

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

УДК 631.171:621.311

ПОГОДЖЕНО
Директор ННІ енергетики,
автоматики і енергозбереження

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
електротехніки, електромеханіки
та електротехнологій

проф., д.т.н. /КАПЛУН В.В./
вчене звання, науковий ступінь підпис

доц., к.т.н. /ОКУШКО О.В./
вчене звання, науковий ступінь підпис

„ ” 2026 р.
число місяць рік

„ ” 2026 р.
число місяць рік

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на тему: « ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСІВ СТЕРИЛІЗАЦІЇ І
ПАСТЕРИЗАЦІЇ МОЛОКА З ВИКОРИСТАННЯМ УЛЬТРАЗВУКОВИХ
ТЕХНОЛОГІЙ»**

Спеціальність 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(код і назва)

Освітня програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-наукова

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

к.т.н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

Троханяк В.І.

(ПІБ)

Керівник магістерської роботи

Д.т.н., проф.

(науковий ступінь та вчене звання)

Червінський Л.С.

(ПІБ)

Виконав

Фемяк В.В.

(підпис)

(ПІБ)

КИЇВ – 2026

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
електротехніки, електромеханіки
та електротехнологій

К.Т.Н., доцент / ОКУШКО О.В.
науковий ступінь, вчене звання підпис ПІБ
„_____” _____ 2025 р.
число місяць рік

З А В Д А Н Н Я

до виконання магістерської кваліфікаційної роботи студенту

Фемяку Василю Васильовичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

Спеціальність 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітня програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Орієнтація освітньої програми освітньо-наукова

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: *«ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСІВ СТЕРИЛІЗАЦІЇ І ПАСТЕРИЗАЦІЇ МОЛОКА З ВИКОРИСТАННЯМ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ»*

затверджена наказом ректора НУБіП України від “_18_”_11_2024 р. № 2058»С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру 2026.05.20
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської роботи:

- а) Результати науково-дослідницької роботи кафедри ЕЕЕ.
- б) Публікації співробітників кафедри ЕЕЕ.
- в) Система ПЗР і ТО електрообладнання сільськогосподарських підприємств.
- г) Нормативні документи: ПУЕ, ПТЕЕС та ПБЕЕС, ДСТУ, ДБН тощо.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

- а) **Аналітична частина.** Аналіз характеристик і стану науково-виробничої проблеми ультразвукової обробки молока
- б) **Технологічна частина.** Обґрунтування і вибір технологічного обладнання .
- в) **Електротехнічна частина.** Обґрунтування процесу і обладнання для ультразвукової стерилізації та пастеризації молока
- г) Розробка питань керування та енергоефективності процесу обробки.
- д) **Дослідницька частина.** Розроблення системи та режимів керування роботою установки за видами продукції
- е) **Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.**

Перелік графічного матеріалу (за потреби) _____

Дата видачі завдання “_15_”_квітня_2025 р

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

(підпис)

Червінський Л.С.

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____

(підпис)

Фемяк В.В.

(прізвище та ініціали студента)

РЕФЕРАТ

Магістерська робота: 100 с., 11 рис., 13 табл., 41 джерело.

Актуальність. Головна мета технології і організації виробництва молока полягає в збереженні всіх найцінніших природних якостей сировини з моменту його отримання на фермі до постачання споживачу.

Мета досліджень – розробка і обґрунтування параметрів системи ультразвукової обробки молока, що забезпечує підвищення ефективності технологічних процесів, зниження затрат праці на обробку молока та покращення його якості.

Задачі досліджень:

1. Розглянути технологію первинної обробки.
2. Розглянути сучасні способи первинної обробки молока.
3. Розробити пристрій для ультразвукової обробки молока.
4. Розробити заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.
5. Провести техніко-економічне обґрунтування прийнятих рішень.

Об'єктом дослідження є технологічний процес первинної обробки молока ультразвуком .

Предмет досліджень – структура та параметри автоматизованого паристрою для ультразвукової обробки молока в потоці.

Теоретична цінність отриманих результатів полягає в обґрунтуванні структури та параметрів системи електрообладнання доїльно-молочного блоку та дослідженні ефективності використання сучасних способів обробки молока

Практична цінність отриманих результатів полягає у розробці пристрою для ультразвукової обробки молока.

Апробація.

Результати досліджень за темою випускної магістерської роботи були представлені на студентській науково – практичній конференції “Актуальні питання розвитку агропромислового комплексу” (квітень 2025, 2026р.р.) у та науково-практичній студентської конференції «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України» (2-3 квітня, 2026 р.) в ХНТУСГ ім. Петра Василенка, м. Харків.

Структура роботи.

Робота складається зі вступу, 7 розділів, висновків, переліку посилань (41 найменування).

Розглянуто способи первинної обробки молока. Встановлено, що ультразвукова обробка за результативністю використання, економічною ефективністю в найбільшій мірі задовольняє умовам малих фермерських господарств, що займаються виробництвом молока при дотриманні екологічної безпеки в процесі експлуатації обладнання.

Запропоновано пристрій для обробки молока в потоці за допомогою п'єзоджерел ультразвукових випромінювань кільцевої форми, зібраних у вигляді циліндра з молокопроводом навколо циліндра по гвинтовій лінії.

Розглянуто питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях. Доцільність прийнятих рішень підтверджена техніко-економічними розрахунками

Загальний обсяг текстової частини –67 сторінок, 13 таблиць, 11 рисунків.

.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПЕРЕРОБКИ МОЛОКА	10
1.1 Загальна характеристика	10
1.2 Характеристика технологічних процесів виробництва та обробки молока у фермерському господарстві	13
РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	17
2.1 Вимоги до первинної обробки молока.....	17
2.2 Технологічні схеми первинної обробки	19
2.3 Опис технологічного процесу обробки молока	20
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	23
3.1. Електрофізичні методи обробки молока і продуктів	23
3.2. Розробка і дослідження ультразвукової обробки молока.....	25
3.1 Визначення режимів обробки молока	31
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ОБРОБКИ МОЛОКА.....	45
4.1 Альтернативні способи первинної обробки молока.....	45
4.2 Розробка пристрою для ультразвукової обробки молока	58
4.3 Розробка схеми керування лінії первинної обробки молока	25
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	66
5.1. Нормативно-правові акти з охорони праці	66

	7
5.2. Аналіз стану охорони праці у фермерському господарстві.....	69
5.3 Аналіз потенційних небезпек.....	70
РОЗДІЛ 6. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА РОБОТИ	72
ВИСНОВКИ	76
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	77

ВСТУП

Тваринництво є галуззю сільського господарства, що займається розведенням сільськогосподарських тварин для виробництва тваринницьких продуктів.

Електрифікація сільського господарства включає в себе використання електричної енергії як для приводу робочих машин, так і в процесах, в яких енергія перетворюється в інші види.

З усіх харчових продуктів найбільш цінними є молоко і виготовлені з нього продукти (масло, сир, сир та ін.) Молоко містить майже всі необхідні для харчування повноцінні речовини: жири, білки, цукор, мінеральні солі, вітаміни, ферменти, гормони і т. д. Засвоюваність організмом молоко в цілому і всіх його складових частин дуже висока.

Молоко, особливо свіжонадоєне (при температурі 35-36°C), є сприятливим середовищем для розвитку будь-яких шкідливих і корисних мікроорганізмів. Бактеріальне забруднення молока залежить від умов утримання тварин, способу доїння, чистоти приміщень, апаратури тощо. Кількість мікроорганізмів у молоці збільшується навіть при нетривалому його зберіганні.

З метою зберігання споживчих властивостей молока і запобіганню передачі через нього цілого ряду захворювань його обробку починають уже на фермах. Виділяють з молока сторонні домішки, частини корму, гною, бруду і охолоджують його до температури, яка допоможе припинити розмноження мікроорганізмів.

Велику роль в отриманні високоякісного молока, а в ряді випадків і молочних продуктів, відіграє первинна обробка молока на добре обладнаних фермах, і полягає у його очищенні, охолодженні, пастеризації, нормалізації.

Первинна обробка молока має на меті підготувати його до транспортування і реалізації або зберігання у свіжому вигляді.

При правильно і своєчасно проведеній первинній обробці зберігаються початкові властивості свіжовидоєного молока.

Характерними особливостями сучасного виробництва молока і молочних продуктів є якісне забезпечення технологічних процесів, що дають можливість збільшення терміну придатності.

Технологія і організація виробництва молока являє собою систему знань про сукупність способів отримання, переробки і виробництва. Вона базується на досягненнях науково-технічного процесу і постійно розвивається і вдосконалюється. У виробництві молока і молочних продуктів сировиною являється молоко коров'яче, яке є цінним харчовим продуктом.

В цілому при високому рівні електрифікації та автоматизації існуючих технологічних схем виробництва молока залишаються ще невирішені проблеми і вузькі місця, які головним чином відносяться до засобів автоматики.

З впровадженням на підприємствах більш складних автоматизованих машин, агрегатів та поточкових ліній особливо важливого значення набуває питання найкращого використання цієї техніки і забезпечення належного контролю за її станом. Тому нагальною практичною необхідністю оснащення стало оснащення виробництва відносно простими засобами контролю, щоб з їх допомогою можна було передати порушення запланованого режиму роботи обладнання.

Головна мета технології і організації виробництва молока полягає в збереженні всіх найцінніших природних якостей сировини з моменту його отримання на фермі до постачання споживачу.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ПЕРЕРОБКИ МОЛОКА

Первинна обробка молока - це комплекс операцій, що виконуються з видоєним молоком, що поліпшують його санітарно-гігієнічні якості, але не змінюють первинних властивостей.

До первинної обробки молока відносяться його фільтрація, очищення, пастеризація і охолодження.

Для поліпшення якості молока його очищають від механічних забруднень, охолоджують і зберігають при температурі 6 ... 8 ° С до відправки на молочні заводи.

1.1. Вимоги до первинної обробки молока

Свіжовидоєне молоко характеризується бактерицидною властивістю - протягом певного часу протидіяти процесам розвитку мікрофлори. Цей проміжок часу називають бактерицидною періодом. Залежно від умов зберігання молока він може тривати від двох до тридцяти шести годин. Найважливішими факторами, які впливають на тривалість бактерицидного періоду, є температура молока і кількість мікрофлори, яка потрапила в нього під час виконання операцій доїння, транспортування та тимчасового зберігання.

Основними джерелами потрапляння мікрофлори в молоко під час машинного доїння є забруднене вим'я тварин, неякісно промиті доїльні апарати і молокопроводи, забруднене повітря, що надходить в молокопровід через доїльні установки, а також недостатньо чисте молочне устаткування і резервуари для транспортування і зберігання молока.

Молоко не лише цінний харчовий продукт, але і є сприятливим середовищем для розвитку мікрофлори, яка за певних умов може інтенсивно розвиватися, роблячи молоко непридатним для споживання через негативний вплив на здоров'я людей і тварин. Зважаючи на це, первинна обробка молока повинна бути спрямована на продовження бактерицидного періоду.

Якість молока та отриманих з нього в процесі переробки молочних продуктів істотно залежать від своєчасності первинної обробки молока, яка є заключною ланкою процесу доїння тварин.

Оскільки процеси розвитку наявної в молоці мікрофлори протікають постійно і необоротно змінюють його якість, тому первинна обробка молока повинна проводитися з мінімальним розривом у часі щодо доїння корів. Оптимальним є варіант, коли первинна обробка молока здійснюється послідовно і нерозривно з доїнням і протягом усього його часу.

Отже, в умовах тваринницьких господарств первинну обробку молока проводять з метою збереження його санітарно-гігієнічних, харчових і технологічних властивостей, доставки до споживача або переробника в свіжому стані.

Основним показником дотримання гігієнічних вимог при доїнні корів і зберіганні молока, є рівень його кислотності, виражений в градусах Тернера (°Т). Для свіжовидоєного молока він становить 16-18 °Т. Кількісну оцінку кислотності молока здійснюють у лабораторії методом титрування.

Рівень забруднення молока механічними домішками визначають шляхом очищення молока за допомогою фільтрувального паперу, з подальшим дослідженням з використанням мікроскопа кількості включень, яке припадає на одиницю площі фільтра.

Жирність молока визначають методом центрифугування його розчину з сірчаною кислотою. Рівень жирності встановлюють візуально за шкалою пробірки - жировимірника.

Первинна обробка молока повинна виконуватися, по можливості, в окремих сухих і добре освітлених приміщеннях, де передбачається водяне опалення, водопостачання, каналізація та вентиляція. Необхідно також, щоб при цьому дотримувалися всі санітарні та ветеринарні правила.

Технологічні схеми первинної обробки

Щоб вибрати технологічну схему пастеризації молока за стандартами, треба врахувати основні етапи: спочатку молоко очищують, потім нагрівають до певної температури (залежно від методу: зазвичай 72-75°C протягом 15 секунд або інші режими). Далі молоко швидко охолоджують і вже охолоджене направляють на розлив чи подальше зберігання. Весь процес контролюється, щоб відповідати

нормам (наприклад, ДСТУ чи НАССР), які регламентують температури, час та санітарні вимоги.

При поточній організації виробництва продукт, отриманий в результаті роботи попередньої машини, є вихідним матеріалом для наступної, і операції на всіх робочих місцях виконуються в проміжки часу, рівні або кратні ритму потоку (при умові неперервності руху матеріалу, що обробляється).

Перелік і послідовність операцій визначають, виходячи з конкретних умов виробництва і поставленої мети. Серед можливих операцій первинної обробки молока в умовах сільськогосподарських підприємств найбільшого поширення набули очищення, пастеризація і охолодження (рис.1.1).

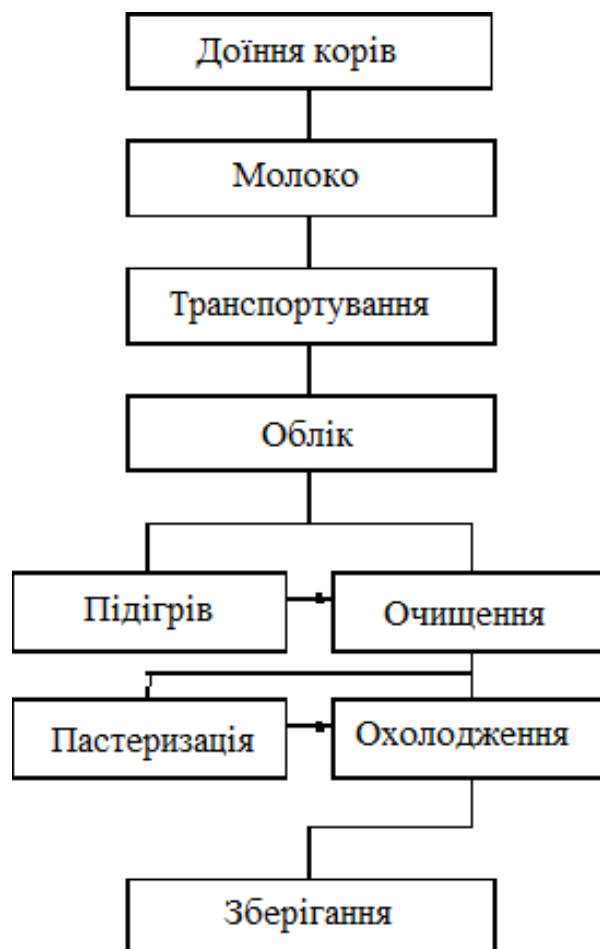


Рис. 1.1 - Структура операцій первинної обробки молока.

У тих випадках, коли молоко тваринницьких господарств реалізується безпосередньо для населення, в технологічні схеми первинної обробки часто включають ще й окремі операції переробки молока.

Переробка молока має на меті отримати питне молоко, вершки, масло, сир та інші молочні продукти. У деяких господарствах використовують обладнання для приймання молока і проведення його сепарації, нормалізації і гомогенізації.

Найпростіша технологічна схема первинної обробки молока включає його очищення і охолодження і здійснюється обладнанням, яке входить до складу сучасних доїльних агрегатів. Така схема цілком достатня для тваринницьких господарств, які розташовані неподалік від молокопереробних підприємств.

У тих же випадках коли господарство далеко розташоване від промислових підприємств, а також з незадовільними шляхами сполучення з молокоприймальних пунктів, молоко, яке потрапляє після доїння корів в молокоприймальних відділеннях, направляється в сепаратор-очищувач, далі - на пастеризацію і після охолодження - на зберігання в молочний танк.

СТРУКТУРНО-ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ПІДГОТОВКИ І ПАСТЕРИЗАЦІЇ МОЛОКА

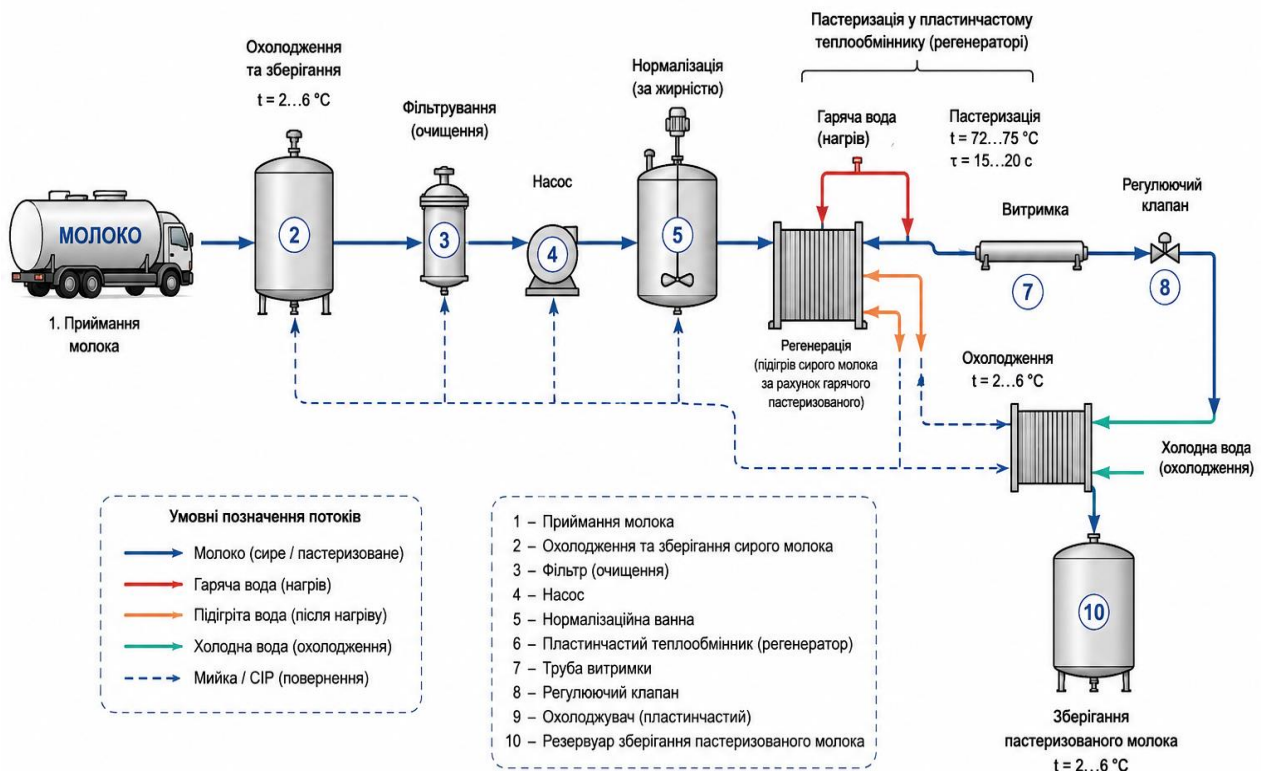


Рис1.2. Структурно технологічна схема підготовки і пастеризації молока

Технологічний процес переробки молока включає низку послідовних операцій: приймання, очищення, охолодження, нормалізацію, гомогенізацію, пастеризацію,

фасування та зберігання продукції. Кожний етап має важливе значення для забезпечення якості молока та збільшення терміну його зберігання.

