

ХАРКІВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ  
ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОРГАНІЗАЦІЇ ХАРЧУВАННЯ

**КУНДЕНКО МИКОЛА ПЕТРОВИЧ**

УДК 621.365.9

**УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСУ ТА ОБЛАДНАННЯ  
ДЛЯ ПАСТЕРИЗАЦІЇ МОЛОКА ІНФРАЧЕРВОНИМ  
ВИПРОМІНЮВАННЯМ**

Спеціальність 05.18.12 - процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та  
фармацевтичних виробництв

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2002

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківській державній академії технології та організації харчування Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент  
**Кіптела Людмила Василівна**,  
Харківська державна академія технології та організації харчування, професор кафедри процесів, апаратів та автоматизації харчових виробництв

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор

**Пахомов Павло Леонідович,**

Харківська державна академія технології та організації харчування, професор кафедри холодильної та торгівельної техніки

кандидат технічних наук, доцент

**Дорошук Володимир Петрович,**

Національний університет харчових технологій,

доцент кафедри машин та апаратів

харчових виробництв

Провідна установа: Одеська державна академія харчових технологій Міністерства освіти і науки України,  
м. Одеса, кафедра технологічного обладнання харчових виробництв

**Захист відбудеться “11” жовтня 2002 р. о 11<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.088.01 Харківської державної академії технології та організації харчування за адресою: вул. Клочківська, 333, 61051, м. Харків-51.**

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківської державної академії технології та організації харчування за адресою: вул. Клочківська, 333, 61051, м. Харків-51.

Автореферат розісланий “10” вересня 2002 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

Синєкоп М.С.

### **ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ**

**Актуальність теми.** Швидкий розвиток мережі фермерських господарств в Україні на сучасному етапі обумовлює потребу в створенні малогабаритних установок для пастеризації молока з малою продуктивністю. Особливу небезпеку представляє туберкульоз великої рогатої худоби, який крім того, що наносить великого економічного збитку, є погрозою для здоров'я людей, оскільки в більшості випадків характеризується хронічним (схованим) протіканням. У той же час сучасні пастеризаційно-охолоджувальні установки типу ВДП, ОПФ, ОПД, ОПУ, в яких високотемпературними теплоносіями є пара, гаряча вода, маючи велику продуктивність, характеризуються значними енерговитратами на одиницю продукції (50...70 кВт·год/т), великою металоємністю, необхідністю використання нагрітих теплоносіїв (гарячої води та пари), що обумовлює непридатність пароводяних установок в фермерських господарствах України, а також негативно впливає на харчові і смакові якості молока, що робить його мало придатним для переробки у вторинні продукти – масло, сир. Тому підвищення ефективності пастеризації молока можливе шляхом конструктивного удосконалення обладнання, впровадження

енергозберігаючих режимів його роботи.

Використання інфрачервоного (ІЧ) випромінювання для пастеризації молока дає можливість інтенсифікувати технологічний процес, підвищити якість готової продукції та знизити питомі витрати електроенергії. Але невідповідність спектральних характеристик молока та джерела ІЧ-випромінювання

істотно зменшують ефективність використання даного способу пастеризації молока.

У зв'язку з цим набуває актуальності задача розробки високоефективних енергозберігаючих процесів, що дозволяють реалізувати переваги

ІЧ-випромінювання для пастеризації молока в фермерських господарствах України.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана відповідно до основних наукових напрямків досліджень Харківської державної академії технології та організації харчування за темами: “Розробка та дослідження процесів та апаратів для переробки сільськогосподарської продукції” №5-97-2000Б, „Інтенсифікація процесів переробки харчової сировини” №7-01-05В, до “Національної програми виробництва машин та обладнання для сільського господарства, харчової та переробної промисловості до 2005 року”, що затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 26.06.1994 року №429 “Про реалізацію пріоритетних напрямків розвитку науки та техніки” (пункт 3. “Виробництво, переробка та збереження сільськогосподарської продукції”).

**Мета і задачі дослідження.** Мета досліджень полягає в теоретичному обґрунтуванні і розробці енергоекономічного технологічного процесу пастеризації молока із застосуванням ІЧ-нагріву та його апаратного оформлення.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні задачі:

- визначити напрямки удосконалення процесу пастеризації молока ІЧ-випромінюванням та обґрунтувати спосіб пастеризації молока з поліпшеною геометрією випромінювання;
- теоретично встановити ступінь рівномірності температурного поля в камері ІЧ-пастеризації, продуктивність та к.к.д. процесу пастеризації молока ІЧ-випромінюванням;
- розробити експериментальний стенд для дослідження гідравлічних характеристик потоку молока в камерах ІЧ-пастеризації;
- визначити спектральні характеристики молока в ІЧ-області спектру і раціональний режим пастеризації;
- встановити раціональні значення технологічних і конструктивних параметрів ІЧ-пастеризаторів, а також режими роботи пастеризаційної установки;
- розробити апарат для комбінованої пастеризації молока і визначити його функціональні можливості та показники якості пастеризованого молока;
- розробити та впровадити установки для ІЧ- пастеризації на фермерських господарствах України;
- оцінити економічний і соціальний ефект зазначеного впровадження.

*Об'єкт досліджень* – технологічний процес пастеризації молока з використанням ІЧ- випромінювання.

