та технічні параметри, необхідні для забезпечення стабільної та ефективної роботи доїльного обладнання, а також для створення безпечних умов утримання тварин і обслуговування технологічного процесу, залежать насамперед від рівня робочого вакуумного тиску та маси доїльного апарата. Саме ці параметри значною мірою визначають інтенсивність молоковіддачі, стабільність роботи доїльних стаканів, ступінь впливу на вим’я тварини та загальну якість процесу доїння.

Одним із важливих технологічних показників, що впливає на гігієну процесу доїння, є рівень забруднення робочих елементів доїльного обладнання та можливість налипання органічних залишків на поверхні доїльних стаканів. Підвищене забруднення може призводити до погіршення санітарного стану продукції, збільшення ризику мікробіологічного обсіменіння молока та необхідності додаткових операцій очищення. У зв’язку з цим зазначений

параметр розглядається як один із критеріїв оптимізації конструктивно-технологічних рішень.

Вибір діапазонів варіації досліджуваних факторів здійснювався на основі аналізу науково-технічної літератури, практичного досвіду експлуатації доїльних установок та рекомендацій фахівців у галузі молочного машинобудування. Встановлено, що робочий вакуумний тиск у більшості сучасних доїльних систем підтримується в межах 46-50 кПа, що забезпечує оптимальне співвідношення між інтенсивністю доїння та безпечним впливом на тканини вим'я.

У вакуумних магістралях стандартних доїльних установок зазвичай підтримується рівень 47-49 кПа, що вважається базовим робочим режимом. Для трикамерних або трисекційних доїльних систем значення вакуумного тиску може бути підвищене до 53-55 кПа. Це пов'язано з конструктивними особливостями таких систем, зокрема збільшеним об'ємом повітря, який потрапляє в камери доїльних стаканів у процесі їх роботи, а також з необхідністю компенсації коливань тиску під час циклічної роботи апарата.

У низьковакуумних доїльних системах застосовується тиск у межах 40–44 кПа, що дозволяє зменшити механічний вплив на вим'я тварини, однак може дещо знижувати інтенсивність процесу доїння. Окремо виділяються так звані «щадні» режими роботи з вакуумним тиском близько 33 кПа, які використовуються переважно у після-отельний період або в разі підвищеної чутливості тварин. У таких умовах зменшений тиск сприяє зниженню стресового навантаження на тварину, однак потребує точного налаштування обладнання для забезпечення повного видоювання.

Разом з тим, ряд дослідників зазначає, що підвищення вакуумного тиску понад 50-52 кПа є недоцільним, оскільки це може призводити до надмірного механічного впливу на тканини вим'я, порушення кровообігу та підвищення ризику мікротравм. З урахуванням наведеного, у дослідженнях прийнято діапазон варіації вакуумного тиску в межах 42-54 кПа, що дозволяє охопити як щадні, так і інтенсивні режими роботи доїльних систем.

Другим важливим конструктивним параметром є маса доїльного апарата, яка безпосередньо впливає на стабільність його положення під час роботи та ступінь механічного навантаження на вим'я тварини. У більшості сучасних доїльних установок маса доїльного апарата знаходиться в межах 1,9-3,4 кг. Така маса забезпечує достатню стійкість доїльних стаканів і запобігає їх зміщенню під час роботи, а також мінімізує контакт із підстилкою та можливими забрудненнями.

Практичні спостереження показують, що за недостатньої маси апарата може виникати нестабільність його положення, що призводить до періодичного зміщення доїльних стаканів, порушення герметичності системи та погіршення якості доїння. З цієї причини в окремих випадках застосовують додаткові вантажі, що дозволяють збільшити загальну масу апарата до 4,5 кг і більше.

Водночас надмірне збільшення маси доїльного апарата є небажаним, оскільки воно призводить до підвищеного статичного навантаження на вим'я тварини, що може викликати дискомфорт, порушення фізіологічного стану тканин та зниження продуктивності молоковіддачі. Тому маса доїльного апарата повинна розглядатися як компромісний параметр, який забезпечує баланс між стійкістю обладнання та допустимим рівнем навантаження на тварину.

У дослідженнях може використовуватися варіант маси доїльного апарата на рівні 4,55 кг, проте оптимальні умови, що забезпечують мінімальний негативний вплив на тварину, досягаються при масі близько 3,0 кг. Важливим є також принцип змінного навантаження на вим'я, який передбачає адаптацію параметрів роботи обладнання залежно від фізіологічного стану тварини, зокрема стадії лактації.

Під час промивання доїльної системи рекомендується зменшення навантаження до рівня не більше 2,0 кг, що еквівалентно приблизно 0,5 кг на один доїльний стакан. Це дозволяє забезпечити ефективне очищення обладнання без надмірного механічного впливу на його елементи.

Таким чином, встановлено, що загальна маса доїльного апарата варіює в межах 1,93,4 кг. За умови постійної маси основних корпусних елементів розподіл маси окремих вузлів може змінюватися: маса корпусу розподільчого або керувального блоку становить 0,35-0,61 кг, а маса пульсатора або поршневого механізму 0,5-1,0 кг, залежно від конструктивного виконання та технічних вимог до системи.