Наведемо основні технологічні характеристики етапів процесу:

Приймання молока. На підприємстві молоко проходить первинний контроль якості. Під час приймання визначають: температуру; кислотність; жирність; густину; наявність домішок; бактеріальне забруднення молока і відповідність їх величин встановленим допустимим значенням

Молоко приймають у спеціальні резервуари через фільтрувальні системи. Основне обладнання: приймальні резервуари; насоси; вагові пристрої; відповідні фільтри. Після цього відбувається

Очищення молока

Після приймання молоко очищують від механічних домішок і частково від мікроорганізмів. Для очищення використовують: наступні процеси: фільтрацію; сепарування. Сепаратори працюють за принципом відцентрової сили, що дозволяє ефективно відділяти сторонні частинки та вершки. Основне обладнання: сепаратори; молокоочисники та відповідні фільтри.

Охолодження та зберігання молока

Для запобігання розвитку бактерій молоко охолоджують до температури 2–6°C.

Охолодження молока використовують пластинчасті охолоджувачі; холодильні агрегати; або резервуари-охолоджувачі. Охолодження дозволяє зберегти якість молока до подальшої переробки.

Важливим процесом є нормалізація молока

Нормалізація — це процес регулювання жирності молока до встановлених стандартів. Процес здійснюється шляхом: додавання вершків необхідної кількості ; змішування знежиреного молока. Найчастіше використовують автоматичні сепаратори-нормалізатори.

Часто передбачається гомогенізація молока. Гомогенізація необхідна для подрібнення жирових кульок та отримання однорідної структури продукту. Під час процесу молоко проходить через вузькі отвори під високим тиском.

Основні переваги гомогенізації: покращення смакових властивостей; запобігання відстоюванню жиру; підвищення засвоюваності продукту. Робочий тиск становить 10–25 МПа.

Основним і важливим процесом є пастеризація молока. Пастеризація є основним етапом теплової обробки, під час якого знищується патогенна мікрофлора.

Основні режими пастеризації:

- тривала — 63°C протягом 30 хв;
- короткочасна — 72–76°C протягом 15–20 с;
- миттєва — 85–90°C протягом декількох секунд.

Відповідно до структурної схеми на рис.2.2 молоко по молокопроводу перекачується в молочну в лічильник обліку надою молока АДМ-35000, проходить очищувач-охолоджувач Г9-ОМА. Звідти насосом НВУ-6 через охолоджувач молоко перекачується в резервуар В20МВ-2 для короткочасного зберігання.

При заповненні ємності для короткочасного зберігання передбачається отримання вершків і звороту сепаратором-вершковіддільником СОМ-3-1000. Молоко надходить після очищення в Г9-ОМА, через перепускний пристрій в молокоприймальний бак БМ-250, звідки насосом 36МЦ-6/12 закачується в сепаратор.

При заповненні ємності БМ-250 включається лінія пастеризації молока. Теплова обробка молока проводиться у ванні тривалої пастеризації ПЗМ-1,0. Молоко на пастеризацію надходить після обробки очищувачем - охолоджувачем Г9-ОМА. Після пастеризації насосом перекачується в резервуар для зберігання пастеризованого молока В20МВ-2.

Таким чином підготовка та переробка молока є складним багатостадійним процесом, що потребує дотримання технологічних та санітарних вимог. Важливими етапами є очищення, охолодження, нормалізація, гомогенізація та пастеризація молока.

Використання сучасного автоматизованого обладнання дозволяє забезпечити високу якість молочної продукції, підвищити продуктивність підприємств та зменшити енергетичні витрати.

Сучасні технології переробки молока сприяють підвищенню безпечності харчових продуктів та забезпечують населення якісною молочною продукцією.

РОЗДІЛ 2.

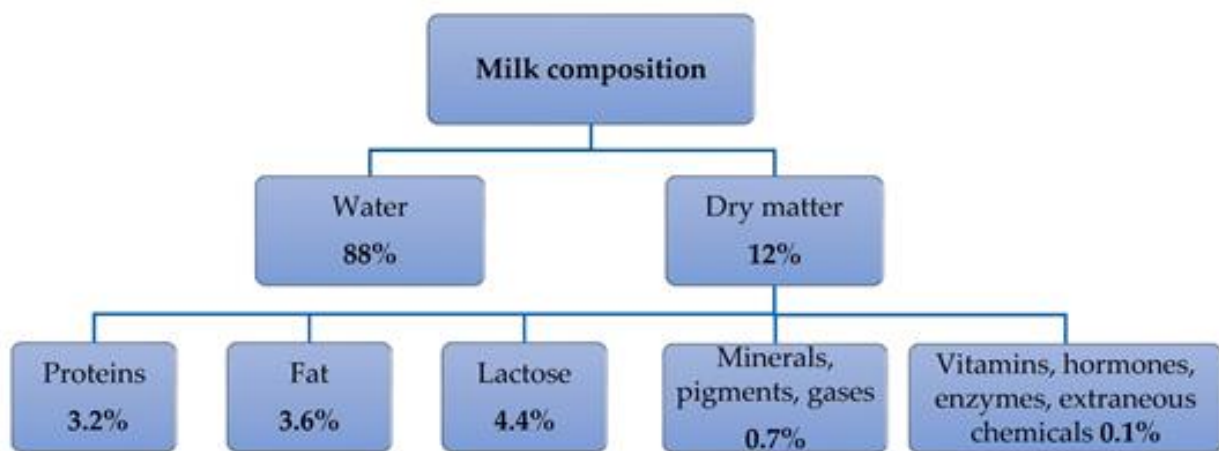
ЕЛЕКТРОФІЗИЧНІ МЕТОДИ ПАСТЕРИЗАЦІЇ РІДКИХ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

2.1. Електрофізичні методи пастеризації та стерилізації молока.

Згідно зоотехнічних вимог після доїння повинен бути здійснений комплекс технологічних заходів, об'єднаних єдиним техніко-біологічним формулюванням - первинна обробка молока. У фермерських господарствах такі роботи здійснюються за типовою схемою або з використанням альтернативних методів.

Одним з важливих напрямків інтенсивного розвитку є вдосконалення технології підвищення якості молока та його зберігання (збільшення термінів зберігання) на шляху від виробника до споживача або при реалізації.

Після отримання молока в процесі доїння необхідно забезпечити збереження його властивостей, мінімальне обсіменіння мікрофлорою.



Відомо, що основним сучасним напрямком збереження молока є його охолодження відразу після доїння до температури 4 ± 2 °C, і за час транспортування до споживача (до місця переробки) температура не повинна бути піднятою вище 10 °C. Відомо і те, що процес охолодження молока досить енерговитратний, вимагає спеціального обладнання і системи його централізованого обслуговування. Найважливіше при цьому те, що в процесі охолодження бактеріальна забрудненість не зникає, бактерії не гинуть, а знаходяться в стані анабіозу, очікуючи комфортних температурних умов, а окремі види, мезофільні, при температурі 10 °C здатні

розмножуватися. За технологічною необхідністю підйому температури починається інтенсивний розвиток бактерій. Таким чином, необхідні спеціальні методи і технічні засоби, спрямовані на знищення бактерій, від чого в основному залежить якість продукту.

В даний час набір способів і засобів обробки молока з метою знищення бактерій досить великий. Найбільш поширеним способом є високотемпературний вплив, який називається пастеризацією - термічна обробка в діапазоні температур від 63 °C до температури, близької точки кипіння. У цьому температурному діапазоні повністю знищуються патогенні бактерії, проте частина бактерій, які не є небезпечними для здоров'я, але негативно впливають на якісні показники молока (термофільні), залишаються життєздатними. Їх діяльність і визначає нетривалий термін зберігання пастеризованого молока при реалізації - не більше 36 годин. Проведена обробка при температурах, близьких до точки кипіння або вище точки кипіння (стерилізація) негативно впливає на смакові і фізико-хімічні показники молока.

У сучасній харчовій і молочній промисловості поряд із традиційною тепловою обробкою широко застосовуються електрофізичні методи пастеризації та стерилізації. Ці методи базуються на використанні електричної енергії, електромагнітних полів, ультразвуку, інфрачервоного та ультрафіолетового випромінювання.

Одним з альтернативних методів є обробка молока УФ-випромінюванням [40]. При всій простоті і одночасно досить високій ефективності обробки, що виключає разом з тим високі енерговитрати, виявлені недоліки, що перешкоджають широкому використанню способу. Головний з них - створення необхідних технічних умов, що дозволяють забезпечити рух молока в потоці тонким рівномірним шаром. І якщо це, в принципі, технічно можна досягти, то наступний за ступенем значущості недолік виявився визначальним. Мається на увазі обволікання масляною плівкою поверхонь, виконує роль обмежувачів, завдяки яким створюється потік товщиною в кілька міліметрів. Ці поверхні повинні залишатися виключно прозорими. Масляна плівка порушує цю умову і не дозволяє обробляти шар молока (в глибину) рівномірним УФ-випромінюванням.

Встановлено, що вегетативні форми мікроорганізмів при впливі УФ-випромінювання гинуть, однак спори різних видів мікробів не чутливі до впливу

променів при звичайних дозах випромінювання. Збільшення дози випромінювання призводить до різкої зміни фізико-хімічних показників, а це змінює колір і смак молока. Однак і в цьому випадку (зі збільшенням дози) залишається чимала кількість живих мікроорганізмів.

З урахуванням цих обставин і при впровадженні необхідних технічних факторів, використання УФ-випромінювання обмежується молокозбиральними пунктами для попереднього зниження обсіменіння, тобто первинної УФ-обробки на переробних підприємствах або в прийомних пунктах перед подальшою переробкою. Це дає можливість збільшити терміни реалізації пастеризованого молока в торгівлі при отриманні молока, яке не має смакових ознак термічної обробки і з мікробіологічними показниками, відповідними стандартам пастеризованого молока для безпосередньої реалізації в торговельній мережі.

Використання УФ-випромінювання як фізичного фактору впливу на мікроорганізми може забезпечити знезараження середовища проживання в досить високій степені - до 99,9%, але не до 100% [31]. Але навіть настільки незначна частка мікроорганізмів, які залишились може привести до небажаних наслідків. У звичайному випадку насиченість бактеріями призводить до закислення молока вище 21 °Т, що знижує його сортність, може привести до псування і неможливості переробки.

Для збереження якості молока-сировини використовують такий альтернативний метод, як електрохімічна обробка (електроактивація) [7]. Технології електрообробки ефективні для зниження кислотності молока і підвищення терміну зберігання при стабілізації якісних показників і застосовуються як технології консервування та активації молока. Кислотність можна знизити за рахунок видалення з молока іонів водню, поліпшенням органолептичних показників та його біологічних властивостей за допомогою електрообробки.

Молоко-сировина згодом скисає за рахунок роботи молочнокислих бактерій, що зброджують молочний цукор на молочну кислоту.

Для продовження термінів зберігання молоко охолоджують або пастеризують. Альтернативою може служити електрохімічна активація водних розчинів, яка дозволяє підняти рН молока до необхідного рівня і цим відновити рівень кислотності. Однак в цілому наявні матеріали по електрообробці є

малоінформативними, не охоплюють необхідні технологічні параметри, а іноді небажані для практичного застосування.

Зокрема, при розробці безмембранного активатора для відновлення вихідної кислотності молока за рахунок солей (електролітів), які містяться в самому молоці, без використання сторонніх електролітів використовувалися алюмінієві аноди, які розчинялися в молоці, що є істотним недоліком.

Проте електрообробка молока дозволяє спростити згортання молока при переробці, знизити титруєму кислотність на 1-2 °Т, стабілізувати вміст жиру, білка і інших корисних складових частин, забезпечити нову якість, спростити технології і апаратурне забезпечення процесів.

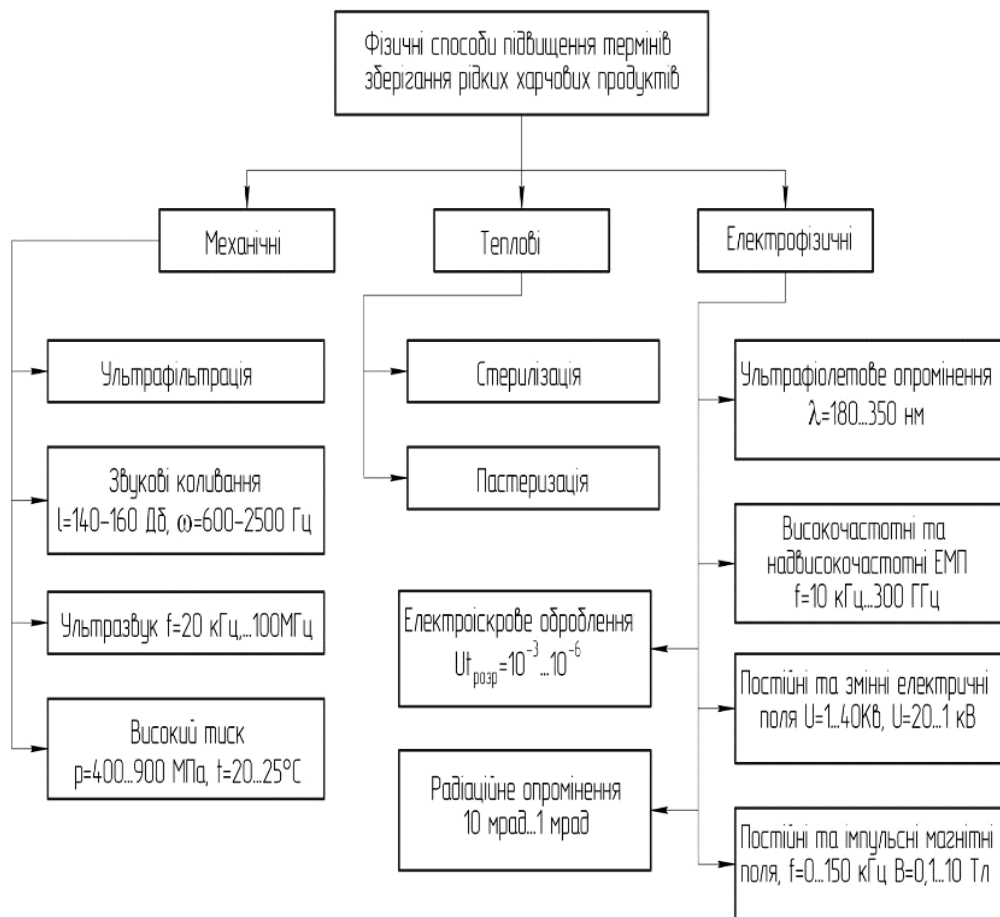


Рис. 2.1. Електрофізичні методи підвищення термінів зберігання харчових продуктів

Електрофізичні методи пастеризації та стерилізації є перспективним напрямком розвитку харчових технологій. Вони дозволяють підвищити якість молочних продуктів, зменшити тривалість технологічних процесів та скоротити енергетичні витрати. Особливо перспективними є технології НВЧ-нагріву, ультразвукової обробки та імпульсних електричних полів, які забезпечують високу ефективність знезараження при мінімальному впливі на харчову цінність продукту.

2.2. Ультразвукова пастеризація рідких харчових продуктів

Ультразвукова пастеризація — це процес нетермічної стерилізації для інактивації мікробів, таких як *E.coli*, *Pseudomonas fluorescens*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus coagulans*, *Anoxybacillus flavithermus* та багатьох інших, для запобігання мікробному псуванню та досягнення довгострокової стабільності їжі та напоїв.

Ультразвукова пастеризація – це нетермічна альтернативна технологія, яка використовується для знищення або дезактивації організмів та ферментів, що сприяють псуванню харчових продуктів.

Ультразвук можна використовувати для пастеризації консервованих продуктів, молока, молочних продуктів, яєць, соків, напоїв з низьким вмістом алкоголю та інших рідких продуктів. Лише ультразвук, а також ультразвук у поєднанні з підвищеними умовами тепла та тиску (відомі як термо-мано-соніка) можуть ефективно пастеризувати соки, молоко, молочні продукти, рідкі яйця та інші харчові продукти.

Складна ультразвукова пастеризація перевершує традиційні методи пастеризації, оскільки ультразвук не впливає негативно на вміст поживних речовин і фізичні характеристики оброблених харчових продуктів.

Використання ультразвуку або термоманозвуку для пастеризації рідких харчових продуктів може забезпечити багатий поживними речовинами продукт вищої якості, ніж традиційний метод пастеризації з високою температурою короткого часу (HTST).

