МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

УДК 631.351:637.132

Кваліфікаційна робота на правах рукопису

БОЙКО Сергій Дмитрович

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

УДОСКОНАЛЕННЯ ОЧИСНИКА СИСТЕМИ ПЕРВИННОЇ ОБРОБКИ МОЛОКА ДОЇЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

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 – 2026

АНОТАЦІЯ

Бойко С. Д. **Удосконалення очисника системи первинної обробки молока доїльної установки.** – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота подається на здобуття першого освітнього ступеня бакалавр зі спеціальності 208 – агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2026 р.

Кваліфікаційна робота спрямована на вирішення інженерної та технологічної задачі підвищення ефективності очищення молока під час машинного доїння корів. Виконано огляд способів та технічних засобів фільтрації молока у лінії первинної обробки доїльної установки.

Розроблена конструкція фільтрувального пристрою для доїльної установки. Основна відмінність від серійного фільтра полягає в тому, що змінено напрям та спосіб подачі молока до фільтрувального пристрою. Виконана економічна оцінка вказує на можливість отримання економічного ефекту від застосування розробленого фільтрувального пристрою.

Ключові слова: машинне доїння, фільтр, гідравлічний опір, молоко

ANNOTATION

Boyko S. D. **Improvement of the milk pre-treatment system cleaner in a milking parlor**. – 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, 2026.

This thesis aims to solve the engineering and technological problem of improving the efficiency of milk purification during machine milking of cows. A review of methods and technical means of milk filtration in the primary processing line of a milking parlor has been conducted.

A design for a filtration device for a milking system has been developed. The main difference from a standard filter lies in the fact that the direction and method of milk delivery to the filtration device have been altered. An economic assessment indicates the potential for achieving economic benefits from the use of the developed filtration device.

Keywords: machine milking, filter, hydraulic resistance, milk

ЗМІСТ

ВСТУП ……... 4
РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЧНІ СХЕМИ ТА ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ОЧИЩЕННЯ МОЛОКА …… 7
1.1. Вимоги до якості очищеного молока при машинному доїнні корів .. 7
1.2. Типи обладнання системи очищення молока на молочних фермах .. 9
Висновки до розділу ……..…. 18
РОЗДІЛ 2. УДОСКОНАЛЕННЯ ФІЛЬТРУВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ МОЛОКА ДОЇЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ……. 19
2.1. Розроблення конструкції фільтрувального пристрою доїльної установки ……..... 19
2.2. Розрахунок технологічних та конструкційних параметрів розробленого фільтрувального пристрою …..…… 21
Висновки до розділу …….……. 25
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЛУАТАЦІЙНЕ ТА ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРОБЛЕНОГО ФІЛЬТРУВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ МОЛОКА ……... 26
3.1. Експлуатаційні особливості розробленого фільтрувального пристрою …… 26
3.2. Визначення економічної доцільності впровадження розробленого фільтрувального пристрою ……... 28
Висновки до розділу …….…. 29
ВИСНОВКИ ……... 30
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ …….. 32
ДОДАТКИ …….. 34

ВСТУП

Актуальність теми. Отримання високоякісного незбираного молока від молочних ферм для потреб переробних підприємств вважається першочерговим завданням яке необхідно вирішити безпосередньо на фермі. Це полягає в тому, що значна кількість забруднень, які можуть залишитись у молоці після попереднього очищення на фільтрувальних пристроях доїльних установок може спричинити суттєве погіршення технологічних властивостей молока яке вже надійшло до танка-охолодника.

Для очищення молока від бруду безпосередньо на доїльних установках під час машинного доїння корів використовуються фільтрувальні пристрої схожих конструкційних виконань незалежно від виробника вітчизняного чи закордонного. Фільтрувальний пристрій виконаний у вигляді циліндричного корпусу в середині якого розміщено циліндричний фільтрувальний елемент. Матеріал з якого виготовлено фільтрувальний елемент може відрізнятися у різних виробників. Це може бути лавсановий кожух, основною перевагою якого є можливість багаторазового використання. Найбільшого поширення набули одноразові фільтрувальні елементи, які заміняються після кожного циклу машинного доїння, тривалість якого обмежено бактерицидною фазою молока.

Проте, такого типу фільтрувальні пристрої мають спільний суттєвий недолік. Сутність недоліку полягає в тому, що молоко подається вздовж осі фільтрувального пристрою. Тобто, простіше кажучи, заходить молоко «знизу» фільтру і виходить «зверху» фільтра. Незважаючи на прийнятну якість очищення та пропускну спроможність, добитися високої якості очищення таким фільтром неможливо. Це пояснюється тим, що бруд залишається на поверхні фільтрувального елемента і постійно контактує із новими порціями молока які надходять на очищення. За умови значної забрудненості молока, створюються передумови проштовхування дрібного бруду через фільтрувальну поверхню, при цьому може знизитися пропускна спроможність. Вирішити цю проблему пропонують шляхом використання змінних пористих картриджів. Таке рішення дозволяє суттєво підвищити якість очищення, оскільки молоко

надходить перпендикулярно до осі фільтрувального пристрою і бруд зосереджується в нижній частині. Проте такого типу фільтрувальні елементи неможливо використовувати у системах первинної обробки молока на доїльних установках, оскільки вони мають великий гідравлічний опір.

Таким чином, пошук оптимального конструкційного рішення фільтрувального пристрою для доїльних установок є актуальним завданням сьогодення.

Мета кваліфікаційної роботи.

Підвищення ефективності очищення молока на доїльних установках шляхом удосконалення конструкції фільтрувального пристрою.

Завдання, які необхідно вирішувати:

– виконати аналіз відомих конструкційних рішень фільтрувальних пристроїв доїльних установок для очищення молока під час машинного доїння;

– обґрунтувати структурно-технологічну схему удосконаленого очисника молока для доїльної установки;

– виконати технологічні та конструкційні розрахунки удосконаленого фільтрувального пристрою для молока;

– встановити конструкційні параметри та режими роботи удосконаленого фільтрувального пристрою;

– виконати обґрунтування економічної доцільності використання розробленого фільтрувального пристрою для молока.

Об’єкт дослідження.

Очисник молока доїльної установки.

Предмет дослідження.

Технологічні та конструкційні параметри очисника молока доїльної установки.

Методи дослідження.

Кваліфікаційна робота виконувалась із використанням відомих методів гідравліки, гідродинаміки та пневматики, потоку суцільного нестисненого середовища, відомих теоретичних викладок теплотехніки та термодинаміки, використовувались основи диференційного та інтегрального обчислення.

Апробація кваліфікаційної роботи.

Оприлюднення результатів кваліфікаційної роботи відбулося на наукових конференціях та відображені у друкованих працях:

1. Бойко С. Д. Класифікаційні ознаки очисників молока доїльних установок. *Студентські читання–2025 :* матеріали науково-практичної конференції. 30 жовтня 2025 р. Житомир: Поліський національний університет, 2025. С. 150–152.

2. Бойко С. Д. Розробка конструктивної схеми магістрального очисника молока. *Наукові читання – 2026* : збірник тез доповідей науково-практичної конференції за підсумками І-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей. 20 квітня 2026 р. Житомир: Поліський національний університет, 2026. Ч. 2. С. 129–130.

Структура кваліфікаційної роботи.

