

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра електрифікації, автоматизації
виробництва та інженерної екології
Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Горпиняк Микола Валерійович

УДК 620.93

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Обґрунтування системи знезараження молока струмами високої частоти в
процесі пастеризації на фермах ВРХ**

141 “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”
(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

Савченко Л.Г.

к.і.н., доцент

Житомир – 2021

АНОТАЦІЯ

Горпиняк Микола Валерійович. Обґрунтування системи знезараження молока струмами високої частоти в процесі пастеризації на фермах ВРХ. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 141 “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”. – Поліський національний університет, Житомир, 2021.

В магістерській роботі розроблена методика впливу електромагнітного поля СВЧ на молоко в процесі пастеризації дозволяє поліпшити мікробіологічні показники і збільшити термін зберігання на 24 години, при температурі 4 ± 2 °С за рахунок застосування чотирьох резонаторних камер, що забезпечують напруженість електричного поля 14 кВ /см.

Встановлено, що в резонаторі об'ємом 2000 см³ досягається напруженість електричного поля 14 кВ/см, що забезпечує підвищення температури ендогенного нагрівання молока на 4 °С, при якій відбувається вирівнювання поглиненої потужності мікроорганізмом і втрачається за рахунок теплопередачі з його поверхні. Рівномірне ендогенне нагрівання молока забезпечується зі швидкістю 1,0...1,2 °С/с, якщо питома потужність СВЧ генератора становить 8...10 Вт/г, а внутрішній діаметр радіопрозорого молокопроводу – до 3,0 см.

В результаті виробничих випробувань установки для СВЧ знезараження молока, продуктивністю 100...240 кг/год і споживаною потужністю 4,8 кВт у складі теплообмінного апарату, що працює в короткочасному режимі пастеризації, виявлено зниження бактеріального забруднення в молоці з $1,2\times 10^6$ до $0,5\times 10$ КУО/см³. При цьому підвищення температури ендогенного нагрівання молока між двома секціями рекуперації становило 15...16 °С.

Ключові слова: струми високої частоти, знезараження, температура, молоко, продуктивність.

ANNOTATION

Mykola Valeryiovych Horpyniak. Substantiation of milk disinfection system by high frequency currents in the process of pasteurization on cattle farms. – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualification work for a master's degree in the specialty 141 "Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics". - Polissya National University, Zhytomyr, 2021.

In the master's thesis the method of microwave electromagnetic field influence on milk in the process of pasteurization allows to improve microbiological parameters and increase shelf life by 24 hours at 4 ± 2 °C due to the use of four resonator chambers providing electric field strength 14 kV/cm.

It is established that the resonator with a volume of 2000 cm³ achieves an electric field strength of 14 kV/cm, which increases the temperature of endogenous heating of milk by 4 °C, which equalizes the absorbed power by the microorganism and is lost due to heat transfer from its surface. Uniform endogenous heating of milk is provided at a speed of 1.0...1.2 °C/s, if the specific power of the microwave generator is 8...10 W/h, and the inner diameter of the radio-transparent milk pipeline is up to 3.0 cm.

As a result of production tests of the microwave disinfection unit with a capacity of 100 ...240 kg / h and a power consumption of 4.8 kW as part of a heat exchanger operating in the short-term pasteurization mode, a reduction of bacterial contamination in milk from 1.2×10^6 up to 0.5×10^6 CFU/cm³. The increase in the temperature of endogenous heating of milk between the two sections of recovery was 15...16 °C.

Key words: high frequency currents, disinfection, temperature, milk, productivity.

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| ВСТУП..... | 5 |
| РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СПОСОБІВ ТА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ РІДКИХ ПРОДУКТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ ФАКТОРІВ..... | 8 |
| РОЗДІЛ 2. СВЧ УСТАНОВКА ДЛЯ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ МОЛОКА..... | 15 |
| РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ..... | 22 |
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ | 32 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... | 33 |

ВСТУП

Виробництво молока у світі стійко зростає. Причому 24...26% світового молока містить загальне мікробне число вище 1 млн. КУО/см³. При цьому використання традиційної технології пастеризації молока в теплообмінниках, без додаткового впливу, стає не ефективним. Тому використовують технічні пристрої із різними фізичними факторами. Виявлено, що найбільш рентабельним є знезараження такого молока, безпосередньо на молочно-товарних фермах. Відомо, що з використанням джерел ультрафіолетового (УФ) випромінювання для знезараження молока, мікроорганізми залишаються життєздатними, оскільки стерилізується лише поверхню. Питомі енергетичні витрати під час використання актинізатора (УФ-ІЧ впливу) становить 17,8...18,6Вт×год/л.

Для виробництва високоякісного пастеризованого молока (бактеріальна засміченість молока не завжди на допустимому рівні, тобто більше 500 КУО/см³), необхідно вдосконалити технологію пастеризації, наприклад з використанням фізичних факторів. Якість пастеризованого молока залежить від вихідного вмісту загального мікробного числа в молоці. У молоці з високою бактеріальною засміченістю та після пастеризації традиційним способом залишається велика кількість мікроорганізми. Засміченість молока перед пастеризацією традиційною технологією (пластичні теплообмінники) повинна бути не більше 1 млн. КУО/см³. В іншому випадку зниження загального мікробного числа (ЗМЧ) в молоці до необхідного рівня не відбувається, сортність молока не підвищується за мікробіологічними показниками, отже знижується термін його зберігання.

Використання СВЧ випромінювань у технології обробки молока відкриває великі перспективи. Тому ми пропонуємо новий спосіб знезараження молока, що передбачає розміщення СВЧ установки після першої секції регенерації у технологічній лінії пластинчастого теплообмінника. Теплоємність

молока має складну характеристику, зі збільшенням температури вище 45 ° С, вона різко знижується, що дозволяє знизити питомі енергетичні витрати при СВЧ обробці. Отже, початкова температура молока, що надходить у СВЧ, установку повинна бути не нижче 45 градусів.

Головна функція високочастотної установки, що використовується в лінії пастеризації молока – знизити бактеріальну засміченість у молоці під час технологічного процесу пастеризації за допомогою пластинчастого теплообмінника.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є розробка системи СВЧ знезараження молока під час технологічного процесу пастеризації на фермах.

Відповідно до поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- розробити методику впливу електромагнітного поля СВЧ на молоко у лінії пастеризації для покращення мікробіологічних показників;
- розробити систему СВЧ знезараження молока в лінії пастеризації та випробувати у виробничих умовах;
- оцінити технічну ефективність застосування системи СВЧ знезараження молока у технологічній лінії пастеризації.

Об'єкт дослідження: система та технологічний процес СВЧ знезараження молока в лінії пастеризації.

Предмет дослідження: режими СВЧ знезараження молока та конструктивно-технологічні параметри системи.

Методи дослідження. У роботі був використаний ряд конкретних методів: класифікації, статистичного спостереження, порівняльного і факторного аналізу та ін. Основою бази дослідження прийнято фізико-хімічні процеси обробітку рідин СВЧ. В експериментальних дослідженнях використовувалися сучасні засоби виміральної техніки.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Савченко Л.Г., Макачук П.М., Артемчук О.О. **Горпиняк М.В.** Ковальов Б.В. Комплексне забезпечення надійності і якості електропостачання

у сільських розподільних мережах. Збірник тез VII-ї всеукраїнської науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь» 31 березня 2021 року. Житомир : ЖАТК. С. 164-166.

2. Савченко Л.Г., Артемчук О.О. **Горпиняк М.В.** Генераторна установка як елемент системи електропостачання сільськогосподарських машин. Інноваційні технології в АПК: збірник тез доповідей VIII всеукраїнської науково-практичної конференції, 20-21 травня 2021 р., м. Луцьк [Електронний ресурс]. Луцьк: Луцький НТУ, 2021. С. 107-109.

3. Савченко Л.Г., Макаруч П.М., Артемчук О.О. **Горпиняк М.В.** Ковальов Б.В. Особливості несиметричних та неповнофазних режимів . IV Всеукраїнська науково-практична інтернет конференція «Сучасні технології в енергетиці, електромеханіці, системах управління та машинобудуванні» (Бахмут 25-26 листопада 2021 р.), Бахмут :ННПП «УПА». С. 64-65

Практичне значення одержаних результатів. Практичний інтерес представляє розроблена, надвисоко-частотна установка для СВЧ знезараження молока і випробувана у виробничих умовах у складі технологічної лінії пастеризації, що дозволяє поліпшити мікробіологічні показники і збільшити термін зберігання.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 16 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 35 сторінок комп'ютерного тексту, містить 1 таблицю і 16 рисунків.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СПОСОБІВ ТА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ РІДКИХ ПРОДУКТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ ФАКТОРІВ

Вдосконалення установок і систем для технологічного процесу пастеризації молока на фермах і комплексах пов'язані з використанням більш продуктивніших і ефективніших агрегатів. В даний час покращення процесу пастеризації молока досягається в основному за рахунок:

- застосування нових поліпшених пластинчастих теплообмінних апаратів;
- ефективного використання тепла та холоду в технологічних лініях;
- Застосування нових методів обробки молока [1-5].

Одним із найбільш перспективних методів обробки молока є застосування інфрачервоного та УФ випромінювань, а також енергії електромагнітних випромінювань спектра радіохвиль. Це дозволяє забезпечити безконтактну передачу енергії від джерела до молока. Дослідження перших апаратів для обробки рідин із застосуванням ІЧ та УФ випромінювань, показала значну економічну ефективність та високу якість обробки молока [1-5].

Спосіб обробки молока ЕМ випромінюванням має ряд переваг перед стандартною обробкою. Для знищення мікрофлори в молоці вдаються до теплової пастеризації, яка полягає у нагріванні до температури 65...85°C та витримки від 30 хв до 10 с залежно від температури. Залежність між температурою пастеризації t та необхідною витримкою τ визначається рівнянням $\ln \tau = 36,84 - 0,48 \times t$ [6].

Режим пастеризації молока має забезпечити придушення патогенних мікроорганізмів, за збереження всіх його якостей. При стерилізації знищуються всі мікроорганізми, які розміщені в продукті. Найбільшу збереженість та якість молока можна досягти при його обробці в місцях його отримання, у господарствах.

