

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Донецький національний університет економіки і торгівлі
імені Михайла Туган-Барановського
Навчально-науковий інститут ресторанно-готельного бізнесу та туризму
Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

ДОПУСКАЮ ДО ЗАХИСТУ

Гарант освітньої програми

«Обладнання переробних і харчових виробництв»

Цвіркун Л.О. _____

(підпис)

« ____ » _____ 2022 року

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»
зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
за освітньою програмою «Обладнання переробних і харчових
виробництв»

на тему: «УДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПЧ-СМАЖЕННЯ ХАРЧОВИХ
ПРОДУКТІВ З ВІДКРИТИМ РОБОЧИМ ПРОСТОРОМ»

Виконав здобувач
вищої освіти

Коренець Юрій Миколайович

(підпис)

Керівник

Хорольський В. П., д.т.н., професор

(підпис)

Засвідчую, що у звіті немає запозичень
з праць інших авторів без відповідних
посилань

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Кривий Ріг
2022 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТОРГІВЛІ
ІМЕНІ МИХАЙЛА ТУГАН-БАРАНОВСЬКОГО
Навчально-науковий інститут ресторанно-готельного бізнесу та туризму
Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

Форма здобуття вищої освіти заочна

Ступінь магістр

Галузь знань Механічна інженерія

Освітня програма Обладнання переробних і харчових виробництв

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Гарант освітньої програми «Обладнання переробних і харчових виробництв»

Цвіркун Л.О.

« » 2022 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Коренця Юрія Миколайовича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Удосконалення обладнання для ІЧ-смаження харчових продуктів з відкритим робочим простором»

Керівник роботи д.т.н., професор Хорольський В. П.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Затверджено: наказом першого проректора ДонНУЕТ імені Михайла Туган-Барановського від «24» червня 2022 р. № 137-с.

2. Строк подання здобувачем ВО роботи «28» листопада 2022 р.

3. Вихідні дані до роботи:

1. Фахова та методична література
2. Наукові публікації
3. Навчальні підручники, посібники довідники,

4. Зміст пояснювальної записки:

1. Дослідження процесів обробки харчової сировини ІЧ-випромінюванням.
2. Вивчення взаємодії іч-випромінювання з гетерогенним середовищем харчових продуктів.
3. Розробка ІЧ-апарату для смаження харчових продуктів.

Додатки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

1. Класифікація ІЧ-обладнання для смаження харчових продуктів.

2. Експериментальна установка для визначення параметрів процесу ІЧ-обробки харчової сировини в умовах відкритого робочого простору.

3. Результати експерименту з визначення оптимальних умов процесу ІЧ-обробки харчової сировини в умовах відкритого робочого простору.

4. Конструкція ІЧ-апарату для смаження харчових продуктів у відкритому робочому просторі.

6. Дата видачі завдання «31» серпня 2022 р.

7. Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи
1	Опрацювання літературних джерел і складання змісту та вступу	12.09.22-22.09.22
2	Написання першого розділу	23.09.22-13.10.22
3	Написання другого розділу	14.10.22-03.11.22
4	Написання третього розділу	04.11.22-24.11.22
5	Подання роботи керівнику на перевірку, усунення недоліків, отримання відгуку	25.11.22-28.11.22

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Коренець Ю.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Хорольський В.П.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи магістра містить: 99 сторінок, 11 рисунків, 7 таблиць.

На тему: «Удосконалення обладнання для ІЧ-смаження харчових продуктів з відкритим робочим простором».

Об'єктом дослідження є процес теплової обробки харчових продуктів ІЧ-випромінюванням у відкритому робочому просторі при виробництві гриль-продукції.

Мета роботи. Метою магістерської роботи є розробка науково обґрунтованих рекомендацій по здійсненню теплової обробки харчової сировини тваринного й рослинного походження ІЧ-випромінюванням у відкритому робочому просторі та вимог до технологічних параметрів обладнання, що використовується.

Методи та засоби досліджень: теоретичні – математичне моделювання променистого теплообміну; експериментальні – вимірювання електричних, теплових, масообмінних, органолептичних показників; математико-статистичні – планування активного експерименту, обробки результатів експерименту, перевірки статистичних гіпотез.

