

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет**

Кафедра інжинірингу технічних систем

Пояснювальна записка  
до дипломної роботи  
рівня вищої освіти «Магістр» на тему:

**Обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів  
пастеризатора молока**

**Виконав:** студент 2 курсу, групи МгАІз-1-23  
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

\_\_\_\_\_ Ярмак Владислава Володимирівна

**Керівник:** \_\_\_\_\_ Дудін Володимир Юрійович

**Рецензент:** \_\_\_\_\_ Потеруха Борис Тарасович

Дніпро 2024

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ  
АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем  
Рівень вищої освіти: «Магістр»  
Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Завідувач кафедри  
ІТС

(назва кафедри)

ДОЦЕНТ

(вчене звання)

Дудін В.Ю.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«11» листопада 2024 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Ярмак Владислав Володимирівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

**1. Тема роботи:** Обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів пастеризатора молока.

керівник роботи: к.т.н., доцент Дудін Володимир Юрійович.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від  
«11» листопада 2024 року № 3769

**2. Строк подання студентом роботи** 16.12.2024 р.

**3. Вихідні дані до роботи** Аналіз стану питання процесів та обладнання пастеризації молока. Пошук, аналіз літературних джерел, останніх досліджень з обраної тематики.

**4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)** 1. Аналіз стану питання пастеризації молока. 2. Теоретичні дослідження процесу пастеризації молока. 3. Дослідження нового методу пастеризації ІЧ-пастеризатором. 4. Охорона праці. 5. Економічна оцінка ІЧ-пастеризатора молока. Загальні висновки. Бібліографічний список.

**5. Перелік демонстраційного матеріалу**

1. Мета і задачі досліджень. Аналіз (2 аркуші, А4). 2. Теоретичні дослідження (5 аркуші, А4). 3. Експериментальні дослідження (15 аркушів, А4) 4. Охорона

праці (3 аркуш, А4). 5. Економічні показники (2 аркуш, А4). 6. Висновки (1 аркуш, А4)

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-5	Трипутень М.М., доцент		
Нормоконтроль	Івлєв В.В., доцент		

7. Дата видачі завдання: 26.09.2024 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 01.10.2024 р.	
2	Теоретичний	до 20.10.2024 р.	
3	Експериментальний	до 09.11.2024р.	
4	Охорона праці	до 19.11.2024 р.	
5	Економічний	до 26.11.2024 р.	
6	Демонстраційна частина	до 30.11.2024р.	

Студент

\_\_\_\_\_ Ярмак В.В.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ Дудін В.Ю.



## АНОТАЦІЯ

Ярмак В.В. Обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів пастеризатора молока /Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» (спеціалізація «Механізація тваринництва»). – ДДАЕУ, Дніпро, 2024.

Вступна частина дипломної роботи містить обґрунтування актуальності теми, а також чітко сформульовані мету та завдання дослідження. У процесі аналізу сучасного стану питання виявлено, що одним із найбільш перспективних видів пастеризації молока являється ІЧ-пастеризація.

У другому розділі розглянуто експериментальний зразок ІЧ-пастеризатора.

Також розглянуті найбільш вдалі рішення для конструкції ІЧ-пастеризатора.

Також виконано економічне обґрунтування дослідження, яке демонструє доцільність впровадження нової технології. У заключній частині роботи сформульовано висновки, що узагальнюють основні результати дослідження, а також наведено список використаної літератури.

Ключові слова: пастеризатор, ІЧ-пастеризація,молоко,пастеризаційна установка.

## ЗМІСТ

Вступ	8
1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПАСТЕРЕЗАЦІЇ	10
1.1 Загальні відомості	10
1.2 Перспективи розвитку пастеризаторів	12
1.2 Висновки	28
2 РОЗРОБКА ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНОГО ПАСТЕРИЗАТОРА	29
2.1 Розробка конструктивної схеми	29
2.2 Дослідження оптичних характеристик матеріалів	31
2.3 Висновки	35
3 ОБГРУНТУВАННЯ НОВОГУ МЕТОДУ ПАСТЕРИЗАЦІЇ МОЛОКА ЗА ДОПОМОГОЮ ІНФРАЧЕРВОНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ	36
3.1 Температурні режими пастеризації	36
3.2 Визначення продуктивності процесу	42
3.3 Обґрунтування конструкційних параметрів пастеризатора	45
3.4 Висновки	55
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	56
4.1 Загальні вимоги	56

4.2 Види інструктажів	57
4.3 Заходи захисту при роботі з пастеризаційною установкою	57
4.4 Правила безпеки праці при пастеризації молока	58
4.5 Висновки	59
5 ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПАСТЕРИЗАТОРА	60
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	63
БІБЛІОГРАФІЯ	64
ДОДАТКИ	68

## ВСТУП

В більшості країн світу молочна промисловість є однією з ключових галузей агропромислового комплексу. Важливим етапом для зберігання та безпечного використання молочної продукції, а саме молока, є пастеризація. Вона спрямована на знищення патогенних мікроорганізмів та забезпечення тривалого терміну зберігання.

Однією з основних умов підвищення якості та безпечності молока є використання сучасних технологій і вдосконалення обладнання для його теплової обробки. Традиційні конструкції пастеризаторів не завжди забезпечують оптимальні умови обробки, що призводить до втрати поживних речовин, підвищення енергоспоживання або нерівного нагріву. Тому актуальним завданням є розробка і обґрунтування конструкційно-технологічних параметрів пастеризаторів, які враховують вимоги енергоефективності, продуктивності та якості обробки молока.

Дослідження актуальності теми в Україні.

За останні роки виробництво молока в Україні демонструє тенденцію до зниження. У 2023 році загальний обсяг виробництва молока склав близько 5,9 млн. тон, що значно менше порівняно з попередніми періодами наприклад за 2021 рік було виготовлено 8,72 млн. тон . Основними причинами є скорочення поголів'я корів . Недостатнє фінансування і воєнні дії які ускладнили виробництво в деяких областях.

Сучасні пастеризаційно-охолоджувальні установки типу ВДП, ОПФ, ОПД, ОПУ, які використовують високотемпературні теплоносії, такі як пара та гаряча вода, мають високу продуктивність, але характеризуються значними енерговитратами (50...70 кВт·год/т), великою металоємністю та потребою в нагрітих теплоносіях. Це обмежує можливість їх використання у фермерських господарствах України. Крім того, ці установки негативно впливають на харчові та смакові якості молока, що знижує його придатність для переробки у вторинні продукти, такі як масло чи сир. Необхідно підвищити ефективність пастеризації



молока , шляхом удосконалення конструкції обладнання та впровадження енергозберігаючих режимів роботи.

Також однією з причин являється низька якість молочної сировини що пов'язано із застарілим обладнанням для первинної обробки та недотримання санітарно-гігієнічних норм.

Хоча Україна має потужності для переробки молока і виробництва молочної продукції що також знижується. Це зумовлено недостатньою якістю сировини та значними витратами на логістику.

Без належної первинної обробки ( охолодження, очищення, пастеризації) молоко швидко псується що призводить до економічних втрат. У теперішніх умовах лише близько 30% молока проходить сучасну первинну обробку.

Для виходу на міжнародні ринки та посилення експорту української молочної продукції необхідно відповідати стандартам ЄС . В умовах зростання конкуренції на світовому ринку молочних продуктів забезпечення високої якості молока є ключовим фактором. Покращення первинної обробки дозволить збільшити частку високоякісного молока для виробництва продукції преміум-сегменту що стимулює розвиток внутрішнього споживання та зростання доходів фермерів.

Тож покращення первинної обробки молока в Україні є критично важливим для відновлення та розвитку молочної галузі. Це сприятиме підвищенню якості продукції, підвищенню експорту, економічної стабільності фермерів та впровадженню сучасних стандартів виробництва. У сучасних умовах коли обсяги та якість виробництва молока залишаються викликом, модернізація первинної обробки стає основою для сталого розвитку молочного сектору.

# 1 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПАСТЕРЕЗАЦІЇ

## 1.1 Загальні відомості

Пастеризація - процес термічної обробки молока що полягає в одночасному нагріві молока до 60 градусів (або вище) на 30 хвилин (або менше). При такій обробці виживають спори бактерій тобто це не повна стерилізація молока.

Основна мета такої обробки полягає в знищенні хвороботворних мікробів та знищенні мікроорганізмів які призводять до псування молока. Також надмірна теплова обробка може привести до руйнування корисних речовин таких як вітаміни (особливо с,в1) і погіршенню смаку чи кольору. Ці закономірності важливі для оптимізації процесу пастеризації, залежно від обладнання та умов зберігання. Збудники туберкульозу становлять особливу небезпеку, оскільки молоко від великої рогатої худоби є сприятливим середовищем для їх збереження і переносу. Ці мікроорганізми можуть потрапляти в молоко не лише у випадку ураження вимені, але й через струм крові від інших уражених органів та тканин. Стійкість мікобактерій туберкульозу до зовнішніх фізико-хімічних факторів зумовлена особливостями їхньої будови. Багатошарова клітинна стінка товщиною 250 нм забезпечує стабільність форми, механічний і осмотичний захист. Під стінкою розташована тришарова цитоплазматична мембрана, де відбуваються процеси, що забезпечують специфічну реакцію на зовнішні впливи. У цитоплазмі містяться рибосоми, гранули, ліпідні включення, а також антигенні комплекси, які визначають високу імуногенність бактерій. Високий вміст ліпідів у цитоплазмі та клітинній стінці, що досягає 40% сухої ваги, обумовлює вірулентність мікобактерій. Імунохімічні властивості цих бактерій залежать також від полісахаридних компонентів. У молоці від заражених корів може міститися до  $5 \times 10^6$  мікобактерій туберкульозу в 1 мл. Одна хвора корова може виділити достатню кількість бактерій для інфікування молока від 100 корів. Молодняк найчастіше заражається через молоко або відвійки від хворих тварин. У молоці мікобактерії можуть зберігати життєздатність до 100 днів, а у відвійках

– до 160 днів, залежно від температури середовища. Для запобігання поширенню збудників туберкульозу молоко від корів, які реагують на туберкулін, обов'язково піддається знезараженню або переробці на маслосирець.

Різновидом пастеризації є тиндалізація (“дробова” пастеризація), під час якої продукт після первинної пастеризації, охолодження і витримки за кімнатної температури, при якій починають проростати збережені спори, піддається вторинній пастеризації; можлива також 3-х чи 4-х- кратна пастеризація. Обробка відбувається в текучій парі за 100оС або шляхом 3-4 кратного нагрівання до 100...120оС з проміжками в 24 г. За цей час спори бактерій, що вижили при температурі 100оС, проростають, і вегетативні клітки бактерій, що вийшли з них, гинуть за умов повторного нагрівання. Тиндалізація звичайно застосовується при так званому “гарячому” консервуванні продуктів у спеціальних апаратах, що мають пристрої для регулювання температурного режиму

Пластинчаті : теплообмін відбувається через пластини з нержавіючої сталі, між якими рухаються гаряча вода (пар) та молоко. Особливості такого пастеризатора це висока ефективність теплопередачі, компактні розміри, легкість очищення.

Трубчасті: теплообмін здійснюється в системі концентричних труб, де молоко рухається внутрішньою трубкою а вода(пар) зовнішньою. Здебільшого підходять для рідин із високою в'язкістю. Та є більш універсальними що дає змогу пастеризувати молоко, вершки, йогурти.

Ванни пастеризації: молоко нагрівається у великих резервуарах оснащених сорочками для подачі гарячої води(пару). Але мають такі недоліки як тривалий час пастеризації, низька енергоефективність.

Проточні пастеризатори: молоко нагрівається під час протікання його через нагрівальні елементи. Їх характеризую висока швидкість обробки, мінімальні втрати якості молока, енергоефективність.

Ультра пастеризатори (УНТ-системи). Прицип роботи яких полягає в нагріванні молока до дуже високих температур (130-150) градусів протягом 2-4 секунд. Здебільшого використовується для тривалого зберігання молока. Але під час

такої обробки знищуються всі мікроорганізми включаючи спори. Що призводить до зміни смаку молока.

## **1.2 Перспективи розвитку пастеризаторів**

Інфрачервоне нагрівання.

Використання інфрачервоних випромінювачів для швидкого та рівномірного нагрівання молока.

Мікрохвильова пастеризація.

Нагрівання молока за допомогою мікрохвиль. Що дасть високу швидкість пастеризації та менший вплив на структуру та смак молока.

Електроімпульсна пастеризація.

Використання коротких високовольтних електричних імпульсів для знищення мікроорганізмів. Що дасть змогу зберегти вітамінний склад молока.

Також можливо збільшити енергоефективність за рахунок, впровадження рециркуляційних систем. Використання відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні панелі, біогазові установки то.що. Модернізація теплообмінників, з використанням матеріалів підвищеної теплопровідності.

Автоматизація та цифровізація, впровадження систем контролю на подібі датчиків тиску, швидкості потоку. Встановлення моніторингових і управлінських сервісів, прив'язаних до персональних комп'ютерів чи моделей з управлінням штучним інтелектом. Для аналізу даних чи оптимізації режимів пастеризації.

Створення універсальних та модульних пастеризаторів. Що дасть змогу легко адаптуватись до різних розмірів виробництва або типів молочної продукції. Також це дасть змогу більш персонально підбирати обладнання для малих виробників чи кастомізувати для специфічних потреб (особливих типів молока, спеціалізованої молочної продукції).

Інтеграція із «зеленими» стандартами; відповідність міжнародним стандартам енергоефективності та екологічної безпеки. Розробка сертифікованих моделей для органічного та екологічного виробництва.

Але всі існуючі види пастеризаторів створені на негативному впливу зовнішніх факторів на життєдіяльність патогенних мікроорганізмів. Найбільш поширені пастеризатори використовують вплив високих температур протягом визначеного часу. Але дані різняться та розходяться. Так нагрівання молока до 60 градусів протягом 30 хвилин призводить до загибелі мікроорганізмів. При 70ти градусах протягом 20 хвили, при 80ти протягом 5 хвилин. У літературі були спроби узагальнення таких даних в вигляді графіків залежності часу пастеризації від температур зображеного на рисунку 1.1

Криві представлені на рисунку 1.1 можуть бути описані емпіричною залежності тривалості процесу  $\tau$  від температури  $t$  виду:

$$\ln \tau = \alpha - \beta t \quad (1.1)$$

де  $\alpha$  і  $\beta$  – чисельні коефіцієнти, що підлягають експериментальному визначенню.

З відомими значеннями  $\alpha$  і  $\beta$  з формули (1.1) визначається теоретична

Тривалість пастеризації. Тоді умова досягнення заданого ефекту пастеризації має вид:

$$\theta = \tau, \quad (1.2)$$

де  $\tau$  – дійсний час впливу на продукт.

За умов  $\theta > \tau$  можуть виникнути небажані зміни властивостей продукту, за умов  $\theta < \tau$  ефект пастеризації не буде досягнутий.

Відношення;

$$Pa = \frac{\theta}{\tau} \quad (1.3)$$

Для оцінки ефективності процесу пастеризації використовується так званий коефіцієнт швидкості загибелі мікроорганізмів  $C$ :

$$C = \frac{\ln N_0}{\theta N_K} \quad (1.4)$$

Де  $N_0$  – початковий вміст бактерій в одиниці об'єму продукту,  $m^{-3}$ ;

$N_K$  – кінцевий вміст бактерій після пастеризації,  $m^{-3}$ .