Кваліфікаційна робота складається із трьох розділів пояснювальної записки, вступу, загальних висновків та список використаних літературних джерел. Текст пояснювальної записки наповнений 3 таблицями та 8 рисунками, викладено на 33 сторінках машинопису мовою державною.

РОЗДІЛ 1
ТЕХНОЛОГІЧНІ СХЕМИ ТА ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ ОЧИЩЕННЯ МОЛОКА

1.1. Вимоги до якості очищеного молока при машинному доїнні корів

Основною причиною зниження санітарно-гігієнічних показників молока є його безпосереднє забруднення під час машинного доїння корів. Головними джерелами забруднення виступають: [1-3]

- незадовільний стан шкірного покриву вимені тварин;
- недостатньо якісне промивання доїльних апаратів та молокопроводів;
- забруднене мікроорганізмами повітря тваринницького приміщення, яке всмоктується в молочну систему доїльної установки крізь камери колекторів доїльних апаратів.

Суворе дотримання санітарно-гігієнічних вимог на кожному етапі технологічного процесу є запорукою отримання високоякісної продукції з рівнем бактеріального забруднення до 200 тис. мікроорганізмів в 1 мл. Основні вимоги до якості заготовчого молока, що постачається підприємствами, наведено в табл. 1.1.

Кінцевий сорт молока визначають за найгіршим із отриманих показників. Наприклад, якщо молоко відповідає першому класу за редуктазною пробою та має кислотність 16–18 ^{o}Т, але за ступенем чистоти належить до другої групи, його буде віднесено лише до другого сорту.

Саме тому первинне очищення молока безпосередньо під час доїння є критично важливим технологічним процесом. Воно дозволяє істотно підвищити якість сировини та отримати додатковий прибуток завдяки вищим закупівельним цінам на сортове молоко.

З огляду на це актуальним є забезпечення якісного функціонування очисників доїльних установок. [4-8]

Таблиця 1.1.

Заготовче молоко та вимоги до його якості

Показник	I сорт	II сорт	Несортове
Кислотність, °Т	16–18	18–20	≥21
Ступінь чистоти за еталоном (не нижче групи)	I (механічні домішки відсутні)	II (наявні поодинокі частинки механічних домішок)	II
Бактеріальна забрудненість за редуктазною пробою (не нижче класу)	I (менше 500 тис. бактерій в 1мл)	II (від 500 тис. до 4 млн.)	III (від 4 млн. до 20 млн.)
Температура, К (≤)	не вище 283 (до 10°С)	-	-

Сучасні фільтрувальні пристрої мають відповідати таким вимогам:

1. Пропускна спроможність: площа фільтрації повинна повністю відповідати продуктивності доїльної установки.

2. Ергономічність: простота конструкції має забезпечувати швидку та зручну заміну фільтрувального елемента.

3. Гігієнічність: конструкція повинна виключати омивання новими порціями молока раніше затриманого бруду.

4. Надійність: висока експлуатаційна стійкість, що запобігає розривам чи руйнуванню фільтрувального матеріалу.

Для оцінки наявності усіх вказаних вимог до молока фільтрів у доїльних установок варто виконати ґрунтовний аналіз усіх можливих конструкцій. Це необхідно для встановлення ходу думок інженерних під час створення елементів конструкційного виконання фільтра впродовж певного еволюційного періоду. Тобто, запорукою успішного вирішення задачі є детальний аналіз позитивних та негативних сторін фільтрувальних пристосувань доїльних установок.

1.2. Типи обладнання системи очищення молока на молочних фермах

Для вилучення механічних домішок із молока застосовують фільтри, де робочими елементами слугують ватяні диски, марля, фланель, папір, металеві сітки, а також сучасні синтетичні матеріали. За конструктивним виконанням молочні фільтри поділяють на відкриті та закриті. [8-10]

Відкриті фільтри.

У цих пристроях молоко проходить крізь фільтрувальний елемент під дією природного гідростатичного тиску стовпа рідини. Типовим представником є цідильник (цідилка), що складається з корпусу, двох металевих сіток та пружинного затискача. Між сітками прокладають ватяний або марлевий (у 3–4 шари) фільтр, а верхню сітку фіксують затискачем. Металеві сітки бувають плетеними або штампованими з густотою від 25 до 100 отворів/см^2 (розмір комірок 0,5-1,5 мм). Цідильники використовують під час доїння у переносні відра (бідони) та встановлюють на горловинах фляг, танків чи приймальних ваг.

Закриті фільтри.

У таких апаратах процес фільтрації відбувається під дією вакууму або надлишкового тиску. Їх також називають магістральними, оскільки вони монтуються безпосередньо в потокові лінії доїльних установок. До цієї групи належать дискові, циліндричні та конічні фільтрувальні апарати.

Окрім класичного проціджування крізь пористі перегородки, на тваринницьких фермах широко впроваджують відцентрове очищення молока. Цей метод дозволяє ефективно видаляти з молока не лише механічні домішки, а й слиз та згустки (секрет запальних процесів вимені), що значно підвищує загальну технологічну якість сировини.

У зв’язку із необхідністю дотримання гігієнічних та санітарних вимог для очищення молока на доїльних установках використовують фільтри для молока типу закритого.

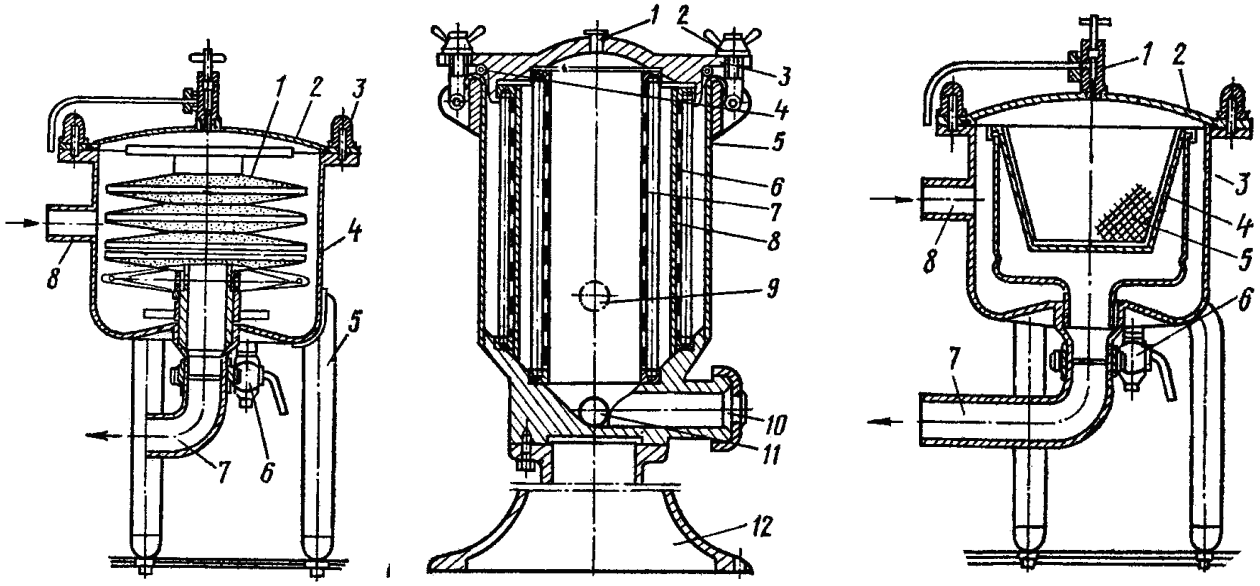
Закриті фільтри використовуються для очищення молока від механічних домішок під тиском у закритому потоці. За конструктивним виконанням робочих органів їх поділяють на дискові, циліндричні та конічні.

