

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

УДК 631.363

Кваліфікаційна робота на правах
рукопису

ДМИТРУК Богдан Михайлович

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**УДОСКОНАЛЕННЯ ДОЇЛЬНОГО АПАРАТА ДЛЯ МАШИННОГО
ДОЇННЯ КОРІВ**

208 «Агроінженерія»

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на
відповідне джерело

(підпис)

(ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи
к.т.н., доцент О. В. Медведський

Житомир – 2025

АНОТАЦІЯ

Дмитрук Б. М. **Удосконалення доїльного апарата для машинного доїння корів.** – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота подається на здобуття першого освітнього ступеня бакалавр зі спеціальності 208 – агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2025 р.

У кваліфікаційній роботі розглянуті конструкції доїльних апаратів для машинного доїння корів, виокремлено їх переваги та недоліки, встановлено важливість колектора доїльного апарата у реалізації процесу видоювання.

Удосконалено колектор доїльного апарата за рахунок покращення системи вертикального транспортування, встановлено основні геометричні та конструкційні параметри удосконаленого пристрою, визначено характеристики виконавчого механізму.

Встановлено основні експлуатаційні показники роботи доїльного апарата із удосконаленим колектором, встановлено переваги порівняно із прототипом, подані рекомендації для застосування розробки.

Ключові слова: камера молокозбірна, повзун, калібрований отвір

ANNOTATION

Dmytruk B. M. **Improvement of milking machine for machine milking of cows.** – Qualification work in the form of a manuscript.

The qualification work is submitted for the first degree of bachelor in specialty 208 – agricultural engineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2025.

The qualification work considers the designs of milking machines for machine milking of cows, identifies advantages and disadvantages, establishes the importance of the milking machine collector in the implementation of the milking process.

The milking machine collector is improved by improving the vertical transportation system, establishes the main geometric and structural parameters of the improved device, determines the characteristics of the actuator.

The main operational indicators of the milking machine with an improved collector are established, establishes advantages compared to the prototype, and provides recommendations for the application of the development.

Keywords: milk collection chamber, slider, calibrated hole

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ОЦІНКА БУДОВИ ДОЇЛЬНОГО АПАРАТА МАШИННОГО ДОЇННЯ КОРІВ	7
1.1. Встановлення значення складових доїльного апарата в реалізації технологічного процесу	7
1.2. Оцінка впливу конструкційного виконання колектора на технологічний процес	9
Висновки до розділу 1	15
РОЗДІЛ 2. УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ДОЇЛЬНОГО АПАРАТА	16
2.1. Обґрунтування схеми конструкції колектора доїльного апарата	16
2.2. Встановлення конструкційних та технологічних параметрів удосконаленого доїльного апарата	20
2.3. Конструювання елементів кріплення деталей конструкції	25
Висновки до розділу 2	27
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЛУАТАЦІЯ ДОЇЛЬНОГО АПАРАТА З РОЗРОБЛЕНИМ КОЛЕКТОРОМ	28
3.1. Встановлення економічної переваги удосконаленого доїльного апарата	28
Висновки до розділу 3	30
ВИСНОВКИ	31
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	32
ДОДАТКИ	34

ВСТУП

Актуальність теми. Машинне доїння корів вважається складним з точки зору технічної реалізації технологічним процесом. Складність в першу чергу обумовлена необхідністю врахування усіх можливих впливів технічної системи на біологічний організм. Робота із тваринами взагалі вимагає специфічних вимог до технічних засобів. Проте, машинне доїння корів вимагає безпосереднього контакту обладнання із організмом тварини. Окрім адаптації елементів доїльного апарата до конституції вимені корів, необхідно враховувати і фізіологію виведення молока із вимені. В першу чергу це стосується таких важливих характеристик доїльного апарата як частота пульсації за відповідного рівня вакуумметричного тиску та пропускна спроможність молокопровідної системи.

На вирішення питання стабільної частоти пульсації та співвідношення тактів приділялось досить багато уваги. Результатом є розроблені системи з використанням електромагнітних пульсаторів із електронним керування режимів роботи доїльного апарата. Проте удосконаленню підвісної складової доїльного апарата приділялось недостатньо уваги. Це стосується доїльних стаканів та безпосередньо колектора доїльного апарата. За результатами досліджень вчених [1, 2] недостатня ефективність колектора доїльного апарата призводить до зниження ефективності машинного доїння корови в цілому.

Незадовільне функціонування колектора доїльного апарата проявляється у появі процесів сповільненого транспортування потоку молока що може бути викликане деякими недоліками конструкції. Окрім цього можуть бути відхилення у рівні вакуумметричного тиску який є безпечним для здоров'я корови [2, 3, 4]. Для усунення недоліків колектора доїльного апарата вченими пропонуються конструкційні та технологічні рішення які недостатньо повно можуть задовольнити встановлені вимоги до машинного доїння корів.

Робота яка спрямована на покращення доїльного апарата для машинного доїння корів є важливою для забезпечення безпечних умов як для тварин так і операторів машинного доїння. Таким чином, пошук технічно здійснених

конструкційних рішень колектора доїльного апарата дозволить максимально наблизити процес машинного доїння корів до встановлених вітчизняними та міжнародними стандартами вимог.

Мета і завдання дослідження.

Мета кваліфікаційної роботи – підвищенні ефективності доїльного апарата шляхом покращення конструкції вивідної системи колектора.

Для досягнення вказаної мети необхідно вирішити наступні завдання:

- визначення особливостей конструкції складових доїльного апарата для машинного доїння корів;
- оцінка конструкційних параметрів колекторів доїльного апарата, встановлення позитивних ознак, визначення шляхів покращення конструкції;
- розробка функціональної схеми удосконаленого колектора із верхньою системою вилучення молока;
- встановлення конструкційних розмірів основних складових розробленого колектора;
- встановлення показників ефективності використання удосконаленого доїльного апарата з розробленим колектором

Об’єкт досліджень – підвісна частина доїльного апарата з удосконаленою системою вилучення молока.

Предмет досліджень – конструкційно-технологічні параметри верхньої системи виведення молока колекторів доїльних апаратів.

Методи досліджень.

У кваліфікаційній роботі для вирішення вказаних завдань на проєктування дули використанні базові теорії та положення руху газових та рідинних середовищ, основи теорії вакуумної техніки, основні позиції гідро-газодинаміки та термічної термодинаміки, використовувались відомі методики викладені у літературних джерелах з деталей машин, механіки матеріалів та конструкцій, складні обчислення виконувались із використанням прикладних програм котрі входять до оболонки Microsoft.

Апробація результатів роботи.

Результати, які отримані під час виконання кваліфікаційної роботи доповідались на науково-практичних конференціях та надруковані у наступних працях:

1. Дмитрук Б. М. Оцінка конструкційних рішень колекторів доїльного апарата. *Студентські читання–2024* : матеріали науково-практичної конференції. 31 жовтня 2024 р. Житомир: Поліський національний університет, 2024. Ч. 2. С. 12–14.

2. Дмитрук Б. М. Обґрунтування конструкції колектора доїльного апарата. *Наукові читання – 2025* : збірник тез доповідей науково-практичної конференції за підсумками І-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей. 23 квітня 2025 р. Житомир: Поліський національний університет, 2025. С. 9–10.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота у своєму складі має вступ, три розділи основної частини, висновки загальні, список використаних літературних джерел та додатки. Загальний обсяг основної частини написано державною мовою викладено на 33 сторінках друкованого тексту, який включає 9 рисунків та 2 таблиці.