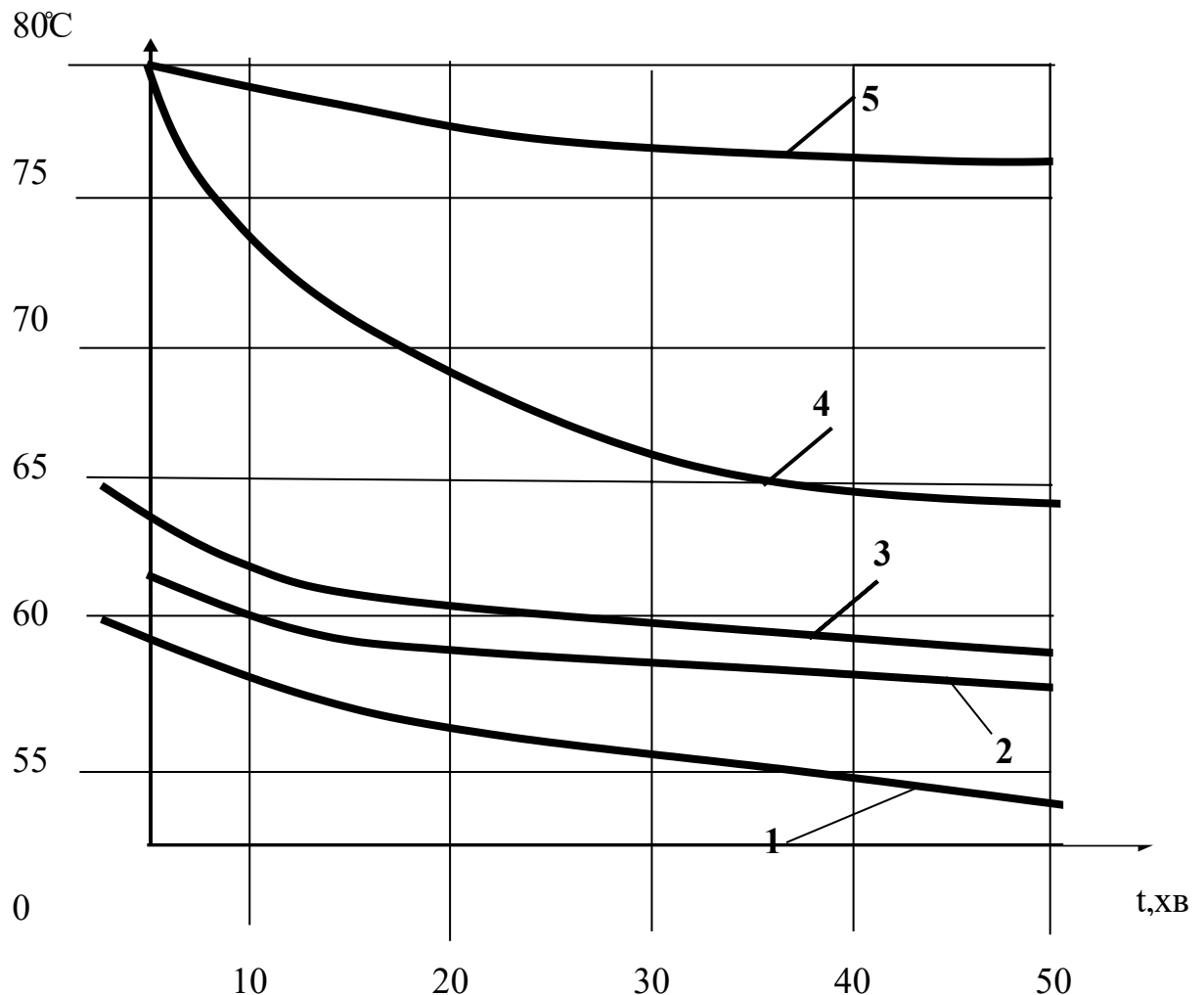


Рисунок 1.1 – Графік режимів пастеризації: 1 – крива загибелі дифтеритної палички; 2 – загибель тифозної палички; 3 – загибель туберкульозної палички; 4 – руйнування ферментів; 5 – зміна фізико - хімічних якостей продуктів.

Необхідність введення цього критерію обумовлена тим, що в реальних умовах продукт містить мільйони бактерій, що не можуть загинути одночасно; крім того, у продукті можуть міститися компоненти чи включення пастеризації, що утруднюють процес. Зокрема, найбільших труднощів представляє пастеризація рідких продуктів, що мають тенденцію до утворення піни (наприклад, пива), оскільки піна є гарним тепло ізолятором та перешкоджає

прогрів мікроорганізмів. У цих випадках застосовуються спеціально розроблені режими пастеризації чи процес стерилізації продукту.

Таким чином, механізм й основні закономірності процесу пастеризації в даний час можна вважати встановленими.

Найбільш розповсюдженим методом пастеризації в сучасній технологічній практиці є нагрівання об'єкта пастеризації в теплообмінниках різних типів проміжним теплоносієм – гарячою водою чи паром. Нагрівання об'єкта пастеризації здійснюється за рахунок теплопередачі від теплоносія до об'єкта через поділяючу їх стінку. Коефіцієнт теплопередачі  $K_1$  для циліндричної стінки (труби) виражається за формулою:

$$K_1 = \left( \frac{1}{d_1 a_1} + \frac{\ln d_2}{2\lambda d_1} + \frac{1}{d_2 a_2} \right)^{-1} \quad (1.5)$$

Де  $a_1$  - коефіцієнт тепловіддачі від теплоносія до стінки труби, Вт/м<sup>2</sup> К

$a_2$  – коефіцієнт тепловіддачі від стінки до об'єкта, що нагрівається, Вт/м<sup>2</sup> К

$\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності матеріалу стінки, Вт/м К

$d_1, d_2$  – внутрішній і зовнішній діаметр труби, відповідно, м.

Коефіцієнти тепловіддачі  $a_1$  і  $a_2$  обчислюються за допомогою критеріальних рівнянь, форма яких залежить від режиму теплоносія та характеристик об'єкта нагрівання. Зокрема, для турбулентного режиму течії коефіцієнт тепловіддачі  $a$  визначається за формулою М.А. Міхеєва:

$$\overline{Nu} = 0.021 Re^{0.8} Pr^{0.43} \left( \frac{Pr}{Pr_e} \right)^{0.25} \quad (1.6)$$

$$\overline{Nu} = \frac{\bar{a}}{\lambda} * Re = \frac{vl}{\gamma} \ell, Pr = \frac{\gamma}{a} \quad (1.7)$$

Де  $\bar{\alpha}$  середнє значення коефіцієнта тепловіддачі уздовж поверхні нагрівання, Вт / м<sup>2</sup> К;

$l$ – характерний розмір потоку рідини (теплоносія чи об'єкта),м;

$\nu$ – швидкість руху рідини,м/с;

$\lambda, \gamma, \alpha$ – коефіцієнт теплопровідності рідини Вт/мК , кінематичний коефіцієнт в'язкості м<sup>2</sup>/с

Значення  $\lambda, \gamma, P_r$  беруться за температури рідини  $P_r$  – температури стінки.

З приведених формул видно, що коефіцієнт теплопередачі залежить від багатьох факторів, причому одним з основних є швидкість руху рідини ( $\nu$ ), що, з одного боку, визначає режим течії (ламінарний чи турбулентний) у відповідності зі значенням  $Re$ , з іншого боку, визначає масову витрату, тобто продуктивність пастеризаційної установки, відповідно до формули:

$$G = \rho \nu s, \quad (1.8)$$

Де  $\rho$ – густина рідини

$s$ – площа поперечного перерізу потоку,м<sup>2</sup>.

Величина  $G$ , у свою чергу, визначає необхідну теплову потужність, що передається в апараті пастеризації:

$$Q = cG(t_{\text{вих}} - t_{\text{вх}}) \quad (1.9)$$

де  $c$ – питома теплоємність рідини, Дж/кгК;

$t_{\text{вих}}, t_{\text{вх}}$ – температури рідини на виході та вході апарата, відповідно, °С.

Для підвищення ефективності пастеризатора потрібно збільшити коефіцієнт теплопередачі та площі теплообміну між носієм та об'ємом пастеризаційної камери.

Для досягнення таких параметрів можливо використовувати теплообмінники складних форм таких як рифлені поверхні, штучна турбулізація потоку рідини і.т.д. Але це призведе до подорожчання конструкції та складності обслуговування.



Але в сучасних умовах актуальною стала розробка нетрадиційних видів пастеризаторів що спрощує конструкції та зменшує енерговитрати на процес.

Найбільш перспективною являються електро пастеризація, в якій використовується перетворення електрон енергії в теплову. При цьому можливий нагрів молока від пропускання струму через нього, та непрямий через нагрів через інфрачервоне випромінювання (ІЧ). Цей метод характеризується високим к.к.д. та порівняно простою конструкцією. Саме тому його було вибрано для розгляду в цій роботі.

Розглянемо наступні типи найбільш поширених пастеризаторів. Пластинчасті (рис 1.2), трубчаті (рис 1.3) та відцентрові (рис1.4), в яких відбувається швидке нагрівання молока до 100 градусів що протікає між теплообмінними поверхнями. Якщо пастеризується вже розфасоване молоко то можливо використовувати СВЧ піч для нагрівання замість парового.



Рисунок 1.2 - Пластинчастий пастеризатор.

Схема пластинчатого пастеризатора зображеного на рис 1.2 в якому монтаж теплообмінника здійснюється на рамі що фіксується між верхніми та

нижніми брусами яку з'єднують стійку з нерухомою плитою. Рухома плита переміщується по направляючих стяжних шпильках. Між рухомою та нерухомою плитами знаходиться пакет сталевих гофрованих пластин з каналами для проходження теплоносія й об'єкта пастеризації. Ущільнення пластин здійснюється заглибленими прокладками.

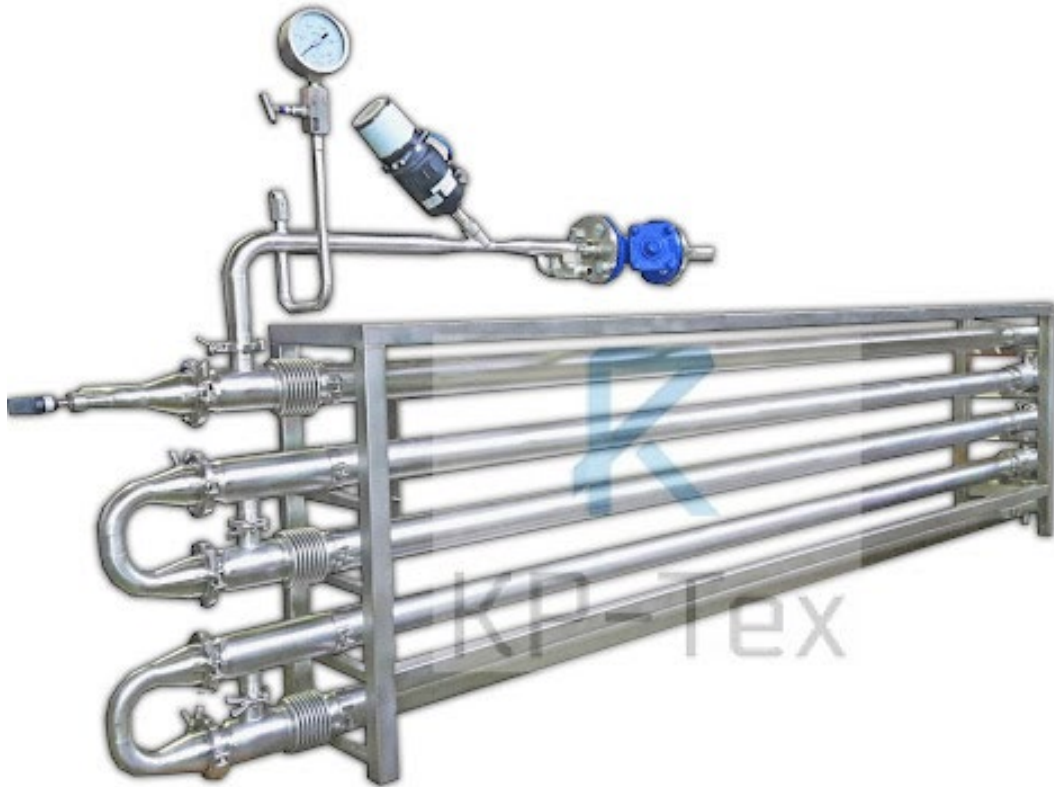


Рисунок 1.3 - Трубчастий пастеризатор

У трубчастому пастеризаційному апараті (рис. 1.3) продукт рухається по колектору труб, а теплоносій (вода, пара) надходить у між трубний простір; такі апарати зазвичай застосовуються для високотемпературної (короткочасної) пастеризації. В основі пастеризаційних установок ПТУ-5М и ПТУ-100 вітчизняного виробництва знаходиться трубчастий теплообмінний апарат, що складається з двох з'єднаних планкою циліндрів, усередині яких розміщені трубки для проходження пари чи гарячої води; молоко заповнює між трубний простір та нагрівається за рахунок теплопередачі від нагрітих трубок.

Розрахованими на високі робочі тиски. Теплообмін між рідинами здійснюється за схемою протитоку, при цьому кожна рідина рухається уздовж однієї сторони пластини. У сучасних пластинчатих теплообмінних установках універсального призначення здійснюється ряд процесів: пастеризація, витримання, регенерація теплоти й охолодження продукту. Такі установки виконуються багато секційними. Як приклад на рис. 1.3 представлена схема п'ятисекційної пастеризаційної установки. Продукт який обробляється поступає в камеру регенерації де підігрівається вже пастеризованим продуктом. Потім переходить в секцію пастеризації де нагрівається до температури пастеризації гарячою водою або паром, після чого переходить в секцію витримки де за температури пастеризації витримується до 30 хвилин. Після чого переходить до камери регенерації, охолодження водою потім крижаною водою чи розсолем до 1-2 градусів. Після чого продукт направляється на зберігання чи подальшу обробку. Такі установки можуть бути оснащені автоматикою у виді клапанів які можуть повертати молоко до камери пастеризації чи витримки якщо продукт не досяг температури пастеризації.

У харчовій промисловості інколи використовується механічний метод видалення мікроорганізмів із продуктів за допомогою відцентрової сили. Цей метод реалізується в бактофугах - відцентрових сепараторах, що працюють на високих швидкостях обертання. Ефективність методу залежить від різниці густини між мікроорганізмами та продуктом. Він демонструє високу результативність лише за значної різниці густини. Однак багато мікроорганізмів мають густину, близьку або навіть меншу, ніж у продукту, через що ефективно видалення не досягається. До того ж цей метод не придатний для пастеризації молока чи інших продуктів, які є емульсіями або суспензіями, оскільки під час обробки відбувається розділення компонентів продукту. Зважаючи на ці обмеження, застосування цього методу в сучасних умовах є доволі обмеженим.



Рисунок 1.4 - Відцентровий пастеризатор.

З великої кількості різновидів пастеризаторів, у яких для нагрівання продукту використовується пара, найбільше поширення в практиці одержали вертикальні пастеризатори з тривісною крильчастою мішалкою ВДП – 300 і ВДП – 600, а також ВДП – 100 з горизонтально розташованою ванною.

Відмінною рисою цих апаратів є нерівномірне температурне поле в оброблюваному продукті і, відповідно, низька ефективність процесу пастеризації. Існують парові пастеризатори з барабанами, в яких здійснюється передача теплоти від теплоносія через стінки резервуара; для апарата ОПМ – 0,6 має місце одnobічний обігрів, для апаратів ОПД – 1і ОПД – 1М – двосторонній обігрів. Вертикальний пастеризатор конструкції Ахмедзенова містить усередині ротор, виконаний у виді усіченого конуса. Нагрівання корпуса і ротора до температури пастеризації здійснюється тенами.

Для згаданих вище пастеризаторів характерні наступні загальні недоліки:

- через використання гарячої води чи пари як теплоносія необхідна наявність відповідного устаткування (парових котлів, теплогенераторів і т.п.);
- поверхневий характер нагрівання продукту механізмом теплопередачі
- обумовлює великі енерговитрати 60і70кВт.год/т на підтримку необхідного
- температурного режиму обробки і нерівномірність температурного поля в продукті;
- для виходу установки на робочий режим потрібно значний час на прогрів всієї установки гарячим теплоносієм;
- парові пастеризаційні установки займають великі виробничі площі і потребують вживанню заходів по забезпеченню техніки безпеки.

В умовах, характерних для фермерських господарств, ці недоліки є серйозною перешкодою для широкого практичного використання описаних установок.

Але при їх роботі є місце пригару молока в місцях з малим кроком завивки спіралі що з'являються під час тривалої експлуатації пастеризаторів що зумовлює необхідність планових обслуговувань з часом. Та є ще один значний недолік такої конструкції такий як великі теплові втрати в наслідок розсіювання його в навколишнє середовище. З цим явище борються встановленням теплових екранів що призводить до з дорожчання конструкції.

Але при їх роботі є місце пригару молока в місцях з малим кроком завивки спіралі що з'являються під час тривалої експлуатації пастеризаторів що зумовлює необхідність планових обслуговувань з часом. Та є ще один значний недолік такої конструкції такий як великі теплові втрати в наслідок розсіювання його в навколишнє середовище. З цим явище борються встановленням теплових екранів що призводить до з дорожчання конструкції.