Схема 1. Установа для обробки молока інфрачервоним опроміненням. Установа УОМ-ИК-1 забезпечує пастеризацію молока продуктивністю 1 т/год при початковій температурі від 5 до 40 °С і температурі пастеризації 77...81°С (рисунок 1.1.). Питома витрата електричної енергії становить 0,017...0,021 кВт-год/т. Потужність 20 квт. Установа складається з зрівнюючого баку, електрогідравлічного перепускового клапану, пульта управління, молочного насосу, інфрачервоного пастеризатора, трубчастого витримувача, пластинчастого апарата з секціями теплообміну. Секції інфрачервоного нагріву мають шістнадцять U-подібних трубок кварцового скла, на яких навиті спіралі з ніхромом, що включені в електричний ланцюг паралельно. [6,11].

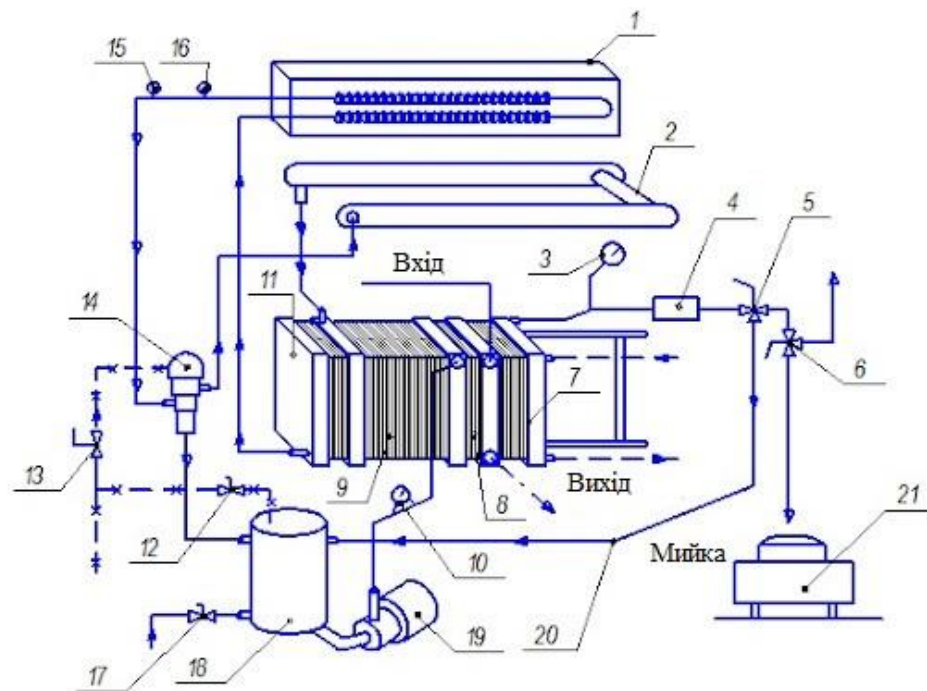


Рис. 1.1. Схема пастеризатора УОМ-ИК-1: 1 – інфрачервоний опромінювач (пастеризатор); 2 – трубчастий витримувач; 3 – манометричний термометр; 4 – оглядова ділянка; 5, 6 – триходові крани; 7 – секція охолодження холодною водою; 8 – секція охолодження водою; 9 – секція рекуперації; 10 – манометр; 11 – пластинчастий апарат; 12, 13 – вентилі; 14 – перепусковий клапан; 15 – термометр; 16 – термометр опору; 17 – прохідний молочний кран; 18 – вирівнювальний бак; 19 – молочний насос; 20 – мийний трубопровід; 21 – резервуар для зберігання молока.

Трубочастий витримувач утворений двома трубками з харчової нержавіючої сталі, з'єднаними послідовно. Технологічний процес починається з надходження молока в вирівнювальний бак. Насос направляє молоко в секції рекуперації, де відбувається теплообмін з гарячим молоком (пастеризованим), далі на пастеризацію в секцію ІЧ опромінення і при температурі 81...86 °С, через перепускний клапан проходить у витримувач. Потім молоко прямує в рекуператор, де віддає теплоту, потоку холодного молока. Молоко, яке охолоджене в секції рекуперації надходить послідовно через обидві секції охолоджувача і далі в резервуар для зберігання.

При пониженні температури пастеризації нижче 76°C пропускний канал повертає молоко на повторний обігрів. У країнах євросоюзу розроблені ІЧ пастеризатори (актинатори) для харчових рідин. Вони працюють за рахунок високої поглинальної здатності молока до ІЧ променів. При ІЧ опроміненню в тонкому шарі нагрівання молока відбувається дуже швидко при невисоких витратах електроенергії, термін збереження молока зростає в 1,5 рази [5].

Схема 2. Електродні пастеризатори (рис. 1.2.) прості за будовою та принципом дії, але експлуатація цих пастеризаторів пов'язана з цілим рядом складнощів. Титанові електроди не покриваються відкладеннями навіть при щільності струму, що в 3...5 разів перевищує допустиме значення.

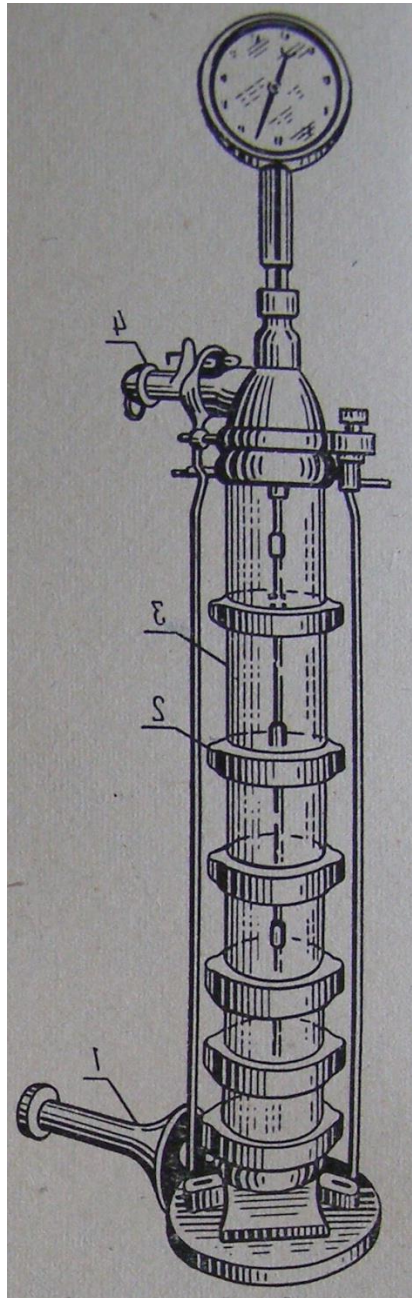


Рис. 1.2. Електродний пастеризатор Атена: вхідний та вихідний патрубки; 2 – графітовий електрод; 3 – скляний циліндр.

Схема 3. Високочастотна пастеризація відрізняється швидкодією та рівністю прогріву молока, що дозволяє забезпечити мінімальні зміни фізико-хімічних властивостей. ВЧ пастеризатор Е. Виноградова (рисунок 1.3) проточного типу має циліндричну камеру з ізолювального матеріалу [5].

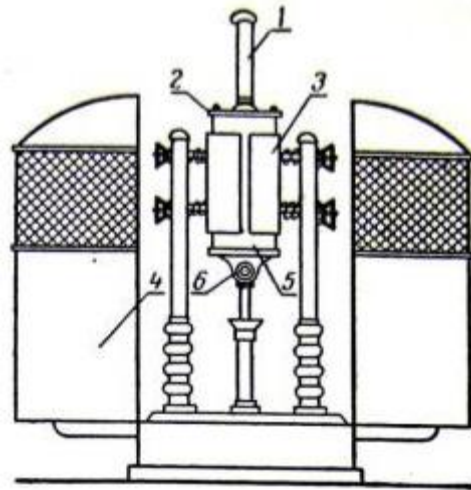


Рис. 1.3. Високочастотний пастеризатор Виноградова: 1 – молокопровід; 2 – верхня крихта; 3 – пластина високочастотного конденсатора; 4 – захисний кожух; 5 – скляний циліндричний посуд (камера нагрівання); 6 – молокоприймальний отвір

За результатами досліджень Е. Виноградова, кращі результати пастеризації можна досягнути при частотах 36...51 МГц і швидкості нагрівання 40 °С в секунду. На відміну від низькочастотних (електродних) пастеризаторів, у яких теплоутворення відбувається в основному у водяній частині молока, при високочастотній пастеризації відбувається пряме нагрівання і інших складових молока, зокрема мікроорганізмів, що дозволяє здійснювати селективне нагрівання і за завдяки цьому знижувати температуру пастеризації до 48 °С, вибравши необхідну частоту, найбільш шкідливу для мікроорганізмів. Затрати електроенергії у високочастотних пастеризаторах досить висока і становить 0,05...0,06 кВт×год/л.

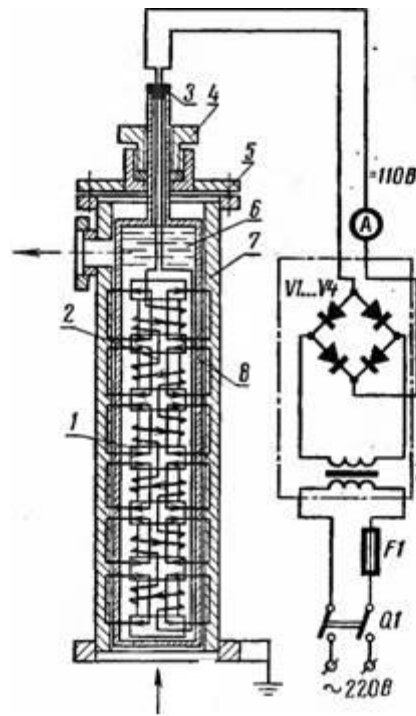


Рис. 1.4. Апарат для магнітної обробки води: 1 – керн; 2 – котушка електромагніту; 3 – пробка; 4 – штуцер; 5 – кришка; 6 – масло трансформаторне; 7 – корпус; 8 – кожух латунний.

