

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет інженерії та енергетики  
Кафедра процесів, машин і обладнання в агроінженерії

Кваліфікаційна робота на правах рукопису

УДК 664.8.036.2

**НЕТРИБІЙЧУК Сергій Олександрович**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**ОБґРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТА РЕЖИМІВ РОБОТИ  
СТЕРИЛІЗАТОРА ДЛЯ СКЛЯНОЇ ТАРИ**

208 «Агроінженерія»

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  
к.т.н., Медведський О.В.

Житомир – 2020

## АНОТАЦІЯ

Нетрибійчук С. О. **Обґрунтування параметрів та режимів роботи стерилізатора для скляної тари.** – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістр зі спеціальності 208 – агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2020 р.

Кваліфікаційна робота спрямована на встановлення основних шляхів інтенсифікації процесу температурної стерилізації плодоовочевих консервів. Виконаний аналіз технічних засобів стерилізації виявив резерви підвищення ефективності процесу стерилізації продукту у скляній тарі.

У кваліфікаційній роботі вирішується наукове завдання рівномірного прогрівання всіх шарів продукту у скляній банці під час процесу стерилізації за рахунок використання розробленого роторного пристрою обертання тари, встановлено кінематичні режими роботи.

Результатом виконаних досліджень є рівняння регресії, яке характеризує взаємозв'язок між кінематичними параметрами розробленого роторного пристрою обертання банок у потоці теплоносія із температурним режимом стерилізації. Виконана оцінка запроваджених рішень на інтенсифікацію процесу стерилізації зі збереженням харчової цінності продукту.

**Ключові слова:** стерилізація, швидкість теплоносія, частота обертання, температурний перепад, інтенсивність нагрівання.

## ANNOTATION

Netrybiychuk S. O. **Substantiation of parameters and modes of sterilizer operation for glass containers.** – Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualifying work for a master's degree in 208 – agroengineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2020.

Qualification work is aimed at establishing the main ways to intensify the process of thermal sterilization of canned fruits and vegetables. The analysis of technical means of sterilization revealed reserves for improving the efficiency of the process of sterilization of the product in glass containers.

The qualifying work solves the scientific problem of uniform heating of all layers of the product in a glass jar during the sterilization process through the use of the developed rotary device for rotation of the container, set the kinematic modes of operation.

The result of the performed research is a regression equation, which characterizes the relationship between the kinematic parameters of the developed rotary device for rotation of cans in the flow of the coolant with the temperature of sterilization. The evaluation of the implemented solutions for the intensification of the sterilization process while preserving the nutritional value of the product is performed.

**Key words:** sterilization, coolant speed, speed, temperature difference, heating intensity.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	4
РОЗДІЛ 1. ОЦІНКА СПОСОБІВ СТЕРИЛІЗАЦІЇ ПЛОДООВОЧЕВОЇ ПРОДУКЦІЇ .....	6
1.1. Оцінка способів та методів стерилізації у консервному виробництві .....	6
1.2. Способи інтенсифікації процесу теплової стерилізації консервів .....	8
1.3. Аналіз технічних засобів стерилізації харчових продуктів .....	9
1.4. Висновки до розділу 1 .....	12
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПРОЦЕСУ СТЕРИЛІЗАЦІЇ .....	13
2.1. Встановлення технологічних параметрів обертання тари .....	13
2.2. Вплив режимів стерилізації на тривалість процесу обробки продукту .....	16
2.3. Висновки до розділу 2 .....	18
РОЗДІЛ 3. УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ .....	19
3.1. Встановлення впливу температурного режиму на ефективність процесу стерилізації .....	19
3.2. Вплив кінематичних параметрів роторного обертання скляних банок на інтенсивність процесу стерилізації .....	22
3.3. Висновки до розділу 3 .....	26
ВИСНОВКИ .....	27
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	28

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Теплова стерилізація є обов'язковим завершальним і одночасно найбільш енергоємним і найтривалішим етапом у всьому технологічному циклі виробництва плодоовочевих консервів, досконалість якого істотно впливає на якість готової продукції [1, 2].

Питанням вдосконалення теплової стерилізації присвячено безліч робіт вітчизняних і зарубіжних вчених, однак потрібно зазначити, що є ще безліч вузьких місць, що потребують вирішення для підвищення якості та конкурентоспроможності продукції, що випускається. Тому, для ефективного розвитку консервної промисловості з орієнтацією на випуск конкурентоспроможної на світовому ринку продукції, поряд з вирішенням комплексу економічних проблем, необхідно вирішити комплекс завдань з технічного переозброєння підприємств з використанням нових інноваційних технологій і сучасного технологічного обладнання. Для забезпечення відповідного розвитку необхідно довести рівень технологічних інновацій на такий щабель інтенсифікації виробництва і зростання продуктивності праці, які забезпечили б широке впровадження нових і енергоефективних технологій [1].

У зв'язку з цим вдосконалення технологій виробництва плодоовочевих консервів у напрямку підвищення ефективності процесу стерилізації готового продукту за рахунок інтенсифікації теплової обробки є актуальним завданням.

**Мета і завдання роботи.** Мета роботи – інтенсифікація теплової стерилізації у скляній тарі шляхом удосконалення технічних засобів та технологічних рішень.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- провести оцінку технологій виробництва з використанням теплової стерилізації та встановити шляхи інтенсифікації процесу;
- встановити структурно-функціональну схему удосконаленого механізму інтенсифікації процесу стерилізації продукту у скляній тарі;

- обґрунтувати конструкційні та технологічні параметри інтенсифікації процесу удосконаленням стерилізатором;

- виконати оцінку ефективності розробленого процесу інтенсифікації стерилізації з обертовим механізмом;

**Об'єкт дослідження** – технічні засоби стерилізації плодоовочевої продукції.

**Предмет дослідження** – взаємозв'язки між технологічними параметрами процесу стерилізації, теплофізичними характеристиками продукції та динамікою теплообміну при нагріванні та охолодженні.

**Методи дослідження.** При вирішенні поставлених завдань використовували методи аналітичного моделювання, основні закони термодинаміки та гідро-газодинаміки, для обробки результатів використовували програмні продукти Excel.

**Апробація результатів роботи.** Основні положення та результати досліджень кваліфікаційної роботи доповідались і отримали позитивну оцінку на міжнародній конференції та відображені у наступних роботах:

1. Нетрибійчук С. О. Встановлення режимів стерилізації в скляній тарі. *Матеріали науково-практичної конференції «Наукові читання–2020»*. Житомир: ЖНАЕУ, 2020. С. 216–217.

2. Нетрибійчук С. О. Оцінка способів стерилізації в харчовій промисловості. *Матеріали науково-практичної конференції «Студентські читання–2020»*. Житомир: ПНУ, 2020. С. 15–16.

3. Нетрибійчук С. О. Інтенсифікація процесу стерилізації в закритій тарі. *Матеріали науково-практичної конференції «Студентські читання–2020»*. Житомир: ПНУ, 2020. С. 69–70.

**Структура і обсяг роботи.** Кваліфікаційна робота включає вступ, три розділи основної частини, загальні висновки, список використаних літературних джерел, викладена на 29 сторінках комп'ютерного тексту.

## РОЗДІЛ 1

### ОЦІНКА СПОСОБІВ СТЕРИЛІЗАЦІЇ ПЛОДООВОЧЕВОЇ ПРОДУКЦІЇ

#### 1.1. Оцінка способів та методів стерилізації у консервному виробництві

Теплова стерилізація – це обробка продуктів за різної температури, яка проводиться з метою тривалого збереження якості продуктів харчування шляхом знищення мікроорганізмів та шкідливих ферментів. Для знищення мікробів під дією температури необхідно витратити певний час, який називають «смертельним часом», який залежить від ряду факторів: температури стерилізації; хімічного складу продукту; виду і кількості мікроорганізмів. Придушення життєдіяльності мікроорганізмів починається приблизно від температури 60 °C [1, 2].