*Предмет досліджень* - молоко питне та камера для ІЧ-пастеризації.

*Методи досліджень* - розроблені методики з експериментальних досліджень теплообмінних процесів в камері ІЧ-пастеризації, стандартні методи визначення спектральних характеристик молока і джерела випромінювання, фізико-хімічних та мікробіологічних показників якості пастеризованого молока, а також методика математичної обробки результатів експериментів з використанням обчислювальної техніки.

### **Наукова новизна одержаних результатів:**

- теоретично обґрунтовано спосіб пастеризації молока ІЧ-випромінюванням з поліпшеною геометрією опромінення продукту;
- теоретично й експериментально оцінено ступінь нерівномірності температурного поля в об'ємі молока, що пастеризується, і встановлена її залежність від швидкості його руху;
- обґрунтовано раціональний спектральний інтервал ІЧ-випромінювання, що забезпечує ефективний прогрів в'язкого підшару молока при турбулентному режимі його руху;
- встановлено раціональні значення залежності часу пастеризації від температури нагріву молока;
- на основі комплексних досліджень науково обґрунтовано та експериментально підтверджено високий ступінь збереження харчових і біологічних компонентів молока при новому способі його пастеризації ІЧ-випромінюванням.

На наукову розробку отримано позитивне рішення на видачу деклараційного патенту України на винахід за заявкою №2001074970 "Пастеризатор".

### **Практичне значення одержаних результатів** полягає в розробці:

- способу пастеризації молока з використанням ІЧ- випромінювання;
- технологічного процесу ІЧ- пастеризації молока;
- комбінованого ІЧ- пастеризатора (КІЧП - 0,3/12);
- проектної документації на пастеризатор молока КІЧП - 0,3/12.

*Реалізація роботи.* Проведено апробацію дослідно - експериментальних зразків КІЧП - 0,3/12 та процесу пастеризації молока на підприємствах: ПСП „Промінь” Харківської області Сахновщинського району, ТОВ „Сахновщинський завод продтоварів” Харківської області (акти впровадження, відповідно, від 25.01.2000 р.; 12.06.2000 р.). Оцінка економічного ефекту від практичного впровадження свідчить про зниження питомих енерговитрат на пастеризацію молока до 12

кВт·год/т, при цьому економічна ефективність (в цінах на 01.10.2001р.) на 100 кг пастеризованого молока становить 2,5 грн.

**Особистий внесок здобувача** в отриманні наукових результатів полягає у постановці та проведенні наукових експериментів, обробці дослідних даних, узагальненні отриманих результатів, формулюванні висновків, підготовці матеріалів до публікації, проведенні заходів щодо впровадження їх у виробництво.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати досліджень доповідались на: міжнародній науково-технічній конференції „Научные и практические аспекты переработки мяса и мясопродуктов” (Харків, 2001р.), міжнародній науково-практичній конференції „Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК” (Харків, 2001р.), щорічних наукових конференціях професорсько-викладацького складу Харківської державної академії технології та організації харчування (Харків, 2000...2001рр.), Харківський державний технічний університет сільського господарства (Харків, 1996...2001рр.).

**Публікації.** За результатами досліджень опубліковано 6 наукових праць, у тому числі 5 статей в наукових фахових виданнях, що затверджені ВАК України, 1 тези доповіді на конференції.

**Структура та обсяг роботи.** Дисертація складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел, що включає 129 найменувань, у тому числі 6 іноземних, і додатків. Роботу викладено на 115 сторінках друкованого тексту, вона містить 12 рисунків, 6 таблиць та 5 додатків.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, визначено її наукову новизну і практичне значення, сформульовано мету та задачі дослідження.

**У першому розділі** “Аналіз сучасного технічного рівня процесу пастеризації” представлено результати проведеного огляду й аналізу науково-технічної і патентної літератури, а також фірмової документації, присвяченої проблемі пастеризації молока. Виявлено характерні недоліки, що властиві традиційним методам пастеризації, та відповідають апаратам і установкам для їх реалізації. Найважливішими серед них є високі енерговитрати на одержання одиниці продукції (пастеризованого молока), що обумовлено застосуванням нагрітих теплоносіїв – гарячої води, пари. Встановлено, що найбільш перспективним методом пастеризації є ІЧ-нагрів молока в турбулентному потоці, однак існуючі установки ІЧ-пастеризації потребують суттєвого удосконалення в напрямку оптимізації геометрії опромінення з метою досягнення рівномірності нагріву продукту і раціоналізації температурно-часового режиму процесу пастеризації.

Роботами Гізатуліна В.Г., Сімонова Б.П., Лопатіна В.М., Ворожейкіної І.А., Жили В.І. та ін. доведено найвищу ефективність застосування

ІЧ-пастеризаторів порівняно з пароводяними установками. Але через недосконалість теоретичного обґрунтування процесу ІЧ-пастеризації не можливо забезпечити параметри режиму пастеризації з високою точністю. У зв'язку з цим проблема створення нових пастеризаційних установок зумовила визначення мети та задач даного дослідження.