При цьому у воді відбувається ряд фізико-хімічних змін і кристали шламового накипу погано зчіплюються зі стінками [5]. Швидкість води 0,4... 1 м/с, напруженість магнітного поля 13...19А/м, температура води трохи більше 60...70°C.

Схема 5. Знезараження молока ультрафіолетовим та інфрачервоним опроміненням (актинізація) здійснюють за допомогою установок актинізаторів, що встановлюються в потокову технологічну лінію первинної обробки молока [3]. Збагачене вітаміном молоко з картера ультрафіолетового опромінення поступає в іншу секцію, ще підігрівається і надходить для пастеризації в картер ІЧ, де встановлено шість ІЧ випромінювачів з циліндричними відбивачами.

Продуктивність актинізаторів від 0,5 до 5 т/год. Споживана потужність на пастеризацію 1 л молока 12...16 Вт, що приблизно в 3 рази нижче, ніж при використанні теплообмінних апаратів. Проведено випробування активізатора, продуктивністю 500 л/год.

Як показали результати. мікробіологічного і хімічного дослідження молока, ефективність пастеризації, при температурному режимі обробки молока 85 °С, становить 99,83...99,99%, а стійкість при зберіганні в холодильнику (+5 °С) – 8...10 діб, при кімнатній температурі (+20°С) – 36...60 год, в термостаті (37°С) – 14...20 год. Енерговитрати становлять 17,8. 18,6 Вт×год/л.

Висновки по розділу

Встановлено, що найбільш перспективним є розробка способу і технічного пристрою для знезараження молока з використанням фізичних факторів. При стерилізації молока термообробка має бути такою, щоб загинули спори всіх хвороботворних мікробів. СВЧ нагрівання має ту перевагу.

РОЗДІЛ 2

СВЧ УСТАНОВКА ДЛЯ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ МОЛОКА

Надвисокочастотна установка для знезараження молока складається:

- з двох модулів, кожен з яких містить два джерела СВЧ енергії 1, із загальною резонаторною камерою 2 низької напруженості у вигляді паралелепіпеда;

- з двох додаткових резонаторних камер 3 низької напруженості, циліндричної форми з кришкою 4, (розташованих у кожному модулі) всередині яких знаходяться відповідний випромінювач 5 і гнучкий молокопровід 6, покладений у вигляді спіралі;

- загального молокопроводу 7 з діелектричного матеріалу, з екрануючою трубкою 8 і металевим обплетенням 9, з патрубками для подачі молока 10 і зливу обробленого молока 11;

- перекачувального насоса 12 та лічильника молока 13.

Запобігання випромінювання через отвір для молокопроводу здійснюється застосуванням трубок 8 з ферромагнітного матеріалу певної довжини. Такі трубки є граничними хвилеводами і практично не пропускають СВЧ енергію. Діелектричний молокопровід 7 поза хвилеводу має заземлену металеву оплетку 9. Патрубки для подачі молока 10 і для зливу обробленого молока 11 містять вентиля, що дозволяють регулювати витрату молока; Довжина гнучкого молокопроводу 6, укладену в додаткову резонаторну камеру, впливає на тривалість впливу електромагнітного поля надвисокої частоти

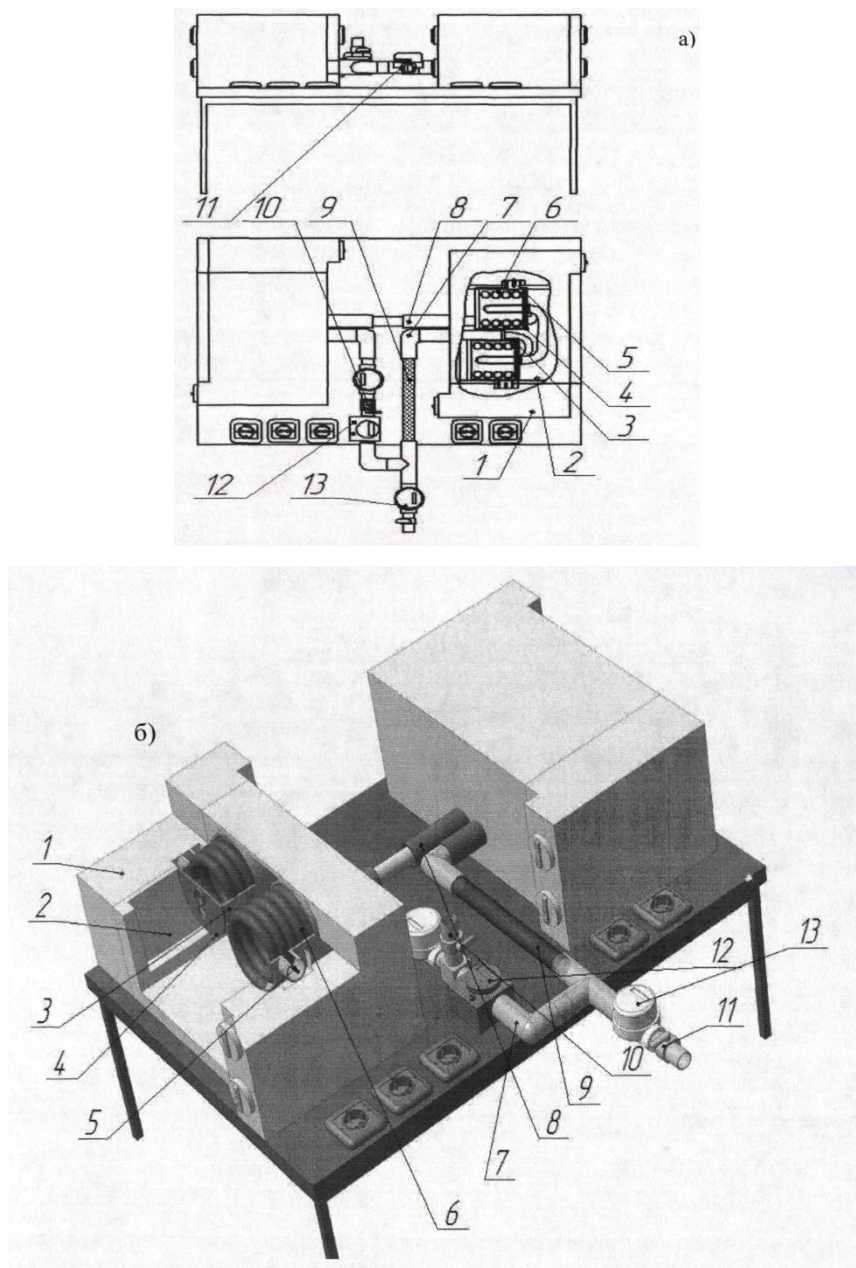


Рис. 2.1. Загальний вигляд СВЧ установки для знезараження молока: а) схема; б) просторове зображення: 1 – блок джерела СВЧ енергії; 2 – загальна резонаторна камера низької напруженості; 3 – додаткова резонаторна камера високої напруженості; 4 – кришка додаткової резонаторної камери; 5 – випромінювач; 6 – гнучкий діелектричний молокопровід, укладений у додаткову резонаторну камеру; 7 – загальний контур молокопроводу; 8 – екрануюча трубка; 9 – металеве обплетення; 10 – патрубок для подачі молока; 11 – патрубок для зливу обробленого молока; 12 – насос, що перекачує; 13 – лічильник молока.

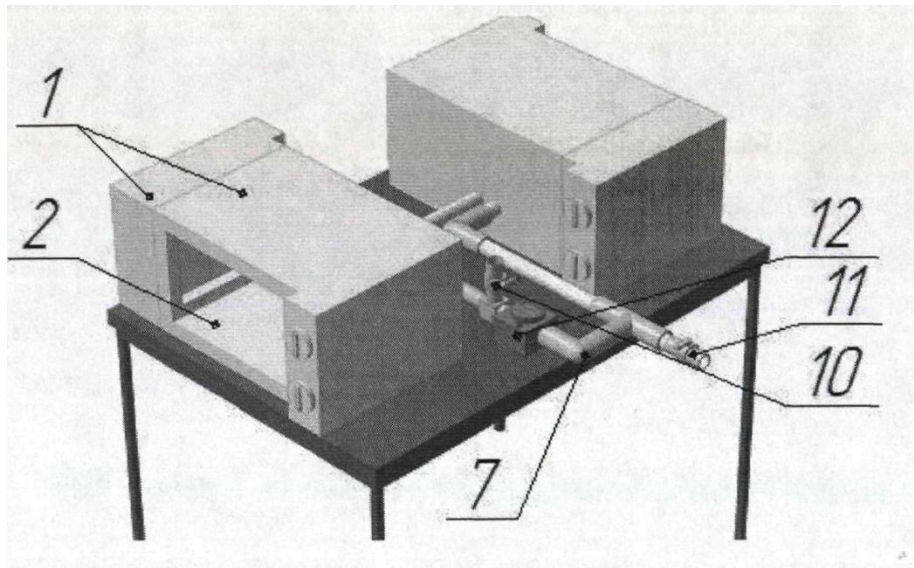


Рис. 2.2. Розташування двох модулів СВЧ установки для знезараження молока на монтажному столі: 1 – блок джерела СВЧ енергії; 2 – загальна резонаторна камера низької напруженості; 7 – загальний контур молокопроводу; 10 – патрубок для подачі молока; 11 – патрубок для зливу обробленого молока; 12 – перекачуючий насос.