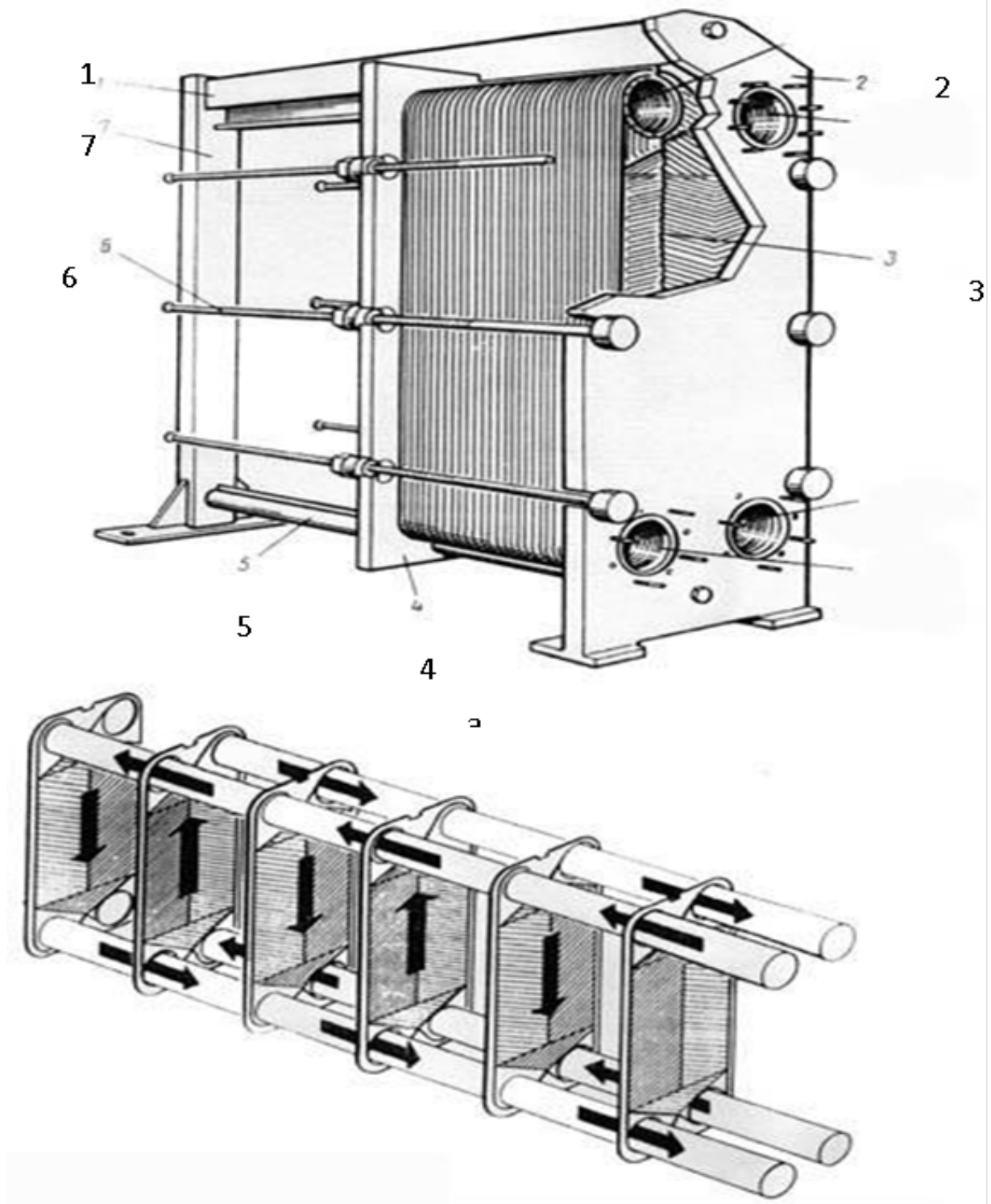


Рисунок 1.5 Пластинчатий теплообмінник.

1 - верхній несучий брус; 2 - нерухома плита; 3 - пластина; 4 - рухома плита;  
5 - нижній несучий брус; 6 - направляюча стяжна шпилька; 7 – стійка.

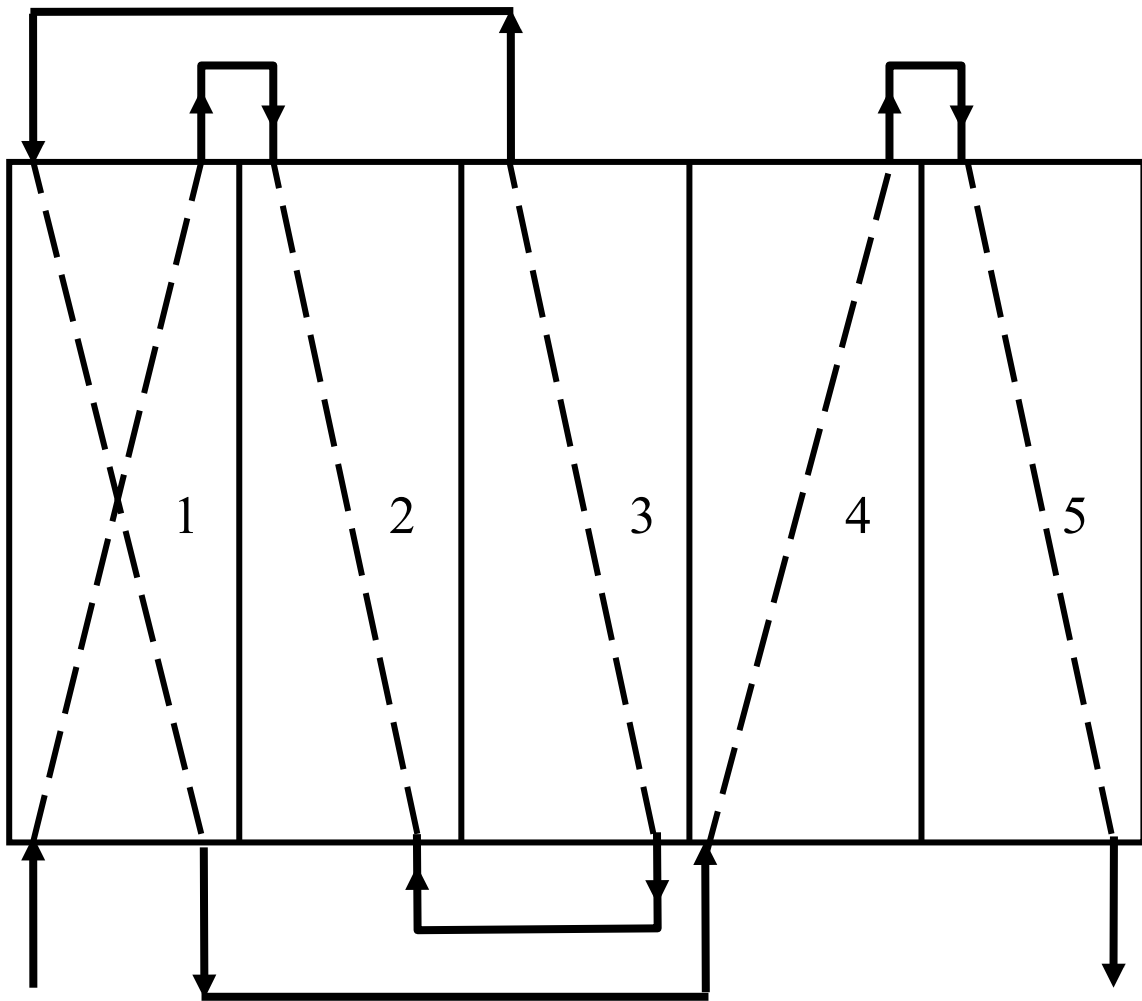


Рисунок 1.6 - Схема універсальної пастеризаційної установки.

1 – секція регенерації; 2 – секція пастеризації; 3 – секція витримування; 4 – секція охолодження водою; 5 – секція охолодження крижаною водою.

Усі ці недоліки обумовлені прийнятою геометрією під час збереження принципово не усувні. Для пастеризаційної ПЧ-установки, позбавленої зазначених недоліків, було радикально змінити геометрію ПЧ- нагріву шляхом введення ізольованих ПЧ-випромінювачів безпосередньо в потік продукту, який пастеризується. Який ми ї розглянемо на принциповій схемі в рисунку 1.4.

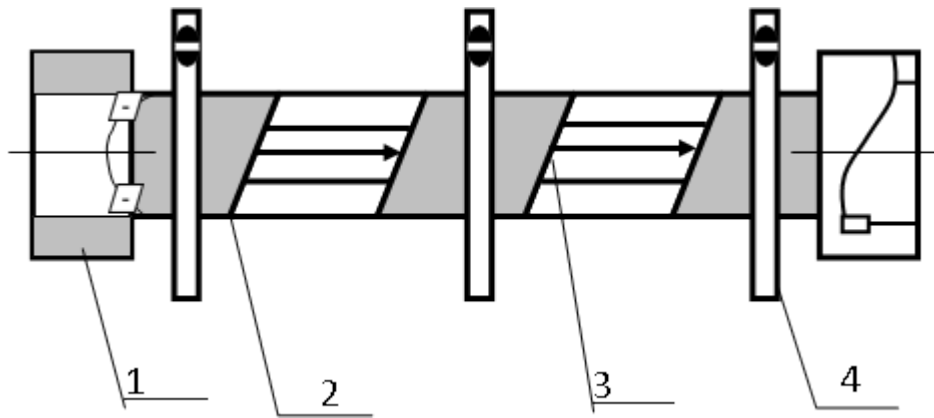


Рисунок 1.7 - Елемент секції ПЧ-нагрівача:

1 – наконечник трубки; 2 – Кварцева трубка; 3 – джерело ПЧ-електронагрівача; 4 – хомути для кріплення спіралі та підводу напруги.

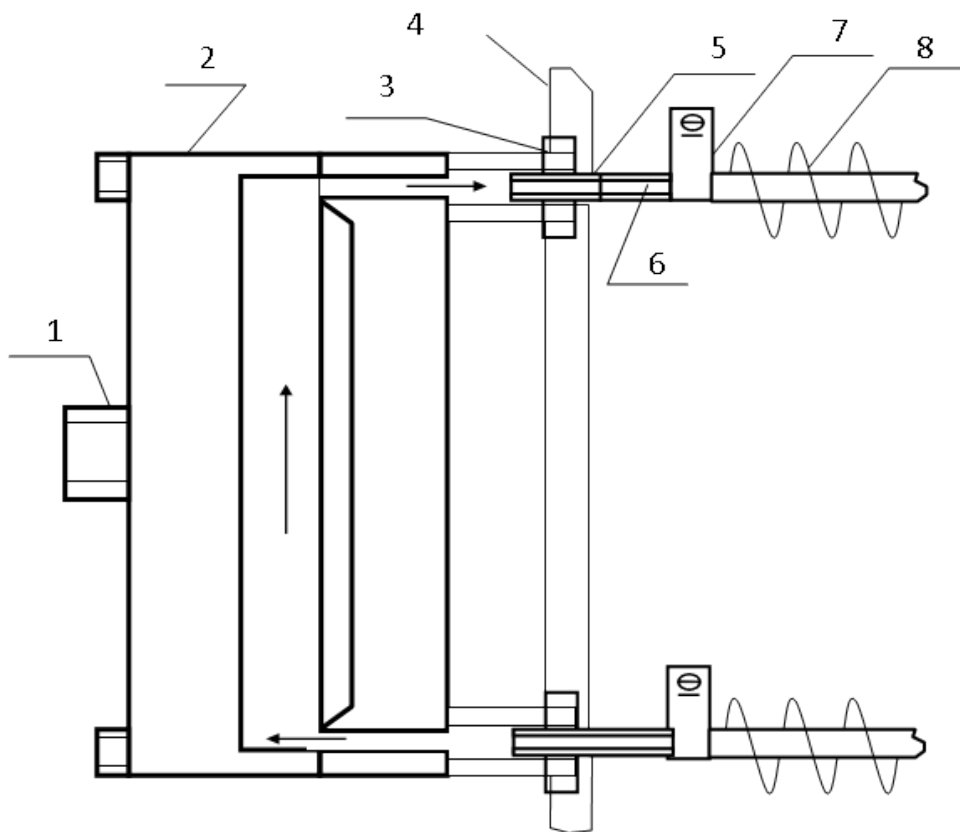


Рисунок 1.5 - Схема з'єднання кварцевих трубок калачами в торцевій стінці камери ПЧ-електронагріву: 1 – стяжний гвинт; 2 – калач; 3 – гумова прокладка; 4 – торцева стінка камери; 5 – наконечник кварцової трубки; 6 – кварцева трубка; 7 – хомут для кріплення спіралі; 8 – спіраль.





Рисунок 1.8 - Можливий принциповий вигляд ІЧ-пастеризатора.

Як згадувалося вище, у наш час перспективним напрямком удосконалення технологічного процесу пастеризації молока в умовах фермерських господарств України варто вважати електро пастеризаторів з високим к.к.д. перетворення електричної енергії в теплову що дозволяє знизити можливі втрати в електро енергії до 20-40 кВт/годт. Розглянемо два варіанти методу електро пастеризації – прямий і непрямий. При першому методі продукт нагрівається безпосередньо струмом, що проходить через нього, промислової чи підвищеної частоти, при другому продукт одержує тепло від нагрівача за допомогою ІЧ-випромінення. Розглянемо особливості цих варіантів більш детально.

Перший варіант – прямий нагрів продукту струмом – має очевидну перевагу перед всіма іншими методами пастеризації – можливістю забезпечення практично рівномірного температурного поля в усьому об’єму продукту, оскільки струм проходить через весь перетин продукту. Подібний метод – електроконтактний нагрів – вже порівняно давно вважається перспективним для харчової технології, зокрема, для теплової обробки

м'ясопродуктів [2, 6]. Однак практична реалізація даного методу сполучена з деякими труднощами. Основні труднощі полягають у неминучому порушенні контакту між електродами та продуктом внаслідок ряду електрохімічних процесів, що протікають на електродах, зокрема, відкладення молочного каменю. Для запобігання цього ефекту пропонувалося піддавати електроди спеціальній обробці, наприклад, покривати їх платиновою черню. Іншими труднощами є значна зміна електропровідності харчових продуктів, зокрема молока, за умов підвищення температури, що обумовлює нестабільність потужності нагрівання.

Електро пастеризатори непрямого нагріву опором з трубчастими електро нагрівачами (тенами) забезпечують теплообмін конвекцією і теплопровідністю, що характерно для традиційних конвективних пароводяних пастеризаторів. Вони мають такі недоліки:

- Не рівномірний нагрів, що приводить до підвищення температури, збільшення часу пастеризації, і в свою чергу, негативно впливає на якість молока та приводить до збільшення тепло затрат та матеріалоемності;
- на поверхні тенів можливий пригар за рахунок перегріву та активного відкладенню «молочного каменю» .

Незважаючи на простоту конструкції та достатню високу електробезпеку вони не знайшли широкого використання в промисловості.

Вказані недоліки відсутні під час пастеризації електромагнітними хвилями ІЧ -спектру, з довжиною хвилі(0,76...10мкм). Висока інтенсивність нагріву(9...140000 ) високим енергетичним к.к.д.(0,8...0,92) на глибину проникнення ІЧ-променів, можливість вибіркової дії на патогенну мікрофлору молока, концентрація променевої енергії в середовище, є передумовами для розробки пастеризаторів молока інфрачервоним електронагрівом.

Наступною важливою проблемою ІЧ-пастеризаторів є раціональний вибір геометрії опромінення продукту. В згаданих вище апаратах–актинизаторах–ІЧ-випромінювання створювалось нагрівальним елементом –

спіраллю, навитою на трубку, усередині якої рухається оброблюваний продукт. Очевидно, така геометрія опромінення є не сприятливою, оскільки значна частка енергії ІЧ-випромінювання розсіюється при цьому в навколишнє середовище. Більш економічною геометрією система з розташуванням ІЧ-нагрівача в середині оброблюваного продукту. Однак при цьому конструкція апарата значно ускладнюється через необхідність ізоляції продукту від розпеченої (до 1000°C и вище) поверхні ІЧ-нагрівача. Крім того, канал для проходження продукту істотно звужується, що позначається на продуктивності апарата.

Під час теоретичного обґрунтування прогресивного ІЧ-пастеризатора, заснованого на викладеній вище ідеї, необхідно достовірне знання теплофізичних властивостей молока з різною температурою. В таблиці 1.1 зведені відомі з літератури [4,5] значення густини ( $\rho$ ), кінематичної ( $\nu$ ) і динамічної в'язкості ( $\mu$ ), питомої теплоємності ( $C_p$ ) і коефіцієнта теплопровідності ( $\lambda$ ) для незбираного молока з жирністю 3,5...4% при температурах від 20 до 60°C. Видно, що ці значення взагалі мало відрізняються від відповідних значень для води, приведених у літературі. Використовуючи дані табл.1.1, можна за необхідністю розрахувати ще коефіцієнт температуро провідності( $\alpha$ ) як  $\alpha = \frac{\lambda}{C_p \cdot \rho}$  І число Прайдтля  $Pr = \frac{\nu}{\alpha}$ . Тим самим створюється надійна опорна база для проведення розрахунків.