**У другому розділі** “Об'єкти та методи досліджень” наведено опис дослідних установок для ІЧ-пастеризації молока, методи дослідження розподілу температури в нагрівальних камерах, а також приведено методи визначення спектральних характеристик продукту пастеризації та джерела ІЧ- випромінювання. Для визначення якості пастеризованого продукту використано стандартні фізико-хімічні та мікробіологічні методи. Математичну обробку результатів досліджень проводили за допомогою стандартних пакетів програми Mathcad.

**У третьому розділі** “Результати досліджень процесу ІЧ-пастеризації з поліпшеною геометрією опромінення об'єкту” теоретично обґрунтовано процес ІЧ-пастеризації молока за запропонованим способом. Опромінення продукту відбувається шляхом встановлення трубчатого ІЧ-нагрівача в камеру пастеризації, в якій під тиском рухається потік молока. Узгодження розрахункових параметрів конструкції ІЧ-нагрівача, температури та електричних величин спіралі з терморадіаційними характеристиками молока яке пастеризується, забезпечує ефективну пастеризацію продукту.

На основі теоретичного розгляду процесу встановлено залежності конструктивних розмірів ІЧ-нагрівача від потужності ІЧ-нагріву та рівномірності прогріву всього продукту в камері ІЧ-пастеризації. При цьому температурний перепад по діаметру

канала становить  $1...2^{\circ}\text{C}$  при швидкості потоку молока  $0,1...0,4$  м/с. Дані умови виконуються при турбулентності з числом Рейнольдса більше 10000 при щільності

теплогового потоку від ІЧ-нагрівача  $(7,5...8) \cdot 10^5$  Вт/м<sup>2</sup>.

Розглянуто можливість розміщення в трубі пастеризатора пучка

ІЧ-нагрівачів, що складається з  $n$  окремих елементів; нагрівачі можна розмістити

симетрично по вершинах правильного шестикутника та в центрі труби. З метою

зменшення великих значень струму в ІЧ-нагрівач, запропоновано використовувати замість одного ІЧ-нагрівача – пучок. Так, при потужності нагріву  $P = 10$  кВт і напрузі струму  $U = 220$  В для одного нагрівача в камері ІЧ-пастеризації маємо опір  $R \approx 4,8$  Ом та силу струму  $I \approx 46$  А. Використання пучка, наприклад, з 7 випромінювачів дозволяє знизити потужність кожного з них до  $P_1 = 1,2 \dots 1,4$  кВт, а силу струму зменшити до  $I_1 = 6 \dots 6,5$  А.

На рис. 1 представлено отримані криві спектрального розподілу випромінювання ніхромової спіралі за різних значень сили струму, при цьому максимум випромінювання  $T$  знаходиться поблизу 2,5 мкм. Підбором робочого струму випромінювача (шляхом встановлення відповідного значення опору) можна забезпечити необхідну температуру і спектральний склад випромінювання.

Рис.1. Спектраграма розподілу ІЧ-випромінювання ніхромової спіралі за різних значень сили струму (А): 1 - 8,5; 2 - 10; 3 - 11,5; 4 - 12,5; 5 - 13; 6 - 14,5

Оптичні характеристики випромінювачів у вигляді спіралей трохи відрізняються від випромінювачів у вигляді прямого дроту тому були проведені дослідження з метою визначення довжини хвилі максимуму випромінювання ( $\lambda_m$ ) ніхромової спіралі за різних значень робочої сили струму ( $I$ ) і коефіцієнта навивки ( $K$ ). За допомогою таких залежностей, представлених у виді графіків (номограм)  $I(K)$  за різних діаметрів дроту спіралі ( $d_c$ ), що відповідають значенню  $\lambda_m$ , можна визначити необхідні параметри спіралі. Приклад такого графіка, отриманого експериментальним шляхом, приведено на рис. 2.

Ефективність роботи ІЧ-пастеризатора залежить від узгодження терморадіаційних характеристик випромінювача та продукту пастеризації, тому вирішується завдання визначення меж спектру пропускання ІЧ-випромінювання для молока за температури  $70^\circ\text{C}$ .

В результаті дослідження оптичних характеристик встановлено, що максимальне пропускання ІЧ-випромінювання сирого молока, лежить в межах  $2,25 \dots 2,4$  мкм (рис. 3).

Рис. 2. Графік залежності сили струму від коефіцієнта навивки ніхромової спіралі при максимумі випромінювання 3,0 мкм і різних значеннях діаметрів спіралі, мм: 1 - 0,6; 2 - 0,7; 3 - 0,8; 4 - 0,9; 5 - 1,0

Зазначений спектральний склад обраний таким чином, що молоко інтенсивно поглинає ІЧ-випромінювання, однак останнє повинно проникати на достатню глибину для забезпечення необхідного ефекту нагрівання.

При виборі спектрального складу випромінювання варто враховувати також характеристики поглинання ІЧ-променів патогенною мікрофлорою молока, зокрема, збудниками туберкульозу. Зазначені характеристики були досліджені на моделі туберкульозних паличок – сухій модернізованій культурі вакцинного штаму БЦЖ – в інтервалі довжин хвиль 0,75...5,0 мкм. Встановлено, що дана культура найбільш інтенсивно поглинає випромінювання поблизу 2,85 і 3,3 мкм, що відповідає смугам поглинання гідроксильними групами  $OH$  - (вода, цукор), аміно  $-NH_2$ - і іміно  $-NH$  - групами (білки) тощо, оскільки мікобактерії туберкульозу містять 80...81% води і 11,5% органічних речовин (рис. 4).