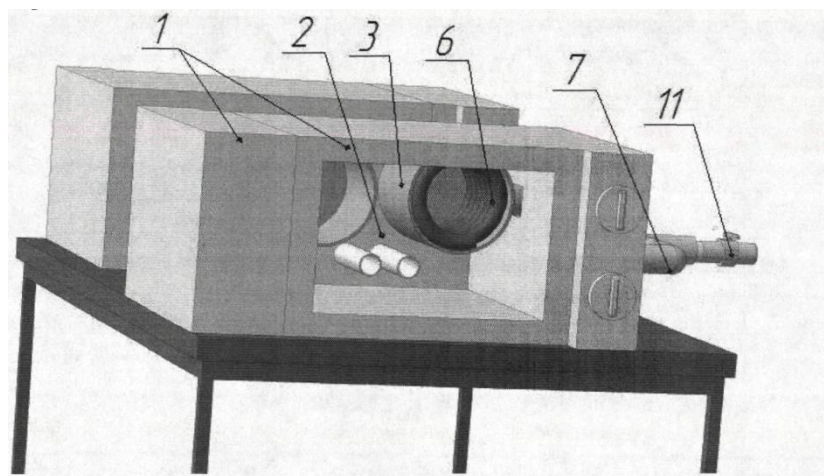
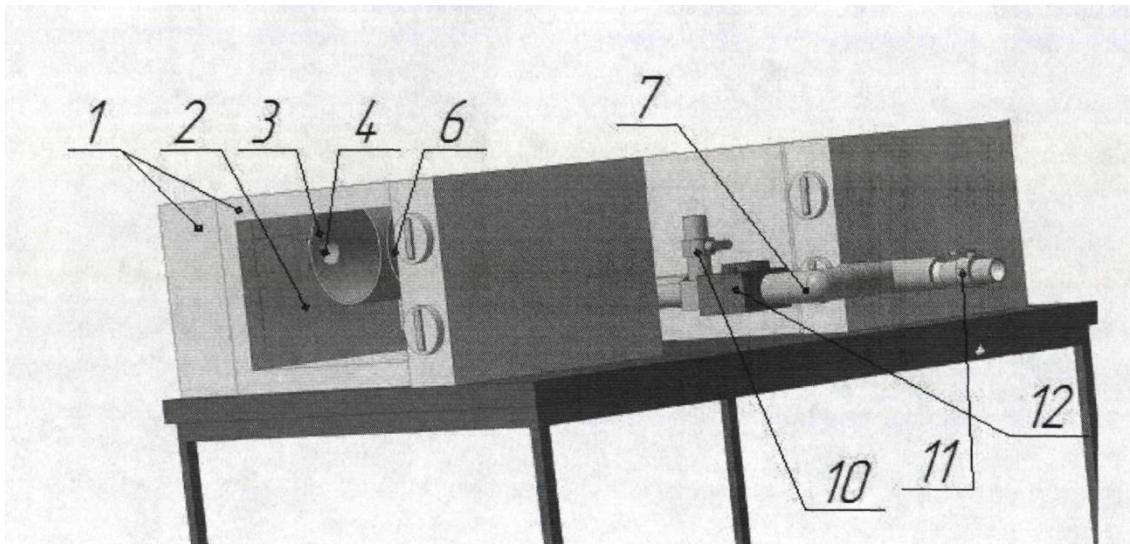


Рис. 2.3. Розташування додаткових резонаторів з діелектричним молокопроводом, всередині загальної резонаторної камери в одному модулі СВЧ установки для знезараження молока: 1 – блок джерела СВЧ енергії; 2 – загальна резонаторна камера низької напруженості; 3 – додаткова резонаторна камера високої напруженості; 6 – гнучкий діелектричний молокопровід, укладений у додаткову резонаторну камеру; 7 – загальний контур молокопроводу; 11 – патрубок для зливу обробленого молока.



б)

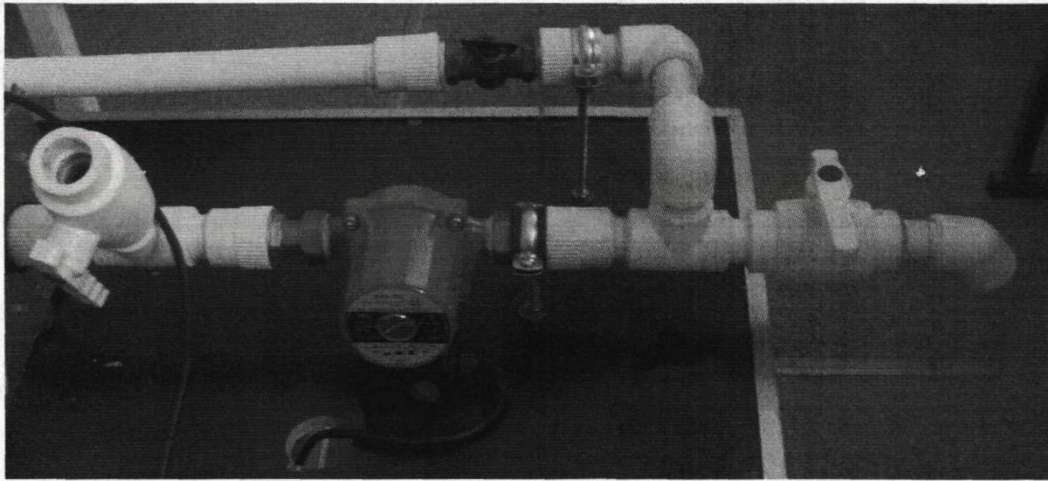


Рис. 2.4. Розташування випромінювача всередині додаткової резонаторної камери: а) – просторове зображення; б) – реальні конструктивні елементи; 1 - блок джерела СВЧ енергії; 2 – загальна резонаторна камера низької напруженості; 3 – додаткова резонаторна камера високої напруженості; 4 – кришка додаткової резонаторної камери; 6 – гнучкий діелектричний молокопровід, укладений у додаткову резонаторну камеру; 7 – загальний контур молокопроводу; 10 – патрубок для подачі молока; 11 – патрубок для зливу обробленого молока; 12 – насос.

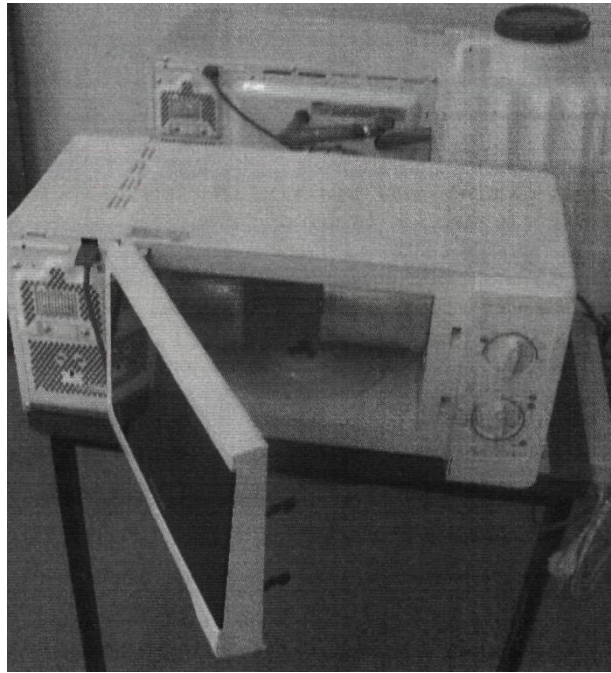


Рис. 2.5. Реальне виконання СВЧ установки для знезараження молока

На рис. 2.6 представлена схема технологічного процесу знезараження молока у СВЧ установці.

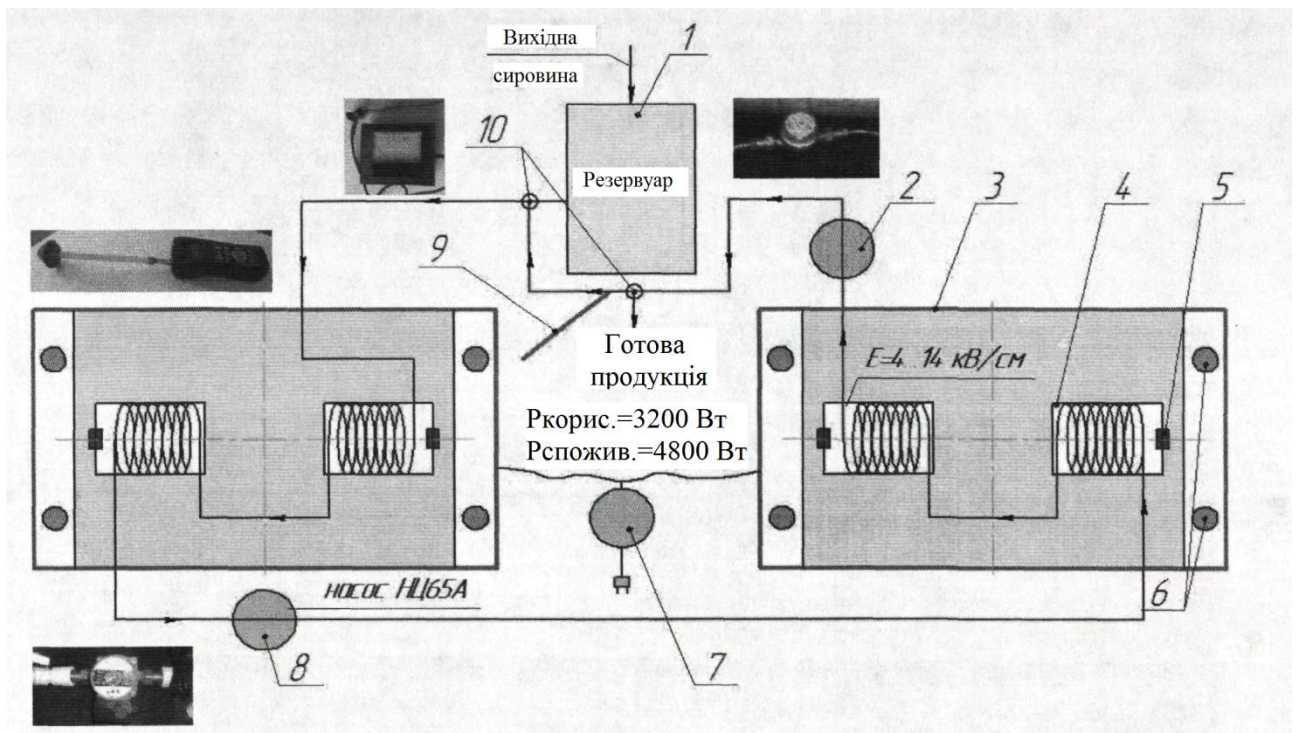


Рис. 2.6. Схема технологічного процесу знезараження молока у СВЧ установці: 1 – резервуар; 2 – лічильник молока; 3 - блок СВЧ генераторів; 4 – додатковий резонатор; 5 – випромінювач; 6 - регулятор потужності та таймер; 7 – ватметр; 8 – відцентровий насос; 9 - датчик температури (термопара)

Вихідна сировина, після секції пастеризації, температурою не менше 75 °С, заливають у резервуар 1, звідки за допомогою насоса молоко перекачують молокопроводом через чотири додаткові об'ємні резонатори 4. Цикл повторюють кілька разів, поки перевищення температури в молоці не досягне 16... 20 °С, у разі потреби зниження загального мікробного числа до двох разів. Якщо ступінь зниження ОМЧ більше двох, то кількість циклів слід збільшити, при цьому температура молока досягає температури кипіння.