Стерилізація харчових продуктів в герметично закритій скляній тарі за технологією проведення процесу можна розділити на два способи: стерилізація продукту в герметично закритій тарі (банки, бутлі, пляшки і т. д.) при різній температурі; стерилізація продукту в потоці з подальшою вторинною пастеризацією в герметично закритій тарі [2]. Стерилізація відбувається при температурі 100–120 °C впродовж 60–120 хв. (для м'ясних консервів), 40–120 хв. (для рибних консервів), 25–60 хв. (для овочевих консервів) та 10–20 хв. (для згущеного молока) за допомогою пари, гарячої води або повітря, сумішшю пари із повітрям з використанням різноманітного технологічного обладнання та устаткування [3].

Режим стерилізації залежить також від кислотності харчових продуктів. Для кислих продуктів, рН яких менше 4,4 для досягнення практичної стерильності досить нагріву до температури 100 °C, для продуктів зі зниженою кислотністю (для овочів та м'яса), з огляду на можливість росту споровиділяючих бактерій, необхідний нагрів до температур понад 100 °C [2]. Одним із способів прискорення процесу стерилізації та підвищення

продуктивності є спосіб обробки рідких і кашоподібних харчових продуктів в потоці. При цьому продукт швидко і рівномірно нагрівається до температури стерилізації, розфасовується і охолоджується [2, 3].

Процес обробки фруктових соків та інших кислих продуктів нагадує пастеризацію, оскільки температура стерилізації нижче 100 °С. Стерилізацію в потоці можна застосовувати також за температури понад 100 °С, при цьому охолодження відбувається при температурі менше 100 °С, а продукт розфасовують в нагрітому стані. При стерилізації овочевих пюре продукт нагрівають до 125–150 °С, охолоджують нижче 100 °С, розфасовують та охолоджують остаточно. Стерилізатори в потоці випускаються в різних виконаннях. При проектуванні таких установок слід враховувати наступні вимоги: найбільший коефіцієнт теплопередачі досягається за рахунок турбулентного руху в тонкому шарі, а у в'язких продуктів – ще й вимушеним перемішуванням; легкість розбирання і чищення установки; мінімальна площа; надійність експлуатації з можливістю регулювання. [3, 4, 5].

Подальшим удосконаленням процесу стерилізації є асептичне консервування, при якому рідкі і кашоподібні харчові продукти миттєво нагріваються до заданої температури і охолоджуються в потоці. Потім продукт розфасовують в асептичних умовах в стерильну тару. Цей спосіб має наступні переваги: рівномірність нагріву і стерилізації при підвищеній температурі за короткий відрізок часу забезпечує отримання продукту високої якості; на відміну від розфасовки в гарячому стані нагрітий до високої температури продукт не контактує з повітрям; можливість повторного використання тепла в регенераторі; прискорений нагрів і охолодження, що дозволяє розфасовувати густі продукти навіть в тару великої місткості [4, 5].

Використання сучасних високопрогресивних способів стерилізації в харчовій промисловості, зокрема високочастотної стерилізації, стримується економічними міркуваннями. При цьому, використання пари не можна назвати достатньо ефективним способом стерилізації, оскільки дослідники встановили, що коефіцієнт корисної дії перетворення електричної енергії у енергію пари

становить лише 56 %. Тому, покращення конструкційних та технологічних параметрів стерилізаторів є одним із шляхів підвищення ефективності процесу в цілому [4, 5].

Створення високопродуктивних, не дуже складних по влаштуванню і безпечних в обслуговуванні безперервно діючих стерилізаторів вимагає для свого вирішення подальших наукових і конструкторських розробок.

## **1.2 Способи інтенсифікації процесу теплової стерилізації консервів**

В останні роки в консервній промисловості в якості одного із способів інтенсифікації процесу теплової стерилізації консервів вважають збільшення температури теплоносія, яке дає можливість в значній мірі скоротити загальну тривалість стерилізації [6, 7]. Проведені дослідження в напрямку встановлення впливу інтенсивності нагрівання та рівень тиску на ефективність процесу, склад та харчову цінність різноманітних консервів залежно від використання високотемпературних режимів стерилізації [8, 9]. При цьому вказується на ефективність високотемпературної стерилізації овочевих консервів у скляній тарі СКО 83-3 [10].

Застосування теплоносіїв, що мають високі температури, нашкоджується на обмеження, обумовлене нерівномірністю прогріву продукту в різних точках банки. І для усунення даного недоліку рекомендують використовувати процес обертання для тари [10, 11, 12].

Обмежуючим фактором під час нагрівання або охолодження продукту у скляній тарі, в яких передача тепла здійснюється переважно теплопровідністю, є величина коефіцієнта тепловіддачі від внутрішньої поверхні стінки банки до продукту. При невідповідності коефіцієнта тепловіддачі та перепаду температури буде відбуватись значний перегрів продукту біля стінок банки, що негативно впливатиме на загальну якість консерви. При цьому за рахунок вібраційним впливам на скляну тару змінюється гідродинамічний режим руху



продукту всередині банки, що впливає на коефіцієнт тепловіддачі, а тому процес теплообміну буде прискорюватись [12, 13].

Одним із найбільш ефективних способів інтенсифікації процесу стерилізації вченими [10] визначається процес пов'язаний із обертанням тари з продуктом. Обертання банки однозначно може призвести до скорочення загальної тривалості процесу, але при цьому виникають питання технічного питання та міцності скляної тари. Застосування того чи іншого способу обертання тари протягом процесу стерилізації в значній мірі може залежати від особливостей прискорення процесу теплообміну між частинами продукту та стінками тари, а також, від прийнятності саме такого способу для конкретного продукту [14, 15]. Таким чином, якість консервів буде залежати від того, наскільки правильно підібраний вид обертання банки і оптимальна частота обертання її при стерилізації. Але літературні джерела не дають повної інформації про особливості протікання процесу, розрахункові схеми та математичні вирази, що потребує додаткових досліджень.

### **1.3 Аналіз технічних засобів стерилізації харчових продуктів**

Стерилізація харчових продуктів в герметично закритій тарі за технологією проведення процесу можна розділити на два способи:

- стерилізація продукту в герметично закритій тарі (банки, бутлі, пляшки і т. д.) при різній температурі в апаратах періодичної дії;
- стерилізація продукту в потоці з використанням апаратів неперервної дії.

До апаратів періодичної дії належать автоклави. Залежно від конструкційного виконання автоклави поділяють на горизонтальні та вертикальні. Окрім цього, такі апарати можуть бути відкритого типу, тобто стерилізація відбувається за атмосферного тиску, та закритого типу – використовується надлишковий тиск.

Найбільш простими за використанням для стерилізації продукту у будь-якій тарі (в тому числі і скляній) з використанням у якості нагрівального середовища пари, гарячої води або суміші повітря з паром в середовищі атмосферного або надлишкового тиску є автоклави вертикально типу періодичної дії. Представником даного типу обладнання є автоклав багатокорзинний типу Б6-КА2-В (Б6-КАВ) [16].

Кожна корзина автоклава має місткість 0,9 туб, встановлюється у спеціальні напрямні. Процес стерилізації відбувається за наперед заданою програмою, яка передбачає інтенсивність нагрівання, температуру нагрівання та тиск з використанням контролера тиску [16].

Незважаючи на поширеність автоклавів такого типу, їм притаманні деякі недоліки, основний серед яких – це відсутність можливості інтенсифікувати процес стерилізації іншими способами, окрім заданих температурних впливів. Окрім цього, вертикальне положення корпусу вимагає використання додаткового під'ємного обладнання, що вимагає високого приміщення, а періодичний принцип дії не дає змогу підвищити продуктивність.