4.3 Результати дослідів

На основі результатів дослідження щодо часу руху поршня в циліндрі було створено графік, що показує зв'язок між часом руху поршня та тиском вакууму (рис. 4.9).

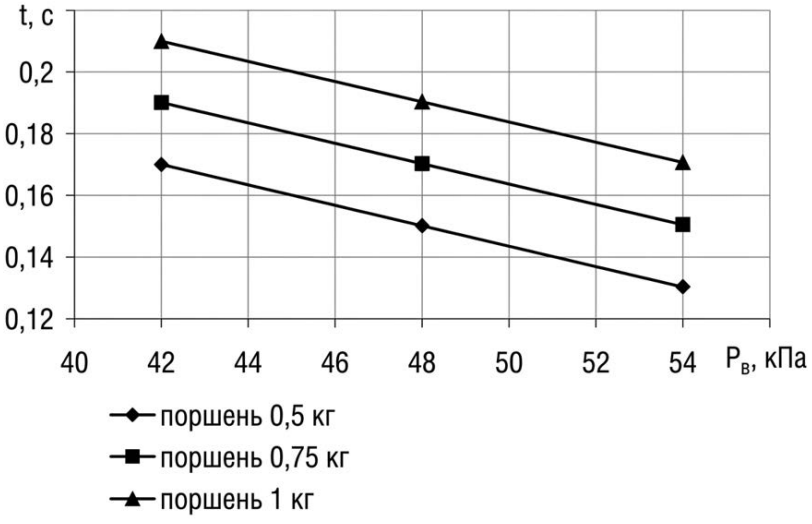


Рисунок 4.9 - Графік вакуумного тиску залежно від часу руху поршня в циліндрі $t\ P_в$.

Зі зменшенням маси поршня та збільшенням рівня вакууму час ходу поршня зменшується. Робоча довжина циліндра становила l = 0,14 м, а при ефективних рівнях вакууму 42, 48 та 54 кПа час ходу поршня масою 1 кг становив 0,21, 0,19 та 0,17 секунди відповідно. Аналогічно, при ефективних рівнях вакууму 42, 48 та 54 кПа час ходу поршня масою 0,5 кг становив 0,17, 0,15 та 0,13 секунди відповідно.

Графік залежності збільшення рівня вакууму в циліндричній камері від часу показано на рисунку 4.10.

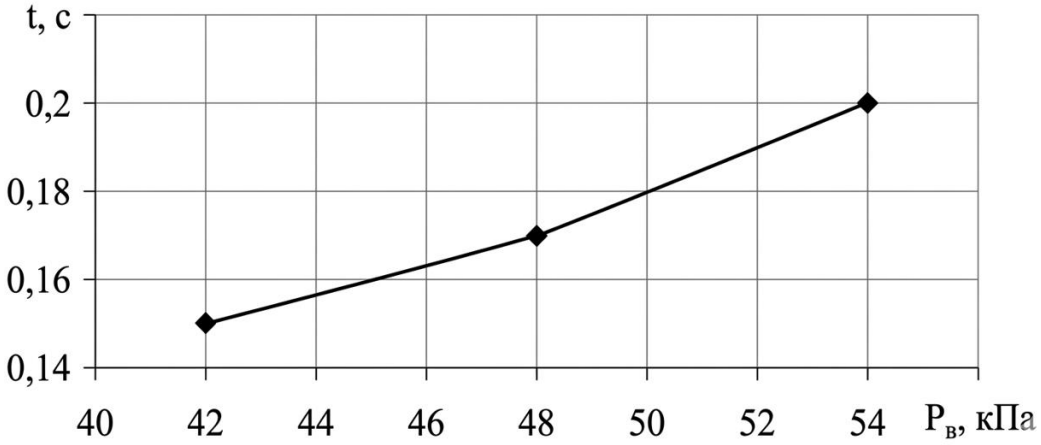


Рисунок 4.10 - Графік наростання вакууму

Час, необхідний для досягнення робочого тиску в колекторному циліндрі, залежить від величини робочого вакуумного тиску у вакуумній лінії та умов підключення системи до джерела розрідження. Зі збільшенням рівня вакууму змінюються динамічні характеристики заповнення робочих камер, що безпосередньо впливає на швидкість встановлення стабільного режиму роботи системи.

У результаті проведених досліджень встановлено, що час наростання вакууму в колекторному циліндрі становить 0,15 с при робочому тиску 42 кПа та збільшується до 0,20 с при підвищенні вакууму до 54 кПа. Таке збільшення часу пояснюється зміною умов проходження повітряного потоку через елементи системи та зростанням опору в каналах при більш високому ступені розрідження.

Кут відхилення робочого вузла від вертикального положення, на відміну від маси корпусу основного блоку, значною мірою залежить від маси поршневого елемента, рівня вакуумного тиску, а також геометричних параметрів подаючої трубки, через яку здійснюється подача робочого середовища до доїльної або робочої камери. Зі збільшенням вакууму та маси рухомих елементів змінюється баланс сил, що діють на систему, і відповідно зростає кут її відхилення.