Швидкість перекачування молока, отже тривалість впливу регулюється потужністю насоса НЦ65А від 30 до 65 Вт. СВЧ установка зібрана з двох блоків 3, кожен з яких у загальному екранному корпусі містить два джерела енергії 5. Причому, джерела випромінюють СВЧ енергію всередині додаткової резонаторної камери 4. Вони виконані у вигляді циліндра, ємністю 2 літри, глибиною довжини хвилі, тобто 12,24см. Таку СВЧ установку за продуктивністю (100...240 кг/год) стикувати з продуктивністю технологічної лінії пастеризаційно-охолоджувальної установки (1000кг/год) складно, тому необхідно мати додатковий резервуар-накопичувач, після секції пастеризації, де температура молока становить 75 °С. Споживана потужності СВЧ установки 4800 Вт, корисна – 3200 Вт, напруженість електричного поля всередині додаткового резонатора становить 4...14 кВ/м. Стикувати два джерела випромінювань СВЧ енергії всередині одного об'ємного резонатора складно, хоча це дозволить збільшити напруженість електричного поля. Середня напруга електричного поля. Для знищення бактерій, хоча б вегетативної форми, необхідно забезпечити рівності поглинутої мікроорганізмами енергії та енергії втрат через поверхню, що тепло віддає, а це можливо тільки при напруженості електричного поля вище 4...14 кВ/м. Для забезпечення такої напруги необхідно зменшити ємність резонатора та збільшити його добротність. Тому кожен випромінювач знаходиться в додатковому циліндричному резонаторі, а загальний резонатор служить екранним корпусом. Причому слабкий потік випромінювань усередині загального екранного корпусу буде викликаний

крайовими ефектами в місцях стикування додаткових резонаторів до джерела СВЧ енергії.

Висновок по розділу. Технічна новизна конструктивного виконання СВЧ установки.

Розроблена СВЧ установка для знезараження рідини, з метою збільшення напруженості електричного поля, містить робочі камери, виконані у вигляді циліндричних резонаторів малого об'єму, що містять всередині гнучкий молокопровід, розташовані під загальним екранним корпусом, утворюючи окремі блоки. Причому молокопроводи з'єднані між собою за межами резонаторів і блоків, утворюючи замкнене коло через відцентровий насос і резервуар-накопичувач, що містить патрубки для подачі сировини та зливу готової продукції.

Рациональною моделлю СВЧ установки для знезараження молока є установка, розроблена на базі побутових мікрохвильових печей, корисною потужністю 800 ... 1000 Вт, як найдоступніші, прості і надійні по експлуатації генератори.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Найбільш суттєвими факторами, що впливають на ефективність надвисокочастотного знезараження молока, є: тривалість та швидкість ендогенного нагріву, питома потужність генератора, напруженість електричного поля. Результати дослідження процесу знезаражування молока за рахунок впливу електричного поля високої напруженості СВЧ діапазону наведені нижче. Свіжовидоєнне охолоджене до 6 градусів молоко розподіляли на 6 варіантів, в триразовій повторності. Два варіанти не пастеризували, два пастеризували за традиційною схемою в короткочасному режимі і ще два варіанти піддавали знезараження за допомогою розробленої СВЧ установки, після секції пастеризації. Всі шість варіантів зберігали за відповідних температур 5 і 10 °С. Через кожні чотири години на першу добу і через 8...10 годин на другу і третю добу проводили посів для перевірки на бактеріальну забрудненість. Результати показали, що тривалість зберігання молока збільшується з 33 до 48 годин при температурі зберігання 10 градусів, якщо після традиційної пастеризації його знезаражувати в електромагнітному полі високої напруженості СВЧ діапазону (рис. 3.1). Загальне мікробне число не перевищило при цьому допустимого для молока першого сорту 500 тис. КУО/см³.

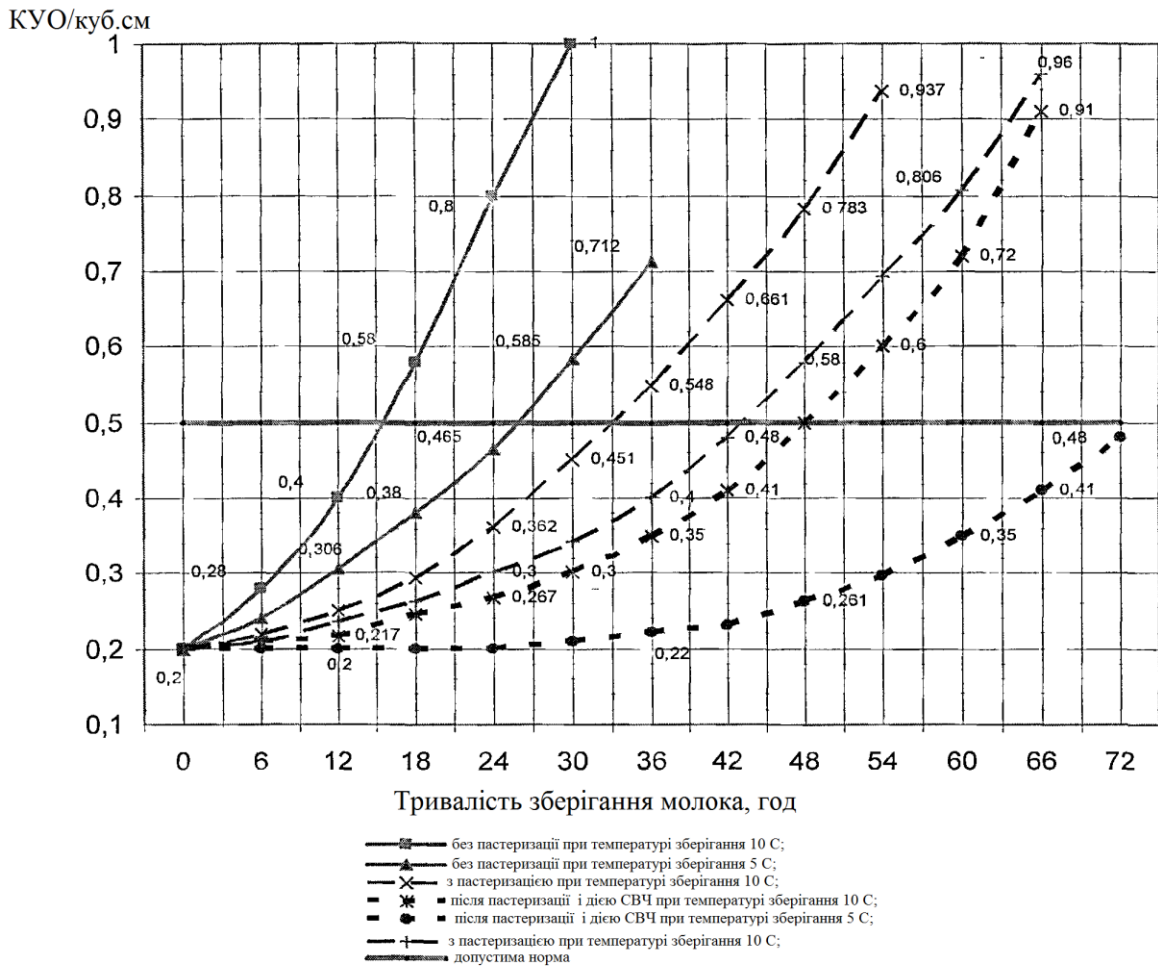


Рис. 3.1. Графік зміни вмісту загального мікробного числа у молоці без пастеризації, після пастеризації та додаткового впливу СВЧ залежно від тривалості та температури його зберігання (10 °C, 5 °C).

Дослідження динаміки нагріву молока СВЧ показують (рис. 3.2), що підвищення його температури нагріву з 45 до 61 °C (після секції рекуперації) можна досягти за 8...20 с, залежно від питомої потужності генератора 8...1 ,6 Вт/г відповідно. Зі збільшенням жирності молока з 2,5 до 6% швидкість його нагрівання збільшується на 1...4°C.