Таблиця 1.1 Теплофізичні властивості незбираного молока при різних температурах.

Температура,°С	Параметри	20	30	40	50	60
	$\rho, \text{кг/м}^3$	1049	1045	1041	1036	1031
	$\nu \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{с}$	1,74	1,30	1,02	0,84	0,70
	$\mu \cdot 10^3, \text{Па} \cdot \text{с}$	1,82	1,35	1,06	0,87	0,72

### 1.3 Висновки

На базі проведеного огляду та аналізу науково-технічної та патентної літератури виділені загальні недоліки існуючих установок для пастеризації молока, до яких відносяться: високі енерговитрати (50...70 кВт.годт велика металоємність установок, необхідність використання нагрітих теплоносіїв (гарячої води та пари), що обумовлює непридатність даних установок в фермерських господарствах України.

Установлено, що найбільш перспективними для застосування в зазначених господарствах є ІЧ-пастеризатори; однак існуючим моделям цих апаратів властиві загальні недоліки, в основному обумовлені несприятливою геометрією ІЧ- випромінювання продукту пастеризації.

## 2 РОЗРОБКА ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНОГО ПАСТЕРИЗАТОРА

### 2.1 Розробка конструктивної схеми

До розгляду було взято експериментальний зразок пастеризатора молока з використанням ІЧ- випромінювання. Молоко, що піддавалося пастеризації, надходило з сільськогосподарських підприємств Дніпропетровської області та відповідало вимогам ДСТУ 2661-94.

Визначення параметрів теплового режиму ІЧ- пастеризації в залежності від конструкції камери нагріву, характеру руху та товщини шару продукту пастеризації.

Встановлення раціональних значень продуктивності апарата і параметрів схеми живлення нагрівальної спіралі – джерела ІЧ- випромінювання.

Дослідження розподілу температури по перерізу нагрівальної камери з метою перевірки рівномірності температурного поля в об'єкті.

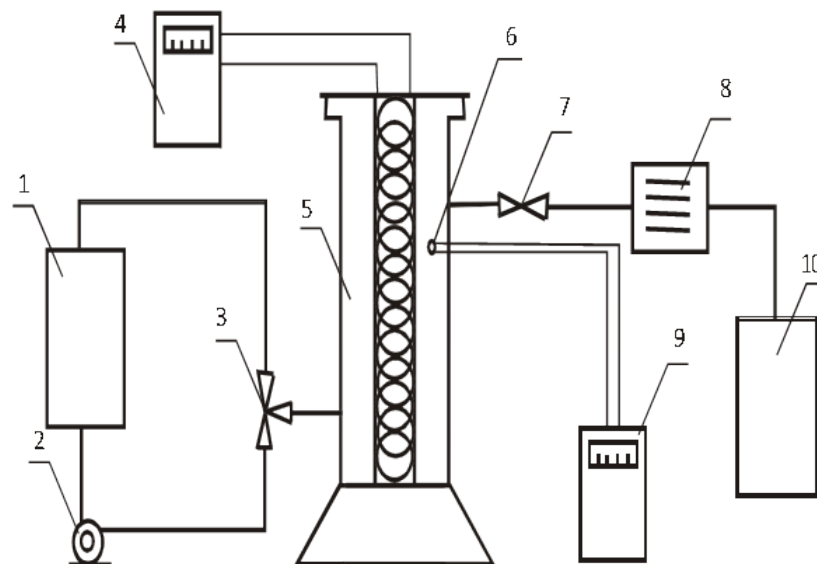


Рисунок 2.1 Установка ІЧ-пастеризації: 1 – накопичувальна ємність; 2 – молочний насос, для перекачки молока; 3 – трьохходовий вентиль; 4 – шафа керування; 5 – камера пастеризації; 6 – термопари; 7 – вентиль; 8 – мірна ємність; 9 – потенціометр.

Як було розглянуто раніше для одержання рівномірного прогріву оброблюваного продукту необхідна велика ступінь турбулентності з числом Рейнольдса більш 2300. Для підтвердження цього висновку швидкість руху оброблюваного продукту змінювалася з тією умовою, щоб зафіксувати розподіл температур по перетину камери нагріву, як турбулентним, так і ламінарним рухом оброблюваного продукту.

Регулювання швидкості здійснювалося за допомогою перепускного клапана, встановленого на виході насоса для молока (рисунок 2.1). Регулюючи подачу оброблюваного продукту за допомогою клапана, відбувалася зміна витрати продукту, як на вході, так і на виході його з камери ІЧ-пастеризації. Вимір швидкості руху продукту здійснювався за допомогою мірної ємності, змінюючи кількість продукту на виході з камери ІЧ-пастеризації, за визначений проміжок часу було можливим підрахувати швидкість руху оброблюваного продукту в самій камері.

Другим етапом досліджень було визначення впливу на картину розподілу теплового поля зміни товщини оброблюваного продукту.

Зміна товщини обробки продукту можливо в даних моделях за рахунок зменшення чи збільшення діаметра камери ІЧ-пастеризації.

У моделі за умов встановлення ІЧ-нагрівача в потікоброблюваного продукту зміна товщини обробки ІЧ випромінюванням можливо за рахунок зміни внутрішнього діаметра камери ІЧ-пастеризації. При цьому товщина оброблюваного продукту змінювалася у межах 3,5 мм, 5 мм, 7 мм.

Визначення оптичних характеристик молока проводились на спектрофотометрі "Spercord 75IR" ( Карл Цейс). Товщина поглинаючого шару 0,01 мм та 0,1 мм.

Умови запису:

- масштаб реєстрації – 7,5 мм/100 см<sup>-1</sup>;
- підсилювання – 3;
- постійна часу – 1 сек;
- час запису – 13,2 хв;

- температура молока  $-25^{\circ}\text{C}$ .

## 2.2 Дослідження оптичних характеристик матеріалів

Дослідження оптичних характеристик матеріалів для колби ІЧ-нагрівача, вибраного в результаті розгляду технічної та довідникової літератури, також проводили на даному спектрофотометрі, з умовою запису аналогічному попередньому досліді. Еталоном пропускання прийнята пропускна здатність сухого повітря. Тому під час визначення пропускної здатності матеріалів в одному каналі спектрофотометра поміщався піддослідний матеріал, а канал зрівняння залишався вільним.

Метою органолептичного контролю пастеризованого молока є визначення його якості та придатності для подальшого вживання та переробки у вторинні молочні продукти. Існує декілька методик проведення органолептичної експертизи. Ми проводили органолептичну оцінку якості пастеризованого молока за такою методикою.

Визначали чотири найбільш важливих параметри для оцінки якості пастеризованого молока ІЧ-випромінювання: загальний вигляд, колір, запах та смак. Оцінюючи якість пастеризованого молока, ми повинні керуватись тим, що колір молока повинен бути білого кольору без синюватих відтінків. Запах та смак повинні бути чистими, з ясно визначеними характеристиками свіжого молока. Молоко яке використовували для пастеризації повинно відповідати вимогам ДСТУ-3662-97, а пастеризоване молоко ІЧ-випромінювання повинно відповідати вимога ДСТУ-2661 - 94.

В молочній промисловості для визначення ефективності пастеризації використовують проби на пероксидазу та фосфотазу. Проба на пероксидазу з хлоридом парафендіаміна основана на розпаді пероксиду водню ферментом пероксидазу, який звільнює активний кисень окисляє парафендіамін і утворює з'єднання синього кольору [9].

За умов відсутності ферменту пероксидази в молоці та молочних продуктах колір змісту пробірки не змінюється. Тобто молоко та молочні продукти піддалися пастеризації при температурі не нижче 80°C. За наявності пероксидази в кисломолочних продуктах зміст пробірок зафарбовується в темно-синій колір. За наявності пероксидазів кисломолочних продуктах зміст пробірок зафарбовується в сіро-фіолетовий колір, поступово переходячи в темно-синій. Тобто, молоко і молочні продукти або не були пастеризовані, або пастеризувалися за температури нижче 80°C, або були змішані з не пастеризованими продуктами.

У процесі проведення досліджень отримана велика кількість експериментальних значень різних параметрів. Виходячи з поставлених задач дослідження, була проведена їх математична обробка з метою перевірки ступеня вірогідності отриманих даних, встановлення визначених зв'язків між ними, представлення результатів обробки в графічному виді і т. ін. Обробка проводилася за допомогою програмного продукту Mathcad фірми Mathsoft, що містить у собі широкий спектр процедур для рішення задач статистичного аналізу, інтерполяції, згладжування, регресивного та кореляційного аналізу, а також можливості графічного представлення результатів обробки в різних інтерпретаціях.

Математична обробка вироблялася в наступній послідовності:

- 1) попередній аналіз результатів експериментів;
- 2) кореляційний аналіз;
- 3) регресивний аналіз, підбір емпіричних формул.

Абсолютна похибка прямих вимірів визначалася за формулою:

$$\Delta\chi = \frac{t_{on}}{\sqrt{N-1}} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_1 - X)_i^2}{N}} = \frac{t_{on}}{\sqrt{N-1}} \cdot \sigma \quad (2.1)$$



де  $t_{on}$  – коефіцієнт Стьюдента

$N$  – кількість експериментальних точок

$\sigma$  – стандартне відхилення

$X$  – середнє арифметичне визначається виразом

$$\frac{X_1}{N} = \sum_{i=1}^N X \quad (2.2)$$

Для перевірки, що розсіювання експериментальних даних носить випадковий характер, визначалися коефіцієнти асиметрії  $g$  і ексцесу  $E$  за формулами:

$$\sigma = \frac{\sum_{i=1}^N (X_1 - X_i)^2}{\left[ \sum_{i=1}^N (X_1 - X_i)^{\frac{2}{3}} \right]} \cdot \sqrt{N} \quad (2.3)$$

$$E = \frac{\sum_{i=1}^N (X_1 - X_i)^3}{\left[ \sum_{i=1}^N (X_1 - X_i)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \cdot N - 3 \quad (2.4)$$

Розсіювання вважаємо випадковим, якщо воно значно перевищує величину  $\sigma_g$  та  $\sigma_E$  що визначаються з виразів:

$$\sigma_g = \sqrt{\frac{6 \cdot (N-1)}{(N+1) \cdot (N+3)}} \quad (2.5)$$

$$\sigma_E = \sqrt{\frac{24 \cdot N \cdot (N-2) \cdot (N-3)}{(N-1)^2 \cdot (N+3) \cdot (N+5)}} \quad (2.6)$$

Якщо  $g > 3 \cdot \sigma_g$  і  $E > 3 \cdot \sigma_E$ , то виконувались додаткові виміри тому що, виникали підозри, що розсіювання викликане систематичною помилкою.

Обробка даних виконувалася поліноміальним згладжуванням, – апроксимуючим поліномом ступеня  $n$ :

$$y_i = \sum_{n=0}^p a_n X_i^n = a_0 + a_1 X + a_2 X^2 + \dots + a_n X^n, \quad (2.7)$$

Оптимальний ступінь полінома визначався мінімумом співвідношення:

$$\sigma_{min}^2 = \frac{(\sum_{i=1}^N X - \sum_{n=0}^p X^n)^2}{N-p-1} \quad (2.8)$$

Це дозволяє визначити коефіцієнти апроксимуючого полінома, що робить можливим диференціювання або інтегрування отриманої функції:

$$\text{Dif}(X) = \frac{df(x)}{dx} \quad (2.9)$$

$$\text{Int}(X) = \int_0^x f(X) dX \quad (2.10)$$

Під час обробки результатів проводився кореляційний аналіз, що дозволяє виявити причинно-наслідкові зв'язки між параметрами. Ступінь кореляції визначався величиною коефіцієнта значимості  $H$ :

$$H = |r_{xy}| \sqrt{N-1} \quad (2.11)$$

Де  $r_{xy}$ - є коефіцієнтом кореляції;

$$r_{xy} = \text{corr}(x, y) \quad (2.12)$$

Якщо величина коефіцієнта значимості  $N > N_{кр}$  (практично  $N_{кр} = 3$ ) то ступінь зв'язку між  $x, y$  є досить високий.

### **2.3 Висновки**

Під час дослідження було отримано значну кількість експериментальних даних різних параметрів. Відповідно до поставлених цілей, ці дані були піддані математичній обробці з метою перевірки їхньої достовірності, встановлення взаємозв'язків між ними та представлення результатів у графічній формі. Для цього використовувалося програмне забезпечення яке надає широкий набір інструментів для вирішення завдань статистичного аналізу, інтерполяції, згладжування, регресійного та кореляційного аналізу, а також забезпечує можливість візуалізації результатів у різних форматах.

## 3 ОБГРУНТУВАННЯ НОВОГУ МЕТОДУ ПАСТЕРИЗАЦІЇ МОЛОКА ЗА ДОПОМОГОЮ ІНФРАЧЕРВОНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

### 3.1 Температурні режими пастеризації

Використання теплопередачі випромінюванням для пастеризації молока в ІЧ-області спектру, дозволяє одночасно нагрівати весь об'єм протікаючого молока і відповідно безпосередньо здійснювати теплову дію на молоко.

Температура джерела ІЧ- випромінювання, максимум випромінюючих властивостей ІЧ випромінювача, повинні відповідати оптичним характеристикам рідини, що пастеризується для того, щоб збільшити глибину проникнення та відповідно збільшити коефіцієнт теплопередачі випромінюванням. За умов невиконання цих вимог ефективність ІЧ пастеризації значно знижується.

Тому для здійснення ІЧ пастеризації необхідно узгодити оптичні характеристики молока та спектральні характеристики ІЧ випромінювача (температури нагріву джерела ІЧ випромінювання – ніхромової спіралі).

У запропонованій установці, на відміну від описаної, змінена геометрія ІЧ-опромінення продукту, відповідно до цього змінена і конструкція ІЧ-випромінювача. Розрахункові параметри цієї конструкції повинні забезпечувати температуру спіралі, якій відповідає необхідна довжина хвилі максимуму ІЧ-випромінювання.

Об'єкт пастеризації (молоко) протікає у середині труби 1 довжиною  $l$  з внутрішнім діаметром  $D$  з визначеною швидкістю  $u$ . У середині труби поміщений ІЧ-випромінювачу кварцовій оболонці 2 з зовнішнім діаметром  $d$  що представляє собою ніхромову спіраль 3 з числом витків  $N$  і діаметром  $d_c$ , зображеного на рис. 3.1 навиту на кварцову трубку з зовнішнім діаметром  $d_0$ . Нагрівач живиться від мережі змінного струму з напругою  $U=220$  В; потужність нагрівача розраховується таким чином, щоб максимум

інтенсивності ІЧ-випромінення від нагрітої до температури  $T$  спіралі приходився на довжину хвилі 1,5 мкм, що відповідно до відомого закону зсуву.

$$\lambda_m = \frac{2900}{T} \quad (3.1)$$

Вона дає розрахункову температуру спіралі  $T=1930$  К. Оскільки при цьому глибина проникнення ІЧ-випромінення в молоко складає  $\Delta=1$  мм, то для забезпечення рівномірності нагрівання продукту у всьому обсязі режим руху об'єкта пастеризації повинен бути турбулентним, причому товщина в'язкого ламінарного підшару  $\delta_B$  також повинен бути порядку 1 мм.

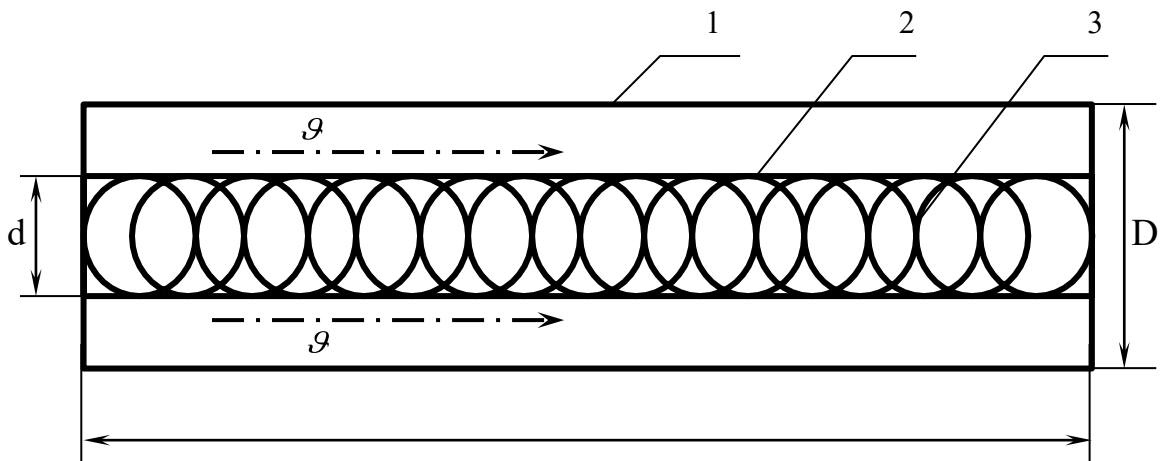


Рисунок 3.1 Схема протікання молока в серені та зовні ІЧ-нагрівача.