Горизонтальний автоклав має більш зручну систему завантаження (рис. 1.1). Окрім цього, значно легше реалізувати обертання продукту під час стерилізації.



Рис. 1.1. Горизонтальний автоклав із завантаженими контейнерами.

Представником горизонтальних автоклавів на нашому ринку є Німецька фірма Stock корпорації DTF Technology. Ця компанія виробляє цілий ряд обладнання для стерилізації різноманітних продуктів у будь-якій закритій тарі. Горизонтальний стерилізатор Rotovar може бути використаний при незначних обсягах виробництва плодоконсервної продукції (рис. 1.2) [17].



Рис. 1.3. Стерилізатор горизонтального типу Rotovar 1300 фірми Stock (Німеччина) [17]

Стерилізатор Rotovar 1300 використовується для обробки консервів у жерстяній та скляній тарі при температурі до 140 °С при робочому тиску до 0,6 МПа. В якості теплового середовища використовується гаряча вода, пара або суміш пари з водою. В середині зовнішнього корпусу розташований внутрішній ротаційний барабан, який може обертатися із частотою від 15 до 50 об/хв, або періодично повертатися на кут 180° відповідно до заданої програми обробки продукту. Стерилізатор обладнаний пультом керування та системою автоматичного контролю режимів обробки продукту [17].

Основною перевагою стерилізатора Rotovar 1300 є можливість обертання тари під час якого продукт має рух з дна на кришку (горловину). В наслідок цього можна підняти температуру стерилізації та зменшити тривалість процесу

обробки. Відомо [10], що чим менша тривалість впливу високої температури тим вища якість кінцевого продукту.

Стерилізатори неперервної дії класифікуються на роторні, лінійні та гідростатичні. Використовуються, як правило для великих обсягів виробництва та мають значну продуктивність, порівняно із стерилізаторами періодичної дії.

Роторні стерилізатори використовуються лише для жерстяних банок одного розміру. Гріючим середовищем є водяна пара, тиск якої підтримується автоматично до режиму стерилізації. Охолодження продукту відбувається за допомогою води. Значні перепади тисків від моменту нагріву до охолодження можуть викликати деформацію тари та її розгерметизацію, а продукт стає каламутним [12, 13].

Лінійні стерилізатори працюють за принципом роторних, але тара розташовується вздовж спіральної скатної лінії, що дає можливість використовувати скляні банки. Найбільш прийнятним для скляної тари можуть бути гідростатичні стерилізатори у яких процес відбувається із зануренням у воду при нагріванні за допомогою пари.

#### **1.4. Висновки до розділу 1**

1. Стерилізація за допомогою високих температур є найбільш дієвим способом збереження харчової придатності продуктів. Для інтенсифікації процесу стерилізації використовують методи підвищених температур високотемпературних теплоносіїв та застосовуються різні способи перемішування продукту у тарі.

2. Стерилізатори неперервної дії забезпечують високу продуктивність технологічного процесу та мають меншу енергоємність процесу. Але у таких апаратах важче безпроблемно для скляної тари реалізувати процес перемішування продукту під час стерилізації.

## РОЗДІЛ 2

### ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПРОЦЕСУ СТЕРИЛІЗАЦІЇ

#### 2.1. Встановлення технологічних параметрів обертання тари

При збільшенні об'єму скляної тари має зростати тривалість її обробки під час стерилізації. В попередньому розділі вказувалось, що нагрівання продукту відбувається за рахунок теплопровідності, а інтенсифікувати процес можна шляхом конвективного теплообміну. З цією метою пропонується пристрій для надання обертового руху скляній тарі у гріючому середовищі (повітря) для стерилізаторів неперервної дії (рис. 2.1) [18].

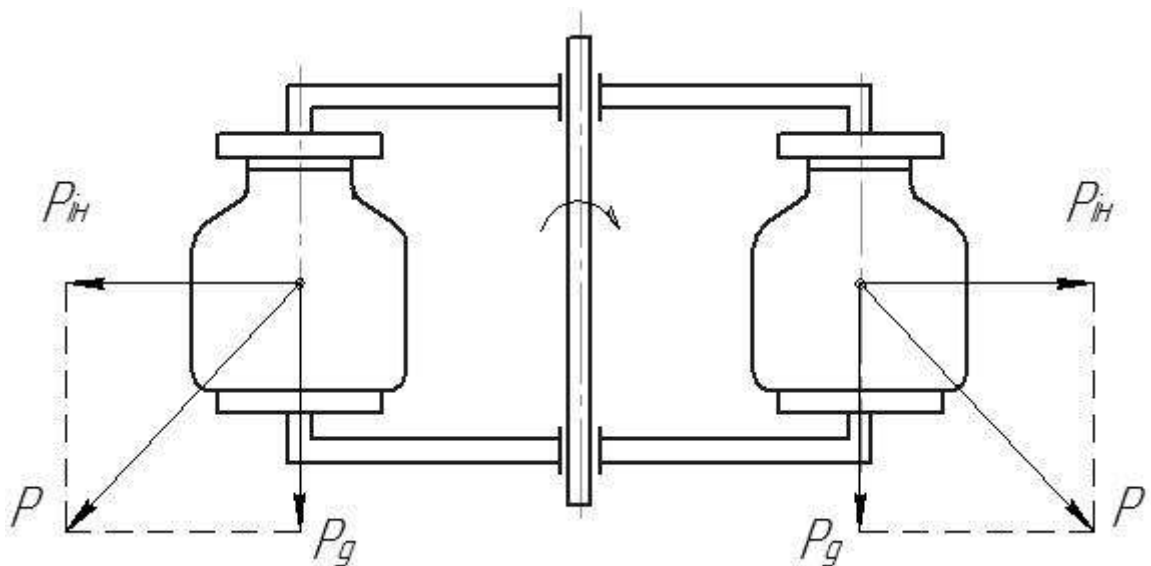


Рис. 2.1. Схема дії сил на скляну тару при обертанні ротора

При обертання ротора, відповідно до рис. 2.1, на скляну тару з продуктом будуть діяти сили інерції та сила ваги. Результуюча сила спрямована під кутом до осі обертання, та з врахуванням рекомендацій [11, 16] її значення можна бути описати за допомогою рівняння:

$$P = \sqrt{P_{in}^2 + P_g^2} = \sqrt{P_{in}^2 + (mg)^2} = m\sqrt{(\omega^2 r)^2 + g^2}, \quad (2.1)$$

де  $P_{in}$  – сила інерції, Н;

$P_g$  – сила ваги, Н;

$m$  – маса продукту в банці, кг;

$g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$\omega$  – кутова швидкість обертання осі роторного пристрою, с<sup>-1</sup>;

$r$  – радіус обертання тари у роторному пристрої, м.

При постійному значенні кутової швидкості обертання та незмінному радіусі обертання суттєвого переміщення продукту у скляній банці не буде відбуватися. Забезпечити переміщення компонентів продукту у банці можна за рахунок появи змінних значень та напрямку результуючої сили. Така умова реалізується при наявності кутового прискорення ротора, тобто буде виконуватися умова  $\omega \neq \text{const}$ . В такому випадку прискорення тари буде складатися із нормальної та дотичної складових:

$$\bar{a} = \bar{a}^n + \bar{a}^t = \omega^2 \bar{r} + \varepsilon \bar{r}, \quad (2.2)$$

де  $\varepsilon$  – кутове прискорення ротора;

$a^n$  – нормальна складова прискорення, с<sup>-2</sup>;

$a^t$  – дотична складова прискорення, с<sup>-2</sup>.