Наукова новизна та практична цінність роботи полягає в обґрунтуванні можливості підвищення ефективності процесу теплової обробки харчових продуктів ІЧ-випромінюванням у відкритому робочому просторі за рахунок використання певних значень контрольованих параметрів та розробці принципової схеми ІЧ-апарату для смаження харчових продуктів з удосконаленими технологічними показниками термообробки та розширеними функціональними можливостями.

Ключові слова: ІЧ-випромінювання, гриль, смаження, відкритий робочий простір.

ЗМІСТ

стор.

ВСТУП	
Розділ 1 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ОБРОБКИ ХАРЧОВОЇ СИРОВИНИ ІЧ-ВИПРОМІНЮВАННЯМ	
1.1 Теоретичні основи ІЧ-обробки харчових продуктів	
1.2 Апаратне оформлення ІЧ-обробки харчових продуктів у закладах ресторанного господарства та підприємствах харчової промисловості	
1.3 Напрямки удосконалення процесів теплової обробки харчових продуктів ІЧ-випромінюванням	
Розділ 2 ВИВЧЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ ІЧ-ВИПРОМІНЮВАННЯ З ГЕТЕРОГЕННИМ СЕРЕДОВИЩЕМ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ	
2.1 Математичне моделювання процесу обробки харчової сировини ІЧ- випромінюванням	
2.2 Визначення оптимальних параметрів процесу ІЧ-смаження харчових продуктів в умовах відкритого робочого простору	
Розділ 3 РОЗРОБКА ІЧ-АПАРАТУ ДЛЯ СМАЖЕННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ	
3.1 Визначення впливу технічних властивостей апаратів ІЧ- випромінювання на параметри процесу	
3.2 Технічні вимоги та постановка завдання на проектування апарату	
3.3 Розробка принципової схеми ІЧ-апарату для смаження харчових продуктів в умовах відкритого робочого простору	
ВИСНОВКИ	
Література	
Додатки	

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Коренець Ю.М.</i>			ЗМІСТ	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Хорольський В.П.</i>						
<i>Н.контр.</i>		<i>Омельченко О.В.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Цвіркун Л.О.</i>						
						ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		

ВСТУП

Актуальність теми. Здоров'я населення у значній мірі залежить від умов і способу життя, провідну роль при цьому відіграє якість харчування. Повноцінне раціональне харчування є фундаментом профілактики багатьох неінфекційних захворювань, тоді як неповноцінне харчування є причиною виникнення широкого спектру патології в організмі, зниження рівня здоров'я населення України, що завдає значних економічних збитків, пов'язаних з витратами на медичну допомогу, тимчасовою непрацездатністю, інвалідністю тощо.

В Україні спостерігається виразна диференціація населення за характером і якістю харчування, яка пов'язана у значній мірі із стратифікацією суспільства за рівнем матеріального добробуту [1]. У групах населення з низькими доходами не забезпечується достатній за калорійністю і збалансований за основними інгредієнтами харчовий раціон.

Дані наукових досліджень та статистики в Україні свідчать про значну поширеність проблем здоров'я, пов'язаних з особливостями харчування, і необхідність термінових заходів щодо поліпшення ситуації [2, 3].

В Україні обґрунтовано стратегічні напрями державної політики у сфері охорони здоров'я, які ставлять за мету забезпечення здорового харчування усіх верств населення. Заходи з реалізації державної політики щодо вказаної проблеми відображені у низці нормативно-правових, концептуальних і програмних документів, які виконуються на комплексній міжсекторальній основі. Визначено доцільність розробки цільової комплексної програми «Стратегія продовольчої безпеки до 2030 року» [4], яка передбачає комплекс заходів, спрямованих на зменшення впливу на здоров'я населення неякісних і забруднених харчових продуктів та оптимізацію раціонів харчування.

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Коренець Ю.М.			ВСТУП	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		Хорольський В.П.						
<i>Н.контр.</i>		Омельченко О.В.						
<i>Затверд.</i>		Цвіркун Л.О.						
						ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		

В реалізації поставлених задач беруть участь відповідні міністерства і відомства, наукові установи, органи місцевого самоврядування.