Такий режим забезпечує при виконанні умови:

$$R_E = \frac{v d_e}{\nu} \geq 2300 \quad (3.2)$$

Де  $R_E$ - число Рейнольдса

$d_e$ - еквівалентний діаметр об'єкта пастеризації, м

$\nu$ - кінематичний коефіцієнт в'язкості об'єкта  $\text{м}^2/\text{с}$

У кільцевому зазорі між трубками 1 і 2 величина  $d_e$  дорівнює

$$d_e = 4R_2 = 4\frac{s}{x} = 4\frac{4\frac{4}{\pi}(D^2-d^2)}{X(\pi D+d)} \quad (3.3)$$

Де  $R_2$ - гідравлічний радіус потоку, м.

Із заданими значеннями  $D$  і  $d$  і відомою залежністю  $v$  від температури рідини з умови (3.2) визначається мінімальна швидкість плинину. Фактична швидкість плинину повинна відповідати згаданій вище умові:

$$\delta_B \approx \Delta \quad (3.4)$$

Величина  $\delta_B$  визначається відомим співвідношенням (з урахуванням визначення числа  $Re$ )

$$\delta_B \approx \frac{30d_E}{Re\sqrt{\xi}} = \frac{30d_E}{\frac{vd_E\sqrt{\xi}}{v}\sqrt{\xi}} = \frac{30v}{v\sqrt{\xi}} \quad (3.5)$$

Де  $\xi$ - коефіцієнт гідравлічного тертя(коефіцієнт Дарсі).

В умовах турбулентного режиму плинину величина  $\xi$  з доброю точністю обчислюється за формулою Альтшуля:

$$\xi = 0.11 \left( \frac{Re}{d_E} + \frac{68}{Re} \right)^{0.25} \quad (3.6)$$

Де  $Re$ - величина еквівалентної шорсткості стінок каналу руху рідини,м.

Для гладких труб ця величина складає 0,1 мм та менше.

Розрахункове значення  $v$  визначає об'ємні витрати рідини.

$$V = vs \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \quad (3.7)$$

І відповідно, масова витрата, тобто продуктивність апарата.

$$G = \rho V = \rho v \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \quad (3.8)$$

Де  $\rho$  - щільність рідини  $\text{кг}/\text{м}^3$

Величина  $G$ , у свою чергу, визначає необхідну потужність ІЧ-нагріву

$$Q = cG\Delta t = cG(t_{\text{вих}} - t_{\text{вхi}}) \quad (3.9)$$

Де  $c$  - питома теплоємність рідини (об'єкта пастеризації),  $\text{Дж}/\text{кг}\cdot\text{К}$ .

$t_{\text{вих}}$  і  $t_{\text{вхi}}$  температура рідини на вході і виході труби.  $^{\circ}\text{C}$

Температуру на виході труби будемо приймати рівною:

$$t_{\text{вих}} = (78 \pm 1)^{\circ}\text{C}$$

За цієї температури забезпечується знищення найбільш небезпечної мікрофлори молока (зокрема, збудника туберкульозу) та не відбувається небажаних фізико-хімічних змін молока [11,12]. Температуру на вході будемо приймати в інтервалі.

$$t_{\text{вхi}} = (40 \dots 60)^{\circ}\text{C}$$

Маючи на увазі, що молоко надходить у зону ІЧ-опромінення після проходження рекуперативного теплообмінника, в якому підігрівається вже пастеризованим продуктом. Обчислені значення  $G$  і  $Q$  повинні бути прийнятні для умов пастеризації молока у фермерських господарствах України.

Далі необхідно перевірити можливість забезпечення розрахункової потужності ІЧ-нагріву  $Q$  з прийнятих геометричних розмірах випромінювача. При цьому врахуємо, що з досить щільною навивкою нагрівальної спіралі випромінювач можна приблизно вважати абсолютно чорним тілом через багаторазове відображення та розсіювання випромінювання усередині випромінювача. Тоді, відповідно до відомого закону Стефана-Больцмана, для  $Q$  можна вивести формулу:

$$Q \approx \sigma(T^4 - T_0^4)S_H \approx \sigma T^4 S_u = \sigma T^4 \cdot \pi dL \quad (3.10)$$

Де  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{Вт}/(\text{м}^2\text{К}^4)$  - стала Стефана-Больцмана

$T_0$ - температура навколишнього середовища

$S_u$ - площа поверхні випромінювання,  $m^2$

За наявності істотної розбіжності між результатами розрахунку за формулами(3.9) і (3.10) варто ввести корекцію в раніше прийняті значення  $L$ .

За уточненим значенням  $Q$  можна вибрати раціональні значення параметрів нагрівальної спіралі – діаметра дроту  $d_c$  і числа витків  $N$ .

Електрична потужність  $P$ , що виділяється в спіралі дорівнює:

$$P = \frac{U^2}{R} \quad (3.11)$$

Де  $R$ - опір спіралі Ом.

Величина  $R$  визначається за формулою

$$R = \rho_c \frac{L_c}{S_c} \quad (3.12)$$

Де  $\rho_c$  – питомий електричний опір матеріалу спіралі, Ом·м

$L_c$  – повна довжина дроту спіралі, м

$S_c$ - площа перетину дроту,  $m^2$

Величина  $\rho_c$  визначається з довідникових таблиць для обраного матеріалу спіралі.

На закінчення розрахунку необхідно перевірити можливість досягнення рівномірності прогріву продукту та високого к.к.д. нагріву. Втрати енергії в розглянутій системі визначаються головним чином тепловіддачею від зовнішньої труби, температуру якої можна приблизно прийняти рівною температурі рідини, що протікає у середині, у навколишнє середовище з температурою  $t_0$  що найменше за значені втрати визначаються розсіюванням енергії на кінцях труби, однак з досить великою її довжиною це розсіювання в першому наближенні можна не враховувати. Інтенсивність тепловіддачі в навколишнє середовище із зазначеним допущенням можна обчислити за формулою:

$$Q_T = \alpha \pi D L (\bar{t} - t_0) \quad (3.13)$$



$$\bar{t} = \frac{1}{2}(t_{\text{вх}} - t_{\text{вих}}) \quad (3.14)$$

Коефіцієнт тепловіддачі  $a$  в умовах вільної конвекції в повітряному середовищі можна обчислити по наближеній формулі:

$$a \approx 1.33 \left(\frac{\Delta t}{l}\right)^{0.25} \quad (3.15)$$

де  $\Delta t = \bar{t} - t_0$ ,  $l = D$  (характерний розмір поверхні тепловіддачі)

Відношення у розглянутих умовах визначає к.к.д. нагріву.

$$\eta = \frac{Q - Q_T}{Q} \quad (3.16)$$

Нерівномірність температурного поля в поперечному перерізі потоку пастеризуємого продукту в умовах турбулентного режиму його плинину повинна в основному визначатися перепадом температури  $\Delta t_B$  у в'язкому підшарі біля стінки зовнішньої труби ( відповідну величину поблизу стінки оболонки випромінювача можна не враховувати, оскільки має місце підвищена температура продукту в порівнянні з його основною масою) величину  $\Delta t_B$  можна визначити з умови рівності питомих теплових потоків.

$$g = \frac{\lambda_T}{\delta_B} \Delta t_B = a \Delta t \quad (3.17)$$

Де  $\lambda_T$ - коефіцієнт теплопровідності молока Вт/мК. З цих умов впливає що;

$$\Delta t_B = a \Delta t \frac{\delta_B}{\lambda_T} \quad (3.18)$$

З урахуванням (3.5) в (3.18) одержимо:

$$\Delta t_B = \frac{a \Delta t}{\lambda_T} \cdot \frac{30\nu}{v\sqrt{\xi}} \approx \frac{const}{v} \quad (3.19)$$

Звідси випливає, що перепад температур у в'язкому підшарі повинен зменшуватися зі збільшенням швидкості руху об'єкта пастеризації обернено пропорційно цієї швидкості. З отриманим розрахунковим значенням  $v$  величина  $\Delta t_B$  не повинна перевищувати 1-2 °С.

### 3.2 Визначення продуктивності процесу

За середньої температури продукту  $\bar{t} = \frac{1}{2}(60 + 80) = 70$  °С значення  $v$  складає  $0.62 \cdot 10^{-6}$  м/с<sup>2</sup>. Прийmemo наступні значення геометричних параметрів системи:  $D = 5$  см =  $5 \cdot 10^{-2}$  м;  $d = 10$  мм =  $1 \cdot 10^{-2}$  м;  $d_0 = 7$  мм =  $7 \cdot 10^{-3}$  м;  $L = 0.5$  м.

Тоді  $d_e = 5$  см – 1 см = 4 см =  $4 \cdot 10^{-2}$  м. І з умов (3.2) знаходимо мінімальну швидкість руху молока.

$$v \geq 2300 \frac{v}{d_e} = 0.0035 \text{ м/с}.$$

Для величини  $\xi$  з формули (3.6) за  $R_e = 0.1$  мм =  $1 \cdot 10^{-4}$  м знаходимо;

$$\xi = 0.11 \left( \frac{1 \cdot 10^{-4}}{4 \cdot 10^{-2}} + \frac{68}{2300} \right)^{0.25} = 0.0465.$$

При цьому формула (3.5) згідно з умов  $\delta_B \approx \Delta \approx 1$  мм =  $1 \cdot 10^{-3}$  м.

$$\text{знаходимо; } v \approx \frac{30v}{\Delta \sqrt{\xi}} = \frac{30 \cdot 0.62 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 10^{-3} \sqrt{0.0465}} \approx 0.068 \text{ м/с}.$$

Масова витрата рідини, згідно з формулою (3.8), за  $\rho \approx 1025$  кг/м<sup>3</sup> складає;

$$G = 1.025 \cdot 10^{-3} \cdot 0.068 \cdot 0.785(25 - 1) \cdot 10^{-4} \approx 0.166 \text{ кг/с} \approx 600 \text{ кг/г} \\ = 0.6 \text{ т/г}$$

Об'ємна продуктивність при цьому складе;

$$V = \frac{G}{\rho} \approx 1.62 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с} = 162 \text{ л/с} \approx 580 \text{ л/г.}$$

Ці значення досить приємліві в масштабах фермерських господарств.

Необхідна потужність ПЧ-нагріву для цих умов визначається з формули (3.9)

при  $C=3800 \text{ Дж}/(\text{кгК})$  і  $\Delta t=80-60=20 \text{ }^\circ\text{C}$

$$Q = 3.8 \cdot 10^{-3} \cdot 0.166 \cdot 20 = 12.6 \cdot 10^3 \text{ Вт} = 12.6 \text{ кВт.}$$

Примітно що питомі електро витрати в даному випадку будуть дорівнювати

$$\frac{Q}{G} = \frac{12.6}{0.6} = 21 \text{ кВт} \cdot \text{год/т.}$$

Що приблизно в 3 рази менше, ніж в існуючих пастеризаторах з конвективних теплообміном.

Перевіряємо розрахункове значення  $Q$  відповідно до формули (3.10);

$$Q = 5.67 \cdot 10^{-8} \cdot (1930)^4 \cdot 3.14 \cdot 1 \cdot 10^{-2} \cdot 0.5 \approx 1.235 \cdot 10^4 \text{ Вт} = 12.35 \text{ кВт} .$$

Розбіжність зі знайденими вище значеннями не перевищує 3%, тому прийняті параметри системи не мають потребу в корекції.

Прийmemo діаметр дроту нагрівальної спіралі рівним

$$d_c = \frac{1}{2}(d - d_0) = 1.5 \text{ мм} .$$

Питомий опір ніхрому при  $t=1700 \text{ }^\circ\text{C}$  складає  $\rho_c = 1.7 \cdot 10^6 \text{ Ом} \cdot \text{м}$

Прийmemo число витків рівним  $N = 150 < \frac{0.5}{1.5 \cdot 10^{-3}} = 330$  ; тоді

$$L_c = 150 \cdot \frac{1}{2} \cdot 3.14(1 + 0.7) \cdot 10^{-7} \approx 4.0 \text{ м} .$$

Величенна  $S_c$  складе

$$S_c = \frac{\pi}{4} d c^2 = 0.785 \cdot (1.5 \cdot 10^{-3})^2 = 1.765 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 .$$

Тоді електричний опір спіралі складе

$$R \approx 1.7 \cdot 10^{-6} \frac{4.0}{1.765 \cdot 10^{-6}} \approx 3.86 \text{ Ом} .$$

Потужність в спіралі складе;

$$P = \frac{220}{3.86} \approx 1.25 \cdot 10^4 \text{ Вт} = 12.5 \text{ кВт} .$$

Що відрізняється від знайденого вище  $Q$  менше ніж на 1%.

Оцінимо К.К.Д нагрівання за допомогою формул (3,17)-(3,19). Для коефіцієнта тепловіддачі в навколишнє середовище ( $a$ ) при

$\Delta t = \bar{t} - t_0 = \frac{1}{2}(60 + 80) - 20 = 50^\circ\text{C}$  (при температурі навколишнього середовища  $t_0 = 20^\circ\text{C}$ ) і  $l = D = 5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$  знаходимо;

$$a = 1.33 \left( \frac{50}{5 \cdot 10^{-2}} \right)^{0.25} \approx 7.5 \text{ Вт/м}^2 \text{ К} .$$

звідси  $Q_T$  складе ;

$$Q_T \approx 7.5 \cdot 3.14 \cdot 5 \cdot 10^{-2} \cdot 0.5(70 - 20) = 30 \text{ Вт} .$$

Тоді к.к.д нагріву буде рівним;

$$\eta = \frac{12600 - 30}{12600} \approx 0.997 \approx 99.7\% .$$

Фактичний к.к.д буде нижчий через втрату енергії біля кінців трубок. Також щільність теплового потоку від ПЧ-випромінювача;

$$\frac{Q}{\pi d L} = \frac{12600}{3.14 \cdot 1 \cdot 10^{-2} \cdot 0.5} \approx 8 \cdot 10^5 \text{ Вт/м}^2 .$$

Це значення є технологічно прийнятним; фактичне значення перепаду температури в перетині каналу може бути трохи великим через неминучу наявність різниці температур у турбулентному ядрі потоку об'єкта пастеризації. Тому дана оцінка має потребу в експериментальній перевірці.

Приведені співвідношення утворюють надійну теоретичну базу для проведення технологічних розрахунків, зокрема, з метою встановлення найбільш раціональних режимів запропонованого процесу ІЧ-пастеризації.

### 3.3 Обґрунтування конструкційних параметрів пастеризатора

Розглянемо можливість розміщення в трубі пастеризатора пучка ІЧ-випромінювачів, що складається з  $n$  окремих елементів, аналогічних показаному на рисунок 3.2; випромінювачі можна розмістити симетричним образом по перетині труби, наприклад, у шаховому порядку – рисунок 3.2

Що значно вище, ніж при традиційних способах теплопередачі при пастеризації молока.

Перепад температур в перетині потоку молока. При коефіцієнті теплопровідності молока  $\lambda_m = 0.4 \text{ Вт/мК}$  і зазначених вище інших параметрів формула (3.19) дає.

$$\Delta t_B \approx \frac{7.5 \cdot 50}{0.4} \cdot \frac{30 \cdot 0.62 \cdot 10^{-6}}{v \cdot \sqrt{0.0465}} \approx \frac{0.08}{v} = 0.93 \text{ К (при } v = 0.086 \text{ м/с)} .$$

Схема розташування  $n$  вимірювачів у каналі до центра об'єкта. Де  $m$  – число випромінювачів на великій діагоналі;  $a$  – число випромінювачів на малій діагоналі;  $S$  – крок розташування випромінювачів;  $D_n$  – їхній зовнішній діаметр;  $D_e$  – внутрішній діаметр каналу.

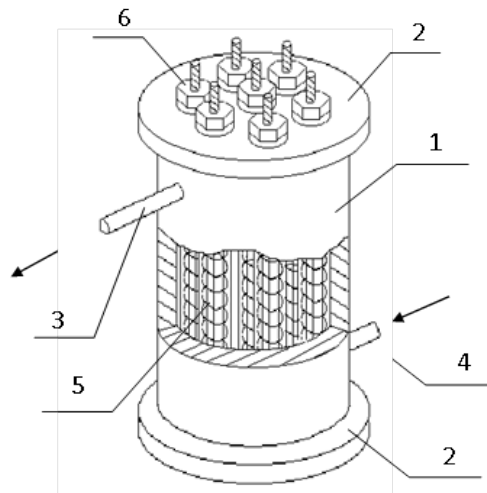


Рисунок 3.2 - Модель проточного ІЧ пастеризатора: 1– камера нагріву; 2 – фланці; 3, 4– входні і вихідні патрубки; 5– ІЧ нагрівач; 6– гайка.