В області, близькій до 2,5 мкм, молоко, бактеріальний концентрат, бактерії БЦЖ пропускають більш як 50 % ІЧ-випромінювання.

Розглянуто оптичні характеристики матеріалів для зовнішньої колби ІЧ- нагрівача з метою вибору найбільш прозорого для ІЧ-променів в межах 2,2...2,4 мкм. Аналіз спектрів пропускання в інтервалі довжин хвиль 0,76...10 мкм дає підставу вважати, що найбільш прозорим для ІЧ-променів з довжиною хвилі 2,25 мкм є кварцове скло марки КІ та фторопластова плівка – фторопласт - 3. Фторопластова плівка наноситься на зовнішню поверхню колби нагрівача з метою уникнення пригару молока, покращення умов експлуатації та надійності пастеризаційної установки в цілому.

Рис. 3. Спектрограма пропускання сирого молока для товщини шару 0,01 мм

Рис. 4. Спектрограми пропускання: 1 - сухого молочного залишку,  
2 - сухих молочнокислих бактерій, 3 - леофілізованої вакцини БЦЖ

Аналізуючи спектрограми молока, молочнокислих бактерій та бактерій БЦЖ, зроблено висновок про доцільність використання джерела ІЧ-випромінювання з довжиною хвилі 2,25 мкм, розміщеного в колбі з кварцового скла марки КІ і покритого плівкою з фторопласту - 3; при цьому ефективна глибина проникання ІЧ-променів в молоко становить 2 мм. Результати теоретичного розрахунку процесу ІЧ-пастеризації і узгодження терморадіаційних характеристик молока та нагрівача було враховано при проведенні експериментальних досліджень на лабораторній установці, яка складається з накопичувальної ємності, вентиля, молочного насоса, молочного фільтра, камери ІЧ-пастеризації, трьохходового вентиля, трубчастого теплообмінника.





Було досліджено дві камери ІЧ-пастеризації, які різняться способом дії ІЧ-випромінювання на продукт пастеризації. Перша модель (контрольна) є моделлю традиційної ІЧ-пастеризаційної установки. Друга модель - запропонована експериментальна камера ІЧ-пастеризації, в якій ІЧ-нагрівач встановлено в потік молока яке пастеризується. Вимірювання температури проводилось за допомогою термопар, розташованих в камері пастеризації по всьому діаметру камери ІЧ-пастеризації в зоні в'язких прошарків руху молока та в центрі потоку.

Під час експерименту визначені залежності температурного перепаду в камері пастеризації від швидкості руху молока та діаметра каналу в камері ІЧ-пастеризації.

Швидкість руху молока змінювалась в межах  $U = 0,036 \dots 0,416$  м/с.

Аналіз графічних залежностей (рис. 5) для експериментальних моделей показує, що при встановленні ІЧ-нагрівача в потік продукту отримано більш рівномірний прогрів всього об'єму молока. При збільшенні швидкості руху молока до 0,4 м/с нерівномірність нагріву в запропонованій моделі становить  $0,5$  °С, а в контрольній -  $1,6$  °С.




Рис. 5. Залежність температурного перепаду в камерах пастеризації від швидкості руху молока:  - з зовнішнім опроміненням продукту;  - з внутрішнім опроміненням продукту

Для другої моделі експериментально визначені оптимальні параметри камери ІЧ-пастеризації. Встановлено, що при діаметрі камери ІЧ- пастеризації 14 мм температурний перепад по діаметру каналу становить  $0,5$  °С, а при діаметрі 7 мм -  $1,2$  °С.

За експериментальними даними (рис. 6) для моделі з внутрішнім розташуванням ІЧ-нагрівача в камері пастеризації визначено значення температури молока на поверхні нагрівача, в середині потоку молока і на внутрішній поверхні камери нагріву та виведено математичну залежність значення температури молока в кожній точці камери пастеризації від швидкості руху  $U$  продукту пастеризації, в вигляді полінома шостого ступеня

$$t(v) = \sum_{n=0}^6 a_n v^n, \quad (1)$$

де  $a_n$  - коефіцієнт полінома.

Рис. 6. Залежність температурного перепаду в камерах пастеризації з внутрішнім опроміненням від швидкості руху молока при діаметрі, мм:  - 7;  - 10;  - 14

Результати експериментальних досліджень температурного перепаду в камері пастеризації ( $d = 14$  мм) від швидкості потоку молока, що представлені на рис. 7, оброблено у вигляді рівняння регресії

$$y = \beta_1 x_1^{\beta_2} x_2^{\beta_3}, \quad (2)$$

де  $y$  - температурний перепад у камері,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $x_1$  - швидкість потоку, м/с;  $x_2$  - діаметр каналу, м;  $\beta_1$  - коефіцієнт;  $\beta_2, \beta_3$  - показники ступеня, ( $\beta_1 = 0,281$ ;  $\beta_2 = 0,575$ ;  $\beta_3 = 0,536$ ).

Ступенева залежність функції пояснюється характером теплообміну в камері під час примусового руху рідини.