Якщо кутову швидкість подати як функцію кута повороту ( $\omega = \omega(\tau)$ ), то вираз для кутового прискорення матиме вигляд:

$$\varepsilon = \frac{d\omega(r)}{d\tau}, \quad (2.3)$$

Якщо ротор тимчасово зупиниться, то зникне дія сили інерції і результуюча сила буде спрямована в напрямку сили ваги. В цей момент буде

відбуватися зміна напрямку руху складових скляної тари. Як тільки обертовий рух відновиться, вплив сили інерції зростатиме і продукт у банці буде переміщуватись знову. Таким чином буде відбуватись перемішування і, як наслідок, краще відбуватиметься теплообмін, а тому матимемо інтенсифікацію процесу стерилізації [15, 19].

За умови рівноприскореного руху, кутова швидкість має змінюватись за лінійним законом, при цьому кутове прискорення буде слідувати параболічному закону. В такому випадку прискорення скляної місткості буде визначатись з рівняння:

$$a = \sqrt{(a^t)^2 + (a^n)^2} = \sqrt{(\varepsilon r)^2 + (\omega^2 r)^2}. \quad (2.4)$$

Тоді, силу інерції визначають за рівнянням:

$$P_{in} = ma = m\sqrt{(\varepsilon r)^2 + (\omega^2 r)^2}, \quad (2.5)$$

Підставимо значення рівняння (2.5) у рівняння (2.1), отримаємо результуючу силу впливу на продукт за умови змінної кутової швидкості обертання:

$$P = \sqrt{P_{in}^2 + (mg)^2} = \sqrt{m^2 + (\omega r^2 + (\omega^2 r)^2)}. \quad (2.8)$$

Таким чином, накладання змінної сили інерції та сили ваги дозволяє надати продукту у скляній тарі змінного руху, що забезпечує перемішування. Отже, достатньо зміни однієї сили для зміни гідродинамічних процесів під час стерилізації продукту у закритій скляній банці. Додатковий позитивний ефект інтенсифікації процесу відбувається за рахунок надання обертового руху гріючому середовищу.

## 2.2. Вплив режимів стерилізації на тривалість процесу обробки продукту

Повітря як теплоносії для стерилізації є досить зручною речовиною, оскільки піддається нагріву до високих температур при атмосферному тиску. Але при перепаді температур між продуктом у банці і температурою повітря більше ніж  $100^{\circ}\text{C}$ , може виникати термічне руйнування скляної тари. Це відбувається оскільки повітря має досить низький коефіцієнт тепловіддачі, порівняно із паром чи водою. Для усунення цього недоліку дослідниками [6, 20] пропонується використовувати прийом попереднього нагріву продукту.

Процес нагрівання рідкого продукту у скляній тарі описується за допомогою рівняння [19]:

$$\frac{T_K - T_H}{T_B - T_H} = e^{-Kt}, \quad (2.9)$$

де  $K$  – коефіцієнт теплопередачі матеріалу стінки банки;

$t$  – тривалість нагріву від початкової до кінцевої температури, хв;

$T_B$  – температуру стерилізації,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$T_H$  – початкова температура продукту перед нагріванням,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$T_K$  – кінцева температура продукту після стерилізації  $^{\circ}\text{C}$ .

Дане рівняння є підходящим для вільної або примусової конвекції, коли присутня значна різниця теплофізичних властивостей між банкою та продуктом. Для встановлення взаємозв'язку між параметрами процесу та визначення кінцевої температури продукту, шляхом апроксимації рівняння (2.9), отримаємо рівняння:

$$T_K = \left( \frac{t_1}{T_B \cdot \nu} \right) / (t_2), \quad (2.10)$$

де  $t_1$  – тривалість процесу нагрівання, хв.;



$t_2$  – тривалість перебування продукту у камері стерилізації, хв.

$v$  – швидкість нагрітого повітря, м/с.

Вплив температури попереднього нагріву продукту та інтенсивності повітряного потоку на тривалість стерилізації характеризується графічними залежностями отриманими за результатами теоретичних досліджень (рис. 2.2).

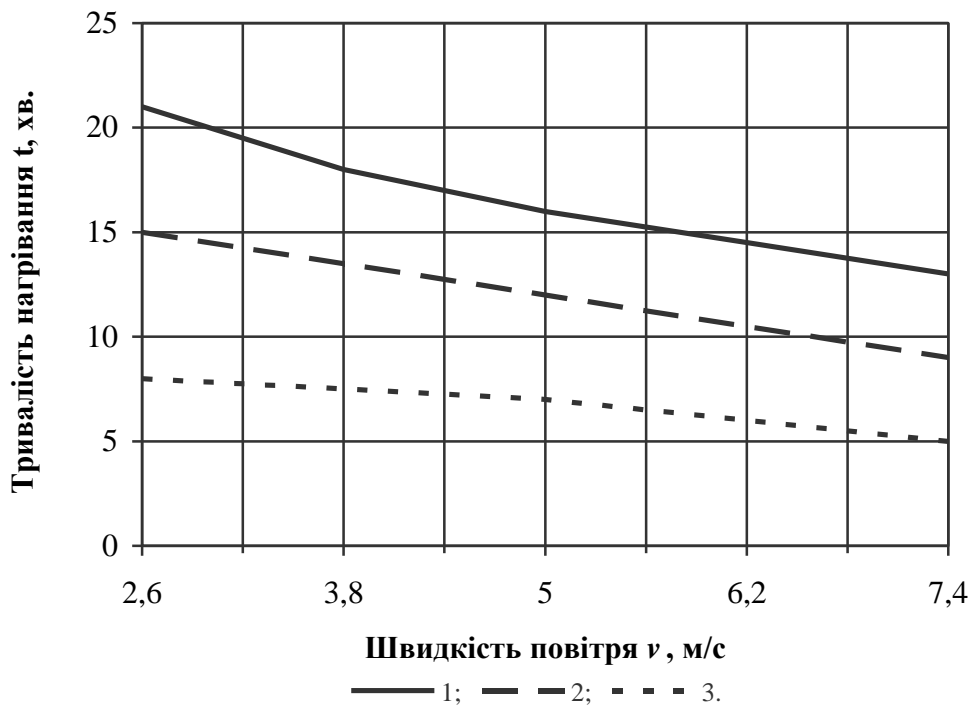


Рис. 2.2. Залежність тривалості нагрівання продукту у банці об'ємом 0,35 л. від швидкості потоку повітря при його температурі 120 °C за умови початкової температури продукту: 1 – 50 °C; 2 – 70 °C; 3 – 90 °C.

Нагрівання продукту у скляній банці з початковою температурою  $T_H=50\text{--}90$  °C за допомогою повітря з температурою  $T_B=120\text{--}160$  °C та швидкістю подачі  $v=2,5\text{--}7,4$  м/с, температура продукту в банку поступово досягає кінцевого значення  $T_K=100$  °C. Як видно із представлених графічних залежностей (рис. 2.2) тривалість нагрівання продукту до бажаної температури стерилізації суттєво залежить від його початкової температури. Так, при

температурі повітря 120 °С тривалість процесу знижується на 8–13 хв. відповідно при максимальній 7,4 м/с та мінімальній 2,6 м/с швидкості руху гріючого повітря та зміни початкової температури продукту від 50–90 °С. При цьому, незалежно від швидкості потоку гарячого повітря тривалість обробки продукту знижується за умови збільшення початкової температури продукту на 60 % від меншого параметра (50 °С) до більшого (90 °С). За умови використання більшого об'єму банки тривалість обробки має зрости.

### **2.3. Висновки до розділу 2**

1. Надання обертового руху скляним банкам із продуктом в перехідному режимі за рахунок зміни колової швидкості від мінімального до максимального значення (стабільна задана частота обертання) дозволяє забезпечити ефект перерозподілу компонентів тари у радіальному напрямку. При зупинці або реверсуванні напрямку обертання зростає інтенсивність процесу теплообміну, що дозволяє зменшити тривалість процесу стерилізації.