1. Дискові фільтраційні апарати.

У дисковому апаратові (рис. 1.1, а) процес очищення відбувається шляхом проходження молока через вхідний патрубок, систему фільтрувальних прокладок (де затримуються механічні домішки) та виведення очищеного продукту через вихідний патрубок.

Особливість конструкції.

Мають розвинену робочу поверхню, площу якої можна регулювати шляхом зміни кількості (набору) фільтрувальних дисків.



а б в

Рис. 1.1. Специфікація елементів фільтраційних апаратів: а – дискового: 1 – елемент фільтра; 2 – кришки; 3 –болт від'єднувач; 4 – корпуса; 5 –стійка для опори; 6 – краник для спуску; 7 – відвід молока; 8 – підведення молока; б – циліндричного: 1 – вихід для повітря; 2 – болт від'єднувач; 3 – кришика; 4 – прокладка гумова; 5 – зовнішній корпус; 6 і 7 – металеві сітоки; 8 –тканина для фільтрування; 9 – вихід молока; 10 – трубка для молока; 11 – випускник молока; 12 – стояк; в – конічного: 1 – кран для повітря; 2 – кришика; 3 – корпуса; 4 – чашка молочна; 5 –елемент для фільтрування; 6 – краник спускний; 7 – відвіду для молока; 8 –підвед для молока. [10]

2. Циліндричні фільтраційні апарати.

У циліндричному апаратові (рис. 1.1, б) молоко подається під тиском до 2×10^5 Па через вхідний патрубок. Воно заповнює простір між фільтрувальною тканиною та внутрішнім циліндром, проходить крізь фільтр і виводиться через вихідний патрубок.

Принцип роботи.

Робочий тиск всередині апарата дорівнює напору, що необхідний для проштовхування рідини крізь тканину. Це дозволяє підняти рівень молока до самої кришки, забезпечуючи 100% використання корисної площі фільтрувального матеріалу.

Конструктивні деталі.

Герметичність корпусу забезпечується гумовими прокладками під кришкою.

Особливості конструкції.

- для стравлювання накопиченого повітря передбачено спеціальний патрубок;
- контроль робочого тиску здійснюється за допомогою манометра на вхідному патрубку;
- випускаються у двох виконаннях: литі та полегшені (штамповані).

3. Конічні фільтраційні апарати.

За принципом дії конічні апарати (рис. 1, в) повністю аналогічні циліндричним.

Процес очищення.

Молоко надходить у корпус через вхідний патрубок, проходить крізь молокоприймальну чашу, яка обтягнута фільтрувальною тканиною, і виводиться через вихідний патрубок.

Обслуговування.

Для зручності відключення апарата під час миття та технічного обслуговування на випускному патрубку встановлено запірний кран.

Переваги та недоліки подано у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

Порівняльний аналіз закритих тканинних апаратів

Тип апарата	Переваги	Недоліки
Циліндричні та конічні	1. Простота конструкції 2. Легкість в обслуговуванні	1. Порівняно мала площа фільтрації 2. Висока трудомісткість обслуговування (збільшує загальні витрати праці на виробництво молока)

Загальні недоліки всіх фільтрів із тканинними перегородками.

- неможливість тривалої безперервної роботи (короткий робочий цикл).
- необхідність регулярного розбирання для очищення та миття.
- ризик розриву фільтрувальної тканини під тиском.
- зниження продуктивності в міру забруднення фільтра.
- ефект «вторинного забруднення» – нові порції молока проходять крізь уже затриманий на тканині шар бруду.

Технологічне рішення для безперервної роботи.

Для забезпечення безперебійного процесу фільтрації на технологічних лініях апарати встановлюють паралельно. За допомогою триходового крана їх по черзі перемикають: поки один працює, інший обслуговують.

Фільтри тонкого очищення молока із замінними фільтрувальними елементами.

Це принципово нове покоління фільтрів з одноразовими очисними елементами, що працюють за вибірковим принципом: вони безперешкодно пропускають великі жирові кульки молока, але надійно затримують навіть найдрібніший бруд всередині своєї структури (рис. 1.2).

Матеріал фільтрувального елемента - сертифікований харчовий поліпропілен, виготовлений методом екструзійного напилення (забезпечує величезну площу фільтрації).

Матеріал корпусу фільтра – довговічна нержавіюча сталь.

Будова фільтрувального каналу – провідні канали є досить великими (40-50 мкм), проте утворюючі їх полімерні нитки вкриті мікроскопічними ворсинками. Нитки укладені в особливому порядку, створюючи лабіринт каналів, повністю заповнених ворсинками.



Рис. 1.2. Фільтрувальні пристрої зі змінними очисними елементами [11,12]

Принцип роботи.

Коли під тиском (робочий тиск процесу становить до 25 атм) молоко проходить крізь картридж, еластичні ворсинки розсуваються під дією великих

важких жирових кульок, дозволяючи їм пройти (рис. 1.3). Водночас легкі дрібні частинки бруду заплутуються у ворсинках і застрягають усередині фільтра.

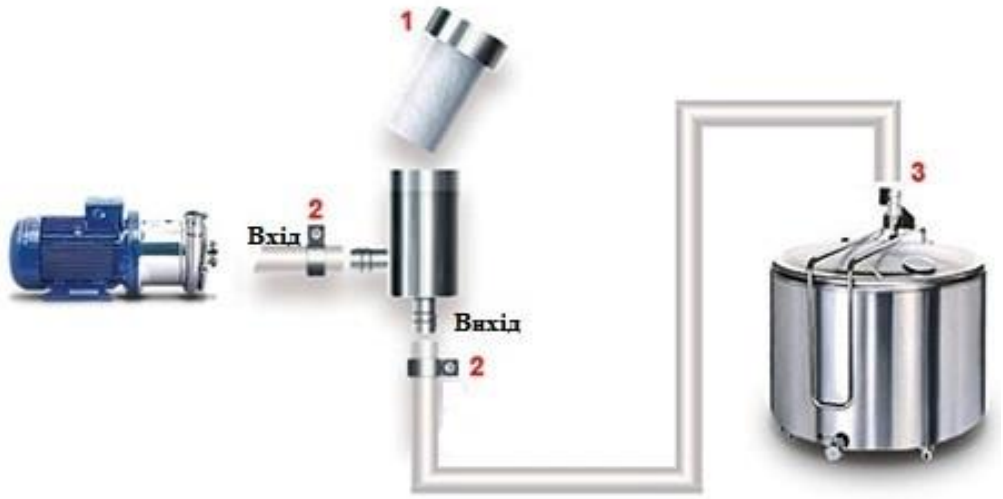


Рис. 1.3. Схема функціонування фільтрувального пристрою у потоці [13]

Експлуатаційні показники:

- ресурс картриджа – очищення від 5 до 10 тон молока (залежно від первинного забруднення).
- вплив температури – при фільтрації холодного молока продуктивність знижується на 25%, оскільки в холодному середовищі бруд частково розчиняється/емульгується в молоці до стану, коли фільтр уже не здатний його затримати.

Ефективність використання:

- очищення від механічних домішок – 98%.
- зниження кислотності та підвищення термостійкості молока.
- зниження кількості соматичних клітин на 50–60% (завдяки затриманню гнійно-кров'яних продуктів маститу).

