

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко – технологічний факультет

ПОГОДЖЕНО  
Декан факультету  
механіко – технологічний факультет

(назва факультету (ННІ))  
\_\_\_\_\_ Братішко В.В.  
(підпис) (ПІБ)  
“ ” \_\_\_\_\_ 2025 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач кафедри  
охорони праці та біотехнічних  
систем у тваринництві

(назва кафедри)  
\_\_\_\_\_ Хмельовський В.С.  
(підпис) (ПІБ)  
“ ” \_\_\_\_\_ 2025 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему «Вдосконалення технології і технічних засобів мийки та дезінфекції  
ємкостей збору, зберігання і транспортування молока»

Спеціальність 208 «Агроінженерія»  
(код і назва)  
Освітня програма Агроінженерія  
(назва)  
Орієнтація освітньої програми \_\_\_\_\_  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

Д.Т.Н., професор  
(науковий ступінь та вчене звання)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Братішко В.В.  
(ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

К.Т.Н., доцент  
(науковий ступінь та вчене звання)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Ачкевич О.М.  
(ПІБ)

Виконав

\_\_\_\_\_ (підпис)

Алексєєнко Денис Олегович  
(ПІБ студента)

КИЇВ – 2025

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко – технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри  
охорони праці та біотехнічних  
систем у тваринництві

д.т.н., професор \_\_\_\_\_ Хмельовський В.С.  
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ПІБ)  
“ ” \_\_\_\_\_ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи студенту

Алексєєнко Денис Олегович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 208 «Агроінженерія»

(код і назва)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи на тему «Вдосконалення технології і технічних засобів мийки та дезінфекції ємкостей збору, зберігання і транспортування молока» затверджена наказом ректора НУБіП України від «13» листопада 2024 р. №2038 «С»

Термін подання завершеної роботи (проекту) на кафедру 12.12.2025

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи технічні характеристики ємкостей мийки та зберігання молока.

**Перелік питань які потрібно розробити:**

Вступ

- 1 Аналіз технологій очищення та дезінфекції обладнання для молочних ферм
- 2 Теоретичне дослідження робочого процесу миття та дезінфекції внутрішніх поверхонь ємкостей збирання, зберігання та транспортування молока
- 3 Програма роботи та методика експериментальних досліджень мийки та дезінфекції ємкостей для збору, зберігання та транспортування молока
- 4 Техніко-економічне обґрунтування мийки та дезінфекції поверхонь методом розпилення ультрамалого об'єму реагенту

Висновки

Список використаних джерел.

**Перелік графічного матеріалу:**

Оптимальна колоїдність миючого розчину; Принципова схема наповнення цистерни молоковоза; Ефективність методів очищення; Схема процесу відмивання жирового забруднення молока з твердої поверхні; Загальний вигляд експериментальної установки; Конструкторсько-технологічна схема експериментальної комбінованої мийної установки; Схема комплексної мийної установки.

Дата видачі завдання «09» лютого 2024 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_

(підпис)

Ачкевич О.М.

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_

(підпис)

Алексєєнко Д.О.

(прізвище та ініціали студента)

## РЕФЕРАТ

Він складається з реферату, ілюстрацій, таблиць, 27 посилань, та 32 рисунків.

Ключові слова: молоко, мийка, ефективність, дезінфекція, транспортування.

Одним із пріоритетних напрямків вдосконалення технології та технічних засобів миття та дезінфекції внутрішніх поверхонь ємностей для збору, зберігання та транспортування молока є зниження витрати води та миючого реагенту, а також зниження хімічного впливу миючого та дезінфікуючого реагентів при забезпеченні необхідної якості молока.

У сільськогосподарських та промислових процесах очищення та дезінфекція поверхонь обладнання, що безпосередньо контактують з молочною сировиною, становить значну частину споживання ресурсів, зокрема води та мийних засобів. Сучасні технології очищення та дезінфекції для виробництва молочної сировини на фермах спираються на гідродинамічні властивості рідин (миття під високим тиском), які безпосередньо усувають забруднення, або на термодинамічні підходи (використання пари для очищення та дезінфекції). Однак ці технології є ресурсоємними, енергоємними та трудомісткими. Зі зростанням споживання води, мийних засобів та електроенергії, технології обробки поверхонь з використанням мікродозованих розчинів та озону стають дедалі важливішими. Ці технології зменшують споживання води та мийних засобів, покращують бактеріологічну безпеку та скорочують час очищення та дезінфекції обладнання, особливо під час тривалих простоїв (три години або більше).

## ЗМІСТ

Вступ	5
1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ МИЙКИ ТА ДЕЗІНФЕКЦІЇ МОЛОЧНОГО ОБЛАДНАННЯ	8
1.1. Молочна сировина як джерело забруднення ємностей для збору, зберігання та транспортування	8
1.2. Типи забруднень ємностей збору, зберігання, транспортування молока	13
1.3. Миюча дія та процес прилипання забруднень	15
1.4. Процеси миття та дезінфекції ємностей для збору, зберігання та транспортування молока	18
1.5. Конструктивні особливості ємностей для збору, зберігання та транспортування молока, що впливають на якість миття та дезінфекції	24
2. ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ МИТТЯ ТА ДЕЗІНФЕКЦІЇ ВНУТРІШНІХ ПОВЕРХОНЬ ЄМКОСТЕЙ ЗБИРАННЯ, ЗБЕРІГАННЯ ТА ТРАНСПОРТУВАННЯ МОЛОКА	32
2.1. Теоретичні дослідження процесу забруднення поверхонь	32
2.2. Теоретичне дослідження миття та дезінфекції поверхонь із застосуванням поверхнево-активних речовин	33
2.3. Удосконалення технології та технічних засобів миття та дезінфекції ємностей	35
3. ПРОГРАМА РОБОТИ ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ МИЙКИ ТА ДЕЗІНФЕКЦІЇ ЄМКОСТЕЙ ДЛЯ ЗБОРУ, ЗБЕРІГАННЯ ТА ТРАНСПОРТУВАННЯ МОЛОКА	38
3.1. Будова та принцип роботи експериментальних установок	38
3.2. Розробка схеми конструкторсько-технологічної експериментальної та виробничої комбінованої мийної установки	42
3.3. Розробка конструкції мийної головки для струменевої обробки внутрішніх поверхонь ємностей підвищеного об'єму	46
3.4. Розробка конструкції портативного озонатора для дезінфекції внутрішніх поверхонь ємностей без попереднього миття	48
4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МИЙКИ ТА ДЕЗІНФЕКЦІЇ ВНУТРІШНІХ ПОВЕРХОНЬ ЄМКОСТЕЙ ДЛЯ ЗБИРАННЯ, ЗБЕРІГАННЯ ТА ТРАНСПОРТУВАННЯ МОЛОКА	52
4.1. Результати експериментальних досліджень мийки поверхонь	52
4.2. Результати експериментальних досліджень дезінфекції поверхонь	58
5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ МИЙКИ ТА ДЕЗІНФЕКЦІЇ ПОВЕРХОНЬ МЕТОДОМ РОЗПИЛЕННЯ УЛЬТРАМАЛОГО ОБ'ЄМУ РЕАГЕНТУ	63
5.1. Технолонвчна лінія	63
5.2. Економічна ефективність результатів дослідження	68
ВИСНОВКИ	74
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	75

## ВСТУП

Актуальність теми досліджень. Одним із пріоритетних напрямів удосконалення технології та технічних засобів миття та дезінфекції внутрішніх поверхонь ємностей збору, зберігання та транспортування молока є зниження витрати води та миючого реагенту, а також зниження хімічного впливу миючого та дезінфікуючого реагентів при забезпеченні необхідної якості молока.

Згідно з прогнозом довгострокового соціально-економічного розвитку на період до 2030, розробленому, сучасний стан водних ресурсів, утилізації хімічних речовин визначає політику економії ресурсів. Миття та дезінфекція поверхонь обладнання, що безпосередньо стикаються з молоком, в агропромислових процесах збирання, зберігання та транспортування є одними з основних джерел ресурсоспоживання води, миючих та дезінфікуючих реагентів.

Сучасний стан водних ресурсів планети визначає політику економії даних життєво важливих джерел. Нестача прісної води особливо відчувається в посушливих регіонах, де доступ до прісних водойм або відсутній, або обмежений.

Зі зміною клімату до регіонів з дефіцитом прісної води можуть додатись території, які на сьогоднішній день не знають таких проблем, у тому числі Тамбовська область. Дефіцит прісної води є причиною підвищення вартості ресурсів і, як наслідок, подорожчання сільськогосподарської продукції. У зв'язку з чим багато виробників рослинної сільськогосподарської продукції перейшли на ресурсозберігаючі технології, наприклад, краплинне зрошення, обробка рослин ультрамалими обсягами гербіцидів, інсектицидів, підживлення і так далі.

Миття та дезінфекція поверхонь обладнання, що безпосередньо стикаються з молочною сировиною, в агропромислових процесах збирання, зберігання та транспортування є одними з основних джерел ресурсоспоживання: води та миючих реагентів. Існуючі технології миття та дезінфекції у виробництві молочної сировини у фермерських тваринницьких господарствах засновані на гідродинамічних властивостях перебігу рідини, що безпосередньо впливають на забруднення (миття під тиском), або на термодинамічних підходах (застосування парогенерації для миття та дезінфекції). Однак дані технології ресурсо-, енерго- та час затратні. Збільшена витрата води, миючого реагенту, електроенергії робить актуальним застосування технології обробки поверхонь ультрамалим об'ємом водяного миючого розчину та озонування. Дані технології можуть знизити витрату води, миючого реагенту, підвищити бактеріологічну безпеку, скоротити час миття та дезінфекції обладнання, особливо в умовах тривалої перерви (більше 3 годин) у його використанні.

Використання комбінованої мийної установки дозволяє вирішити завдання зниження ресурсо-, енерго- та часових витрат, що особливо актуально для невеликих фермерських тваринницьких господарств.

Комбінування мийки та дезінфекції в одній установці дозволяє поліпшити параметри: продуктивність, рівень технологічності конструкції, автоматизацію, а також зменшити металоємність.

Однак відомі теоретичні та експериментальні дослідження недостатньо враховують можливості та перспективи застосування технологій ультрамалого обсягу розпилення миючого засобу та озонації при миття та дезінфекції внутрішніх поверхонь ємностей збору, зберігання та транспортування молока, їх вивчення необхідно продовжити.

Мета дослідження: підвищення ефективності миття та дезінфекції ємностей збору, зберігання та транспортування молока.

Завдання дослідження:

- провести аналіз технологій та засобів миття та дезінфекції обладнання при виробництві сирого молока;

- теоретично та експериментально обґрунтувати параметри та режими миття та дезінфекції при використанні ультрамалого об'єму реагенту; – розробити методика розрахунку миття та дезінфекції внутрішніх поверхонь ємностей збору, зберігання та транспортування молока із застосуванням системи розпилення ультрамалого об'єму миючого та дезінфікуючого засобу та системи озонування;

- дослідити фізико-хімічні властивості частинок дрібнодисперсного середовища миючих та дезінфекційних засобів;

- розробити та обґрунтувати конструктивно-технологічні схеми експериментальної та виробничої установки миття та дезінфекції внутрішніх поверхонь ємностей ультрамалим об'ємом розпилення розчинів та визначити економічну ефективність результатів дослідження.

Теоретичні залежності параметрів ефективності миття та дезінфекції від обсягу миючого та дезінфікуючого реагенту, а також способу його нанесення на поверхню, отримані в ході досліджень, дозволяють обґрунтувати параметри миття та дезінфекції внутрішніх поверхонь ємностей збору, зберігання та транспортування молока. Практична значущість роботи полягає у створенні технічних засобів миття внутрішніх поверхонь ультрамалим об'ємом миючого засобу та дезінфекції із застосуванням озонації.

Теоретичні дослідження засновані на теорії дифузії та броунівського руху, фізико-хімічних властивостях аерозолів, відомих законів фізики, термодинаміки, газогідродинаміки. Експериментальні дослідження виконувались відповідно до загальновідомих методик відбору проб, визначення розмірів та вагової концентрації частинок молока та аерозолів, та розробленими на їх основі приватними методами. Лабораторні та виробничі дослідження проводилися з використанням сучасних електронних та механічних приладів та установок методами хронометражних спостережень та

вимірювань. При обробці експериментальних даних застосовувався метод математичної статистики з використанням програм роботи з електронними таблицями Microsoft Excel, пакетом для математичного аналізу Mathcad 14, мовою програмування Python.

Основні положення, що виносяться на захист:

- результати теоретичних досліджень закономірностей створення ефективних систем миття та дезінфекції молочного обладнання способом розпилення ультрамалого обсягу реагентів;
- конструктивно-технологічна схема експериментальної мийно-дезінфікуючої установки із застосуванням ультрамалого розпилення мийного розчину та озонування;
- Конструкція комбінованої мийної установки;
- удосконалена методика розрахунку процесу миття та дезінфекції внутрішніх поверхонь ємностей збору, зберігання та транспортування молока;
- результати експериментальних досліджень щодо обґрунтування параметрів технологічних процесів миття та дезінфекції обладнання для збирання, зберігання та транспортування молока;
- техніко-економічна оцінка результатів досліджень.

## 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ МИЙКИ ТА ДЕЗІНФЕКЦІЇ МОЛОЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

### 1.1. Молочна сировина як джерело забруднення ємностей для збору, зберігання та транспортування

Молоко – це складна за хімічним складом біологічна рідина. Основними його компонентами можна назвати такі речовини: білки, жири, вуглеводи, мінеральні речовини, вітаміни, біологічні активні речовини, і навіть вода. У свою чергу, дані компоненти поділяються на сотні речовин, що входять до їхньої структури. У таблиці 1.1 наведено наближене відсоткове співвідношення компонентів у складі молока. Ця таблиця не претендує на опис повного хімічного складу молока, його склад може змінюватися в залежності від різних умов, наприклад, вмісту корів, їх годування, догляду, сезону, породи, умов зберігання тощо. Однак наведені в таблиці компоненти дають зрозуміти загальний склад даного продукту, і якщо в одних процесах дані компоненти є цінними поживними елементами, то в мийці та очищенні вони являють собою забруднення, а дезінфекції частина компонентів будуть джерелами розмноження і поширення патогенних мікроорганізмів.

Як основний компонент, що вимагає особливого значення для миття та очищення ємностей, буде жир, що виступає у вигляді механічного забруднення.

Для процесу дезінфекції важливими компонентами є ферменти, які у молоці. За участю ферментів протікають багато біохімічних процесів. Вони мають складну структуру білка. За присутністю в молоці можна виділити протеазу (розщеплює білок), ліпазу (розщеплює жир), амілазу (розщеплює молочний цукор, вуглеводи).

Таблиця 1.1 – Відсоткове співвідношення компонентів молока

Компонент	Частка в молоці
1 Вода	84%
2 загальний білок	3,3%
в тому числі	
казеїн	2,7%
альбумін і глобулін	0,6%
3 Жир	3,7%
4 Лактоза	4,7%
5 Зола	0,5%
6 Кальцій	0,11%
7 Магній	0,02%
8 Натрій	0,04%
9 Калій	0,14%
10 Фосфати	0,21%
11 Цитрати	0,2%

12 Хлориди	0,1%
13 Бікарбонати	0,01%
14 Сульфати	0,02%
15 хлористий натрій	0,085%
16 хлористий калій	0,084%
17 хлористий кальцій	0,120%
18 лимоннокислий натрій	0,222%
19 лимоннокислий калій	0,049%
20 лимоннокислий магній	0,040%
21 лимоннокислий кальцій	0,214%
22 фосфати кальцію	0,144%
23 фосфат калію однозаміщений	0,117%
24 фосфат калію двозаміщений	0,083%
25 фосфат магнію	0,105%
26 Мідь	0,2-0,3мг/л
27 Свинець	0,02 мг/л
28 Залізо	0,5 мг/л
29 Марганець	0,03 мг/л
30 Молібден	0,06 мг/л
31 Цинк	0,3 мг/л
32 Йод	0,04 мг/л
33 Кобальт	0,0005 мг/л

Також обсяг ферментів входять пероксидаза, яка служить індикатором при встановленні режиму пастеризації молока, редуктазу, за змістом якої судять про санітарні умови отримання молока і ступеня його свіжості, каталаза, що служить індикатором фізіологічного стану тварини.

Слід зазначити наявність у складі молока малої кількості газів: кисень, вуглекислий газ, азот. Однак при досягненні молоком точки кипіння ця кількість успішно випаровується. Обов'язковою складовою молока є вода, без якої не можуть протікати багато фізико-хімічних та біохімічних процесів. Вода зумовлює фізичний стан продукту.

З погляду харчування одним із цінних компонентів є жири (ліпіди), представлені в молоці у вигляді молочного жиру, фосфатидами та стеринами. Молочний жир – це складний ефір спирту гліцерину та жирних кислот. У найбільшій кількості в молочному жирі містяться пальмітинова, міристинова, олеїнова та стеаринова жирні кислоти. Особливістю молочного жиру є відносно високий вміст низькомолекулярних, летких розчинних у воді жирних кислот.

Молочний жир перебуває у молоці в диспергированном вигляді, тобто. у вигляді дрібних жирових кульок діаметром 4-5 мкм. Ці кульки покриті

тонкою білковою оболонкою, до складу якої входять жироподібні речовини: фосфати та стерини.

У фосфати (лецитин і кефалін) крім гліцерину та жирних кислот також входять фосфорна кислота та азотна основа. Стерини (холестерин та ергостерин) – високомолекулярні ароматичні спирти. Температура плавлення жирів досить низька. Базова норма частки жиру в молоці становить 3,4% [4]. Молоко, як сировина, під час тривалого транспортування чи зберігання у ємностях піддається впливу мікроорганізмів. Такий вплив спричиняє бактеріологічне забруднення сировини. Об'єми суперечок бактерій та їх колоній характеризується навколишнім середовищем, тобто середовищем ємності транспортування та зберігання. Рівень бактеріологічного забруднення молока залежить від ступеня чистоти даних ємностей.

Молоко перевозять спеціалізованими транспортними засобами як вантажі, що швидко псуються. Як ємності для транспортування молока застосовують цистерни для харчових рідин і фляги, а також можуть бути застосовані інші види тар з матеріалів дозволених органами охорони здоров'я для контактування з молоком та його продуктами. Транспортування здійснюють не більше 12 годин при температурі молока від 2 до 8 °С.

Зберігання молока на фермі здійснюється в ємностях не більше 24 годин після доїння за температури молока  $4 \pm 2$  °С.

У свіжовидоєному молоці є бактерицидні речовини (див. табл. 1.1), тривалість дії яких на мікроорганізми залежить від температурних режимів транспортування та зберігання молока. Бактерицидні властивості неохолодженого молока зберігаються протягом 1 – 2 год, при швидкому охолодженні до 4 – 6°С – протягом 24 – 36 год. Тому існує вимога – молоко, що надходить на переробні підприємства, повинно мати температуру не вище 10°С. Особливу увагу необхідно приділяти мийці, очищенню та дезінфекції ємностей, коли використовується для транспортування та зберігання неякісна сировина – молоко від хворих тварин або підозрюваних на захворювання на ящур, бруцельоз, туберкульоз та інші.

Наявність хімічних забруднень у молоці також має бути зведена до мінімуму. Під хімічними забрудненнями маються на увазі залишки миючих та дезінфікуючих засобів, солі важких металів, пестициди, антибіотики, інші інгібуючі речовини та активні хімічні речовини, що широко зустрічаються у виробництві молочних ферм. У цьому випадку неякісною сировиною буде фальсифіковане молоко (підняте, розбавлене водою, знежирене), з наявністю нейтралізуючих (сода, аміак) та консервуючих речовин, із запахом та присмаком хімікатів, нафтопродуктів або іншими сторонніми присмаками та запахами.

Якість молока залежить від фізико-хімічних та мікробіологічних показників, таблиця 1.2. Натуральне молоко в основному виступає як сировина агропромислового комплексу для харчової промисловості, де відбувається його подальша переробка. У зв'язку з чим проведено

стандартизацію молока-сировини та її сортування. У таблиці 1.3 подано параметри визначення сорту молока.

*Таблиця 1.2 – Загальні показники якості молока*

Показник	Значення
1 Щільність	1,027 – 1,032 г/см <sup>3</sup>
2 Титрована кислотність	16 – 19°Т
3 Активна кислотність	6,68 рН
4 Ступінь чистоти	I група
5 Термостійкість за алкогольною пробою	72 – 75 %
6 Бактеріальна обсіменіність	I клас

Щільність визначається співвідношенням обсягу молока при 20°С до того ж обсягу води при 4°С. Кислотність характеризує свіжість молока. Титрована кислотність обумовлена наявністю у свіжому молоці газів, білкових речовин та солей органічних та неорганічних кислот, кислотність нижче 16 °Т може свідчити про фальсифікацію молока (наприклад, розведенням водою), при високій кислотності молоко не витримує процес нагрівання (відбувається коагуляція білків). Свідчення активної кислотності аналогічно свідчать про стан свіжості молока. Ступінь чистоти сировини визначають у першу чергу за механічними забрудненнями, що відображає санітарний стан молочної ферми та входить до системи якісної оцінки молока. Забрудненість визначають шляхом пропускання через фільтр (як шар вати) заданого обсягу молока і порівнюють ступінь забрудненості фільтра з еталоном. Бактеріальну обсіменіння молока визначають за редуцтажною пробою. Тривалість знебарвлення метиленової сині або зміна фарбування резазурину дозволяє оцінити молоко на наявність у ньому бактерій.

Деяка кількість бактерій, залежно від класу бактеріального обсіменіння молока, допускається в сировину, проте наявність патогенних мікроорганізмів (бактерій) та вірусів небезпечних для життя та здоров'я людини не допустима.

*Таблиця 1.3 – Показники сорту молока*

Показник	Сорт молока			
	найвищий	перший	другий	несортовий
Консистенція	Однорідна рідина без осаду і пластівців. Заморожування не допускається.			Наявність пластівців білка, механічних домішок
Смак і запах	Чистий, без сторонніх запахів і домішок, не властивих свіжому натуральному молоку		У зимово-весняний період допускається	Виражений кормовий присмак і запах

		слабо виражений кормовий присмак і запах.	
Колір	Білий, світло-кремовий		Кремовий, світло-сірий, сірий
Кислотність, °Т	16 – 18	16 – 20,99	
Група чистоти, не нижче	I	II	III
Щільність, кг/м <sup>3</sup>	1028	1027	Менше 1026,9
Температура замерзання, °С	– 0,52		Вище – 0,52

Фізичні показники молока, що транспортується і зберігається (температура замерзання, температура кипіння, в'язкість, осмотичний тиск та ін.) доцільно знати при конструюванні відповідних ємностей. У момент утворення молока в організмі жир у ньому знаходиться в рідкому стані і молоко є типовою емульсією «масло – вода».

Оболонки частинок жиру даної емульсії поєднані, що складаються з високомолекулярних (білки) та низкомолекулярних (фосфоліпиди) поверхнево-активних речовин – білково-фосфоліпідний емульгатор.

При охолодженні молока починається кристалізація частинок жиру. Жирові кульки деформуються, але оболонка зберігає свої стабілізуючі властивості вже суспензії жиру. Структура оболонки крапель жиру дозволяє молоку як емульсії бути стійким по відношенню до процесу коалесценції.

По Шторху, жирова кулька оточена трьома шарами: внутрішнім тонким темним шаром; фосфоліпідний шар; широкий дифузний протеїновий шар. Оболонка жиру має вигляд перфорованого фрагмента, поділеного на малі осередки, які у своїй сукупності утворюють сітку. Фосфоліпідний шар представлений насамперед речовинами: лецитин, кефалін, сфігномієлін. За Дженесом і Пальмером, товщина шару відповідає граничному мономолекулярному  $(18 - 26) \cdot 10^{-10}$  м (довжина молекули лецитину. Об'єм фосфоліпідів в оболонці становить  $30\% (0,015 - 0,022) \cdot 10^{-3}$  г на  $100 \text{ см}^2$  міжфазної поверхні.

Протеїни в оболонці (оболонкові протеїни), за Кінгом, відрізняються від інших протеїнів, які можуть перебувати у складі молока. Їхня кількість становить  $(0,034 - 0,049) \cdot 10^{-3}$  г на  $100 \text{ см}^2$  поверхні жирових кульок.

Відношення числа гідрофільних бічних груп поліпептидного ланцюга до гідрофобних приблизно дорівнює 2, що характеризує оболонковий протеїн як гідрофільний.