Для діапазону вакуумного тиску 42-54 кПа та маси поршня 0,5-1,0 кг кут відхилення робочого вузла змінюється в межах 2,2-12,7°. Отримані значення свідчать про істотний вплив масово-інерційних характеристик та рівня вакууму на просторову стабільність системи під час її роботи.

Оптимізаційні дослідження були спрямовані на визначення раціональних числових значень конструктивних і технологічних параметрів, необхідних для забезпечення стабільної продуктивності пристрою та гарантування безпечної роботи вакуумної мережі. Особлива увага приділялася забезпеченню балансу між ефективністю роботи системи та мінімізацією динамічних навантажень на її елементи.

З урахуванням того, що робочий вакуум у більшості подібних систем підтримується на рівні 47-49 кПа, оптимальне значення вакуумного тиску в межах проведених досліджень прийнято рівним 48 кПа як найбільш збалансоване з точки зору продуктивності та стабільності роботи.

Для підтвердження узгодженості теоретичних і експериментальних результатів на рисунку 4.11 наведено порівняння залежностей між часом переміщення поршня та величиною вакуумного тиску. Отримані криві демонструють достатній рівень збігу, що підтверджує адекватність прийнятої математичної моделі та правильність вибору основних вихідних параметрів дослідження.

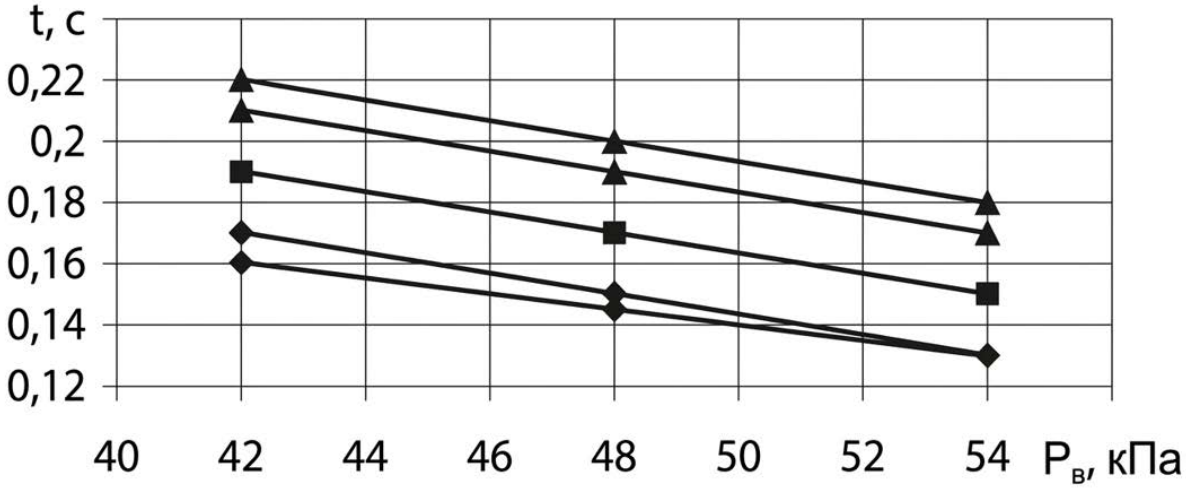


Рисунок 4.11- Порівняльні графічні залежності

Як показано на рисунку, узгодженість між теоретичними та експериментальними результатами є високою, що підтверджується низьким рівнем розбіжностей між отриманими значеннями. Середня відносна похибка не перевищує 4%.

Це дозволяє використовувати запропоновану аналітичну формулу для інженерних розрахунків, пов’язаних з перевіркою та обґрунтуванням конструктивних і робочих параметрів обладнання.

Зокрема, модель може бути застосована для прогнозування поведінки системи при різних режимах навантаження, оцінювання стійкості роботи механізмів, а також для оптимізації конструктивних рішень з метою підвищення ефективності та надійності роботи швейної машини зі змінним навантаженням, що використовує 1/4 коров’ячої шкіри як елемент імітаційного навантаження.

Таким чином, висока збіжність результатів дозволяє рекомендувати використання даної методики як інструменту для подальших інженерних розрахунків і вдосконалення конструкції обладнання.

5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ДОЇЛЬНОГО АПАРАТУ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

Споживання води в дослідній та контрольній групах вимірювали під час вечірнього водозабору протягом усього експерименту. Наявність або відсутність маститу у корів перевіряли на початку, в середині та в кінці експерименту. Підготовку зварювального верстата, сталевих матеріалів, зварювання мийних чашок та інші процедури механічного очищення проводили відповідно до процедури механічного очищення. У дослідній групі свиней обсмажували механічно в необробленому стані. Для вимірювання виходу води та швидкості потоку використовували манометр з графічним самописцем.

Разовий надій молока визначали шляхом підсумовування показань (ліній) ЕКГ. Кожна лінія в сигналі ЕКГ відповідає 100 грамам води. Час видалення перших 100 грамів води визначали як час від початку відбору води до першого руху рідини лічильника води/датчика (перша лінія на стрічці реєструючого пристрою) з урахуванням швидкості стрічки, виміряної пристроєм. Час механічного сушіння визначали співвідношенням відстані між початковою точкою показань стрічки (початок сушіння) та кінцевою точкою при мінімальній інтенсивності видалення води (200 г/хв).