Слід відмітити наступні недоліки таких систем очищення.

1. Високі вимоги до тиску – фільтри неможливо використовувати в самопливних системах або під час звичайного машинного доїння безпосередньо у потоці, оскільки стандартні молочні насоси (наприклад, НМУ-6) створюють тиск лише 0,8 атм при необхідних 25 атм. Потрібне додаткове потужне насосне обладнання.

2. Низька пропускна здатність та малий загальний термін служби картриджа при роботі в несприятливих умовах. [14]

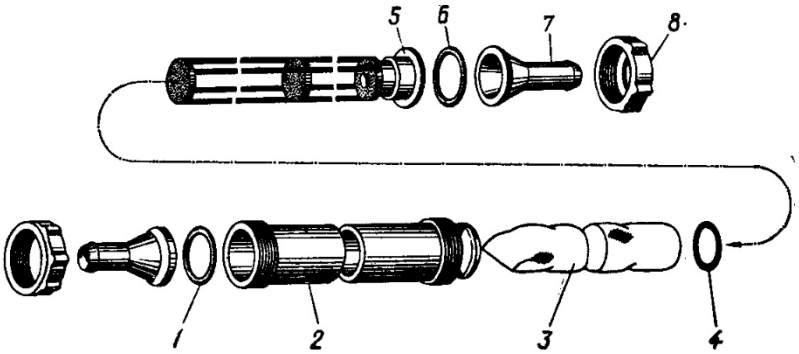
Не дивлячись на належну якість очищення молока за допомогою пористих фільтрувальних елементів не дає можливості використовувати такі системи на доїльних установках, де тиск потоку молока лінії первинної обробки значно менший ніж 25 атм.

Очисники для доїльних установок.

У сучасних потокових лініях доїльних установок з молокопроводами використовуються спеціалізовані циліндричні закриті фільтри. (рис. 1.4)







1.4. Система приймання та фільтрування молока доїльної установки із циліндричним фільтрувальним пристроєм. [15, 16]

Конструкційні особливості.

В середині металевого корпусу (2) розміщено перфорований каркас (5), на який одягається панчішний фільтрувальний елемент (3). Він фіксується гумовим кільцем (4). Герметичність самого фільтра в корпусі забезпечується ущільнювальними гумовими прокладками (1 та 6).

Принцип дії.

Молоко з молокопроводу під тиском надходить у корпус, проходить крізь фільтрувальний матеріал (де лишаються домішки) та спрямовується до охолоджувача. Перед промиванням системи гарячою водою (циркуляційним миттям) фільтрувальний елемент обов'язково виймають з корпусу. Фільтрувальний елемент багаторазового використання, тобто після його очищення шляхом прання він може повторно використовуватись. Це є суттєвою перевагою перед одноразовими фільтрувальними пористими матеріалами.

Ці системи комплектуються високоефективними фільтрувальними елементами (можливе використання і одноразових змінних елементів) з нетканих матеріалів.

Технічні характеристики:

- пропускна здатність: до 3 л/см^2×год.
- робочий тиск у системі: 1,1 атм.
- граничне забруднення молока на вході: 10 мг/л.

Рекомендації для підвищення якості.

Для гарантованого очищення рекомендується встановлювати додатковий (другий) фільтрувальний елемент на кінці шланга безпосередньо перед зливом у резервуар-охолодник. Для безперервного доїння застосовують дубльовану (паралельну) схему з двох очисників, що працюють по черзі.

Переваги.

Простота, зручність обслуговування, отримання молока першого класу чистоти безпосередньо під час доїння.

Недоліки.

Ефект вимивання накопиченого бруду новими порціями молока (що стимулює ріст бактерій) та поступове зниження пропускної здатності фільтра.

На відміну від традиційного фільтрування, відцентрове очищення (рис. 1.5) запобігає розмиванню та вторинному потраплянню в потік накопичених механічних домішок. Осад, що виділяється під дією відцентрових сил, концентрується у грязьовому просторі очисника у вигляді так званого сепараторного слизу. Крім того, цей метод забезпечує ефективне зниження первинного бактеріального обсіменіння молока.

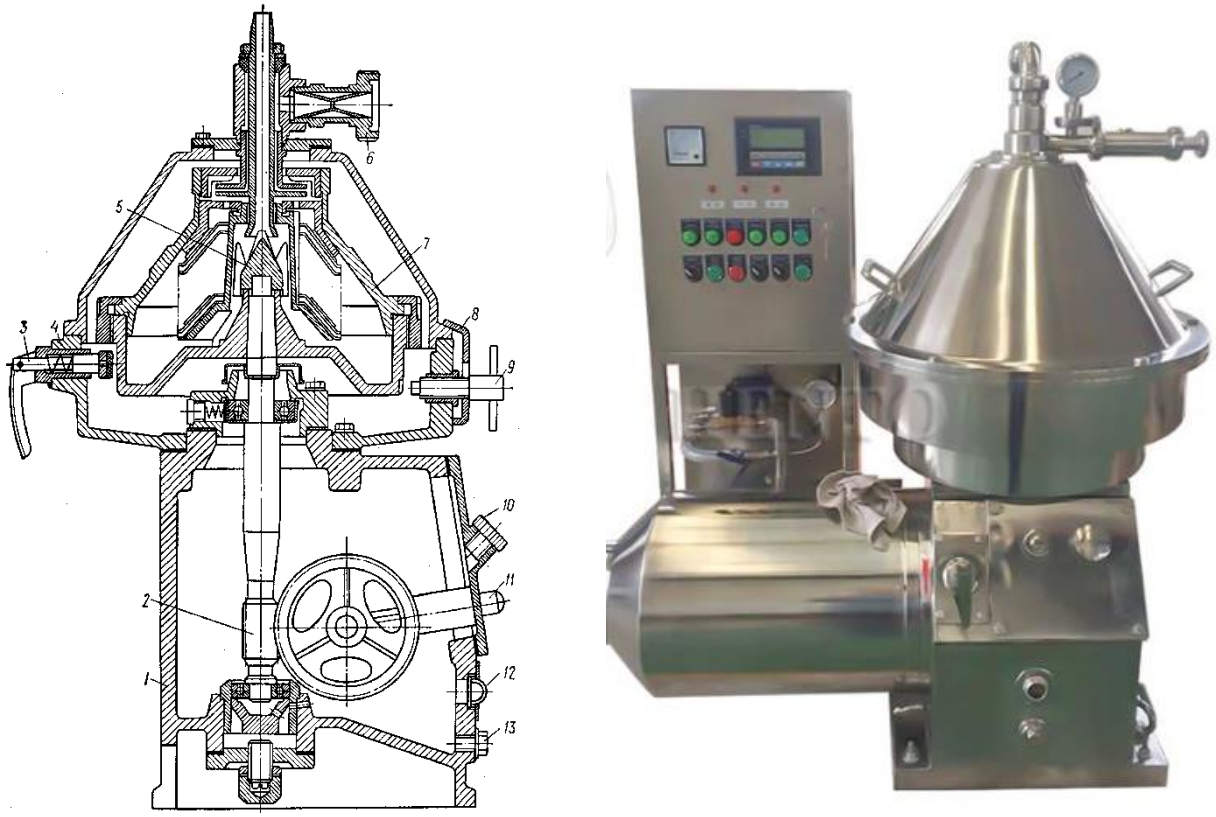


Рис. 1.5. Очисник молока відцентрового типу [17, 18]

Основна перевага відцентрових очисників.