Вирішення проблеми забезпечення різних верств населення України якісною харчовою продукцією можливе за такими напрямками:

- розширення асортименту харчової сировини за рахунок використання овочів та інших продуктів рослинництва, риби, продуктів моря тощо;
- інтенсифікація виробничих процесів.

Під інтенсифікацією виробничих (технологічних) процесів у широкому розумінні мають на увазі одержання прямого або непрямого економічного ефекту за рахунок збільшення продуктивності, ККД, зменшення енерго- і матеріалоємності обладнання, тривалості стадій процесу, підвищення якості продукту, ергономічних і соціальних показників.

Всі перераховані параметри є техніко-економічними і соціальними характеристиками (цільовими функціями) інтенсифікації. Техніко-економічні показники багато в чому взаємозалежні один з одним.

Одним із перспективних електрофізичних методів теплової обробки харчових продуктів, що дає можливість істотно інтенсифікувати процес за рахунок зменшення енерговитрат, підвищити якість виробів та поліпшити санітарно-гігієнічні умови праці, вважається ІЧ-обробка [5].

У закладах ресторанного господарства (ресторани, кафе, гриль-бари, заусочні, кулінарні цехи) набула значного поширення продукція, виготовлена з використанням ІЧ-обладнання з відкритим робочим простором. Теплова обробка у таких технічних засобах відбувається за умов, які значною мірою відрізняються від традиційних способів теплової обробки харчової сировини.

Перша суттєва відмінність – це ускладнений процес передачі теплоти, який супроводжується відбиванням значної частки променистої енергії від поверхонь продукту та апарату і її розсіюванням у робочому та навколишньому середовищі, які не розділені між собою конструктивними елементами апаратів. На відміну від традиційного теплового обладнання для смаження, у якому застосовується контактний нагрів (плити, сковороди, поверхні безпосереднього смаження), та ІЧ-

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

обладнання із закритим робочим простором, де нагрівання продукту здійснюється не лише випромінюванням, але й конвективно гарячим повітрям або іншим газовим середовищем та кондуктивно від поверхні, на якій розміщується продукт, в основу дії ПЧ-апаратів з відкритим робочим простором покладено безконтактний нагрів продукту ПЧ-променями.

По-друге, не розроблені практичні рекомендації щодо більш ефективної реалізації вже існуючих методів обробки харчової сировини: ПЧ-смаження (грилювання) напівфабрикатів з м'яса, риби, овочів.

По-третє, як показує практика, існує ціла низка чинників, які утруднюють отримання готової продукції зі стабільно високими якісними показниками.

По-четверте, виконання державної програми по забезпеченню населення якісною продукцією, примушує шукати шляхи для урізноманітнення асортименту харчових продуктів.

Таким чином, актуальним науковим завданням є вивчення процесу ПЧ-обробки харчової сировини різних видів за умов відкритого робочого простору з метою розробки практичних рекомендацій до проведення теплової обробки харчової сировини різних видів та вдосконалення існуючих технічних засобів.

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Розділ 1

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ОБРОБКИ ХАРЧОВОЇ СИРОВИНИ ІЧ-ВИПРОМІНЮВАННЯМ

1.1 Теоретичні основи ІЧ-обробки харчових продуктів

Теплова обробка – технологічний процес, в результаті якого харчова сировина зазнає комплексу складних фізико-хімічних, структурно-механічних та інших змін. Це здійснюється різними способами: зануренням у розігріте рідке середовище, впливом на продукт пароповітряною або пароводяною сумішшю, гострою парою, НВЧ, інфрачервоним випромінюванням, а також комбінацією перелічених способів. У залежності від поставленої мети можна отримати готовий продукт із необхідними властивостями, які забезпечуються тим чи іншим способом теплової обробки [6-8].

Розвиток харчової технології пов'язаний з використанням останніх досліджень фізики і електроніки та впровадженням у практику електрофізичних методів обробки. Одним із перспективних методів теплової обробки є нагрів ІЧ-випромінюванням. Використання цього способу у технологічних процесах дозволяє знизити питомі витрати електроенергії, скоротити тривалість теплової обробки, забезпечити раціональні температурні режими, що в свою чергу підвищує якість продукції та дає значний економічний ефект [6, 7].