Дослідження, такі як Beslar et al. (2015), показали, що ультразвукова обробка може забезпечити значні переваги для обробки соків, включаючи підвищені фактори якості, такі як вихід, екстракція, помутніння, реологічні властивості та колір, а також термін зберігання.

Ультразвукова пастеризація – це нетермічний метод інактивації мікробів у рідкій їжі. Завдяки низькій температурі обробки поживні речовини та ароматизатори запобігають термічному розкладанню.

Ультразвукова інактивація та знищення мікробів є нетермічною технікою, що означає, що її основний принцип роботи не заснований на нагріванні. Ультразвукова пастеризація викликається в основному впливом акустичної кавітації.

Явище акустичної / ультразвукової кавітації відоме своїми локально високими температурами, тиском і відповідними перепадами, які виникають в найдрібніших кавітаційних бульбашках і навколо них.

Крім того, акустична кавітація генерує дуже інтенсивні сили зсуву, струмені рідини та турбулентності. Ці руйнівні сили спричиняють великі пошкодження мікробних клітин, такі як перфорація та руйнування клітин.

Перфорація та руйнування клітин є унікальними ефектами, що зустрічаються в клітинах, оброблених ультразвуком, спричиненими в основному струменями рідини, що утворюються в результаті кавітації.

Ультразвукова пастеризація заснована на акустичній кавітації та її гідродинамічних силах зсуву

. Звичайна пастеризація працює шляхом короткої обробки при підвищених температурах, як правило, нижче 100°C (212°F). Точна температура і тривалість зазвичай підлаштовується під конкретний харчовий продукт і мікроби, які повинні бути інактивовані.

Ефективність процесу пастеризації визначається швидкістю інактивації мікроорганізмів, яка вимірюється як логарифмічна редукція.

Редукція журналу вимірює відсоток інактивованих мікробів при певній температурі протягом певного часу. На умови температурної обробки і швидкість інактивації мікроорганізмів впливає вид мікробів, а також склад харчового продукту.

Традиційна пастеризація на основі нагрівання має ряд недоліків, починаючи від недостатньої інактивації мікроорганізмів, негативного впливу на харчовий продукт, а також нерівномірного нагрівання обробленого продукту.

Недостатнє нагрівання до короткої тривалості пастеризації або занадто низька температура призводить до низької швидкості відновлення логарифмічних речовин і подальшого псування мікроорганізмів.

Занадто тривала термічна обробка може призвести до псування продукту, наприклад, до пригорання неприємного смаку та зниження щільності поживних речовин через зруйновані поживні речовини, чутливі до температури.

Як працює ультразвукова пастеризація? Ультразвукова інактивація та знищення мікробів є нетермічною технікою, що означає, що її основний принцип

роботи не заснований на нагріванні. Ультразвукова пастеризація викликається в основному впливом акустичної кавітації.

Явище акустичної / ультразвукової кавітації відоме своїми локально високими температурами, тиском і відповідними перепадами, які виникають в найдрібніших кавітаційних бульбашках і навколо них. Крім того, акустична кавітація генерує дуже інтенсивні сили зсуву, струмені рідини та турбулентності. Ці руйнівні сили спричиняють великі пошкодження мікробних клітин, такі як перфорація та руйнування клітин. Перфорація та руйнування клітин є унікальними ефектами, що зустрічаються в клітинах, оброблених ультразвуком, спричиненими в основному струменями рідини, що утворюються в результаті кавітації.

Ультразвукова пастеризація заснована на акустичній кавітації та її гідродинамічних силах зсуву. Харчова промисловість широко застосовує звичайну пастеризацію для інактивації або знищення мікробів, таких як бактерії, дріжджі та грибки, щоб запобігти мікробному псуванню та надати своїм продуктам довший термін зберігання та стабільність. Звичайна пастеризація працює шляхом короткої обробки при підвищених температурах, як правило, нижче 100° C (212° F). Точна температура і тривалість зазвичай підлаштовується під конкретний харчовий продукт і мікроби, які повинні бути інактивовані.

Ефективність процесу пастеризації визначається швидкістю інактивації мікроорганізмів, яка вимірюється як логарифмічна редукція. Редукція вимірює відсоток інактивованих мікробів при певній температурі протягом певного часу. На умови температурної обробки і швидкість інактивації мікроорганізмів впливає вид мікробів, а також склад харчового продукту. Традиційна пастеризація на основі нагрівання має ряд недоліків, починаючи від недостатньої інактивації мікроорганізмів, негативного впливу на харчовий продукт, а також нерівномірного нагрівання обробленого продукту. Недостатнє нагрівання до короткої тривалості пастеризації або занадто низька температура призводить до низької швидкості відновлення логарифмічних речовин і подальшого псування мікроорганізмів. Занадто тривала термічна обробка може призвести до псування продукту, наприклад, до пригорання неприємного смаку та зниження щільності поживних речовин через зруйновані поживні речовини, чутливі до температури.

Недоліки звичайної пастеризації може зруйнувати або пошкодити важливі поживні речовини може спричинити неприємний присмак високі вимоги до енергії неефективний проти знищення термостійких патогенів Застосовується не до кожного харчового продукту.

Ультразвукова діагностика, термозвукова та термоманозвукова діагностика широко досліджуються для пастеризації молока та молочних продуктів. Наприклад, було виявлено, що ультразвук усуває псування та потенційні патогени до нуля або до рівнів, прийнятних законодавством Південної Африки та Великої Британії щодо молока, навіть якщо початкове навантаження інокуляту на $5\times$ вище дозволеного було до лікування. Кількість життєздатних клітин *E. coli* знижувалася на 100% після 10,0 хв ультразвуку. Крім того, було показано, що життєздатні показники *Pseudomonas fluorescens* знижувалися на 100% через 6,0 хв, а *Listeria monocytogenes* знижувалися на 99% через 10,0 хв. (Cameron et al. 2009) Дослідження також продемонстрували, що термозвук може інактивувати *Listeria innocua* та мезофільні бактерії в сирому незбираному молоці.

Ультразвук виявився життєздатною технологією для пастеризації та гомогенізації молока, демонструючи коротший час обробки без важливих змін рН та вмісту молочної кислоти, а також кращий зовнішній вигляд та консистенцію порівняно зі звичайною термічною обробкою. Ці факти є вигідними в багатьох аспектах переробки молочних продуктів. (Бермудес-Агірре та ін., 2009) . Ультразвукова пастеризація була застосована як ефективний і швидкий метод альтернативної пастеризації з метою інактивації кишкової палички та золотистого стафілокока в яблучному соку. Коли яблучний сік без м'якоті був оброблений ультразвуком, час відновлення 5 log становив 35 с для *E. coli* при 60 °C і 30 с для *S. aureus* при 62 °C. Хоча в дослідженні було виявлено, що високий вміст пульпи робило ультразвук менш смертельним для *S. aureus*, при цьому він не мав значного впливу на кишкову паличку, слід зазначити, що тиск не застосовувався.

Ультразвукова інактивація грампозитивних і грамнегативних бактерій
Відомо, що грампозитивні бактерії, такі як *Listeria monocytogenes* або *Staphylococcus aureus*, загалом є більш стійкими, ніж грамнегативні бактерії, і витримують технології пастеризації, такі як PEF, HPP та маносоніка (MS) протягом більш тривалих періодів лікування через більш товсті клітинні стінки.

Грамнегативні бактерії мають два – один зовнішній і один цитоплазматичний – ліпідні клітинні мембрани з тонким шаром пептидоглікану серед них, що робить їх більш сприйнятливими до ультразвукової інактивації. З іншого боку, грампозитивні бактерії мають лише одну ліпідну мембрану з товстішою стінкою пептидоглікану, що надає їм більшої стійкості проти пастеризаційних процедур.

Наукові дослідження порівняли вплив енергетичного ультразвуку на грамнегативні та грампозитивні бактерії та виявили, що він має сильніший інгібуючий ефект на грамнегативні бактерії. (пор. Monsen et al. 2009) Грампозитивні бактерії потребують більш інтенсивних ультразвукових умов, тобто вищих амплітуд, вищих температур, вищого тиску та/або довшого часу ультразвуку.

Енергетичні ультразвукові системи Hielscher Ultrasonics можуть забезпечувати дуже високі амплітуди і можуть працювати при підвищених температурах і з реакторами з проточними елементами, що працюють під тиском. Це дозволяє проводити інтенсивну ультразвукову діагностику з метою інактивації навіть дуже резистентних штамів бактерій. Ультразвукова інактивація термодурних бактерій. Термодурні бактерії – це бактерії, які можуть виживати, в різній мірі, в процесі пастеризації. До термодурних видів бактерій належать *Bacillus*, *Clostridium* та *Enterococci*. «Ультразвук з амплітудою 80% протягом 10 хв, однак, інактивував вегетативні клітини *B. coagulans* і *A. flavithermus* у знежиреному молоці на 4,53 і 4,26 logs відповідно.

Комбінована обробка пастеризацією (63 градуси C/30 хв) з подальшим ультразвуковим дослідженням повністю вивела приблизно 6 КУО/мл цих клітин у знежиреному молоці». (Ханал та ін., 2014)

Переваги ультразвукової та термоманозвукової пастеризації. ультразвукові процесори оснащені простими в очищенні (чистий на місці CIP / стерилізований на місці SIP) сонотродами і проточними комірками (мокрі частини).

Промислові ультразвукові процесори можуть видавати дуже високі амплітуди. Амплітуди до 200 мкм можна легко безперервно працювати в режимі 24/7. Високі амплітуди важливі для інактивації більш резистентних мікробів (наприклад, грампозитивних бактерій).

Для ще більш високих амплітуд доступні індивідуальні ультразвукові сонотроди. Усі сонотроди та реактори з ультразвуковими проточними елементами

можуть працювати при підвищених температурах та тиску, що дозволяє проводити надійне термоманозвукове дослідження та високоефективну пастеризацію.

Для отримання ультразвукових коливань застосовуються два види джерел: *магнітострикційні генератори і п'єзоелектричні перетворювачі.*

Кожне з пристроїв має свої раціональні області застосування.

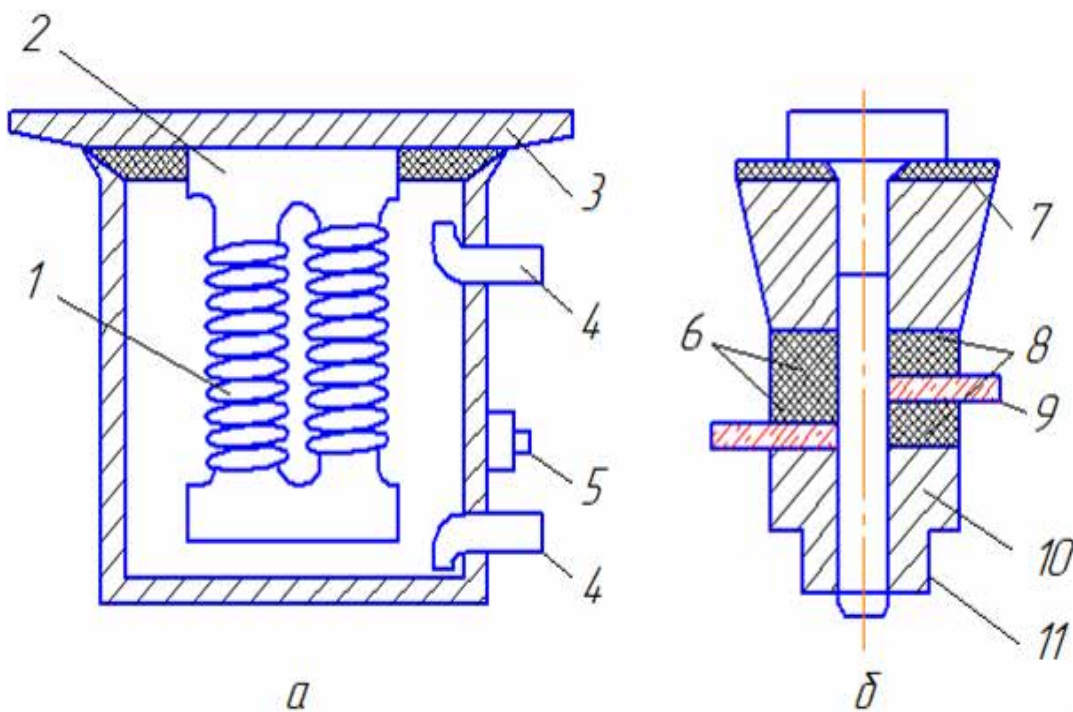


Рис. 2.2. Ультразвукові перетворювачі:

а – магнітострикційний; б – п'єзоелектричний;

- 1 – обмотка; 2 – магнітострикційний пакет; 3 – випромінювальна пластина;
4 – вхід і вихід охолоджувальної води; 5 – виводи обмотки; 6 – керамічні пластини;
7 і 10 – накладки; 8 – прокладки із фольги; 9 – електрод; 11 – стяжний болт.

По обмотці 1 проходить змінний струм з частотою, що дорівнює частоті ультразвукових коливань. Струм створює в стержнях двозмінне магнітне поле. Під дією цього поля періодично змінюється довжина стержнів, що веде до збудження в оточуючому середовищі ультразвукових коливань (а).

Для концентрації ультразвукових коливань і підведення їх до технологічного середовища використовують акустичні трансформатори (б), які є стержнями змінного перерізу. Більший торець стержня кріпиться до перетворювача, а менший підводиться до робочого середовища. Енергія концентрується в зоні робочого середовища завдяки зменшенню перетину стержня.

Робота п'єзоелектричного генератора ультразвукових коливань базується на п'єзоелектричному ефекті — здатності деяких матеріалів змінювати свої розміри під дією електричного поля. Під час подачі змінної напруги п'єзоелемент починає коливатися з ультразвуковою частотою.

Частота роботи: $f=20-100$ кГц

Структурна схема п'єзоелектричного пастеризатора молока

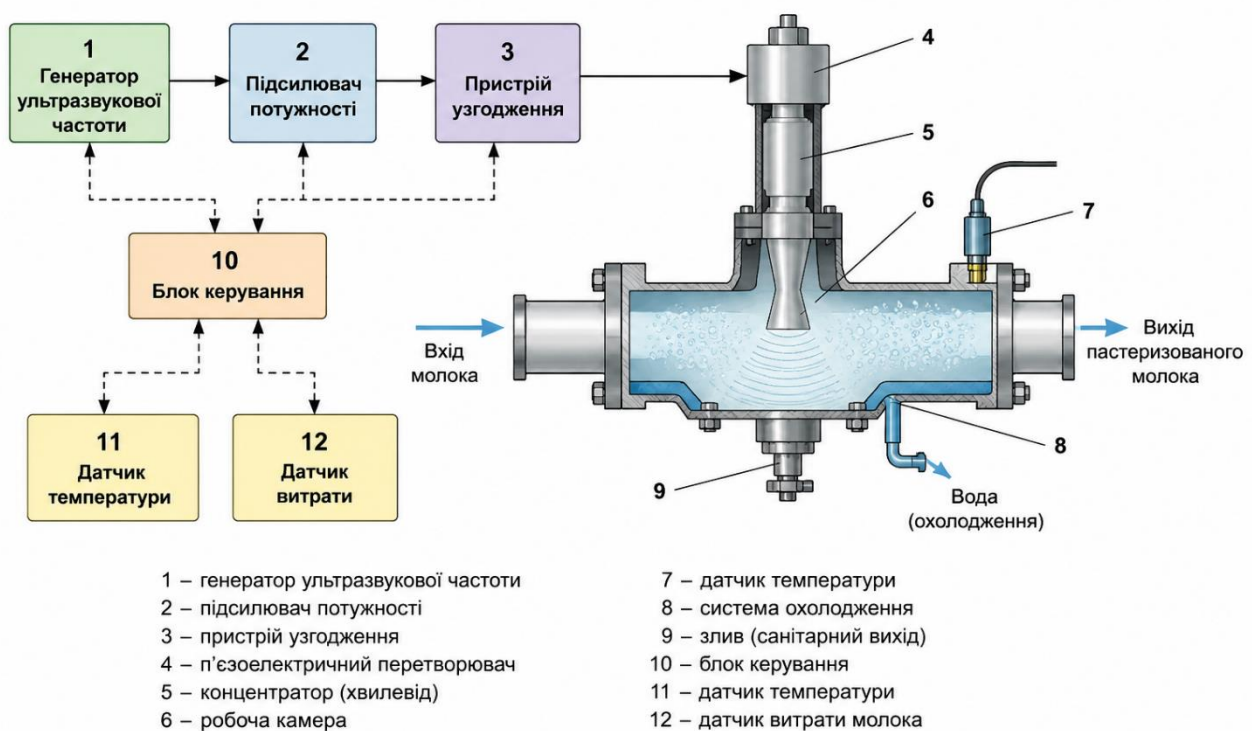


Рис.2.3. Структурна схема п'єзоелектричного пастеризатора молока

П'єзоефект полягає в тому, що під час силового впливу на визначені кристалічні речовини (ізолятори з полярно орієнтованими осями) у них виникають напруження певного знаку, які, у свою чергу, ініціюють електричні поверхневі

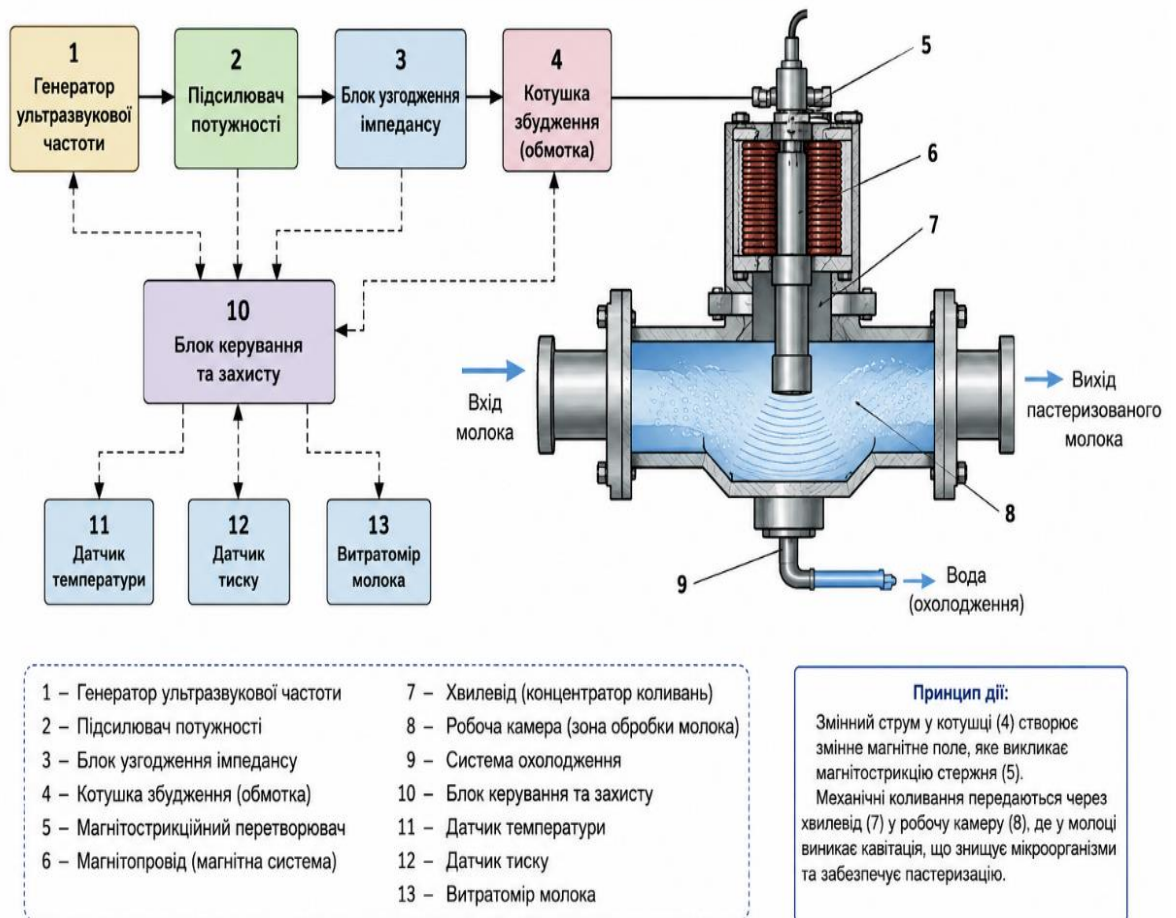
заряди. При цьому величина напруги прямо пропорційна механічному навантаженню, що є важливим у конструктивному сенсі, оскільки спрощує будову приладу. Таким чином, вартість ультразвукового дефектоскопа для контролю зварних з'єднань може бути невисокою.