Процес очищення молока відбувається повністю в закритому герметичному потоці.

Технічні та експлуатаційні недоліки відцентрових очисників:

– **трудомісткість обслуговування:** на багатьох типах обладнання досі не вирішено проблему автоматичного вивантаження накопиченого осаду та проведення безрозбірного (циркуляційного) миття. це вимагає значних витрат часу на періодичне розбирання та ручне очищення.

– **деструктивний вплив на жирову фазу:** у процесі відцентрової обробки через інтенсивний механічний вплив руйнуються оболонки жирових

кульок. кількість дестабілізованого жиру зростає у 2-2,5 раза, що суттєво погіршує технологічні показники молока.

– **економічні втрати:** технологічні втрати на кожну 1 тону обробленого молока (у перерахунку на облікову масу) досягають 23,5 кг, що в масштабах року становить понад 100 кг втраченої продукції з розрахунку на одну фуражну корову.

Сучасні високопродуктивні доїльні установки потребують принципово нових проточних очисників. Перспективні розробки мають усунути зазначені недоліки відцентрових систем та одночасно поєднати в собі кращі експлуатаційні переваги фільтраційних апаратів як відкритого, так і закритого типів.

Висновки до розділу

1. Первинне очищення молока безпосередньо під час доїння є критично важливим технологічним процесом. Воно дозволяє істотно підвищити якість сировини та отримати додатковий прибуток завдяки вищим закупівельним цінам на сортове молоко. З огляду на це актуальним є забезпечення якісного функціонування очисників доїльних установок.

2. Принципово новим є покоління фільтрів з одноразовими очисними елементами, що працюють за вибірковим принципом: вони безперешкодно пропускають великі жирові кульки молока, але надійно затримують навіть найдрібніший бруд всередині своєї структури. Проте, такі фільтрувальні системи не можна використовувати доїльних установках, де тиск потоку молока лінії первинної обробки (1,1 атм) значно менший за бажані 25 атм.

3. Відцентрове очищення спричиняє технологічні втрати на кожну 1 тону обробленого молока в кількості 23,5 кг, що в масштабах року становить понад 100 кг втраченої продукції з розрахунку на одну фуражну корову. Тому, не може вважатися доцільним в системах очищення незбираного молока.

РОЗДІЛ 2
УДОСКОНАЛЕННЯ ФІЛЬТРУВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ МОЛОКА ДОЇЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

2.1. Розроблення конструкції фільтрувального пристрою доїльної установки

У ролі прототипу для розробки було обрано серійний фільтр АДМ 09.200А виробництва ТДВ «Брацлав» (Україна), який наразі є найбільш поширеним на доїльних установках. Цей вибір зумовлений зоотехнічними вимогами, а також аналізом переваг і недоліків наявних аналогів. Модернізація базового магістрального циліндричного фільтра спрямована на мінімізацію контакту затриманих механічних домішок із новими порціями молока та на підвищення його пропускної здатності. Це потребує теоретичного та експериментального обґрунтування конструктивних параметрів і технологічних режимів роботи пристрою. Функціональну схему запропонованого вдосконаленого фільтра наведено на рис. 2.1. [19]

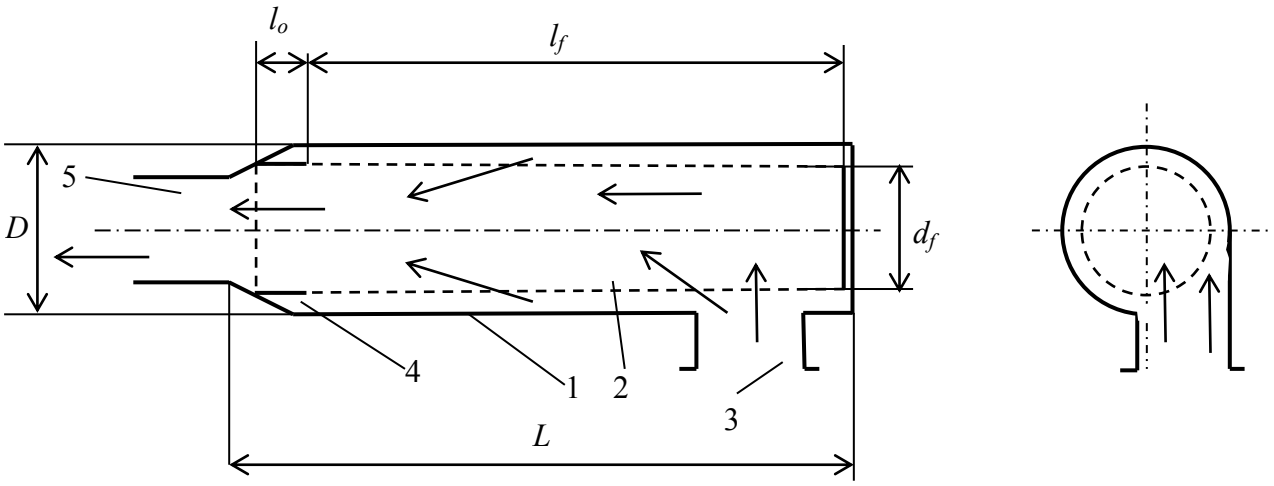


Рис. 2.1. Структурна схема розробки: 1 – корпус; 2 – елемент фільтрувальний; 3 – вхідний патрубок для молока; 4 – зона накопичення бруду; 5 – вихідний патрубок для молока. [19]

Конструкційні особливості.

Головна конструктивна відмінність розробленого пристрою від прототипу полягає в зміні напрямку подачі молока: замість осьового введення застосовано торцеве (тангенціальне). За такої схеми відокремлені механічні домішки залишаються всередині порожнини між фільтрувальним елементом та корпусом. Вони поступово осідають на дно (у зону накопичення), що унеможливлює їхній подальший рух і постійний контакт із новими об’ємами молока.

Процес очищення відбувається за таким алгоритмом:

1. Молоко за допомогою насоса транспортується з молокозбірника доїльної установки та надходить до вхідного патрубка (3).

2. Під дією надлишкового тиску рідина проходить крізь фільтрувальний елемент (2), при цьому механічні домішки затримуються і змиваються в збірник бруду (4).

3. Очищене молоко потрапляє у внутрішню порожнину фільтра й через вихідний патрубок (5) спрямовується до пластинчастого охолоджувача.

Завдяки тангенціальному підведенню молока через патрубок (3) створюється відцентровий ефект, який відкидає частки бруду до внутрішньої поверхні корпусу. Крім того, такий спосіб подачі суттєво збільшує миттєву площу контакту молока з фільтрувальним елементом, забезпечуючи рівномірне гідравлічне навантаження на елемент. Затримані домішки не створюють додаткового опору руху потоку, оскільки під час кожного наступного запуску електродвигуна молочного насоса вони змиваються новою порцією рідини в накопичувальну зону (4).

Переваги запропонованого рішення.

У базовому серійного виробництва фільтрі АДМ 09.200А бруд відкладався на внутрішній поверхні фільтрувального елемента. Внаслідок цього він постійно перебував під дією динамічного тиску нових порцій молока. При кожному черговому запуску насоса накопичені домішки розмивалися потоком, подрібнювалися на дрібніші фракції та проштовхувалися крізь пори

фільтрувального матеріалу. Це суттєво знижувало як ступінь чистоти молока, так і тривалість безперервної роботи фільтра.