Відповідно до роботи жирова крапля, виходячи з клітини молочної залози, обволікається біомембраною цієї клітини. Біомембрани клітин мають бімолекулярний фосфоліпідний шар – два суміщені адсорбційні шари, з'єднані вуглеводневими радикалами фосфоліпідів. У структуру біомембрани входять -цитомембрана, мембрана мітохондрій, мієлін, дископодібні структури сироватки.

На основі аналізу даних робіт можна скласти структуру оболонки частинки жиру. Перший шар складається з розгорнутих молекул оболонкового протеїну, ланцюги якого стикаються з поверхнею жирової кульки. Товщина дифузного протеїнового шару коливається в межах  $150 \cdot 10^{-10}$  м. Другий шар – бімолекулярний шар фосфоліпідів з вуглеводневими радикалами, який безпосередньо не примикає до неполярної фази частинки жиру. Вуглеводневі радикали утворюють власну фазу товщиною приблизно  $50 \cdot 10^{-10}$  м. Третій шар щільний, також протеїновий. Його товщина  $30 \cdot 10^{-10}$  м. Модель оболонки жирової краплі представлена на рисунку 1.1.

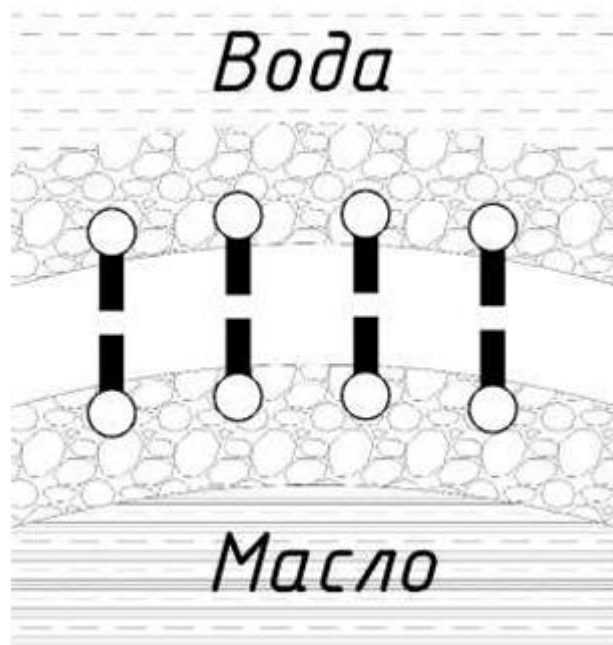


Рисунок 1.1 – Модель оболонки краплі молочного жиру

На рисунку 1.2 представлена жирова крапля у різних стадіях освіти.

## 1.2. Типи забруднень ємностей збору, зберігання, транспортування молока

У роботі [12] поверхневі забруднення відносять до варіанту матеріалу, субстанції та енергії (як правило, іонізованої), яка має вплив на продукт. Там же дані забруднення для загального випадку поділяють на дві категорії: плівкові та частинки. Можливі інші класифікації забруднень можуть

наводиться залежно від специфіки галузі. В результаті, загальна класифікація забруднень може бути величезною, проте цінність її сумнівна через те, що для окремих галузей і сфер діяльності більшість з них неактуальна.

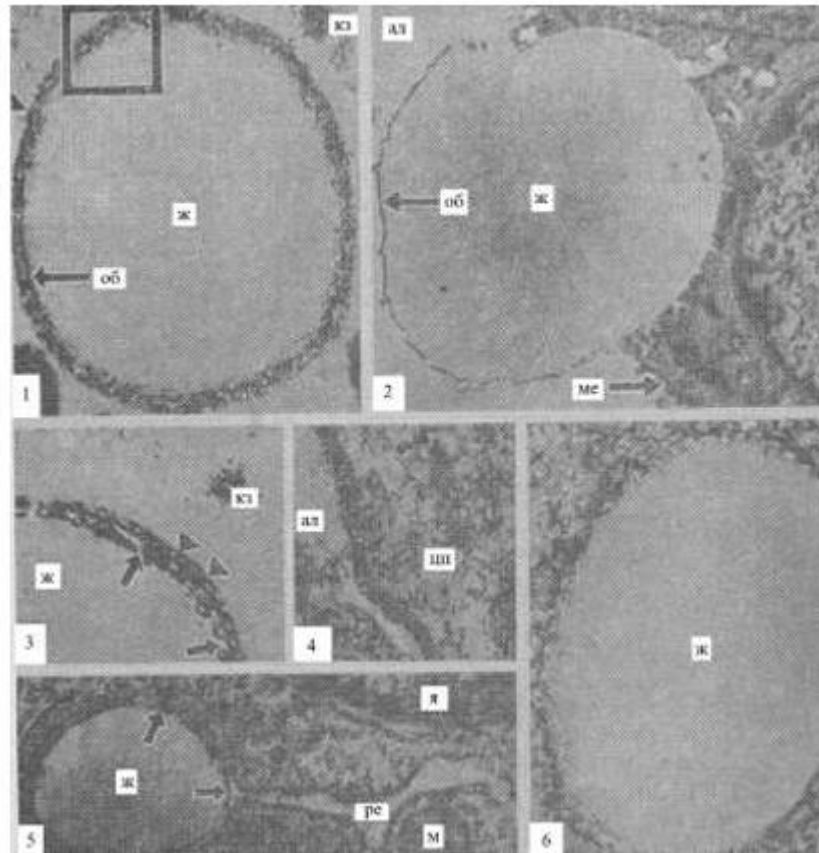


Рисунок 1.2 – Кулька молочного жиру на різних стадіях утворення:  
 1) Крапля молочного жиру; 2) Крапля молочного жиру в момент виходу в провіт альвеоли молочної залози; 3) Оболонка краплі молочного жиру; 4) Відрізок мембрани; 5) Крапля молочного жиру в момент виникнення всередині ендоплазматичної ретикули; 6) Штучна стабілізована жирова крапля; ж - жир; об - оболонка; к<sub>з</sub> - казеїн; а<sub>л</sub> - альвеола; м<sub>с</sub> - мембрана; я - ядро; м - мітохондрія; ре - ретикула; ц<sub>п</sub> - цитоплазма

Так, для сільськогосподарської ферми із заготівлі сирого молока як сировини для подальшої молочної переробки на молокозаводах необхідно виділити такі типи поверхневих забруднень, які утворюються на поверхнях ємностей для збору, зберігання та транспортування:

- механічні;
- бактеріологічні;
- хімічні.

Механічні забруднення як відносно твердих нерозчинних у водному розчині частинок ранжируються за розміром. Найбільш актуальними для розгляду з позиції видалення їх з поверхні є частинки діаметром від 1 нм до 10 мкм. Великі частинки доцільно відокремлювати від продукту в процесі його

фільтрації, а частинки менших розмірів не впливають на якість продукту і не становлять загрози життю та здоров'ю споживача.

Бактеріологічне забруднення є загальною кількістю одиниць бактерій, вірусів і мікроорганізми. Механізм осідання визначається процесами обмінення поверхонь обладнання за наявності сприятливих умов та живильного середовища. У разі поживним середовищем можуть бути органічні сполуки молока, своєю чергою, які у вигляді механічного забруднення.

Хімічні забруднення – елементи та сполуки, які входять у хімічну реакцію з поверхнею устаткування чи продуктом (молоком). Механізм утворення таких забруднень аналогічний механічним забрудненням. Джерелом таких забруднень можуть служити, у тому числі, хімічні засоби для чищення.

### **1.3. Миюча дія та процес прилипання забруднень**

Сукупність технологічних процесів, що супроводжуються явищами, що відбуваються на поверхнях розділу, в поверхневих шарах на межах різних фаз (поверхневі явища) називають миючою дією. Миюча дія (набухання, дифузія в розчині води) миючих засобів визначається їх поверхневими властивостями: поверхневим натягом, емульгуючою, піноутворюючою, пептизуючою здібностями.

Відповідно, миючі засоби – це особлива група технічних продуктів. Вони поділяються на дві основні групи. До першої групи відносять речовини, що мають високу поверхневу активність і високу міцність поверхневих плівок в результаті напівколоїдного стану у водному середовищі (типу мила і милоподібних речовин). Це органічні речовини, розчинні у воді у вигляді молекул і колоїдних частинок, частково дисоційованих на іони, що мають виражену полярну структуру. До другої групи відносять високодисперсні емульгатори (типу глини).

Основою миючої дії першої групи є їх поверхнева активність, а також механічна міцність та в'язкість адсорбційних плівок (обов'язкова умова для процесів піноутворення та емульгування). Поверхнева активність - здатність адсорбуватися в прикордонних шарах міжфазних поверхонь розділу. Усі частинки мила дисоційовані на іони та колоїдні аніони залишку жирної кислоти. Адсорбція пов'язана з орієнтацією молекул і колоїдних частинок (міцел) в адсорбційному шарі полярними групами вглиб водного розчину, а вуглеводневими частинами менш полярне середовище і з зниженням надлишку вільної енергії поверхневого шару. Водні розчини мила мають складну природу, їх властивості підпорядковуються теорії колоїдно-електрохімічного балансу, що залежить від концентрації речовини у воді. Крім концентрації, істотною роллю на баланс надає старіння розчинів, в результаті

якого поверхнева активність і міцність поверхнева змінюється в залежності відхилення величини колоїдності від оптимуму.

На рисунку 1.3 представлений графік оптимуму колоїдності водного розчину миючого засобу. Зі зростанням молекулярної (міцелярної) маси розчиненої речовини або вмісту колоїдно-дисперсних частинок відбувається поверхнева коагуляція в адсорбційному шарі. Подальше зростання призводить до зменшення поверхневої активності, що пояснюється різко вираженою колоїдно-дисперсною складовою розчину і зростаючою асиметрією молекул. Зростання асиметрії веде до втрати орієнтації гідратованих міцел. Поверхнева міцність починає знижуватися за подальшого зростання колоїдності розчину. Таким чином, слабо поверхнево-активні речовини мають великі емульгуючі здібності.

На колоїдність водного розчину миючого засобу впливають температура, кислотність середовищ, електролітів. Зміна колоїдності тягне за собою зміну поверхневих властивостей розчину, отже, і його миючу дію. Повністю відсутня миюча дія у молекулярно-дисперсних поверхнево-активних речовин, а також у гідрофільних колоїдів – білків. Вказані обставини зміщують оптимум колоїдності розчину, що обмежує умови застосування розчинів на основі першої групи.

Знизити колоїдність розчину можна за рахунок нагрівання, яке деколоїдує розчин шляхом підвищення ступеня дисперсності. Постарілі розчини можуть бути відновлені, у тому числі шляхом підвищення температури. Температура кипіння може відновити поверхневі властивості розчину. Також підвищити поверхневі властивості можливо шляхом додавання до розчину електролітів, однак у роботі з харчовими продуктами це не завжди можливо.

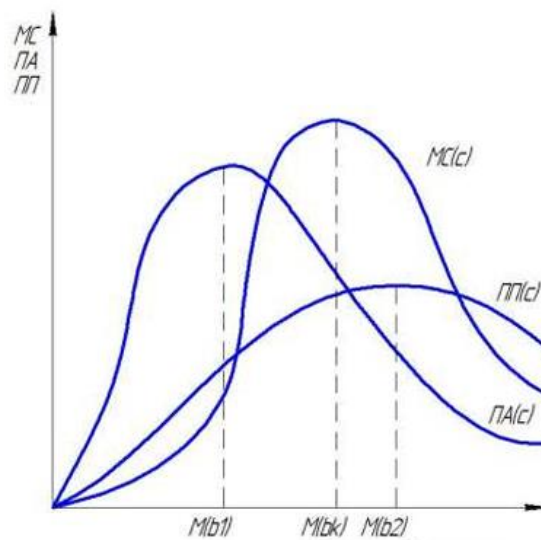


Рисунок 1.3 – Оптимум колоїдності миючого розчину: МС – миючий засіб; ПА – поверхнева активність; ПП – поверхнева міцність; М – маса розчиненої речовини;  $b$  – колоїдно-дисперсна частинка в розчині;  $M(bk)$  – середня колоїдність розчину

Знизити колоїдність розчину можна за рахунок нагрівання, яке деколодизує розчин шляхом підвищення ступеня дисперсності. Постарілі розчини можуть бути відновлені, у тому числі шляхом підвищення температури. Температура кипіння може відновити поверхневі властивості розчину. Також підвищити поверхневі властивості можливо шляхом додавання до розчину електролітів, однак у роботі з харчовими продуктами це не завжди можливо. Друга група представлена твердими емульгаторами, які не розчиняються у воді, порошкоподібні тіла, як правило, мінерального походження, що утворюють з водою суспензії. Вони не мають поверхневої активності, їх миюча дія полягає в емульгуючій здатності обволікати краплі маслоподібних (жирових) рідин у водному середовищі, тим самим перешкоджати їх коалесценції. Емульгувальна дія обумовлена вибірковою змочуваністю по відношенню до води та масла. Гідрофільні емульгатори утворюють при відповідній концентрації емульсії типу "масло у воді" (М-В), гідрофобні - емульсії типу "вода в олії" (В-М).

Застосування твердих емульгаторів у процесах циркуляційної мийки досить обмежене через складність їх видалення з поверхонь. Цей процес видалення є енергоємним.

Основною фізико-хімічною властивістю для процесу відмивання рідких маслянистих (жирових за відповідної температури) забруднень є емульгувальна здатність миючих засобів. Емульгувальна здатність залежить від поверхневої активності по відношенню до рідкої та твердої поверхонь розділу: водний розчин – олія; водний розчин – поверхня. Адсорбційні шари розчину забезпечують змочування поверхні та забруднення водою, що послаблює адгезійні властивості забруднення до поверхні внаслідок її гідрофілізації. Таким чином, відділення забруднення від поверхні відбувається інтенсивніше. Миючий розчин виробляє вибіркочу змочуваність по відношенню до забруднення та поверхні. У той же час розчин знижує змочування забруднювачем поверхні.

Емульгувальна здатність також залежить від поверхневої міцності адсорбційних плівок, які призначені для стабілізації емульсії. Тобто ці плівки перешкоджають коалесценції окремих крапель забруднювача у зваженому стані розчину, емульгованих в результаті зниженого поверхневого натягу. Також поверхнева міцність плівки перешкоджає повторному прилипанню забруднювача до поверхні. У свою чергу, механізм перешкоди коалесценції аналогічний механізму ослаблення та запобігання прилипанню забруднювача до поверхні.

Гідрофобні поверхні (наприклад, полімери) мають низьку змочуваність водою, що характеризується негативним кутом змочування межі розділу середовищ краплі вода-повітря. Для підвищення змочуваності даних типів поверхні доцільно застосовувати поверхнево активні речовини у водному розчині. При цьому орієнтація молекул відбувається на межі розділу водний

розчин-повітря полярними групами в навколишнє середовище, а вуглеводневим ланцюгом до поверхні. В результаті, миючий розчин адсорбує забруднення з поверхні, що відмивається, і його гелеподібний гідрофільний шар диспергує моношар забруднення, сприяє за рахунок збільшення змочує здатності відлипання дисперсних частинок забруднення, перешкоджає повторному прилипанню даних частинок, а також їх коагуляції. Однак, відповідно до роботи [15] не слід поєднувати це явище з витіснювальною адсорбцією.

#### **1.4. Процеси миття та дезінфекції ємностей для збору, зберігання та транспортування молока**

Аналіз технологій миття та дезінфекції молочного обладнання при виробництві сирого молока дозволяє класифікувати способи. Миття, очищення та дезінфекція ємностей транспортування та зберігання молока є стадіями технологічного процесу виробництва сирого молока та подальших молочних продуктів, головна мета яких – видалення залишків молока, його складових частин та інших можливих забруднень з поверхонь даних ємностей. Для успішного здійснення процесів миття, очищення та дезінфекції необхідно знати характер забруднень, їх склад.

Ємності для зберігання, розташовані в приміщеннях для зберігання сирого молока, і ємності для транспортування, призначені для перевезення молока в межах дорожньої інфраструктури від цеху відвантаження ферми до відділення приймального цеху переробного молочного підприємства, як правило, контактують з холодним молоком. Внутрішні поверхні таких ємностей забруднюються осадам, до складу якого входить 2 – 4 % мінеральних солей, 50 – 75 % жиру, 20 – 40 % нативного білка.

Сили зчеплення осаду з поверхнею визначаються адгезійними властивостями, а також ступенем шорсткості та пористості матеріалу поверхні. З точки зору якості процесу миття найбільш ідеальною є полірована поверхня ємностей, тому що міцність зчеплення забруднень з нею менша, ніж з пористою або шорсткою.

Основні етапи процесу миття ємностей зберігання та транспортування молочної сировини, що виділяються в інструкціях виробниками мийного обладнання:

- 1) попереднє миття зовнішніх поверхонь колби цистерни, її елементів та навісного комплексу обладнання, мета якої – видалення видимих забруднень;
- 2) миття внутрішніх поверхонь колби цистерни:
  - Змив залишків молочної сировини чистою водою;
  - Видалення забруднень;
  - Дезінфекція;
  - Остаточне ополіскування;
- 3) сушіння.

Сучасні миючі та очищувальні процеси застосовують засоби, що володіють миючим, очищаючим, а також дезінфікуючим діями. Такі кошти можна класифікувати на прості (індивідуальні) та складні (композиції).

Прості (індивідуальні) кошти поділяються на неорганічні та органічні.

Органічні засоби створюються на основі мила – натрієві та калієві солі вищих жирних кислот: стеарати ( $C_{17}H_{35}COONa$ ), пальмітати ( $C_{15}H_{31}COOK$ ), олеати ( $C_{17}H_{33}COONa$ ). Натрієві є твердими милами, калієві рідкі. Рідкі мила краще розчиняються в твердій воді і піняться. Однак для циркуляційного миття ємностей використання мил недоцільне у зв'язку з сильним піноутворенням миючого розчину, що ускладнює циркуляцію.

До неорганічних відносять хімічні неорганічні сполуки з миючим та дезінфікуючим ефектом, серед яких найбільш поширеними у виробництві молока є: каустична та кальцинована соди, азотна та сульфамінова кислоти, метаксиліт натрію (рідке скло), триполіфосфат натрію. Застосування будь-якої з наведених сполук вимагає особливого підходу до процесів миття, очищення та дезінфекції ємностей. Необхідно підбирати з'єднання хімічно інертного до поверхні ємності, щоб уникнути хімічної реакції між ними. Крім того, хімічно інертне з'єднання до матеріалу поверхні при одних температурних режимах може бути активним в інших режимах. Негативним ефектом хімічної реакції між миючим засобом і матеріалом поверхні ємності може бути утворення корозії на поверхні, а також хімічних сполук, що є токсичними і потрапляння яких у сире молоко небажане.

Складні засоби є композицією з індивідуальних засобів різних пропорцій. За основним компонентом їх можна розділити на лужні, застосування яких найпоширеніше, і кислотні. Для підвищення змочуваності та емульгації до основи додають поверхнево-активні речовини (ПАР) – органічні сполуки, що складаються з великих, несиметричних молекул із вмістом вуглецю у кількості 8 – 10 атомів.

Композиції відносяться до синтетичних миючих засобів (СМС), які бувають іоногенними та неіоногенними. Перші при контакті з водою розпадаються іони, другі не утворюють іонів [11]. У свою чергу іоногенні СМС представлені у вигляді аніоноактивних та катіоноактивних засобів. Катіоноактивні СМС мають бактерицидні властивості і можуть бути використані комбіновано для процесів миття та дезінфекції. Неіоногенні СМС мають менші властивості змочуваності, емульгації та миття. Вони використовуються з добавками, що покращують дані властивості, у тому числі з аніоноактивними СМС.

Однак, неіоноактивні СМС більш придатні для циркуляційного миття через низьку піноутворюваність. Ємності для транспортування та зберігання молока після миття для повторного використання повинні піддаватися процедурі дезінфекції. Існує кілька підходів до цього процесу: - обробка ємностей гарячою водою;

- обробка парою;

- обробка гарячим повітрям;
- обробка ультрафіолетовим опроміненням;
- обробка хлорним вапном;
- обробка розчинами гіпохлоритів кальцію;
- обробка розчинами гіпохлоритів натрію.

При обробці ємностей гарячою водою її температура коливається в межах 90 - 95 °С, більшість, але не всі, мікроорганізми гинуть. Найбільш ефективним способом дезінфекції є обробка перегрітою (гострою) парою. Пар застосовують у двох видах: текуча пара ( $t = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) і пар під тиском ( $t = 120 - 130\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $p = 0,15 - 0,2\text{ МПа}$ ). Пара більш ефективна у боротьбі з більшістю мікроорганізмів, що володіє кращим стерилізуючим ефектом. Аналогом ефективності для пари під тиском може бути гаряче вологе повітря ( $t = 120\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), в якості альтернативи може бути застосоване сухе гаряче повітря ( $t = 160\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), проте сухе гаряче повітря має менші бактерицидні властивості незважаючи на більш високу температуру.

Використання ультрафіолетового опромінення застосовується рідше для ємностей. Такий підхід більше застосовується до приміщень, у яких ємності знаходяться.

Хімічні реагенти на основі хлору застосовуються в основному для обробки приміщень, але можуть бути використані для дезінфекції зовнішніх поверхонь ємностей.

Ефективність дезінфекції залежить від факторів:

- Концентрація дезінфікуючого засобу;
- Температура дезінфікуючого засобу;
- бактерицидних властивостей хімічного засобу (у тому числі миючого);
- Тривалість впливу обраного способу.

Процеси миття, очищення та дезінфекції насамперед характеризуються часом впливу. Тривалість миття та дезінфекції залежить від обраного підходу. Характеристикою застосування хімічних засобів є час хімічної реакції, що у свою чергу залежить від обсягу внутрішнього простору чи площі поверхні ємності. Застосування інших підходів ґрунтується як правило на зміні фізичних параметрів: температури та тиску. При більш високих температурних режимах та режимах тиску реагенту (рідкі та газові агрегатні стани води та розчинів на її основі) час впливу можна знизити. Ще одним фізичним параметром, що впливає на якість миття, є гідродинамічний ефект, виражений у вигляді струменя або потоку рідини.

Для приготування миючих розчинів та деяких дезінфікуючих засобів використовують водопровідну воду, що відповідає заданим стандартам. Воду розрізняють за температурним режимом: гаряча 40-95°С; тепла 25-40 °С; холодна нижче 25°С. Понад 100°С вода має газоподібний агрегатний стан – пара, проте безпосередньо пара застосовується рідко для миття або дезінфекції, частіше використовують гостру пару 120-130°С. Загальні показники допустимого хімічного забруднення представлені таблиці 1.4.

Мікроорганізми поділяються на групи:

- санітарно-показові, до яких відносяться: кількість мезофільних аеробних та факультативно-анаеробних мікроорганізмів (КМАФАнМ), бактерії групи кишкових паличок – БГКП (коліформи), бактерії сімейства Enterobacteriaceae, ентерококи;
- умовно-патогенні мікроорганізми, до яких належать: E. coli, S. aureus, бактерії роду Proteus, B. cereus і сульфитредукуючі клостридії, Vibrio parahaemolyticus;
- патогенні мікроорганізми, в тому числі сальмонели і Listeria monocytogenes, бактерії роду Yersinia;
- мікроорганізми псування, дріжджі і цвілеві гриби, молочнокислі мікроорганізми;
- мікроорганізми заквасочної мікрофлори та пробіотичні мікроорганізми (молочнокислі мікроорганізми, пропіоновокислі мікроорганізми, дріжджі, біфідобактерії, ацидофільні бактерії тощо).

Таблиця 1.4 – Допустимі показники безпечного рівня хімічних забруднень у молоці

Забруднювач	Допустимі рівні, мг/кг (л), не більше
1 Токсичні елементи:	
свинець	0,1
миш'як	0,05
кадмій	0,03
ртуть	0,005
2 Мікотоксини:	
афлатоксин М1	0,0005
3 Антибіотики:	
левоміцетин	0,0003
(хлорамфенікол)	0,01
тетрациклінова група	0,004
пеніциліни	0,2
стрептоміцин	
4 Інгібуючі речовини	0
5 Пестициди:	
гексахлорциклогексан	0,05
ДДТ та його метаболіти	0,05
6 Радіонукліди:	
Цезій-137	100 (Бк/кг)
Стронцій-90	25(Бк/кг)
7 Діоксини:	
Меламін	0,000003 (у перерахунку на жир)

Санітарно-гігієнічне виробництво молока стан передбачає контроль: якості миття, очищення та дезінфекції обладнання та ємностей збору,

зберігання та транспортування сирого молока, миття рук працівників, стану санітарного одягу, питної води, повітря виробничих приміщень, матеріалів.