Окрім теплового, ІЧ-випромінювання може робити на продукти також і специфічний (наприклад, каталітичний) вплив, що відкриває нові перспективи його використання у технологічній практиці.

Інфрачервоне нагрівання здійснюється за схемою «теплота – промінь – теплота», тобто спочатку за рахунок нагрівання випромінювача в ньому

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Коренець Ю.М.</i>				Розділ 1 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ОБРОБКИ ХАРЧОВОЇ СИРОВИНИ ІЧ-ВИПРОМІНЮВАННЯМ	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Хорольський В.П.</i>							
<i>Н.контр.</i>	<i>Омельченко О.В.</i>				ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО			
<i>Затверд.</i>	<i>Цвіркун Л.О.</i>							

генерується енергія, після чого вона передається у вигляді електромагнітних коливань через середовище (повітря, газ) до об'єкту нагрівання, в якому енергія електромагнітних коливань знов перетворюється в теплову [9].

Променистий теплообмін між тілами – складний процес, оскільки він супроводжується багатократним поглинанням і відбиванням променистої енергії, що поступово згасає. Особливістю ІЧ-випромінювання є здатність проникати на деяку глибину всередину продукту (залежно від його оптичних характеристик – поглинальної, відбивальної та проникної спроможності), не зустрічаючи опору пограничного шару, як при конвективному нагріванні, а також впливати на молекулярну структуру та циркуляцію газу в порах продукту. ІЧ-випромінювання інтенсифікує рух атомів і молекул поверхневих шарів продукту і він нагрівається. Температура поверхні і розташованих нижче шарів швидко росте, причому максимальна температура спостерігається не на поверхні матеріалу, а на деякій його глибині від десятих часток до 7 мм, що пояснюється охолодженням поверхні навколишнім середовищем.

При попаданні на продукт потоку ІЧ-променів з інтенсивністю I_0 його частка $I_{відб} = RI_0$ (R – коефіцієнт відбиття) відбивається від поверхні (відбиття носить переважно дифузний характер, оскільки характерні розміри нерівностей продуктів порівняні з довжиною хвилі ІЧ-випромінювання), а інша частина випромінювання з інтенсивністю $I_{ex} = (1 - R)I_0$ проникає усередину продукту. Інтенсивність I_{np} випромінювання, що пройшло через шар продукту товщиною d , виражається законом Бугера:

$$I_{np} = I_{ex} \cdot \exp(-xd) = (1 - R)I_0 \exp(-xd), \quad (1.1)$$

де x – коефіцієнт поглинання, який залежить від природи та структури продукту, а також від довжини хвилі ІЧ-випромінювання.

Глибина проникнення короткохвильових інфрачервоних променів у

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

продукти має значний діапазон і залежить від властивостей, структури, характеру поверхні, вологовмісту продуктів, а також від довжини хвиль випромінювання ІЧ-генераторів.

Сприятливим фактором для ІЧ-обробки харчових продуктів є наявність довжин хвиль поблизу 10^{-6} м у спектрі генератора ІЧ-випромінювання і високого вологовмісту вихідного продукту (при $\lambda = 0,75 \cdot 10^{-6} \dots 2,5 \cdot 10^{-6}$ м вода інтенсивно поглинає ІЧ-випромінювання). На поверхні продукту, що піддається опроміненню, досягається значна щільність променистого потоку, що призводить до утворення на його поверхні специфічної скоринки підсмажування.

Спільним для всіх видів теплової обробки є те, що перенос теплоти усередині харчових продуктів, які містять зазвичай велику кількість води, уявляє собою складний процес. Він здійснюється за допомогою теплопровідності, ускладненої переносом речовини (води). Харчові продукти є відносно поганими провідниками теплоти, тому для їх теплової обробки потрібен певний час, тривалість якого залежить від розмірів продукту та його фізичних властивостей, головним чином коефіцієнта теплопровідності.

Усередині харчових продуктів волога може переноситися у вигляді рідини і пари. При цьому переноситься і певна кількість теплоти, яка дорівнює множенню тепловмісту відповідно води або пари на їх масу.

Теплофізичні властивості харчових середовищ в основному характеризуються теплоємністю, теплопровідністю і температуропровідністю.