Запропоноване конструктивне рішення дає змогу підвищити ефективність механічного очищення молока та подовжити робочий ресурс магістрального фільтра за аналогічних умов експлуатації.

2.2. Розрахунок технологічних та конструкційних параметрів розробленого фільтрувального пристрою

Забезпечення неперервного технологічного процесу машинного доїння з одночасним фільтруванням молока необхідно щоб продуктивність фільтра Q_f була більшою або рівною продуктивності лінії машинного доїння, тобто виконувалась умова [20]:

$$Q_f \geq Q_q, \tag{2.1}$$

де Q_q – продуктивність лінії машинного доїння,

Q_f – продуктивність очисника:

$$Q_f = 3600 \cdot F \cdot \upsilon_f, \tag{2.2}$$

де F – площа поверхні фільтрувальної;

υ_f – швидкість фільтрування.

Швидкість фільтрування визначає витрату молока яке має проіснутися через отвори фільтрувального елемента: [1, 20]

$$\upsilon_f = \frac{\Delta P}{\mu\left(r_f \cdot F + r_d \cdot x_d \cdot \frac{q}{F}\right)}, \tag{2.3}$$

де r_f – опір фільтрувального елемента;

x_d – співвідношення бруду до чистого молока яке потребує очищення;

μ – коефіцієнт в'язкості молока динамічний;

ΔP – тиск за якого проштовхується молока через фільтрувальний елемент, приймається рівним тиску який створює молочний насос;

r_d – об'ємний питомого опору бруду;

q – кількість бруду із розрахунку на одиницю площі фільтрувального елемента:

Питома пропускна спроможність одиниці площі фільтрувального елемента визначається за залежністю, м^3/м^2: [1, 20]

$$q = \left(\sqrt{\left(\frac{r_f \cdot F}{r_d \cdot x_d} \right)^2 + \frac{2\Delta P}{\mu \cdot r_d \cdot x_d}} - \frac{r_f \cdot F}{r_d \cdot x_d} \right) / F, \tag{2.4}$$

$$q = \left(\sqrt{\left(\frac{71{,}88 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}11}{3{,}9 \cdot 10^8 \cdot 0{,}001} \right)^2 + \frac{2 \cdot 80 \cdot 10^3}{1{,}197 \cdot 3{,}9 \cdot 10^8 \cdot}} - \frac{71{,}88 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}11}{3{,}9 \cdot 10^8 \cdot 0{,}001} \right) / 0{,}11 = 5{,}89.$$

$$\upsilon_f = \frac{80 \cdot 10^3}{1{,}197 \left(71{,}88 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}13 + 3{,}9 \cdot 10^8 \cdot 0{,}001 \cdot \frac{5{,}9}{0{,}11} \right)} = 0{,}00329.$$

Продуктивність фільтрувального пристрою становитиме, м^3/год:

$$Q_f = 3600 \cdot 0{,}11 \cdot 0{,}0033 = 1{,}37.$$

Оскільки розрахункова продуктивність розробленого фільтрувального пристрою (1,37 м^3/год) більша ніж фактична продуктивність лінії машинного доїння корів (0,85 м^3/год), технологічний процес очищення на доїльній установці буде проходити без затримок. У зв'язку із чим, прийнята у розрахунках площа фільтрувального елементу (0,11 м^2) розробленого пристрою цілком прийнятна.

Тривалість процесу впродовж циклу очищення становитиме, год: [1, 20]

$$T = T_f + T_n, \tag{2.5}$$

де T_n – витрати часу на заміну фільтрувального елемента;

T_f – кількість часу роботи фільтра за один цикл очищення, год:

$$T_f = \frac{Q_q \cdot T_R}{Q_p}, \tag{2.6}$$

де T_R – гігієнічні та санітарні обмеження тривалості одного циклу машинного доїння корів;

Q_n – подача насоса.

$$T_f = \frac{0,85 \cdot 2,5}{3} = 0,642,$$

$$T = 0,642 + 0,0245 = 0,867.$$

Молочний насос працює періодично, оскільки його продуктивність перевищує потужність технологічної лінії машинного доїння. Завдяки такому режиму кожне наступне ввімкнення насоса змиває осад і бруд від попередньо очищеного молока у місце збору, що дозволяє зберігати фільтрувальну поверхню чистою. Це забезпечує сталу швидкість фільтрації, на відміну від роботи серійного очисника.

Основним параметром який визначає габарити розробленого фільтрувального пристрою (див. рис. 2.1) є корисна величина по довжині фільтрувального елемента, який можна визначити за формулою, м:

$$l_f = \frac{F}{\pi \cdot d_f}, \tag{2.7}$$

де d_f – фільтрувального елемента діаметр.

$$l_f = \frac{0,11}{3,14 \cdot 0,052} = 0,669.$$

Оскільки механічні домішки та бруд залишаються всередині фільтрувального пристрою, довжина очисної поверхні має збільшитися на величину довжини накопичення бруду.

Кількість бруду, який може накопичитися у виділеному просторі під час очищення молока визначається як, м^3: [1, 20]

$$V_d = \frac{1 - m \cdot \left(1 - \frac{\rho_m}{\rho_d}\right)}{\frac{m}{x_d} - 1}, \tag{2.8}$$

де ρ_d – густина бруду;

m – кількість сухості у брудові, кг/кг:

$$m = \frac{1}{1 - \omega}, \tag{2.9}$$

де ω – вологість накопиченого бруду.

$$m = \frac{1}{1 - 0,6} = 2,49,$$

$$V_d = \frac{1 - 2,49\left(1 - \frac{1023,2}{1121,3}\right)}{\frac{2,49}{0,001} - 1} = 0,00003128.$$

За отриманими вище даними визначаємо довжину камери для накопичення бруду від молока, м:

$$l_o = \frac{V_d}{\frac{\pi \cdot \left(d_f\right)^2}{4}}, \tag{2.10}$$

$$l_o = \frac{0,0003128}{\frac{3,14 \cdot 0,052^2}{4}} = 0,01467.$$

Сукупна довжина вставки фільтрувальної елемента, м:

$$L = l_f + l_o, \tag{2.11}$$

$$L = 0,669 + 0,01467 = 0,68.$$

Фільтрувальний елемент розміщений у циліндричному корпусі. Його габарити мають забезпечувати встановлення елемента всередині із збереженням необхідної пропускної здатності очисника в цілому, а також ураховувати наявний асортимент труб із нержавіючої сталі. Відповідно до заданих розмірів фільтрувального елемента, найближчою за параметрами є труба із зовнішнім діаметром 70 мм та товщиною стінки 2 мм. Довжину труби прийнято рівною 700 мм із конструкційних міркувань. Решту конструктивних елементів очисника спроєктовано на основі отриманих розрахунків.

Висновки до розділу

1. Розроблений фільтрувальний пристрій відрізняється від прототипу зміною напрямку подачі молока: замість осьового введення застосовано торцеве (тангенціальне). За такої схеми відокремлені механічні домішки залишаються всередині порожнини між фільтрувальним елементом та корпусом, поступово осідають у зоні накопичення, що унеможливлює їхній подальший рух і постійний контакт із новими порціями молока.

2. Тангенціальна подача молока суттєво збільшує миттєву площу контакту його із фільтрувальним елементом, забезпечуючи рівномірне гідравлічне навантаження. Затримані домішки не створюють додаткового опору руху потоку, оскільки під час кожного наступного запуску електродвигуна молочного насоса вони змиваються в накопичувальну зону.