Контроль якості миття та очищення обладнання та ємностей зберігання проводять не менше двох разів на тиждень. Ємності збору та транспортування контролюють при кожному використанні.

Якість визначають по змиву з поверхні площею 100 см<sup>2</sup>, при цьому бактерії групи кишкової палички повинні бути відсутніми, загальна кількість бактерій не повинна перевищувати:

- 100 клітин на 1 мл для ємностей, трубопроводів, деталей та вузлів доїльних апаратів, охолоджувачів;

- 200 клітин в 1 мл для кранів та заглушок;

- 300 клітин на 1 мл для деталей насосів, ущільнювачів, прокладок.

Якість миття рук працівників ферми, які задіяні на роботі безпосереднього контакту з молоком, контролюється не менше трьох разів на місяць. Також беруться змив з рук, в яких не допускається наявність бактерій групи кишкової палички. Крім того, проводиться щоденний огляд рук працівників щодо наявності порізів та гнійничкових захворювань.

Санітарний одяг контролюють 2-3 рази на тиждень на наявність бактерій групи кишкової палички. Контроль питної води здійснюється щонайменше 1 раз у місяць. Загальна кількість бактерій в 1 мл води повинна перевищувати 100 клітин, коли-титр – щонайменше 300 мл.

Повітря виробничих приміщень, у тому числі приміщень зберігання та відвантаження молока, перевіряють не рідше ніж один раз на п'ять днів, при цьому загальна кількість бактерій не повинна перевищувати 50 клітин на чашці Петрі діаметром 100 мм. Не допускається присутність дріжджів та плісняв.

Контроль допоміжних матеріалів здійснюється з періодичністю раз на місяць. Загальна кількість бактерій не перевищує 10 клітин на 100 см<sup>2</sup>, відсутність бактерій групи кишкової палички.

Таким чином, основним завданням миття, очищення та дезінфекції при виробництві сирого молока в умовах фермерських господарств є недопущення наявності патогенних бактерій групи кишкової палички з можливістю мінімізацією кількості інших видів бактерій і вірусів.

Молоко як сировина є живильним середовищем для розмноження патогенних мікроорганізмів. У зв'язку з чим перед сільськогосподарськими фермами стоїть завдання щодо забезпечення санітарно-гігієнічного стану технологічного обладнання з виробництва молочної сировини, у тому числі ємностей збору, зберігання та транспортування. Дане обладнання підлягає дезінфекції після ретельного миття, оскільки залишки забруднення знижують ефективність дезінфекції. У випадках тривалого часу (понад 6 годин) простоювання обладнання процес дезінфекції проводять повторно перед початком використання.

Відомо, мікробна біоплівка та її метаболічна активність є первинною причиною низки інфекційних процесів. Відповідно до роботи, основними факторами, що сприяють формуванню біоплівки, є шорсткість, рельєф, наявність конгломератів, дефектів (у вигляді зазубрин, неякісних зварних швів) матеріалу поверхні та розподіл вільної енергії на ній. Шорсткість поверхні особливо важлива для прикріплення та накопичення бактерій, при цьому вільна енергія відіграє менш помітну роль.

Гідрофобна та електростатична взаємодія мікроорганізмів з даною поверхнею виділяють як визначальне для формування біоплівки. Також помічено, що вміст антибактеріальних компонентів у матеріалі (наприклад фтор) сприяють зниженню кількості бактерій на поверхні.

Досить добре вивчено взаємодії ряду патогенних організмів з такими матеріалами як кераміка, метали та полімери. Виділяють два механізми формування біоплівки на поверхні: адгезію та колонізацію. При цьому основним фактором механізму адгезії розглядають загальні принципи поверхневого натягу біоплівки. Методи підрахунку колонієутворюючих одиниць носять візуальний характер за відібраними проб з поверхні матеріалу та в змиві. Для визначення якісного антибактеріального показника матеріалу застосовують індекс первинної адгезії, формула В.М. Царьова [38]:

$$I_a = \frac{\lg A}{\lg N} \quad (1)$$

де  $A$  – кількість бактерій, що залишилися після змиву на поверхні матеріалу;  $N$  – кількість бактерій у змиві.

Дані дослідження мають загальний характер і підлягають уточненню у процесах миття та дезінфекції ємностей у виробництві молока.

Завданням дезінфекції ємностей є інактивація патогенних вегетативних бактерій, мікроорганізмів псування, нативних токсинів та ферментів. Інактивація ферментів необхідна для запобігання небажаним змінам органолептичних властивостей та харчової цінності молока. Зниження чисельності життєздатних мікроорганізмів здійснюється за коштами фізичного (у тому числі теплового) або хімічного впливу.

Традиційно в галузі з виробництва молочної сировини та молочної промисловості в цілому як хімічні реагенти використовують гідроксид натрію (каустична сода), карбонат натрію (кальцинована сода), сульфамінова кислота, азотна кислота. У роботі [22], їй наводяться факти, що свідчать про низьку ефективність даних хімічних агентів та трудомісткість процесів миття та дезінфекції невеликих деталей вузлів та агрегатів молочного обладнання. В результаті, на підприємствах, як і раніше, використовують ручну працю із застосуванням скребоків і металевих щіток і повним розбиранням обладнання. Також відзначається перевитрата хімічних реагентів та збільшені витрати енергоносіїв, особливо при низькій якості води (з підвищеною карбонатною жорсткістю). Часто виникає необхідність проведення повторних процесів миття та дезінфекції.

Теплова обробка залежить від ряду факторів:

- фізико-хімічних властивостей матеріалів;
- теплопровідності матеріалів;
- теплостійкості цільових мікроорганізмів і ферментів;
- умов подальшого зберігання.

Інноваційними технологіями теплової обробки представлені омичним нагріванням, мікрохвильовим та радіочастотним впливом.

Загалом існує необхідність створення єдиного комплексу технологічних, хімічних, апаратних та санітарно-гігієнічних складових об'єднаних процесів миття, очищення та дезінфекції внутрішніх поверхонь ємностей збору, зберігання та транспортування у виробництві молока в межах сільськогосподарських молочних ферм.

Молоко є природним корисним поживним продуктом для людини і ссавців, проте для мешканців водойм (риб, ракоподібних, молюсків) та рослин невеликі концентрації молока у воді та ґрунті мають згубний вплив. Застосування хімічних реагентів (ПАР-детергентів, антисептиків) у процесах миття, очищення та дезінфекції ускладнює процес утилізації відходів, які є водно-молочним хімічним розчином. Неприпустиме пряме скидання таких відходів у водойми та ґрунт без попередньої хімічної та біологічної підготовки, і в цьому випадку доцільно виробляти злив рідини у відстійник системи каналізації для подальшої фільтрації та розкладання на елементи. Відпрацьовані миючі розчини перед скиданням піддають нейтралізації окремої ємності. Розчин вважається безпечним і допустимим до скидання в систему каналізації при його нейтральній кислотності (рН). Кислотність розчину визначають методом титрування та регулюють шляхом додавання кислоти для підвищення кислотності, або додаванням лугу – для її зниження.

Персонал під час роботи з відходами мають носити захисний одяг, включаючи гумові рукавички, чоботи, головний убір, захисні окуляри, респіратор.

### **1.5. Конструктивні особливості ємностей для збору, зберігання та транспортування молока, що впливають на якість миття та дезінфекції**

Каталог однієї з провідних компаній у галузі обладнання для молочної промисловості Lechler GmbH дозволяє класифікувати існуючі ємності у молочному виробництві за типами:

- 1) резервуари для зберігання молочної сировини вертикального, закритого типу;
- 2) резервуари для зберігання молочної сировини горизонтального, закритого типу;
- 3) резервуари для зберігання молочної сировини вертикальної типу «термос»;
- 4) резервуари-охолоджувачі.

Перші два типи ємностей зберігання призначені для зберігання молочної сировини, охолодженої до  $t = 4-8^{\circ}\text{C}$  протягом 24 годин у приміщенні. Один від одного вони відрізняються своїм розташуванням у просторі та об'ємом (горизонтальні ємності більші за вертикальні). Третій тип призначений для зберігання молочної сировини, охолодженої до  $t = 4-8^{\circ}\text{C}$  протягом 24 год, за межами приміщення при температурі навколишнього середовища в межах  $-25..+38^{\circ}\text{C}$ . Всі три типи мають оснащення лопатевими або пропелерними пристроями, що перемішують. Четвертий тип призначений для збирання, охолодження молочної сировини з температури  $35^{\circ}\text{C}$  до  $4^{\circ}\text{C}$  та зберігання при  $t = 4-6^{\circ}\text{C}$ . Такого типу ємності найчастіше використовуються у фермерських господарствах малої потужності. У них також є теплоізоляція і пристрої, що перемішують, проте, як правило, такі ємності через невеликі обсяги миються і дезінфікуються ручним способом.

Застосовуваний матеріал як для внутрішньої колби, так і для зовнішнього облицювання являє собою нержавіючу сталь. Основні вимоги до ємностей транспортування є простота і надійність експлуатації ємності та її окремих елементів (люк, зливні горловини, вимірювальне обладнання, насоси та інше), дотримання гігієни вантажу (молока) в моменти транспортування та технологічних операцій навантаження-вивантаження (залівки-зливу), забезпечення високої якості інтегрованих у конструкцію. Під простотою миттям розуміється доступність всіх елементів ємності, встановлених вузлів та агрегатів для проведення процедури їх миття, а також відносна легкість видалення всіх можливих видів забруднення, що утворюються у процесі транспортування молока. Виконання цієї вимоги одне із складних конструкторсько-технологічних завдань. Процес миття ускладнюється наявністю кутів, зварних швів, сполучних елементів, ущільнювачів, кранів, колін наливних і зливних трубопроводів, клапанів, малих розмірів люків, насосів, великої кількості матеріалів, що використовуються в них.

Місткості транспортування молока-сировини діляться за обсягом місткості: малої місткості – бідон, середньої – фляга, великої – цистерна. Для бідонів та фляг застосовуються стандартні форми ємностей. У свою чергу цистерни класифікуються формою перерізу наступним чином: циліндричні, еліптичні, прямокутні. При транспортуванні молока остання форма не застосовується (прямокутний переріз використовується для транспортування води).

Об'єм цистерни циліндричної форми обчислюють за формулою:

$$V_{ц} = \frac{\pi d^2 l}{4} \cdot 1000 \quad (2)$$

де  $d$  – внутрішній діаметр ємності, м;

$l$  – відстань від передньої стінки до задньої (вздовж осьової лінії), м;

$V_{ц}$  – об'єм, л.

Для еліптичної:

$$V_e = \frac{\pi(a+b)^2 l \cdot 1000}{16} \quad (3)$$

де  $b$  – внутрішня ширина, м;

$V_e$  – об'єм, л.

Незалежно від типу ємності транспортування проводиться у герметично закритими кришками (люками) та з кранами (клапанами). Неприпустимо у процесі транспортування протікання через системи кранів (клапанів) та контактування молочної сировини з атмосферою.

Як матеріали для ємностей збору, зберігання і транспортування, доїльних апаратів доцільно застосовувати матеріали нетоксичні, хімічно інертні до молока, корозії, що не піддаються, не здатні виступати в якості абсорбенту. Найбільш поширеними матеріалами серед ємностей, що розглядаються, є нержавіюча сталь (AISI 300 серії) і харчовий алюміній, скло. Стандартом передбачено для ємностей застосування інших сплавів конструкційної сталі із застосуванням чотиришарового покриття з нікелю, міді та хрому загальною товщиною не менше 42 мкм або такої ж товщини двошарового покриття із хрому. Однак із застосуванням металів у конструкції ємностей для подальших процесів миття, очищення та дезінфекції залишаються шорсткість внутрішніх поверхонь, а також зварні шви у конструктивних елементах. У зв'язку з чим перспективними матеріалами для даних ємностей можуть стати матеріали: полівінілхлорид (ПВХ, PVC), поліетилен (PE), акрилонітро-бутадієн-стирен (ABS), інші еквівалентні полімерні матеріали.

Так згідно з роботою особлива увага приділяється анізотропним матеріалам у зв'язку з появою нових композиційних матеріалів. Такі матеріали утворені з двох складових: тонкі волокна та сполучна речовина. Перші забезпечує міцність та жорсткість матеріалу, а друге – монолітність та спільну роботу волокон. Для транспортування молочної сировини особливу увагу слід приділити саме сполучному матеріалу. Як такий матеріал можна застосувати смоли з вищевикладених полімерів, а також алюмінієві сплави.

Застосування конструктивних рішень з використанням полімерів стала доступнішою технологія намотування цистерни на форму. В результаті, за рахунок ретельно відкаліброваної форми, можна досягти гладкої внутрішньої поверхні колби цистерни і мінімізувати кількість швів та інших нерівностей. У свою чергу, за рахунок гладкості та малої змочуваності поверхні підвищиться чистота. Крім того, економія маси котла цистерни може підвищити вантажопідйомність транспортного засобу та збільшити корисне навантаження (збільшити можливу масу молочної сировини) до 35%.

Постійно існує необхідність вдосконалення конструкції цистерн молоковозів, що виражається в поліпшенні їх техніко-економічних показників, забезпеченням збереження молочної сировини, що перевозиться, більш тривалий час, а також у підвищенні безпеки дорожнього руху. Існує велика кількість конструктивних рішень цистерн, однак таке різноманіття

свідчить про те, що досі не вироблено єдиного оптимального підходу до конструювання даних систем. Це може бути пов'язане з відсутністю задовільної математичної моделі опису взаємодії твердих та рідких тіл. Стандартизовано лише виконання цистерн.

Конструкцій цистерн представлені такими виконаннями:

А – цистерни без засобів виміру об'єму;

В – цистерни із засобами вимірювання об'єму;

С – цистерни-транспортні заходи.

Слід враховувати, що застосування цистерн виконанням В і С при перевезенні молочної сировини ведуть до додаткових ускладнень процесів миття та дезінфекції через появу додаткових поверхонь. Основними вимогами до конструкції цистерни можна віднести:

- герметичність та міцність секцій;
- повне спорожнення самопливом на майданчику з відхиленням від горизонталі трохи більше 10 мм на 1 м довжини;
- запобігання забруднення молока газами, рідкими та твердими речовинами при технологічних процесах транспортування;
- попередження скупчення повітря у секціях;
- Заповнення без спінювання молока;
- виключення гідравлічних ударів під час руху;
- технічне оснащення цистерни (насос, місця приєднання трубопроводів, інвентарні рукави) мають бути захищені від бруду та пилу;
- Забезпечення зручної безпечної санітарної обробки внутрішніх та зовнішніх поверхонь без перебування людей всередині ємності.

Заповнення цистерн молочною сировиною здійснюється за допомогою насосів зовнішніх, встановлених у відправника вантажу у фермерському господарстві, або внутрішніх, що є елементом конструкції цистерни молоковоза. Як конструктивне рішення може застосовуватися як насос двигун молоковоза, який за допомогою створюваного розрідження у впускному трубопроводі колектора відсмоктує повітря з цистерни, на рисунку 1.6 представлена принципова схема такої конструкції.

Одним з найпоширеніших видів мийок цистерн молоковозів є під високим тиском. Існуючі мобільні системи, що відрізняються відносною компактністю, мають максимальну продуктивність у межах 15-20 цистерн на добу. Автоматизація даних систем не впливає на час безпосереднього процесу миття, проте вона дозволяє знизити деякі зайві витрати води, енергоносіїв та миючих реагентів, а також покращити умови праці обслуговуючого персоналу. При цьому стандарт передбачає як вид миття для внутрішніх поверхонь цистерн струменеве промивання під тиском або іншим механізованим способом із застосуванням миючих засобів, що не впливають на матеріал цистерни. Тиск миючого розчину має бути не менше 300 кПа. Для уникнення спінювання миючого розчину рекомендується наповнювати цистерну знизу.

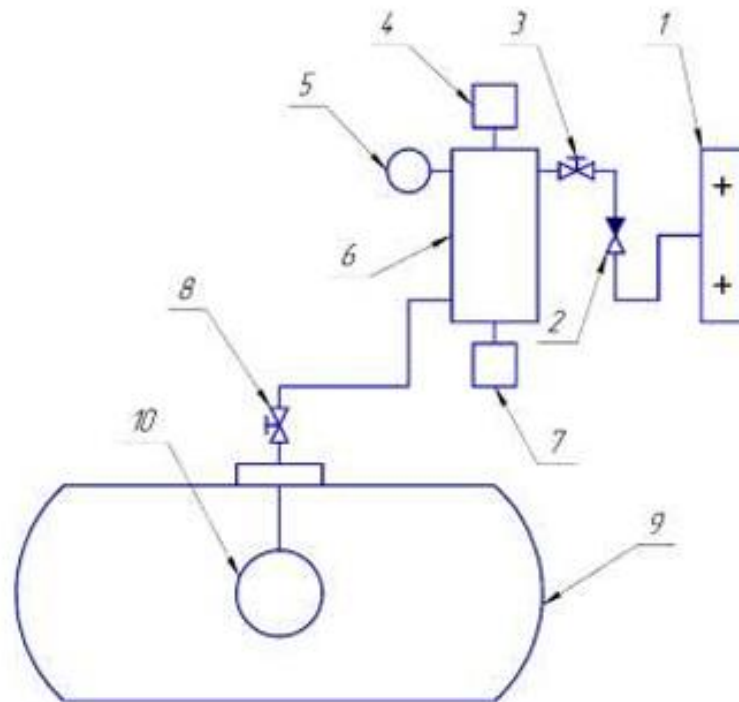


Рисунок 1.6 – Принципова схема наповнення цистерни молоковоза: 1 – впускний колектор двигуна; 2 – пробковий клапан; 3 – зворотний клапан; 4 – запобіжний клапан; 5 – вакуумметр; 6 – рідинно-відділювач; 7 – злив; 8 – з'єднувальний клапан; 9 – колба цистерни; 10 – піногасник

Процеси миття та дезінфекції цистерн молоковозів ускладнюється внесенням до їхньої конструкції додаткових елементів безпеки дорожнього руху у вигляді додаткових перегородок (якщо вважати основними перегородки між секціями багатосекційних цистерн) хвилерізів. Дані елементи необхідні для зниження гідродинамічного впливу перевозимої молочної сировини. Установку хвилерізів рекомендують здійснювати через кожні 4 м. Такі конструкції знижують ефективність мийок високим тиском, ускладнює використання роботизованих систем та ручного миття персоналом.

Альтернативою може бути акустична очищення. Відносними перевагами акустичного очищення можна назвати такі:

- невелика вартість установки;
- менший час, необхідний для очищення за існуючими стандартами;
- ультразвукове очищення ефективніше при видаленні твердих забруднень;
- менше пошкоджень поверхонь;
- Можливість комбінування з іншими способами очищення.

На рисунку 1.7 представлений графік ефективності різних методів очищення згідно з роботою.

Існує два основних механізми технології акустичного очищення поверхонь: акустична кавітація та акустичні хвильові потоки.

Акустична кавітація створює в робочій рідині бульбашки, які в процесі ростуть, а потім лопаються. Пухирці ростуть під час фази низького тиску, коли розчинений у воді газ збирається в об'єм, після досягнення максимально можливого розміру при заданому тиску навколишнього середовища (рідина) даний об'єм вибухає усередину (схлопується). При цьому схлопуванні виникає мікроскопічна реактивна сила рідини, яка може впливати на невелику частину поверхні і очистити її. Так як таких обсягів повітря на межі розділу рідина – тверде тіло виникає величезна кількість, то очищення піддається всю площу поверхні. Даний механізм технології здатний очищати поверхні від різних забруднень, зокрема органічних. Проте механізм кавітації потребує певних умов гідростатичного тиску, температури, концентрації газу рідини, частоти акустичних хвиль. Крім того, існує негативний фактор руйнування поверхонь від напруг втоми - кавітаційна ерозія.

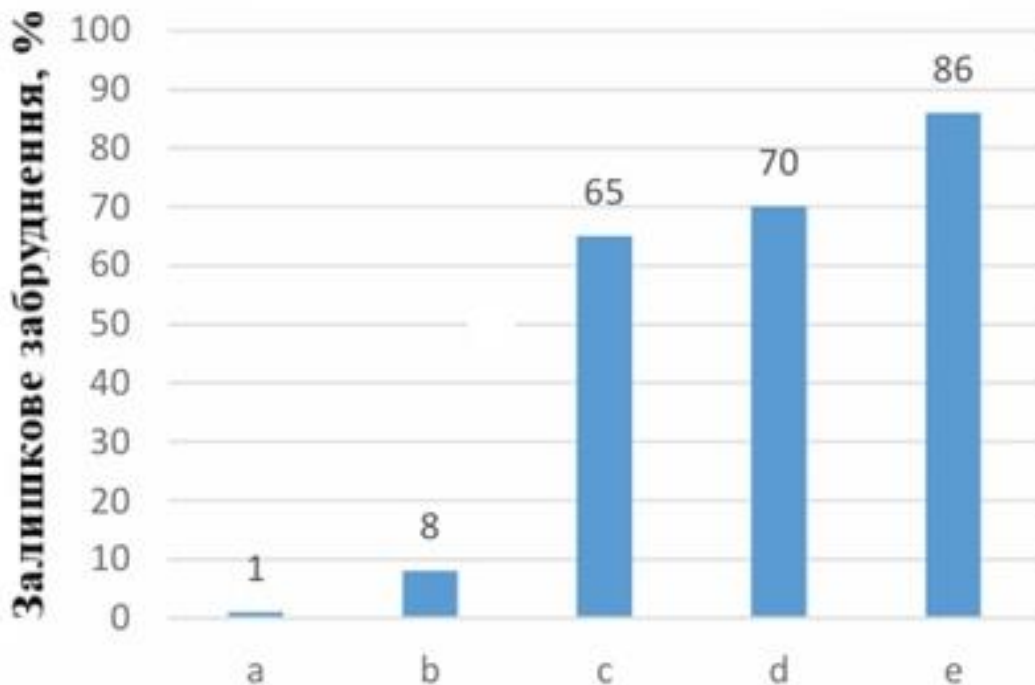


Рисунок 1.7 – Ефективність методів очищення: а – ультразвуковий; б – механічною щіткою; с – паром; d – гідродинамічний; e – стисненим повітрям

Принцип акустичних хвильових потоків ґрунтується на гідродинамічному ефекті. Однак загальним принципом для двох механізмів є створення в середовищі звукових хвиль заданої частоти. Частоти хвиль можуть бути різними для кожного виду поверхонь і коливаються від 20 кГц до 200 кГц для ультразвуку і від 850 кГц до 900 кГц для мегазвуку. Дані частоти носять умовний характер, в даний час вони підбираються експериментальним шляхом для кожного виду матеріалу поверхонь.

Частоту та інтенсивність акустичних хвильових потоків підбирають відповідно до товщини шару забруднення:

$$\delta = \sqrt{\frac{2\nu}{\omega}} \quad (4)$$

$\delta$  - товщина шару, м;

$\nu$  - кінематична в'язкість, м<sup>2</sup>/с;

$\omega$  - акустична частота, Гц.

Звукові хвилі надають змінний синусоїдальний тиск на забруднення в рідкому середовищі, при цьому порушуючи міжмолекулярний зв'язок частинок забруднення, що забезпечує їх відділення від поверхні, що відмивається.

У загальному випадку технології акустичного очищення носять екологічний характер, що обумовлюється можливістю не застосування хімічних токсичних реагентів у процесі очищення. Хімічні процеси миття вимагають великого обсягу дорогих реагентів, які також можуть руйнувати поверхні, що очищаються, що особливо проявляється на поверхнях тонких виробів (мембранах). Також ці технології мають дезінфікуючий ефект – сила схлопування досягає до 1000 бар, більшість мікроорганізмів не можуть витримати багаторазового впливу такої сили.

Технології акустичного очищення широко застосовують у різних галузях народного господарства: мікроелектроніці, морської біології, медицині, харчової промисловості, у процесах фільтрації, зокрема у виробництві молочної сировини сільського господарства.

Основним параметром конструкції ємностей, що утруднює процеси миття та дезінфекції є шорсткість поверхонь конструктивних елементів.