РОЗДІЛ 1

ОЦІНКА БУДОВИ ДОЇЛЬНОГО АПАРАТА МАШИННОГО ДОЇННЯ КОРІВ

1.1. Встановлення значення складових доїльного апарата в реалізації технологічного процесу

До складу будь-якого доїльного апарата входить декілька складових які призначені для забору молока від дійок вимені корови, його збирання і транспортування до молочного збірника та створення заданого режиму роботи під час машинного доїння корів [5]. Загальна будова доїльного апарата подана на рис. 1.1.

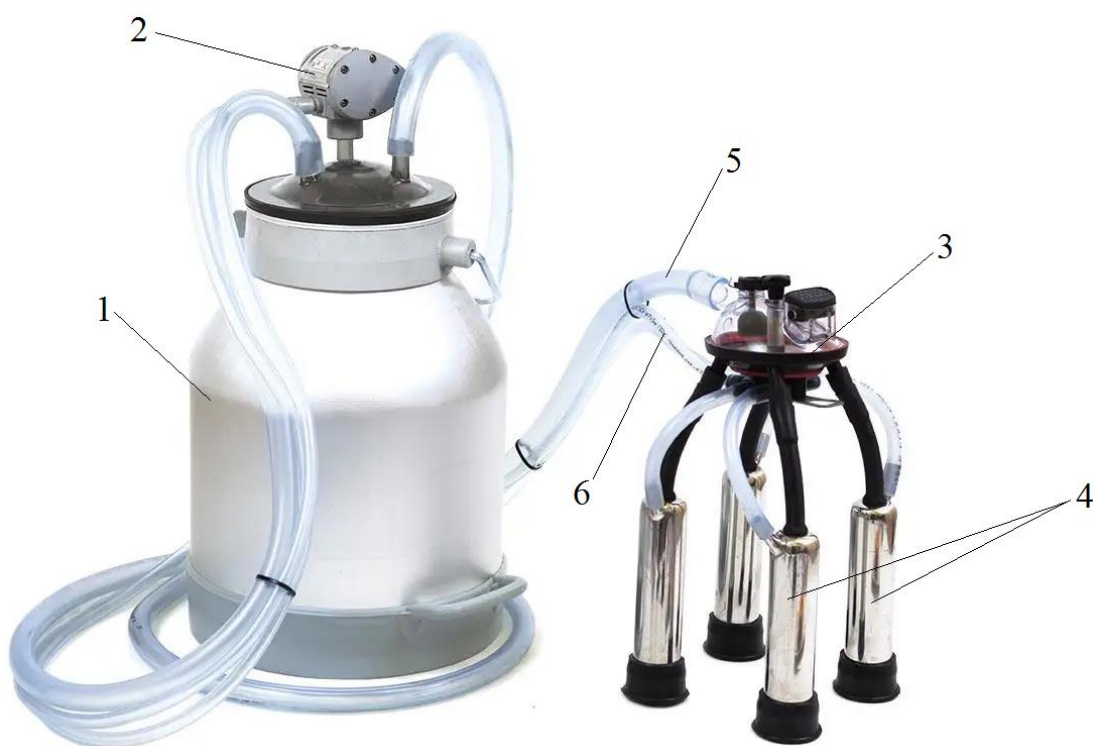


Рис. 1.1. Доїльний апарат: 1 – місткість для молока; 2 – генератор попарних пульсів; 3 – колектор; 4 – стакани для доїння; 5 – шланг для молока; 6 – повітряні шланги [6]

Кожен із складових доїльного апарата виконує свою задану функцію під час машинного доїння корів. Так, генератор пульсів забезпечує задану частоту пульсації при зміні тактів під час машинного доїння. Даний пристрій може бути різного виконання в залежності від енергії приводу. На сьогодні найбільш популярними є пневматичні пульсатори, які поступово витісняються більш технологічними електромагнітними. Окрім цього пульсатор може реалізувати або одночасний такт у всіх доїльних стаканах або попарний режим. Здійснюється це за рахунок почергового зміни тиску вакуумметричного на атмосферний у міжстінному об'ємі доїльного стакана. У об'ємі під дією тиск поширюється через молочну камеру колектора. Колектор також відповідає за ефективне спорожнення молокозбірної камери від молока. На ринку обладнання на рис. 1.1 буде коштувати 8100 грн [7].

Різноманітні конструкційні виконання колектора [8, 9] у доїльних апаратів може забезпечити різні режими роботи доїльного апарата в цілому (рис. 1.2).

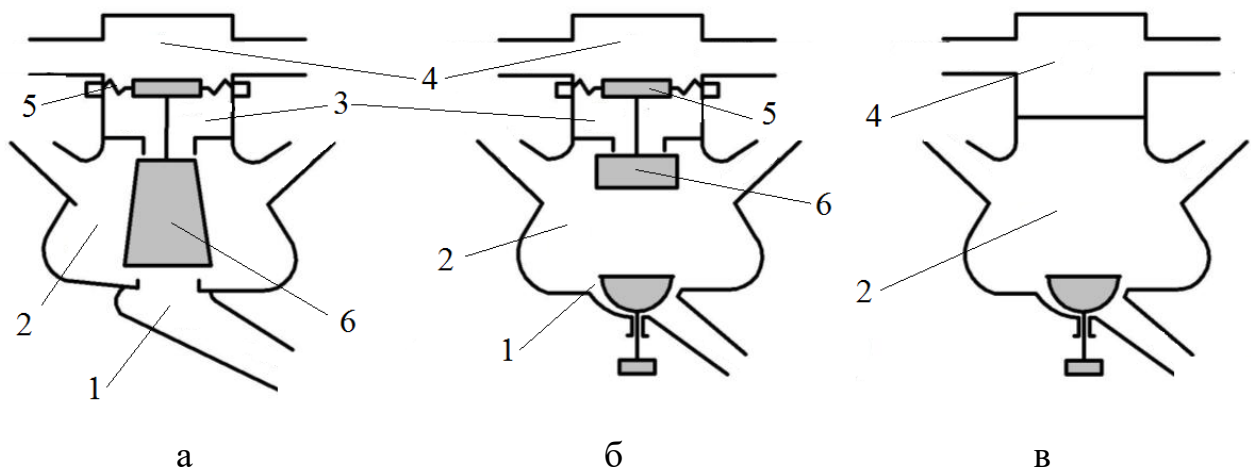


Рис. 1.2. Варіанти виконання колекторів доїльних апаратів: а – колектор для тритактного апарата; б – колектор для двотактного апарата з низьким вакуумом; в – колектор для двотактного одночасного чи попарного апарата: 1 – порожнина з постійним вакуумметричним тиском; 2 – порожнина збору молока; 3 – порожнина атмосферного тиску; 4 – порожнина і вакуумметричного і атмосферного тисків залежно від такту; 5 – пружна мембрана; мембранний клапан.

Саме конструкційне виконання колектора дозволяє забезпечити тритактний та низько вакуумний режими роботи доїльного апарата, незалежно від конструкції генератора пульсів.

Зважаючи на низьку продуктивність апарати для доїння тритактного виконання тривалий час вже не використовуються у системі машинного доїння корів. Щодо низько вакуумного виконання, допускається використання для зниження вакуумметричного тиску під дією тварини під час такту стиснення. Додатковий позитивний ефект не завжди висвітлюється у літературі, який полягає у створення додаткового тиску для спорожнення від молока молочної порожнини колектора. Цей процес у сучасних колекторах можна забезпечити за допомогою керування потоком повітря з атмосферним тиском через отвори з постійним перерізом.