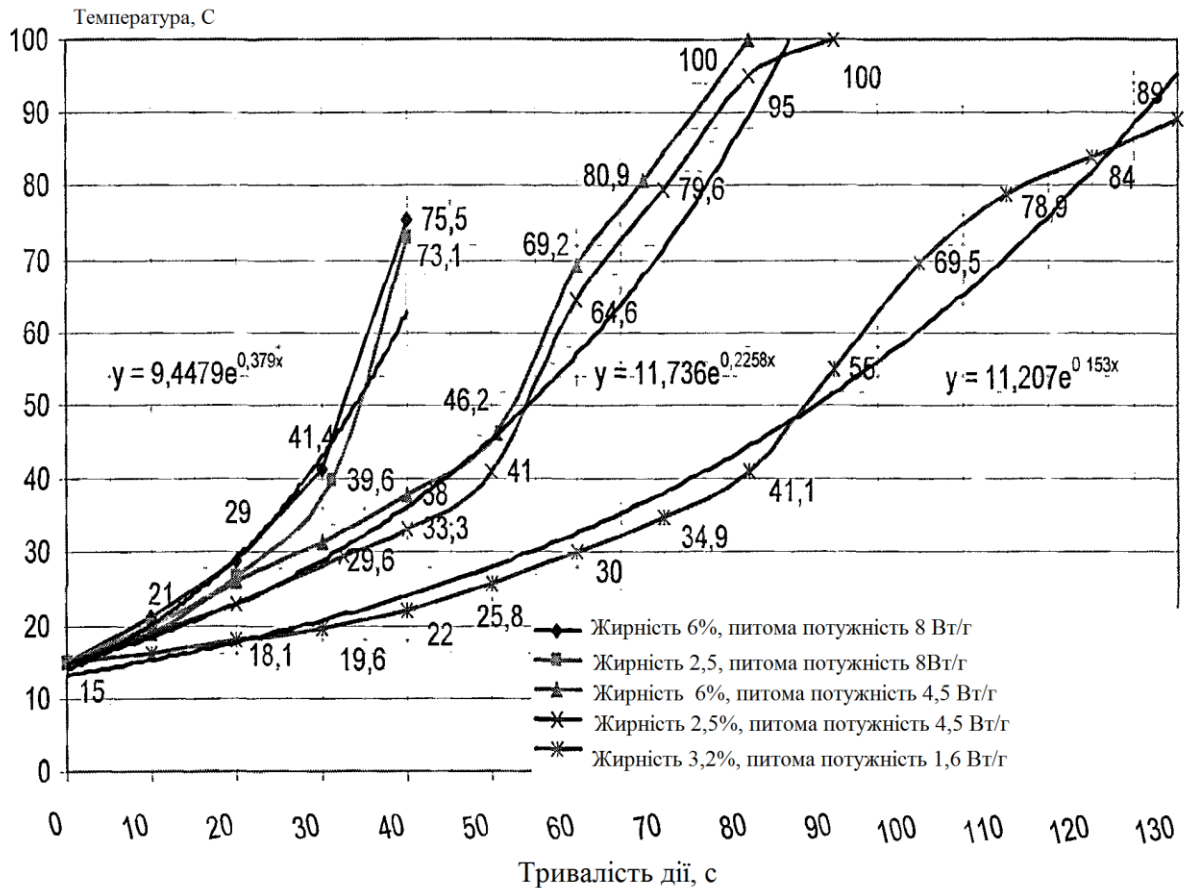


Рис. 3.2. Динаміка нагрівання молока різної жирності СВЧ при різній питомій потужності

Дослідження, проведені на молоці, що містить у вихідному стані ЗМК, дорівнює $1,045 \text{ млн. КУО/см}^3$ показують, що при перевищенні температури ендогенного нагріву молока на $20 \text{ }^\circ\text{C}$ за $20\dots 23 \text{ с}$, при питомій потужності 10 Вт/г , вміст ЗМК знизиться до $500 \text{ тис. КУО/см}^3$ (рис. 3.3). Зниження ЗМК при перевищенні температури ендогенного нагрівання описується виразом:

$$\text{ЗМК} = 1045,3 \times e^{-0,398\Delta T}, \text{ КУО/см}^3. \quad (3.1)$$

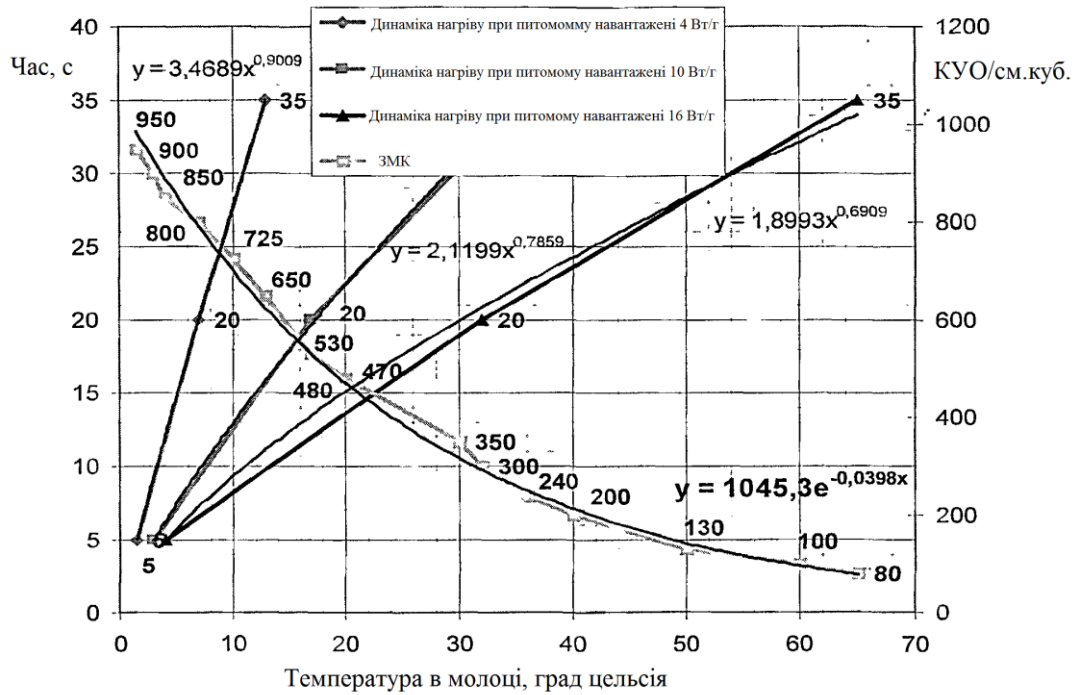


Рис. 3.3. Залежність зниження загального мікробного числа від перевищення ендogenous нагріву молока і його динаміка нагріву при різній питомій потужності.

За основними показниками біохімічного аналізу проб молока відхилень не було відзначено і перебували вони у межах помилки досліду. За рахунок циклічного впливу електромагнітного поля високої напруженості СВЧ діапазону відбувалося придушення життєдіяльності мікроорганізмів в молоці.

Для визначення ефективних технологічних параметрів проводили випробування установки для СВЧ знезараження молока у виробничих умовах.

Для обґрунтування режимів знезараження молока скористалися матрицею планування 3-х факторного активного експерименту (табл. 3.1).

Змінними факторами є: x_1 – питома потужність СВЧ генератора, Вт/г; x_2 – тривалість дії, с; x_3 – щільність молока, кг/м.

Критеріями оптимізації є: Y_1 – швидкість нагрівання молока, °С/с; Y_2 – перевищення температури нагрівання молока °С; Y_3 – продуктивність СВЧ установки, кг/год; Y_4 – загальне мікробне число, ЗМК/см³ (рис. 3.4).

Таблиця 3.1 – Матриця планування експерименту з оптимізації режимів знезараження молока в робочій камері СВЧ установки (початкова температура 75 °С)

| № | Зміни фактори | | | | | | | | Критерии оптимизации | | | | | |
|----|-----------------------------|------------------|-----------|-------------------|------------------|-------------|---------------------------------------|------|-------------------------|---------------------------|----------------|-------------------------|----------------|--|
| | Питома потужність СВЧ, Вт/г | | | Тривалість дії, с | | | Щільність сировини, кг/м ³ | | Швидкість нагріву, °С/с | Підвищення температури, С | | Продуктивність, кг/год. | | ЗМК ×10 ³ КУО/см ³ |
| | X ₁ | P _{пит} | G маса, г | X ₂ | T (4 генератора) | τ (4 циклу) | X ₃ | ρ | | Y ₁ | Y ₂ | | Y ₃ | |
| | | | | | | | | | (4 генератора) | (4 циклу) | 1 генератор | 4 генератора | 4 генератора | |
| 1 | + | 16 | 50 | + | 35 | 140 | + | 1037 | 1,0 | 65 | >100 | 2,8 | 20,6 | 30 |
| 2 | + | 16 | 50 | - | 5 | 20 | - | 1025 | 0.8 | 4 | >100 | 36 | 144 | 850 |
| 3 | - | 4 | 200 | + | 35 | 140 | - | 1025 | 0,2 | 13 | 80 | И,1 | 82,3 | 650 |
| 4 | - | 4 | 200 | - | 5 | 20 | + | 1037 | 0.3 | 1,5 | 10 | 144 | 576 | 950 |
| 5 | 0 | 10 | 80 | 0 | 20 | 80 | 0 | 1031 | 0,6 | 21 | >100 | 8,2 | 57,6 | 470 |
| 6 | - | 4 | 200 | 0 | 20 | 80 | 0 | 1031 | 0,2 | 7 | 56 | 20,6 | 144 | 800 |
| 7 | + | 16 | 50 | 0 | 20 | 80 | 0 | 1031 | 0.9 | 32 | >100 | 5 | 36 | 300 |
| 8 | 0 | 10 | 80 | - | 5 | 20 | 0 | 1031 | 0,6 | 3 | 24 | 57,6 | 230 | 900 |
| 9 | 0 | 10 | 80 | + | 35 | 140 | 0 | 1031 | 0,6 | 36 | >100 | 4,8 | 33 | 240 |
| 10 | 0 | 10 | 80 | 0 | 20 | 80 | - | 1025 | 0,5 | 17 | 38 | 8,2 | 57,6 | 530 |
| 11 | 0 | 10 | 80 | 0 | 20 | 80 | + | 1037 | 0,6 | 21 | | 8,2 | 57,6 | 450 |
| 12 | Контрольний варіант | | | | | | | 1027 | Свіже молоко | | | | | 1500 |

Оптимальні режими: перевищення температури 15...16°С; продуктивність 100...240 кг/год; ЗМК нижче 500 000 КУО/см³. Отримані емпіричні вирази характеризують залежність швидкості нагрівання молока, продуктивності установки, зміна загального мікробного числа від параметрів, що варіюються. Вони дозволяють оптимізувати питому потужність генератора і тривалість процесу знезараження молока при певних значеннях щільності молока.

Оцінка результатів досліджень ЗМК за допомогою критеріїв Кохрена, Фішера і Стюдента показала, що результати відтворювані, а отримані математичні моделі процесу знезараження молока значущі.