Принцип роботи п'єзогенератора дефектоскопа полягає в наступному: на конденсаторні пластини, розміщені на кристалі, подається змінна електрична напруга, що викликає коливання кристала з тією ж частотою. Як перетворювачі використовують такі матеріали, як кварц, титанат барію, сульфат літію тощо. За наявності зовнішнього тиску атоми в структурному осередку п'єзоелемента зміщуються, що спричиняє розряд конденсаторних пластин. П'єзоелектричні перетворювачі є майже безінерційними, у них практично відсутні втрати на гістерезис. Однак вони розвивають відносно малі потужності, тому застосовуються переважно в ультразвуковій інформаційно-вимірювальній техніці.

Магнітострикція полягає в деформації феромагнітної деталі, розміщеної в силовому магнітному полі. Довжина цієї деталі змінюється залежно від конфігурації силових ліній магнітного поля, матеріалу, температури та ступеня намагніченості. В ультразвукових дефектоскопах застосовуються феромагнетики, відносна зміна довжини яких становить не менше $(5-10) \cdot 10^{-6}$.

Принцип роботи магнітострикційних перетворювачів полягає в тому, що в приладі створюється змінне електромагнітне поле, під дією якого феромагнітний стрижень здійснює коливання з подвоєною частотою. Оскільки лінійна деформація магнітостриктора не залежить від напряму силових ліній магнітного поля, додаткове підмагнічування такого елемента не потрібне.

СТРУКТУРНА СХЕМА МАГНІТОСТРИКЦІЙНОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПАСТЕРИЗАТОРА МОЛОКА



П'єзоелектричні та магнітострикційні ультразвукові пастеризатори є перспективним обладнанням для сучасної молочної промисловості. П'єзоелектричні установки характеризуються компактністю, високим ККД та стабільністю роботи, а магнітострикційні — великою потужністю та високою надійністю.

Використання ультразвукових технологій дозволяє підвищити якість молока, скоротити тривалість обробки та зменшити тепловий вплив на продукт.

РОЗДІЛ.3. РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ОБРОБКИ МОЛОКА

3.1. Ультразвукова (УЗ) обробка молока

за результативністю використання, економічною ефективністю в найбільшій мірі задовольняє умовам малих фермерських господарств, що займаються виробництвом молока при дотриманні екологічної безпеки в процесі експлуатації обладнання.

При низькій температурі розмноження бактерій сповільнюється і при подальшому зниженні припиняється повністю. Проте, низька температура не призводить до знищення бактерій. Очевидно, більш перспективним є напрямок, пов'язаний з знезараженням молока відразу після доїння. Якщо прийняти за вихідне знезараження молока ультразвуком на визначальних етапах його руху - це може виключити необхідність його охолодження, а значить, необхідність використання енергоємного обладнання.

За значимістю способів обробки молока ультразвуком (УЗ-обробка) може з часом зайняти провідні позиції оскільки відрізняється високою результативністю. [11]

Обґрунтуванням цього можуть служити отримані в результаті аналізу положення:

- принципова можливість пастеризації і стерилізації молока за допомогою ультразвуку;
- тривалість впливу, необхідна для досягнення ефективної пастеризації та стерилізації, знижується при збільшенні потужності ультразвукового впливу і зниженні обсягу оброблюваного молока.

Ультразвукова обробка молока базується на явищі *акустичної кавітації* — утворенні та імплузії мікробульбашок у рідині під дією високочастотних хвиль (20–100 кГц). Під час схлопування бульбашок виникають: локальні температури до 5000 К, тиски до сотень МПа, мікрострумені та ударні хвилі. Це забезпечує *інтенсивний механічний і фізико-хімічний вплив* на молоко.

Встановлені наступні основні ефекти від дії ультразвуку в молоці:

Інактивація мікроорганізмів, руйнування клітинних мембран бактерій . Причому, ефективність зростає при комбінації з нагрівом (термосонікація) що приводить до зменшення мікробного середовища в молоці на 90–99%.

Також спостерігається подрібнення жирових кульок (з ~ 3 –10 мкм до <1 мкм) , стабілізація емульсії , покращення текстури та смаку молока. []

Ефект подібний до класичної гомогенізації, але без створення високого тиску і з меншими енерговитратами, що є дуже важливим в технологічному процесі пастеризації молока. Так, ефект стерилізації при обробці молока в кількості 240 мл спостерігається через 20, 16, 11 хв. для потужностей 90, 120 і 150 Вт відповідно. []

Ефективність УЗ-обробки при стерилізації складає від 99,9998 до 100%. Об'єктивна оцінка ефекту ультразвукової пастеризації можлива пробою на пероксидазу.

Встановлено, що до 8-10 хв обробки сирого молока (250 мл) забезпечується зниження обсіменіння до норми. []

Характерні і інші переваги даного методу.

При ультрпазвуківій обробці не відбувається руйнування найбільш лабільної частини вітаміну С, і його вміст практично залишається рівним вихідному 0,83 мг, в той час як пастеризація паром знижує концентрацію вітаміну С до 0,65 мг, інфрачервоним випромінюванням - до 0,75 мг, кип'ятіння практично повністю руйнує вітамін С.

Оброблене ультразвуком та заморожене для тривалого зберігання молоко після розморожування повністю зберігає свої поживні і смакові якості.

Сухе молоко, вироблене з обробленого ультразвуком, зберігається в 2-2,5 рази довше, а при відновленні - і за смаком, і за складом не відрізняється від натурального. []

Ультразвукова обробка змінює розмір жирових кульок, здійснюючи їх дроблення. Відомо, що розмір жирових кульок в свіжовидоєному молоці коливається від 1 до 5 мкм. Причому, кількість жирових кульок від 2 мкм становить понад 50%. [] Доведено, що дроблення жирових кульок майже на третину підвищує поживну цінність молока.

3.2. Розроблення і експериментальне дослідження ультразвукової гомогенізації молока

На основі вивчення стану сучасних лабораторного обладнання для впливу ультразвукового випромінювання на показники молока було запропоновано створити дослідницьку установку показану на рис 2.3.

УСТАНОВКА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЇ ПАСТЕРИЗАЦІЇ МОЛОКА

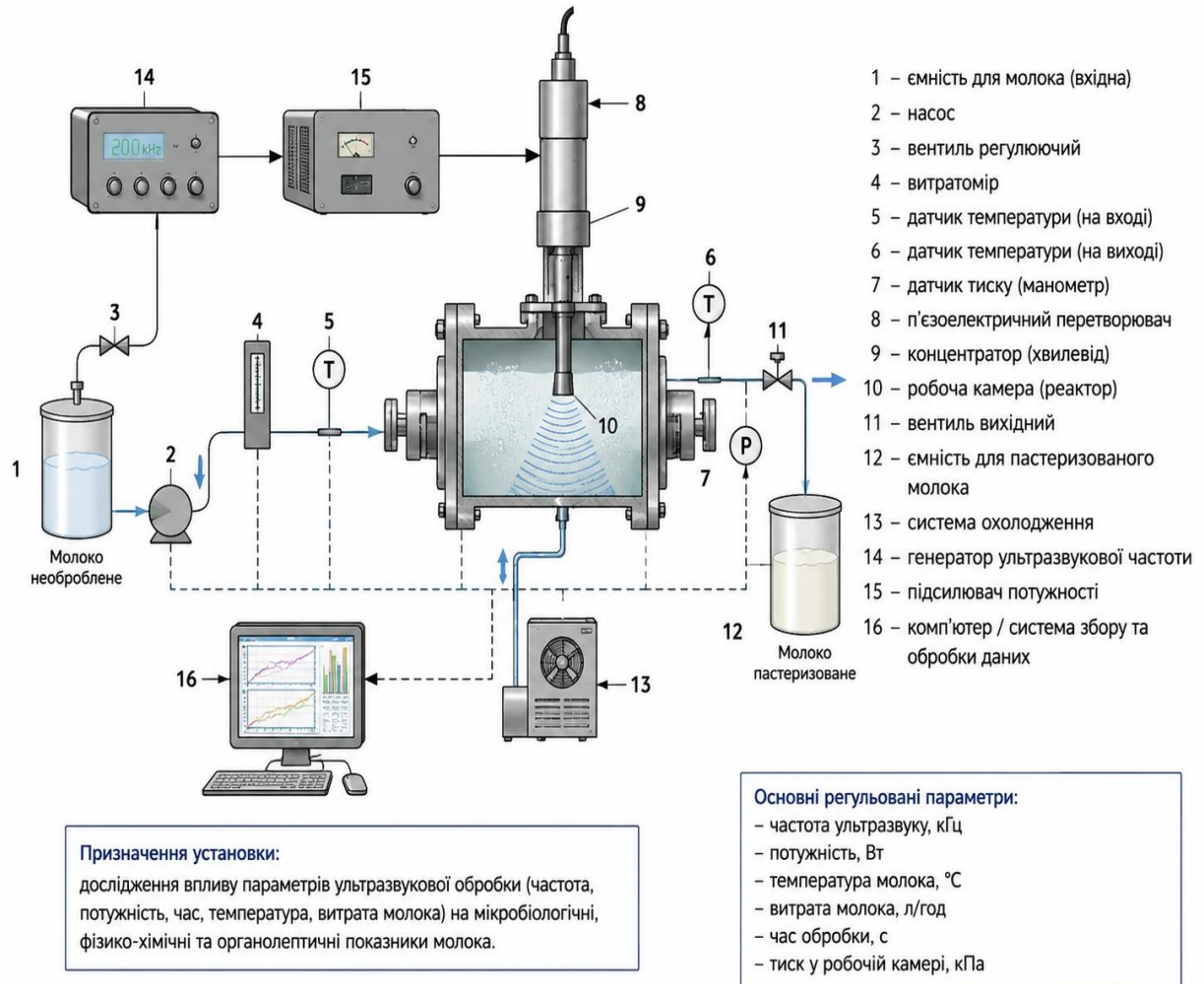


Рис.2.3. Сучасна установка для дослідження ультразвукової обробки молока

За відсутності належного фінансування і можливостей придбати належне обладнання, для проведення дослідження було використано спрощену дослідну установку (рис.2.4.) яка включала такі складові: ультразвуковий кавітатор, що містить джерело УЗ енергії – п'єзоелектричний перетворювач, на який від генератора УЗ коливань подається регульована за частотою та потужністю електрична енергія; активна поверхня кавітатора занурюється в ємність яка наповнена молоком.

Для контролю температурних умов процесу обробки використовувався реєстратор температури (термометр).

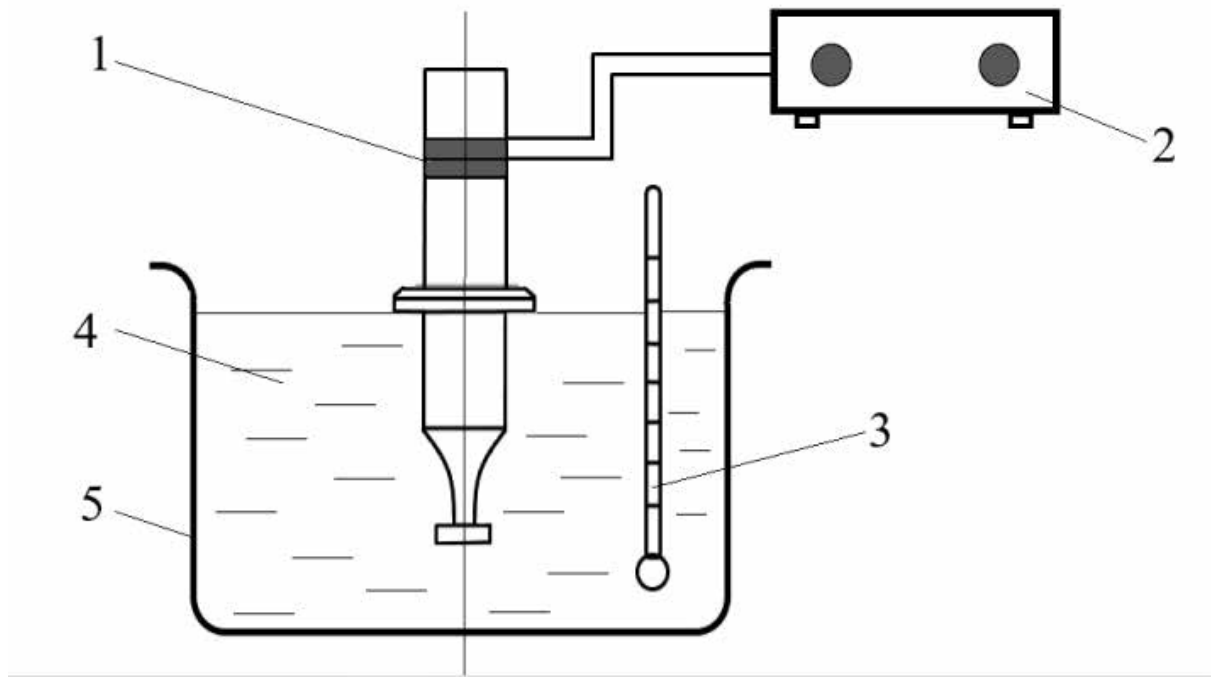


Рис. 2.4. Схема стенда експериментального дослідження: 1 – УЗ кавітатор; 2 – генератор УЗ коливань з регулятором частоти коливань та потужності; 3 – реєстратор температура; 4 – молоко; 5 – скляна ємність.

Висновки до розділу. Наведені положення дозволили розробити установку для дослідження ефективних режимів ультразвукової обробки молока залежно від вимог до продукту після обробки.

Обґрунтовано, що послідовність проведення досліджень при ультразвуковій обробці молока включає підготовку обладнання, налаштування режимів, проведення експерименту, контроль параметрів та аналіз отриманих результатів. Такий підхід дозволяє визначити оптимальні режими ультразвукової пастеризації та забезпечити високу якість молочної продукції.

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.

3.1. Методика експериментальних досліджень

Послідовність проведення досліджень при ультразвуковій обробці молока проводимо у відповідності до:

1. Підготовка установки до роботи. Зокрема, перед початком досліджень необхідно перевірити герметичність системи; в якій оброблятиметься молоко, оглянути ультразвуковий перетворювач на справність і герметичність конструкції і контактів, перевірити електричні з'єднання; підготувати систему охолодження; увімкнути генератор ультразвукової частоти і перевірити регулювання режиму ультразвукових коливань, перевірити роботу датчиків температури, тиску та витрати.

2. Підготовка молока для дослідження

Для цього проводять: відбір проб молока; визначення початкових показників які контролюватимуться в процесі обробки; фільтрацію молока від шкідливих домішок; вимірювання початкової температури; визначення кислотності та жирності; а також за можливості мікробіологічний аналіз початкової проби.

3. Встановлення параметрів обробки

На установці задають: Основні параметри: частоту ультразвуку; потужність; час обробки; кінцеву (допустиму) температуру; витрату молока; тиск у робочій камері. Частота ультразвуку виставляється в межах $f=20 - 40$ кГц

4. Порядок проведення ультразвукової обробки

Під час досліду вмикають ультразвуковий генератор; встановлюють необхідне значення потужності; здійснюють обробку молока протягом заданого часу. Питома потужність ультразвуку встановлюється в межах :

$$P_{\text{пит}}=10 - 40 \text{ Вт/л}$$

В процесі проведення дослідження контролюють температуру молока; частоту ультразвуку; тиск в камері обробки, витрату та споживану потужність; час обробки записується окремо.

3.2. Обробка результатів експериментальних досліджень

3.2.1. Дослідження впливу зростання потужності ультразвукової обробки та температури молока

Результати дослідження представлені на рис. 3.1.