2. Аналітичні дослідження вказали, що зі збільшенням швидкості гарячого повітря від 2,6 м/с до 7,2 м/с під час обробки продукту у скляній тарі з попереднім нагрівом до 50–90 °С тривалість стерилізації знижується на 8–13 хв. при його температурі 120 °С. За умови збільшення температури повітря інтенсивність процесу нагрівання зростає, але більшому об'єму банки відповідає вища тривалість обробки. Вища початкова температура продукту прискорює процес оброблення на 60%, незалежно від вибраного діапазону швидкостей.

## РОЗДІЛ 3

### УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1. Встановлення впливу температурного режиму на ефективність процесу стерилізації

Для оцінки доцільності застосування інтенсифікації процесу теплової обробки, за рахунок обертання банок, нами були проведені дослідження та встановлені залежності впливу зміни температурних параметрів оброблюваного продукту у статичних умовах (рис. 3.1–3.3).

З цією метою використовували різний об'єм банок від 0,5 до 3 л., а продукт був попередньо підігрітий. Стерилізація відбувалась підігрітим до 150 °С повітрям, який подавали зі швидкістю 8,5 м/с в напрямку нерухомої скляної банки.

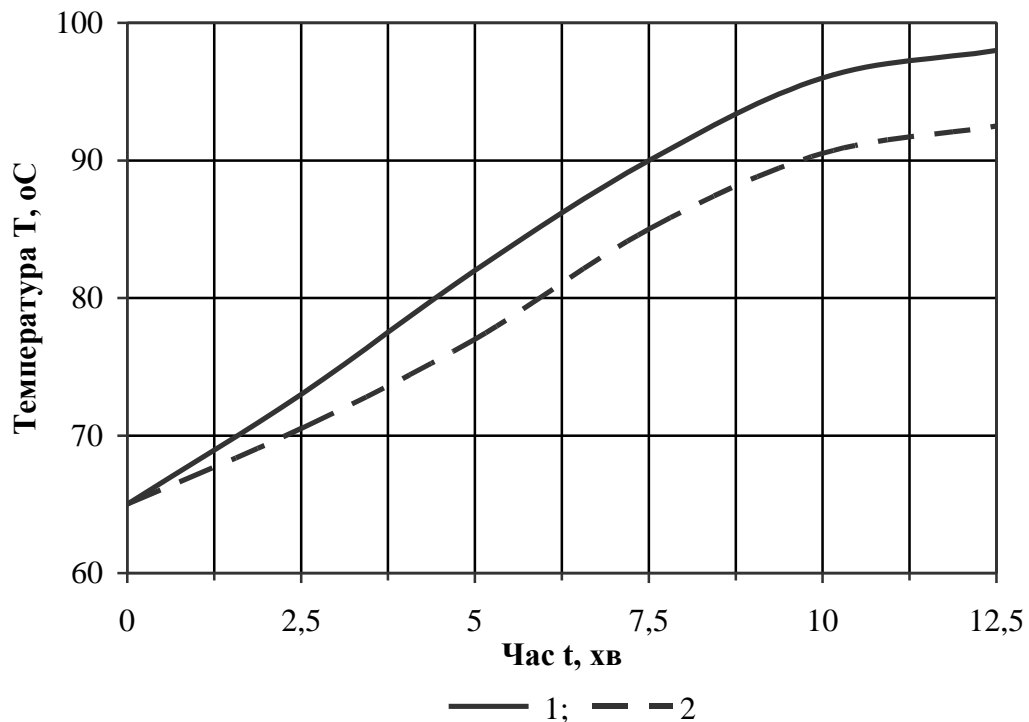


Рис. 3.1. Графіки зміни температури продукту залежно від тривалості процесу в нерухомій банці об'ємом 0,5 л. за умови: 1 – найбільш прогрітий шар продукту; 2 – найменш прогрітий шар продукту.

Аналіз графічних залежностей на рис. 3.1 вказує, що присутня деяка різниця температур (в середньому  $6^{\circ}\text{C}$ ) між шарами продукту у банці, тому ефективність стерилізації знижується.

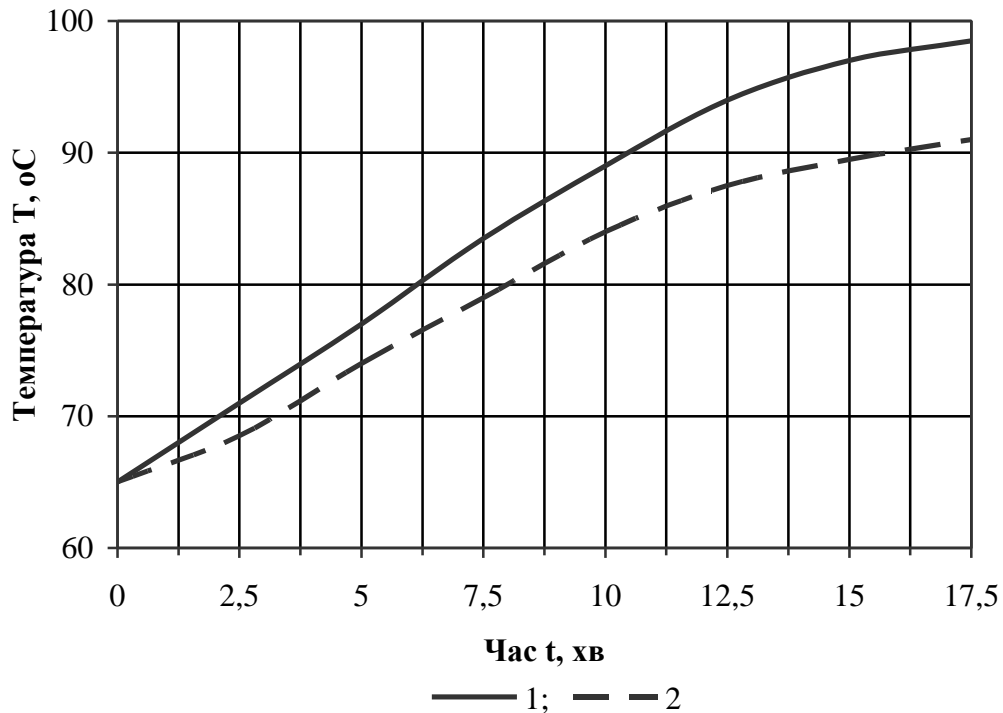


Рис. 3.2. Графіки зміни температури продукту залежно від тривалості процесу в нерухомій банці об'ємом 1,0 л. за умови: 1 – найбільш прогрітий шар продукту; 2 – найменш прогрітий шар продукту.

Аналіз результатів, представлених графіками (рис. 3.2) показує, що різниця температур між шарами продукту у центральній частині банки та на її периферії досягає  $7\text{--}8^{\circ}\text{C}$ , що вище ніж у банці меншого об'єму.

Таким чином, дослідження по ступені прогріву плодоовочевих консервів, з попередньо підвищеної початковою температурою продукту, в потоці повітря з високою температурою в нерухомих банках підтверджують наявність значної різниці температур, при якій окремі шари продукту перегріваються, а інші недогріваються. Це впливає на якість продукту та сприяє непродуктивній перевитраті теплової енергії.

Результати досліджень прогріву шарів продукту при статичному положення трилітрової скляної банки подано на рис. 3.3.