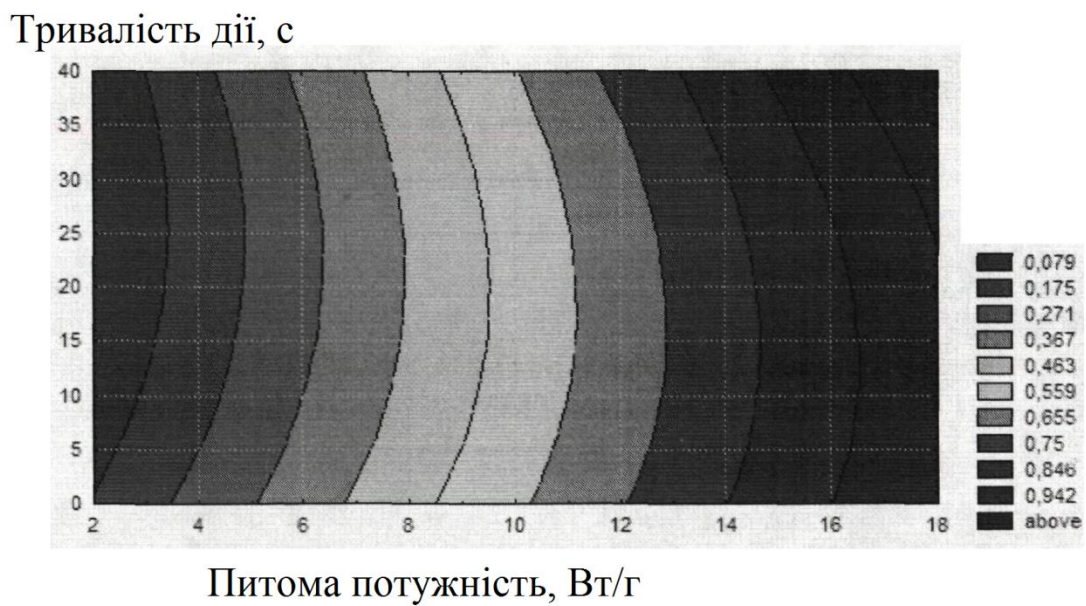
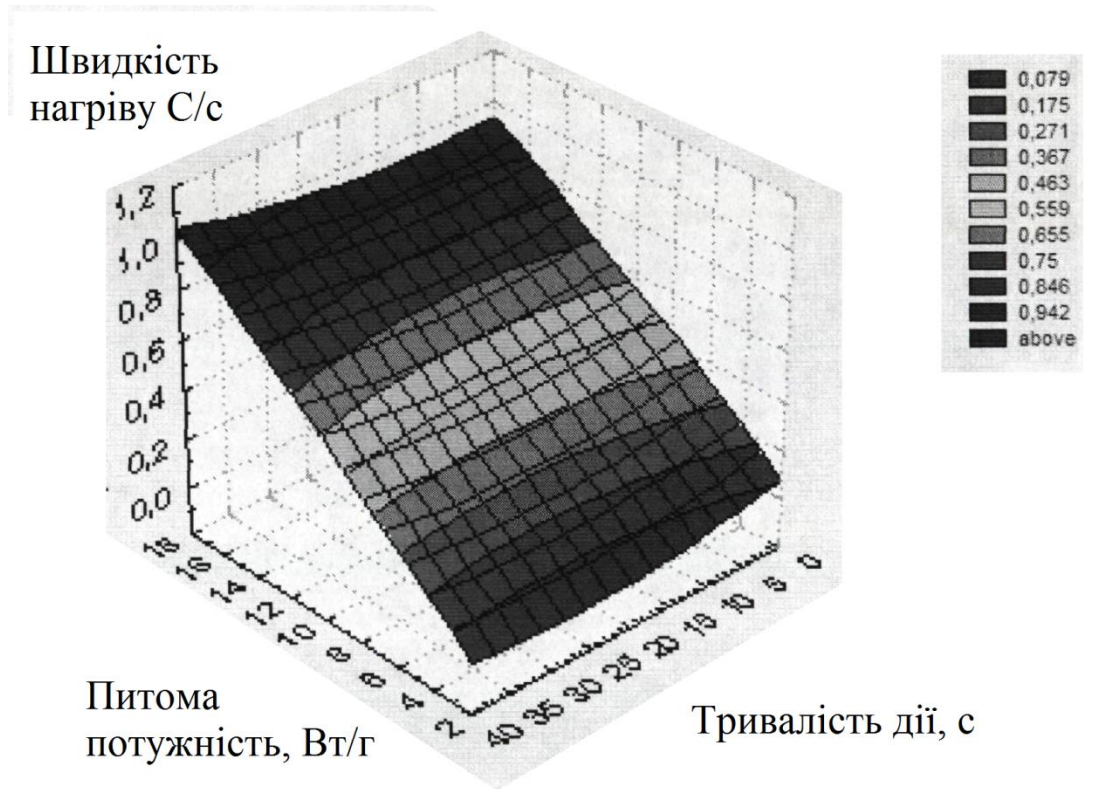


Рис. 3.4. Поверхня відгуку та двомірний переріз в ізолініях трифакторної моделі швидкості нагрівання молока залежно від питомої потужності та тривалості знезараження у СВЧ установці, при щільності молока, що дорівнює 1027 кг/м^2

З аналізу отриманих моделей випливає, що зниження ЗМК в молоці до 500 тис. КУО/см³ (з вихідним вмістом ОМЧ, рівним $1,2 \times 10^6$ КУО/см) відбувається при питомій потужності 8...10 Вт/г та загальної тривалості обробки СВЧ 20...16 с відповідно. Експериментальні значення ЗМК з достатньою довірчою ймовірністю корелюються з теоретичними значеннями. Наприклад, для зниження ЗМК в молоці в 1,76 разів (з $0,88 \times 10^6$ до $0,5 \times 10^6$ КУО/см³), при продуктивності установки 100 кг/год, необхідно забезпечити перевищення температури нагрівання молока на 15...16 °С.

Дослідження процесу знезараження молока в електричному полі високої напруженості надвисокочастотного діапазону, виробниче випробування установки здійснювалося у ТОВ «Єрчики» Попільнянська ОТГ, Бердичівського району, Житомирської області. На знімках наведені фрагменти технологічної лінії пастеризації молока з СВЧ установкою (рис. 3.5).

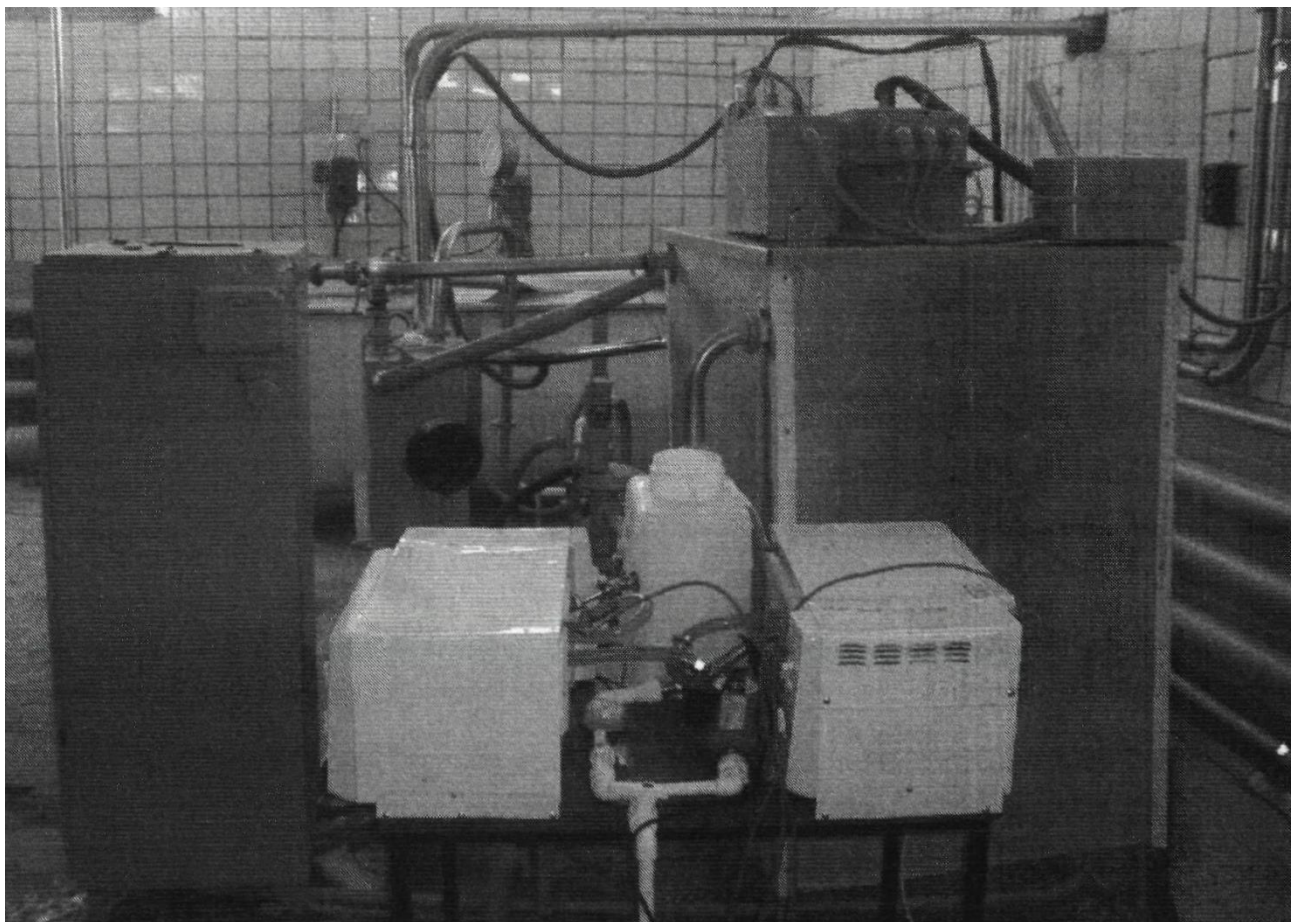


Рис. 3.5. Установа для знезараження молока СВЧ в технологічній лінії пастеризації в процесі виробничого випробування

У виробничих умовах підтвердили динаміку нагрівання молока в кожному резонаторі СВЧ установки за цикл. Установку для СВЧ знезараження молока приєднували за допомогою молокопроводу до пластинчастої пастеризаційно-охолоджувальної установки: у першому варіанті – між секціями рекуперації тепла, а в другому – після секції пастеризації.