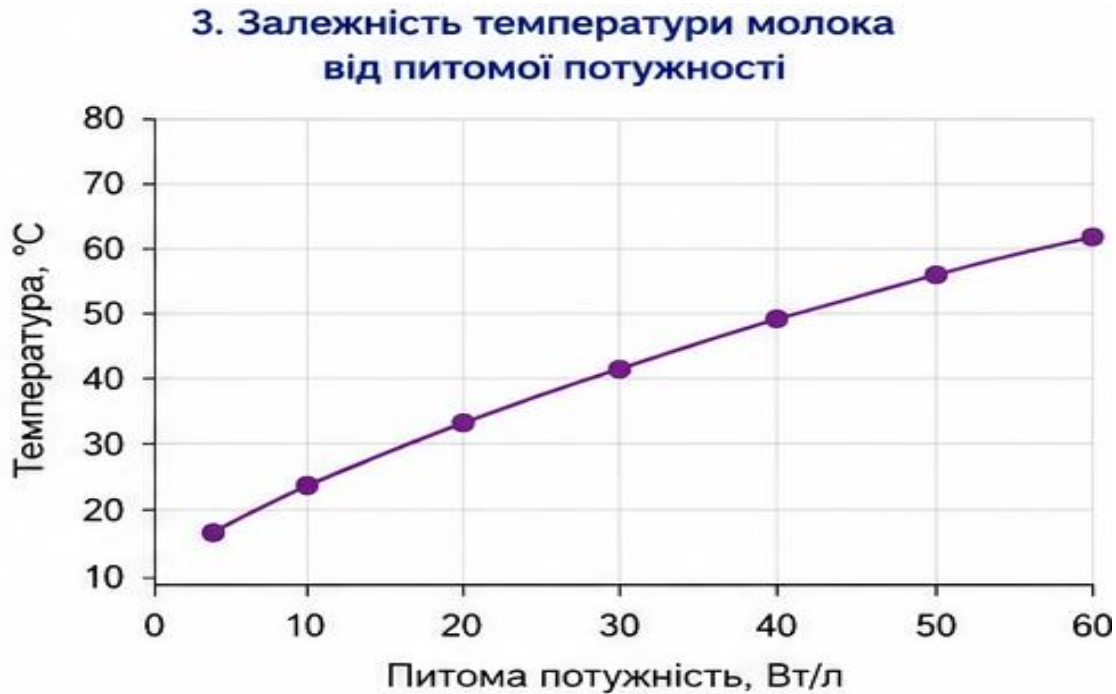


Рис.3.1 залежність температури молока від питомої потужності ультразвукової обробки

Графік залежності температури молока від потужності ультразвукової обробки характеризує зміну температури продукту під час збільшення питомої потужності ультразвукового випромінювання.

Графік має зростаючий характер. Із підвищенням потужності ультразвукової обробки температура молока поступово збільшується.

Це пояснюється тим, що при збільшенні потужності: зростає інтенсивність ультразвукових коливань; посилюється кавітація; збільшується внутрішнє тертя в рідині; частина ультразвукової енергії переходить у теплову.

На початковій ділянці графіка температура зростає відносно повільно, оскільки частина енергії витрачається на утворення кавітації; система охолодження компенсує нагрівання. При подальшому збільшенні потужності температура починає зростати інтенсивніше; кавітаційні процеси посилюються; зростає теплова дія ультразвуку.

У зоні високих потужностей можливе перегрівання молока; погіршення органолептичних властивостей та часткова денатурація білків.

Графік залежності температури молока від потужності ультразвукової обробки показує, що зі збільшенням потужності температура продукту підвищується внаслідок інтенсивнішого перетворення ультразвукової енергії у теплову. Аналіз цієї залежності дозволяє вибрати оптимальні режими пастеризації та забезпечити високу якість молочної продукції.

3.2.2. Дослідження дисипації жирових кульок під дією ультразвукової обробки.

На рис.3.2. наведено графіки зменшення розмірів жирових частинок під дією температурної обробки без ультразвуку і з використанням ультразвукової обробки

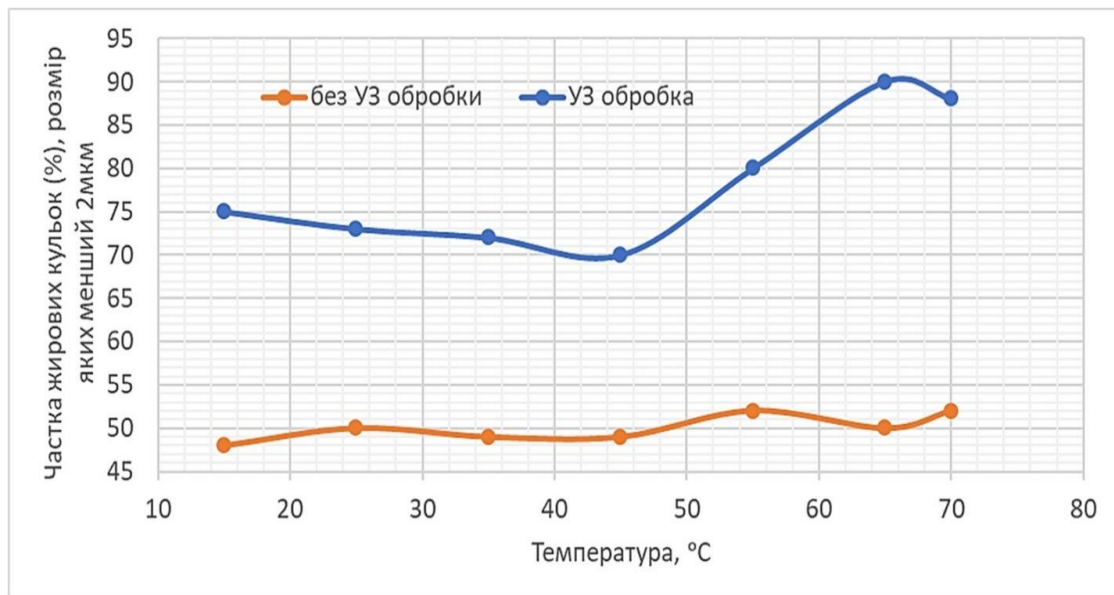


Рис.3.2. Результати впливу теплової обробки на розміри жирових структур

Аналіз результатів проведених дослідження впливу температури на розмір жирових часток в молоці показує, що тепла обробка сумісно з ультразвуковим впливом значно підвищує диспергізацію жирових кульок, що забезпечує кращі якість молока при його тривалому зберіганні і тим самим, підтверджує позитивний ефект від обробки ультразвуком при пастеризації молока (див. температуру 70 С.). Оптимальним слід вважати обробку молока при температурі 55...70 °C, що дозволяє отримати більше 80% від загального числа жирових кульок розміром менш 2 мкм. При такій обробці фактично отриманий ефект стерилізації молока, тобто повне знищення всіх видів мікроорганізмів, включаючи їхні спори.

3.2.3. Дослідження ступеня знищення мікроорганізмів від потужності обробки.

Дослідження ефективності ультразвукової обробки на життєдіяльність мікроорганізмів в молоці провели на різних потужностях обробки при рекомендованій тривалості обробки в 3 хвилини. Результати експериментальних досліджень приведено на рис 3.3.

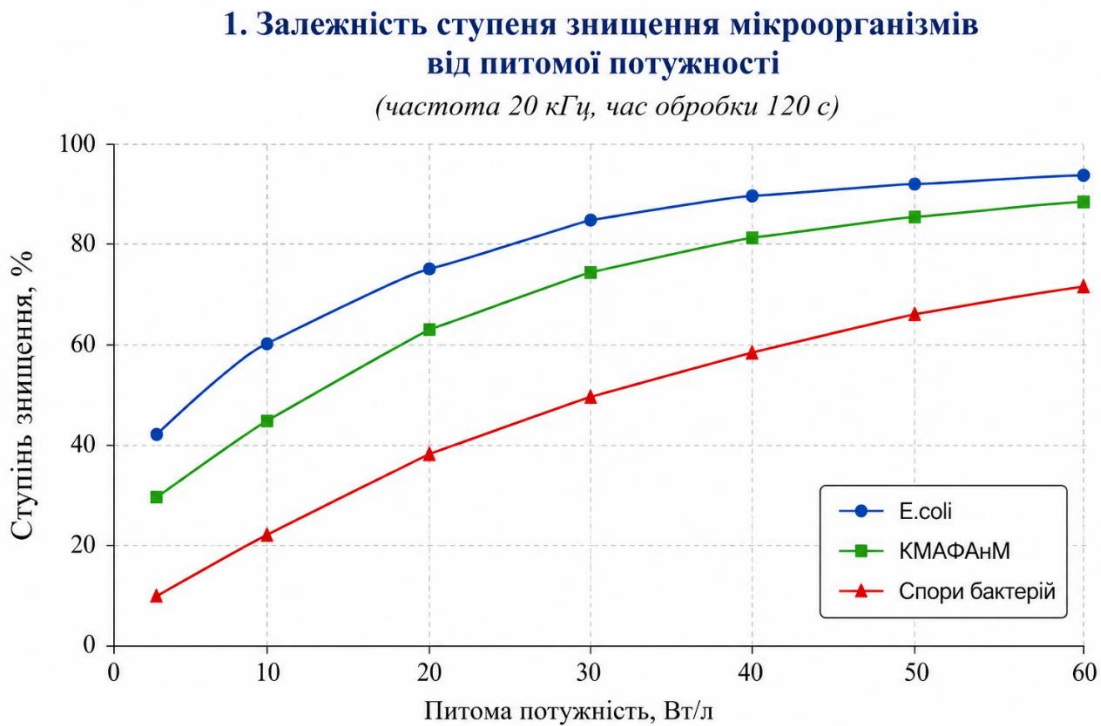


Рис.3.3. Графіки виживаємості мікроорганізмів і бактерій від потужності (інтенсивності) обробки

Графік залежності ступеня знищення мікроорганізмів від питомої потужності ультразвукової обробки характеризує ефективність ультразвукової пастеризації молока при різних режимах роботи установки.

Графік має зростаючий характер. Із підвищенням питомої потужності ультразвукової обробки ступінь знищення мікроорганізмів збільшується.

Це пояснюється тим, що при збільшенні потужності посилюється кавітація структурних одиниць; збільшується кількість мікроударів; підвищується механічне руйнування клітин; зростає локальний тиск і температура.

Аналіз кривої для E.coli

Крива *E.coli* має найбільший ступінь зростання.

При невеликій потужності вже спостерігається значне пригнічення бактерій.

При підвищенні потужності до оптимальних значень ступінь знищення досягає 90–95 %.

Це пояснюється тонкою клітинною оболонкою бактерій; високою чутливістю до кавітації.

Аналіз кривої КМАФАнМ

КМАФАнМ знищуються повільніше порівняно з *E.coli*.

При середніх потужностях ефективність знезараження поступово зростає; ступінь знищення становить приблизно 75–90 %.

Причини різноманітності мікрофлори; наявності більш стійких бактерій.

Аналіз кривої спор бактерій

Крива спор бактерій має найменший нахил.

Навіть при високій потужності ступінь знищення спор значно нижчий.

Це пояснюється високою стійкістю спор; міцною багат шаровою оболонкою; здатністю витримувати механічні впливи.

Узагальнюючим для всіх графіків є те, що робочою є зона середніх потужностей. У цій області інтенсивно зростає ефективність обробки; досягається оптимальний режим пастеризації.

Аналіз графіка показує, що зі збільшенням питомої потужності ультразвукової обробки ступінь знищення мікроорганізмів зростає. Найбільш чутливими до ультразвуку є бактерії *E.coli*, тоді як спорові форми мають найвищу стійкість. Оптимальний режим ультразвукової пастеризації забезпечується у середньому діапазоні потужностей, де досягається висока ефективність знезараження при мінімальному погіршенні якості молока. Найефективніший діапазон: $R_{\text{пит}}=20 - 40 \text{ Вт/л}$

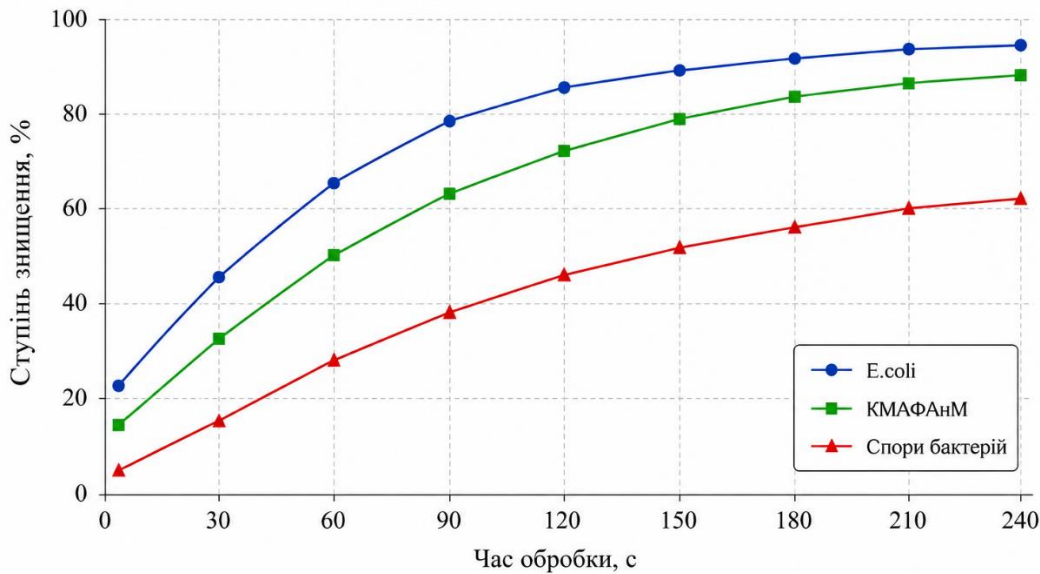
3.2.4. Дослідження ступеня знищення мікроорганізмів від тривалості обробки.

Тривалість обробки молока проводили в часовому діапазоні від 30 сек до 3 хвилин з періодичністю зростання тривалості обробки на 30 сек для кожного дослідження. Потужність обробки вибрана рекомендована, величиною в 20 Вт на літр при частоті коливання 20 кГц

Отримані результати приведені на рис.3.4.

Залежність ступеня знищення мікроорганізмів від часу обробки

(при $P = 20 \text{ Вт/л}$, частота 20 кГц)



Графік залежності ступеня знищення мікрофлори від часу ультразвукової обробки характеризує ефективність знезараження молока при різній тривалості дії ультразвуку. Графік має зростаючий характер. Із збільшенням часу ультразвукової обробки ступінь знищення мікрофлори поступово зростає.

Це пояснюється тим, що триваліша дія ультразвуку підсилює кавітаційний ефект; збільшує кількість механічних ударів; викликає руйнування клітинних оболонок; посилює локальний нагрів середовища.

Аналіз графіка показує, що зі збільшенням часу ультразвукової обробки ступінь знищення мікрофлори зростає.

Найбільш інтенсивне знезараження відбувається на початкових етапах процесу, після чого ефективність поступово наближається до насичення.

Найчутливішими до ультразвукової дії є бактерії *E.coli*, а найбільш стійкими — спорові форми бактерій.

Оптимальний час обробки дозволяє забезпечити високу ефективність пастеризації без значного погіршення якості молока. Для ультразвукової пастеризації молока оптимальна тривалість зазвичай становить:

$t=90-180 \text{ с}$

Оптимальним слід вважати обробку молока при температурі 55...70 °С, що дозволяє отримати більше 80% від загального числа жирових кульок розміром менш 2 мкм. При такій обробці фактично отриманий ефект стерилізації молока, тобто повне знищення всіх видів мікроорганізмів, включаючи їхні спори.

Оптимальний час обробки дозволяє забезпечити високу ефективність пастеризації без значного погіршення якості молока. Для ультразвукової пастеризації молока оптимальна тривалість зазвичай становить: $t=90-180$ с.

Оптимальна потужність обробки становить 20- 40 Вт/л.

РОЗДІЛ 4. РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Роблення лінії пастеризації молока з ультразвуковим модулем пастеризатором молока

Структурна схема складових блоків промислової лінії пастеризації великих об'ємів молока представлена на рис.4.1.

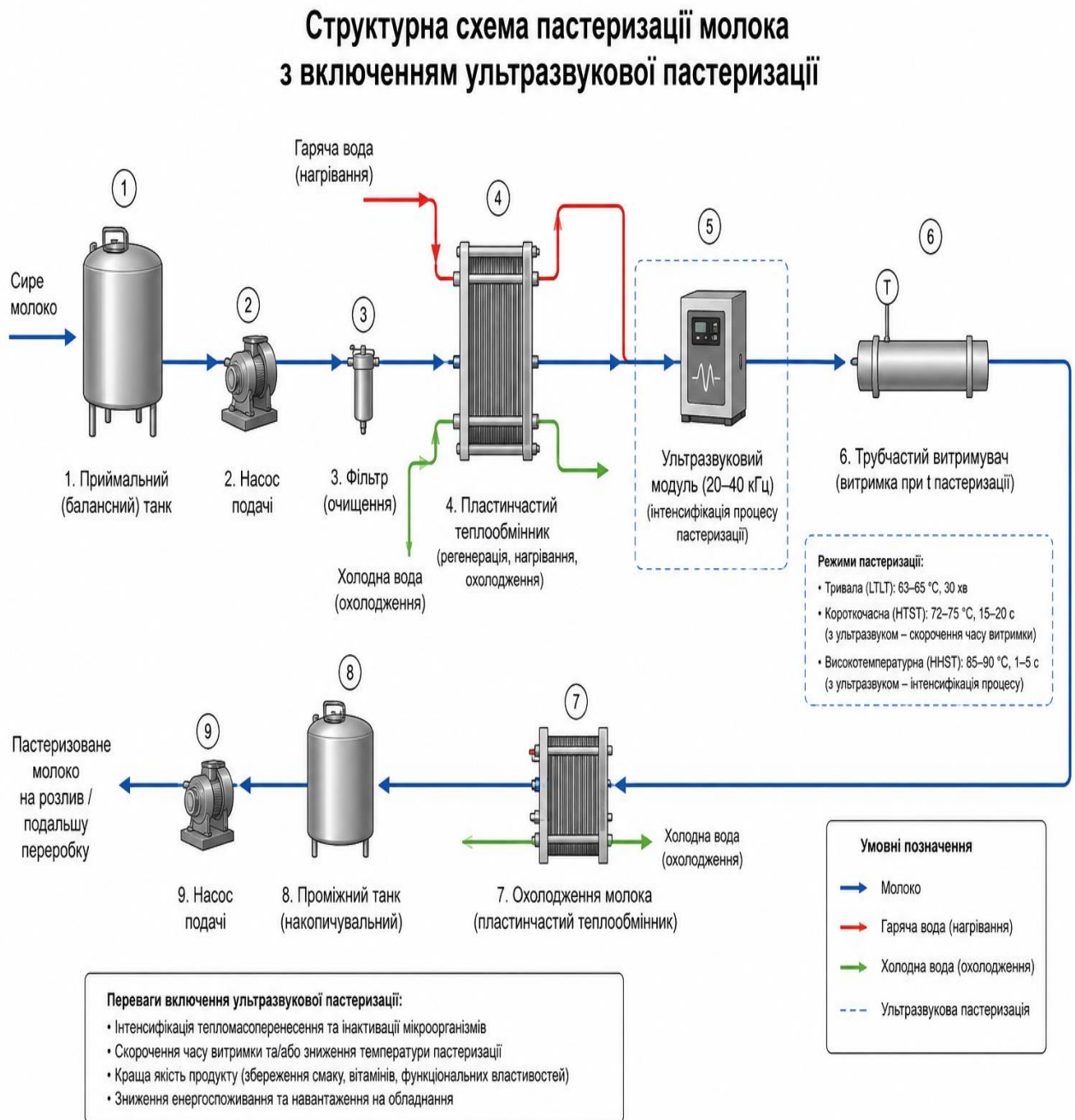


Рис.4.1. Структурна схема лінії пастеризації молока з ультразвуковим пастеризатором

Робота структурної схеми пастеризації молока з включенням ультразвукової пастеризації відбувається у такій послідовності:

1. Приймання та накопичення молока

Сире молоко надходить у приймальний (балансний) танк (1), де забезпечується його тимчасове зберігання та стабільна подача в систему. Балансний танк вирівнює витрату молока та запобігає перебоям у роботі установки.