Таким чином, колектор відіграє важливу роль у технології машинного доїння корів. Він не тільки збирає від чвертей вимені корови молоко у молочному просторі, а й забезпечує подальше рухові молока до місткості чи молочного трубопроводу доїльної установки. Від ефективності реалізації вказаних технологічних операцій залежить ефективність машинного доїння в цілому.

1.2. Оцінка впливу конструкційного виконання колектора на технологічний процес

Важливість колектора ніким не спростована, ось чому виробники доїльного обладнання прагнуть максималізувати позитивні ефекти у одній конструкції. Так, бажання вирішити проблему боротьби із можливим забрудненням усього молока від однієї корови, за умови захворювання лише однієї чверті вимені, спонукає до суттєвого ускладнення колектора. До цього варто додати бажання розділити потоки від чотирьох долей вимені корови, що нагадує поєднання в одній конструкції чотирьох молокозбірних місткостей із

системою поплавковою в одній конструкції. Прикладом такого рішення є колектор IQ компанії GEA Farm Technologies (рис. 1.3).

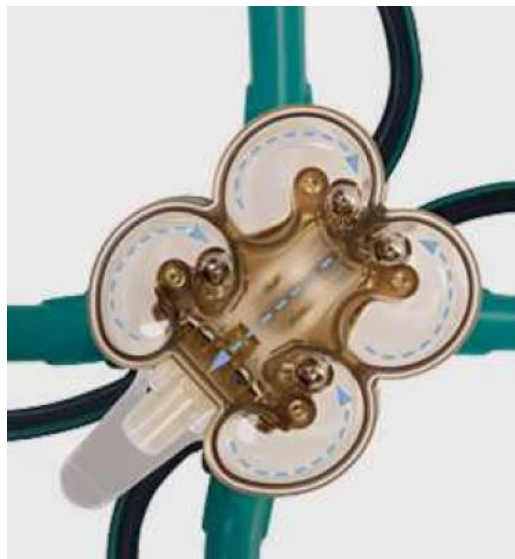


Рис. 1.3. Колектор IQ доїльного апарата компанії GEA Farm Technologies (Німеччина) [10]

Перевагою колектора IQ є його здатність відбирати молоко від чотирьох долей вимені корови окремо. Це забезпечує індивідуальний підхід до режимів доїння завдяки автоматичній системі підтримання вакууму. Окрім цього відсутній контакт між долями вимені, що убезпечує за умови захворювання однієї із них, що покращує ветеринарну складову утримання тварин.

Проте, молоко із чотирьох окремих молочних об'ємів спрямовується в один молочний патрубок і далі по молочному шлангу до молочної труби доїльної установки. За умови маститу однієї долі вимені, забрудненим буде все молоко отримане під час машинного доїння.

Таким чином, незважаючи на позитивні моменти пов'язані із зручністю використання та новими матеріалами ощадними до тварини, складна конструкція потребує кваліфікованого оператора, що не виправдовує себе з економічної точки зору. Це спонукає до огляду класичних конструкцій колекторів вітчизняних та закордонних виробників, котрі за вартістю придбання та експлуатації цілком задовольняють вітчизняного товаровиробника.

Найбільш поширеними у вітчизняному використанні набули колектори із виведенням молока через патрубок молочної місткості, який перекривається поплавковим клапаном до моменту початку включення доїльного апарата в роботу.



Рис. 1.4. Колектори доїльного апарата фірми DeLaval (Швеція) [11, 12]

Доїльний колектор DeLaval MC11 – це добре перевірена, проста та недорога комбінація, що забезпечує ефективне машинне доїння більшості порід корів. Прозорий ніпель дуже простий у використанні та дозволяє бачити потік молока, що допомагає зменшити перетримання та сухе видоювання. Колектор MC11 забезпечує ефективну продуктивність для малих та середніх молочних підприємств. Доїльний кластер MC11 – гарний вибір для виробників, які доять менше восьми годин на день або з річним виробництвом менше 8000 кг за лактацію від однієї корови. [11]

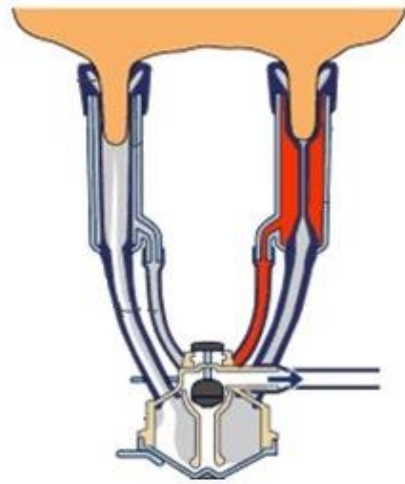
Доїльні кластери DeLaval MC30 та MC31 розроблені для забезпечення оптимальної продуктивності від доїння до доїння на малих та середніх молочних підприємствах. Цей універсальний кластер без зайвих функцій має великий вихідний отвір для молока для ефективної та безпечної обробки великих потоків молока, мінімізуючи небажані перехресні потоки та молочні пробки. Він простий у використанні та економічно вигідний в експлуатації. MC30 та MC31 задовольняють потреби більшості сільськогосподарських виробників, які видоюють менше 13 тис. літрів молока за лактацію від однієї корови. [12]

Незважаючи на переваги обладнання шведської фірми виробника доїльного обладнання колектори із виведенням молока через нижній патрубок мають деякі недоліки. Основний із них полягає в тому, що молоко надходить до молочного простору і заповнює його на певну величину. За умови раціонального об'єму простору молочного процес вивільнення молока до молочного шланга не викликає проблем. Проте, за умови доїння корів із продуктивністю більшою від зазначеної у технічних даних колектора може бути проблема із своєчасним вилученням молока до молочного шланга. Це додатково негативно впливає на стан цілісності структури молока, оскільки може виникнути його спінювання. Окрім цього із-за переповнення молочного простору камери колектора відбуваються зміни у рівні вакуумметричного тиску, який поширюється під дію корови.

Такий стан погіршує закріплений у корови стереотип до машинного доїння, тому варто ретельно слідкувати за процесом доїння. Одним із шляхів

вирішення вказаної проблеми є збільшення об'єму простору накопичення молока, але необґрунтований об'єм простору відповідно до швидкісних процесів виведення молока від вимені корови викликає ефект зворотній від позитивного.

Для покращення процесу транспортування виробники доїльного обладнання пропонують колектори із верхньою системою вилучення молока із молочного об'єму колектора (рис. 1.5). [13, 14]



MC-53



MC-70



MC-73

1.5. Колектори до доїльного апарата фірми DeLaval (Швеція) [13, 14]

Доїльний кластер DeLaval MC53 Розроблений для роботи з високопродуктивними коровами, цей кластер ідеально підходить для доїння менше дванадцяти годин на день. Розроблений для забезпечення комфорту дояра та корови, DeLaval MC53 легший за звичайні кластери. Він поєднує в собі корпуси з нержавіючої сталі та запатентовану технологію DeLaval Top Flow для забезпечення стабільного вакууму протягом усього доїння. Він оснащений м'якими текстурованими вкладишами DeLaval та безсосковими з'єднаннями. Для ефективного вилучення молока молочна дробка від доїльних стаканів має діаметр 16 мм, а для запобігання перепадам тисків об'єм простору для молока збільшений до 360 мл, при цьому вага підвісної частини становить 2,1 кг. [13]