Для внутрішніх поверхонь ємностей зберігання та транспортування встановлено максимальне значення  $Ra = 2,5$ . Проте, це значення на етапі розвитку матеріалів можна знизити з допомогою застосування полімерних матеріалів, які можна розділити такі основні види:

- термореактивні пластмаси. Виготовляються на основі фенолформальдегідних смол (деревопластик, текстоліт, просочені смолою тканини, склопластик);

- термопластичні пластмаси (плексиглас, вініпласт, поліетилен, фторопласт); - поліаміди (капрон, нейлон);

- матеріали на основі натурального чи штучного каучуку. Застосовується як елемент ущільнювача.

Висновки за розділом

1. Існуючі способи миття та дезінфекції молочного обладнання не мають повноцінно оптимального стану чистоти поверхні при низькому споживанні ресурсів, енергії та малої тривалості процесу. Найбільш ефективним способом миття та дезінфекції з точки зору продуктивності, економічності, безпеки та надійності при заданій якості молока є створення дрібнодисперсного середовища шляхом розпилення реагенту.

2. Огляд способів та конструкцій миття та дезінфекції ємностей показав, що вони призначені тільки для харчової промисловості без урахування особливостей виробництва молока у фермерських господарствах.

3. Огляд літературних джерел показав, що процеси відмивання забруднень та дезінфекції мікрофлори методом розпилення ультрамалого обсягу реагенту є маловивченими.

4. Огляд ємностей збору, зберігання та транспортування молока показав, що найнижчий рівень механізації та автоматизації миття та дезінфекції характерний для ємностей місткістю до 300 л, до яких належать доїльні відра, бідони, фляги, бочки, танки та малогабаритні цистерни.

5. На підставі проведеного огляду сформульовані цілі та завдання дослідження.

## 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ МИТТЯ ТА ДЕЗИНФЕКЦІЇ ВНУТРІШНІХ ПОВЕРХОНЬ ЄМКОСТЕЙ ЗБИРАННЯ, ЗБЕРІГАННЯ ТА ТРАНСПОРТУВАННЯ МОЛОКА

### 2.1. Теоретичні дослідження процесу забруднення поверхонь

Механізм осідання твердих частинок на поверхнях обладнання ґрунтується або на силі тяжіння, або на силах Ван-дер-Ваальса, коли частинки перебувають у рідкій фазі. Пропонують визначати силу Ван-дер-Ваальса за такою формулою:

$$F_{vdw} = \frac{A_{132}R}{6Z} \quad (5)$$

де  $A_{132}$  – константа Хамакера для субстанції (частинки) 1 і поверхні 2 в середовищі (рідині) 3, що розраховується для двох різних матеріалів у заданому середовищі за формулою:

$$A_{132} = A_{33} + A_{21} - A_{32} - A_{31} \quad (6)$$

при цьому для двох різних матеріалів у вакуумі константа обчислюється за рівнянням:

$$A_{ij} = \sqrt{A_i A_j} \quad (7)$$

$R$  – сферичний радіус частинки, мкм;

$Z$  – відстань між частинкою і шаром, (зазвичай приймається рівною 400 мкм), мкм.

У таблиці 2.1 представлені константи Хамакера для деяких речовин і матеріалів.

Таблиця 2.1 – Константи Хамакера речовин і матеріалів у вакуумі

Речовина / матеріал	$A \cdot 10^{20}$
Вода	4,4
Поліетилен	3,8
Полістирол	7,8-9,8

Дерягін, Ландау, Верей і Оверб'їк комб'їнують ефект Ван-дер Ваальса і електростатичного впливу в прикордонному дифузійному шарі поверхні, пояснюючи процес осадження частинок. Електростатичний потенціал поверхні визначається за формулою:

- для плоскої поверхні:

$$\psi = \psi_0 \exp(-kx) \quad (8)$$

- для сферичної поверхні:

$$\psi = \psi_0 \left( \frac{r}{a} \right) \exp(-k(a-r)) \quad (9)$$

де  $\psi$  – потенціал, мВ;

$\psi_0$  – потенціал поверхні, мВ;

$x$  і  $a$  – відстань між частинкою і поверхнею, мкм;

$r$  – радіус частинки, мкм;

$$\frac{1}{k} = \frac{\varepsilon_r \varepsilon_0 K T}{2 n_0 Z_i e^2} \quad (10)$$

де  $\varepsilon_r$  - діелектрична проникність у середовищі мкФ/мкм;

$\varepsilon_0$  - діелектрична проникність у вакуумі, мкФ/мкм;

$K$  - константа Больцмана;

$T$  - температура, °К;

$Z_i$  - валентність і-го іона;

$e$  - електричний заряд, Кл;

$n_0$  - кількість іонів кожного типу, шт.

Фактично це співвідношення визначає товщину електростатичного шару. Таким чином, загальна енергія електростатичної взаємодії може бути визначена наступним чином:

Таким чином, загальна енергія електростатичної взаємодії може бути визначена наступним чином:

$$F_E = \frac{\varepsilon_r r}{2} (\psi_1^2 + \psi_2^2) \frac{k \exp(-kD)}{1 - k \exp(-kD)} \left( \frac{2\psi_1\psi_2}{\psi_1^2 + \psi_2^2} - \exp(-kD) \right) \quad (11)$$

$D$  - найкоротша відстань між частинкою і поверхнею;

$\psi_1, \psi_2$  - електричний потенціал відповідно частинки і поверхні. Механічні частинки з поверхні можуть бути видалені або їх розчиненням в хімічному розчині, або фізичним видаленням, як додатковий засіб до хімічного або як самостійний.

## 2.2. Теоретичне дослідження миття та дезінфекції поверхонь із застосуванням поверхнево-активних речовин

Ослаблення прилипання забруднення до твердої поверхні обумовлено її гідрофілізацією. Якщо до введення миючого засобу у воду жирове забруднення, має більшу змочувальну здатність, ніж вода, розпливалося по твердій поверхні, то після його введення отриманий миючий розчин адсорбував частинки забруднення, збираючи їх в єдину відносно легко видальну субстанцію. Додавання в миючий розчин електроліту виявляє вторинну миючу дію – поверхневе милоутворення (омилення всієї поверхні забруднення), що особливо характерно для жирових забруднень. На рисунку 2.1 представлена схема відмивання забруднення від твердої поверхні з позначенням меж фаз розділу.

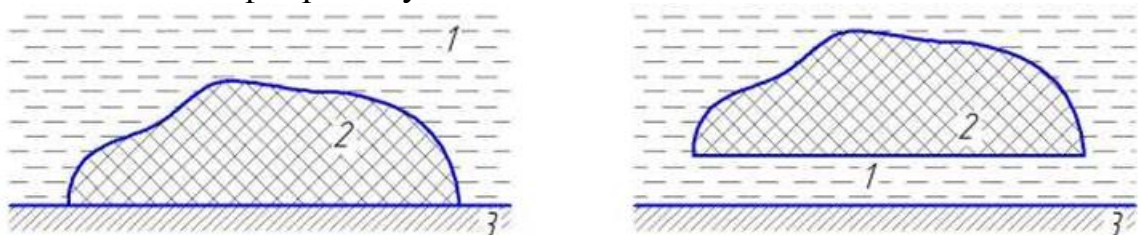


Рисунок 2.1 – Загальна схема процесу відмивання: 1 – вода; 2 – забруднення; 3 – тверда поверхня

Рібендер розглядав прилипання частинок жирового забруднення до поверхні, що відмивається, як типове молекулярно-поверхневе явище, зумовлене вільним (надлишковим) силовим полем поверхневих молекул. Таким чином, проблема прилипання забруднення до твердої поверхні і подальший процес її миття об'єднується з іншими проблемами технічного характеру: змочування і склеювання. За міру інтенсивності прилипання забруднення до твердої поверхні Рібендер прийняв зменшення вільної енергії в ізотермічному процесі прилипання, інакше коефіцієнт прилипання:

$$f(0) = -\frac{dF}{ds} = \sigma_{2-1} + \sigma_{3-1} - \sigma_{2-3} = -(\sigma_{2-3} - \sigma_{3-1} - \sigma_{2-1}) > 0 \quad (12)$$

Миючий розчин різко знижує коефіцієнт прилипання шляхом адсорбції на межі розділу 1-2 і 1-3. При відповідній концентрації миючого розчину коефіцієнт прилипання стає рівним:

$$f(c) = f(0) - (\Delta\sigma_{2-1} + \Delta\sigma_{3-1}) < f(0) \quad (13)$$

$$f(c) = \sigma_{2-1}(c) + \sigma_{3-1}(c) - \sigma_{2-3} \quad (14)$$

Відповідно до рівняння Гібса:

$$\Delta\sigma_{2-1} = \sigma_{2-1}(c) = RT \int_0^c \frac{\Gamma_{2-1}}{c} dc \quad (15)$$

$$\Delta\sigma_{3-1} = \sigma_{3-1}(c) = RT \int_0^c \frac{\Gamma_{3-1}}{c} dc \quad (16)$$

де  $\Gamma$  – адсорбція на забрудненні та відмиваній поверхні, моль/м<sup>2</sup>.

Остаточно, рівняння коефіцієнта прилипання матиме такий вигляд:

$$f(c) = f(0) = RT \int_0^c \frac{\Gamma_{2-1} + \Gamma_{3-1}}{c} dc \quad (17)$$

Прилипання забруднення до твердої поверхні також можна описати з позиції кута критичного нахилу (відриву) стінки, при якому частинки забруднення починають зісковзувати, тобто за просторовим положенням поверхні, що відмивається. Зниження коефіцієнта прилипання призводить до зниження критичного кута відриву.

Для жирового забруднення молоком коефіцієнт прилипання виражається через крайовий кут змочування за такою формулою:

$$\cos \theta = \frac{\sigma_{2-3} - \sigma_{1-3}}{\sigma_{1-2}} \quad (18)$$

в результаті:

$$f(0) = \sigma_{2-1}(1 - \cos \theta) \quad (19)$$

Однак з огляду на те, що жирове забруднення було нанесено на тверду поверхню до використання водного розчину, значення змочування не може

вважатися рівноважним (гістерезис змочування), необхідно внести в формулу коригування:

$$\cos \theta = \frac{\sigma_{2-3} - \sigma_{1-3} - \varphi}{\sigma_{1-2}} \quad (20)$$

$$f(\theta) = \sigma_{2-1}(1 - \cos \theta) - \varphi \quad (21)$$

де  $\varphi$  – сила тертя вздовж периметра змочування забруднення, Н.

Під впливом адсорбції коефіцієнт прилипання жирового забруднення до відмиваної твердої поверхні знижується – відбувається процес відмивання. Адсорбовані частинки забруднення відносно легко відстають від відмиваної твердої поверхні при механічному впливі і далі емульгуються в поверхневій шарі миючого розчину, рисунок 2.2.

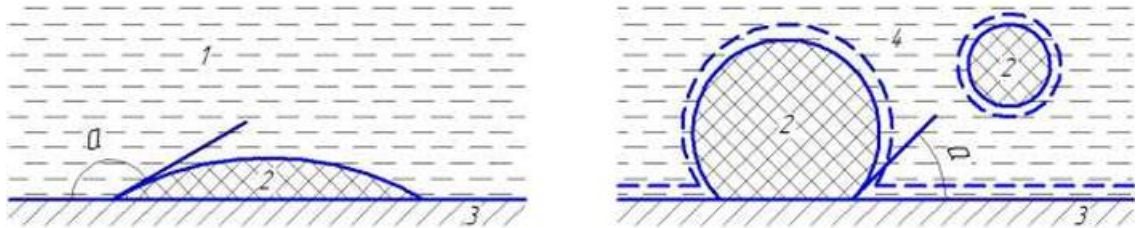


Рисунок 2.2 - Схема процесу відмивання жирового забруднення молока з твердої поверхні: 1 - вода; 2 - забруднення; 3 - поверхня, що відмивається; 4 - миючий розчин

Режими миття та дезінфекції ємностей для транспортування та зберігання молока визначаються сукупністю показників: швидкість рідини під час миття, температура миючого розчину, тривалість контакту з ним забруднень на оброблюваних поверхнях. Показник швидкості рідини особливо важливий для ємностей під час зливу, рекомендовані показники наведено в таблиці 2.2.

*Таблиця 2.2 – Рекомендовані показники режиму миття та дезінфекції елементів ємностей транспортування, збору та зберігання молока*

Параметри	Значення
Температура миючих розчинів, °К	338 – 343
Швидкість течії розчину, м/с	0,2 – 0,4
Тривалість миття, хв.	10 – 15

### 2.3. Удосконалення технології та технічних засобів миття та дезінфекції ємностей

На підставі проведеного теоретичного аналізу була розроблена методика розрахунку параметрів процесів миття та дезінфекції розпиленням ультрамалого об'єму розчину ультразвуковим генератором, рисунок 2.7, а також загальна технологія миття дрібнодисперсним середовищем.

Відповідно до запропонованої методики розроблено технологію миття та дезінфекції з використанням УМО. Технологія складається з таких етапів:

1) розпилення ультрамалого обсягу миючого розчину. Під час цього процесу відбувається заповнення обсягу дрібнодисперсним середовищем, змочування поверхні, набухання забруднень, миюча дія реагентів. Час етапу становить до  $0,5^{-4}$  хв.;

2) механічний вплив відцентрових механічних щіток для видалення складних забруднень. Даний етап проводиться опціонально, при необхідності (наприклад, при досить застарілих забрудненнях). Час – до 0,5 хв.;

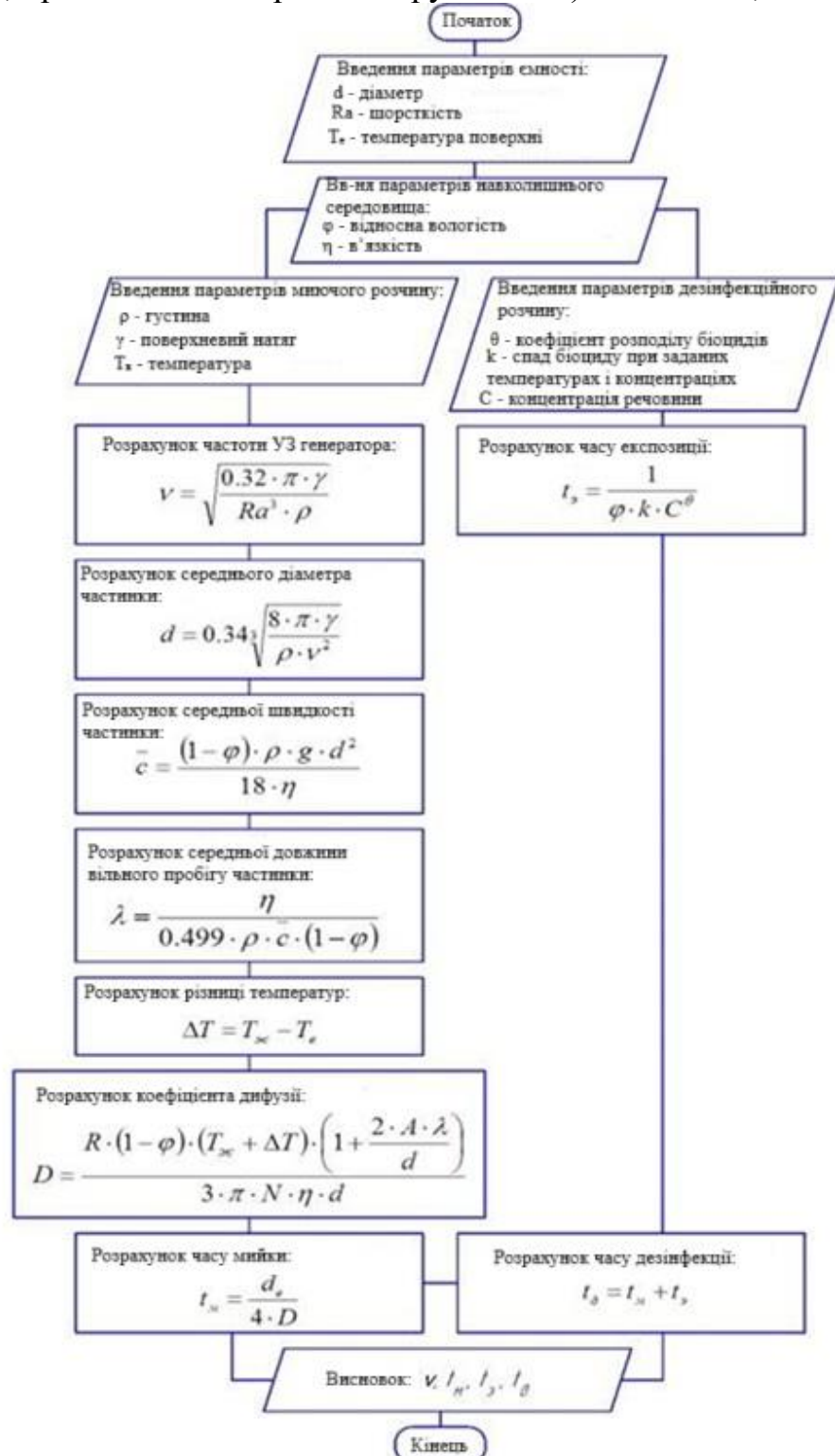


Рисунок 2.7 - Схема алгоритму методики розрахунку процесу миття (дезінфекції) розпилення ультрамалого об'єму розчину

- 3) ополіскування гідромеханічною мийною головкою. Час - до 0,5 хв.;
- 4) дезінфекція. В якості дезінфектанта застосовуються озоноване середовище (газ або диспергована УМО озонована вода або рослинний засіб). Час експозиції 2,4 - 12 хв.;
- 5) повторне ополіскування. Опціонально, залежно від виду дезінфектанта. Час - 0,5 хв.

Для ємностей з тривалим простоем (3 год і більше) передбачено застосування етапу дезінфекції без попередніх етапів.

Висновки по розділу:

1. Описано пропозиції створення дрібнодисперсного середовища методом ультразвукового розпилення ультрамалого об'єму реагенту.
2. Запропоновано методи розрахунку витрат енергії на створення туману миючого та дезінфікуючого засобу.
3. Визначено параметри частинок аерозолі та його концентрації для зниження адгезії жирових і білкових відкладень на внутрішніх поверхнях ємностей.
4. Розроблено методику розрахунку параметрів процесів миття та дезінфекції розпиленням ультрамалого обсягу розчину ультразвуковим генератором і загальну технологію миття та дезінфекції ультрамалим обсягом реагенту.

### 3. ПРОГРАМА РОБОТИ ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ МИЙКИ ТА ДЕЗІНФЕКЦІЇ ЄМНОСТЕЙ ДЛЯ ЗБОРУ, ЗБЕРІГАННЯ ТА ТРАНСПОРТУВАННЯ МОЛОКА

#### 3.1. Будова та принцип роботи експериментальних установок

На рисунку 3.1 представлена загальна програма дослідження миття та дезінфекції внутрішніх поверхонь ємностей для збору, зберігання та транспортування молока. Одними з основних етапів дослідження були лабораторні випробування.



Рисунок 3.1 - Програма дослідження

Експериментальна лабораторна установка, що складається з чашок Петрі діаметром 50 мм і 100 мм, набору скляних пробірок, стерильних ватних паличок для забору матеріалу, лабораторної шафи, призначена для визначення ступеня зараження внутрішніх поверхонь ємностей для збору, зберігання і транспортування.

У чашки Петрі поміщали поживне м'ясопептонне агарове середовище (МПА), на яке здійснювали посів клітин із проб змиву та з внутрішніх поверхонь обладнання для подальшої їх культивування при температурі 32°C.

Рецептура живильного середовища близька до стандартної і була м'ясопептонною агаровою сумішшю на основі м'ясопептонного бульйону (МПБ). У МПБ є м'ясна вода (фільтрований відвар м'ясного фаршу), пептон,

кухонна сіль. До МПБ додається 2-3% порошку агар-агар, потім суміш стерилізують і встановлюють за допомогою харчової соди кислотність у межах 7,2-7,4 рН. Суміш м'ясопептонного агару (МПА) розливають по чашках Петрі і дають охолонути.

Експериментальна лабораторна установка для визначення впливу ступеня шорсткості та просторового розташування поверхні на ступінь її забруднення молочною сировиною, складається з набору похилих поверхонь з кутами нахилу 30°, 45° та 60°, масштабних лінійок із шкалою 5 мм, фотоапарату Panasonic DMC мм3, електронної ваги ОКБ Веста АВ210-01.

Зразки поверхонь різних матеріалів та шорсткістю зважувалися та встановлювалися під заданими кутами, після чого на них наносилася певна кількість молочної сировини. Рух рідини фіксувався за допомогою відеозйомки, через яку шляхом покадрового аналізу встановлювалася швидкість рідини. Потім проводилося зважування зразка із забруднювачем. Молочна сировина – молоко жирністю 3,2%.

Експериментальна установка призначена для багаторежимних досліджень процесів миття та дезінфекції внутрішніх поверхонь ємностей зберігання та транспортування та молокопроводів з різних матеріалів.

Установка, малюнок 3.2, складається з парогенератора 1, що являє собою герметичну ємність з встановленою в ній нагрівальним елементом 3 (трубчастий електронагрівач), занурений в рідину і підключений через ПД-регулятор 6 до електромережі. ПД-регулятор оснащений датчиком температури у виконанні термопари. Місткість має два з'єднання через кульові клапани з атмосферою і елементом, що змінюється 2. Залежно від об'єкта дослідження в якості змінного елемента можуть бути ємності та елементи трубопроводу, що імітують відповідно ємності зберігання і транспортування молочної сировини і молокопровід доїльного апарату. До елемента, що змінюється, підключається електронний вакуумметр 4 і через кульовий клапан магістрального трубопроводу РСН 5.

Принцип роботи установки. Парогенератор нагріває рідину до пароутворення. Температура пари залежить від створеного всередині парогенератора тиску ЖВН, межі тиску коливаються від 0,23 до 1 атм, а температури від 34 до 100 °С, що відповідає температурі кипіння при заданому тиску. Потім, пар через відкритий клапан ВР2 потрапляє в елемент, що змінюється і в результаті різниці температур відбувається його осадження на внутрішній поверхні, тобто конденсація. Конденсація відбувається через різницю температури між внутрішньою поверхнею (температура відповідає навколишньому середовищу, яка при випробуваннях не піднімалася вище 27 °С; при цьому для прискорення процесу конденсації елемент міг піддаватися зовнішньому охолодженню) і парою. Регулювання тиску в парогенераторі і елементі, що змінюється, здійснювалося на підставі даних вакуумметра 4 за допомогою рідинно-кільцевого вакуумного насоса (РВН) 5. Регулювання

температури рідини в парогенераторі здійснюється на підставі даних термодатчика ПІД-регулятором 6.

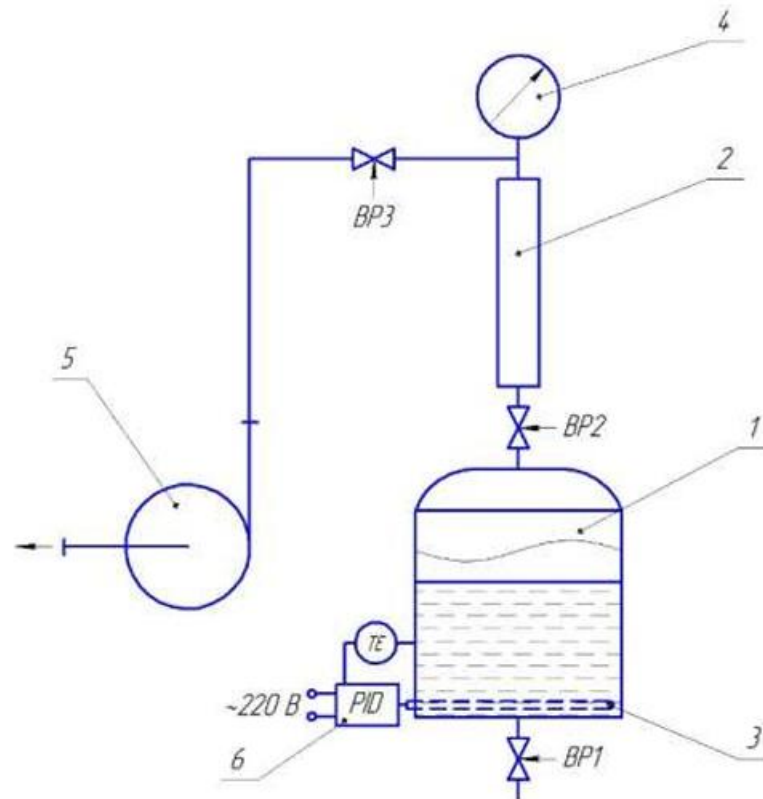


Рисунок 3.2 – Технологічна схема експериментальної установки для процесів миття та дезінфекції: 1 – парогенератор; 2 – змінний елемент (ємність або частина трубопроводу), що піддається процесам; 3 – нагрівальний елемент; 4 – вакуумметр; 5 – РВН; 6 – ПІД-регулятор з термопарою

Порядок роботи. У ємність 1 через кришку, що знімається, заливається рідина (вода, миючий розчин). В залежності від експерименту підбирається попередньо забруднений елемент 2, який змінюється, який встановлюється через клапан ВР2 на парогенератор. До елемента, що змінюється, підключається через клапан ВР3 ЖВН 5. ПІД-регулятор з встановленими параметрами температури включається в електромережу. Включають ЖВН і, ґрунтуючись на даних вакуумметра 4, відкривають клапан ВР3 при відкритому клапані ВР2, домагаючись заданого тиску в підсистемі елемент, що змінюється - парогенератор. Після клапани ВР2 та ВР3 закриваються. При досягненні точки насичення паром вільної частини ємності від рідини відкривають клапан ВР2. Відбувається процес конденсації, що супроводжується процесом змочування (мийки) та в деяких умовах процесом дезінфекції. Частково дезінфекція відбувається ще на етапі створення зниженого тиску в елементі, що змінюється. Роботу парогенератора припиняють і система охолоджується, при цьому краплі, що конденсуються рідини із забрудненням під дією сили тяжіння стікають в парогенератор.