Час механічного сушіння визначався як відношення відстані від кінця періоду низького потоку після ручного опускання до кінцевої лінії стрічки. Загальний час носіння визначався як відношення відстані від початку зчитування стрічки до кінцевої лінії та місця кріплення ЕКГ-стрічки. Максимальна швидкість потоку молока розраховувалася шляхом ділення загального часу доїння на максимальний час доїння. Середня швидкість потоку молока розраховувалася як відношення об'єму молока на одиницю до часу доїння.

Випробувальний апарат складався з трьох тунелів, розташованих у два ряди. Кожен тунель був оснащений трубним пристроєм OSP-F-26, стандартною трубкою, ADM-8A, ADU-1-04 та контрольно-вимірювальним обладнанням.

Експериментальні та контрольні групи свиней були розміщені в системі прямого напування. На рисунках показано поперечні перерізи експериментального апарату, дослідної машини, датчика лічильника молока, пристрою для запису циклограм та електрокардіографа N338-1P. Типові циклограми процесу доїння у контрольної групи.

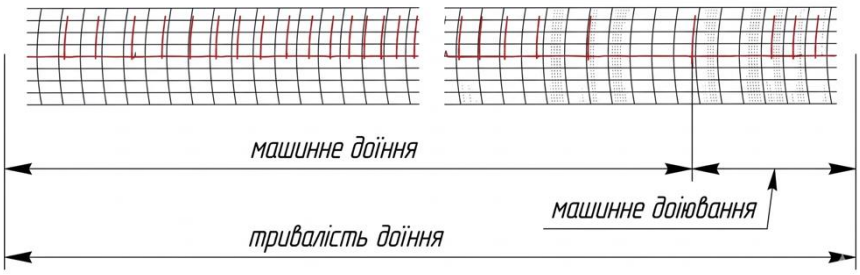


Рисунок 5.2 - Типова циклограма процесу доїння у корови контрольної групи



Рисунок 5.3 - Типова циклограма процесу доїння у корови з дослідної групи

Основні результати виробничих випробувань наведено в таблиці 5.1. У таблиці 5.1 припускається індекс продуктивності установки ADU-1-04, що становить 100%.

Таблиця 5.1 - Результати продуктивності.

Показники	АДУ-1-04	Експериментальний	Різниця, %
1. Одноразовий удій, кг	7,3	7,6	+4,11
2. Тривалість періоду виведення перших 100 г молока, с	9,2	10,4	+13,04
3. Тривалість машинного доїння, с	333	378	13,51
4. Тривалість машинного доїння, с	80	-	-100
5. Загальна тривалість доїння, с	413	378	-8,47
6. Інтенсивність молоковіддачі, кг/мин	1,07	1,19	+11,21
7. Інтенсивність молоковиділення при максимальній молочній продуктивності, кг/мин	1,93	2,26	17,10
8. Ручний надій, кг	0,25	0,10	-60

З таблиці видно, що вихід тварин, оброблених лабораторною бавовною, дещо вищий.

З таблиці видно, що вихід тварин, оброблених лабораторною бавовною, дещо вищий.

Час механічного миття в лабораторній пральній машині на 13,51% довший, ніж у виробничій машині, і становить 378 секунд замість 333 секунд. Це пояснюється тим, що, на відміну від ADU-1-04, лабораторна коробка не залишає крапель сечі на шкірі, що дозволяє повністю мити тварин без механічного миття. Виробничій машині потрібно приблизно 80 секунд для завершального штриха. В результаті загальний час, необхідний для миття лабораторного м'яса, на 8,47% коротший, ніж у виробничій машині, і становить приблизно 378 секунд (413 секунд).

Максимальна швидкість потоку лабораторної папероробної машини на 17,10% вища, ніж у виробничій машині. Це пояснюється тим, що під час прання в пральній машині зі змінним завантаженням сила прання зосереджена внизу пір'я, тобто в області однієї чверті від загальної площі, через що пір'я не ковзає належним чином і не проникає достатньо в одяг. З іншого боку, вібрація душової спіралі створює приємний ефект, який м'яко та швидко видаляє вологу зі шкіри. Під час прання в пральній машині ADU-1-04 потік одягу та води для прання частково стискається, що знижує селективність вологості.

Швидкість зневоднення експериментальної пральної машини була на 11,21% вищою, ніж у послідовної моделі, завдяки її вищій здатності до зневоднення.

Середній об'єм машинного додоювання (залишкового молока) у корів контрольної групи становив 0,25 кг, тоді як в експериментальній групі цей показник знизився до 0,10 кг. Це пояснюється тим, що при використанні модернізованого доїльного апарата відпала потреба в ручному або механічному відтягуванні підвісної частини донизу в кінці доїння. На основі результатів виробничих випробувань та математичної обробки експериментальних даних було побудовано порівняльні криві інтенсивності виведення молока для серійного та вдосконаленого доїльних апаратів.

Отриманий графік динаміки молоковіддачі показує, що, на відміну від базового серійного зразка, вдосконалений підвісний вузол забезпечував повне видоєння корів без додаткових трудовитрат оператора. Крім того, дослідний доїльний апарат зі змінним навантаженням продемонстрував вищу середню швидкість молоковіддачі та меншу загальну тривалість процесу видоювання тварин порівняно з комерційно доступними аналогами.