2. Подача молока насосом

За допомогою насоса (2) молоко транспортується через технологічну лінію до наступних етапів обробки. Насос забезпечує необхідний тиск і швидкість потоку.

3. Фільтрація молока

Перед тепловою обробкою молоко проходить через фільтр, (3) де видаляються механічні домішки, згустки та сторонні частинки. Це покращує якість продукту і захищає обладнання.

4. Нагрівання у пластинчастому теплообміннику

Далі молоко надходить у пластинчастий теплообмінник (4), де відбувається його попереднє нагрівання гарячою водою або паром. У теплообміннику також здійснюється регенерація тепла; підвищення температури до пастеризаційної; часткове охолодження після обробки.

Типові температури пастеризації: $T=72-75^{\circ}\text{C}$

5. Ультразвукова пастеризація

Після нагрівання молоко проходить через ультразвуковий модуль (20–40 кГц). (5). Під дією ультразвукових коливань у рідині виникає явище кавітації — утворення та руйнування мікропухирців. Це забезпечує руйнування клітин мікроорганізмів; інтенсифікацію тепломасообміну; підвищення ефективності пастеризації; скорочення часу витримки; можливість зниження температури обробки. Частота ультразвуку: $f=20-40\text{ kHz}$

6. Витримання молока

Далі молоко надходить у трубчастий витримувач (6), де підтримується необхідний час перебування при заданій температурі для гарантованого знищення патогенної мікрофлори.

Для короткочасної пастеризації: $\tau=15-20\text{ c}$

7. Охолодження молока

Після пастеризації продукт подається у секцію охолодження пластинчастого теплообмінника (7) , де температура молока знижується холодною водою або холодоносієм до температури зберігання.

8. Проміжне накопичення

Охолоджене пастеризоване молоко надходить у проміжний накопичувальний танк (8) , де короткочасно зберігається перед фасуванням або подальшою переробкою.

○ подача готового продукту

Заклучний насос (9) подає пастеризоване молоко на розлив; або у резервуари зберігання; або на виробництво кисломолочної продукції, сирів тощо.

Такий спосіб пастеризації є перспективним для сучасних молокопереробних підприємств завдяки поєднанню теплової та ультразвукової дії.

4.2. Розроблення схеми автоматичного керування лінією пастеризації молока

4.2.1. Аналіз технологічного процесу первинної обробки молока

На підставі обраної технологічної схеми уточнюють склад машин і устаткування, будують робочу тимчасову діаграму, за якою визначають узгодженість машин по продуктивності з таким розрахунком, щоб забезпечити необхідну безперервність технологічного процесу, заданий час перебування оброблюваного продукту в кожній ланці потокової лінії. При виборі технологічної схеми намагаються передбачити першочергове використання машин, які можуть працювати без обслуговуючого персоналу, мати електропривод з дистанційним управлінням, піддаються автоматизації органи управління (засувки, вентилі, шибери та ін.).

Технологічні схеми в проектах можуть бути представлені двома способами: у вигляді прямокутників або у вигляді схематичного зображення контурів обладнання із зазначенням всіх зв'язків і шляхів обробки продукту (в значній мірі

технологічні схеми по способам зображення можуть бути прирівняні до структурних або функціональних електричних схем).

Управління окремими механізмами поточкових ліній взаємопов'язане. Знаючи загальну послідовність роботи окремих ланок поточної лінії, можна правильно побудувати технологічну схему процесу і підібрати машини, необхідні при проектуванні.

При цьому звертають особливу увагу на узгодженість машин по продуктивності, що забезпечує безперервність технологічного процесу.

4.2.2. Розробка схеми керування лінії первинної обробки молока

При розробці технологічних процесів їх об'єднують в автоматизовані комплекси із закінченим циклом виробництва. При цьому приділяють увагу стандартизації обладнання, застосування в проектах типових комплектних блоків.

Для керування електроприводами проектується комплектні пристрої, що складаються з одного або декількох шаф і пультів управління. Ці пристрої забезпечують узгоджене управління всіма електроприводами відповідно до вимог технології переробки.

Схеми керування зазвичай передбачають два основні режими: «робота» (Р) і «налагодження» (Н). У режимі роботи управління всіма механізмами взаємопов'язане. При цьому передбачається така послідовність пуску та зупинки електроприводів поточкових ліній, при якій виключається можливість завалів окремих механізмів і машин. При наявності накопичувальних або проміжних бункерів в проектах передбачають установку датчиків-сигналізаторів верхнього і нижнього рівнів, що спрацьовують на звуковий сигнал, що блокується з лампової сигналізацією. Пуск поточної лінії також відзначається звуковим сигналом. Принципові електричні схеми управління будують з використанням великої кількості однотипних стандартних елементів релейної автоматики. Їх виконують, як правило, рядковим способом, що полегшує розуміння і аналіз роботи схем.

Принципова електрична схема - це проектний документ, який визначає повний

склад електричних елементів та зв'язків між ними, а також дає детальне уявлення про принцип роботи схеми. Вона служить для того, щоб найпростіше і наочно умовно зобразити пристрої, що входять в схему, показати взаємний електричний зв'язок між її окремими елементами з урахуванням послідовності роботи, тобто дати уявлення про принцип дії

У загальному випадку принципіальні схеми складаються:

- з умовних зображень елементів і зв'язків між ними;
- окремих елементів даної схеми, що використовується в інших схемах, а також елементів із інших схем;
- діаграми перемикачів контактів багатопозиційних пристроїв;
- переліку пристроїв, засобів автоматизації та апаратури, що використовується в даній схемі,
- переліку креслень, що належать до даної схеми, загальних пояснень та примітки.

При розробці принципіальних електричних схем автоматизації необхідно передбачити захист електрообладнання від анормальних режимів перевантажень, коротких замикань, обриву фази і т.д. роботи, а також вони повинні експлуатації.

Розробляють принципову електричну схему після детального вивчення заданого технологічного процесу та розроблення його технологічної схеми. При цьому перш за все слід з'ясувати можливий ступінь автоматизації керування електроустановкою, послідовність вмикання і вимикання електродвигунів та інших електроприладів, необхідність гальмування, реверсу і регулювання швидкості електроприводів та найбільш доцільні способи здійснення цих режимів, потребу в місцевому, дистанційному, стабілізуючому та програмному керуванні, різних видах сигналізації, захисту.

Для доповнення умовного графічного позначення елементів на принципіальних електричних схемах за ГОСТ 2.710-81 застосовують літерно-цифрові позначення.

Усі апарати, реле, контакти, кнопки та ключі управління, автоматичні вимикачі, перемикачі на електричних схемах необхідно зображувати у вимкненому положенні, тобто при відсутності напруги у всіх колах схеми та зовнішніх механічних дій на апарати.

За наявною технологічною схемою будемо принципову схему

автоматичного управління, нумеруємо і пояснюємо функціональне призначення кожного кола, даємо короткий опис роботи електроприводів кожної технологічної лінії агрегату. Викреслює силову частину схеми з зображенням способів підключення приводних електродвигунів.

Розроблена схема електрична принципова технологічної лінії первинної обробки молока - силової частини показана на рис. 4.2., а схема керування на рис. 4.3..

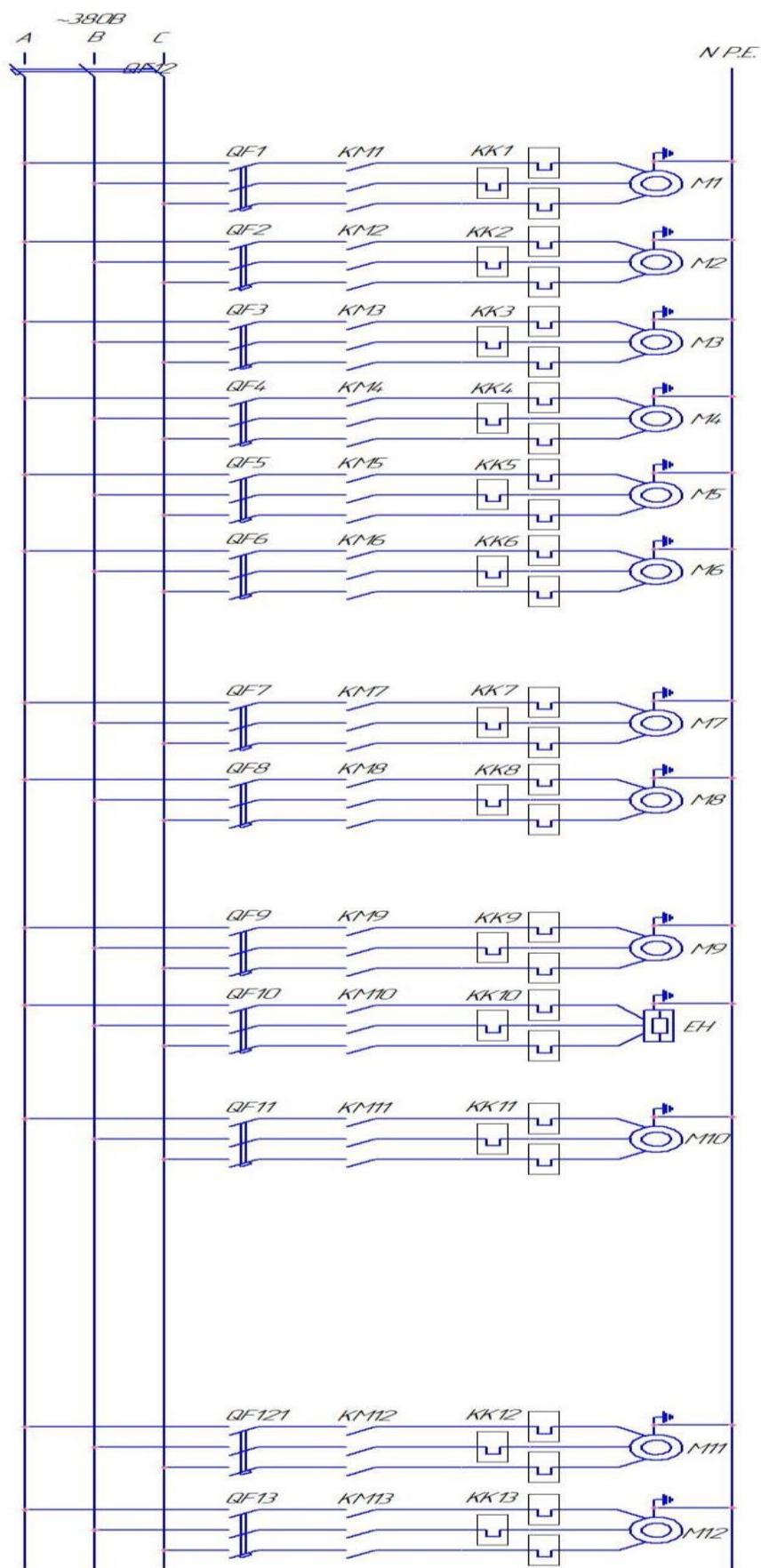


Рис.4.2. - Схема електрична принципова технологічного процесу первинної обробки молока (силова частина).

Рис. 4.3. - Схема електрична принципова технологічного процесу
первинної обробки молока (автоматизація)

Живлення схеми автоматики проводиться напругою 220 В змінного струму.

Молоко подається через лічильник молока в повітрероздільник. При спрацьовуванні датчика SL1 - нижнього рівня, що знаходиться в повітрероздільнику, спрацьовує реле електромагнітного клапана KV1, яке подає напругу на сам клапан EK1 і він відкривається. Після спрацьовування SL2 - верхнього рівня, що знаходиться в повітрероздільнику, включається магнітний пускач KM1, який запускає насос НМУ-6. Контакт магнітного пускача KM1 подає живлення на пускачі KM2, KM3 і KM4-KM6, відповідно запускається охолоджувач-очищувач Г9-ОМА, насос НМУ-6 і охолоджувач молока РОЗ -2,5. Також KM1 подає живлення на контрольні лампи роботи Г9-ОМА і лінії глибокого охолодження молока на HL1 і HL2 відповідно. Молоко надходить в ємність для короткочасного зберігання В2ОМВ-2 поки не спрацьовує SL4 - датчик верхнього рівня, який відключає KV1, закриває EK1 і відключає KM4-KM6, що забезпечують роботу РОЗ-2,5. Після заповнення ємності, SL4 замикає свій контакт в колі HL3 - лампи повної ємності короткочасного зберігання. Відкачування молока з резервуара проводиться за необхідністю. Натискаючи на кнопку SB5 при замкнутому контакті SL3, напруга подається на магнітний пускач KM13 насоса 36МЦ-6/12.

Так само при спрацьовуванні SL4, подається напруга на реле електромагнітного клапана KV2, яке подає напругу на клапан EK2 і він відкривається. Коли включився EK2, молоко подається в молокоприймальний бак БМ-250.

Після того, як БМ-250 наповниться, спрацьовує SL6 - датчик верхнього рівня, який подає напругу на магнітний пускач KM7. Останній включає сепаратор СОМ-3-1000 і контрольну лампу роботи лінії сепарування молока. При спрацьовуванні магнітного пускача KM7, подається напруга на магнітний пускач KM8, який в свою чергу запускає насос 36МЦ-6/12. Як тільки спрацьовує SL6, розмикається контакт в колі KV2 і замикається контакт в колі KV3, який спрацювавши, зашунтує контакт SL6. Електромагнітний клапан EK2

закривається, а електромагнітний клапан ЕКЗ відкривається і молоко подається у ванну тривалої пастеризації ПЗМ-1,0. При спрацьовуванні SL5 - датчик нижнього рівня БМ-250, сепаратор відключається, що веде за собою і відключення насоса.

Коли рівень молока доходить до датчика SL8, включаються магнітні пускачі КМ9 і КМ10 ванни пастеризації молока і контрольна лампа НЛ5 роботи лінії пастеризації. Коли ПРМ-1,0 наповниться до SL8 - датчик рівня при якому нагрівальні елементи закриті молоком, ПРМ-1,0, і молоко нагріється до 80 градусів, спрацює датчик температури SK. Він замикає свій контакт в колі реле часу КТ1.2, яке з витримкою десять хвилин замикає свої контакти в колі магнітного пускача КМ11 насоса 36МЦ-6/12, який працює при замкнутому контакті SL7 - датчика нижнього рівня ПРМ -1,0. Останній перекачує молоко в ємність тривалого зберігання В20МВ-2. При заповненні ванни пастеризації до SL9, клапан ЕКЗ закривається і відключається КМ1, що призводить до відключення всього процесу очищення молока. При наповненні резервуара тривалого зберігання, SL13 замикає свій контакт в колі НЛ6 - лампи повної ємності тривалого зберігання. Відкачування молока з резервуара проводиться за потребою. Натискаючи на кнопку SB3, при замкнутому контакті SL10, напруга подається на магнітний пускач КМ12 насоса 36МЦ-6/12.

4.2.3. Вибір і розрахунок електричних апаратів керування

Для управління електроприймачами, забезпечення тривалого терміну служби і захисту їх від аварійних режимів роботи необхідно грамотно вибрати апаратуру керування і захисту. Вона вибирається з урахуванням зовнішнього середовища, встановленої потужності, режиму роботи, технологічних вимог і монтажного виконання. Розрахунок електротехнічної арматури проведемо за методикою, викладеною в [34]. У нашому випадку всі розрахунки проводимо на прикладі охолоджувача-очищувача Г9-ОМА, а розрахунок за іншими електроспоживачами проводимо аналогічно і зводимо в таблицю 3.5. Г9-ОМА

має в якості приводу електродвигун АІР100L4, потужністю $P_H=4$ кВт і частотою обертання 1500 об/хв.

Номінальний робочий струм (I_H , А) двигуна знаходиться за формулою:

$$I_H = \frac{P_H}{(\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos\varphi \cdot \eta \cdot 10^{-3})}, \quad (4.1)$$

де U – лінійна напруга, $U = 380$ В;

$\cos\varphi$ - коефіцієнт потужності, $\cos\varphi = 0,8$;

η - коефіцієнт корисної дії електродвигуна, $\eta = 85$ %.

$$I_H = \frac{4}{(\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,8 \cdot 0,85 \cdot 10^{-3})} = 9 \text{ А.}$$

Вибір електричних апаратів вторинних кіл виконуємо за такими ж принципами, як і іншу електротехнічну апаратуру з урахуванням умов роботи, середовища, технологічних вимог та ін.