На рис. 8 приведено номограму залежності температурного перепаду від швидкості руху молока та діаметру камери ПЧ-пастеризації, що дозволяє у розрахунках камери пастеризації, використовуючи ізолінії, отримати значення температурного перепаду в межах зміни відносних параметрів ( $v, d$ ).

Таким чином, в результаті експериментів встановлено раціональні значення параметрів ПЧ-пастеризації, зокрема: швидкість руху молока в камері пастеризації – 0,4 м/с; діаметр камери – 14 мм. При цьому досягається рівномірний прогрів всього молока з температурним перепадом  $0,5^{\circ}\text{C}$ . В результаті порівняльних даних експериментальних досліджень двох камер ПЧ-пастеризації встановлені значні переваги запропонованої камери над традиційною.

Рис. 7. Залежність температурного перепаду в камері ІЧ-пастеризації від швидкості руху молока

Рис. 8. Номограма ізоліній значень температурного перепаду в камері ІЧ-пастеризації від швидкості руху молока та діаметра камери

**У четвертому розділі** “Розробка енергоекономічної установки для ІЧ-пастеризації молока” наведено установку для пастеризації молока ІЧ-випромінюванням, яка призначена для теплової обробки молока з метою інактивації молочнокислої та патогенної мікрофлори.

Запропоновано комбінований ІЧ-пастеризатор з продуктивністю 300 кг/г, що дозволяє підвищити якість термічної обробки високодисперсних систем і рідинних розчинів, більш ефективно використовувати енергоносії (рис. 10).

Камера ІЧ-пастеризації складається з циліндричного вертикального кор-пусу 1, в якому розташована кільцева камера 11. В камері встановлені ІЧ-нагрівачі 6, які розташовані по вершинах правильного шестикутника і в центрі камери. З метою підвищення турбулентності в камері встановлені перфоровані змішувачі 21. Для утилізації тепла пастеризованого молока запропоновано використовувати секцію регенерації, яка складається зі змієвикового теплообмінника 13, навитого на зовнішню поверхню внутрішньої камери.

Первинне молоко з температурою 10 °С надходить в змієвиковий теплообмінник, де підігрівається пастеризованим молоком до 52 °С і з такою температурою надходить у кільцеву камеру, де пастеризується ІЧ-випромінюванням протягом 3 с.

Пастеризоване молоко надходить в зону між зовнішньою та внутрішньою камерами, де віддає теплоту первинному молоку та з температурою 34 °С виходить з ІЧ-пастеризатора.

Випробування нової секції пастеризації підтвердили її надійність і довговічність, зручність для складання і демонтажу та відсутність пригару молока на поверхні ІЧ-нагрівачів.

Конструкція відрізняється зниженою металоємністю і технологічністю виготовлення, зменшеною вартістю в порівнянні з традиційними камерами пастеризації. Встановлено, що для забезпечення рівномірності температурного поля в камері ІЧ-пастеризації режим руху молока повинен бути турбулентним, при якому число Рейнольдса задовольняє умові  $Re > 10000$ . Під час перебування молока в зоні опромінення не менш 3 с швидкість руху потоку молока при довжині зони 1,5 м повинна становити 0,4 м/с; це означає, що ефективний діаметр поперечного перерізу потоку повинен бути 14 мм.

Результати експериментального дослідження умов можливого пригорання молока показали, що критичних режимів потоку, зв'язаних з цим явищем, при запропонованій геометрії ІЧ-випромінювання практично не існує, що є важливою перевагою в порівнянні з запропонованим раніше способом нагрівання молока зовнішнім ІЧ-нагрівачем. Зазначений режим опромінення забезпечується ІЧ-нагрівачем у вигляді ніхромової спіралі, яку нагріто до  $T \approx 1350$  К.

З урахуванням втрат енергії на кінцях зони опромінення к.к.д. нагрівання складає 90...92%, що позитивно характеризує запропонований спосіб ІЧ-пастеризації. Завдяки високій інтенсивності нагрівання, 14...15 К/с, інактивація мікрофлори відбувається практично миттєво (за 1...2 с). З іншого боку, цього часу недостатньо для деструкції складних білкових з'єднань, тому показники якості молока в результаті пастеризації практично не змінюються, це дуже важливо для подальшої переробки пастеризованого молока.

**У п'ятому розділі** “Практична реалізація результатів досліджень” на підставі результатів проведених досліджень була спроектована і виготовлена партія дослідно промислових зразків розробленої установки для пастеризації молока ІЧ-нагрівом. Дослідження роботи комбінованих ІЧ-пастеризаторів (КІЧП – 0,3/12) у виробничих умовах проводилися з метою перевірки відповідності їх розрахунковим характеристикам та спроможності апаратів задовольняти вимогам ДГСТ щодо

пастеризованого продукту. Випробування проводились в два етапи: 1-й етап – виробничі випробування; 2-й етап – приймальні випробування.

В ході випробувань ставилося завдання щодо визначення фактичних технічних характеристик установки, встановлення пастеризаційного ефекту, що забезпечується установкою, оцінки фізико-хімічних і мікробіологічних показників молока до і після обробки, оцінки якості санітарної обробки при безрозбірному митті устаткування. Дослідженнями встановлено відповідність фактичних характеристик установки розрахунковим.