Клапан ВР2 закривають і відкривають клапани ВР1 і ВР3, через які відповідно видаляються рідина із забрудненням і несконденсована пара (якщо така є), а також залишки зараженого середовища.

Загальний вид експериментальної установки для дослідження процесів миття та дезінфекції поверхонь представлений на рисунку 3.3.



Рисунок 3.3 - Загальний вигляд експериментальної установки: 1 - електродвигун; 2 - ЖВН; 3 - парогенератор; 4 - ПД-регулятор з термопарою; 5 - змінна ємність; 6 - електронний вакуумметр; 7 - аналоговий вакуумметр; 8 - магістральний трубопровід; 9 - ТЕН

Експериментальна установка призначена для багаторежимного дослідження ступеня бактеріологічного знезараження внутрішніх поверхонь ємностей для збору, зберігання та транспортування молока. Установка, рисунку 3.4, складається з трьох алюмінієвих ємностей, з'єднаних послідовно системою гнучких шлангів і трубопроводів. У ємності 1 встановлений озонатор, в ємності 2 - нагрівальний елемент з ПД-регулятором, а також ультразвуковий генератор для створення розпилення ультрамалої об'єму рідини, в ємності 3 - вакуумметр. Для створення вакууму установка підключається до насоса. Управління установкою здійснювалося в ручному і автоматичному режимах (4 - система автоматизації).



Рисунок 3.4 – Експериментальна установка дослідження бактеріологічного знезараження (обсіменіння): а) загальний вигляд; б) робочий процес

На підставі проведених експериментів були визначені оптимальні параметри комплексної мийної установки. Діапазон частот ультразвукового генератора становить 20 кГц-1 МГц, концентрація озону для повітря 1,5-4 мг/м<sup>3</sup>, для озонованої води – 10-16 мг/м<sup>3</sup>, час обробки ультрамалім об'ємом миючого розчину – 2,5-4 хв., час дезінфекції – 4-12 хв. Для ємностей об'ємом до 20 л споживана потужність становить від 24 до 300 Вт..

### 3.2. Розробка схеми конструкторсько-технологічної експериментальної та виробничої комбінованої мийної установки

Відповідно до отриманих основних параметрів експериментальних установок розроблено конструкторсько-технологічну схему комбінованої мийної установки, рисунок 3.5.

Комбінована мийна установка призначена для здійснення процесів миття та дезінфекції внутрішніх поверхонь ємностей різних профілів. Перелік забруднень, що відмиваються, установкою обмежується температурними режимами експлуатації обладнання в процесі (20-100°C), допустимими надлишковим тиском і розрідженням обладнання.

Установка включає рухомий корпус 1, ємність для ополіскує рідини 2, ємність для миючого розчину 3, ємність для озонованого газового або рідкого середовища 4, ємність для відпрацьованої робочої рідини 5, компресор-нагнітач 6, озонатор-барботер 7, 9 9, водокільцевий вакуум миючу головку розпилювач 11. Ємності 2 і 3 оснащені нагрівальними елементами 12. Гнучкі шланги розрізняються за призначенням, нагнітальної дії 9 і розрідження 10, що підключаються відповідно до загальної магістралі ємностей 2, 3 і 4 і до вакуумного насоса 8. 2 і 3 і через озонатор-барботер 7 до 4 і 5. Ємність 5 виконана розбірною і з'єднана з вакуумним насосом 8. Гнучкі шланги 9 і 10 підключені до миючої головки-розпилювача 11, яка являє собою порожнисту з подвійними стінками ємність з відсутнім.

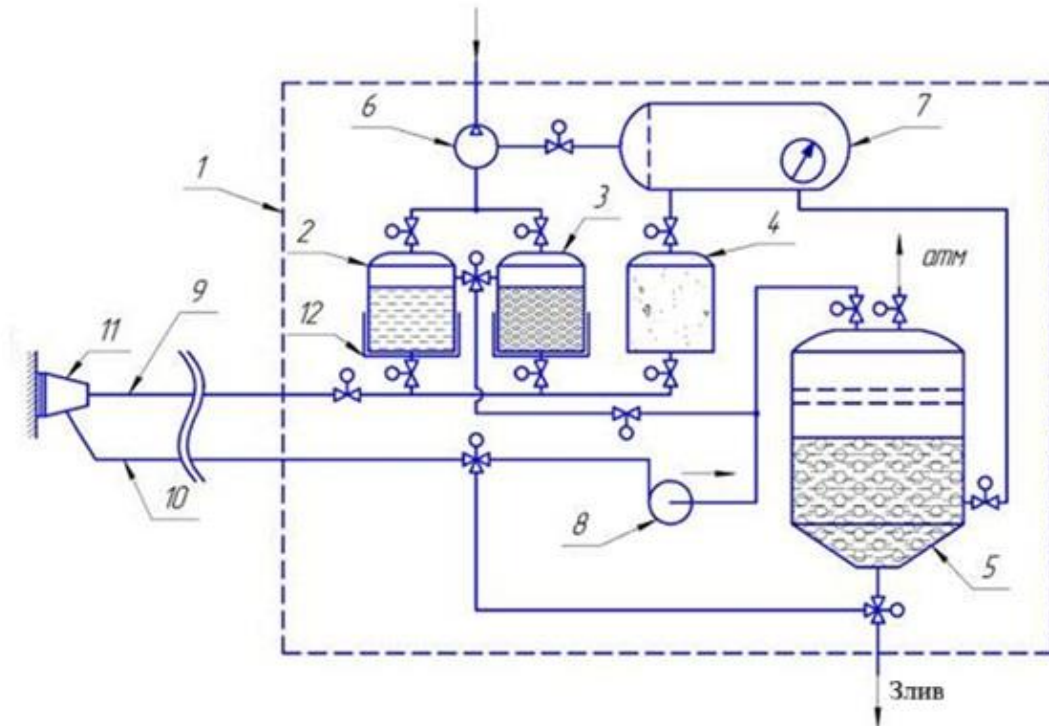


Рисунок 3.5 - Конструкторсько-технологічна схема експериментальної комбінованої мийної установки: 1 - рухомий корпус; 2 - ємність для ополіскувальної рідини, 3 - ємність для мийного розчину; 4 - ємність для озонованого газового середовища; 5 - ємність для відпрацьованої робочої рідини; 6 - компресор-нагнітач; 7 - озонатор-барботер; 8 - водокільцевий вакуумний насос; 9, 10 - гнучкі шланги; 11 - миюча головка-розпилювач; 12 - нагрівач

Установка працює в такий спосіб. У ємності 3 і 2 відповідно заливаються миючі та ополіскувальні рідини. Залежно від типу забруднювача та поверхні здійснюється їх нагрівання до необхідної температури елементами 12. При необхідності підвищення їх температури кипіння в дані ємності компресором-нагнітачем 6 підвищується тиск, одночасно газове середовище закачується в озонатор барботер 7 де відбувається його озонування. Залежно від призначення озоноване газове середовище подається в ємність 4 для подальшого її підведення до поверхні або ємність 5 для дезінфекції відфільтрованої робочої рідини, з метою подальшого її використання. Як безпосередньо впливає на забруднену поверхню інструменту виступає струмінь рідини з ємності 2 або 3, в яких компресор-нагнітач створює надлишковий тиск. Через механізми управління струмінь рідини подається через шланг 9 на забруднену поверхню, після впливу якої рідина видаляється з поверхні вакуумним насосом 8, через шланг 10. Відкачена рідина надходить в ємність 5, де вона, проходячи через фільтри, відокремлюється від досить великих механічних забруднень і далі 7. Надалі дана рідина може бути використана повторно, попередньо перемістивши її в ємності 2 і 3, де за допомогою нагрівальних елементів 12 можлива подальша процедура

дезінфекції від біологічних забруднень через нагрівання. Після процедур миття та очищення з ємності 5 здійснюють злив відпрацьованої рідини та вилучення твердих забруднень з фільтрів.

На підставі проведених досліджень та технологічної схеми комбінованої мийної установки була розроблена схема конструкції комплексної мийної установки, рисунок 3.6.

За схемою спроектовано конструкцію напівпромислового зразка комплексної мийної установки, рисунок 3.7.

Комбінована мийна установка призначена для здійснення процесів миття та дезінфекції внутрішніх поверхонь ємностей різних профілів. Перелік забруднень, що відмиваються, установкою обмежується температурними режимами експлуатації миючих та дезінфікуючих засобів (20-60°C), габаритами ємностей збору, зберігання та транспортування молока, допустимими надлишковим тиском і розрідженням обладнання.

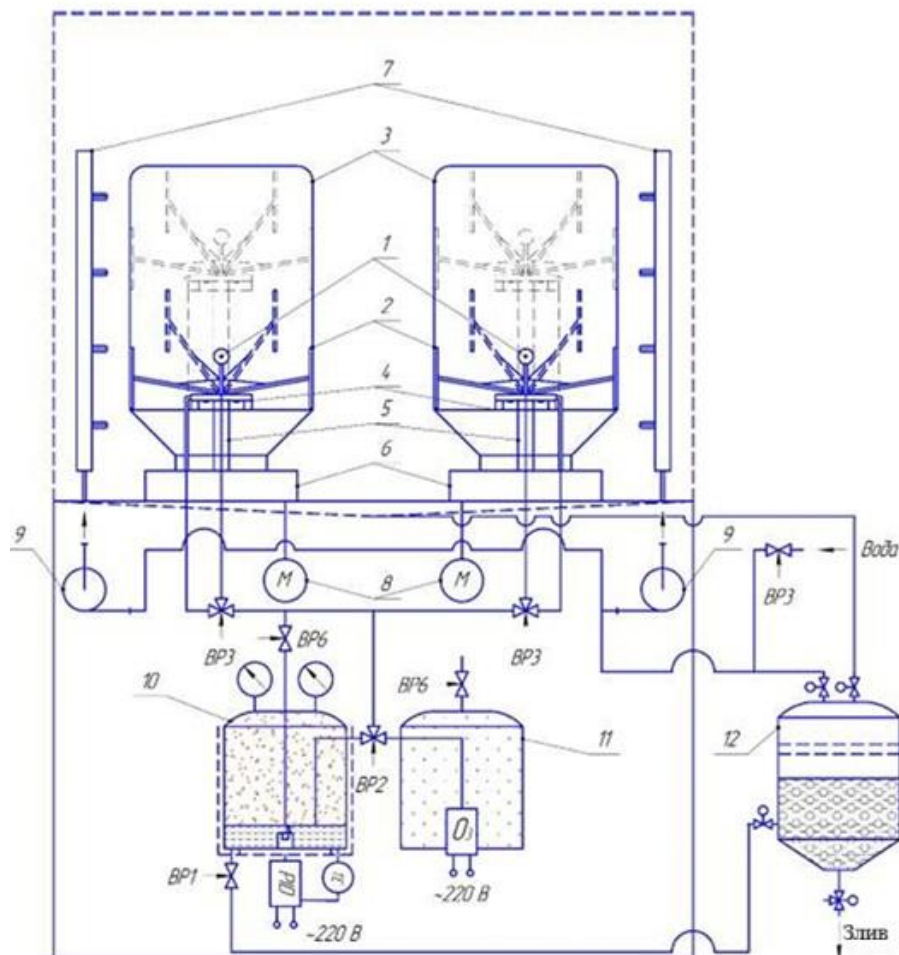


Рисунок 3.6 – Схема комплексної мийної установки: 1 – мийна головка; 2 – щітки відцентрового типу; 3 – ємності (фляги, бідони, доїльні відра); 4 – ультразвуковий розпилювач УМО; 5 – кронштейн; 6 – обертова платформа; 7 – система форсунок; 8 – електродвигун; 9 – насос; 10 – ємність підготовки миючого (дезінфікуючого) розчину; 11 – озонуюча ємність; 12 – ємність для відпрацьованої рідини

Робота установки полягає в послідовній обробці ємностей шляхом створення дрібнодисперсного середовища на етапі підготовки з можливістю механічного очищення (ліва частина), подальшого очищення і ополіскування гідродинамічним способом на етапі основного миття (права частина) і створенням дезінфікуючого середовища в ємності на завершальному етапі для стерилізації (також у лівій частині).



Рисунок 3.7 – Напівпромисловий зразок комплексної мийної установки: 1 – захисний екран; 2 – форсунки для зовнішнього миття ємностей; 3 – багатопозиційна мийна головка; 4 – ультразвуковий туманогенератор; 5 – пристрій механічного очищення; 6 – електродвигун; 7 – шафа автоматики; 8 – ємність підготовки миючого (дезінфікуючого) розчину; 9 – ємність озонатора; 10 – терморегулятор; 11 – система зливу; 12 – обертові елементи

Ультразвуковий генератор розташовується в поглибленні корпусу, глибина якого визначена мінімальним і максимальним рівнем рідини над рефлектором або випромінювачем, що фокусує генератора, що працює в діапазоні частот 20-800 кГц. При цьому рівень рідини з різними в'язкістю та поверхневим натягом підбирається таким чином, щоб висота струменя була мінімальною або була відсутня, що забезпечує максимальну концентрацію туману. Корпус закріплений на підйомному механізмі, висота розташування в робочому стані визначається двома третинами висоти ємності, об'ємом до 300 л, діапазон висот 0-1,2 м. При обробці ємність встановлюється горловиною

вниз на обертовий диск з отвором для ходу корпусу з ультразвуковим генератором, механічно. Зовнішня поверхня ємності обертаючись на диску, омивається форсунками. Внутрішня поверхня обробляється відповідно до розробленої технології.

Збір та відведення відпрацьованих рідин здійснюється примусово за допомогою насоса в ємність збору для подальшої утилізації, при цьому передбачено її знезараження озоном, що створюється в конструкції озонатором.

### **3.3. Розробка конструкції мийної головки для струменевої обробки внутрішніх поверхонь ємностей підвищеного об'єму**

У зв'язку з тим, що комбінована мийна установка обмежена в своїй застосовності ємностями об'ємом до 300 л включно, виходячи з лінійних параметрів, а масштабування її недоцільне з причин ускладнення конструкції, була розроблена мийна головка для струменевого очищення ємностей збору, зберігання і транспортування молока підвищеного обсягу (понад 300 л).

Розроблена мийна головка для струменевого очищення поверхонь дозволяє інтенсифікувати мийку і дезінфекцію, підвищити якість даних процесів і знизити витрату води і реагентів.

Мийна головка для струменевого очищення містить сопла для розпилення миючого та дезінфікуючого реагенту, встановлені з можливістю переміщення, систему підведення робочого реагенту до сопел, порожнистий корпус насадки з міжстінним простором для відведення відпрацьованої рідини, при цьому для інтенсифікації та підвищення якості миття і дезінфекції кількість сопел передбачено як мінімум два на обертовому елементі. Виконання корпусу-насадки з міжстінним простором дозволяє застосувати принцип вакуумного транспортування відпрацьованої рідини назад в систему, що зменшує витрату води і реагенту. На рисунку 3.8 зображено загальний вигляд мийної головки для струменевої обробки, на рисунку 3.9 зображено розріз основних елементів в зборі.

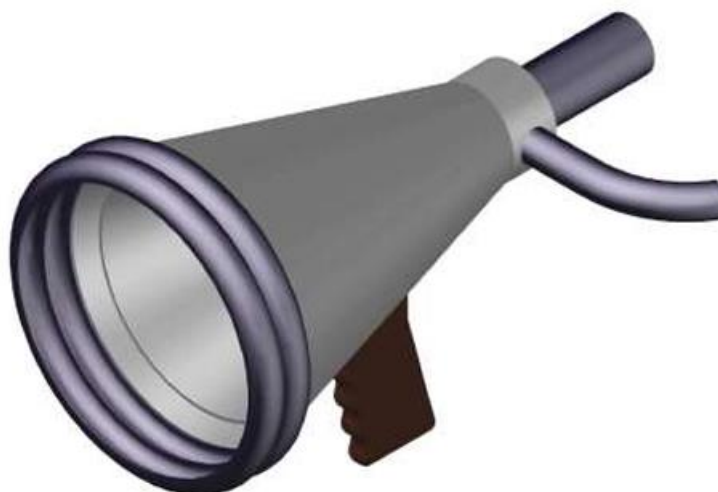


Рисунок 3.8 – Загальний вигляд мийної головки

Мийна головка для струминного очищення (див. рисунок 3.8) включає в себе головку з соплами на рухомому елементі 3, порожнистий корпус-насадку з зазором міжстінкового простору 4, шланги для підведення і відведення рідини відповідно 1 і 2, а також еластичний елемент 5 і рукоятку.

Робота мийної голівки. Миюча головка за допомогою механізму переміщення (роботизованого, ручного) встановлюється центральною віссю насадки корпусу ортогонально до поверхні. Насадка корпусу щільно (без зазорів) притискається до поверхні з зусиллям, що забезпечує мінімальну деформацію крайової частини насадки корпусу, виконаної з еластичного матеріалу (наприклад, гуми). При подачі миючого та дезінфікуючого засобу в головку відбувається одночасне переміщення її вздовж поверхні та відкачування відпрацьованої рідини вакуумним насосом через міжстінковий простір. Реагент через сопла, що формують, потрапляє на поверхню. Проходячи через бічні сопла, реагент створює гідродинамічний ефект і обертає головку. Висота насадки, що контактує з поверхнею, регулюється в залежності від кута розпилення.

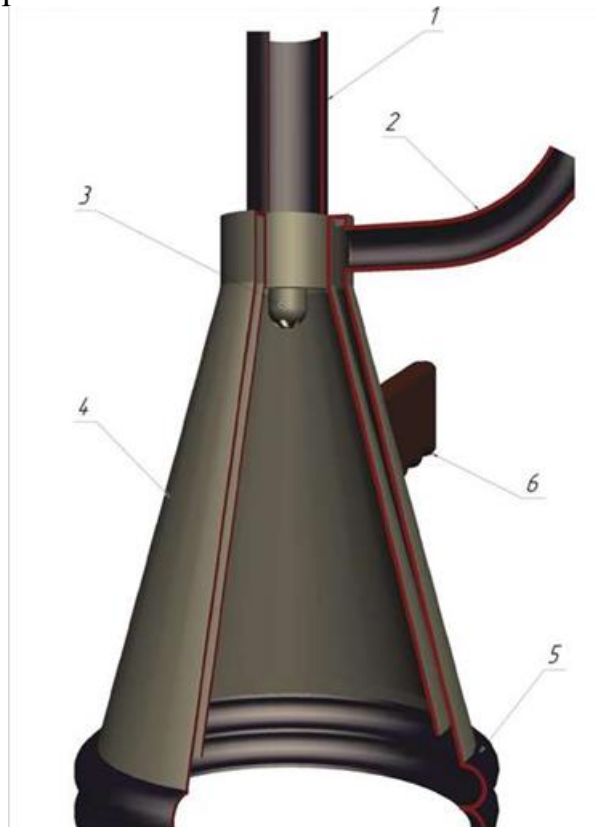


Рисунок 3.9 – Мийна головка: 1 – шланг підведення реагенту; 2 – шланг відведення реагенту; 3 – рухомий елемент (підшипник); 4 – міжстінний простір; 5 – насадка; 6 – рукоятка

Дрібнодисперсне середовище миючого та дезінфікуючого реагенту під дією розрідження рухається з великою швидкістю в зазор міжстінкового

простору насадки-корпусу, попередньо відображена від поверхні (вектор напрямку руху змінюється мінімум один раз на кут в межах 90 - 180°). Потім вакуумним насосом вона видаляється в трубопровід, формуючись рідку фазу з подальшою фільтрацією та повторним використанням.

На рисунку 3.10 зображено розріз обертової головки з соплами.



Рисунок 3.10 – Обертova голoвка розпилення

Ці особливості дозволяють застосовувати мийну голoвку для миття та дезінфекції поверхонь ємностей для збору, зберігання та транспортування молока підвищеного об'єму (понад 300 л) з більшості відомих матеріалів, у тому числі полімерних.

#### **3.4. Розробка конструкції портативного озонатора для дезінфекції внутрішніх поверхонь ємностей без попереднього миття**

Для установки була розроблена конструкція портативного малогабаритного озонатора, рисунку 3.11. Пристрій складається з озонатора, з'єданого через перехідник з компресором поршневого типу. Після включення компресора і озонатора відбувається прокачування озонованого повітря через пристрій барботації (гнучка трубка), розміщений на дні посудини з рідиною. Змінюючи продуктивність компресора і параметри живлення озонатора, можна використовувати даний пристрій для озонування різних обсягів рідин, а змінна барботаційна насадка дозволяє проводити озонацію рідин різної природи. Принципова схема озонатора представлена на рисунку 3.12.

Технічним результатом винаходу є підвищення ефективності очищення повітря і зменшення габаритних розмірів при збереженні відносної простоти конструкції за рахунок відсутності в пропонованій конструкції необхідності у великій кількості діелектричних елементів, що розширює діапазон застосування.



Рисунок 3.11 – Озонатор. Загальний вигляд

Вказаний технічний результат досягається тим, що малогабаритний озонатор, що містить джерело високовольтної напруги, до якого підключені коаксіально розташовані електроди з повітряним прошарком між ними, який відрізняється тим, що на корпусі додатково закріплені вентилятори для нагнітання озонованого повітря, а також патрубки з пиловими і антибактеріальними у формі кілець, а коронуючі - у формі розрядників з кулястою головкою.

На корпусі додатково закріплені вентилятори для нагнітання озонованого повітря, а також патрубки з пиловими та антибактеріальними фільтрами та дві пари електродів, при цьому електроди, що проводять, виконані у формі кілець, а коронуючі – у формі розрядників з кулястою головкою.

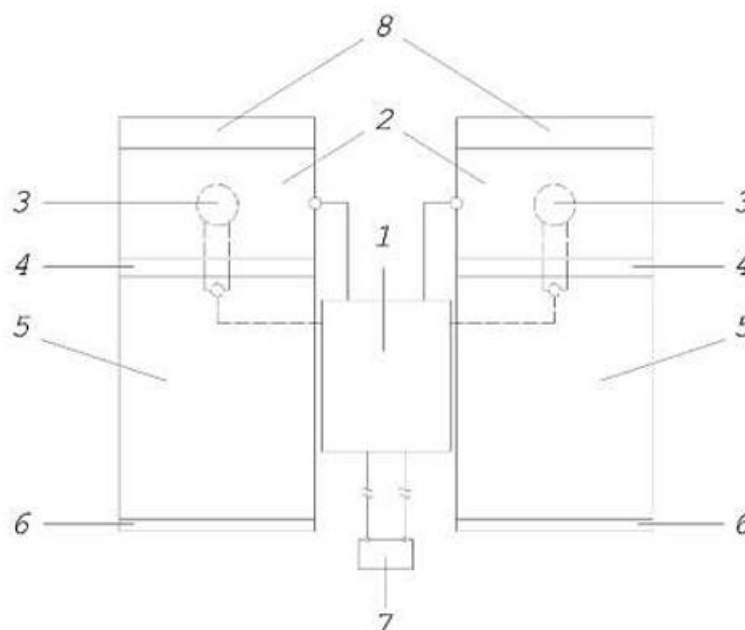


Рисунок 3.12 – Принципова схема портативного озонатора: 1 – джерело високовольтної напруги; 2 – коаксіально розташовані провідники; 3 – коронні електроди; 4 – діелектрична прокладка, тримач для коронного електрода; 5 – патрубки; 6 – пилові та антибактеріальні фільтри; 7 – джерело живлення 12 В; 8 – вентилятори, які розміщуються перед провідними електродами.