Доїльний кластер DeLaval MC70 це міцний, потужний кластер має корпус з нержавіючої сталі та створений для надійної безперервної роботи. Він використовує запатентовану технологію DeLaval Top Flow (TF) у конструкції вкладиша з ніпелем або без ніпеля, щоб справлятися з екстремальними потоками молока з мінімальними коливаннями вакууму. Інноваційна форма кігтя забезпечує комфорт доїння для дояра, забезпечуючи максимальну ефективність та продуктивність виробництва молока. Доїльний кластер DeLaval MC73 має міцну конструкцію корпусу з нержавіючої сталі, створену для надійної безперервної роботи. Цей потужний кластер використовує технологію TF (DeLaval Top Flow) та конструкцію без ніпелів для обробки екстремальних потоків молока з мінімальними коливаннями вакууму. Інноваційна форма лапки забезпечує комфорт доїння для дояра, забезпечуючи максимальну ефективність та продуктивність виробництва молока. [14]

Система вилучення молока через верхній патрубок вважається більш ефективною порівняно із колекторами з нижнім патрубком. Завдяки верхньому вилученню потік молока буде більш стабільним оскільки на формування порції не впливає рух молока від доїльних стаканів. Поплавковий клапан буде знаходитись зверху, повітря через щілини також буде надходити зверху. При цьому потоку повітря не потрібно буде рухатись через шар молока як у попередньому варіантах, молоко не буде піддаватись спінюванню і руйнування

жирових куль буде усунуто або мінімізовано. Такий напрям подачі повітря сприятиме більш рівномірному розподілу тиску у просторі молочному колектора.

Висновки до розділу 1

1. Підвісна частина доїльного апарата відіграє важливу роль в реалізації технологічного процесу машинного доїння корів з дотриманням зоотехнічних та зооветеринарних вимоги. Саме особливість конструкції колектора відповідає за ефективність вилучення молока із молочного простору та збереження якісних властивостей продукту. Окрім цього конструкція колектора визначає режим роботи доїльного апарата – тритактний, двотактний чи низьковакуумний.

2. Виконана оцінка конструкційних особливостей представлених різними фірмами колекторів вказала на деяку невідповідність заданим вимогам державних та міжнародних стандартам. Так, присутність поплавкового клапана на шляху руху молока під час його вилучення із молочного об'єму колектора створює додаткові перешкоди ефективності процесу. Незважаючи на це колектори із верхньою системою вилучення молока із молочного об'єму значно краще виконують процес транспортування та збереження якості молока із-за відсутності значних коливань тиску та спінювання молока.

РОЗДІЛ 2

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ДОЇЛЬНОГО АПАРАТА

2.1. Обґрунтування схеми конструкції колектора доїльного апарата

Виконана детальна оцінка колекторів доїльних апаратів різних виробників як вітчизняних так і закордонних вказала на значну і суттєву роботу інженерів-конструкторів на покращення показників роботи доїльного апарата відповідно до вимог стандартів. В першу чергу це стосувалось збільшення об'єму порожнини для молока у колектора що дозволили використовувати доїльний апарат для високопродуктивних корів. Збільшений об'єм камери для молока забезпечує менші коливання тиску, оскільки доведено [1, 2, 3], більший об'єм позитивно впливає на збереження стабільності тиску. Більш стабільний тиск створює передумови для більш стабільного транспортування видоєного молока до молочної труби доїльної установки.

Проте колектор доїльного апарата має принциповий недолік – наявність поплавкового клапана. Присутність у конструкції колектора поплавкового клапана викликана необхідність регулювати початковим та кінцевим режимами роботи доїльного апарата. Так, перед початком доїння клапан закритий примусово для недопущення надходження повітря до молочного простору колектора і далі до доїльних стаканів. При підєднанні до вакуумної мережі перед надіванням доїльних стаканів на дійки вимені клапан поплавковий примусово відкриваємо. Як тільки почався процес доїння і надходження молока до молочного простору колектора, клапан поплавка переводимо у положення плаваюче, тобто клапан відкритий за рахунок наявності молока. Саме присутність клапана на шляху руху молока створює певні перешкоди, які призводять до виникнення сповільнення потоку та виникають передумови збовтування. Саме проце збовтування та спінювання є винуватцями погіршення показників якості вилученого в корови молока.

Використання колектора доїльного апарата із верхнім вилученням молока від молочного простору усувають наявну проблему впливу переповнення молочного об'єму. В наслідок такого рішення вилучення молока із молочного об'єму колектора буде відбуватись більш рівномірно, що позитивно вплине на подальшу ефективність переміщення потоку.

Проте наявність клапана поплавкового, який знаходиться у верхній площині колектора (див. рис. 1.5) створює певні перешкоди поточкові молока до вихідного патрубку. Одні переваги невілюються іншими недоліками, які притаманні колекторам із нижнім вилученням молока.

Німецька корпорація GEA WestfaliaSurge пропонує колектор доїльного апарата без клапана поплавкового (рис.2.1).



Рис. 2.1. Доїльний кластер Classic 300 компанії GEA (Німеччина) [15]

Переваги доїльних апаратів Classic 300/Classic 300 E полягають в наступному:

- прямий потік молока без зайвих обхідних шляхів: для дбайливого очищення молока;
- може гнучко розширюватися як частина модульної системи;
- міцні, безпечні для харчових продуктів матеріали, створені для тривалого використання та стійкі до кислот та ударів. [15]

Компанія GEA розробила доїльні апарати Classic 300 та Classic 300 E так, щоб вони були міцними, але водночас зручними. Вони дбайливо ставляться до вим'я та забезпечують швидкий та ефективний потік молока. Корова завжди в центрі нашої уваги: доїння відбувається одночасно швидко та дбайливо. Це гарантує, що наступні процеси доїння також призведуть до високого надою, а корова вироблятиме стабільно великі обсяги високоякісного молока. [15]

Проте під питанням залишається спосіб реалізації технологічного процесу завершення доїння, де клапан примусово опускають донизу, або безпосередньо машинного доїння із-за необхідності надходження повітря із атмосферним тиском.

Таким чином, у кваліфікаційній роботі необхідно вирішити проблему перешкоджання потокові молока під час його руху до вихідного патрубку. За основу візьмемо колектор із верхньою системою вилучення молока, але замінимо поплавковий клапан на пересувний плунжер (рис. 2.2). [16]