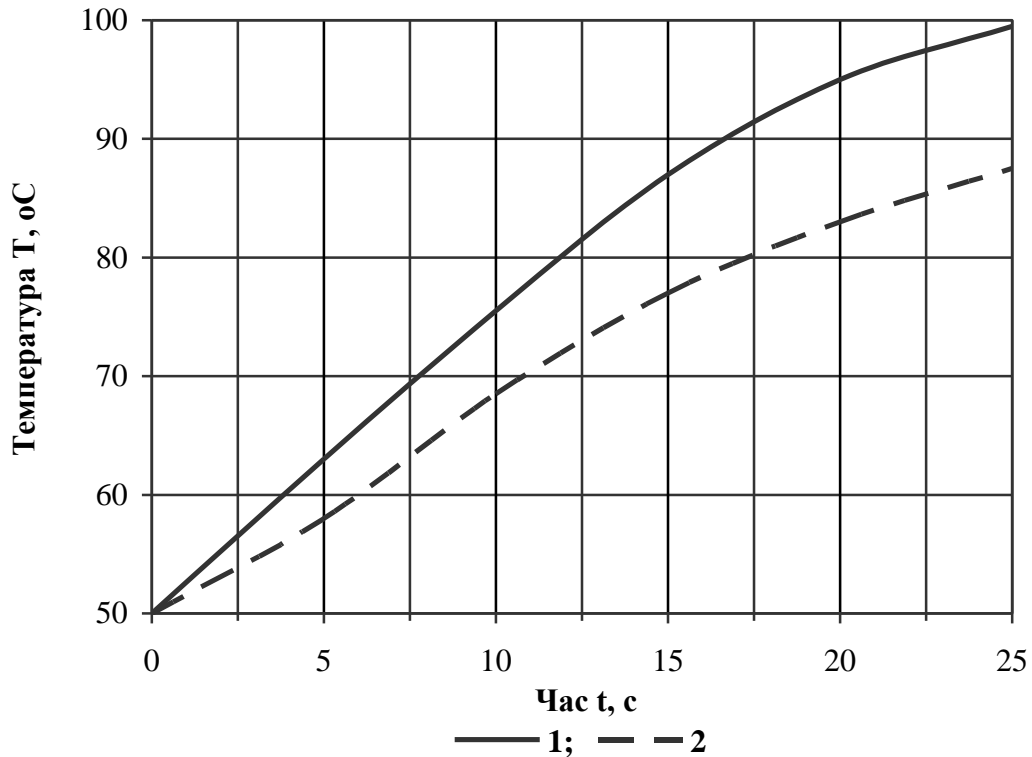


Рис. 3.3. Графіки зміни температури продукту залежно від тривалості процесу в нерухомій банці об'ємом 3,0 л. за умови: 1 – найбільш прогрітий шар продукту; 2 – найменш прогрітий шар продукту.

Аналіз графічних залежностей на рис. 3.3. вказує, що різниця температур між найбільш нагрітим та найменш прогрітим шарами зростає в середньому до 12 °C, а це спричиняє різний стерилізуючий ефект. При чому, зі зростанням тривалості впливу гріючого середовища збільшується різниця між шарами продукту – периферійні шари продукту у банці перегріваються, а внутрішні недогріваються. Таким чином, статичний вплив гріючого середовища недостатньо ефективний із-за можливої втрати харчових властивостей периферійних шарів продукту та всього вмісту банки в цілому.

### 3.2. Вплив кінематичних параметрів роторного обертання скляних банок на інтенсивність процесу стерилізації

За результатами досліджень впливу частоти обертання ротора розробленого пристрою на різницю температур між найбільш та найменш нагрітими шарами продукту отримали рівняння регресії (рис. 3.4-3.6):

$$T_t = 0,073 + 0,426 \cdot \Delta T + 0,131 \cdot n - 0,019 \cdot \Delta T^2 - 0,002 \cdot n^2 - 0,02 \cdot \Delta T \cdot n, \quad (3.1)$$

де  $T_t$  – швидкість нагріву продукту, °C/хв.;

$\Delta T$  – різниця температур між найбільш та найменш нагрітими шарами продукту шарами у скляній банці, °C;

$n$  – частота обертання банки, об/хв.

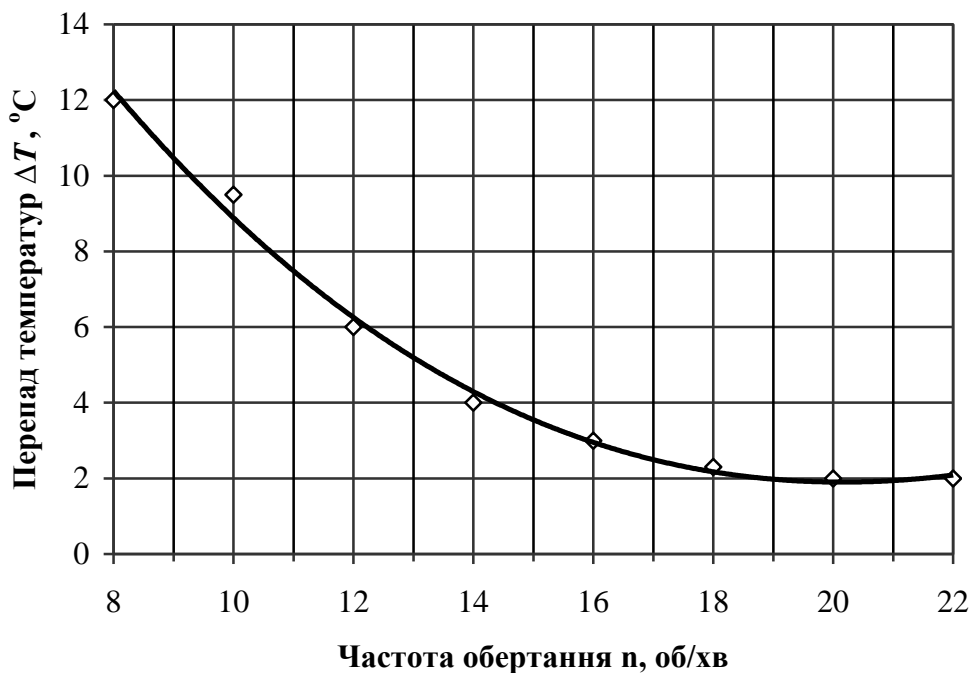


Рис. 3.4. Залежність зміни перепаду температури ( $\Delta T$ ) між шарами продукту при частоті обертання банки у роторному пристрої.

Отримане рівняння регресії (3.1) можна вважати адекватним, оскільки маємо досить високе значення множинної кореляції на рівні  $R=0,9877$ . На

основі рівняння регресії отримали графічні залежності на рис. 3.4-3.6. які характеризують взаємозв'язок зміни температурного перепаду між найбільш і найменш прогрітими шарами яблучного компоту в залежності від частоти обертання банки (3 л.) у розробленому роторному обертовому пристрої в повітряному потоці з температурою 150°C та швидкістю 8,5 м/с.

Аналіз графічних залежностей на рис. 3.4. вказує, що частоту обертання на рівні 20–22 об/хв. можна вважати оптимальною, оскільки її подальше збільшення не впливає на температурний перепад між шарами продукту у банці. При цьому температурний перепад між найбільш і найменш нагрітими шарами продукту буде мінімальним – на рівні 2 °С.