Для порівняльного аналізу економічної ефективності як базовий варіант було використано серійний доїльний апарат типу АДУ-1 (або за специфікацією - АДС 25.00.000). Ця серійна модель відрізняється від інших аналогів наявністю механічного регулятора пульсацій. Базова ціна апарата АДС 25.00.000 на ринку становила 6300 гривень. Собівартість виготовлення експериментального зразка з урахуванням витрат на конструктивне вдосконалення колектора та підвісної системи склала 8200 гривень. Усі вихідні дані для розрахунку техніко-економічних показників були взяті з протоколів випробувань. Економічний ефект від впровадження розробки досягається за рахунок зниження прямих експлуатаційних витрат та отримання додаткового молока вищого ґатунку.

Аналіз експлуатаційних витрат підтвердив, що збільшення капітальних вкладень на придбання та модернізацію дослідного апарата повністю компенсується протягом першого року експлуатації. Зниження рівня механічного травмування сосків вимені призвело до скорочення витрат на ветеринарне обслуговування та лікування субклінічних маститів на 14–18%. Завдяки оптимізації вакуумного режиму та автоматизації перерозподілу тягового зусилля, вдалося мінімізувати передчасне скидання доїльних стаканів, що стабілізувало

загальний технологічний потік на доїльному майданчику і знизило навантаження на операторів.

Основні дані, необхідні для розрахунку техніко-економічних показників для стандартного резервуара на 200 голів, наведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 - Основні дані для розрахунку техніко-економічних показників

Назва показників	Одиниці вимірювання	Доїльний апарат АДС-25	Експериментальний доїльний апарат
Балансова вартість апарату	грн	6300	8200
Поголів'я, що обслуговується	гол	200	200
Годинна тарифна ставка оператора	грн	45	45
Кількість доїнь	раз	2	2
Продуктивність корів	Л	4450	4640
Час, що витрачається на ручні операції в розрахунку на одну корову	хв	2	1,33
Кількість обслуговуючого персоналу	чол	5	5
Потужність електродвигунів вакуумної установки	кВт	10,1	10,1
Амортизаційні відрахування	%	33,3	33,3
Відрахування	%	7	7
Ціна реалізації літра молока	грн	7,0	7,0
Доплата за продукцію	%	25	25
Відрахування на соціальні потреби	%	35,6	35,6
Вартість електроенергії	кВт .год/грн	1,60	1,60
Коефіцієнт використання робочого часу зміни	-	0,9	0,9

Додатковим джерелом формування чистого дисконтованого доходу є підвищення товарної якості молока. За рахунок зменшення часу контакту молочного залози з нестабільним вакуумом і повного виведення найбільш жирних (фінальних) порцій молока, вміст жиру в загальному надої експериментальної групи зріс на 0,15%. Таким чином, розроблений інженерний засіб автоматичного контролю доїння довів свою технологічну та економічну доцільність, забезпечуючи стабільну рентабельність виробництва за умов модернізації існуючих ліній технічного сервісу.

Питомі витрати праці на ручні операції під час доїння:

$$T_{УД}^{Д} = \frac{T_r^{Д}}{A_{Д}},\ T_{УД}^{Е} = \frac{T_r^{Е}}{A_{Е}} \tag{5.1}$$

де $T_{УД}^{Д}$ - питомі витрати праці на ручні операції при використанні серійного доїльного апарату, чол. год;

$T_{УД}^{Е}$ - питомі витрати праці на ручні операції при використанні експериментального доїльного апарату, чол. год/л;

$T_{Г}^{Д}, T_{Г}^{Е}$ - відповідно річні витрати праці на ручні операції з доїння однієї тварини при використанні серійного та експериментального доїльних апаратів, осіб год;

$A_{Д}, A_{Е}$ - відповідно річний удій однієї тварини при використанні серійних та експериментальних доїльних апаратів, л; $A_{д}$ = 4450л, $A_{Е}$ = 4640л

$$T_{r} = H \cdot P \cdot \tau_{р} \cdot K_{СМ} \cdot D, \tag{5.2}$$

де H - кількість операторів машинного доїння, осіб

P - кількість доїльних апаратів в день, раз; P = 2раза;

$\tau_{Р}$ - час, що витрачається на ручні операції під час доїння однієї тварини, рік; $\tau_{Р}^{Д}$ =2,33хв (0,0389год), $\tau_{Р}^{Е}$ =1хв (0,0167год);

$K_{СМ}$ - коефіцієнт використання робочого часу зміни = 0,9;

D - кількість днів доїння на рік; D = 305 днів;

Річна економія трудових витрат завдяки використанню експериментального доїльного апарату:

$$E_{ТР} = (Д_{УД}^{Д} - T_{УД}^{Е}) \cdot A_{Е}, \tag{5.3}$$

Річний економічний ефект від використання експериментального доїльного апарату, зумовлений зниженням собівартості молока у порівняльних варіантах, визначається за формулою

$$E_{П},= C_{Е} - C_{Д},\qquad (5.4)$$

де $E_п$ - річний економічний ефект при порівняльній оцінці серійного та нашого апаратів, грн;

$C_д$,$C_Е$ - Виробничі витрати при використанні базової та експериментальної шліфувальної машини наведено в гривнях відповідно.