При тепловій обробці харчових продуктів найбільш важливим фактором нагрівання вважається перенос до них теплоти. Кількість перенесеної теплоти і досягнення продуктом необхідної температури залежить від швидкості його нагрівання.

Як правило, розв'язання рівнянь тепло- і масопереносу мають складний вигляд. У цих випадках використовуються приближені формули, які дають загальну уяву про кінетику процесів та дозволяють отримати кількісні оціночні результати.

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

На основі розроблених Л.В. Ликовим уявлень [9] система тепло- і масопереносу для процесу ПЧ-нагрівання може бути записана у такому виді (а – рівняння теплопереносу (теплопровідності); б – рівняння волого переносу; в – рівняння молярного масопереносу):

$$\frac{dt}{d\tau} = a \cdot \nabla^2 \cdot t + \frac{r}{c} \cdot \varepsilon \frac{du}{d\tau} + \frac{q_v}{c \cdot \rho_0}, \quad (1.2)$$

$$\frac{du}{d\tau} = a_{m2} \cdot \nabla^2 \cdot u + a_{m2} \cdot \delta_2 \cdot \nabla^2 \cdot t + \mu \frac{du}{d\tau}, \quad (1.3)$$

$$\frac{dP}{d\tau} = a_p \cdot \nabla^2 \cdot P - \frac{\mu}{c_B} \cdot \frac{du}{d\tau}, \quad (1.4)$$

де t – температура;

u – вологовміст;

P – надлишковий тиск у зразку;

τ – час;

$\nabla^2 = d^2/dx^2 + d^2/dy^2 + d^2/dz^2$ – оператор Лапласа;

α – коефіцієнт температуропровідності;

α_{m2} – коефіцієнт дифузії вологи;

a_p – коефіцієнт конвективної дифузії;

c – приведена питома теплоємність тіла;

q_v – питома потужність джерела нагріву;

δ – відносний коефіцієнт термодифузії;

r – питома теплота пароутворення;

μ – критерій фазового перетворення рідина-пара;

c_e – ємність капілярно-пористого тіла по відношенню до вологого повітря;

ρ_0 – густина «сухих речовин» тіла.

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

$$a_p = \frac{K_p}{c_g \cdot \rho_0} \quad (1.5)$$

де K_p – коефіцієнт фільтраційного переносу.

З метою отримання приблизних рішень системи рівнянь (1.2-1.4) можливе використання спрощень [9]:

1) по-перше, можна вважати, що зміни вологовмісту у даній точці зразку мало впливає на зміни температури у даній точці, тому у рівнянні (1.2) можна

зневажити членом $\frac{r}{c} \cdot \varepsilon \frac{du}{d\tau}$;

2) по-друге, вважаючи внесок термодифузії замалим, можна виключити з рівняння (1.3) член $a_{m2} \cdot \delta_2 \cdot \nabla^2 \cdot t$;

3) по-третє, розглядається одномірний випадок, коли всі величини залежать від однієї координати x ($0 \leq x \leq \infty$). Для цього випадку можна записати:

$$\frac{q_v}{c \cdot \rho_0} = A \cdot e^{-kx}, \quad (1.6)$$

$$k = 1/\Delta. \quad (1.7)$$

де A – поглинальна здатність (дає оцінку темпу ІЧ-нагрівання продукту);

Δ – глибина проникнення ІЧ-випромінювання до продукту;

x – поточна координата поверхні продукту.

Початкові умови задані у вигляді:

$$t(x,0) = t_0; u(x,0) = 0; P(x,0) = 0. \quad (1.8)$$

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Через те, що на поверхні зразка відбувається ряд процесів теплообміну з навколишнім середовищем, точний запис граничних умов для реального експерименту не здається можливим. Можна вважати, що умови на кінці зразку ($x = 0$) є проміжними між двома випадками:

- 1) коли зразок є термоізольованим;
- 2) коли зразок має температуру середовища.

Граничні випадки мають такий вигляд:

для 1-го випадку:

$$t_x(0, \tau) = 0 ; u_x(0, \tau) = 0 ; P_x(0, \tau) = 0 ; \quad (1.9)$$

(індекс x означає диференціювання за x)

для 2-го випадку:

$$t(0, \tau) = t_0 ; u(0, \tau) = 0 ; P(0, \tau) = 0 ; \quad (1.10)$$

(початкова температура зразка вважається рівною до температури навколишнього середовища).