Значення  $S=(1,25\dots 1,5)d_H$  на приклад:  $d_H= 10\text{мм}$ ,  $d_g= 45\text{мм}$ .

Крок становитиме  $S = 1.5d_H = 15\text{мм}$ .  $m = \frac{d_B}{S} = 3$ . Число випромінювачів у потоці становитиме  $n = \frac{3}{4}(3^2 - 1) + 1 = 7$ . Такий конструктивний захід має мету збільшення рівномірності теплового потоку в перетині каналу руху молока. Поперечний переріз потоку об'єкта пастеризації при цьому визначається формулою.

$$S = \frac{\pi D^2}{4} - n \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi}{4} (D^2 - nd^2). \quad (3.20)$$

При  $D=5\text{см}$ ,  $d=1\text{см}$ ,  $n=5$  знаходимо;

$$S = 0.785(25 - 5 \cdot 1) \cdot 10^{-4} = 1.57 \cdot 10^{-3} \text{м}^2.$$

Еквівалентний діаметр потоку при цьому буде дорівнювати

$$d_E = 4R_\Gamma = 4 \frac{D}{X} = 4 \frac{\frac{\pi(D^2 - nd^2)}{4}}{\pi(D+nd)} = \frac{D^2 - nd^2}{D+nd}. \quad (3.21)$$

При зазначених вище величин

$$d_E = 2 \cdot 10^{-2} \text{м}.$$

З умови (3.2) визначаємо мінімальну швидкість потоку.

$$v = 2300 \frac{v}{d_E} = 0.071 \text{ м/с}^2.$$

З формул (3.4) і (3.5) визначаєм раціональне значення швидкості

$$v = \frac{30v}{\delta_B \sqrt{\xi}} \approx 0.093 \text{ м/с}$$

Продуктивність процесу складе

$$G = \rho v S = 0.15 \text{ кг/с} = 540 \text{ кг/год}.$$

Фізичне обґрунтування можливості введення в потік продукту пучка ІЧ-випромінювачів замість одиночного випромінювача полягає в наступному. Опір блоку випромінювачів у кількості  $n$  паралельно з'єднаних спіралей з опором кожен  $R_1$  буде дорівнювати:

$$R = \frac{R_1}{n}. \quad (3.22)$$

Відповідно потужність випромінювання кожної нагрітої спіралі визначиться як:

$$Q_1 = \frac{U^2}{R_1} = \frac{U^2}{nR} = \frac{1}{n} Q. \quad (3.23)$$

Де  $Q$  – розрахункова потужність ІЧ-опромінення продукту в цілому.

Застосування такого з'єднання дозволяє уникнути використання ніхромового дроту великого діаметра для пропускання великих струмів:

$$I = \frac{U}{R}. \quad (3.24)$$

При потужності нагріву  $P = 10 \text{ кВт}$  і  $U = 220 \text{ В}$  маємо

$$R = \frac{220^2}{10} \approx 4.8 \text{ Ом}, I = \frac{220}{4.8} \approx 46 \text{ А}.$$

Використання пучка, наприклад, з 7 випромінювачів дозволяє знизити потужність кожного з них до  $P_1 = \frac{10}{7} = 1.4$  кВт і підвищити їхній опір до  $R_1 = 7 \cdot 4.8 = 33.6$  Ом, а силу струму зменшити до  $I_1 = \frac{46}{5} = 9.2$  А. Такі струми можна пропускати через ніхромовий дріт діаметром 0,7...0,8мм. З іншого боку, потужність випромінювання  $Q \approx P$  визначає температуру випромінювача відповідно до згадуваного вище закону Стефана-Больцмана  $Q = \sigma F T^4$  чи

$$T = \left( \frac{Q}{\sigma F} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (3.25)$$

Де  $F$  - площа поверхні випромінювача.

Якщо знизити потужність окремого випромінювача до  $P_1 = \frac{P}{n}$ , то його температура стане;

$$T_1 = \left( \frac{Q_1}{\sigma F} \right)^{\frac{1}{4}} = \left( \frac{Q}{n \sigma F} \right)^{\frac{1}{4}} = \frac{T}{n^{\frac{1}{4}}} \quad (3.26)$$

Наявність показника ступеня  $\frac{1}{4}$  робить залежність  $T_1$  в порівнянні з  $T$  технологічно сприятливим ефектом.

Розглянемо, нарешті, теоретичні передумови процесу прямого нагрівання об'єкта пастеризації електричним струмом, що проходить практично рівномірно по всьому перетині каналу руху об'єкта. При площі поперечного перерізу  $S$  і довжині стовпа рідини  $L$  електричний опір цього стовпа визначається формулою:

$$R_c = \rho_m \frac{L}{S} \quad (3.27)$$

Де  $\rho_m$  – питомий опір молока Ом·м

Величина  $\rho_m$  для незбираного молока на промисловій (50 Гц) чи підвищеній (до 2400 МГц) частоті складає  $\rho_m = 1$  Ом·м. Якщо наприклад  $L = 0.5$  м і  $D = 5 \cdot 10^{-2}$  м, так що  $S = \frac{\pi}{4} D^2 \approx 2 \cdot 10^{-3}$  м<sup>2</sup>, то формула (3.27) дає

$$R_c = 250 \text{ Ом}$$



При цьому потужність нагріву складе:

$$P = \frac{U^2}{R_c} \approx 200 \text{ Вт},$$

тобто приблизно в 60 разів менше зазначених раціональних значень (близько 12,5 кВт). Таким чином, і з цього погляду (крім викладених вище розумінь про негативний вплив електродних процесів) метод прямого нагрівання є практично недоцільним, оскільки необхідна потужність нагрівання може бути досягнута лише при значному зменшенні  $R_c$  за рахунок збільшення  $S$  чи зменшення  $L$ , що зв'язано з визначеними конструктивними складностями.

Для більш докладного теоретичного аналізу цього методу пастеризації використовуємо три основних рівняння;

рівняння потужності нагрівання

$$Q = cG\Delta t = \frac{U^2}{R} \quad (3.28)$$

рівняння масової витрати продукту

$$G = \rho v S. \quad (3.29)$$

рівняння електричного опору стовпа продукту (3.27)

Підставляючи (3.27) у (3.28) і отримано перемножуючи отримане рівняння на (3.29), знаходимо співвідношення:

$$U1\Delta t = \frac{U^2}{c\rho\rho_c} \text{ чи } U1 = \frac{U^2}{c\rho\rho_c\Delta t} \quad (3.30)$$

Крім того, врахуємо умову турбулентного режиму потоку (3.2)

$$R_c = \frac{vd}{\nu} \geq 2300.$$

Формула (3.30) і (3.2) дають опорні дані для вибору режиму прямого нагріву продукту. При температурі пастеризації  $t=80^\circ\text{C}$  приймаємо значення:

$C = 4000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot \text{К}$ ,  $\rho = 1025 \text{ кг/м}^3$ ,  $\rho_c = 1.5 \text{ Ом} \cdot \text{м}$   $\nu = 0.62 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$  крім того

$U = 220 \text{ В}$   $\Delta t = 20 \text{ К}$ .

З умови (3,30) знаходимо;

$$v_l \approx 4 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}^2.$$

Зокрема за  $l = 0.5 \text{ м}$   $v=8 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}$ , при  $l = 0.2 \text{ м}$   $v=2 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$ .

З умови (3.2) одержимо, відповідно;

$$l = 0.5\text{м} : d \geq \frac{2.2 \cdot 10^3 \cdot 0.62 \cdot 10^{-6}}{8 \cdot 10^{-4}} = 1.7 \text{ м.}$$

$$l = 0.2\text{м} : d \geq \frac{2.2 \cdot 10^3 \cdot 0.62 \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 10^{-4}} = 0.68 \text{ м}$$

При цих значеннях для мінімальної продуктивності процесу знаходимо, відповідно,

$$G = 1.86 \text{ кг/с} = 6.7 \text{ т/год};$$

$$G = 0.74 \text{ кг/с} = 2.7 \text{ т/год};$$

Очевидно, що ці значення не прийнятні для фермерських господарств молочної профілю і можуть відповідати лише умовам виробництва навеликих переробних підприємствах. Помітимо, що за  $\Delta t = 20 \text{ К}$ , тобто при відсутності попереднього підігріву молока до  $60^\circ\text{C}$ , значення  $a$  і  $G$  ще зростають; так при  $\Delta t = 50 \text{ К}$  і  $l = 1 \text{ м}$  знаходимо:

$$v = 1.6 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}, d > 8.5 \text{ м}, G \approx 9.3 \text{ кг/с} \approx 33.5 \text{ т/год},$$

тобто зовсім не реальні значення.

На підставі цих результатів теоретичного розрахунку даний спосіб нагрівання в даній роботі не досліджувався.

Викладені теоретичні передумови вимагають експериментальної перевірки; з цією метою були проведені спеціальні експериментальні дослідження, результати яких викладені нижче. Помітимо ще, що при будь-якій геометрії ІЧ-нагріву питання про необхідність використання спеціального насоса для забезпечення руху об'єкта пастеризації з заданою швидкістю вирішується за допомогою формули (1.10); при наявності такої необхідності потужність насоса визначається по формулі (1.11). У розглянутому вище числовому прикладі, при  $S_c=1$  (опір на вході в трубу), знаходимо:

$$\Delta p = 5.5 \text{ Па.}$$

При настільки незначному значенні  $\Delta p$  молоко може переміщуватися в системі самопливом. У такому випадку, відповідно до формули (1.11), потужність насоса становитиме приблизно 3 кВт. Однак у промислових установках, які мають кілька секцій (рисунку 1.3), значення  $\Delta p$  будуть значно вищими. Це обумовлено, насамперед, великою довжиною трубопроводів ( $L$ ) та значною площею перерізу ( $S_c$ ). У таких умовах використання циркуляційного насоса стає необхідним. Вибір відповідного насоса за формулами (1.10) і (1.11) за допомогою спеціальних каталогів зазвичай не викликає складнощів.

Для визначення раціональної температури інфрачервоних (ІЧ) випромінювачів у запропонованій установці для пастеризації молока були досліджені оптичні характеристики молока різної жирності. Дослідження проводили за допомогою стандартної методики та спектральної апаратури [19]. Вплив ІЧ-випромінювання на речовини проявляється, перш за все, у їх нагріванні, а також у фізико-хімічних перетвореннях, які відбуваються всередині об'єктів, що опромінюються. Підвищення температури обумовлене перетворенням променевої енергії в теплову, що відповідає загальним законам енергетичних перетворень. Встановлено, що процес поглинання випромінювання речовиною має дискретний характер. Це зумовлено здатністю молекул поглинати променеву енергію лише у вигляді цілих квантів. Спектр поглинання безпосередньо залежить від молекулярної будови речовини і є її унікальною та точкою характеристикою. Молекула поглинає лише ті довжини хвиль із усього спектра падаючого випромінювання, які здатні змінити її енергетичний стан. Енергія, поглинена молекулою, витрачається на зміну електронного стану атомів, що входять до її складу, а також на збільшення інтенсивності обертового руху атомів і молекул, тобто на підвищення температури речовини. Електронна енергія визначається будовою електронної оболонки атомів. ІЧ-випромінювання забезпечує молекулу енергією, достатньою для переходів між обертовими та коливальними рухами, що викликає вибіркове поглинання певних довжин

хвиль. Це, у свою чергу, призводить до вибіркового нагрівання. Основні смуги поглинання в ІЧ-спектрі визначаються валентними та деформаційними коливаннями молекул. Спектр поглинання безпосередньо залежить від молекулярної будови речовини і є її унікальною та точкою характеристикою. Молекула поглинає лише ті довжини хвиль із усього спектра падаючого випромінювання, які здатні змінити її енергетичний стан. Енергія, поглинена молекулою, витрачається на зміну електронного стану атомів, що входять до її складу, а також на збільшення інтенсивності обертального руху атомів і молекул, тобто на підвищення температури речовини. Електронна енергія визначається будовою електронної оболонки атомів. ІЧ-випромінювання забезпечує молекулу енергією, достатньою для переходів між обертальними та коливальними рухами, що викликає вибіркоче поглинання певних довжин хвиль. Це, у свою чергу, призводить до вибіркового нагрівання. Основні смуги поглинання в ІЧ-спектрі визначаються валентними та деформаційними коливаннями молекул. Променистий потік, що поглинається речовиною, слабшає з глибиною проникнення. Це призводить до нерівномірного розподілу енергії в різних точках товщі матеріалу, що опромінюється. Якщо частота ІЧ-випромінювання збігається з частотою власних коливань хімічного зв'язку найбільш реакційноздатних функціональних груп, енергія випромінювання безпосередньо впливає на хімічний зв'язок, створюючи резонансний стан. Це може призводити до розриву хімічного зв'язку. Техніко-економічна ефективність ІЧ-установок значною мірою залежить від правильного вибору типу випромінювачів для конкретного технологічного процесу. Матеріал, що опромінюється в установці, виступає як приймач променистої енергії зі спектральним розподілом чутливості. Поглинений і перетворений променистий потік є ефективним потоком, що становить лише частину від загального потоку випромінювача. Очевидно, що ефективний потік максимальний тоді, коли терморадіаційні характеристики ІЧ-випромінювання та матеріалу, що опромінюється, оптимально узгоджені. Для вимірювання терморадіаційних характеристик матеріалів найкращими є

методи, засновані на використанні двопробеневих спектрофотометрів. Раніше використовували радіометри та термостовпчики через високу інтенсивність і низьку чутливість значно спотворювали результати досліджень, вносячи велику похибку.

На рисунку 3.3 наведено спектр сирого молока, який демонструє, що найбільш інтенсивна і широка смуга обумовлена валентними коливаннями гідроксильної групи води. Ця група бере участь в утворенні водневих зв'язків, що пояснює її значний внесок у спектр поглинання. Для порівняння розглянемо характеристики води і молока з товщиною шару 0,01 мм (рисунку 3.4). У спектрі молока, крім смуг, характерних для води, також помітне поглинання, викликане іншими компонентами, такими як жири, білки та вуглеводи. Це пояснюється складною структурою молока, яка включає різноманітні органічні речовини, кожна з яких вносить свій внесок у загальний спектр поглинання.