3. Запропоноване конструктивне рішення дає змогу підвищити ефективність механічного очищення молока та подовжити робочий ресурс магістрального фільтра доїльної установки за аналогічних умов експлуатації.

РОЗДІЛ 3
ЕКСПЛУАТАЦІЙНЕ ТА ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРОБЛЕНОГО ФІЛЬТРУВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ МОЛОКА

3.1. Експлуатаційні особливості розробленого фільтрувального пристрою

Розроблена конструкція фільтра магістрального (рис. 3.1) для системи первинної обробки молока доїльної установки увібрала в собі позитивні ознаки відомих систем які використовуються у серійному виробництві. Так, новим рішенням є виділення простору для накопичення бруду від молока, аналогічно до систем відцентрового очищення. Це стало можливим завдяки зміні напряму подачі молока до фільтрувального елемента по дотичній до кола корпуса фільтра.

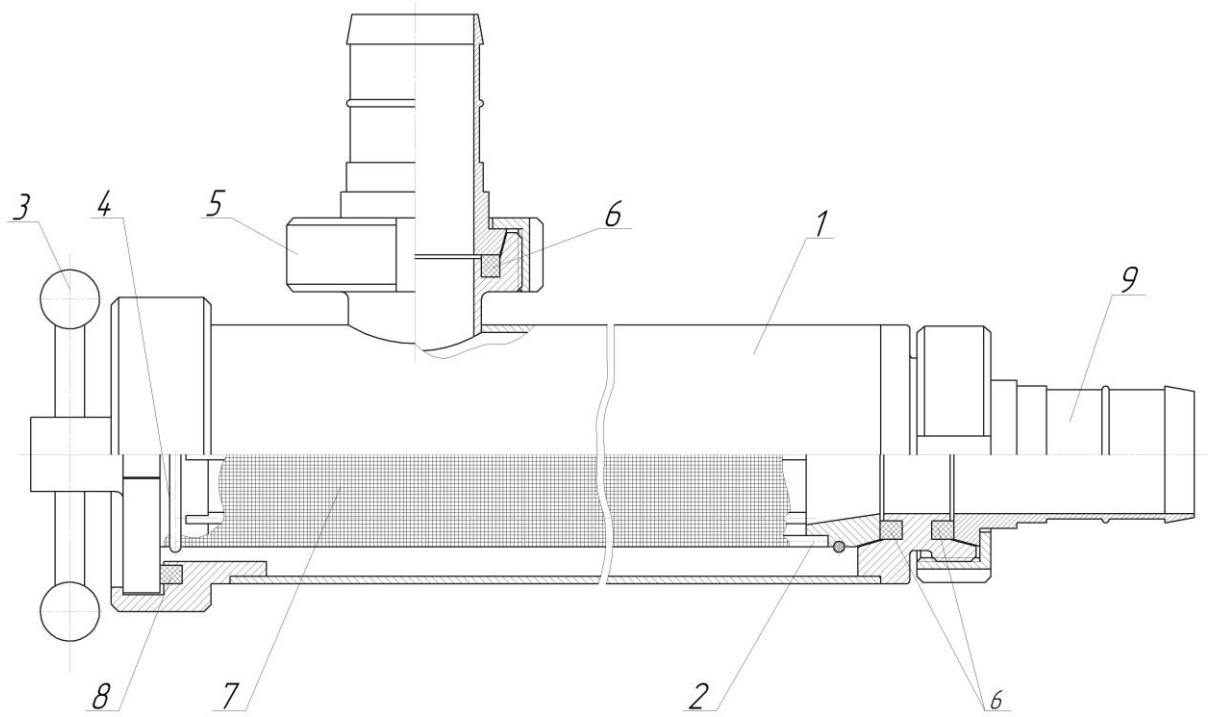


Рис. 3.1. Конструкція розробленого фільтрувального пристрою для молока: 1 – корпус; 2 – основа; 3 – кришка; 4 – фіксатор; 5 – гайка; 6 – ущільнення; 7 – фільтрувальний елемент; 8 – ущільнення кришки; 9 – патрубок.

Для забезпечення безперебійної роботи доїльної установки у систему первинної обробки молока можна додати два фільтрувальних пристрої, які сполучені за паралельною схемою (рис. 3.2).

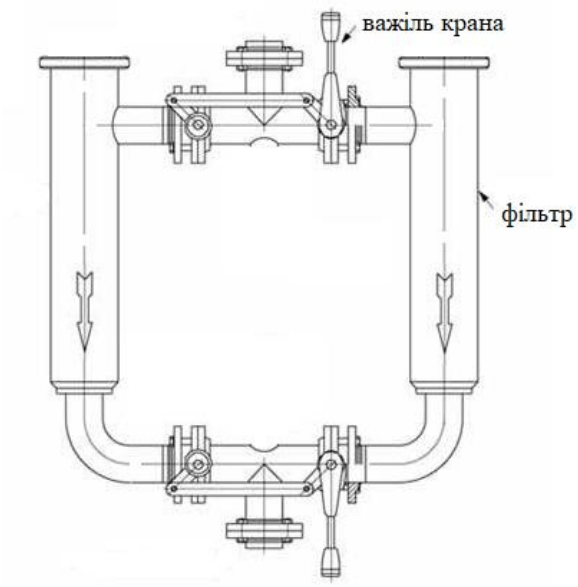


Рис. 3.2. Схема поєднання розроблених фільтрувальних пристроїв

Поєднання двох фільтрів та їх робота за паралельною схемою дозволяє доїльній установці працювати із одним фільтром, в той час коли інший буде незадіяний. Коли ресурс першого фільтрувального елемента вичерпається (наприклад, через дві години неперервної роботи) за допомогою важеля крана до потоку молокопроводу підєднують другий фільтрувальний пристрій. Перший фільтрувальний елемент може бути вилучений і замінений на новий, а у випадку багаторазового використання – відправлений на очищення. При цьому очищається і сам корпус фільтрувального пристрою за допомогою додаткових пристроїв. Це робиться у випадку коли тривалість одноразового циклу доїння перевищує тривалість використання фільтрувального елемента при заданому потокові молока від доїльної установки. Або коли продуктивність лінії машинного доїння перевищує пропускну спроможність одного фільтрувального пристрою. Такий випадок можливий, оскільки насос молочний системи первинної обробки молока майже у 2,5 рази вищу подачу ніж пропускна спроможність розробленого фільтра.

3.2. Визначення економічної доцільності впровадження розробленого фільтрувального пристрою

Економічна ефективність впровадження розробленого фільтрувального пристрою проводиться шляхом порівняння грошових видатків із серійним фільтрувальним пристроєм доїльної установки. При цьому використовуються відомі методики економічного оцінювання [21] нових конструкційних рішень які подано у додатку А.