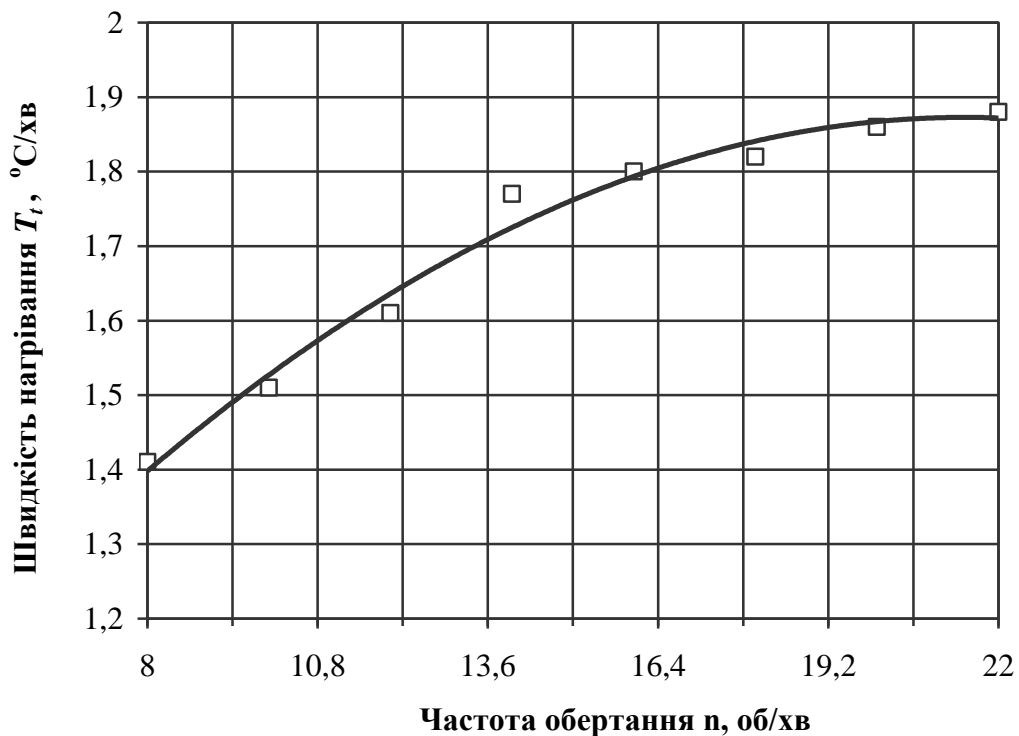


Рис. 3.5. Залежність швидкості нагрівання продукту ( $T_t$ ) від частоти обертання роторного пристрою.

Відповідно до графічних залежностей, представлених на рис. 3.5, можна сказати, що зі збільшенням частоти обертання розробленого роторного пристрою із скляними банками об'ємом 3 л. зростає швидкість нагрівання

продукту. Так, за умови збільшення частоти обертання від 8 об/хв. до 22 об/хв. інтенсивність стерилізації зростає на 33 %, що підтверджує ефективність запропонованого технічного рішення.

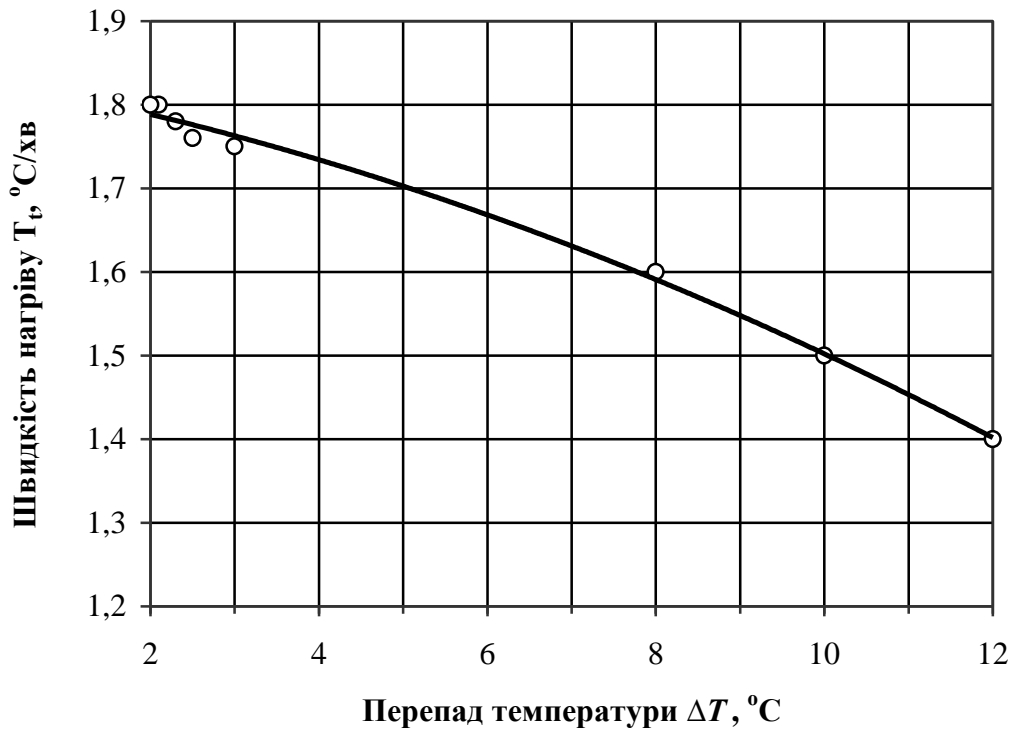


Рис. 3.6. Залежність інтенсивності нагріву продукту від перепаду температур ( $\Delta T$ ) між нерівномірно прогрітими шарами продукту для банки об'ємом 3,0 л.

Отримана графічна залежність (рис. 3.6) відображає інтенсивність прогрівання продукту у скляній тарі залежно від різниці температур між найбільш та найменш прогрітими шарами. Так, зі зростанням температурного перепаду інтенсивність технологічного процес прогрівання продукту у скляній тарі необхідно знижувати. За умови мінімального перепаду температур інтенсивність прогрівання зростає, та складає 1,8  $^{\circ}\text{C}/\text{хв}$ . Таким чином для забезпечення мінімального перепаду температур між шарами продукту у скляній тарі необхідно інтенсифікувати процес прогрівання. Нижчому рівню



інтенсивності прогрівання аналогічного продукту відповідає вищий перепад температур між найбільш та найменш прогрітими шарами продукту у скляній тарі об'ємом 3 л.

Проведені дослідження для аналогічних умов теплової стерилізації але з використанням скляної тари інших об'ємів дали змогу встановити раціональні значення частоти обертання розробленого роторного пристрою (рис. 3.7).

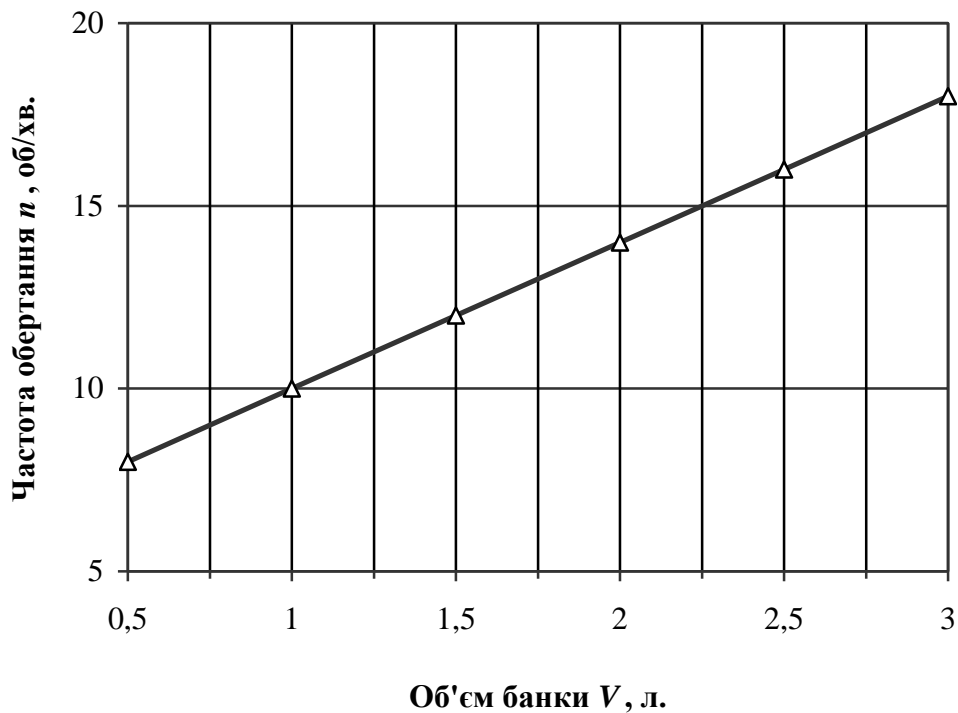


Рис. 3.7. Залежність частоти обертання ротора від об'єму скляної банки з продуктом під час стерилізації.