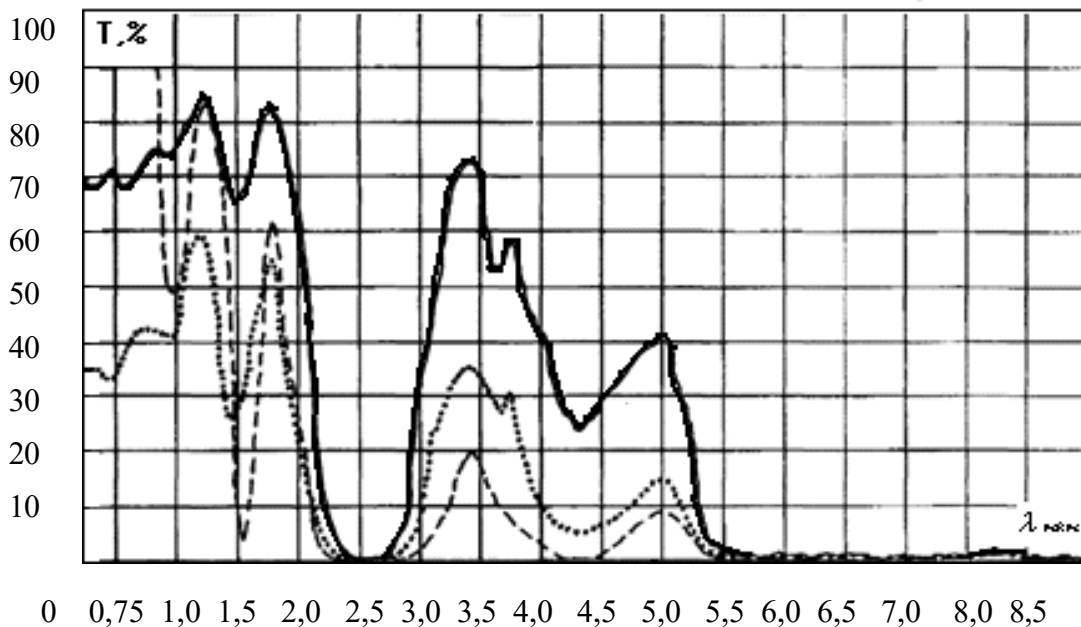


Рисунок 3.13 - Спектрограма пропускання молока жирністю 3,2% та дистильованої води:

----- вода дистильована товщиною 1мкм, при  $\theta = 25^\circ \text{C}$ ,

————— молоко сире товщиною 0,03мкм, при  $\theta = 25^\circ \text{C}$

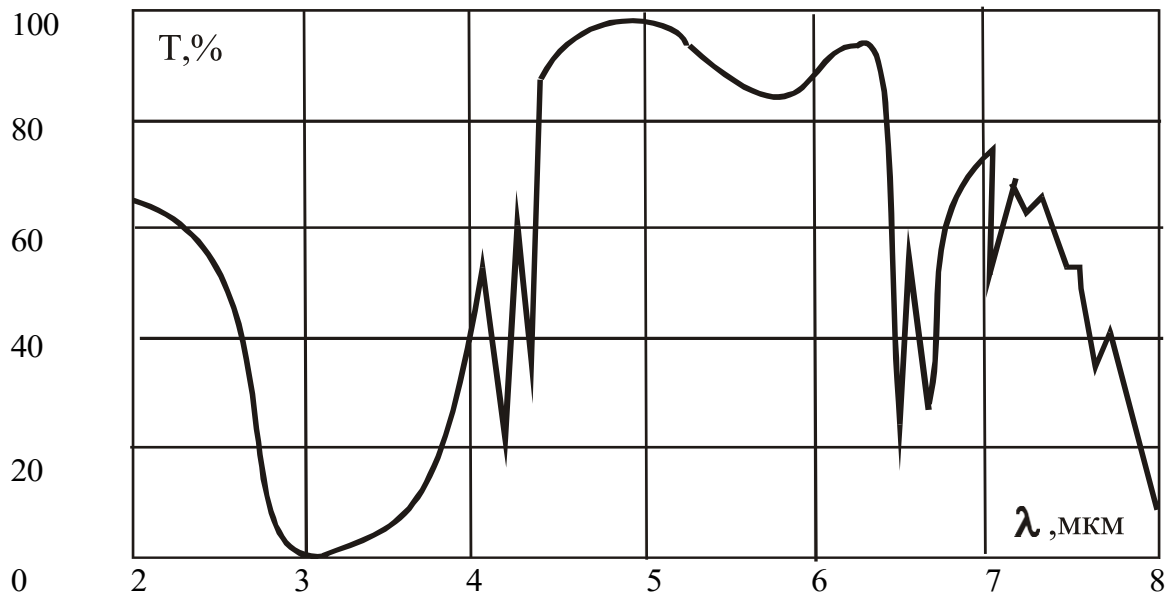


Рис. 3.4 - Спектрограма пропускання сирого молока для товщини шару 0,01 мм.

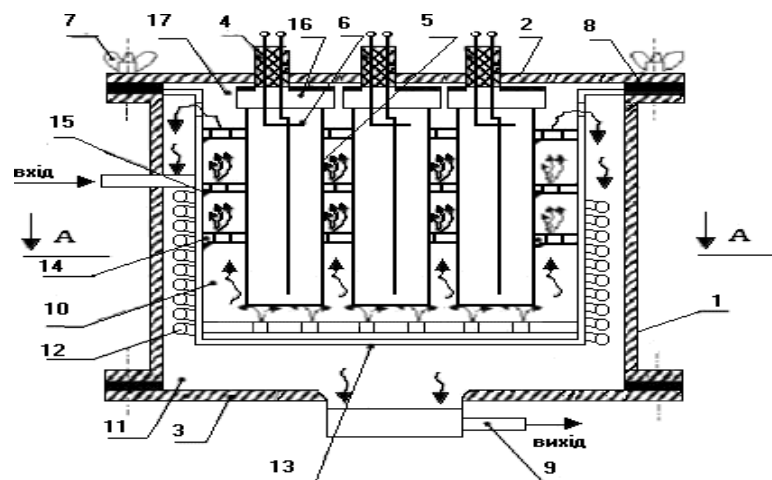


Рисунок 3.15 - Загальний вигляд камери ІЧ-пастеризатора: 1- вертикальний корпус; 2- верхня кришка; 3- нижня кришка; 4- блок ІЧ-нагрівачів; 5- трубки; 6- ІЧ нагрівачі; 7- деталі кріплення; 8- ущільнені елементи; 9- вихідний патрубок; 10- циркуляційний насос; 11- кільцева камера; 12- зазор в камері; 13- змієвиковий теплообмінник; 14- вхідний кінець; 15, 16- штуцер; 17- дно камери; 18- отвори камери; 19- турболізатори; 20- виступи; 21- перфорований змішувач; 22- затискачі; 23 – повітряний проміжок; 24- привод синхронізатора; 25- отвори в верхній кришці.

### **3.4 Висновки**

Розроблений пастеризатор являється більш енергоефективним, за інші зразки. ІЧ-пастеризатор використовує випромінювання, яке забезпечує більш рівномірне нагрівання без безпосереднього контакту з нагрівальними поверхнями. Завдяки вибіркового поглинанню ІЧ-випромінювання молоко в інфрачервоному випромінюванні нагрівається швидше і менше піддіється термічному впливу, що допомагає зберегти корисні властивості молока, які можуть частково руйнуватись під час тривалого нагрівання.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 4.1 Загальні вимоги

Охорона праці- система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних, профілактичних та інших заходів, спрямованих на забезпечення безпечних і здорових умов праці, запобігання виробничому травматизму та професійним захворюванням.

Одним із найважливіших напрямів охорони праці на підприємстві є забезпечення працівників інструкціями з охорони праці.

Система управління охороною праці забезпечує та здійснює контроль заходів із забезпеченням безпеки і здоров'я працівників. Видача інструкцій керівниками підрозділів організації проводиться службою охорони праці з реєстрацією в журналі обліку видачі інструкцій (згідно з Законом України «Про охорону праці»). У керівника підрозділу організації повинні на постійній основі зберігатись комплект інструкцій, що діють у підрозділі, для працівників усіх професій і за всіма видами робіт.

Навчання охороні праці має проводитись на всіх підприємствах не залежно від ступеня небезпеки та характеру виробництва. Навчання проводиться під час підготовки робітників або під час підвищення рівня кваліфікації.

Інструктаж з охорони праці проводить особа, яка відповідає за охорону праці на підприємстві, залежно від виду інструктажу, специфіки роботи та розподілу обов'язків. Основна відповідальність закріплена за роботодавцем, але фактично інструктаж може проводити:

- керівники підрозділу або бригадир(у своєму підпорядкуванні)
- спеціаліст з охорони праці (для всіх працівників підприємства)
- роботодавець (у випадках, коли кількість працівників невелика або коли це передбачено внутрішніми документами підприємства)



## 4.2 Види інструктажів

За своєю структурою інструктажі поділяються на види:

1. Вступний інструктаж

Проводить спеціаліст з охорони праці або інша особа, призначена роботодавцями. Обов'язковий для всіх нових працівників і стажистів перед початком роботи.

2. Первинний інструктаж

Проводить безпосередньо керівник робіт перед початком виконання обов'язків.

3. Повторний інструктаж

Проводиться за графіком та в строки не рідше ніж раз на 6 місяців(для робіт з підвищеною небезпекою – раз на 3 місяці)

4. Позаплановий інструктаж

Проводиться при порушенні працівником правил охорони праці, нещасних випадків або аварій, введенні нових нормативних актів чи змін у процесі роботи.

5. Цільовий інструктаж

Проводить безпосередньо керівник робіт при виконанні разових або особливо небезпечних робіт(ремонти, ліквідація аварій тощо)

## 4.3 Заходи захисту при роботі з пастеризаційною установкою

Охорона праці при роботі з пастеризаційною установкою передбачає дотримання вимог безпеки спрямованих на захист працівників від впливу шкідливих та небезпечних факторів, пов'язаних з роботою обладнання, що використовується для термічної обробки молока.

Основні небезпечні фактори під час роботи з пастеризаційною установкою :

- Високі температури, ризик опіків

- Підвищений тиск в системі
- Небезпека витоку гарячих рідин(молоко)
- Можливість ураження електричним струмом
- Шум і вібрація від роботи установки
- До початку роботи необхідно перевірити технічний стан обладнання, провести огляд робочого місця на відсутність сторонніх предметів.

Під час роботи необхідно працювати лише у спеціальному одязі(теплостійкий фартух, рукавичке та закриті взуття), не торкатись гарячих поверхонь без використання засобів індивідуального захисту, не залишати установку під час її роботи без нагляду, контролювати рівень температури(використовувати спеціальні прилади).

Після завершення роботи необхідно зупини установку відповідно до інструкції, відключити її від мережі, очистити установку після охолодження всіх нагрівальних елементів, провести огляд і внести дані до технічного журналу.

#### **4.4 Правила безпеки праці при пастеризації молока**

Забороняється допускати до роботи осіб, які не пройшли медичне обстеження, які не пройшли інструктаж чи не мають відповідних дозволів.

При роботі з пастеризатором, особа, повинна знати :

- Склад, властивості молочної продукції
- Конструкцію пастеризаційної установки
- Інструкцію з обслуговування автоматичних приладів для вимірювання
- Інструкцію з миття обладнання, що обслуговується
- Слідкувати за чистотою робочого місця
- Своєчасно заповнювати технологічний журнал

В разі аварійної ситуації необхідно негайно вимкнути обладнання, у разі витоку гарячого молока вфйдійти на небезпечну відстань, в разі пожежної

небезпеки використовувати засоби пожежного гасіння, повідомити відповідальну особу про аварійну ситуацію.

#### **4.5 Висновки**

Дотримання цих правил є обов'язковими для безпечної роботи при пастеризації молока та зменшення ризиків для працівника. Відповідно до вимог, які існують визначено вплив небезпек та факторів на особу, що працює та запропоновано відповідні заходи для безпечної роботи з пастеризаційною установкою.

## 5 ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПАСТЕРИЗАТОРА

Поставленою задачею цього проекту, було знайти більш вигідні і ефективні умови первинної обробки молока. В сільгосп господарствах України. Тому порівнюємо експериментально дослідний пастеризатор з представленими до покупки моделями схожої продуктивності. Так як будемо вважати продуктивність пастеризаторів рівними.

То розраховуватись буде вартість обладнання, та експлуатаційні витрати. При тих же об'ємах продукції.

Витрати на традиційну парову установку ПОУ-1 вартість в у.о.

$$K_{\text{поу}} = C_{\text{пар.уст}} K_{\text{м.тр}} = 8940 \cdot 1.2 = 10729 \text{ у.о}$$

Витрати на парові котли КВ-300МТ (основного та резервного)

$$K_{\text{кв}} = C_{\text{кв}} K_{\text{м.тр}} = 1500 \cdot 1.2 = 1800 \text{ у.о}$$

Витрати на будівельну частину котельні у.о.

$$K_{\text{кот}} = K_{\text{буд}} K_{\text{м.тр}} = 3000 \cdot 1.2 = 3600 \text{ у.о}$$

Витрати на ІЧ пастеризатор

$$K_{\text{ІЧ}} = C_{\text{ІЧ}} K_{\text{м.тр}} = 6670 \cdot 1.2 = 8004 \text{ у.о}$$

Витрати на реконструкцію джерела живлення електро енергії парового пастеризатора

$$K_{\text{від.джер.поу}} = P_{\text{від.джер.поу}} \cdot 25 = 4.8 \cdot 25 = 120 \text{ у.о}$$

Витрати на реконструкцію джерела електро живлення для ІЧ пастеризатора

$$K_{\text{від.джер.ІЧ}} = P_{\text{від.джер.ІЧ}} \cdot 25 = 21 \cdot 25 = 525 \text{ у.о}$$

Загальні капітальні витрати по парового пастеризатора

$$K_{\text{заг}} = K_{\text{поу}} + K_{\text{кв}} + K_{\text{кот}} + K_{\text{від.джер.поу}} = 10729 + 1800 + 3600 + 120 = 16248 \text{ у.о}$$

Загальні капітальні витрати ІЧ пастеризатора

$$K_{\text{загІЧ}} = K_{\text{ІЧ}} + K_{\text{від.джер.ІЧ}} = 8004 + 525 = 8529 \text{ у.о}$$

Експлуатаційні витрати

Витрати на заробітну плату оператора ПОУ

$$ЗП_{\text{поу}} = З_{\text{пар.обсл}} \cdot ЗП_{\text{оп}} \cdot M_{\text{год.м}} = 0.82 \cdot 0.30 \cdot 1280 = 314.88 \text{ у.о}$$

Витрати на заробітну плату оператора ІЧ пастеризатора

$$ЗП_{\text{ІЧ}} = З_{\text{пар.обсл}} \cdot ЗП_{\text{ІЧ}} \cdot M_{\text{год.м}} = 0.82 \cdot 0.35 \cdot 1280 = 367.36 \text{ у.о}$$

Вартість палива

$$Ц_{\text{мазут}} = M_{\text{мазут}} \cdot T_{\text{Тмазут}} = 3432 \cdot 0.3 = 1211 \text{ у.о}$$

$$Ц_{\text{вуголь}} = M_{\text{вуголь}} \cdot T_{\text{Твуголь}} = 4139.30 \cdot 0.35 = 1448.80 \text{ у.о.}$$

Вартість електроенергії, що споживається ПОУ

$$Ц_{(\text{ПОУ})} = K_{\text{заг}} \cdot W_{\text{ПОУ}} \cdot ДТ_{\text{ен}} = 351.92 \text{ у.о}$$

Вартість електроенергії, що споживається ІЧ-пастеризатором

$$Ц_{\text{ІЧ}} = K_{\text{заг}} \cdot W_{\text{ІЧ}} \cdot ДТ_{\text{ен}} = 957.69 \text{ у.о.}$$

Загальна вартість електроенергії

$$Ц_{\text{ПОУ}} = Ц_{\text{мазут}} + Ц_{\text{ПОУ}} = 1211 + 351.92 = 1562.92 \text{ у.о.}$$

$$Ц_{\text{ПОУ}} = Ц_{\text{вуголь}} + Ц_{\text{ПОУ}} = 1448.80 + 351.92 = 1800.72 \text{ у.о.}$$

$$Ц_{\text{ІЧ}} = 957.69 \text{ у.о.}$$

## Показники якості пастеризованого молока

Показники	Молоко сире ДСТУ3662-97	Молоко оброблене на установці ОПФ-1-300 ДСТУ2661-97	Молоко, оброблене на установці ІЧ- випромінюван ням
Термін збереження, год	24	36	36
Вміст жиру,%	3,2	3,2	3,2
Загальний білок, %	2,8	2,8	2,8
Густина, г/см <sup>3</sup>	1,027	1,027	1,027
Узагальнена кількість бактерій у 1 г	431000	$2 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^5$
Залишкова мікрофлора пастеризованого молока, %	-	0,09	0,01995
Ефект пастеризації,%	-	99,91	99,98

З цих розрахунків ми бачимо, що експериментальна установка ІЧ-пастеризатора більш економічно вигідна та не менш ефективна від свого аналога. ІЧ-пастеризатор може бути впроваджений у виробництво, що сприятиме ефективності роботи молокопереробних підприємств, зниженню втрат енергії та забезпеченню високої якості молочної продукції.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Інфрачервоний (ІЧ) пастеризатор є сучасним типом обладнання, що використовує інфрачервоне випромінювання для теплової обробки рідких продуктів, таких як молоко. Цей метод забезпечує рівномірний та швидкий нагрів завдяки передачі енергії безпосередньо продукту через інфрачервоні хвилі. Інфрачервоне випромінювання проникає в рідину, нагріваючи її молекули. Процес нагрівання відбувається швидше, ніж у традиційних пастеризаторах, завдяки безконтактному методу теплопередачі. Зменшуються втрати вітамінів, ферментів та інших корисних речовин завдяки короткочасній обробці. Швидкий нагрів дозволяє підвищити продуктивність виробництва. Менші розміри порівняно з традиційними пастеризаторами.

На основі результатів літературного огляду виявлено суттєві недоліки, характерні для традиційних способів пастеризації та обладнання, що їх реалізує. Найбільш перспективним напрямком для подолання цих проблем є розробка інфрачервоного пастеризатора (ІЧ-пастеризатора) з удосконаленою геометрією опромінення продукту, що дозволить покращити якість теплової обробки та підвищити ефективність процесу.

Переваги та недоліки: Висока початкова вартість обладнання. Необхідність точного налаштування параметрів випромінювання для різних продуктів. Потреба у спеціалістах для обслуговування та експлуатації.