Знезараження молока здійснювали в такий спосіб. СВЧ установку, продуктивністю 100...240 кг/год узгодили з продуктивністю технологічної лінії пастеризаційно-охолоджувальної установки через додатковий резервуар-накопичувач. Молоко після секції пастеризації пластинчастого теплообмінного апарату, температурою 70...75 °С, заливали в резервуар-накопичувач, звідки за допомогою насоса перекачували по молокопроводу через чотири резонаторні камери. При цьому перевищення температури в молоці становило 16 °С, що дозволить знизити загальне мікробне число (ЗМЧ) у ньому до двох разів. Корисна потужність СВЧ установки становить 3200 Вт, напруженість електричного поля всередині резонатора – 10...14 кВ/см.

Розглянемо важливу електричну схему управління роботою пластинчастого пастеризатора (рис. 3.6). Напряга на схему подають автоматичним вимикачем QF1. Потім за допомогою станцій ручного управління SB1 та SB4 та магнітних пускачів KM1 та KM2 включають двигуни M1 та M2 молочного насоса та насоса гарячої води.

Для контролю температури пастеризації та автоматичного управління тепловими процесами у схемі передбачено логометр Л (ЛПР-53), який поєднаний з джерелом живлення ІІІ

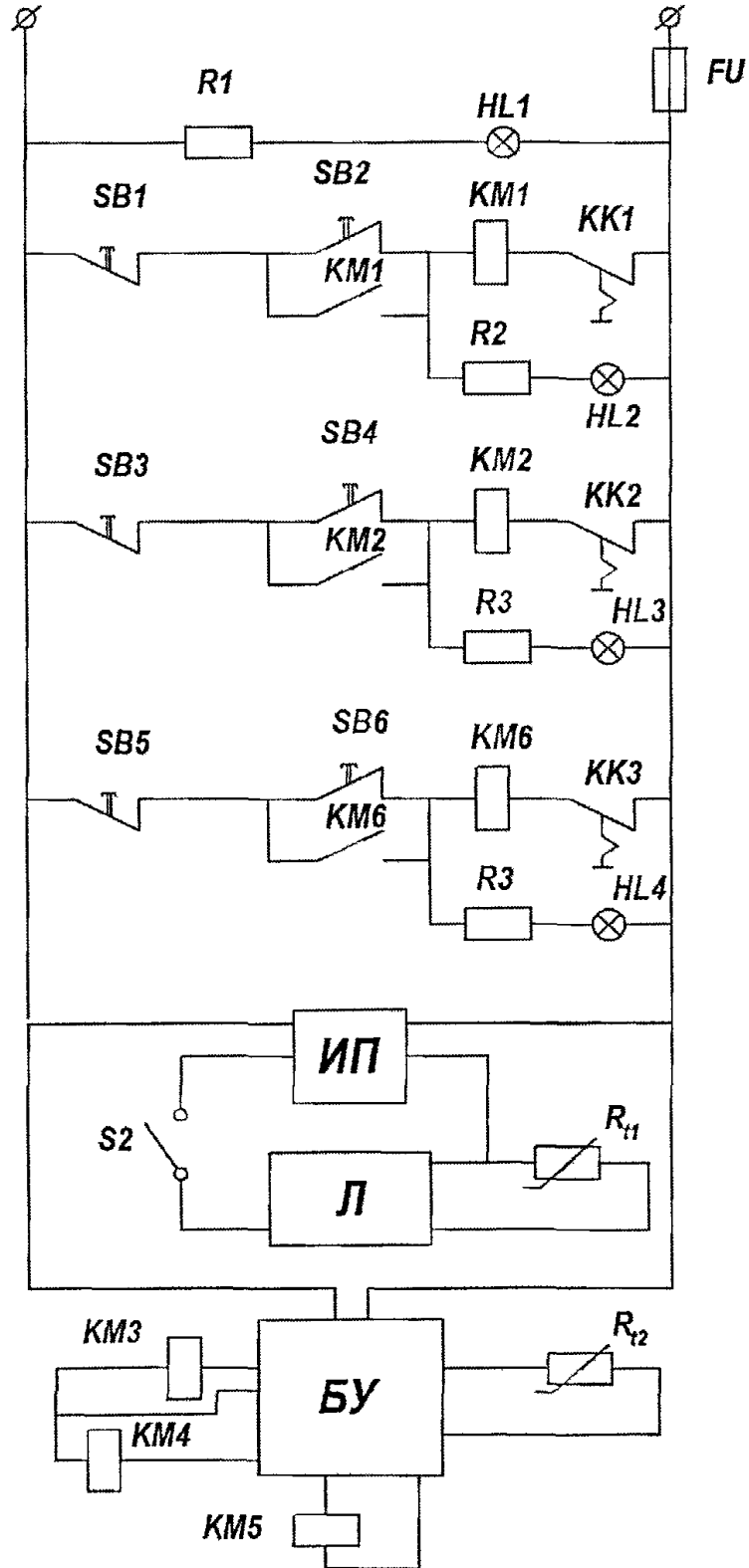


Рис. 3.6. Електрична схема управління пластинчастим пастеризатором та СВЧ установкою

Висновки по розділу

Встановлено ефективний режим знезараження молока в електромагнітному полі СВЧ: частота електромагнітного поля 2450 МГц, напруженість 4...14 кВ/см, швидкість нагрівання 1...1,2 °С/с, тривалість знезараження молока 15...20с, кількість резонаторів не менше 4 (кількість циклів), питома потужність впливу СВЧ – 8...10 Вт/р. Споживана потужність СВЧ генератора 4,8 кВт.

Встановлено, що якщо вихідний рівень бактеріальної обсімененості молока вище 1,5 млн. КУО/см³, то слід збільшити кількість циклів впливу з 4 до 12 разів, при швидкості нагрівання 1 °С/с

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Розроблена методика впливу електромагнітного поля СВЧ на молоко в процесі пастеризації дозволяє поліпшити мікробіологічні показники і збільшити термін зберігання на 24 години, при температурі 4 ± 2 °С за рахунок застосування чотирьох резонаторних камер, що забезпечують напруженість електричного поля 14 кВ /см.

Встановлено, що в резонаторі об'ємом 2000 см³ досягається напруженість електричного поля 14 кВ/см, що забезпечує підвищення температури ендогенного нагрівання молока на 4 °С, при якій відбувається вирівнювання поглиненої потужності мікроорганізмом і втрачається за рахунок теплопередачі з його поверхні. Рівномірне ендогенне нагрівання молока забезпечується зі швидкістю 1,0...1,2 °С/с, якщо питома потужність СВЧ генератора становить 8...10 Вт/г, а внутрішній діаметр радіопрозорого молокопроводу – до 3,0 см.

В результаті виробничих випробувань установки для СВЧ знезараження молока, продуктивністю 100...240 кг/год і споживаною потужністю 4,8 кВт у складі теплообмінного апарату, що працює в короткочасному режимі пастеризації, виявлено зниження бактеріального забруднення в молоці з $1,2\times 10^6$ до $0,5\times 10$ КУО/см³. При цьому підвищення температури ендогенного нагрівання молока між двома секціями рекуперації становило 15...16 °С.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Серегин И.Г., Дунченко Н.И., Михалева Л.П. Производственный ветеринарно-санитарный контроль молока и молочных продуктов. Москва : ДеЛи принт, 2009. 403 с.
2. Самосюк В.Г., Китиков В.О., Сорокин Э.П. Технологическое оборудование для производства молока. Монография. Минск: Беларуская навука, 2013. 494 с.
3. Ведищев С.М., Милованов А.В. Механизация первичной обработки и переработки молока. Тамбов: ТГТУ, 2012. 152 с.
4. Ковалев Ю. Н. Установки для пастеризации молока. – М.: Россельхозиздат, 1981. – 80 с.
5. Petersen F. / Untersuchung iiber den electrischen widerstand der Milch. // Molkereizeitung. 1994. № 52 P.19.
6. Лисиченко М. Л. Дослідження процесу лазерної обробки молока / М. Л. Лисиченко, В. І. Жила, В. С. Манойло, В. В. Білодід // Матер. XXXIX Межд. науч.-практ. конф. "Применение лазеров в медицине и биологии" (22-24 мая 2013г.) Харків : НПМБК "Лазер и здоровье", 2013. С. 141-142.
7. Гласкович М.А., Капитонова Е.А., Соляник Т.В. и др. Технология производства продукции животноводства. Часть 1. Технология производства продукции скотоводства, свиноводства и птицеводства. Горки : Белорусская государственная сельскохозяйственная академия (БГСХА), 2017. 240 с.
8. Голубев И.Г., Горин В.М., Парфентьева А.И., Коноваленко Л.Ю. Машины и оборудование для переработки молока. Москва : ФГНУ «Росинформагротех», 2006. 348 с.
9. Єресько Г.О., Шинкарик М.М., Ворощук В.Я. Технологічне обладнання молочних виробництв. Київ: Фірма "ІНКОС", Центр навчальної літератури, 2007. 344 с.

10. Ведищев С.М., Милованов А.В. Механизация первичной обработки и переработки молока. Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО "ТГТУ", 2012. 152 с.
11. Шубенко О.І., Поліщук О.О. Технологічне обладнання для переробки молока. Житомир, ЖНАЕУ, 2011. 203 с.
12. Кудрявцев И.Ф. Электрооборудование животноводческих предприятий и автоматизация производственных процессов в животноводстве. Москва : Колос, 1979. 368 с.
13. Теличкун В.І., Таран В.М., Теличкун Ю.С., Десик М.Г. Технологічне обладнання харчових виробництв. Курс лекцій. Київ : НУХТ, 2014. 240 с.
14. Водяницький Г.П., Горкуша А.М., Ковалик О.М. Машинне доїння та первинна обробка і переробка молока. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Машини і механізми виробничих процесів у тваринництві» для студентів технологічного факультету спеціальності 6.090.102. Житомир : Житомирський національний агроекологічний університет, 2011. 55 с.
15. Машкін М.І., Париш Н.М. Технологія виробництва молока і молочних продуктів. К.: Вища освіта, 2006. 351 с.
16. Березин М.А., Борисов В.И., Борисов В.С. Высокотемпературная обработка молока. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2017. 68 с.