Отримані графічні залежності (рис. 3.7) вказують на лінійну залежність частоти обертання ротора від об'єму скляної банки. Для скляної банки з об'ємом 3 л. необхідно збільшувати частоту обертання ротора до 18 об/хв., що у 2,25 рази більше ніж використовувати скляну тару об'ємом 0,5 л. Зростання частоти обертання необхідне для реалізації ефективного процесу температурної стерилізації, оскільки для інтенсифікації процесу необхідно забезпечити переміщення шарів компонентів продукту між собою. За таких умов спостерігається зниження енергоємності процесу стерилізації. При цьому

можна використовувати прийом інтенсифікації – високотемпературна стерилізація. Безпечність такого заходу для збереження якості продукту дотримується за рахунок незначної тривалості температурного впливу на продукт у скляній тарі.

### **3.3. Висновки до розділу 3**

1. При статичному нагріванні продукту у скляній тарі різного об'єму встановлено значну різницю температур між найбільш та найменш нагрітими шарами. Так на периферії банки температура продукту виявилась вищою на 6–8 °С при об'ємі банки 0,5–3 л., ніж у середніх, ближчих до центру, шарах. Причому, зі зростанням температурного впливу різниця температур зростає незалежно від об'єму банки. Це вказує на низьку ефективність досягнення заданої температури продукту у найбільш віддалених шарах тільки за рахунок збільшення тривалості температурного впливу та температури теплоносія.

2. Встановлено зростання ефективності процесу температурної стерилізації при використанні розробленого роторного пристрою обертання банки під час стерилізації. Так, за умови обертання скляної тари з оптимальною частотою для кожного об'єму банки температурний перепад між найбільш та найменш прогрітими шарами продукту знижується до 2 °С. За умови використання скляної тари об'ємом 3 л. частота обертання має становити 18 об/хв., що у 2, 25 рази більше ніж для тари об'ємом 0,5 л. при інтенсивності прогрівання 1,8 °С/хв.

## ВИСНОВКИ

1. Стерилізація за допомогою високих температур є найбільш дієвим способом збереження харчової придатності продуктів. Для інтенсифікації процесу стерилізації використовують методи підвищених температур високотемпературних теплоносіїв та застосовуються різні способи перемішування продукту у тарі. Стерилізатори неперервної дії забезпечують високу продуктивність технологічного процесу та мають меншу енергоємність процесу. Але у таких апаратах важче безпроблемно для скляної тари реалізувати процес перемішування продукту під час стерилізації.

2. Надання обертового руху скляним банкам із продуктом в перехідному режимі за рахунок зміни колової швидкості від мінімального до максимального значення дозволяє забезпечити ефект перерозподілу компонентів продукту тари у радіальному напрямку, що інтенсифікує процес стерилізації.

3. Аналітичні дослідження вказали, що зі збільшенням швидкості гарячого повітря від 2,6 м/с до 7,2 м/с під час обробки попередньо нагрітого до 50–90 °С продукту тривалість стерилізації знижується на 8–13 хв. За умови збільшення температури повітря інтенсивність процесу нагрівання зростає, але більшому об'єму банки відповідає вища тривалість обробки. Вища початкова температура продукту прискорює процес оброблення на 60 %, незалежно від вибраного діапазону швидкостей.

4. Встановлено зростання ефективності процесу температурної стерилізації при використанні розробленого роторного пристрою обертання банки під час стерилізації. Так, за умови обертання скляної тари з оптимальною частотою для кожного об'єму банки температурний перепад між найбільш та найменш прогрітими шарами продукту знижується до 2 °С. За умови використання скляної тари об'ємом 3 л. частота обертання має становити 18 об/хв., що у 2,25 рази більше ніж для тари об'ємом 0,5 л. при інтенсивності прогрівання 1,8 °С/хв.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Марценюк О. С., Мельнік Л. М. Процеси і апарати харчових виробництв : підручник. К. : НУХТ, 2011. 407 с.
2. Малахов Н. Н., Плаксин Ю. М., Ларин В. А. Процессы и аппараты пищевых производств : учеб. для вузов. М. : Колос, 2005. 760 с.
3. Погребняк О. О. Методи обробки продуктів на сучасному харчовому виробництві. *Ліки України*. 2015. № 4(190). С. 21–27.
4. Семенов О., Соколенко А., Мальська Ю., Васильківський К. Інтенсифікація теплообміну в умовах стерилізаційної обробки фасованої продукції. *Харчова промисловість*. 2008. № 6. С. 84–87.
5. Нетрибійчук С. О. Оцінка способів стерилізації в харчовій промисловості. *Матеріали науково-практичної конференції «Студентські читання–2020»*. Житомир: ПНУ, 2020. С. 15–16.
6. Нові технічні рішення в проектуванні обладнання для теплової обробки харчової сировини: монографія в 3 ч. Ч. 2. Підвищення ефективності теплового обладнання з інфрачервоним нагріванням / О. І. Черевко, В. М. Михайлов, В. П. Плевако та ін. Х. : ХДУХТ, 2012. 144 с.
7. Нові технічні рішення в проектуванні обладнання для теплової обробки харчової сировини: монографія в 3 ч. Ч. 3. Використання електроконтактного нагрівання в процесах жарення кулінарної продукції / О. І. Черевко, В. М. Михайлов, І. В. Бабкіна та ін. Х. : ХДУХТ, 2012. 151 с.
8. Процеси та апарати харчових виробництв : підручник / А.М. Поперечний О. І. Черевко, В. Б. Гаркуша та ін. К. : Центр учбової літератури, 2007. 304 с.
9. Скрипников Ю. Г. Технологія переробки плодів і ягід. К. : Урожай, 1991. 272 с.
10. Флауменбаум Б. Л., Ганчев С. С., Гришин М. А. Основы консервирования пищевых продуктов. М. : Агропромиздат, 1986. 347 с.

11. Стабников В. Н. Проектирование процессов и аппаратов пищевых производств. К. : Вища школа, 1982. 199 с.
12. Черевко О. І., Поперечний А. М. Процеси і апарати харчових виробництв: підручник. Х. : ХДАТОХ, 2002. 420 с.
13. Нечаев А. П. Технологии пищевых производств : учеб. для вузов. М. : Колос, 2007. 769 с.
14. Справочник технолога общественного питания / А. И. Мглинец, Г. Н. Ловачева, Л. Алешина и др. М.: Колос, 2000. 416 с.
15. Піддубний В. А., Соколенко А. І., Шевченко О. Ю., Васильківський К. В. Інтенсифікація масообміну. *Харчова і переробна промисловість*. 2007. № 2. С. 18–20
16. Справочник механика пищевой промышленности / А. И. Соколенко, А. И. Украинец, В. Л. Яровой ; за ред. А. И. Соколенко. К. : АртЭк, 2004. 304 с.
17. Autovar / Rotovar : Der Dampf-Wassersprüh-Autoklav. : веб-сайт. URL : <https://www.dft-technology.de/de/produkte/dampfsprueh.php>.
18. Нетрибійчук С. О. Інтенсифікація процесу стерилізації в закритій тарі. *Матеріали науково-практичної конференції «Студентські читання–2020»*. Житомир: ПНУ, 2020. С. 69–70.
19. Бурдо О. Г., Калинин Л. Г. Прикладное моделирование процессов переноса в технологических системах : ученик. Одесса: Друк, 2008. 348 с.
20. Нетрибійчук С. О. Встановлення режимів стерилізації в скляній тарі. *Матеріали науково-практичної конференції «Наукові читання–2020»*. Житомир: ЖНАЕУ, 2020. С. 216–217.