Результати встановлення економічних показників розробленого та серійного фільтрувальних пристроїв поєднано у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Результати економічної оцінки розробленого фільтрувального пристрою

Показник	Фільтр для молока	
	АДМ 09.200А	Розроблений ФТ-1
Фільтрувальна площа, $м^2$	0,10	0,11
Опір потоку фільтрувального елемента, $Н×с/м^3$	$71,88×10^{-3}$	$71,88×10^{-3}$
Приведені видатки на очищення молока, $грн/м^3$	17,73	11,34
Пропускна спроможність фільтрувального пристрою, $м^3$/год	0,85	1,37
Сукупний економічний ефект від застосування, грн/рік	-	14803,1
Термін окупності додаткових капіталовкладень, років	-	0,27
Габаритні розміри, мм:		
довжина	900	840
ширина	85	94
висота	100	164
Маса, кг	6,0	6,25

Висновки до розділу

1. Для забезпечення безперебійної роботи доїльної установки систему первинної обробки молока обладнують двома фільтрувальними пристроями, які сполучені за паралельною схемою. Це робиться у випадку коли тривалість одноразового циклу доїння перевищує тривалість використання фільтрувального елемента при заданому потокові молока від доїльної установки, або коли продуктивність лінії машинного доїння перевищує пропускну спроможність одного фільтрувального пристрою.

2. Впровадження в експлуатацію удосконаленого очисника молока дає змогу отримати річну економію коштів в розмірі 14803,1 грн, порівняно із експлуатацією серійного очисника, а додаткові капіталовкладення у розроблений фільтрувальний пристрій окупляться протягом 0,27 років на молочній фермі чисельністю 200 дійних корів.

ВИСНОВКИ

1. Первинне очищення молока безпосередньо під час доїння є критично важливим технологічним процесом. Воно дозволяє істотно підвищити якість сировини та отримати додатковий прибуток завдяки вищим закупівельним цінам на сортове молоко. З огляду на це актуальним є забезпечення якісного функціонування очисників доїльних установок.

2. Принципово новим є покоління фільтрів з одноразовими очисними елементами, що працюють за вибірковим принципом: вони безперешкодно пропускають великі жирові кульки молока, але надійно затримують навіть найдрібніший бруд всередині своєї структури. Проте, такі фільтрувальні системи не можна використовувати доїльних установках, де тиск потоку молока лінії первинної обробки (1,1 атм) значно менший за бажані 25 атм.

3. Відцентрове очищення спричиняє технологічні втрати на кожну 1 тону обробленого молока в кількості 23,5 кг, що в масштабах року становить понад 100 кг втраченої продукції з розрахунку на одну фуражну корову. Тому, не може вважатися доцільним в системах очищення незбираного молока.

4. Розроблений фільтрувальний пристрій відрізняється від прототипу зміною напрямку подачі молока: замість осьового введення застосовано торцеве (тангенціальне). За такої схеми відокремлені механічні домішки залишаються всередині порожнини між фільтрувальним елементом та корпусом, поступово осідають у зоні накопичення, що унеможливлює їхній подальший рух і постійний контакт із новими порціями молока.

5. Тангенціальна подача молока суттєво збільшує миттєву площу контакту його із фільтрувальним елементом, забезпечуючи рівномірне гідравлічне навантаження. Затримані домішки не створюють додаткового опору руху потоку, оскільки під час кожного наступного запуску електродвигуна молочного насоса вони змиваються в накопичувальну зону.

6. Запропоноване конструктивне рішення дає змогу підвищити ефективність механічного очищення молока та подовжити робочий ресурс магістрального фільтра доїльної установки за аналогічних умов експлуатації.

7. Для забезпечення безперебійної роботи доїльної установки систему первинної обробки молока обладнують двома фільтрувальними пристроями, які сполучені за паралельною схемою. Це робиться у випадку коли тривалість одноразового циклу доїння перевищує тривалість використання фільтрувального елемента при заданому потокові молока від доїльної установки, або коли продуктивність лінії машинного доїння перевищує пропускну спроможність одного фільтрувального пристрою.

8. Впровадження в експлуатацію удосконаленого очисника молока дає змогу отримати річну економію коштів в розмірі 14803,1 грн, порівняно із експлуатацією серійного очисника, а додаткові капіталовкладення у розроблений фільтрувальний пристрій окупляться протягом 0,27 років на молочній фермі чисельністю 200 дійних корів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Фененко А. І. Механізація доїння корів. Теорія і практика. К., 2008. 200 с.

2. Технологія виробництва продукції тваринництва : підручник / Бусенко О. Т. та ін. К.: Агроосвіта, 2013. 492 с.

3. Палій А. П., Палій А. П., Науменко О. А. Інноваційні технології та технічні системи у молочному скотарстві. Х., 2015. 323 с.

4. Хомик Н. І., Довбуш А. Д. Машини та обладнання для тваринництва: курс лекцій. Ч. 1. Тернопіль: Видавництво ТНТУ, 2013. 224 с.

5. Хомик Н. І., Довбуш А. Д. Машини та обладнання для тваринництва: курс лекцій. Ч. 2. Тернопіль: Видавництво ТНТУ, 2013. 224 с.

6. Посібник-практикум: машини та обладнання для тваринництва / І. І. Ревенко та ін. К.:Кондор, 2011. 396 с.

7. Машини для тваринництва та птахівництва. / за ред. В. І. Кравчука та Ю. Ф. Мельника. Дослідницьке: УкрНДІПВТ ім. Л.Погорілого, 2009. 207 с.

8. Машини та обладнання для тваринництва: в 2 т. / за ред. І. Г. Бойко. Харків, 2006. 502 с.

9. Ревенко І. І., Брагінець М. В., Ребенко В. І. Машини та обладнання для тваринництва : підручник. К. : Кондор, 2012. 713 с

10. Бойко С. Д. Класифікаційні ознаки очисників молока доїльних установок. *Студентські читання–2025 :* матеріали науково-практичної конференції. 30 жовтня 2025 р. Житомир: Поліський національний університет, 2025. С. 150–152.

11. Фільтри тонкого очищення молока. URL: https://agrofrost.com.ua/uk/obladnannya/filtri-tonkogo-ochishhennya-moloka/

12. Фільтр тонкого очищення молока. URL: https://ukrvet.ua/filtr-tonkoho-ochyshchennia-moloka/?srsltid=AfmBOormpT1rTiZuPeTla2_yspOzQvGAbZjjBjMuGIhhsICdaArg2TVl

13. Принцип і порядок роботи молочного фільтру. URL: https://prom.ua/ua/p1215747722-korpus-molochnogo-filtra.html

14. Молочні фільтри. URL: https://ikrtech.com.ua/ua/g85766619-molochnye-filtry

15. Молокопровод Брацлав на 200 голов. URL: https://molservis.com.ua/p1667364221-molokoprovod-bratslav-200.html

16. Фільтр АДМ 09.200А. URL: https://www.bratslav.com/ua/product/filtr-adm-09-200-a/

17. Відцентровий сепаратор для молока. URL: https://ua.hentofoodmachinery.com/dairy-processing-machinery/centrifugal-separator-for-milk.html

18. Сепаратор-молокоочисник Ж5-ОМЕС. URL: https://www.palladium-milk.com.ua/ukr/catalog/molokoochistiteli/zh5-omes/

19. Бойко С. Д. Розробка конструктивної схеми магістрального очисника молока. *Наукові читання – 2026* : збірник тез доповідей науково-практичної конференції за підсумками І-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей. 20 квітня 2026 р. Житомир: Поліський національний університет, 2026. Ч. 2. С. 129–130.

20. Проектування технологічних процесів та технічних засобів у тваринництві: навч. посіб. / за ред. Сидоренка О. П. Харків: НТУСГ, 2010. 406 с.

21. Ташловівецький С. П. Економічне обґрунтування інженерних рішень в агроінженерії. К.: Кондро, 2020. 436 с.