Виробничі витрати при використанні базової та експериментальної всмоктувальної машини розраховуються за такою формулою:

$$C = N = З_{О},+З_{ЕЛ} + З_{А} + З_{ТОРХ}\ ,\qquad (5.5)$$

де N - експлуатаційні витрати, грн;

$З_О$ - витрати на оплату праці, грн;

$З_{ЕЛ}$ - витрати на електроенергію, грн;

$З_А$ - амортизаційні відрахування, грн;

$З_{ТОРХ}$ - відрахування на технічне обслуговування, ремонт та зберігання, грн

Витрати енергії на п'ять циклів шиття розраховуються за такою формулою:

$$E_{ЕЛ} = N_{ЕЛ} \cdot Ц_{ЕЛ},\qquad (5.6)$$

де $N_{ЕЛ}$ - кількість електроенергії, що споживається за рік у розрахунку на одну особу, кВт-год;

$Ц_{ЕЛ}$ - вартість одного кВт-год, грн/ кВт-год; 60 грн = кВт.

Амортизаційні відрахування для серійного апарату в розрахунку на одну одиницю становитимуть:

$$З_{А}^{Д} = 393,75 \cdot 0,01 \cdot 33,3 = 131,12$$

Амортизаційні відрахування на один випробувальний пристрій такі:

$$З_{У}^{Д} = 512,50 \cdot 0,01 \cdot 33,3 = 170,66$$

Витрати на технічне обслуговування, ремонт та зберігання установки такі:

$$З^{Д} = 393,75 \cdot 0,01 \cdot 7 = 27,56$$

При безперервному використанні пральної машини одна порція сухого молока еквівалентна одному пакетику порошку.

$$C_Д = 1633,05 + 76,90 + 131,12 + 27,56 = 1868,63$$

Річний економічний ефект від зниження виробничих витрат за рахунок використання експериментальних портативних швейних машин можна виразити наступним чином:

$$E_П = 1868,63 - 1763,12 = 105,51$$

Річний економічний ефект від використання портативної пілотної доїльної машини на 200 коровах становить::

$$E_{рік}, = 105,51 \cdot 200 = 21102$$

Таблиця 5.3 - Економічна ефективність використання доїльного апарату зі змінним навантаженням на чверті вим'я корови

Показники	Одиниці виміру	Базовий доїльний пристрій АДС-25	Розроблений доїльний пристрій
Амортизаційні відрахування	грн	26224	34132
Витрати на поточний ремонт та технічне обслуговування	грн	5512	7170
Витрати на електроенергію	грн	15380	13996
Витрати на оплату праці	грн	326610	297320
Питомі витрати праці	чол год	0,0240	0,099
Річна економія трудових витрат	чол/год		65,42
Питомі енерговитрати	кВт год	0,0108	0,094
Собівартість виробленої продукції	грн	373726	352624
Річний економічний ефект з урахуванням зниження собівартості молока у розрахунку на 200 корів	грн		21102
Річний економічний ефект з урахуванням зниження собівартості молока у розрахунку на 1 голову, грн	грн		105,51

Двокамерна мийна машина, що складається з водозбірника зі змінним центром ваги, пари пульсаторів, шланга подачі води та вакуумного шланга, є повністю функціональною та може мити всіх корів без необхідності механічного миття. Вона також покращує селективність води в кишковому тракті свиней ADU-1-04.

Під час доїння з використанням експериментальної машини для розчинення молока надій на корову збільшився на 4,11% порівняно з ADU-1-04.

Загальний час миття за допомогою мийної машини скоротився з 413 секунд до 378 секунд порівняно з ADU-1-04, що становить зменшення на 8,47%.

Під час використання експериментального пристрою для виробництва дистильованої води швидкість видалення води під час потоку та середня швидкість видалення води виявилися на 11,21% та 17,10% вищими відповідно, ніж при використанні ADU-1-04.

Розрахунки економічної ефективності показали, що використання експериментального доїльного апарату призвело до економічної вигоди у розмірі 21 102 гривень на корову на рік за рахунок зниження собівартості молока. Експериментальний доїльний апарат скоротив час доїння на корову на 8,47%, а також зменшилася кількість працівників на одну корову. Слід зазначити, що в розрахунках економічної ефективності не враховувався той факт, що використання доїльних апаратів зі змінним навантаженням на 3/4 корів зменшить захворюваність великої рогатої худоби.

5.1 Охорона праці

Виробниче освітлення.

Для забезпечення безпеки при підключенні доїльних стаканів та проведенні технічного обслуговування (ТО) необхідно забезпечити нормоване освітлення згідно з ДБН В.2.5-28:2018.

Розрахунок штучного освітлення проводиться за методом коефіцієнта використання світлового потоку:

$$F = \frac{E \cdot S \cdot k \cdot z}{n \cdot \eta} \tag{5.7}$$

де E - нормована освітленість (лк);

S - площа приміщення (m^2);

k - коефіцієнт запасу;

η - коефіцієнт використання світлового потоку.