Пристрій працює наступним чином. При включенні джерела високовольтної напруги 1, на електродах 2 і 3 озонатора виникає коронний розряд, який дозволяє утворювати озон з кисню в повітрі. Утворений озон виноситься потоками повітря, що створюється вентиляторами 8, розміщеними перед провідними електродами. Патрубки 5 з фільтрами 6 забезпечують відсутність пилу та інших небажаних домішок у робочому просторі.

Пропонований пристрій має винахідницький рівень, оскільки за рахунок виконання головок коронних електродів у вигляді сфери розряд розподіляється більш рівномірно, а загальна конструкція озонуючого елемента не передбачає використання великої кількості діелектричних елементів.

Технологічна схема виробництва озонованої води представлена на рисунку 3.13.

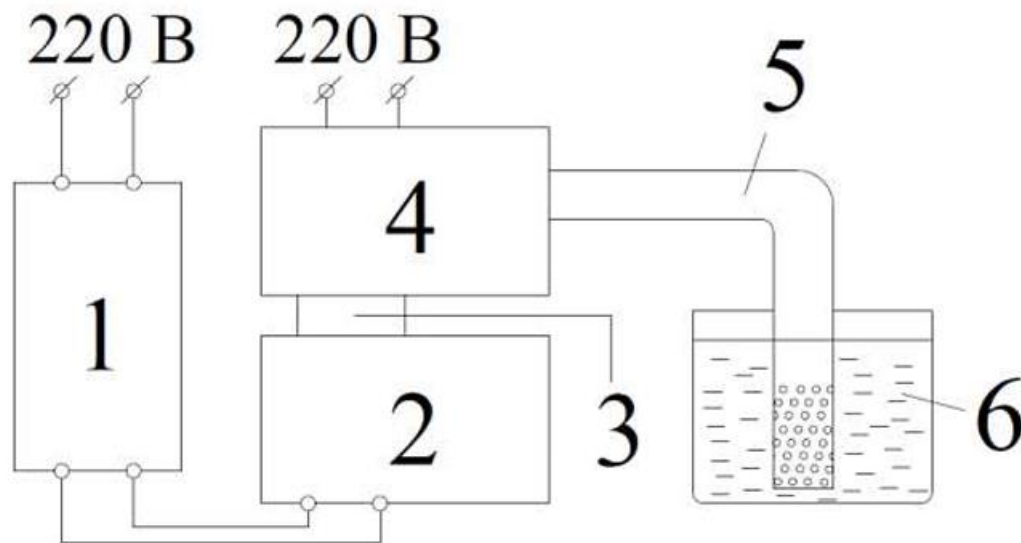


Рисунок 3.13 – Технологічна схема приготування озонованої води: 1 – блок живлення з регулюванням вихідного струму і напруги; 2 – озонатор (робоча напруга – 3,8 В, сила струму – 1,9 А); 3 – перехідник; 4 – компресор; 5 – гнучка вихідна трубка з перфорацією; 6 – посудина з рідиною

Пропонований озонатор має високу продуктивність і в той же час малі розміри. За рахунок простоти конструкції і легкості модифікації можливе виготовлення як малих переносних пристроїв, так і інтегрованих рішень, тобто

промислово застосовний і для його реалізації можуть бути частково використані промислово випускаються і загальнодоступні деталі.

Крім того, даний озонатор застосовується як окремо, так і спільно з комплексною мийною установкою. В установці він застосовується для створення дезінфектанта у вигляді озонованої води з подальшим її розпиленням по внутрішньому простору ємностей.

Висновки за розділом:

1. Розроблено експериментальні установки та визначено узагальнений алгоритм проведення експериментальних досліджень миття та дезінфекції внутрішніх поверхонь ємностей для збору, зберігання та транспортування молока методом розпилення ультрамалого об'єму реагенту.

2. Розроблено конструкторсько-технологічну схему комплексної мийної установки та визначено її оптимальні параметри з урахуванням технологій ультразвуку та озонування.

## 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МИЙКИ ТА ДЕЗИНФЕКЦІЇ ВНУТРІШНІХ ПОВЕРХОНЬ ЄМКОСТЕЙ ДЛЯ ЗБИРАННЯ, ЗБЕРІГАННЯ ТА ТРАНСПОРТУВАННЯ МОЛОКА

### 4.1. Результати експериментальних досліджень мийки поверхонь

Було проведено дослідження ступеня забруднюваності поверхонь залежно від виду матеріалу, ступеня шорсткості та просторового положення поверхні, тим самим перевірялися адгезійні властивості молока та матеріалу в різних умовах. Досліджувалися шість зразків, малюнок 4.1: сталь 15 з шорсткістю Ra (0,15; 0,2; 0,4; 0,8 мкм), №зразка 1 – 4; ПВХ, №зразка 5; ПЕВП, №зразка 6, рисунку 4.1.

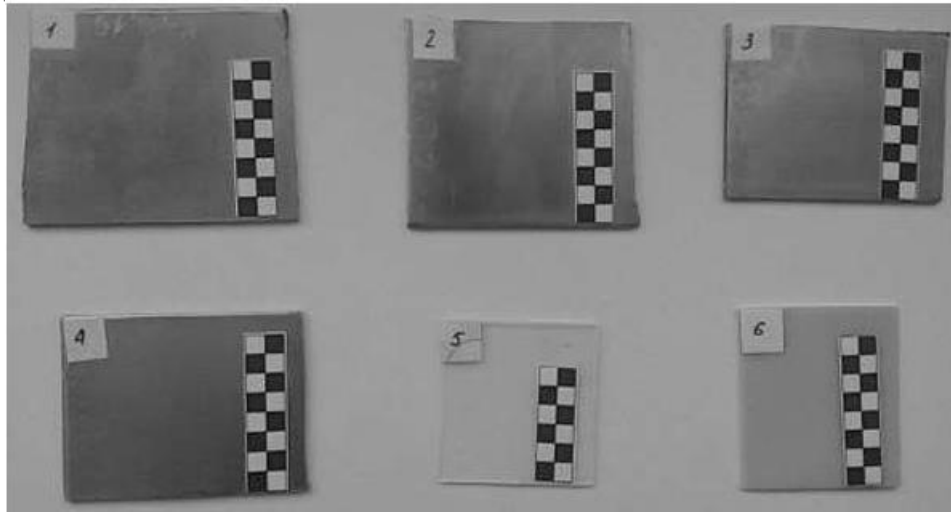


Рисунок 4.1 – Випробовувані зразки матеріалів

За робочу гіпотезу було прийнято таке твердження: шорсткість поверхні та її просторове розташування прямо пропорційно впливає на ступінь її забруднення. Цей вплив характеризується тим, що зі збільшенням ступеня шорсткості збільшується площа поверхні, що стикається із забруднювачем, що в свою чергу підвищує такі адгезійні ефекти, як капілярність і змочуваність..

Поверхнєве натяг істотно впливає на механіку руху забруднювача по поверхні і форму його крапель, в першу чергу на швидкість течії. Швидкість важлива при оцінці часу вилучення продукту та видалення його із внутрішньої поверхні ємності. Низька швидкість може бути причиною втрати вологи в забруднювачі, наприклад, у процесі випаровування, підвищенням його в'язкості та прилипання до поверхні.

Якісний показник забруднюваності визначався за непрямыми кількісними параметрами залишкової маси продукту на поверхні та швидкості протікання його поверхнею. Визначення швидкості протікання проводився з метою імітації зливу продукту із системи обладнання, так як залишки продукту в процесі стікання по поверхні піддаються висиханню, що сприяє збільшенню адгезії. Як забруднювач було обрано молоко жирністю 3,5%, як найпоширеніший продукт сільського господарства.

Дослідження складається з трьох окремих експериментів:

1) визначення залежності залишкової маси забруднювача від шорсткості пластини при краплинній течії. На поверхні пластин з різною мірою шорсткості на однаковій відстані наносилася певна кількість забруднювача ( $m_3 = 0,02$  г). Через заданий проміжок часу (10 с) пластини зважувалися та визначали масу забруднювача на них, попередньо знаючи масу чистих пластин.

2) Визначення залежності залишкової маси забруднювача від шорсткості при плівковому перебігу. Пластини однією гранню занурювали у забруднювач. Потім пластину вивішували паралельно дії сили тяжіння, даючи можливість стекти частини забруднювача, яка не прилипла до поверхні. Потім проводилося зважування, визначаючи масу забруднювача пластини.

3) Визначення залежності швидкості краплинної течії від шорсткості пластини, і навіть її просторового становища. При приміщенні певної кількості молока задану точку поверхні, розташовану під певним кутом, проводилася відеозйомка стікання забруднювача по поверхні. Після чого, проводячи покадровий аналіз, по відомій відстані та частоті кадрів визначали швидкість краплі по поверхні. Експеримент проводився при кутах нахилу  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  і  $60^\circ$ .

Результати експериментів зведені в таблиці 4.1 і 4.2.

*Таблиця 4.1 – Зведені дані щодо масових експериментів (1 і 2) забруднення матеріалів*

Зразок	1	2	3	4	5	6
$R_a$ , мкм	0,15	0,2	0,4	0,8	0,001	0,1
$m_{пл}$ , Г	55,9609	51,4991	43,5149	43,0077	2,1552	2,4184
$m_k$ , Г	55,9628	51,5124	43,519	43,0154	2,1629	2,4301
$m_{п}$ , Г	56,0083	51,5765	43,5871	43,0736	2,1784	2,4634
$F$ , мм <sup>2</sup>	3729,6731	3486,1239	2995,2181	2948,4958	1892,0592	2249,775
$m_{зк}$ , Г	0,0019	0,0133	0,0041	0,0077	0,0077	0,0117
$m_{зп}$ , Г	0,0474	0,0774	0,0722	0,0659	0,0232	0,045
$m_{уд}$ , Г·10 <sup>-5</sup>	2,0002	2,22023	2,23504	2,41051	1,22618	1,27089

У таблиці 4.1 наведено номери зразків, шорсткості їх досліджуваних поверхонь ( $R_a$ ), маси чистих пластин ( $m_{пл}$ ), маси пластин, після обробки забруднювачем заданої кількості ( $m_k$ ), маси пластин після занурення гранню в забруднювач ( $m_{п}$ ), площі поверхонь пластин ( $F$ ), маси залишку забруднювача, після обробки пластин заданою кількістю ( $m_{зк}$ ), маси залишку забруднювача на пластинах після їх занурення в забруднювач ( $m_{зп}$ ) і питомі маси забруднювача на пластинах ( $m_{уд}$ ).

Питома маса забруднювача на пластинах була прийнята за найбільш об'єктивний показник забрудненості поверхонь пластин, оскільки вона

враховує площу поверхонь, що реагують із забруднювачем, і розраховувалася за формулою:

$$m_{\text{yd}} = \frac{m_{\text{zn}}}{F} \quad (71)$$

Таблиця 4.2 - Дані залежності швидкості течії забруднювача по поверхнях пластин залежно від шорсткості та кута нахилу

$\alpha = 30^\circ$						
Зразок	1	2	3	4	5	6
n, шт.	102	573	197	189	52	58
N, с <sup>-1</sup>	35	36	34	36	35	35
l, мм	35	33	35	35	25	35
$v_{\text{cp}} \cdot 10^{-3}$ , м/с	12,01	3,084	6,041	6,667	16,827	21,121
$\alpha = 45^\circ$						
Зразок	1	2	3	4	5	6
n, шт.	139	105,5	9,5	342	6	6
N, с <sup>-1</sup>	36	36	35	35	35	36
l, мм	35	35	35	35	25	35
$v_{\text{cp}} \cdot 10^{-3}$ , м/с	9,065	12,004	128,947	3,582	145,833	210
$\alpha = 60^\circ$						
Зразок	1	2	3	4	5	6
n, шт.	9	7	7	6,5	6	3
N, с <sup>-1</sup>	36	37	35	35	35	35
l, мм	35	33	35	35	25	35
$v_{\text{cp}} \cdot 10^{-3}$ , м/с	140	177,885	175	188,462	145,833	408,333

Визначення швидкості заданої кількості забруднювача по поверхні проводилося за допомогою відеозйомки на відомій відстані (l). Відношення кількості кадрів (n) переміщення до відомої швидкості зйомки (N) являє собою час, витрачений забруднювачем на подолання відстані. Відношення відстані до часу дозволило розрахувати швидкість забруднювача з урахуванням шорсткості ( $R_a$ ) і кута нахилу поверхні пластини ( $\alpha$ ). Загальна формула для розрахунку швидкості має такий вигляд:

$$v = \frac{N \cdot l}{n \cdot 1000} \quad (72)$$

У таблиці 4.2  $v_{\text{cp}}$  є усередненим значенням швидкості повторних експериментів для деяких зразків. Дані залежності швидкості від кута нахилу пластини представлені в таблиці 4.3.

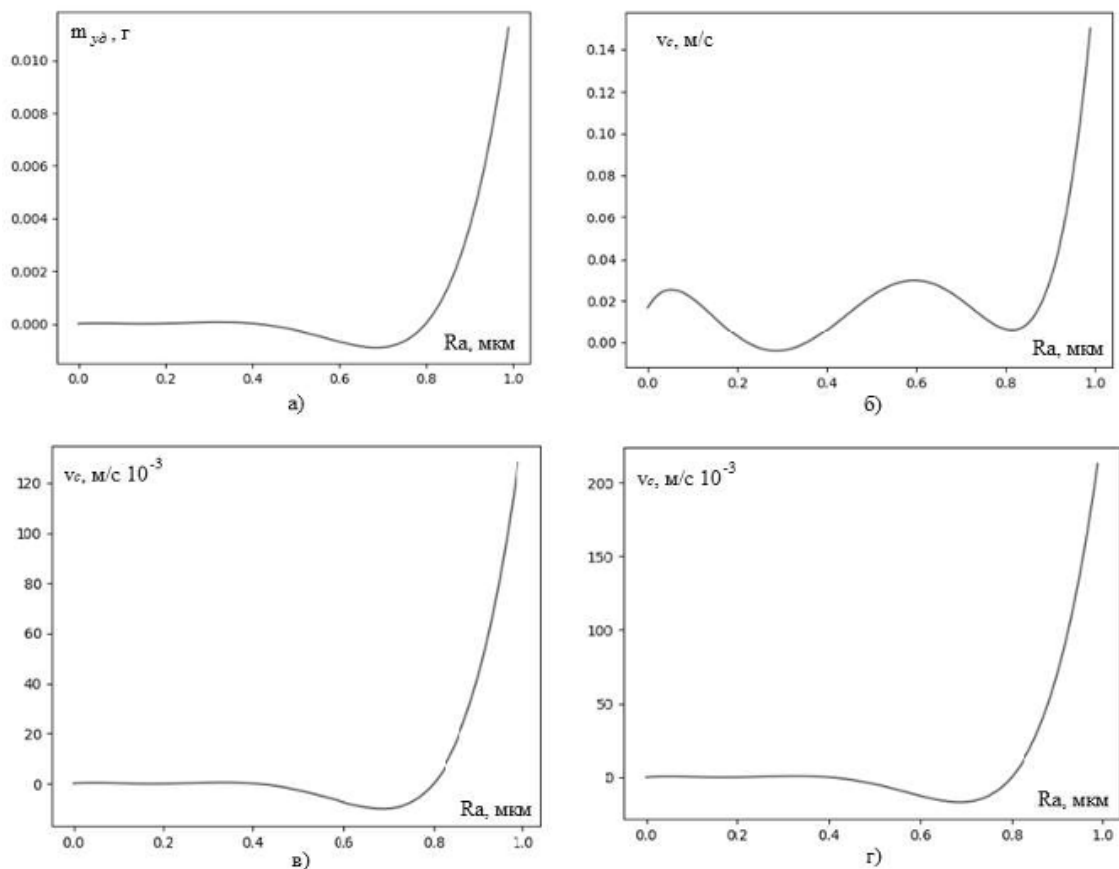
Таблиця 4.3 - Залежність швидкості забруднювача по поверхні пластини в залежності від кута нахилу

Ra, мкм	0	0,1	0,15	0,2	0,4	0,8
$\alpha = 30^\circ$						
$v_{cp} \cdot 10^{-3}$ , м/с	17	21	12	3	6	7
$\alpha = 45^\circ$						
$v_{cp} \cdot 10^{-3}$ , м/с	145	210	9	12	130	4
$\alpha = 60^\circ$						
$v_{cp} \cdot 10^{-3}$ , м/с	146	408	140	178	175	189

В результаті застосування методу інтерполяції даних за Лагранжем були отримані функціональні залежності розглянутих кількісних і якісних параметрів забрудненості поверхні від ступеня шорсткості пластин.

На рисунку 4.2 представлені графіки зазначених поліномів. При цьому слід зазначити, що кореляція отриманих значень швидкості зі ступенем шорсткості при збільшенні кута нахилу зменшується, проте завжди обернено пропорційно. Питома маса забруднювача корелює прямо пропорційно.

Коефіцієнти кореляції представлені в таблиці 4.4.



а)  $m_{уд}(R_a)$ ; б)  $v_c(R_a)$  при  $30^\circ$ ; в)  $v_c(R_a)$  при  $45^\circ$ ; г)  $v_c(R_a)$  при  $60^\circ$

Рисунок 4.2 – Графіки многочленів

Таблиця 4.4 – Коефіцієнти кореляції параметрів забруднювача з шорсткістю

Співвідношення $f(x)$	$m_{уд}(R_a)$	$v_c(R_a)$		
Кут, $\alpha^\circ$	-	30	45	60
Коефіцієнт кореляції, $C$	0,62	-0,57	-0,48	-0,15

Слабка кореляція швидкості від шорсткості пояснюється утворенням тонкої плівки рідини над поверхнею. У зв'язку з чим крапля рухається не стільки по поверхні, скільки по натягнутій над нею плівці. Аналіз також показав, що незалежно від ступеня шорсткості існує стійке співвідношення швидкості перебігу забруднювача від просторового положення поверхні пластини коефіцієнт кореляції  $C > 0,8$ .

В результаті дослідження можна зробити такі висновки:

- шорсткість поверхні безпосередньо впливає на ступінь її забруднюваності;
- швидкість забруднювача (молока) залежить від його адгезійних властивостей та матеріалу поверхні;
- швидкість забруднювача (молока) залежить від просторового розташування поверхні;
- кількість забруднювача (у масовому вираженні) зростає прямо пропорційно до збільшення шорсткості; - швидкість забруднювача має слабку зворотну залежність від ступеня шорсткості поверхні;
- залежність швидкості від шорсткості обернено пропорційна зі зміною просторового положення поверхні.

Крім того, забруднюваність спостерігається в внутрішніх деяких поверхонь залежність процесу промислових і транспортних ємностей, що використовуються в сільському господарстві (наприклад, для молока такими умовними ємностями є молочні цистерни, фляги, а також елементи доїльних установок, у тому числі трубопроводи), від застосовуваних матеріалів та технологій їх обробки. Така залежність передбачає переглянути підходи до вибору конструкційних матеріалів, їх обробки, а також технології миття та очищення.

Експериментальне дослідження впливу параметрів матеріалу поверхні та температурних режимів на забруднення. Було висунуто гіпотезу – матеріал конструкції, адгезійні властивості забруднювача та миючого реагенту впливають на якість та економічність процесів миття та дезінфекції.

Для підтвердження цієї гіпотези було проведено дослідження, метою якого є визначення залежності коефіцієнта змочуваності на межі розділу фаз рідина-поверхня-повітря від температурних режимів рідини та поверхні та матеріалу. Як рідину розглядалися забруднювач (молоко з відсотковим вмістом жиру  $3,2 \pm 0,2$  %) та миючий реагент (питна вода та 0,3 % розчин кальценованої соди). Основним завданням дослідження залежності було вимір кута змочуваності на вказаній межі розділу.

Загальний хід роботи був таким: зразки матеріалів поверхонь (пластини) піддавалися температурному впливу до досягнення заданої температури поверхні. Забруднювач та миючий реагент також зазнавали температурного впливу. Задана кількість забруднювача та миючого реагенту (по 2 мл) поміщалися на поверхні пластин у різних температурних поєднаннях. Потім проводилася фотозйомка в площині, ортогональній до пластини таким чином, щоб була чітко видно досліджувана межа розділу фаз. Далі за допомогою комп'ютерної обробки знімка визначався кут змочування (програма КОМПАС-3D).

Встановлення зниженої температури досягали шляхом поміщення зразків у холодильну камеру, а підвищеної температури - шляхом рівномірного нагрівання (для пластин у водному середовищі, для забруднювача та миючого реагенту - безпосередній підігрів). У даному контексті під зниженою і підвищеною температурою слід розуміти температуру відповідно нижче і вище температури навколишнього середовища.

Матеріалами пластин були наступні:

- сталь 15 з шорсткістю зразків  $R_a = 0,15; 0,2; 0,4; 0,8$  мкм;
- полімер ПВХ;
- полімер ПЕВП.

У стовпці «Обробка» таблиці 4.6 зазначалося, що пластина після охолодження піддавалася обробці сухою серветкою.

*Таблиця 4.6 – Кут змочуваності (в град.) при різних температурах матеріалу*

Матеріал	ПВХ	ПВХ	ПЕВП	ПЕВП	Ст. 15 $R_a = 0,15$	Ст. 15 $R_a = 0,15$	Ст. 15 $R_a = 0,15$	Ст. 15 $R_a = 0,15$	Ст. 15 $R_a = 0,15$
$t_b, ^\circ\text{C}$	24-25	27-28	27-28	24-25	29-30	24-25	27-28	29-30	17-19
$t_{обр}, ^\circ\text{C}$	12-13	15-17	16-17	14-15	8	9-10	7-9	8-10	17-18
Обробка	ні	так	так	так	так	ні	ні	так	так
$\theta, ^\circ$	0	87-05	106-22	94,72	0	0	60,18	57,68	67,15
Позначення: $t_b$ - температура води; $t_{обр}$ - температура матеріалу (пластини); $t_{окр}$ - 30-31 $^\circ\text{C}$ – температура навколишнього середовища; $\theta$ - крайовий кут змочування.									

Така обробка виявилася необхідною після того, як було помічено на поверхні пластини тонкий шар рідини (імовірно конденсату, причому утвореного в холодильній камері), який різко зменшував крайовий кут змочування аж до 0 (для порівняння таблиці також показані дані результати). Слід зазначити, що шорсткість впливає на кут змочування по-різному для різних рідин. Так щодо відносно однорідних рідин (вода і, певною мірою, молоко) показували зменшення кута, а розчин – збільшення. Однак молоко також є розчином і має менший кут змочування, ніж вода.

Крім того, тонка плівка, що утворюється на поверхні пластини (причому не важливо з якого вона матеріалу) сприяє різкому зменшенню крайового кута, що, ймовірно, пов'язано з переходом із системи тверде тіло-газ-рідина в систему газ-рідина-рідина. Однак, утворення тонкого рідинного шару сприяє загальному змочуванню і відповідно може підвищити якість миття і дезінфекції. У зв'язку з чим перспективним напрямом у підвищенні якості та економічності цих процесів є застосування технологій обприскування ультрамалим об'ємом рідини (аерозолями, туманами).