Дистанційне керування двигуном здійснюється магнітним пускатчем (КМИ-1091) [34], номінальний струм якого повинен бути:

$$I_{н.п.} \geq I_{н.д.}$$

$$9 = 9.$$

А напруга втягуючої котушки повинна бути рівною напрузі мережі керування:

$$U_{кот} = 400 \text{ В.}$$

Вибраний пускач повинен забезпечувати нормальні умови комутації і в легкому режимі роботи швидкий запуск і відключення двигуна при обертаючому роторі.

$$I_{н.п.} \geq \frac{I_{пуск.дв.}}{6}, \quad (4.2.)$$

де $I_{пуск.дв.}$ - пусковий струм двигуна.

$$I_{пуск.дв.} = I_{н.п.} \cdot I_{II} \quad (4.3)$$

де I_{II} - кратність пускового струму $I_{II} = 7$.

$$I_{н.п.} \geq \frac{9 \cdot 7}{6} = 11 \text{ А.}$$

Вибираємо пускач КМИ-1121 [28].

Для захисту електродвигуна від струму короткого замикання рекомендується застосовувати автоматичні вимикачі серій АП, АЕ чи ВА, вибір яких здійснюється з умови:

$$I_{н.розч} \geq I_{н.д.}$$

де $I_{н.розч}$ - сила номінального струму розчіплювача.

$$10 \geq 9.$$

Вибираємо ВА47–29С10.

Далі знаходять кратність сили розрахункового струму:

$$K = \frac{I_{н.д.}}{I_{н.розч.}} \quad (4.4)$$

$$K = \frac{9}{10} = 0,9$$

І на цю величину встановлюють регулятор автомата.

Вибираємо переріз кабелю за номінальним струмом підключаемого обладнання за даними приведеними в [24]. Для підключення очисника Г9-ОМА вибираємо чотирьохжильний провід марки ВВГ перерізом 2,5 мм². Аналогічно вибираємо переріз проводів для підключення іншого обладнання і заносимо дані в зведену таблицю 4.1.

Таблиця 4.1.

Зведена таблиця вибору обладнання

№	Обладнання	К-сть одиниць	P, кВт	I _н , А	к _п	Тип автоматичн ого вимикача.	Тип пускатча	Тип кабелю	Переріз кабелю	Довжина кабелю
1	УВУ-60/45	4	4	9,1	7	ВА47-29-40	КМИ-1121	ВВГ	2,5×4	
2	36МЦ-6/12	3	0,75	1,7	4	ВА47-29-6	КМИ-1091	ВВГ	2,5×4	
3	СОМ-3- 1000	1	1,1	2,5	5	ВА47-29-3	КМИ-1091	ВВГ	2,5×4	
4	Г9-ОМА	1	4	9,1	7	ВА47-29-10	КМИ-1121	ВВГ	2,5×4	11
5	ПРМ-1,0	1	4	9,1	7	ВА47-29-4	КМИ-1121	ВВГ	2,5×4	17
		1	1,1	2,5	5		КМИ-1091	ВВГ	2,5×4	
6	ЭОВ-9/45	1	9	20,5	-	ВА47-29-13	КМИ-22510	ВВГ	2,5×4	34
7	НМУ-6	2	1,1	2,5	6	ВА47-29-5	КМИ-1091	ВВГ	2,5×4	
8	РОЗ-2,5	1	7,5	17	7	ВА47-29-40	КМИ-22510	ВВГ	2,5×4	12
		1	1,1	2,5	6		КМИ-1091			
		1	0,25	0,5	4		КМИ-1091			
9	Вентилятор	1	1,1	2,5	6	ВА47-29-8	КМИ-1091	ВВГ		
10	ІЧ- обігрівач	1	1,9	5,5	6		КМИ-1091	ВВГ	2,5×4	
11	Центрифуга	1	0,18	0,4	4	ВА47-29-1	КМИ-1091	ВВГ	2,5×4	40
12	Вентилятор	4	1,1	2,5	6	ВА47-29-10	КМИ-1091	ВВГ	2,5×4	47
12	Насос	1	1,1	2,5	6	ВА47-29-3	КМИ-1091	ВВГ	2,5×4	6
13	ЭВО-2-30 Нагрівач	1	30	68,3	-	ВА47-100- 80	КМИ-48010	ВВГ	16×4	
14	Корморозда вач КТУ- 10А	2	2,2	5	6	ВА47-29-10	КМИ-1091	ВВГ	2,5×4	
15	БСК-10	2	1,1	2,5	6	ВА47-29-5	КМИ-1091	ВВГ	2,5×4	

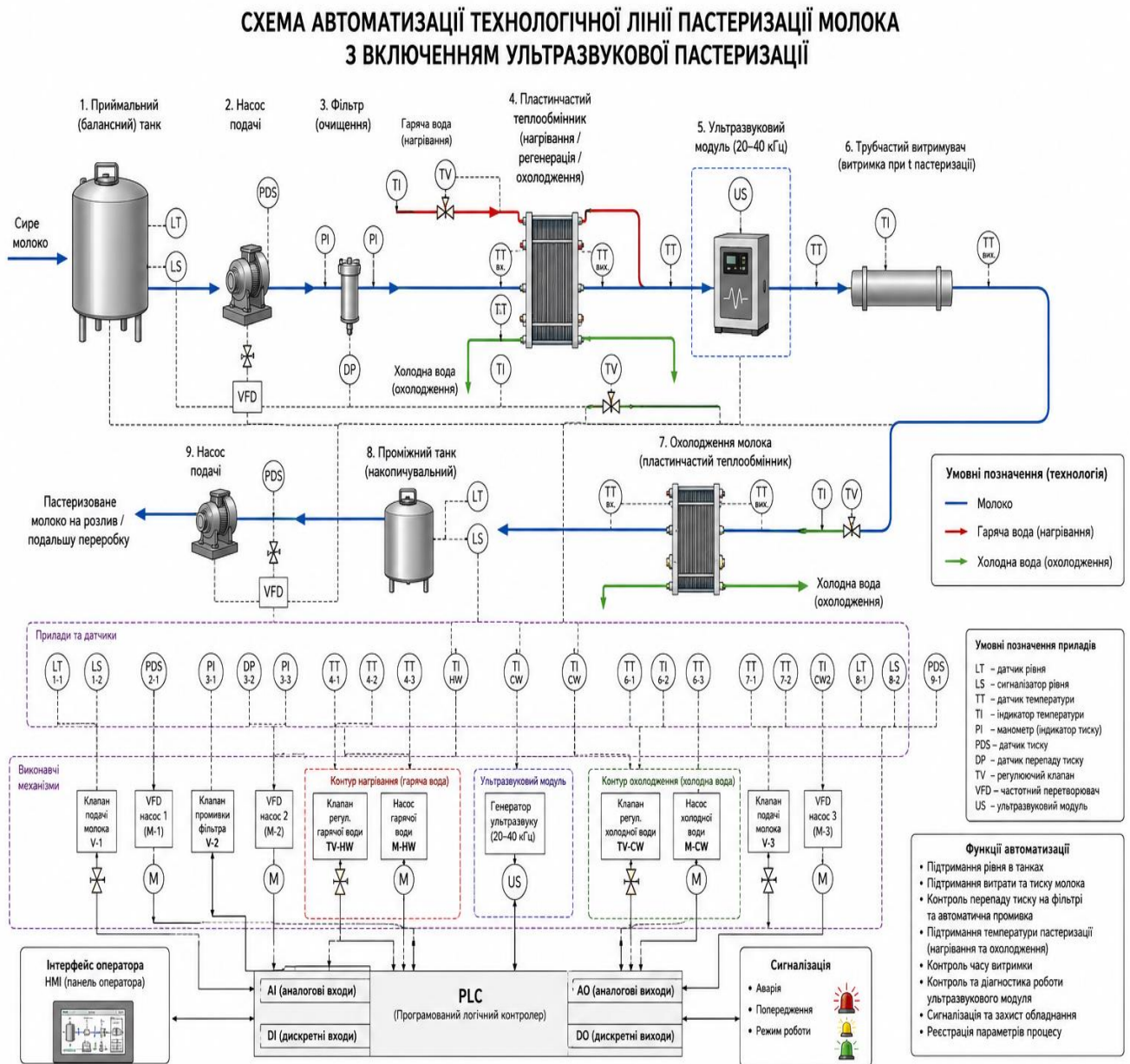


Рис.4.4. Система автоматизації лінії з ультразвуковою пастеризацією молока

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1. Нормативно-правові акти з охорони праці

Закон України "Про охорону праці" визначає, що охорона праці - це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі саме трудової діяльності.

Зміст охорони праці розглядають у соціальному, технічному, медико-біологічному, юридичному, галузевому та вузькоспеціальному аспектах. Кожен аспект охорони праці має свій зміст і є самостійним напрямком у системі заходів щодо безпеки життя та здоров'я у процесі трудової діяльності.

Підсистема джерел трудового права з охорони праці у цілому відповідає структурі та характеристикам усієї системи джерел трудового права України. Проте вона має певні особливості. Так, поряд з основоположними нормативно-правовими актами, які визначають політику України у сфері правового регулювання охорони праці, питання охорони праці регулюються великою кількістю підзаконних нормативно-правових актів. Підзаконні нормативно-правові акти у сфері охорони праці різняться видами і мають певну специфіку щодо змісту відображених у них вимог. За напрямками забезпечення охорони праці нормативно-правові акти прийнято групувати на такі види: організаційно-технічні; санітарно-гігієнічні; соціально-економічні; лікувально-профілактичні; реабілітаційні.

Нормативно-правові акти з охорони праці охоплюють правила, норми, регламенти, положення, стандарти, інструкції та інші документи, обов'язкові для виконання. В нормативно-правових актах представлені різні види норм права (охоронні, регулятивні, захисні, дефінітивні та ін.).

З метою усунення причин, які можуть викликати небезпечні для життя і здоров'я працівника ситуації, нормативно-правові акти з охорони праці

визначають, що саме роботодавець має виконувати у сфері безпеки праці. Положення цих вимог стосуються усіх компонентів виробничого процесу: якості обладнання, оснащення робочих місць засобами колективного та індивідуального захисту, прийомів безпечного ведення робіт, методів нейтралізації факторів небезпечного та шкідливого впливу на працівника, порядку та розмірів компенсації за несприятливі умови праці та заподіяну здоров'ю шкоду.

Особливістю норм, що становлять інститут охорони праці, є включення до їх змісту вимог технічного характеру (виступають або диспозиціями регулятивних норм, або гіпотезою охоронних норм). Вони становлять зміст норм дисципліни праці і норм матеріальної відповідальності. Тому зазначені норми спираються на санкції дисциплінарної та матеріальної відповідальності, а також на санкції адміністративної та кримінальної відповідальності.

Розробка та прийняття нових, перегляд і скасування чинних нормативно-правових актів з охорони праці провадиться спеціально уповноваженим центральним органом виконавчої влади з нагляду за охороною праці за участю професійних спілок і Фонду соціального страхування від нещасних випадків та за погодженням з органами державного нагляду за охороною праці.

Санітарні правила та норми затверджуються спеціально уповноваженим центральним органом виконавчої влади у сфері охорони здоров'я.

Нормативно-правові акти з охорони праці переглядаються в міру впровадження досягнень науки і техніки, що сприяють поліпшенню безпеки, гігієни праці та виробничого середовища, але не рідше одного разу на десять років.

Стандарти, технічні умови та інші документи на засоби праці і технологічні процеси повинні містити вимоги щодо охорони праці і погоджуватися з органами державного нагляду за охороною праці.

Слід враховувати, що кожний орган виконавчої влади, що має право нормотворчості з охорони праці, затверджує і запроваджує установлені ним види правових актів. Наприклад, до підзаконних актів, що регулюють безпеку

праці, належать стандарти, норми та правила пожежної безпеки, інструкції тощо.

Окремим блоком нормативних актів, які регулюють питання безпеки праці, є норми і правила у галузі використання атомної енергії.

У разі неможливості повного усунення небезпечних і шкідливих для здоров'я умов праці роботодавець зобов'язаний повідомити про це відповідний орган державного нагляду за охороною праці. Він може звернутися до зазначеного органу з клопотанням про встановлення необхідного строку для виконання заходів щодо приведення умов праці на конкретному виробництві чи робочому місці до нормативних вимог.

Відповідний орган державного нагляду за охороною праці розглядає клопотання роботодавця, здійснює у разі потреби експертизу запланованих заходів, визначає їх достатність і за наявності підстав може, як виняток, прийняти рішення про встановлення іншого строку застосування вимог нормативних актів з охорони праці. Роботодавець зобов'язаний невідкладно повідомити заінтересованих працівників про рішення зазначеного органу державного нагляду за охороною праці.

Роботодавець стосовно конкретних виробничих умов розробляє інструкції з техніки безпеки на підставі, як правило, Типових інструкцій. В інструкціях міститься комплекс вимог, виконання яких обов'язкове для конкретної організації.

Питання стимулювання охорони праці включаються і в акти соціального партнерства, локальні нормативно-правові акти. Соціально-партнерські угоди, колективні договори доповнюють систему джерел трудового права у частині регулювання трудових відносин у сфері охорони праці, відображають погоджені вимоги соціальних партнерів. У колективному договорі (угоді, трудовому договорі) сторони передбачають забезпечення працівникам соціальних гарантій у сфері охорони праці на рівні не нижчому за передбачений законодавством, їхні обов'язки, а також комплексні заходи щодо досягнення встановлених нормативів безпеки, гігієни праці та виробничого

середовища, підвищення існуючого рівня охорони праці, запобігання випадкам виробничого травматизму, професійним захворюванням і аваріям.

Закон України "Про охорону праці" визначає основні положення щодо реалізації конституційного права громадян на охорону їх життя і здоров'я у процесі трудової діяльності, на належні, безпечні і здорові умови праці, регулює за участю відповідних органів державної влади відносини між роботодавцем і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні. Закон України "Про охорону праці" складається з дев'яти розділів, що містять загальні положення з охорони праці, гарантії прав на охорону праці, організацію охорони праці, стимулювання охорони праці, нормативно-правові акти з охорони праці, державне управління охороною праці, державного нагляду та громадський контроль за охороною праці, відповідальність за порушення законодавства про охорону праці та прикінцеві положення.

Нормативно-правові акти з охорони праці є обов'язковими для виконання у виробничих майстернях, лабораторіях, цехах, на ділянках та в інших місцях трудового і професійного навчання, облаштованих у будь-яких навчальних закладах.

Організація охорони праці на зазначених об'єктах, а також порядок розслідування та обліку нещасних випадків з учнями і студентами під час трудового та професійного навчання у навчальних закладах визначаються центральним органом виконавчої влади у сфері освіти та науки за погодженням з відповідним профспілковим органом. До учнів і студентів, які проходять трудове і професійне навчання (виробничу практику) на підприємствах під керівництвом їх персоналу, застосовується законодавство про охорону праці у такому ж порядку, що й до працівників підприємства.

5.2. Безпека в надзвичайних ситуаціях

Організація життєдіяльності населення в екстремальних умовах є комплексом заходів, спрямованих на створення і підтримку нормальних умов життя, здоров'я і працездатності людей.

Виконання всіх цих заходів організовується виконавчою владою і

органами управління цивільної оборони відповідного рівня. Безпосередніми виконавцями цих заходів є керівники підприємств, установ і організацій.

Заходи розробляються завчасно, відображаються в планах ЦО і виконуються як у період загрози, так і після виникнення надзвичайної ситуації.

Одним з головних питань є забезпечення населення продуктами, питною водою і предметами першої необхідності, а в холодну пору – і теплом.

Порядок забезпечення населення продуктами, водою, предметами першої необхідності в умовах надзвичайних ситуацій визначається відповідними постановами Кабінету Міністрів України і в першу чергу вказівками та інструкціями Міністерства торгівлі Мінагропрому, Міністерства охорони здоров'я, Міністерства житлово – комунального господарства. Організацію інформації населення при виникненні надзвичайних ситуацій вирішує Міністерство зв'язку України, Державний комітет з телебачення і радіомовлення, їхні територіальні організації, місцеві органи влади й органи управління ЦО. Своєчасна і правдива інформація про реальну обстановку в країні, області, районі, місті і на об'єкті виключає виникнення і поширення неправдивих слухів, а головне, додає впевненості людям.

На об'єктах господарювання організація і проведення багатьох заходів здійснюється за участю місцевих органів державної влади. Це стосується насамперед заходів щодо всебічної підготовки заміської зони, організації евакуаційних заходів, навчання населення використовувати засоби і способи захисту, діяти в умовах надзвичайних ситуацій.

Тимчасове розселення евакуйованих у безпечних районах передбачає максимальний захист людей від радіоактивного зараження, хімічного ураження при аваріях чи катастрофах на радіаційно чи хімічно небезпечних об'єктах, а також запобігання загибелі у випадках катастрофічного затоплення районів проживання населення.

В місцях розселення звільняються приміщення для розміщення евакуйованих громадян, готуються (при необхідності) колективні засоби захисту. Якщо укриттів недостатньо, то організовується їх додаткове будівництво, пристосування наявних підвалів, гірничих виробок, для чого залучається вся працездатне населення, в тому числі і евакуйоване.

Велике значення має забезпечення у місцях розселення евакуйованого населення продуктами харчування, надання їм побутових послуг медичного обслуговування.

Забезпечення населення продуктами харчування і предметами першої необхідності здійснюється службою торгівлі і харчування ЦО сільського району (району, куди евакуюється населення).

Перші дві доби населення повинне харчуватися запасами продуктів, привезених з собою. При їх відсутності харчування здійснюється через систему суспільного харчування або в родинях, куди вони підселюються.

Харчування особового складу невоєнізованих формувань ЦО здійснюється рухомими пунктами харчування і нерухомих пунктів продовольчого забезпечення служби торгівлі і харчування.

Безпосередньо організовують харчування особового складу формувань заступники командирів формувань з матеріального за без печення. При відсутності часі (неможливості) на готування гарячої їжі видається сухий пайок.