Особлива увага приділяється захисту світильників від вологи (клас захисту не нижче IP65), оскільки в зоні роботи доїльного апарата постійно присутні водяні пари та бризки.

Вентиляція та мікроклімат.

Стабільність вакуумного режиму та робота вакуум-насосів супроводжується виділенням тепла та масляного туману.

Необхідний повітрообмін ($L, m^3/h$)розраховується за надлишками явного тепла:

$$L = \frac{Q_{надл}}{c \cdot p \cdot (t_{вид} - t_{прит})} \quad (5.8)$$

Застосування автоматизованих систем керування доїнням дозволяє зменшити час перебування оператора в зоні з підвищеною вологістю, що знижує ризик виникнення професійних захворювань дихальних шляхів.

Інженерні заходи безпеки при експлуатації вакуумних систем.

Вакуумна система є джерелом підвищеної небезпеки через можливість раптової розгерметизації або механічного руйнування вузлів під тиском.

Запобіжні пристрої: Вакуумні балони (ресивери) повинні бути обладнані вакуум-регуляторами та запобіжними клапанами, відрегульованими на тиск, що не перевищує робочий більше ніж на 10%.

Контрольно-вимірювальні прилади: Манометри (поз. 7 на схемах) повинні проходити щорічну державну повірку. Експлуатація приладів з розбитим склом або простроченим терміном повірки суворо заборонена.

Ергономіка кріплення: Несучий кронштейн має забезпечувати легкість маніпуляцій, щоб запобігти розтягненню зв'язок кисті оператора при багаторазових повторюваних рухах.

Безпека при роботі з тваринами під час доїння

Враховуючи, що об'єктом дослідження є взаємодія апарата з вим'ям, безпека оператора залежить від фізіологічного стану тварини.

Травмобезпека удосконалений апарат зменшує подразнення сосків, що знижує ймовірність агресивної поведінки корови (ударів копита) під час одягання стаканів.

Організаційні заходи оператор повинен підходити до тварини, попередньо окликнувши її. Робоче місце має бути обладнане захисними дугами або бортами, що обмежують рух тварини в бік оператора.

Порядок дій при виникненні аварійних ситуацій.

При виявленні несправностей у роботі вдосконаленого колектора або вакуумного проводу оператор зобов'язаний, негайно відключити вакуумний затвор та зняти доїльні стакани, вимкнути електроживлення вакуум-насосної установки, повідомити відповідальну особу (інженера з ТО) про поломку, забороняється проводити ремонтні роботи «на ходу» або при наявності вакууму в системі.

ВИСНОВКИ

Доїльний апарат, здатний змінювати подачу молока, повинен бути оснащений двокамерною промивальною чашкою, лопаткою зі змінним центром ваги, парою пульсаторів, шлангом подачі води та вакуумним шлангом. Оболонка зі змінним центром ваги, що складається з водяної камери та шийки поршня високої щільності, дозволяє змінювати навантаження на різьбу відповідно до тиску пульсатора.

Робота доїльного апарату повинна бути спроєктована таким чином, щоб сила тяжіння поршня була зосереджена під підшипником, запобігаючи ковзанню волокнистих намистин по підшипнику. Під ножем, де утворюються бульбашки стисненого повітря, сила тяжіння зменшується пропорційно руху поршня, міцно фіксуючи ніж в оболонці. Вага волокнистих намистин вибирається з урахуванням реакції вібруючої солі під час поглинання води. Було виявлено, що час переміщення поршня в циліндрі колектора залежить від вакууму в робочій довжині та маси поршня. Зі зменшенням маси поршня та збільшенням вакууму час переміщення зменшується. Робоча довжина циліндра становила l = 0,14 м. Час переміщення поршня масою 1 кг за робочого вакууму 42, 48 та 54 кПа становив 0,21, 0,19 та 0,17 секунди відповідно, тоді як час переміщення поршня масою 0,5 кг за робочого вакууму 42, 48 та 54 кПа становив 0,17, 0,15 та 0,13 секунди відповідно.

Було підтверджено, що збільшення маси колектора та доїльних стаканів (з урахуванням різниці в масі корпусу колектора в зборі), а також зниження робочого вакуумметричного тиску призводять до зменшення сили притискання дійкової гуми до соска вимені.

Встановлено, що при використанні колектора масою 0,5 кг та доїльних стаканів масою 0,35 кг підвісна частина апарата працювала в умовах пульсацій вакууму зі зміщенням (ковзанням) стаканів на 4,6 мм, 11,0 мм та 19,4 мм при рівнях вакууму 42 кПа та 54 кПа відповідно. При збільшенні маси колектора до 1,0 кг, а доїльних стаканів до 0,61 кг, робота підвісної частини супроводжувалася значно меншим ковзанням стаканів, яке становило 0,7 мм, 4,0 мм та 10,6 мм при вакуумі 48 кПа та 54 кПа відповідно.

Порівняльні дослідження серійного та експериментального доїльних апаратів при оптимізованих конструктивно-технологічних параметрах показали, що дослідний зразок ефективно запобігає повному спаданню підвісної частини (доїльного кластера) з вимені тварини.