Можна вважати, що найбільш близькими до дійсності будуть залежності $t(x, \tau)$; $u(x, \tau)$; $P(x, \tau)$, отримані як середнє арифметичне із розв'язання рівнянь (1.2-1.4) при граничних умовах (1.9) та (1.10). Залежності $t(x, \tau)$; $u(x, \tau)$ і $P(x, \tau)$ при урахуванні всіх перелічених вище припущень мають відносно простий вигляд:

$$t - t_0 = \frac{A}{k^2 \cdot a} \left\{ \frac{1}{2} - \frac{kx}{2} \left[1 - \Phi \left(\frac{x}{2\sqrt{a \cdot \tau}} \right) - e^{-kx} + \frac{1}{2} \cdot e^{ak^2\tau - kx} \cdot \left(1 - \Phi \left(\frac{-x}{2\sqrt{a \cdot \tau}} + k\sqrt{a \cdot \tau} \right) \right) \right] - \frac{k\sqrt{a \cdot \tau}}{\sqrt{\pi}} \cdot e^{-\frac{x^2}{4a\tau}} \right\} \quad (1.11)$$

$$u = \frac{1}{2} u_0 \cdot \left[1 + \Phi \left(\frac{x}{2\sqrt{a_i \tau}} \right) \right]; \quad (1.12)$$

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\left\{ \begin{array}{l} P = \frac{1}{2} \cdot P_0 \left[1 + \Phi \left(\frac{x}{2\sqrt{a_p \tau}} \right) \right] \\ P = P_0 \left[1 - \Phi \left(\frac{x}{2\sqrt{a_i \tau}} \right) \right] \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} (I) \\ (II) \end{array} \quad (1.13)$$

Де $\Phi(z)$ – табульована функція вигляду:

$$\Phi(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-\mu^2} \cdot d\mu. \quad (1.14)$$

Величина $a_i = \frac{a_{m2}}{1-\mu}$ має сенс «сумарного» коефіцієнту дифузії рідкої та пароподібної вологи в продукті і визначає темп видалення вологи в процесі ПЧ-нагріву.

Рішення формули (1.13-I) описує процес релаксації тиску після припинення нагріву і є рішенням спрощеного рівняння (1.4) вигляду: $\frac{dP}{d\tau} = a_p \nabla^2 P$, при вихідній умові $P(x, 0) = P_0$.

Формула (1.13-II) описує зростання тиску в процесі нагріву від 0 до P_0 і є рішенням спрощеного рівняння (1.4) у вигляді: $\frac{dP}{d\tau} = \frac{\varepsilon}{C_g} \cdot \frac{du}{d\tau}$, з підставленням $u(x, \tau)$ у вигляді (1.12).

Експериментальні параметри, які входять до формул повинні визначатися для кожного типу продуктів при точно фіксованих умовах вимірювань.

Спроби прискорити нагрів традиційними способами, підвищуючи щільність потоку ПЧ-випромінювання, можуть призвести до небажаних наслідків (обвуглювання поверхневих шарів, зниження якості продукту та його харчової цінності).

В ряді вітчизняних та закордонних робіт показано, що втрати маси та якість готових продуктів залежить не тільки від температури і способу нагріву, але й від

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

швидкості нагріву. Тому, з практичної точки зору, важливо знати швидкість, з якою здійснюється нагрів продуктів.

На швидкість і тривалість нагріву продуктів впливають: спосіб теплової обробки; температура обробки; температура середовища, що гріє; маса продукту; геометричні властивості (товщина) продукту; теплофізичні властивості, які обумовлюються родом харчової сировини; бажаний ступінь кулінарної готовності.