Під час роботи у вогнищах радіаційного зараження видача гарячої їжі і сухих пайків здійснюється відповідно до встановлених норм. Готування і прийом гарячої їжі організовується на незараженій території чи на місцевості з рівнем радіації, який не перевищує 1 Р за годину (1 Р/год).

При радіації від 1 до 5 Р/год готування і приймання їжі здійснюється тільки в закритих приміщеннях. При радіації понад 5 Р/год особовому складу невоєнізованих формувань замість гарячої їжі видається сухий пайок у герметичному упакованні.

У районах, заражених отруйними речовинами, дозволяється готувати і приймати їжу тільки в спеціальних приміщеннях, обладнаних фільтровентиляційними установками.

У районах, заражених бактеріальними засобами готування і приймання їжі дозволяється тільки після ретельної дезінфекції території, кухонь і устаткування, а також повної санітарної обробки потерпілих.

Їх робота у надзвичайних ситуаціях значно ускладнюється, бо крім хворих загального захворювання можуть надходити люди, уражені радіоактивними речовинами, отруйними речовинами, бактеріальними засобами.

Значно зростає роль надання само- і взаємодопомоги.

При аварії на АЕС додатково обладнуються місця для госпіталізації людей з ознаками променевої хвороби, для надання медичної допомоги населенню на маршрутах евакуації й у районах розселення лікарні підсилюються бригадами, у складі яких обов'язково повинні бути лікарі-радіологи. Особлива увага приділяється попередженню епідемій інфекційних захворювань серед населення. Для проведення цих робіт створюються санепідбригади. Для санобробки населення використовуються дезінфекційно-душові установки і стаціонарні санітарно-обмивальні пункти.

РОЗДІЛ 6

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА РОБОТИ

Оптимальний варіант прийнятих в роботі інженерно-технічних рішень визначається системою техніко-економічних показників економічної оцінки нової техніки і системи автоматизації виробничих процесів відносяться: продуктивність праці, капітальні вкладення, приведені витрати, собівартість продукції, енерго- та електроозброєність праці, річний економічний ефект, строк окупності вкладень і так далі.

Поточні виробничі витрати можуть бути прямими та експлуатаційними. Прямі включають витрати на матеріали та допоміжне обладнання, яке необхідне для забезпечення виробництва: технологічна оснастка, транспортні витрати, вартість сировини, кормів, насіння та інше.

До експлуатаційних витрат або витрат виробництва відносять: витрати на оплату праці, амортизаційні витрати, витрати на поточний ремонт та обслуговування обладнання, енергоресурси, паливо та електроенергію та інше.

Річний економічний ефект від автоматизації виробничих процесів та використання нової техніки і технології може бути визначений за економією приведених витрат:

$$E_r = (Z_1 - Z_2) \cdot V_a, \quad (6.1)$$

де Z_1, Z_2 – приведені витрати на одиницю продукції до і після автоматизації V_a – річний обсяг виробленої продукції в натуральних одиницях.

При цьому:

$$Z_1 = U_1 + E_n K_1, \quad (6.2)$$

$$Z_2 = U_2 + E_n K_2, \quad (6.3)$$

де K_1, K_2 – відповідно питомі капітальні вкладення до і після автоматизації виробництва;

U_1, U_2 - відповідно річні видатки виробництва продукції до і після автоматизації виробництва;

E_n – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, $E_n = 0,15$.

Строк окупності додаткових капітальних вкладень визначається за співвідношенням:

$$T_{\text{окуп}} = \frac{\Delta K}{\Delta n}, \text{ або } T_{\text{окуп}} = \frac{\Delta K}{\Delta C}. \quad (6.4.)$$

Визначення ефективності автоматизації переробного виробництва в грошовому виразі не завжди можливо. Тому в окремих випадках економічну оцінку прийнятих в роботі рішень можливо проводити через натуральні показники з використанням фактичних даних виробничої діяльності переробних підприємств, а також даних та рекомендацій науково-дослідницьких закладів, нормативних документів по праці та статистичних даних по регіону.

Визначаємо техніко-економічні показники роботи.

Енергоозброєність праці лінії первинної обробки молока:

$$E_{\text{озб}} = \frac{P_y}{N}, \quad (6.5)$$

де P_y – встановлена потужність електрообладнання, кВт;

N – кількість робітників, люд.

Енергоозброєність праці до автоматизації становить:

$$E_{\text{озб1}} = 83,6/4 = 20,9 \text{ кВт/люд};$$

Енергоозброєність праці після автоматизації:

$$E_{\text{озб2}} = 91,6/2 = 45,65 \text{ кВт/люд}.$$

Кількість електроенергії яка споживається за рік:

$$W = 0,93 \cdot P \cdot T \cdot k, \quad (6.6)$$

де T – річний фонд робочого часу, год, ($T=1967$ годин);

k – коефіцієнт одночасності роботи обладнання, $k=0,6 \dots 0,7$. Приймаємо $k=0,6$

$0,93$ – коефіцієнт, що враховує зниження електроенергії після автоматизації.

Споживання електроенергії до автоматизації:

$$W_1 = 83,6 \cdot 1967 \cdot 3,6 = 898,7 \text{ тис.кВт} \cdot \text{год}.$$

Споживання електроенергії після автоматизації:

$$W_2 = 91,6 \cdot 1967 \cdot 0,6 \cdot 0,93 = 700,2 \text{ тис.кВт} \cdot \text{год}.$$

Визначаємо об'єм обробки молока:

$$A = n \cdot m, \quad (6.7)$$

де n – виробництво молока за зміну, т, $n_1 = 3,25$ т, $n_1 = 3,5$ т m – кількість змін, $m = 295$

Вироблено валової продукції до автоматизації:

$$A_1 = 3,25 \cdot 295 = 958,75 \text{ т.}$$

Вироблено валової продукції після автоматизації:

$$A_2 = 3,5 \cdot 295 = 1032,5 \text{ т.}$$

Електромісткість продукції:

$$E_m = \frac{W}{A}, \quad (6.8)$$

де A – кількість виробленої продукції, т;

W – споживання електроенергії, кВт · год.

До автоматизації:

$$E_{m1} = \frac{98.7}{958.75} = 0.11 \text{ тис.кВт · год/т.}$$

Після автоматизації:

$$E = \frac{100.2}{1032.5} = 0,09 \text{ тис.кВт · год/т.}$$

Таблиця 6.1

Розрахунок об'єму виробництва продукції

Показник	Варіант	
	Базовий	Модернізований
1	2	3
Кількість робочих днів на рік	295	295
Виробництво молока за:		
зміну, т	3,25	3,5
рік, т	958,75	1032,5
Зниження затрат за рахунок:		
вивільнення працівників, тис.грн;	-	24,7
економії електроенергії, тис.грн.	-	
всього, тис.грн		26,83
Собівартість 1т молока, грн	3500	3230
Зниження собівартості 1т молока, грн		270

Термін окупності капіталовкладень:

$$T_{\text{окупн}} = n / \Pi_d, \quad (6.9)$$

$T_{\text{окупн}} = 310,7 / 297,7 = 1,04$ року Виконані розрахунки наведені в таблиці 7.2.

Таблиця 6.2

Техніко-економічні показники

Показник	Варіант	
	Базовий	Модернізований
1.Встановлена потужність електрообладнання, кВт	83,6	91,6
2. Вартість електроенергії, тис. грн.	27,6	28,56
4.Затрати на виробництво, тис.грн	1593	1570
5.Зниження затрат за рахунок :		
вивільнення працівників, тис.грн;	-	24,7
економії електроенергії, тис.грн.	1,2	-
всього, тис.грн		23,5
6.Собівартість 1т молока, грн	3500	3230
7.Зниження собівартості 1т молока, грн		270
7.Прибуток, тис.грн	497,4	795,1
в тому числі за рахунок нового устаткування		297,7
9.Електромісткість продукції:	0,11	0,09
10. Енергоозброєність праці	20,8	45,65
11 Додаткові капітальні вкладення, тис. грн.	310,7	
12 Термін окупності, року	1,04	

ВИСНОВКИ

В магістерській роботі розроблено технологію первинної обробки молока з використання ультразвукової пастеризації молока та вибрано необхідне технологічне обладнання.

Експериментальними дослідженнями по визначенню оптимальних параметрів обробки встановлено. Оптимальним слід вважати обробку молока при температурі **55...70 °C**, що дозволяє отримати більше 80% від загального числа жирових кульок розміром менш 2 мкм. При такій обробці фактично отриманий ефект стерилізації молока, тобто повне знищення всіх видів мікроорганізмів, включаючи їхні спори.

Оптимальний час обробки дозволяє забезпечити високу ефективність пастеризації без значного погіршення якості молока. Для ультразвукової пастеризації молока оптимальна тривалість зазвичай становить: **t=90 –180 с**. Оптимальна потужність обробки становить **20- 40 Вт/л**.

Ефективна частота ультразвукових коливань визначено в **20- 40 кГц**

На основі аналізу технологічного процесу первинної обробки молока розроблено принципову електричну схему системи керування та автоматизації потокової лінії пастеризації або стерилізації молока з блоком ультразвукової обробки. Розглянуті питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях. Доцільність прийнятих технічних рішень підтверджена техніко- економічними розрахунками. Термін окупності нового устаткування становить **1,04 року**.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.

2. Луговський О. Ф., Берник І. М., Гришко І. А., Желяскова Т. М., Желясков В. П. Ультразвукові технології у виробництві молочних продуктів // Гідроаеромеханіка в інженерній практиці : матеріали XXVII МНТК. – Київ, 2023. – С. 44–47.
3. Луговський О. Ф., Гришко І. А., Берник І. М., Мовчанюк А. В., Шульга А. В. Апаратне забезпечення ультразвукових кавітаційних технологій : монографія. – Вінниця : ФОП Кушнір Ю. В., 2021. – 216 с.
4. Луговський О. Ф., Гришко І. А., Зілінський А. І., Шульга А. В., Мовчанюк А. В., Берник І. М. Ультразвукові кавітаційні технології. Знезараження та фільтрування : монографія. – Вінниця : ФОП Кушнір Ю. В., 2022. – 268 с.
5. Крижак Л. М. Ультразвукові технології у харчовій промисловості // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. – 2022. – Вип. 12, т. 1. – 16 с.
6. Яремчук О. С., Новгородська Н. В. Використання ультразвуку у виробництві ферментованих кисломолочних продуктів // Вібрації в техніці та технологіях. – 2021. – № 4 (103). – С. 90–98.
7. Хорольський В. П., Коренець Ю. М., Артановський А. В., Островчук О. О. Ультразвуковые технологии в системе интеллектуального управления производством сыра // Обладнання та технології харчових виробництв. – 2019. – № 1 (38). – С. 67–78.
8. Олійник В. В. Комп'ютерно-інтегрована система керування процесом пастеризації молока : кваліфікаційна робота магістра. – Київ : КНУТД, 2022. – 120 с.
9. Лисиченко М. Л., Жила В. І., Піскун В. І. Установки для пастеризації молока : навч. посіб. – Харків : ХНТУСГ, 2021. – 150 с.
10. Сторож Л. А. Сучасні технології молока і молочних продуктів : курс лекцій. – Тернопіль : ТНТУ, 2025. – 180 с.

11. ДНАОП 2.0.00-1.01-00 Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві / Комітет по нагляду за охороною праці України (Держнагляд охорони праці). К.: 2000. 141 с.
12. Єресько Г.О. Технологічне обладнання молочних виробництв. К.: Фірма "ІНКОС"; Центр навчальної літератури, 2007. 337 с.
13. Закон України «Про захист населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру». Верховна Рада України. К.: 2000.
14. Скибіцький В. Г., Власенко В.В., Власенко І.Г. та ін. Мікробіологія молока та молочних продуктів: підручник. Вінниця: Едельвейс і К, 2008. 412 с.
15. Березуцький В.В. Основи охорони праці: Навчальний посібник. Х.: Факт, 2005. 480 с.
16. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів Х.: Видавництво «Індустрія», 2007. 271 с.
17. Li X., et al. Research Progress in Ultrasonic-Assisted Thermal Sterilization. *Food Science*, 2024 DOI: 10.7506/spkx1002-6630-20230530-276
18. Bermúdez-Aguirre D., et al. Modeling the inactivation of *Listeria innocua* in milk under thermo-sonication. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2009 DOI: 10.1016/j.ifset.2008.11.005
19. Sutariya S., et al. Emerging applications of ultrasonication and cavitation in dairy processing. *Cogent Food & Agriculture*, 2018 DOI: 10.1080/23311932.2018.1549187
20. Soltani Firouz M., et al. Ultrasound-assisted processing of milk: Advances and challenges. *Journal of Food Process Engineering*, 2023 DOI: 10.1111/jfpe.14173
21. Chen X., et al. Ultrasound treatment and milk stability. *Journal of Dairy Science*, 2025 • Chandrapala J., Zisu B. *Ultrasound Technology in Dairy Processing*. – Cham : Springer, 2018. – 40 p.

22. Chandrapala J. Ultrasound Processing of Milk and Dairy Products // *Handbook of Ultrasonics and Sonochemistry*. – Singapore : Springer, 2015. – P. 1–34.
23. Deeth H. C., Lewis M. J. *High Temperature Processing of Milk and Milk Products*. – Oxford : Wiley-Blackwell, 2017. – 592 p.
24. Burton H. *Ultra-High-Temperature Processing of Milk and Milk Products*. – New York : Springer, 1994. – 354 p.
25. Other novel milk preservation technologies: ultrasound, irradiation, microwave, radio frequency, ohmic heating, ultraviolet light and bacteriocins // *Improving the Safety and Quality of Milk*. – Cambridge : Woodhead Publishing, 2010. – P. 420–450.
26. Dairy Products Processed With Ultrasound // *Ultrasound: Advances for Food Processing and Preservation*. – London : Academic Press, 2017. – P. 145–180.
27. McClements D. J. Advances in the application of ultrasound in food analysis and processing // *Trends in Food Science & Technology*. – 1995. – Vol. 6. – P. 293–299.
28. Ashokkumar M., Mason T. J. Sonochemistry // *Encyclopedia of Chemical Technology*. – New York : John Wiley & Sons, 2007.
29. Суходольська Н. П., Іщенко В. М., Кочубей-Литвиненко О. В. Класифікація різних видів питного молока та молока-сировини з використанням ультразвукового аналізу та хеометричних інструментів. – Київ : НУХТ, 2017.
30. Leong T., Johansson L., Juliano P. Ultrasonic separation of particulate fluids in small and large scale systems: a review // *Industrial & Engineering Chemistry Research*. – 2013. – Vol. 52, № 47. – P. 16555–16576.
31. Фомін Р. Г. Пастеризаційно-охолоджувальне обладнання для молочних ферм та харчової промисловості. – Харків, 2021.
32. Проточний пастеризатор молока УЗМ-0,1 для випоювання телят. – Харків, 2021.

33. Пастеризатор молока УЗМ-2,0Р. Технічний опис та характеристики. – Харків, 2021.
34. Пастеризатор молока УЗМ-1,0Р. Технічний опис та характеристики. – Харків, 2021.
35. Проточні пастеризатори молока для випоювання телят // Технологічне обладнання молочних ферм. – 2021.
36. Пальчик Є. М. Технологічне обладнання молочної промисловості : підручник. – Київ : [НУХТ](#), 2018. – 437 с.
37. Твердохліб Г. В., Сажин Б. С. Технологічне обладнання підприємств молочної промисловості. – Київ : [Центр навчальної літератури](#), 2016. – 556 с.
38. Фомін Р. Г. Пастеризаційно-охолоджувальне обладнання молочних ферм та харчової промисловості : монографія. – Харків : ФОП Бровін О.В., 2021. – 286 с.
39. Burton H. *Ultra-High-Temperature Processing of Milk and Milk Products*. – Dordrecht : [Springer](#), 1994. – 354 p.
40. Deeth H. C., Lewis M. J. *High Temperature Processing of Milk and Milk Products*. – Oxford : [Wiley](#), 2017. – 592 p.
41. Chandrapala J., Zisu B., Kentish S., Ashokkumar M. Applications of ultrasound in the dairy industry: a review // *Ultrasonics Sonochemistry*. – 2012. – Vol. 19, № 5. – P. 975–983.
42. Ashokkumar M. Applications of ultrasound in food and bioprocessing // *Ultrasonics Sonochemistry*. – 2015. – Vol. 25. – P. 17–23.
43. Mason T. J., Paniwnyk L., Lorimer J. P. The uses of ultrasound in food technology // *Ultrasonics Sonochemistry*. – 1996. – Vol. 3, № 3. – P. 253–260.
44. Kentish S., Feng H. Applications of power ultrasound in food processing // *Annual Review of Food Science and Technology*. – 2014. – Vol. 5. – P. 263–284.
45. [Tetra Pak Processing Systems](#). Технології пастеризації та ультрапастеризації молока.
46. [GEA Group](#). Обладнання для теплової та ультразвукової обробки молока.
47. [SPX FLOW](#). Системи пастеризації молока та молочних продуктів.
48. ДСТУ 3662:2018. Молоко-сировина коров'яче. Технічні умови. – Київ : ДП УкрНДНЦ, 2019. – 16 с.

49. ДСТУ EN 1672-2:2014. Машини харчової промисловості. Загальні вимоги безпечності та гігієни. – Київ : ДП УкрНДНЦ, 2015. – 42 с.
50. ДСТУ ISO 5708:2007. Устаткування доїльне. Вимоги та випробування. – Київ : ДП УкрНДНЦ, 2008. – 58 с.
51. McClements D. J. Advances in the application of ultrasound in food analysis and processing // *Trends in Food Science & Technology*. – 1995. – Vol. 6. – P. 293–299.
52. Chemat F., Zill-e-Huma, Khan M. K. Applications of ultrasound in food technology: processing, preservation and extraction // *Ultrasonics Sonochemistry*. – 2011. – Vol. 18, № 4. – P. 813–835.
53. Погорілий Л. В., Татьянко Л. Г. Машини та обладнання для тваринництва : підручник. – Київ : Аграрна освіта, 2015. – 590 с.
54. Технологічне обладнання молочних підприємств / за ред. О. Г. Шевченка. – Київ : Вища освіта, 2017. – 612 с.
55. [Alfa Laval](#). Пластинчасті теплообмінники та системи пастеризації молока.