Установки КІЧП - 0,3/12 впроваджено на підприємствах: ПСП „Промінь” Харківської області Сахновщинського району, ТОВ „Сахновщинський завод продтоварів”

Харківської області (акти впровадження, відповідно, від 25.01.2000 р.; 12.06.2000 р.).

Розроблено практичні рекомендації щодо раціональної експлуатації установки в фермерських господарствах тваринницького профілю. Питомі енергетичні витрати електроенергії при використанні пастеризатора складають 12 кВт·год/т, що майже в 1,5 рази менше, ніж у традиційних пастеризаційних установках. Результати оцінки якості молока, обробленого в ІЧ-пастеризаторі, показали, що різниця в хімічному складі та якості сирого та пастеризованого молока не істотна. Визначення ефекту пастеризації на установці показало, що при пастеризації ІЧ-випромінюванням знищується 99,85...99,98% мікроорганізмів в зрівнянні з початковим вихідним молоком. Даний пастеризаційний ефект, отриманий на установці ІЧ-нагріву, відповідає вимогам до режиму пастеризації, що затверджені Головним управлінням ветеринарної медицини України № 15-1-1-2/129 від 06.04.94 р. Соціальний ефект впровадження установки для ІЧ-пастеризації молока визначається більш повним задоволенням зростаючого попиту населення України на молоко і молочні продукти відповідно до сучасної теорії раціонального харчування, а також загальнонаціональних смаків і традицій населення України в сфері харчування й існуючою потребою в продуктах для дитячого, лікувального і профілактичного харчування.

## ВИСНОВКИ

1. На підставі результатів проведеного літературного огляду по проблемі удосконалення процесу пастеризації і його апаратурного оформлення встановлено наявність загальних істотних недоліків, властивих традиційним способам пастеризації й існуючим установкам для реалізації цих способів. До них відносяться високі питомі енерговитрати на одиницю продукції, недостатня рівномірність нагріву продукту за його об'ємом, складність конструкції і незручність технічного обслуговування пастеризаційних установок. Встановлено, що найбільш перспективним напрямком усунення цих недоліків є розробка ІЧ-пастеризатора з поліпшеною геометрією опромінення продукту.

2. Проведено детальний теоретичний огляд з метою визначення продуктивності нового процесу пастеризації, рівномірності температурного поля в камері ІЧ-пастеризації і к.к.д. процесу. На основі теоретичного розгляду процесу встановлено залежності конструктивних розмірів ІЧ-нагрівача від потужності ІЧ-нагріву та рівномірності прогріву всього продукту в камері

ГЧ-пастеризації, при цьому температурний перепад по діаметру каналу становить  $1...2$  °С при швидкості потоку молока  $0,1...0,4$  м/с. Дані умови виконуються при турбулентності з числом Рейнольдса більше 10000 при щільності теплового потоку від ГЧ-нагрівача  $(7...8) \cdot 10^5$  Вт/м<sup>2</sup>.

3. Розроблено методику експериментальних досліджень з метою встановлення впливу різних чинників на ефективність запропонованого способу пастеризації з розташуванням ГЧ-нагрівачів у потоці продукту який пастеризується. Спроековано і виготовлено експериментальні моделі ГЧ-пастеризаторів та лабораторний стенд для дослідження впливу гідравлічних характеристик потоку на рівномірність нагріву пастеризуемого продукту.

4. Досліджено спектрограми молока, молочнокислих бактерій та бактерій БЦЖ, та встановлено, що максимальне пропущення ГЧ-променів лежить в межах  $2,25...2,4$  мкм, тому доцільно використовувати в якості джерела

ГЧ-випромінювання ніхромову спіраль з довжиною хвилі випромінювання  $2,25$  мкм, розміщену в колбі з кварцового скла марки КІ і покритого плівкою з фторопласту - 3; при цьому ефективна глибина проникання ГЧ-променів в молоко становить  $1,8...2$  мм.

5. Експериментально встановлено, що на ступінь рівномірності температурного поля продукту визначальний вплив роблять швидкість руху продукту через зону ГЧ-нагріву і діаметр каналу руху продукту. Знайдено, що при збільшенні швидкості руху молока

до  $0,4$  м/с рівномірність нагріву в камері ГЧ-пастеризації становить  $0,5$  °С.

Експериментально визначено раціональні діаметр камери ГЧ-пастеризації -  $14$  мм.

6. Розроблено конструкцію нової установки для ГЧ-пастеризації молока з продуктивністю  $300$  кг/т, розрахованої на переважне застосування у фермерських господарствах України. Основною складовою частиною установки є камера ГЧ-пастеризації, у якій нагрів продукту до температури швидкої пастеризації здійснюється ГЧ-нагрівачами, що розміщуються в турбулентний потік молока. Камера містить також змієвиковий теплообмінник, де відбувається попередній підігрів вихідного молока пастеризованим. Питомі енергетичні витрати електроенергії при

використанні пастеризатора складають  $12$  кВт·год/т, що забезпечується ніхромовими спіралями з температурою поверхні  $1350$  К, ступінь

нерівномірності нагріву продукту не перевищує  $0,5$  °С.