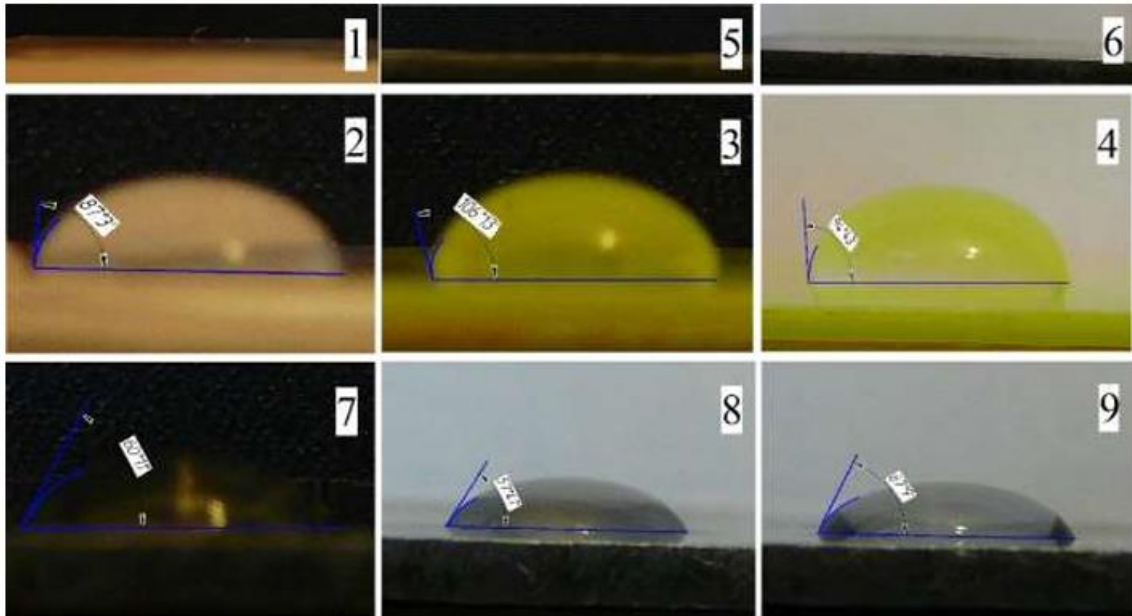


Рисунок 4.3 - Фотознімки експерименту

За наявними результатами експерименту можна зробити наступні висновки:

- матеріал поверхні і температурний режим однаково впливає на властивості адгезії як забруднювача, так і миючого реагенту;
- полімерний матеріал схильний до меншої забруднюваності, що характеризується меншими витратами миючого реагенту в процесі миття;
- температурний режим безпосередньо впливає на адгезійні властивості матеріалу, забруднювача і миючого реагенту, при цьому підвищення температури зменшує крайовий кут змочування, а зменшення температури - збільшує;
- шорсткість матеріалу впливає на крайовий кут змочування.

#### **4.2. Результати експериментальних досліджень дезінфекції поверхонь**

Експериментальне дослідження впливу шорсткості поверхонь металевих та полімерних матеріалів, поширених у світовій практиці сільського господарства, на їх біологічну активність та локальну корозію поверхні проводилося по відношенню до бактерій, живильним середовищем

яких є молочна сировина. На пластини наносилася рівна кількість молока (2 мг). Після цього пластини залишалися на відкритому повітрі протягом трьох діб за температури навколишнього середовища  $t = 27\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Після витримки був змив забруднювача з поверхні пластин, потім була проведена візуальна їх оцінка. На зразках 5 і 6 (полімерні матеріали) будь-яких видимих слідів корозії на поверхні не було виявлено, а на зразках 1 – 4 такі сліди були присутні. Як досліджувані матеріали використовувалися сталі марок 15 і 20X13, а також полімерні матеріали: поліетилен високої щільності (ПЕВП) і полівінілхлорид (ПВХ). Пластини матеріалів розрізалися на частини, кожна з яких доводилася до певної шорсткості поверхні. При цьому проводилося вимірювання можливої нерівномірності структури та властивостей пластин зі сталі 15 зміни магнітного поля (рисунок 4.4) «малим» зондом вимірювача магнітної індукції ВМІ-3. У цьому нерівномірність магнітного поля всіх зразках становила трохи більше 0,1 Гс, перебуваючи у межах похибки виміру.

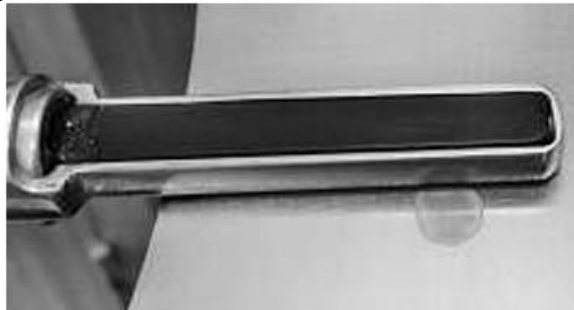


Рисунок 4.4 – Вимірювання магнітного поля пластини «малим» зондом ВМІ -3

Проведена серія вимірювань показала нерівномірність магнітного поля пластин у межах 0,1 Гс (подібне значення можна вважати допустимою похибкою), що говорить про відсутність впливу біокорозії на магнітне поле сталевих випробуваних сталевих пластин внаслідок дії бактерій незалежно від марки сталі. Розрахунок шорсткості показав такі отримані значення сталевих поверхонь:  $R_a = 0.15\text{ мкм}$ ,  $R_a = 0.2\text{ мкм}$ ,  $R_a = 0.4\text{ мкм}$ ,  $R_a = 0.8\text{ мкм}$ . Після цього пластини зважувалися з точністю до 0,01 г, і на них наносилася рівна кількість молока з відсотковим вмістом жиру 3,2 – 4,5 % з однієї ємності та періодом зберігання менше доби.

Після цього пластини знову зважувалися та залишалися на відкритому повітрі при температурі навколишнього середовища на три доби. Потім було проведено повторне зважування зразків і змив залишків від крапель молока зі зразків. Результати по пластинах із сталі 20X13 зведені у таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 - Результати експерименту для сталі 20X13

Шорсткість $R_a$ , мкм	0,15	0,2	0,4	0,8
Маса до додавання молока, г	56,00	51,52	43,54	43,04

Маса до додавання молока, г	56,02	51,54	43,56	43,06
Маса після витримки, г	56,00	51,52	43,54	43,04

Візуальний огляд ділянок пластин на місцях знаходження на них крапель молока показав наявність слідів на пластині з шорсткістю  $R_a = 0,8$  мкм. Більш детальне дослідження пластин на металографічному мікроскопі NEOFOT при збільшенні  $750^x$  показує потемніння поверхні на місці знаходження краплі на пластині з шорсткістю  $R_a=0.8$  мкм, причому потемніння йде по ризиках шорсткості після шліфування, що передбачає наявність в цих місцях колоній бактерій (рисунок 4.5).

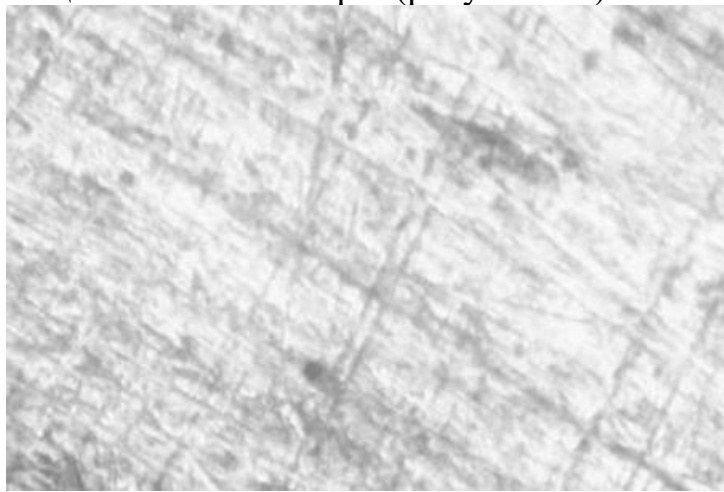


Рисунок 4.5 - Поверхня пластини з шорсткістю  $R_a = 0,8$  мкм зі сталі 20X13 в місці розташування краплі молока під мікроскопом, збільшення  $750^x$

Експерименти на полімерних зразках показали практично повне висихання вологи в краплях молока на їх поверхні (таблиця 4.8).

Таблиця 4.8 - Маса зразків полімерних пластин ПВХ і ПЕВЦ

Матеріал полімеру	ПВХ	ПЕВЦ
Маса зразків початкова, г	2,10	1,60
Маса зразків після нанесення краплі, г	2,20	1,70
Маса зразків після витримки, г	2,14	1,64

Після витримки протягом трьох діб і видалення залишків крапель ніяких візуальних слідів на поверхнях пластин виявлено не було. У зв'язку з чим, можна зробити висновок про відносну нейтральність до біологічних рідин ПЕВЦ і ПВХ. Аналогічне поверхням зі сталі 20X13 дослідження було

проведено щодо пластин зі сталі 15. Поверхні даних пластин були також підготовлені на шорсткість з тими ж значеннями.

З цих даних можна зробити висновок про підвищений залишок продуктів скисання молока на пластинах з маловуглецевої сталі. Отримані фотографії підтверджують цей факт (рисунок 4.6).

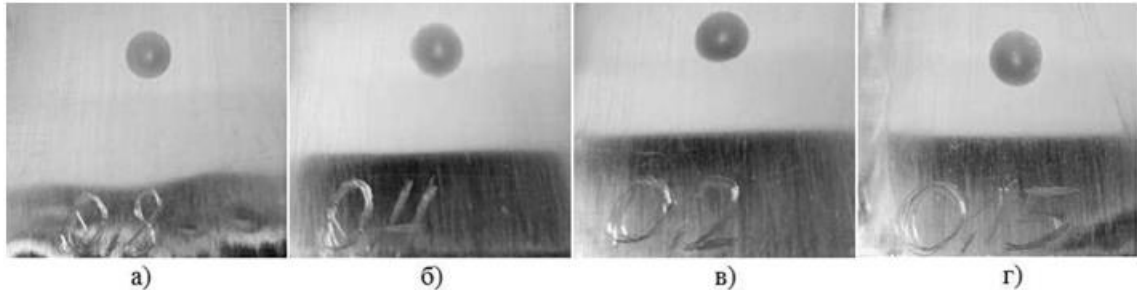


Рисунок 4.6 - Зразки пластин зі сталі після змивання молока з шорсткостями:  
а)  $Ra = 0.8$  мкм, б)  $Ra = 0.4$  мкм, в)  $Ra = 0.2$  мкм, г)  $Ra = 0.15$  мкм

В результаті проведеного дослідження можна зробити висновки:

- про малу придатність сталі 15 для контакту з молочнокислими середовищами;
- про слабку залежність корозійної стійкості від ступеня шорсткості (у всякому разі, при  $Ra = [0,15; 0,8]$  мкм);
- вибір матеріалу істотно впливає на біологічну обсіменіність поверхні.

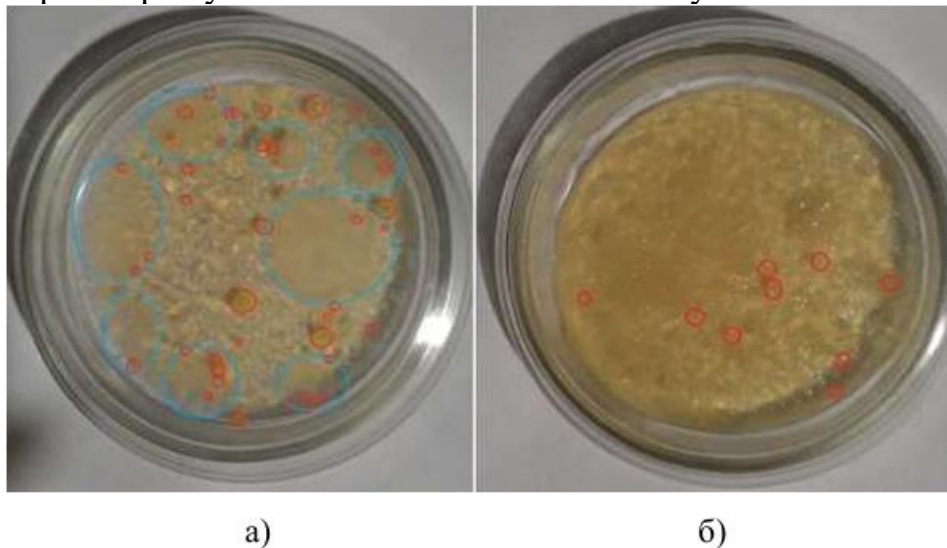


Рисунок 4.7 – Бактеріологічне забруднення пластин: а) Нержавіюча сталь AISI 304; б) Фторопласт -3

Таблиця 4.10 – Результати експерименту

Матеріал	Нержавіюча сталь AISI 304	Фторопласт-3
Кількість колоній бактерій, КОЕ/100 см <sup>2</sup>	38	9
Колонії цвілі	8	-

Експериментальне дослідження бактеріологічного забруднення внутрішніх поверхонь ємностей з нержавіючої сталі та фторовмісного полімеру (фторопласту). У ході експерименту на поверхні з двох матеріалів наносилося молоко з відсотковим вмістом жиру 3,2 % по всій площі (100 см<sup>2</sup>). Після чого робився змив молочної сировини з поверхонь. Пластини поміщалися на добу у вентилязовані бокси, що запобігають попаданню на них механічних забруднень, але дозволяють бути зараженими через атмосферу навколишнього середовища. Потім із пластин ватними паличками були зроблені змив і зроблений посів у чашки Петрі. Після культивування були отримані результати, подані в таблиці 4.10 та на рисунку 4.7. За результатами видно, що матеріали з антибактеріальними елементами у своїй структурі дозволяють зменшити кількість бактерій на поверхні. Слід зазначити, що у зразку з фторопласта був виявлено розвиток продуктів псування (цвілі), які допустимі.

Зниження бактеріологічного зараження дозволить:

- знизити витрати на повторне миття ємностей зберігання та транспортування, особливо після простоїв даного обладнання;
- підвищити час транспортування порожньої ємності до місця навантаження, яке на даний момент обмежене (не більше 3 годин, інакше необхідне повторне миття).

Висновки:

1. Проведено експериментальні дослідження впливу шорсткості на ступінь відмивання поверхні, матеріалу на коефіцієнт змочування реагенту, на біологічну активність та локальну корозію. Визначено, що поверхня з шорсткістю менше 0,1 мкм схильна до забруднення в найменшій мірі, що також сприяє зниженню часу на її відмивання. Полімерні матеріали схильні до меншого забруднення при однаковій шорсткості порівняно з нержавіючої та конструкційної сталлю, що досягається за рахунок меншої змочуваності полімерів рідинами, що переважно складаються з води (наприклад, молоко).

2. Випробовано методи та режими миття та дезінфекції поверхонь ультрамалим об'ємом реагенту. Оптимальними режимами для дезінфекції методом УМО є температура середовища 65°C при експозиції 5 хв. Проведено аналіз рецептур миючих та дезінфікуючих засобів. Застосування екстрактів гірчиці із показником сухих розчинених речовин 2,2 % і більше дозволяє знизити залишкову кількість бактеріологічного забруднення до 0.

3. Проведено аналіз якості миття поверхонь від жирових та білкових забруднень методом розпилення ультрамалого об'єму реагенту. Експериментально отримана залежність питомої електропровідності змиву від часу дії та температури реагенту. Так підвищення температури з 40 до 60 °C і часу дії до 7 хв. знижує електропровідність змиву до 0, що пояснюється повною чистотою поверхні.

## 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ МИЙКИ ТА ДЕЗІНФЕКЦІЇ ПОВЕРХОНЬ МЕТОДОМ РОЗПИЛЕННЯ УЛЬТРАМАЛОГО ОБ'ЄМУ РЕАГЕНТУ

### 5.1. Технологічна лінія

Критерій чистоти – якісний показник стану поверхні без впливу на неї забруднювача.

Забруднюваність – фізико-хімічна взаємодія рідини та/або твердого тіла з поверхнею.

Площа поверхні являє собою суму площі, яка не вступала у взаємодію із забруднювачем (чиста поверхня), та забрудненої площі:

$$F_s = F_c + F_d \quad (73)$$

де  $F_s$  – площа поверхні,  $m^2$ ;

$F_c$  – площа чистої поверхні,  $m^2$ ;

$F_d$  – площа забрудненої поверхні,  $m^2$ .

Таким чином, справедливе співвідношення:

$$\frac{F_c}{F_s} + \frac{F_d}{F_s} = 1 \quad (74)$$

Тоді формула (72) після підстановки і вираження  $C$  набуде вигляду:

$$C = 1 - D \quad (75)$$

де  $C$  – питома чистота поверхні,  $m^2/m^2$ ;

$D$  – питома забрудненість поверхні,  $m^2/m^2$ .

Питома чистота поверхні є відношення площі чистої поверхні до всієї площі поверхні. Аналогічно, питома забрудненість поверхні є відношення площі забрудненої поверхні до всієї площі поверхні. Обидва ці показники менше одиниці і в своїй сумі повинні давати одиницю. Таким чином, дані показники є якісними і можуть бути виражені як процентне співвідношення.

Питома чистота залежить від площі поверхні, яка не контактувала із забруднювачем, яку досить складно визначити. Простішим методом буде її вираження через питому забрудненість, що залежить від забрудненої площі поверхні, яка, у свою чергу, складається з цілком визначених параметрів. Забруднена площа складається з площі, що контактує з певними видами забруднювача: біологічного, хімічного та механічного. Сума площ даних видів забруднювачів становить площу забрудненої поверхні.

$$F_d = F_b + F_{ch} + F_m \quad (76)$$

де  $F_b$  – площа біологічного забруднення,  $m^2$ ;

$F_{ch}$  – площа хімічного забруднення,  $m^2$ . Площа поверхні, що вступила в хімічну реакцію, причому в даному випадку не важливо в яку саме (наприклад, реакцію окислення – процес корозії);

$F_m$  – площа механічного забруднення,  $m^2$ .

Процес фізико-хімічної, або лише фізичної взаємодії забруднювача з поверхнею (наприклад, адгезія). Площа хімічного забруднення залежить від

хімічної активності забруднювача та матеріалу поверхні. У ступеня активності важливе значення мають умови довкілля (температура, тиск та ін.), молекулярні зв'язки в матеріалі поверхні (наприклад, зв'язки в кристалічній решітці) та хімічні властивості забруднювача (в основному - окисні).

Площа біологічної забрудненості залежить від обсіменіння поверхні та середнього розміру бактерій. У свою чергу обсіменіння залежить від площі механічного забруднення рідким забруднювачем, який є для бактерій живильним середовищем. Площа механічного забруднення залежить насамперед від адгезійних властивостей поверхні і забруднювача, переважно змочуваності поверхні рідким забруднювачем, меншою – прилипання твердих частинок до поверхні. В результаті, механічне забруднення можна розділити на дві складові: рідким забруднювачем і твердим забруднювачем. У зв'язку з чим площа механічної забрудненості може бути представлена в наступному вигляді:

$$F_m = F_{ml} + F_{mh} \quad (77)$$

де  $F_{ml}$  – площа механічного забруднення рідким забруднювачем,  $m^2$ ;

$F_{mh}$  – площа механічного забруднення твердим забруднювачем,  $m^2$ .

Таким чином, за базове рівняння критерію чистоти можна прийняти наступне:

$$C = 1 - \frac{F_b + F_{ch} + F_{mi} + F_{mh}}{F_s} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^4 F_i}{F_s} \quad (78)$$

Площа забруднення визначається співвідношенням суми роботи, що виконується забруднювачем щодо поверхні, теплоти, що передається між забруднювачем і нею, а також внутрішньої енергії забруднювача, при її перетворенні, до роботи адгезії:

$$F_i = \frac{P_i + Q_i + E_i}{W_{ai}} = \left[ \frac{Дж + Дж + Дж}{\frac{Дж}{m^2}} \right] = [m^2] = \frac{P_i + Q_i + E_i}{\sigma_{жсi} \cdot (1 + \cos \theta_i)} \quad (82)$$

На підставі проведених теоретичних та експериментальних досліджень була спроектована напівпромислова конструкція комплексної мийної установки, що дозволяє здійснювати з мінімальними ресурсозатратами та енерговитратами процеси миття та дезінфекції ємностей збору, зберігання та транспортування молока, що виробляється в умовах малих фермерських господарств. Основними елементами конструкції КМУ є корпус, розділений на дві секції, з кришками; вузол автоматизованого та ручного управління процесами; система форсунок для зовнішнього миття ємностей, система кріплень ємностей з рухомими елементами, що обертаються; система зливу; насос; електродвигун; нагрівач; обертова миюча головка і система УМО на рухомій штанзі.

Корпус виробу являє собою зварний (або з різьбовими з'єднаннями) каркас з нержавіючої сталі обшитий полімерними матеріалами (наприклад, з поліамід 6 матеріалу або іншого досить жорсткого, механічно міцного, удароміцного матеріалу). Корпус розділений на дві ізольовані одна від одної секції для одночасного незалежного миття двох ємностей. Знизу корпусу закріплені чотири колеса, що обертаються навколо своєї осі з метою надання встановлення мобільності. Зверху встановлені кришки, що відкриваються спільно з частиною передньої стінки для зручності завантаження та розвантаження великогабаритних ємностей.

Система форсунок закріплена на вертикальній рейці, якою подається рідина до форсунок. Рухомий диск, на якому встановлюється ємність, здійснює обертання ємності навколо осі, дозволяючи форсункам здійснювати обробку поверхні по всьому периметру. Кількість форсунок, що працюють, змінюється в залежності від висоти ємності через відсічні електроклапани. Система зливу є мережею каналів і клапанів у днищі корпусу, де відбувається збір відпрацьованої рідини. Дана рідина видаляється насосом в окрему ємність, оснащену фільтрами та барбатируючо-озонуючим агрегатом.

Насос через систему автоматики виконує функцію подвійного призначення залежно від режиму: нагнітає робочу рідину у форсунки, мийну голівку та систему УМО; відкачує рідину, що відпрацьовала. Зміна функціональних режимів відбувається у вигляді зміни напрями обертання електродвигуна через реле управління. Швидкість валу електродвигуна також регулюється.

Нагрівальні елементи виконані у вигляді трубчастих електронагрівачів (ТЕН), встановлених в окремому резервуарі для попереднього нагрівання робочої рідини. Температура рідини регулюється залежно від режиму мийки через ПД-регулятор, чутливим елементом якого є термопара.

Обертальна мийна голівка виконана рухомою на порожній телескопічній штанзі. Паралельно їй встановлена друга аналогічна штанга із системою розпилення ультрамалого об'єму робочої рідини. Система УМО заснована на ультразвукових генераторах, кількість працюючих у тому числі залежить від обсягу ємності.

Основними матеріалами вузлів та агрегатів є нержавіюча сталь марки AISI 304, полімерні (капролон, фторопласт або аналоги) або композитні матеріали (карбонопластик), гума (ущільнювачі), кераміка (мала кількість в ультразвукових генераторах). Розроблений зразок КМУ досить уніфікований, гранично компактний, функціональний та універсальний. Установка дозволяє здійснювати процеси миття та дезінфекції ємностей для збирання, зберігання та транспортування у загальній схемі виробництва молока. Установка призначена для використання у невеликих селянсько-фермерських господарствах та інших малих підприємств.

У ході випробувань установки виявлено основні часові параметри, що визначають продуктивність. Так було виявлено залежність часу осідання

реагенту від температурного градієнта між розчином та поверхнею, а також діаметра крапель частинок, малюнок 5.1.

Ця залежність визначає швидкість змочування, що дозволяє визначати час етапів 1 і 4 розробленої технології миття та дезінфекції.

При проектуванні технологічної лінії ставилося завдання щодо зниження екологічного навантаження на навколишнє середовище при утилізації відпрацьованої рідини. КМУ займає місце в загальному виробничому ланцюжку на завершальному етапі збору молока при доїнні, після етапу зберігання молока і після його транспортування при перевезенні від фермерського господарства до молочного підприємства.