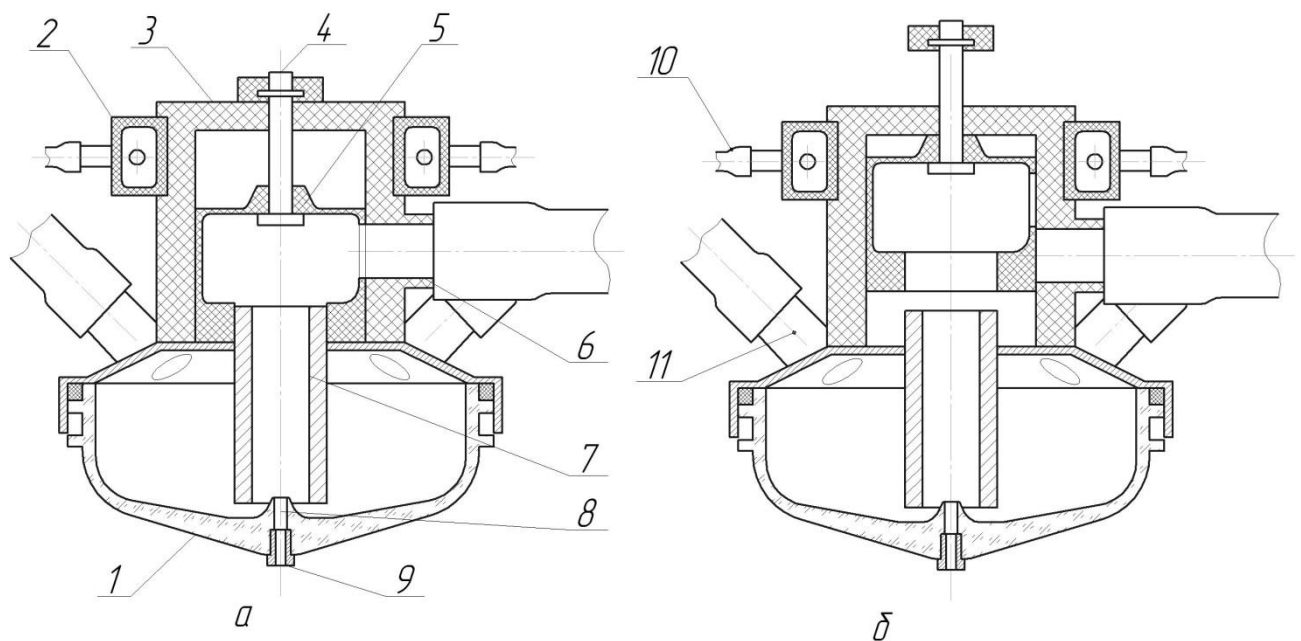


Рис. 2.2. Структурно-конструкційна схема удосконаленого колектора доїльного апарата: *а* – процес періоду доїння; *б* – процес періоду закінчення доїння; 1 – молочний об'єм; 2 – камера з повітряними патрубками; 3 – корпусна деталь повзуна; 4 – фіксуючий пристрій; 5 – повзунковий клапан; 6 – патрубок вилучення молока; 7 – верхня система подачі молока; 8 – отвір для руху повітря;

9 – пристосування зміни кількості подачі повітря; 10 – повітряний шланг; 11 – ніпель для доїльного стакана. [16]

Послідовність роботи удосконаленого колектора із системою верхнього вилучення молока полягає в наступному. Перед початком надівання доїльних стаканів на дійки корови повзунковий клапан необхідно підняти вгору. У такому положенні сполучаються спільним каналом верхньої системи 7 та патрубок вилучення молока 6. Відбувається процес доїння і молока із молочного простору колектора через циліндр 7 та патрубок 6 рухається шлангом до молочної труби доїльної установки. На шляху руху молока від молочного об'єму до патрубку вилучення немає поплавкового клапана як у більшості моделей колекторів доїльних апаратів в тому числі і вітчизняного виробника – ТДВ Брацлав. В такому випадку буде забезпечено швидке спорожнення молочного об'єму за час такту стиску. Молоко не буде дотикатись до додаткових елементів, тому не буде пульсуючих рухів які викликали б додаткове спінювання та утворення згустків молочного жиру. Через канал 8 до молочного об'єму буде рухатись повітря, яке покращить умови подачі потоку молока за рахунок створення додаткового тиску. Кількість повітря яке надходить до молочного об'єму можна регулювати за допомогою пристосування 9.

По завершенні процесу молоко виведення для припинення впливу вакуумметричного тиску на долі вимені корови необхідно повзунковий клапан підняти доверху за допомогою фіксуючого пристрою 4 (рис. 2.1). В такому випадку патрубок вилучення молока буде перекритий стінкою повзункового клапана, вакуум не буде надходити в простір під дійками доїльних стаканів і процес доїння припиниться.

Якщо виникне ситуація із спаданням доїльного стакана із долі вимені корови, повітряний потік буде спрямований до молочного об'єму і далі до повзункового клапана. Оскільки над повзунковим клапаном буде ще діяти вакуум під дією атмосферного тиску із внутрішньої сторони повзунковий клапан переміститься вгору до упору. В такому випадку перекриється патрубок

вилучення молока і процес доїння припинеться без втрат вакуумметричного тиску у вакуумній системі доїльної установки. Процес доїння припинеться у всіх чотирьох дійках оскільки не буде доступу вакууму у простір під дійки доїльних стаканів.

2.2. Встановлення конструкційних та технологічних параметрів удосконаленого доїльного апарата

З врахуванням принципу дії удосконаленого колектора доїльного апарата основними конструкційними елементами є повзунковий клапан, вертикальний канал системи подачі молока від молочного об'єму до патрубку вилучення молока та канал яким до молочного об'єму надходить повітряний потік.

У кваліфікаційній роботі визначаємо геометричні параметри вказаних складових (рис. 2.3) на основі відомих теоретичних викладок та методик які наведені у літературних джерелах [17, 18].

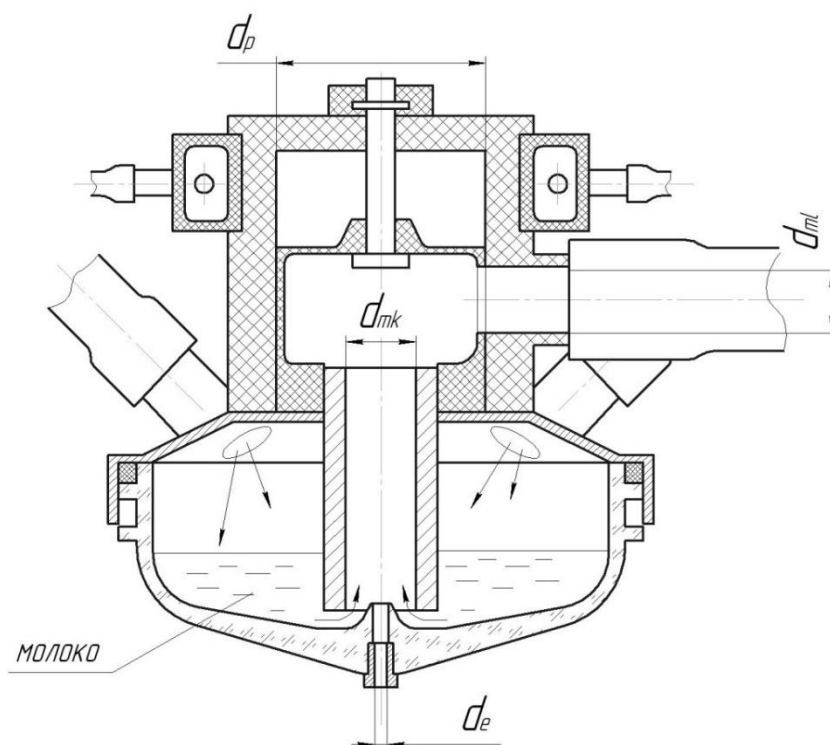


Рис. 2.3. Схема до розрахунку конструкційних параметрів удосконаленого колектора

Для того щоб повітря яке рухається каналом могло пройти через шар молока яке буде у молочному об'ємі необхідно задати певну силу, яка визначається за формулою:

$$F_e = S_e \cdot l_e \cdot \rho_e \cdot g, \quad (2.1)$$

де S_e – переріз отвору площі каналу для повітря із діаметром d_e , м²;

l_e – канал із довжиною у стінці молочного об'єму, м;

ρ_e – характеристика повітряного середовища, кг/м³.

Розрахунки будемо проводити із врахуванням відсутності сили тертя, оскільки канал має незначну довжину, яка суттєво не вплине на результати обрахунку.

Виходячи із відомого рівняння потоку в кількісному вимірі можна встановити величину швидкості потоку повітря через отвір каналу за формулою:

$$v_e = \sqrt{\frac{p_p - \rho_{em} \cdot g \cdot h}{\rho_e (1 + 0,5 \cdot \lambda)}}, \quad (2.2)$$

де λ – втрати від тертя рідини, м;

v_e – інтенсивне переміщення повітря, м/с;

ρ_{em} – сукупна густина молока із повітрям, кг/м³;

g – показник прискорення тяжіння, м/с²;

h – кількість рідини над каналом у корпусі молочного об'єму, м;

p_p – діючий вакуум, кПа.