7. Проведено іспити експериментального зразка розробленої установки для ГЧ-пастеризації молока в лабораторних і виробничих умовах. Проведені фізико-хімічні та мікробіологічні дослідження пастеризованого молока підтвердили ефективність запропонованої установки у відношенні знищення патогенної мікрофлори молока та підвищення харчової цінності молока, при цьому знищується  $99,85...99,98\%$  мікроорганізмів в зрівнянні з початковим вихідним молоком.

8. Здійснено комплекс заходів щодо впровадження результатів досліджень у практику тваринницьких господарств України. Дослідно-промислові зразки нової установки ГЧ-пастеризації пройшли апробацію в реальних умовах експлуатації. Проведено апробацію дослідно - експериментальних зразків КЧП -  $0,3/12$  та технологічного процесу пастеризації молока на підприємствах: ПСП „Промінь” Харківської області Сахновщинського району та ТОВ „Сахновщинський завод продтоварів” Харківської області. Розроблено практичні рекомендації з раціональної експлуатації установки в фермерських господарствах тваринницького профілю.

9. Оцінено економічний і соціальний ефект практичного впровадження розробленої

установки для ІЧ-пастеризації молока. Відмічено, що економічна ефективність (в цінах на 01.10.2001р.) на 100 кг пастеризованого молока становить 2,5 грн. Соціальний ефект впровадження визначається більш повним задоволенням зростаючого попиту населення України на молоко і молочні продукти відповідно до сучасної теорії раціонального харчування, а також до загальнонаціональних смаків і традицій населення України в сфері харчування й існуючою потребою в продуктах для дитячого, лікувального і профілактичного харчування.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Магда В.І., Кунденко М.П. Состояние и проблемы электрической энергии для пастеризации молока // Питання електрифікації сільського господарства: Зб. наук. пр. – Харків: ХДТУСГ, 1998.– С.128-130.
2. Магда В.І., Кунденко М.П. Исследование и оптимизация параметров камеры нагрева проточных пастеризаторов молока инфракрасного (ИК) электронагрева // Питання електрифікації сільського господарства: Зб. наук. пр.– Харків: ХДТУСГ, 1999. – С. 40-43.
3. 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.
4. Кіптела Л.В., Кунденко М.П., Романченко М.А. Удосконалення інфрачервоного пастеризатора // Прогресивні ресурсозберігаючі технології та їх економічне обґрунтування в підприємствах харчування. Економічні проблеми торгівлі: Зб. наук. пр. – Ч.1.– Харків: ХДАТОХ, 2001. – С.386-391.
5. Кунденко М.П. Розробка нового обладнання для теплової обробки молока // Вісник ХДТУСГ. Проблеми енергозабезпечення в АПК України. – 2001.– №6. – С.464-467.
6. Кунденко М.П., Кіптела Л.В. Прогресивна технологія пастеризації молока із застосуванням електромагнітних хвиль інфрачервоної області спектру // Труды Международ. науч.- практ. конф. ”Научные и практические аспекты переработки мяса и мясопродуктов”.– Харьков: ХГАТОП. – 2001. – С.172-174.

## **АНОТАЦІЯ**

Кунденко М.П. Удосконалення процесу та обладнання для пастеризації молока інфрачервоним випромінюванням.- Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.18.12 - процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв. - Харківська державна академія технології та організації харчування Міністерства освіти і науки України, Харків, 2002.

Дисертацію присвячено теоретичному та експериментальному обґрунтуванню напрямків інтенсифікації процесу пастеризації молока інфрачервоним (ІЧ) випромінюванням та розробці відповідного обладнання.

Експериментально-теоретичними дослідженнями отримано закономірності, що встановлюють зв'язок між параметрами руху продукту пастеризації та геометричними розмірами камери пастеризації. Визначені раціональні параметри процесу пастеризації з узгодженням терморадіаційних характеристик молока та джерела випромінювання.

Розроблена камера пастеризації, яка відрізняється способом дії ІЧ-випромінювання на молоко, а також додатково забезпечена кільцевою камерою зі змієвиковим теплообмінником для попереднього підігріву вихідного молока пастеризованим, що дозволяє значно зменшити витрати електроенергії на пастеризацію.

Здійснено комплекс заходів із упровадження наукових розробок у виробництво шляхом апробації на виробничих підприємствах України.

*Ключові слова:* інфрачервоне випромінювання, терморадіаційні характеристики, камера пастеризації, джерело випромінювання, молоко.

## АННОТАЦІЯ

Кунденко Н.П. Совершенство процесса и оборудования для пастеризации молока инфракрасным излучением. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.18.12 – процессы и оборудование пищевых, микробиологических и фармацевтических производств. – Харьковская государственная академия технологии и организации питания Министерства образования и науки Украины, Харьков, 2002.

Диссертация посвящена теоретическому и экспериментальному обоснованию направлений интенсификаций процессов пастеризации молока инфра-красным (ИК) излучением и разработке соответствующего оборудования.

Проанализированы существующие методы электропастеризации молока, рассмотрены возможности их применения в условиях фермерских хозяйств Украины. Определено, что наиболее приемлемыми на современном этапе развития технологии обработки молока являются электропастеризаторы инфракрасного (ИК) нагрева. Анализ литературных источников по теории и практике процесса пастеризации позволил сделать заключение о том, что микробиологические показатели молока связаны с характеристиками оборудования. Однако для электропастеризации существующие взаимосвязи не конкретизированы в виду недостаточного изучения процесса пастеризации. На основании существующих теоретических предпосылок по пастеризации уточнены методы расчета процесса ИК-пастеризации, параметров камеры ИК-пастеризации в зависимости от режима термообработки молока. Получены закономерности, связывающие параметры камеры и источников ИК-нагрева с режимом пастеризации.