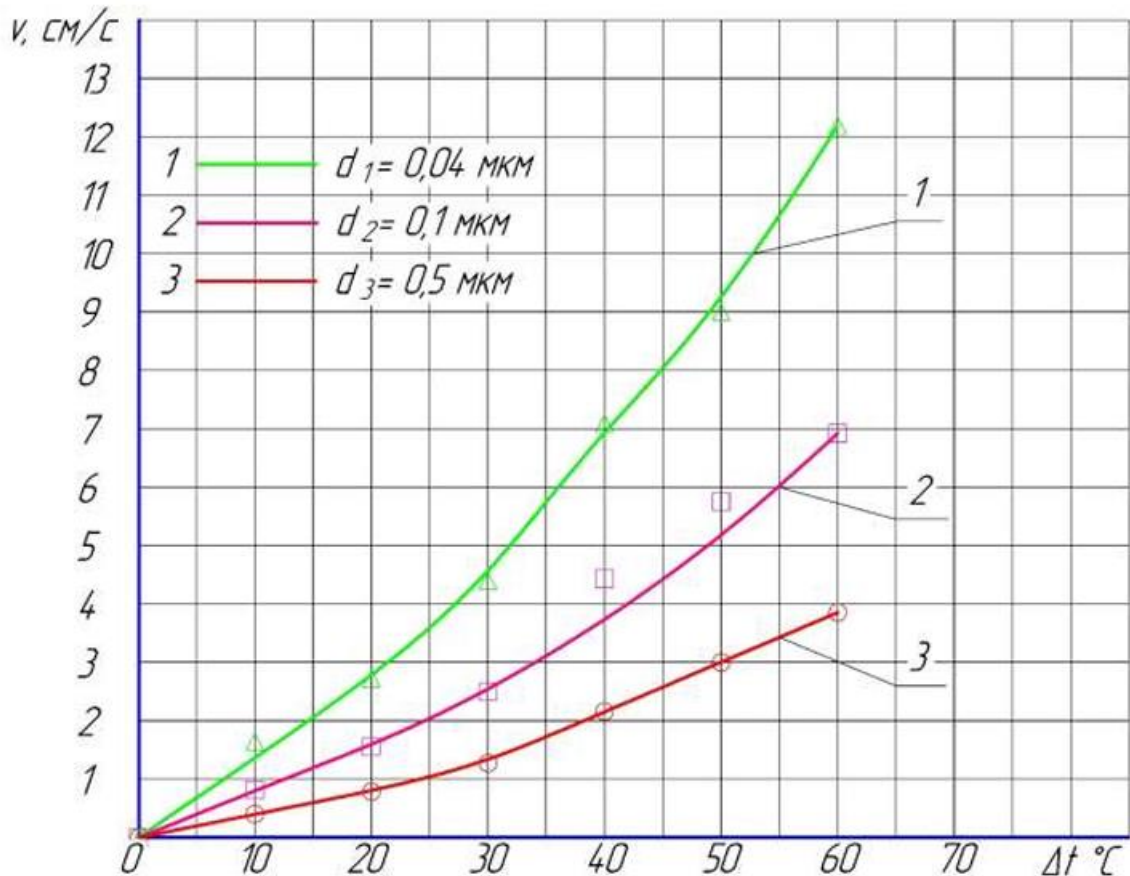


Рисунок 5.1 – Швидкість осідання частинок реагенту залежно від діаметра та температурного градієнта

Таким чином, КМУ задіяна у трьох позиціях виробничого ланцюжка. Також КМУ може бути задіяна на попередньому етапі підготовки ємності для збирання молока. Однак деякі етапи можна поєднати, наприклад, одна ємність може використовуватися і для збирання, тимчасового (нетривалого) зберігання та транспортування молока. І тут дві позиції КМУ можна виключити. Технологічна схема процесів миття і дезінфекції з використанням КМУ включає етапи: завантаження ємності; миття зовнішніх поверхонь; попередня обробка внутрішніх поверхонь у 136 режимі УМО; основне миття внутрішніх поверхонь ємності; полоскання; дезінфекція в режимі УМО;

відкачування відпрацьованої рідини; вивантаження ємності; тестування результатів миття та дезінфекції; фільтрування та знезараження відпрацьованої рідини; її утилізація.

Етапи миття зовнішніх поверхонь, попередньої обробки та миття внутрішніх поверхонь передбачає використання миючих засобів. Як правило, це хімічні поверхнево-активні речовини. Крім ПАР у відпрацьованій воді можуть бути зважені тверді частинки, загальна кількість розчинених речовин, жири та білки молока. Для видалення даних елементів необхідно здійснити низку процесів: фільтрація, первинне відстоювання, коагуляція (флокуляція), окиснення (озонування). Первинне очищення води КМУ здійснюється вугільними фільтрами. Потім виробляють ультрафільтрацію із застосуванням мембран, розмір комірки яких становить до 0,05 мкм. Після цього виробляють зворотний осмос відфільтрованої води. Допустимо проведення нанофільтрації як проміжної процедури між ультрафільтрацією та зворотним осмосом.

Вторинна очистка води в КМУ здійснюється процедурами окиснення, біологічної очистки та стерилізації ультрафіолетом. Як окиснення застосовується озонатор, що барбатує. У процесі озонування води підвищується її кислотність, що сприяє нейтралізації шкідливих речовин та хімічних елементів. Озонування відпрацьованої води є першим етапом її знезараження. Біологічне очищення призначене для видалення розчинених елементів молока, які є живильним середовищем для мікроорганізмів. Як мікроорганізми використовуються анаеробні та аеробні бактерії, здатні розкладати ПАР. Завершальним етапом є остаточне знезараження води з використанням ультрафіолетового випромінювання. В результаті очищення відпрацьована рідина КМУ може бути скинута в загальну систему каналізації або використовувати повторно.

У разі використання води повторно допустимо пропустити етапи біологічного очищення та застосування ультрафіолетового випромінювання, оскільки етап озонування достатній для видалення мікрофлори, а наявність ПАР у відпрацьованій рідині заощадить застосування нових. Тверді механічні забруднення, жир і білок молока, що залишилися у фільтрах, підлягають вивезенню та подальшій утилізації на спеціальних полігонах.

В ході дисертаційного дослідження експериментально було виявлено, що застосування як миючих засобів суміші порошків з рослинного матеріалу та ПАР дають ідентичний ефект як при використанні одних ПАР. Також, при дезінфекції було визначено, що дезінфікуючим реагентом можливе застосування екстрактів рослинного походження із заданою концентрацією сухих розчинених речовин. Застосування даних розглянутих розчинів та екстрактів дозволить знизити екологічне навантаження при утилізації відпрацьованої рідини КМУ.

## 5.2. Економічна ефективність результатів дослідження

Для визначення економічного ефекту розробленої технології миття та дезінфекції внутрішніх поверхонь молочного обладнання, що застосовується при зборі, транспортуванні та зберіганні молока в умовах малих фермерських господарств, було проведено економічний аналіз собівартості процесів, що здійснюються розробленою виробничою установкою та установками-аналогами. Аналіз проведено за яким відбувалося порівняння нового зразка техніки з існуючими аналогами. В якості нового зразка техніки був прийнятий промисловий зразок комплексної мийної установки (КМУ). В якості аналогів розглядалися промислові зразки компанії SANEQ Industrial (циклічна мийна машина T-1500 Barrel Washer, рисунок 5.2) і компанії FELETI (мийна машина Lurea KEF/KSF, рисунок 5.3). Всі зразки призначені для миття та дезінфекції (крім T-1500 Barrel Washer) внутрішніх поверхонь бідонів, бочок і фляг для молока. Зразки мають технічні характеристики, представлені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Основні технічні характеристики зразків

Параметр	T-1500 Barrel Washer	Lurea KEF/KSF	КМУ
Габаритні розміри (В x Ш x Г), мм	1740 x 2400 x 1600	1800 x 1200 x 1800	1000 x 500 x 1050
Час миття	Задається	Задається	Задається
Час ополіскування	30 с	Задається	Задається
Внутрішнє миття	Ротаційна розпилювальна головка	Ротаційна розпилювальна головка	Ротаційна розпилювальна головка
Зовнішня мийка	Форсунки типу Clip-On/V Jet	Форсунки	Форсунки
Об'єм ємності, л	200	250	300
Потужність мийної помпи, кВт	11-37	5,5	3
Електроспоживання, кВт	30	30	26
Витрата води, л/хв.	16	30	6
Тип дезінфекції	Відсутній	Струменева	Дисперсна система
Система попередньої обробки	Відсутній	Відсутній	Дисперсна система
Вартість встановлення, грн.	174301	146520	102000

Модель T-1500 Barrel Washer додатково комплектується системою витяжки випарів, дозатором реагентів, паровим нагрівачем. Модель Lurea KEF/KSF – системами дезінфекції внутрішніх поверхонь ємності після ополіскування, активною витяжкою, додатковим трубчастим електронагрівачем (додаткове електроспоживання 12 кВт·год), ротаційним фільтром.



Рисунок 5.2 – Модель T-1500 Barrel Washer

Прийmemo, що процеси миття та дезінфекції на КМУ здійснюються протягом 247 робочих днів на рік, 8-ми годинного однозмінного п'ятиденного робочого тижня.

Тривалість миття та дезінфекції залежить від типу миючого реагенту та дезінфектанту, їх концентрацій. Прийmemo час циклу рівну сумі часу необхідної на попередню обробку, миття, ополіскування, дезінфекцію і значення якої визначимо 5 хв. одну ємність заданого обсягу до 200 л. Відсутність етапу дезінфекції в циклі миття передбачає наявність ймовірності збереження обсіменіння внутрішньої поверхні ємності патогенною мікрофлорою. Аналогічно для етапу передобробки, відсутність якої підвищує ймовірність низької якості миття.



Рисунок 5.3 – Модель Lurea KEF/KSF

Прийнявши рівень довірного інтервалу в 95%, отримуємо ймовірність необхідності повторного миття становить 5% при відсутності одного з етапів. Таким чином, продуктивність мийних машин  $\Pi$  на рік визначається:

$$\Pi_m = \frac{D \cdot T_p}{\sum_i^n t_i} \cdot (1 - k_{\partial} - k_{no}) \quad (85)$$

Розрахунок енерговитрат за параметром електроенергії здійснюється для випадку роботи трьох розглянутих мийних машин протягом року, використовуючи наступну формулу:

$$Z_{ел.ен.} = (N_{el}^I \cdot D_e^I + N_{el}^{II} \cdot D_e^{II}) \cdot C_{ел.ен.} \cdot T_p \quad (86)$$

де  $N_{el}^I; N_{el}^{II}$  – потужність насоса і нагрівача мийної машини, кВт;

$D_e^I; D_e^{II}$  – кількість днів роботи мийної машини без нагрівача і з нагрівачем, дн.

$C_{ел.ен.}$  – ціна спожитої електроенергії, грн./кВт·ч

Дві третини робочих днів у році (165 днів) представлені зразки постійно працюють у режимі без нагрівання і третина (82 дні) – з нагріванням (температура рідини становить 40-60°C). Витрати на електроенергію в режимі УМО визначаються за формулою:

Витрати на електроенергію в режимі УМО визначаються за формулою:

$$Z_{ел.ен.}^{УМО} = t_{умо} (N_{уд}^{II} \cdot D_e^{II} + N_{уд}^{III} \cdot D_e) \cdot C_{ел.ен.} \cdot T_p \quad (87)$$

де  $N_{el}^{III}$  – потужність ультразвукового генератора, кВт;

$t_{умо}$  – час генерації УМО м'якого та дезінфікуючого розчину, ч.

Робота в режимі УМО здійснюється на етапах попередньої обробки та дезінфекції.

Витрати електроенергії при роботі насоса мийної машини в режимі відкачування відпрацьованої рідини визначаються за формулою:

$$Z_{ел.ен}^{отк} = t_{отк} \cdot N_{уд}^I \cdot D_e \cdot C_{ел.ен} \cdot T_p \quad (88)$$

де  $t_{отк}$  - загальний час, що витрачається на відкачування, ч.

Витрати на витрату мийної рідини (береться по воді) визначаються за формулою:

$$Z_{води} = H_{розх}^{вод} \cdot (C_{вод}^{номр} + C_{вод}^{отв}) \cdot D_e \cdot T_p \quad (89)$$

де  $H_{розх}^{вод}$  - норма витрати мийної рідини (води), м<sup>3</sup>/год;

$C_{вод}^{номр}$  - ціна спожитої питної води, грн./м<sup>3</sup>;

$C_{вод}^{отв}$  - ціна водовідведення, грн./м<sup>3</sup>;

Витрати на мийний та дезінфікуючий реагенти визначаються за формулою:

$$Z_p = (H_{розх}^м \cdot C_m + H_{розх}^д \cdot C_d) \cdot D_e \cdot T_p \quad (90)$$

де  $H_{розх}^м$ ;  $H_{розх}^д$  - норма витрати мийного та дезінфікуючого реагенту, л/год (кг/год);

$C_m$ ,  $C_d$  - ціна мийного та дезінфікуючого реагенту, грн./л.

Загальна структура енерговитрат наведена в таблиці 5.2. За рахунок наявності систем попередньої обробки та дезінфекції енерговитрати на електроенергію знизяться на 25,2% і 37,8%, на водні ресурси, мийні та дезінфікуючі реагенти на 62,5% і 80% нижче, ніж у мийних машин моделі T-1500 Barrel Washer і моделі Модель Lurea KEF/KSF відповідно, що узгоджується із загальними цілями розвитку сільського господарства.

Економічний ефект від впровадження КМУ на рік визначається за формулою:

$$E_2 = \sum z_6 - \sum z_n \quad (91)$$

де  $\sum z_6$  - сума енерговитрат роботи аналога, грн.

$\sum z_n$  - сума енерговитрат роботи КМУ, грн.

Термін окупності капіталовкладень при впровадженні КМУ в процес виробництва молока фермерським господарством розраховується за формулою:

$$T_{ок} = \frac{K_{вл}}{E_2} \quad (92)$$

де  $K_{вл}$  - сума капітальних вкладень на придбання та введення в експлуатацію КМУ, грн.

Таблиця 5.2 – Структура енерговитрат

	Вартість, грн
--	---------------

Найменування показника	T-1500 Barrel Washer	Lurea KEF/KSF	КМУ
Витрати електроенергії роботи мийних машин, $Z_{ел.ен}$	393442,4	393442,4	338538,3
Витрати на електроенергію в режимі УМО, $Z_{ел.ен}^{УМО}$	0	0	45,7
Витрати електроенергії в режимі відкачування відпрацьованої рідини, $Z_{ел.ен}^{відк}$	3074,6	3074,6	2635,4
Витрати на мийну рідину, $Z_{води}$	85515,0	160340,5	32068,1
Витрати на витрату реагентів, $Z_p$	34113,7	63963,1	12792,6
РАЗОМ	516145,7	620820,6	386080,1

В результаті, річний економічний ефект від впровадження КМУ складе 130065,6-234740,5 грн., а термін окупності капітальних вкладень – 0,4-0,8 року (5-10 місяців).

Дані показники дозволяють зробити висновок про економічну доцільність використання в малих фермерських господарствах з виробництва молока розробленої комплексної мийної установки ємностей для збору, зберігання і транспортування молока.

Розроблена технологічна схема комбінованої мийної установки має продуктивність 2409,6 л/год (23807 шт./рік, ємностей об'ємом до 300 л), що дозволяє знизити ресурсовитрати в цілому на 62,5-80% і енерговитрати на 25,2-37,8%.

Витрата води установки в порівнянні з аналогами представлена на рисунку 5.4 за загальним часом пропонованої технології миття та дезінфекції.

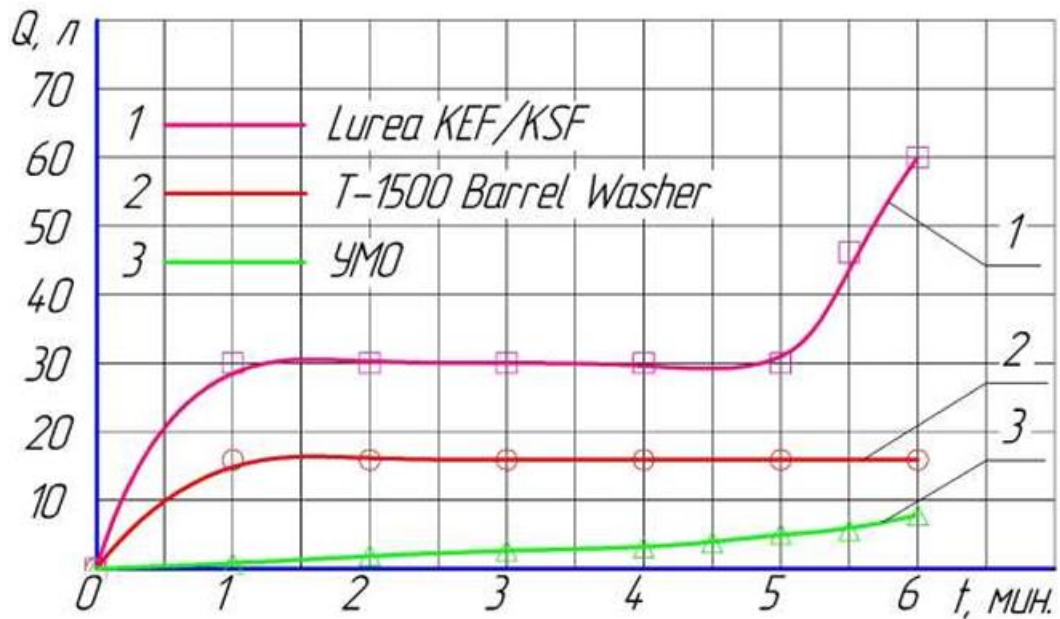


Рисунок 5.4 – Витрата води установки і мийних машин

Економічна ефективність використання установки (70606,42-234740,5грн.) і термін окупності капіталовкладень на її придбання та введення в експлуатацію 0,4-0,8 року (5-10 місяців).

Висновки за розділом

1. Запропоновано якісний показник ступеня чистоти внутрішніх поверхонь ємностей для збору, зберігання та транспортування молока – критерій чистоти.

2. Визначено економічну ефективність використання комплексної мийної установки ємностей для збору, зберігання та транспортування молока (70606,42-127429,44грн.) та термін окупності капіталовкладень на її придбання та введення в експлуатацію 0,4-0,8 року (5-10 місяців).

## ВИСНОВКИ

1. Аналіз теоретичних досліджень процесів миття та дезінфекції внутрішніх поверхонь ємностей збору, зберігання та транспортування молока показав, що застосування технологій ультрамалого об'єму обробки та озонування дозволяють знизити ресурсо- та енерговитрати.

2. Результати теоретичних досліджень та експериментів обґрунтовують економію ресурсів та електроенергії при використанні методу ультрамалого об'єму розпилення частинок діаметром 0,04-0,05 мкм у процесі миття поверхні з шорсткістю 0,15-0,8 мкм: води на 22 л/хв., миючого та дезінфікуючого. 1,12 кВт/год. Встановлено, що при середньому діаметрі краплі 0,04-0,05 мкм і температурі 60°C відбувається стерилізація внутрішнього об'єму ємності до 20 л при експозиції 6 хв., використовуючи як дезінфектант озоновану воду, з концентрацією озону 10-16 мг/м<sup>3</sup>.

3. Розроблена методика розрахунку процесу миття ультрамалим об'ємом миючого розчину та озонування дозволяє визначити конструктивні параметри комбінованої мийної установки, параметри та режими процесу миття та дезінфекції (частота ультразвуку 0,14 – 2,5 МГц, час передобробки 4 – 6 хв.) та експозиції 0,2.

4. Досліджено фізико-хімічні властивості частинок туману миючих та дезінфікуючих розчинів. Встановлено, що розпилення озонованої води у вигляді туману має більш високу ефективність дезінфекції порівняно з вакуумом на 85%, гарячою водою (60°C) на 28%, озоном (концентрація 0,3-0,5 мг/м<sup>3</sup>) на 72%.

5. Розроблено конструктивно-технологічні схеми експериментальної та виробничої комбінованої мийної установки для здійснення миття та дезінфекції внутрішніх поверхонь ємностей збору, зберігання та транспортування молока. Діапазон частот ультразвукового генератора становить 20 кГц-1 МГц, середній діаметр крапель туману 0,05-0,1 мкм, концентрація озону для повітря 1,5-4 мг/м<sup>3</sup>, для озонованої води - 10-16 мг/м<sup>3</sup>, час обробки ультрамалим об'ємом миючого розчину 2,5-4хв. Для ємностей об'ємом до 300 л споживана потужність становить від 24 до 300 Вт, витрата води 8 л/год. Продуктивність промислової установки 8 ємностей, об'ємом 300 л на годину, дозволяє знизити ресурсовитрати загалом на 62,5-80% та енерговитрати на 25,2-37,8%. Строк окупності капіталовкладень на її виробництво та введення в експлуатацію 0,4-0,8 року (5-10 місяців).

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гнатюк С. М. Технології санітарної обробки молочного обладнання у фермерських господарствах. Харчова промисловість, 2020, №3, с. 45–52.
2. Мельник В. І., Бабич О. В. Оцінювання ефективності СІР-мивання резервуарів для зберігання молока. Наукові праці НУХТ, 2019, №25(2), с. 120–128.
3. Олійник Т. Я. Оцінка впливу озонованої води на мікробне забруднення молочного обладнання. Вісник аграрної науки, 2021, №7, с. 78–85.
4. Прокопенко Л. В. Ультразвукові технології в санітарній обробці харчового обладнання. Обладнання та технології харчових виробництв, 2018, №1, с. 33–40.
5. Коваленко Ю. С. Використання дрібнодисперсного туману у процесах дезінфекції ємностей харчової промисловості. Сучасні технології та обладнання харчових виробництв, 2022, №2, с. 59–66.
6. Ісаєнко В. В. Дослідження фізико-хімічних властивостей озонованої води для санітарної обробки молочної техніки. Техніка і технології АПК, 2020, №5, с. 41–48.
7. Крамаренко С. С., Гончарук І. М. Очищення внутрішніх поверхонь харчового обладнання за допомогою високочастотних ультразвукових систем. Науковий вісник НУБіП, 2021, №4, с. 112–119.
8. Мазур Л. П. Оптимізація режимів миття та дезінфекції внутрішніх поверхонь ємностей молочного призначення. Харчова наука і технологія, 2019, №13(3), с. 28–35.
9. Бойко О. Ю. Ефективність озонування приміщень і обладнання молочних ферм. Ветеринарна біотехнологія, 2020, №36, с. 53–61.
10. Грицай Н. П., Савчук М. І. Застосування аерозольних дезінфекційних систем у молочному виробництві. Ветеринарна медицина України, 2021, №2, с. 27–33.
11. ДСТУ 3828:2015. Обладнання молочної промисловості. Вимоги до санітарної обробки. Київ: Мінекономіки України.
12. Гнатченко І. М. Дослідження впливу параметрів ультразвуку на видалення білково-жирових відкладень у трубчастих елементах молокопроводів. Вісник ХНТУСГ, 2020, №210, с. 134–140.
13. Луценко Л. О. Екологічні аспекти використання озонованих мийних розчинів у молочній промисловості. Екологічна безпека та природокористування, 2021, №3, с. 50–57.
14. Павленко Т. А. Удосконалення технологій миття молочного обладнання на основі математичного моделювання процесів. Прикладні аспекти сучасних технологій, 2022, №1, с. 89–95.
15. Сахно О. П. Санітарно-гігієнічні вимоги до автоматизованих систем миття ємностей для молока. Технічні науки та технології, 2020, №4, с. 74–81.

16. Chisti, Y. Ultrasonic cleaning and disinfection technologies for food-processing equipment. *Journal of Food Engineering*, 2019, 253, 23–33.
17. Khadre, M., Yousef, A., & Kim, J. Microbiological aspects of ozone applications in food processing and sanitation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2010, 50(3), 247–264.
18. Guzel-Seydim, Z., Greene, A., & Seydim, A. Use of ozone in dairy processing and equipment sanitation. *International Dairy Journal*, 2004, 14(5), 409–416.
19. Holah, J., Bird, J., & Hall, K. Cleaning and disinfection in food processing operations: optimizing resource consumption. *Food Control*, 2020, 110, 107012.
20. Fellows, P. *Food Processing Technology: Principles and Practice*. 4th ed. Woodhead Publishing, 2016.
21. García-González, L., Smigic, N., & de Jong, P. CIP (Cleaning-in-Place) optimization methods in dairy plants. *Journal of Dairy Science*, 2018, 101(7), 5871–5883.
22. O'Donnell, C., Tiwari, B., Bourke, P., & Cullen, P. *Ozone in Food Processing*. Wiley-Blackwell, 2012.
23. Riener, J., Noci, F., Cronin, D., Morgan, D., & Lyng, J. Characterization of ultrasonic fogging for sanitizing surfaces. *Ultrasonics Sonochemistry*, 2009, 16(6), 763–768.
24. Dhakal, J., Peng, H., & Schaffner, D. Efficiency of ozone-based sanitation systems for pathogen removal in dairy equipment. *Journal of Dairy Research*, 2021, 88(1), 45–54.
25. Kyselov, M., & Omelianenko, N. Application of ultrafine aerosol technologies in CIP systems for dairy tank sanitation. *Ukrainian Journal of Food Science*, 2020, 8(2), 58–67.
26. European Hygienic Engineering & Design Group (EHEDG). *Guidelines on Hygienic Design of Food Processing Equipment*. EHEDG Doc 8, 2018.
27. ISO 15714:2019. Method for evaluating the antimicrobial activity of airborne ultrasonic and aerosolized disinfectants. International Organization for Standardization.