Діаметр каналу через отвір якого буде поступати до молочного об'єму повітря, з врахуванням відомого рівняння потоку та попередніх залежностей, визначаємо за формулою:

$$d_e = \sqrt{\frac{4 \cdot k \cdot Q_{ml}}{\pi \sqrt{\frac{p_p - \rho_{ml} \cdot g \cdot h}{\rho_e (1 + 0,5 \cdot \lambda)}}}}, \quad (2.3)$$

де Q_{ml} – потік молока від доїльних стаканів, кг/с;

ρ_{ml} – об'ємна густина молока, кг/м³;

k – коефіцієнт пропорційності.

Результати обрахунків занесемо у таблицю 2.1 для кращого аналізу отриманих даних.

Таблиця 2.1

Результати обрахунку діаметра каналу

Діаметр повітряного отвору d_e , мм	Надходження повітря, л/хв.	Пропускна спроможність колектора, кг/хв.
0,5	1,22	2,934
0,6	2,064	3,075
0,7	3,94	3,12
0,8	5,98	3,119
0,9	7,62	3,09
1,0	9,23	2,971

Як видно із таблиці пропускна спроможність колектора зростає при збільшенні діаметра каналу до 0,7-0,8 мм. для більшого діаметра каналу пропускна здатність удосконаленого колектора знижується. Це вказує на те, що розрахункова величина конструкційного діаметра отвору каналу повітряного повинна бути на рівні 0,7-0,8 мм і не більше.

Що стосується надходження повітря то його інтенсивність подачі зростає зі збільшенням діаметра отвору каналу. При цьому, за даними деяких досліджень подача повітря в межах 3-6 л/хв вважається безпечною для збереження молока

без пошкоджень молочного жиру. Тому будемо орієнтуватись на показник пропускної спроможності удосконаленого колектора доїльного апарата 3,12 кг/хв. за якого подача повітря буде 5,98 л/хв. при діаметрі каналу 0,8 мм.

Для визначення параметрів вертикального циліндричного молочного каналу яким подається молоко скористаємося загальновідомим основним рівнянням гідравліки. Склавши рівняння рівноваги отримаємо:

$$dl_{mk} + \frac{dp}{\rho_{em} \cdot g} + \frac{dQ_{em}^2}{2 \cdot g \cdot S_{mk}^2} + dh_l = 0, \quad (2.4)$$

де p – абсолютний параметр тиску, кПа;

де l_{mk} – лінійна довжина вертикальний циліндричний канал для молока, м;

h_l – втрати тиску вздовж циліндричного молочного каналу, м;

Q_{em} – подача молока і повітря в одному потоці суміші, кг/с;

S_{mk} – переріз отвору площі циліндричного каналу для молока, м².

За умови нехтування втратами тиску, для спрощення обчислень, рівняння (2.4) набуде наступного вигляду:

$$p_{mo} + \rho_{ml} \cdot g \cdot h_{ml} = p_{hm} + \rho_{em} \cdot g \cdot l_{mk}, \quad (2.5)$$

де p_{mo} – рівень тиску на молоко зверху у молочному об'ємі, кПа;

p_{hm} – рівень тиску у вертикальному циліндрі, кПа;

h_{ml} – рівень молока у молочному об'ємі, м.

При виконанні деяких перетворень із отриманими вище рівняннями, отримаємо формулу:

$$\rho_{ml} \cdot g \cdot v_{ml} = \rho_{em} \cdot g \cdot v_{em} \Rightarrow \rho_{ml} \cdot g \cdot \frac{4 \cdot Q_{ml}}{\pi \cdot D_{mo}^2} = \rho_e \cdot g \cdot \frac{4 \cdot Q_{em}}{\pi \cdot d_{mk}^2}, \quad (2.6)$$

де D_{mo} – молочний об'єм діаметром, м;

d_{mk} – молочний вертикальний канал діаметр, м;

Q_{ml} – подача молока в каналі, кг/с;

v_{ml} – потік молока у колекторі, м/с.

З врахуванням коефіцієнт пропорційності вмісту повітря у загальному потоці в циліндричному каналі отримаємо формулу для встановлення параметрів вертикального молочного каналу:

$$d_{mk} = \sqrt[3]{\frac{8 \cdot \lambda \cdot \rho_{ml} \cdot Q_{ml}^2 \cdot (k+1) \cdot l_{mk}}{\pi^2 \cdot D_{mo}^2 \cdot [(p_f - p_e) - \rho_{em} \cdot g \cdot l_{mk}]}} \quad (2.7)$$

де p_f і p_e – рівень абсолютного значення тиску на початку та в кінці, кПа.

Результати обрахунків за формулою (2.7) занесені у таблицю 2.2.

Таблиця 2.2

Результати обрахунку діаметра молочного каналу

Діаметр молочного каналу d_{mk} , мм	Надходження повітря, л/хв.	Пропускна спроможність колектора, кг/хв.
12	5,915	2,787
13,5	5,93	2,878
15	6,045	2,919
16,5	6,023	3,15
18	5,98	3,129

Відповідно до даних у таблиці 2.2 максимальна пропускна спроможність удосконаленого колектора доїльного апарата буде становити 3,15 кг/хв. за умови діаметра вертикального молочного каналу на рівні 16,5 мм. Надходження повітря із інтенсивністю 6,023 л/хв знаходиться в допустимих межах рекомендацій вчених. Так, зі збільшенням розміру каналу вертикального для

молока знижується пропускна спроможність запропонованої конструкції колектора з одночасним зниженням потоку повітря. Такий результат є логічним, оскільки зі зменшенням надходження інтенсивності повітря втрачається і зусилля на переміщення молока при умові однакової його кількості під час машинного доїння.

Таким чином оптимальними параметрами діаметра каналу вертикального для молока буде величина в 16,5 мм, що приймається в подальших конструкційних та технологічних обрахунках, довжина приймається конструкційно для обраної моделі колектора доїльного апарата.

2.3. Конструювання елементів кріплення деталей конструкції

Для поєднання між собою елементів розробленої конструкції удосконаленого колектора доїльного апарата будемо використовувати гвинти, як показано на рис. 2.4.

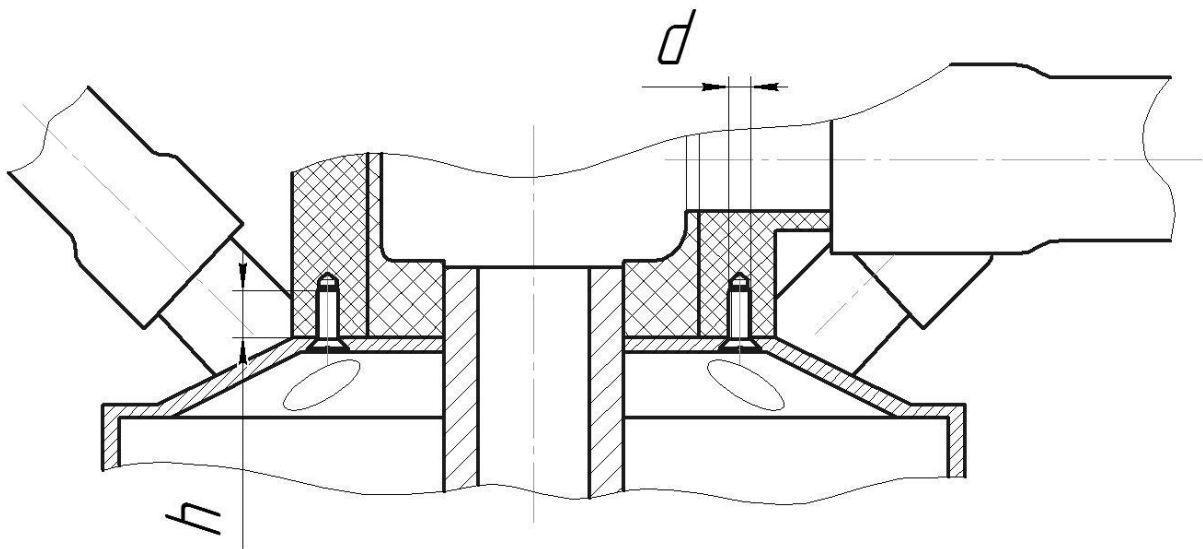


Рис. 2.4. Схема поєднання елементів удосконаленого колектора

Для розрахунку з'єднання елементів за схемою на рис. 2.4 будемо використовувати методи які викладені у літературних джерелах [19, 20], тому будемо подавати тільки розрахункові значення без повторення методики.