Экспериментальные исследования по уточнению оптических характеристик молока, его компонентов и материалов для ИК-нагревателя в ИК-области спектра, позволили рекомендовать нагреватель с максимальной излучательной способностью при длине волны 2,25 мкм, при этом температура источника ИК-излучения составляет 1350 К. С целью повышения надежности нагревателей, повышения качества пастеризации рекомендовано на наружную поверхность ИК-нагревателей наносить пленку из фторопласта-3.

На основании исследований теплообмена в камерах ИК-пастеризаторов рекомендовано использовать камеру в форме цилиндра с размещенным внутри источником ИК-нагрева, который омывается пастеризованным молоком. Это обеспечивает максимальную площадь теплообмена, уменьшение потерь ИК-излучения и повышение равномерности температурного поля по всему объему камеры пастеризации. Экспериментальными исследованиями установлены



рациональные значения параметров ИК-пастеризации, при этом скорость движения молока в камере составляет 0,4 м/с, диаметр камеры –14 мм. При этих значениях достигается равномерный прогрев всего молока с температурным перепадом по диаметру канала 0,5 °С.

На основании проведенных экспериментально-аналитических исследований предложен комбинированный ИК-пастеризатор. Установлено, что для обеспечения равномерности нагрева режим движения молока в камере должен быть турбулентным с числом Рейнольдса  $Re > 10000$ , при этом молоко находится в зоне ИК-нагрева не меньше 3 с, скорость движения молока при длине зоны ИК-излучения 1,5 м не должна превышать 0,4 м/с.

Камера ИК-пастеризации состоит из вертикального корпуса, в котором установлена кольцевая камера. Внутри данной камеры закрепляются ИК-нагреватели, причем с целью равномерного заполнения цилиндрической камеры они устанавливаются по вершинам правильного шестигранника и в центре в количестве семи штук. С целью повышения турбулентности в камере с ИК-нагревателями устанавливаются перфорированные смесители. Для утилизации тепла пастеризованного молока предложено использовать в комбинированном пастеризаторе секцию регенерации, которая состоит из змеевикового теплообменника, навитого на внешнюю поверхность внутренней камеры. Сырое молоко заливается в змеевиковый теплообменник комбинированного пастеризатора с температурой 10 °С, где подогревается

пастеризованным молоком до температуры 52 °С и с этой температурой попадает в кольцевую камеру для пастеризации ИК-излучением, после чего поступает для отдачи тепла исходному молоку в зону между вертикальным корпусом и кольцевой камерой, где заканчивается процесс пастеризации.

Производственные испытания ИК-пастеризаторов в ООО „Сахновщинский завод продтоваров” Сахновщинского района Харьковской области, ЧСП „Проминь” Сахновщинского района Харьковской области показали: установки обеспечивают эффект пастеризации 99,85...99,98 %. Пастеризационный эффект, полученный на ИК-пастеризаторе, соответствует требованиям к режиму обеззараживания, утвержденным Главным управлением ветеринарной медицины Украины № 15-1-1-2/129 от 06.04.94 как мероприятия по уничтожению возбудителей туберкулеза в молоке.

Экономическая эффективность (в ценах на 01.10.2001г.) на 100кг пастеризованного молока составляет 2,5 грн. Социальный эффект внедрения ИК-пастеризаторов определяется более полным удовлетворением возрастающей потребности населения Украины в молоке и молочных продуктах, а также в существующей потребности в продуктах для детского, оздоровительного и профилактического питания.

*Ключевые слова:* инфракрасное излучение, терморadiационные характеристики, камера пастеризации, источник излучения, молоко.

## THE SUMMARY

Kundenko N.P. Perfecting of the process of pasteurization and equipment for milk pasteurization by infrared radiation. - Manuscript.

Thesis on competition of a scientific degree of the candidate of engineering science on a specialty 05.18.12 - processes and equipment of food, microbiological and pharmaceutical

manufactures. - Kharkov state academy of technology and managing of nourishment, Kharkov, 2002.

The thesis is devoted to the theoretical and experimental substantiation of directions of intensification of milk pasteurization processes by infrared (IR) and development of appropriate equipment.

The regularities which feature the relationship between parameters of motion of the object of pasteurization and geometrical dimensions of the pasteurization chamber have been installed with the help of experimental and theoretical investigations. The optimum parameters of the pasteurization process regarding with thermal radiation characteristics of milk and source of an irradiation are determined.

The pasteurization chamber have been designed which differs by a way of action of IR radiation on milk, and also is additionally equipped with the ring chamber with a coil heat exchanger for a preliminary heating of crude milk by milk been pasteurized, that allows reducing consumption of services for pasteurization.

The complex of measures for introducing of scientific developments in manufacturing have been implemented by approbation them on firms of Ukraine.

*Keywords:* an infrared, thermal radiation characteristic, combined IR pasteurization, milk potable.