Інфрачервоні пастеризатори стають все більш популярними у харчовій промисловості завдяки їхній ефективності, екологічності та здатності забезпечувати високу якість кінцевого продукту. Інновації у цій галузі сприяють розвитку конкурентоспроможного обладнання, що відповідає сучасним вимогам до енергоефективності та технологічності.

## Бібліографія

1. Кунденко М.П. Теоретичні передумови дослідження нерівномірності температурного поля в камері проточного інфрачервоного пастеризатора // Вісник ХДТУСГ. Питання електрифікації сільського господарства. – 2000. – №3. – С.170-173. 50.
2. Кунденко Микола Петрович. Удосконалення процесу та обладнання для пастеризації молока інфрачервоним випромінюванням: Дис. канд. техн. наук: 05.18.12.– Х., 2002. – 188 с. 51.
3. Полевода Ю.А. Обґрунтування робочих параметрів процесу пастеризації молока / Ю.А. Полевода, С.В. Конрійчук // Сучасні проблеми виробництва, переробки сільськогосподарської продукції, машинобудування та енергетичних систем АПК: матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції, 28-30 листопада 2017 року. – Вінниця: ВНАУ, 2017 – С. 120 – 121.
4. Директива 92/46/ЄЕС від 16.06.92 «Медико-санітарні правила з виробництва та розміщення на ринку сирого молока, термічно обробленого молока і продуктів на молочній основі».
5. Організація ветеринарно-санітарного контролю виробництва молока коров'ячого на фермі відповідно до вимог СОТ / В. Касянчук, О. Бергілевич, Я. Крижанівський, М. Кухтин // Ветеринарна медицина України. – 2006. - № 7. – С. 38-40.
6. Оксамитний М.К., Даниленко І.П. Технологія одержання високоякісного молока. - К.: Урожай, 1976. - 94 с.
7. Остапів Н.М. Ветеринарно-санітарне обґрунтування технології одержання молока за ДСТУ 3662-97: Автореф. дис ... д-ра с.-г. наук / ЛДАВМ. - Львів, 1999. -19 с.
8. Кравців Р.Й., Козак М.В., Островський Я.Ю. та ін. Методичні вказівки для лабораторно-практичних занять з гігієни одержання молока. — Львів, 1998. -40 с.



9. Власенко В.В., Касянчук В.В., Кольчак В.В. Ветеринарно-санітарна експертиза молока і молочних продуктів: Навчальний посібник. – Вінниця: ПП «Едельвейс і К», 2008. – 132с

10. Молоко коров'яче. Визначення кількості соматичних клітин методом проточної цитометрії (експрес-метод): ДСТУ 7672:2014. – [ Чинний від 2015-01-07]. – Київ: 11.Держспоживстандарт України, 2015. – 13 с. – (Національні стандарти України).

11. Молоко і молочні продукти. Методика підрахування кількості мезофільних аеробних та факультативно-анаеробних мікроорганізмів, дріжджів і плісневих грибів за допомогою пластин: ДСТУ 7089:2009. – [ Чинний від 2009-27-10]. – Київ: Держспоживстандарт України, 2009. – 12 с. – (Національні стандарти України). 13.«Молоко и молочные продукты. Титриметрические методы определения кислотности»: ГОСТ 3624:92 – [ Действующий от 1994-01-01] – м.: Стандартінформ, 2009. – с.7 14.Молоко і молочні продукти.

12. Методи визначення густини: ДСТУ 6082:2009. – [Чинний від 2009–20–01]. – Київ : Держспоживстандарт України, 2009. – 18 с. – (Національні стандарти України). 14.Молоко. Методи визначення соди: ДСТУ 8378:2015. – [Чинний від 2015– 21–08]. – Київ : Держспоживстандарт України, 2015. – 9 с. – (Національні стандарти України).

13. Молоко і молочні продукти. Методи якісного визначання антибіотиків, сульфаніламідів та інших інгібіторів термінів : ДСТУ 8397:2015. – [Чинний від 2018–01–06]. – Київ : Держспоживстандарт України, 2018. – 29 с. – (Національні стандарти України).

14. Про молоко та молочні продукти: Закон України від 5 квітня 2015 р. № 1870-IV// Відомості Верховної Ради України. – 2015. – № 21. – Ст. 133.

15. По затвердження вимог до безпечності та якості молока і молочних продуктів: наказ Мінагрополітики від 12 березня 2019 р. № 593/33564 // Офіційний вісник. – 2019. – 12 липня. – С. 10.

16. Головін С. А., Делієва І. П. Технологія і обладнання для переробки молока. – К.: Центр навчальної літератури, 2015. – 304 с.
17. Міщенко В. А., Матвеев М. В. Молочне машинобудування. – Харків: ХНТУСГ, 2018. – 278 с. 3. Коваленко П. І., Семенов І. І.
18. Основи проектування обладнання для харчової промисловості. – Одеса: ОНАХТ, 2017. – 320 с. 4. Таран М. А., Захарова Л. Ю. Процеси та апарати харчових виробництв. – К.: Політехніка, 2016. – 260 с. Наукові статті:
  19. Семенов І. П., Романов В. С. Обґрунтування параметрів теплообмінників для пастеризації молока // Вісник Аграрної науки. – 2020. – №5. – С. 45–51. 6. Кравченко А. В., 22.Бойко І. І. Аналіз технологічних режимів пастеризації молока та їх вплив на якість продукції // Техніка та технології АПК. – 2019. – №3. – С. 102–108.
  20. Дударенко С. О., Левченко В. В. Удосконалення конструкцій пастеризаторів з метою підвищення енергоефективності // Науковий вісник НУБіП. – 2021. – №2. – С. 89–95.
  21. Seifert. Abtötung pathogener Keime durch Bestrahlung der Milch mit ultraviolet Licht. // Fortschritte der Medizin. – 1910.- №2.- s. 896-903. 47. Burton H. – Vltra-violet irradiation of milk. // Dairy Science Abstracts.- 1951.- vol. 13, №3.-p. 229-244.
  22. Магда В.І., Кунденко М.П. Питання електрифікації сільського господарства: Зб. наук. пр.– Харків: ХДТУСГ, 1999. – С. 40-43. 26. Кунденко М.П. Теоретичні передумови дослідження нерівномірності температурного поля в камері проточного інфрачервоного пастеризатора // Вісник ХДТУСГ. Питання електрифікації сільського господарства. – 2000. – №3. – С.170-173
23. НПАОП 0.00-4.21-04. «Типове положення про службу охорони праці»
24. ДСТУ 2293-99 «Охорона праці. Терміни та визначення основних понять»

25. НПАОП 0.00-6.03-93 «Порядок опрацювання і затвердження роботодавцем нормативних актів з охорони праці, що діють на підприємстві»

26. Положення «Про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту» (Наказ Держгірпромнагляду від 24.03.2008 року № 53). 27. Ashton T. R. Ultra-high temperature treatment of milk and milk products / T.R. Ashton. //World animal, review, 1977. - No. 23. - p. 37 – 43

27. ДСТУ ISO 22000:2019. Системи менеджменту безпечності харчових продуктів. Вимоги до будь-якої організації у харчовому ланцюзі.

28. ДСТУ 3662:2018. Молоко-сировина коров'яче. Технічні умови.

29. 3. СанПіН 2.3.2.1078-01. Гігієнічні вимоги до якості молока та молочних продуктів. Додаткова література:

30. Шевченко І. А., Грінченко Л. П. Основи гігієни молока. – Полтава: Аграрний університет, 2016. – 200 с.

31. Федоренко О. С. Енергозбереження у молочному виробництві. – К.: Наукова думка, 2019. – 188 с.

32. Міхеєв А. В., Власюк І. П. Новітні технології переробки молока // Прогресивні технології в харчовій промисловості. – 2021. – №4. – С. 65–72.

## ДОДАТКИ

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

**Інженерно-технологічний факультет**  
Кафедра інжинірингу технічних систем

***Обґрунтування конструкційно-технологічних  
параметрів пастеризатора молока***

демонстраційний матеріал до дипломної роботи освітнього ступеня «Магістр»

**Виконала:** студентка 2 курсу,  
групи МГІз-1-23  
Ярмак Владислава  
Володимирівна  
**Керівник:** к.т.н., доцент  
Дудін Володимир Юрійович

***МЕТА І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ***

**Мета досліджень:** Розгляд та прорахунок конструкції і технологічних параметрів для пастеризації молока.

**Згідно з метою поставлені наступні завдання**

1. Провести аналіз існуючих умов пастеризації та розглянути перспективи розвитку.
2. Дослідити найбільш перспективні види пастеризаторів та вибір дослідного зразку.
3. Аналітичний та розрахунковий аналіз вибраного зразку.
4. Економічний аналіз обраного зразку пастеризатора.

## Огляд існуючих технологій пастеризації

Основні методи пастеризації:

Низькотемпературна пастеризація (60-80°C, 30 хв)	
Переваги	Недоліки
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Збереження поживних властивостей молока</li> <li>2. Простота обладнання</li> <li>3. Відсутність специфічного "пригорілого" присмаку</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Тривалий час обробки</li> <li>2. Менш ефективне знищення мікроорганізмів</li> <li>3. Енерговитрати</li> <li>4. Не підходить для великих промислових обсягів</li> </ol>

## Огляд існуючих технологій пастеризації

Основні методи пастеризації:

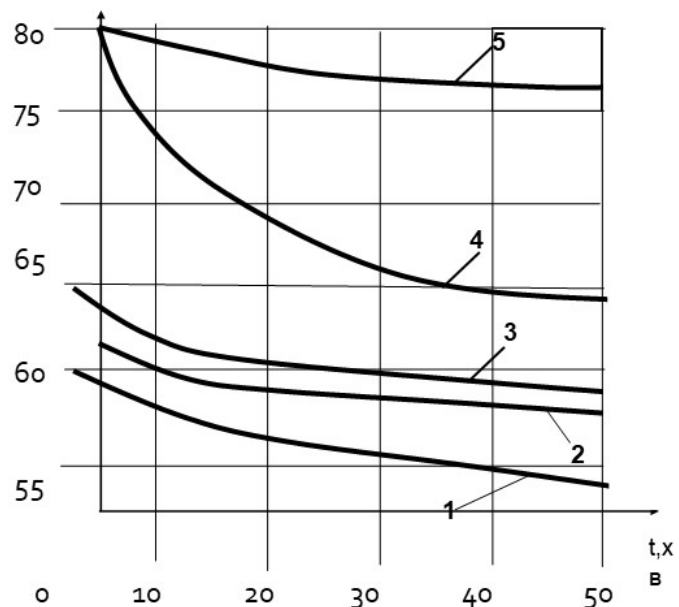
Високотемпературна пастеризація (80-100°C, 15-20с)	
Переваги	Недоліки
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ефективне знищення мікроорганізмів.</li> <li>2. Висока продуктивність</li> <li>3. Менші енерговитрати</li> <li>4. Зручність у виробництві</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Втрата частини ферментів та вітаміні</li> <li>2. Ризик змін харчових характеристик</li> <li>3. Більша вимогливість до обладнання</li> </ol>

## Огляд існуючих технологій пастеризації

Основні методи пастеризації:

Ультрапастеризація пастеризація(130-150°C, 2-4 с)	
Переваги	Недоліки
1. Тривалий термін зберігання	1. Зміна смакових характеристик
2. Гарантована мікробіологічна безпека	2. Втрата вітамінів
3. Швидкість процесу	3. Вимоги до герметичного упакування
4. Зручність для споживачів	4. Висока вартість обладнання

Графік режимів пастеризації



1 – крива загибелі дифтеритної палички; 2 – загибель тифозної палички; 3 – загибель туберкульозної палички; 4 – руйнування ферментів; 5 – зміна фізико - хімічних якостей продуктів.

## Огляд існуючих пастеризаторів

Типи пастеризаторів:

Працюють за допомогою води або пару(пластинчасті, трубчасті)

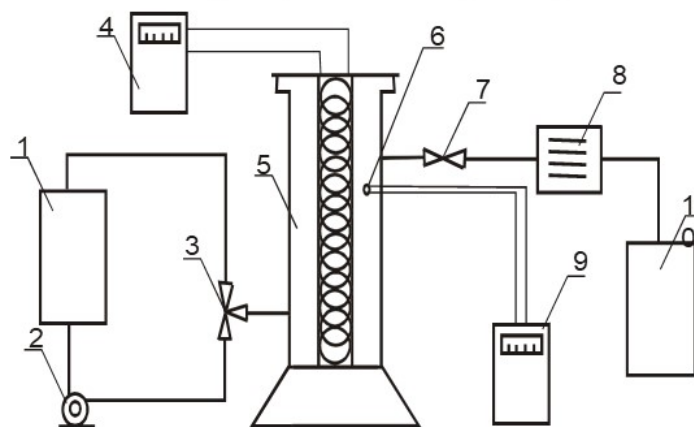


Ті, що працюють за принципом безпосереднього нагріву



## Розробка експериментального зразка

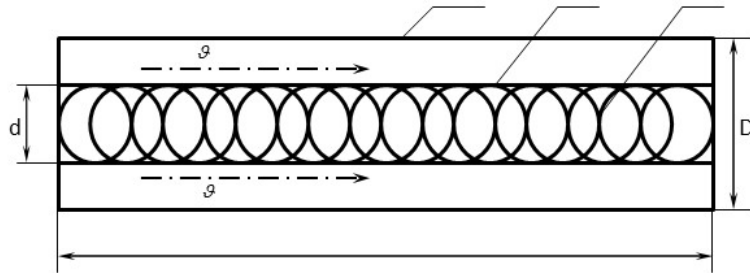
Інфрачервоний пастеризатор



Переваги	Недоліки
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Менші габаритні розміри</li> <li>2. Більша енергоефективність</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Відсутність використання альтернативного живлення</li> </ol>



## Дослідження нового методу пастеризації молока за допомогою інфрачервоного випромінювання



$$V = vS \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \quad \text{Розрахункове значення } v \text{ визначає об'ємні витрати рідини}$$

$$G = \rho V = \rho v \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \quad \text{масова витрата, тобто продуктивність апарата}$$

Величина  $G$  визначає необхідну потужність ІЧ-нагрівача

$$Q = cG\Delta t = cG(t_{\text{вих}} - t_{\text{вх}}) \quad \text{Де } c - \text{питома теплоємність рідини (об'єкта пастеризації), Дж/кгК}$$

$$t_{\text{вих}} = (78 \pm 1)^\circ$$

$$t_{\text{вх}} = (40 \dots 60)^\circ \text{ C}$$

### Економічна оцінка представленого пастеризатора

Порівняємо експериментально дослідний пастеризатор з представленими до покупки моделями схожої продуктивності

Загальна вартість пастеризаційної установки традиційного зразку

$$K_{\text{заг}} = K_{\text{поу}} + K_{\text{кв}} + K_{\text{кот}} + K_{\text{відджер.поу}} = 10729 + 1800 + 3600 + 120 = 16249 \quad \text{у.о.}$$

Загальна вартість ІЧ-пастеризаційної установки

$$K_{\text{загІЧ}} = K_{\text{ІЧ}} + K_{\text{відджер.ІЧ}} = 8004 + 525 = 8529 \quad \text{у.о.}$$

### Показники якості пастеризованого молока

Показники	Молоко сире ДСТУ3662-97	Молокооброблена установці ОПФ-1-300 ДСТУ2661-97	Молоко, оброблене на установці ІЧ- випромінюван ням
Термінзбереження, год	24	36	36
Вміст жиру, %	3,2	3,2	3,2
Загальний білок, %	2,8	2,8	2,8
Густина, г/см <sup>3</sup>	1,027	1,027	1,027
Узагальнена кількість бактерій у 1 г	431000	2·10 <sup>5</sup>	1·10 <sup>5</sup>
Залишкова мікрофлора пастеризованого молока, %	-	0,09	0,01995
Ефект пастеризації, %	-	<u>99,91</u>	<u>99,98</u>

З цих розрахунків ми бачимо, що експериментальна установка ІЧ-пастеризатора більш економічно вигідна та не менш ефективна від свого аналога. ІЧ-пастеризатор може бути впроваджений у виробництво, що сприятиме ефективності роботи молокопереробних підприємств.

### З проведеної мною роботи можна зробити такі висновки:

1. Інфрачервоний (ІЧ) пастеризатор є сучасним типом обладнання
2. Цей метод забезпечує рівномірний та швидкий нагрів завдяки передачі енергії безпосередньо продукту через інфрачервоні хвилі.
3. Зменшуються втрати вітамінів, ферментів та інших корисних речовин завдяки короткочасній обробці.
4. Інфрачервоні пастеризатори стають все більш популярними у харчовій промисловості завдяки їхній ефективності, екологічності та здатності забезпечувати високу якість кінцевого продукту