Виконаємо розрахунок на гвинтів на розтяг. Для цього встановимо діючу силу, яка залежить від кількості молока у молочному об'ємі. Так, за один такт який триває 70% періоду відповідно до табл. 2.2 при попарному режимі доїння, буде 0,026 кг молока при вазі підвісної частини доїльного апарата 2,1 кг, Н:

$$F = \frac{0,026 \cdot 9,81 \cdot 2,1}{4} = 0,135. \quad (2.8)$$

Встановимо діаметр гвинта для з'єднання при врахуванні виникаючих напружень у матеріалі виробу, мм:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,135}{3,14 \cdot 125}} \cdot 1,2 = 0,0445. \quad (2.9)$$

Отримане значення досить мале, тому приймемо конструкційний діаметр на рівні 4 мм.

Величина нарізання різьби має задовольняти вимогу на витримування зусиль на зріз для матеріалу корпусу плунжерного клапана 12 Н/мм² становитиме, мм

$$h = \frac{0,135}{0,8 \cdot 3,14 \cdot 4 \cdot 12} = 0,011. \quad (2.10)$$

Приймемо конструкційно довжину різьбового поєднання рівним 8 мм, тоді перерахуємо зусилля на зріз і порівняємо із граничними значеннями, Н/мм²:

$$\tau_{зр} = \frac{0,135}{0,8 \cdot 3,14 \cdot 4 \cdot 8} = 0,016 < 12. \quad (2.11)$$

Таким чином, умова міцності виконується, а це означає що параметри поєднання за допомогою різьби обрано правильно.

Висновки до розділу 2

1. Удосконалена конструкція колектора доїльного апарата вирішує проблему перешкоджання потокові молока під час його рухові до вихідного патрубку, оскільки відсутній поплавковий клапан як у більшості моделей колекторів доїльних апаратів. Таке рішення сприяє швидкому спорожненню молочної камери колектора за час такту стиску. Молоко не буде дотикатись до додаткових елементів, тому не буде пульсуючих рухів які викликали б додаткове спінювання та утворення згустків молочного жиру, тому якість молока максимально збережеться.

2. Встановлено що максимальна пропускна спроможність удосконаленого колектора доїльного апарата буде при діаметрі отвору для подачі повітря на рівні 0,8 мм. За таких параметрів отвору інтенсивність надходження повітря до молочної камери не буде перевищувати допустимих величин у 8 л/хв.

3. Проведені розрахунки вказали, що максимальна пропускна спроможність удосконаленого колектора доїльного апарата буде становити 3,15 кг/хв. за умови діаметра вертикального молочного каналу на рівні 16,5 мм. Надходження повітря із інтенсивністю 6,023 л/хв. при діаметрі отвору для повітря 0,8 мм буде знаходитись в допустимих межах рекомендованих вченими.

4. Встановлено діаметр гвинта для з'єднання елементів конструкції удосконаленого колектора доїльного апарата з врахуванням виникаючих напружень у матеріалі виробу на рівні 4 мм при довжині різьби у корпусі 8 мм. Розрахунок на міцність вказав на повне задоволення умовам при використанні чотирьох гвинтів.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ДОЇЛЬНОГО АПАРАТА З РОЗРОБЛЕНИМ КОЛЕКТОРОМ

3.1. Встановлення економічної переваги удосконаленого доїльного апарата

З метою встановлення експлуатаційної та економічної переваги удосконаленого доїльного апарата з розробленим колектором необхідно виконати порівняльну оцінку із прототипом відповідно до запропонованих методичних порад [21] викладених у додатку Б.

Для порівняльної оцінки оберемо колектор доїльного апарата з аналогічним принципом дії, тобто виведенням молока через верхній патрубок. В нашому випадку цілком підходить доїльний апарат із підвісною частиною МС-50 шведської фірми.

Відповідно до методики, для початку встановимо вартість на балансі для прототипа (C_p) та удосконаленого (C_n) доїльного апарата, грн:

$$\begin{aligned} C_p &= 1,3 \cdot 2500 = 3250, \\ C_n &= 1,3 \cdot 3150 = 4095. \end{aligned} \tag{3.1}$$

За даними [<https://agro-firma.com.ua/ua/p2076321590-kolektor-doilnogo-apparata.html>] ціна колектора МС-53 на ринку України становить 2500 грн. Удосконалений колектор буде мати додаткові витрати на виготовлення повзункового клапана та його корпусу із патрубками для повітря і молока, тому його вартість зросте до 3150 грн.

Витрати на реновацію для прототипа (B_p) та удосконаленого (B_n) доїльного апарата становитимуть, грн:

$$B_p = \frac{3250 \cdot 15}{100} = 487,5, \tag{3.2}$$

$$B_n = \frac{4095 \cdot 15}{100} = 614,25.$$

Завдяки пришвидченню роботи удосконаленого доїльного апарата (3,15 кг/хв порівняно із 2,92 кг/хв) на процес машинного доїння оператор буде витрачати менше часу для корів однакової продуктивності. У зв'язку із цим і витрати на оплату праці операторів для прототипа (T_p) та удосконаленого (T_n) доїльного апарата з розрахунку на одну корову при дворазовому доїнні буде різною, грн:

$$\begin{aligned} T_p &= 20,9 \cdot 180,35 = 3769,315, \\ T_n &= 19,37 \cdot 180,35 = 3493,38. \end{aligned} \quad (3.3)$$

Річні витрати на покриття затрат на електроенергію для прототипа (E_p) та удосконаленого (E_n) доїльного апарата з розрахунку на одну корову при дворазовому доїнні будуть становити, грн:

$$\begin{aligned} E_p &= 20,9 \cdot 6,9 \cdot 3,5 = 504,735, \\ E_n &= 19,37 \cdot 6,9 \cdot 3,5 = 467,78. \end{aligned} \quad (3.4)$$

За рахунок покращення вакуумного режиму та безперешкодному переміщення потоку молока зростає ступінь вилучення молока із вимені на 1,5%, що призводить до збільшення кількості отриманого молока кращої якості. В такому випадку питомі капіталовкладення для прототипа (K_p) та удосконаленого (K_n) доїльного апарата становитимуть, грн/кг:

$$\begin{aligned} K_p &= \frac{3250}{11000} = 0,295, \\ K_n &= \frac{4095}{11165} = 0,367. \end{aligned} \quad (3.5)$$

Загальні сукупні витрати для прототипа (B_p) та удосконаленого (B_n) доїльного апарата становитимуть, грн:

$$\begin{aligned}
 B_p &= 487,5 + 3769,315 + 504,735 = 4761,55, \\
 B_n &= 614,25 + 3493,38 + 467,78 = 4575,41.
 \end{aligned}
 \tag{3.6}$$