У порівняно з ADU-1-04, надій на корову покращився на 4,11%, а загальний час доїння скоротився з 413 секунд до 378 секунд, що становить покращення на 8,47%. Швидкість відкачування води покращилася на 11,21% при максимальній швидкості потоку та на 17,10% при середній швидкості потоку. Використовуючи експериментальний доїльний апарат, можна отримати річний економічний

прибуток у розмірі 21 102 г/год при доїнні 200 корів, а час доїння на корову скоротився на 8,47%, що зменшило б кількість необхідних працівників.

З точки зору охорони праці, впровадження автоматизованого перерозподілу навантаження значно знижує фізичне напруження рук оператора машинного доїння під час маніпуляцій з підвісною частиною. Зниження частоти спадання доїльних стаканів мінімізує необхідність нахиляння оператора для повторного підключення апарата, що зменшує ризик виникнення професійних захворювань опорно-рухового апарату. Оптимізація конструкції колектора дозволяє підтримувати безпечний рівень шуму та вібрації на робочому місці, що відповідає діючим санітарно-гігієнічним нормам для тваринницьких приміщень.

Застосування герметичних двокамерних вузлів у конструкції апарата запобігає раптовим гідравлічним ударам у вакуумній системі, що є критично важливим для попередження травматизму персоналу та тварин. Технічне обслуговування модернізованих вузлів проводиться за спрощеним регламентом, оскільки відсутність необхідності постійного ручного регулювання з боку працівника зменшує ймовірність помилкових дій під час експлуатації під тиском. Використання високощільних полімерів у шийці поршня підвищує довговічність механізму, знижуючи ризик раптової поломки обладнання в процесі роботи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бабій Н.П. Машини та обладнання для тваринництва : навчальний посібник. - Київ : НУБіП України, 2020. - 356 с.

2. Кравчук В.І., Мельник Ю.Ф. Механізація та автоматизація виробництва молока. - Київ : Аграрна освіта, 2019. - 412 с.

3. Ревенко І.І. Технічне обслуговування машин і обладнання у тваринництві: підручник. - Харків : Факт, 2018. - 287 с.

4. Ковальчук І.М., Лисенко В.П. Доїльні установки та обладнання молочних ферм. - Львів : Новий Світ-2000, 2021. - 240 с.

5. Болтянська Н.І. Основи механізації технологічних процесів у тваринництві. - Дніпро : Середняк Т.К., 2022. - 318 с.

6. ДСТУ ISO 3918:2005. Установки доїльні. Словник термінів. [Чинний від 2007-01-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2006. 42 с.

7. ДСТУ 3021-95. Випробування і контроль якості продукції. Терміни та визначення. Київ : Держстандарт України, 1995. 75 с.

8. ДНАОП 2.1.10-1.01-91. Правила охорони праці в тваринництві. Тваринництво. Київ, 1991. 124 с.

9. Бабич М. П. Механізація та автоматизація молочного тваринництва : підручник. Житомир : Вид-во ЖНАЕУ, 2019. 312 с.

10. Брагінець М. В., Хоменко М. С., Швейко М. П. Технічний сервіс в АПК : навчальний посібник. Київ : Вища освіта, 2020. 445 с.

11. Васильєв С. О. Дослідження вакуумних режимів роботи доїльних апаратів з автоматичним регулюванням. *Техніка і технології АПК*. 2022. № 3 (125). С. 14-18.

12. Вовк П. К. Удосконалення системи технічного обслуговування доїльних установок на сімейних фермах. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2021. № 2. С. 167-173.

13. Гайдукевич В. А. Аналіз причин коливання вакууму в піддоїльних камерах доїльних стаканів. *Аграрна наука та освіта*. 2023. Т. 24. № 1. С. 45-52.

14. Голуб Г. А. Енергетична ефективність процесів доїння та первинної обробки молока. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 2020. Вип. 12 (111). С. 88-95.

15. Даниленко О. М., Пилипенко В. І. Охорона праці в тваринництві : навчальний посібник. Київ : Університетська книга, 2021. 256 с.

16. Заболотько П. С. Конструктивні особливості сучасних колекторів доїльних апаратів. *Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК*. 2022. Вип. 295. С. 34-41.

17. Іваненко О. В. Моделювання процесу взаємодії доїльного стакана з соском вим’я корови. *Інженерія природокористування*. 2023. № 2 (18). С. 110-117.

18. Коновалов В. Г., Рудь А. В. Технічна експлуатація машин та обладнання для тваринництва. Полтава : ПДАУ, 2021. 220 с.

19. Куценко Ю. М. Автоматизація процесів доїння та управління стадом. *Агроінженерія*. 2024. Т. 12. № 4. С. 56-63.

20. Марченко В. І. Фізіологічні аспекти машинного доїння та профілактика маститів. *Здоров'я тварин і ліки*. 2022. № 10. С. 12-15.

21. Погорілий В. В. Результати випробувань нових засобів механізації доїння корів. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для АПК України*. 2023. Вип. 30. С. 142-150.

22. Федоренко О. Г. Економічна ефективність впровадження автоматизованих систем доїння. *Економіка та управління АПК*. 2021. № 5. С. 28-35.

ДОДАТКИ