Основним порівняльним показником є приведені витрати які для прототипа (P_p) та удосконаленого (P_n) доїльного апарата становитимуть, грн/кг:

$$\begin{aligned}
 P_p &= \frac{4761,55}{11000} + 0,15 \cdot 0,295 = 0,478, \\
 P_n &= \frac{4575,41}{11165} + 0,15 \cdot 0,367 = 0,465.
 \end{aligned}
 \tag{3.7}$$

Для доїльної установки яка оснащена 16 доїльними апаратами при доїнні у доїльних залах річний економічна вигода буде становити, грн:

$$H = (0,478 - 0,465) \cdot 400 \cdot 16 \cdot (11165 - 11000) = 13728. \tag{3.8}$$

Додаткові вкладення в удосконалення колектора доїльного апарата будуть окуплені протягом, роки:

$$D = \frac{(4761,55 - 4575,41) \cdot 16}{13728} = 0,21. \tag{3.9}$$

Таким чином, витрати на удосконалення колектора окупляться протягом 0,21 року, тобто приблизно за 2,5 місяці.

Висновки до розділу 3

1. Удосконалений колектор доїльного апарата при його використанні у складі доїльної установки на 16 місць сприяє отриманню додаткового економічного ефекту в сумі 13728 грн, додаткові вкладення окупляться протягом 2,5 місяців для поголів'я 400 дійних корів, що вказує на доцільність виконаної проектної роботи.

ВИСНОВКИ

1. Підвісна частина доїльного апарата відіграє важливу роль в реалізації технологічного процесу машинного доїння корів з дотриманням зоотехнічних та зооветеринарних вимоги. Виконана оцінка конструкційних особливостей представлених різними фірмами колекторів вказала на деяку невідповідність заданим вимогам державних та міжнародних стандартам. Встановлено, що колектори із верхньою системою вилучення молока із молочного об'єму значно краще виконують процес транспортування та збереження якості молока із-за відсутності значних коливань тиску та спінювання молока.

2. Удосконалена конструкція колектора доїльного апарата вирішує проблему перешкоджання потокові молока під час його рухові до вихідного патрубку, оскільки відсутній поплавковий клапан як у більшості моделей колекторів доїльних апаратів. Таке рішення сприяє швидкому спорожненню молочної камери колектора за час такту стиску та збереження якісних показників молока.

3. Встановлено що максимальна пропускна спроможність 3,15 кг/хв. удосконаленого колектора доїльного апарата буде при діаметрі отвору для подачі повітря на рівні 0,8 мм, а діаметр вертикального молочного каналу становитиме 16,5 мм. При цьому, інтенсивність надходження повітря до молочної камери 6,023 л/хв. не перевищує допустиму величину 8 л/хв. Розрахунок на міцність елементів кріплення вказав на повне задоволення умовам при використанні чотирьох гвинтів діаметром 4 мм довжиною 8 мм.

4. Удосконалений колектор доїльного апарата при його використанні у складі доїльної установки на 16 місць сприяє отриманню додаткового економічного ефекту в сумі 13728 грн. Додаткові вкладення в удосконалення окупляться протягом 2,5 місяців для поголів'я 400 дійних корів, що вказує на доцільність виконаної проєктної роботи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Medvedskyi O., Kukharets S., Česna J., Achkevych V. Estimation of mechanical and technological specifications of milk transporting system of the milking machine. *Rural Development*. 2020. 19. 1456–1462.
2. Golub G., Medvedskyi O., Achkevych V., Achkevych O. Establishing rational structural-technological parameters of the milking machine collector. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. №1 (91). P. 12–17.
3. O. Medvedskyi, S. Kukharets, J. Česna, O. Sukmaniuk. Simulation of a vacuum system of a small-size milking machine. *Engineering for rural development*. 2021. Vol. 20. P. 477-482.
4. Jonas Česna, Oleksandr Medvedskyi, Yulia Postol, Valentina Kukharets, Maksym Zayets, Roman Hrudovij, Yuriy Pantsyr, Janusz Zarajczyk, Daniel Zbigniew. Simulation of design parameters of a milking cup with an extended service life. *Agricultural Engineering*. 2022. 26/1. 243-252.
5. Фененко А. І. Механізація доїння корів. Теорія і практика : монографія. Київ, 2008. 198 с.
6. Доїльне обладнання : веб-сайт. URL : <https://damilk.ua/ua/doilnoe-oborudovanie/>
7. Доїльне відро в зборі «Євро 240-оригінал» : веб-сайт. URL : <https://protek.com.ua/uk/do-lne-v-dro-v-zbor-protek-vro-nerzhav-yka-uk/>
8. Дмитрук Б. М. Оцінка конструкційних рішень колекторів доїльного апарата. *Студентські читання–2024* : матеріали науково-практичної конференції. 31 жовтня 2024 р. Житомир: Поліський національний університет, 2024. Ч. 2. С. 12–14.
9. Хомик Н. І., Довбуш А. Д., Олексюк В. П. Машини та обладнання для тваринництва: навчальний посібник. Тернопіль: ФОП Паляниця, 2021. 240 с.
10. QI Milking cluster : веб-сайт. URL : <https://www.gea.com/en/products/milking-farming-barn/milking-solutions/components/cluster-positioning/iq/>

11. DeLaval milking cluster MC11 : веб-сайт. URL : <https://www.delaval.com/en-in/farm-solutions/milking-essentials/point/clusters/>
12. Підвісна частина MC30 та MC31 від компанії «ДеЛаваль» : веб-сайт. URL : <https://www.delaval.com/uk/nashi-rishennya/na-doyilnomu-punkti/obladnannya-doyilnogo-mistsya/pidvisni-chasini/>
13. DeLaval milking cluster MC50 : веб-сайт. URL : <https://www.delaval.com/uk/nashi-rishennya/na-doyilnomu-punkti/obladnannya-doyilnogo-mistsya/pidvisni-chasini/>
14. DeLaval Milking Cluster MC73, MC70 : веб-сайт. URL : <https://www.delaval.com/en-za/farm-solutions/milking-essentials/at-the-milking/>
15. The right milking cluster for the cow: an overview of the benefits of the Classic 300/Classic 300 E milking clusters : веб-сайт. URL : <https://www.gea.com/en/products/milking-farming-barn/milking/classic300-300e/>
16. Дмитрук Б. М. Обґрунтування конструкції колектора доїльного апарата. *Наукові читання – 2025* : збірник тез доповідей науково-практичної конференції за підсумками І-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей. 23 квітня 2025 р. Житомир: Поліський національний університет, 2025. С. 9–10.
17. Бойко А. В. Гідрогазодинаміка : підручник. Х. : НТУ «ХПІ», 2007. 444 с.
18. Гідрогазодинаміка : навчальний посібник / О. Г. Гусак, С. О. Шарапов, О. В. Ратушний. – Суми : Сумський державний університет, 2022. – 296 с.
19. Калетнік Г. М. Основи інженерних методів розрахунків на міцність і жорсткість : підручник / за ред. Г. М. Калетніка, М. Г. Чаусова. Київ: Хай-Тек Прес, 2013. 528 с.
20. Гайдамака А. В. Деталі машин. Основи теорії та розрахунків : навчальний посібник. Харків : НТУ «ХПІ», 2020. 275 с.
21. Ефективність інженерних рішень : навчальний посібник / Л. М. Данильченко, В. В. Васильків, І. Г. Ткаченко, М. Д. Сіправська. Тернопіль : Вид-во ТНТУ, 2024. 248 с.