Харчові продукти рослинного і тваринного походження за своїми фізико-механічними властивостями і структурою відносяться до групи капілярно-пористих колоїдних тіл [5]. На відміну від мутних середовищ, до яких відноситься атмосфера, ці багатокomпонентні матеріали характеризуються складністю мікроструктури і великою оптичною щільністю. Поглинання і розсіювання випромінювання у таких матеріалах визначаються головним чином наступними чотирма процесами:

1) резонансним поглинанням випромінювання молекулами сухої речовини (усіма компонентами, які утворюють дане капілярно-пористе колоїдне тіло) та молекулами структурної і зв'язаної з матеріалом води;

2) розсіюванням, обумовленим флуктуаціями густини або концентрації речовини, а також розсіюванням на молекулах (наприклад, на молекулах білків, крохмалю, полімерів та ін.) або іонах;

3) розсіюванням випромінювання на зважених колоїдних часточках, зернах крохмалю, рослинних клітках, міофібрилах, часточках пігменту та ін.;

4) розсіюванням на інших оптичних неоднорідностях – капілярах і порах.

Одним з важливих факторів, що впливає на інтенсифікацію ІЧ-смаження, є раціональне урахування терморадіаційних характеристики харчових продуктів, до яких відносяться: поглинальна здатність (A), відбивальна здатність (R), пропускна здатність (T) та здатність випромінювати енергію [$\varepsilon(T_e)$].

Перші три характеристики залежать як від спектрального складу, ступеню поляризації і просторових характеристик випромінювання, що впливає на продукт (тобто умов опромінювання), так і від стану та властивостей матеріалу, що

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

піддається опроміненню. Остання характеристика визначається лише станом і властивостями матеріалу.

При довільних умовах опромінення поверхні тіла S потоком випромінювання F_{Π} сума величин поглиненої F_A , відбитої F_R та пропущеної F_T тілом енергії за одиницю часу відповідно закону збереження енергії повинна дорівнювати величині потоку, що падає на поверхню тіла:

$$F_A + F_R + F_T = F_{\Pi} \quad (1.15)$$

або:

$$A + R + T = 1 \quad (1.16)$$

де $A = F_A / F_{\Pi}$ – поглинальна здатність (коефіцієнт поглинання тіла);

$R = F_R / F_{\Pi}$ – відбивальна здатність (коефіцієнт відбиття);

$T = F_T / F_{\Pi}$ – пропускна здатність (коефіцієнт пропускання).

Узагальнення експериментальних даних для харчових продуктів дозволяє відзначити такі їх особливості:

– терморадіаційні характеристики харчової сировини значно залежать від товщини шару матеріалу (товщини напівфабрикату) l , його мікроструктури, густини ρ і вологовмісту W , а також від умов опромінення;

– наслідком сильного відбиття випромінювання є висок відбивальна здатність, яка зростає зі збільшенням густини ρ і вологовмісту W матеріалу.

Оптичні і терморадіаційні характеристики харчових продуктів залежать від ряду параметрів: кута падіння випромінювання, густини матеріалу, вологовмісту, температури і стану поверхні.

У теплових апаратах і процесах виробництва продуктів харчування значне місце посідає перетворення енергії, що вивчається за допомогою другого початку

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

термодинаміки [9]. Процеси, що відбуваються в апаратах, проходять в умовах взаємодії з рівноважним навколишнім середовищем, параметри якого (склад, температура та тиск) не залежать від дії технічної системи, що розглядається. З іншого боку, абстрагуватися від дії параметрів самого навколишнього середовища не можливо. Тільки за деяких випадків під час аналізу закритих систем можна не брати до уваги дію таких параметрів, як склад і тиск навколишнього середовища, але температура має значний вплив за всіх випадків.

1.2 Апаратне оформлення ІЧ-обробки харчових продуктів у закладах ресторанного господарства та підприємствах харчової промисловості

Для реалізації процесів ІЧ-обробки харчової продукції у харчових виробництвах та ресторанному господарстві використовують різноманітні апарати, які можна класифікувати за принципом дії (безперервної та періодичної) особливостями конструкції та технічного виконання, виду та типу використовуваних ІЧ-випромінювачів [10].

У наш час промисловість виробляє різноманітні інфрачервоні випромінювачі. Залежно від довжини хвилі максимального випромінювання, а отже, і температури нагрівання випромінювачі поділяються умовно на «світлі» та «темні». «Світлі» випромінювачі мають у своєму спектрі видиме (світлове) випромінювання, їх $\lambda_{max} = 0,77...2,6$ мкм. Це кварцові випромінювачі КІ-220-1000, лампи ЗС, СЕНи, газові мікрофакельні пальники та ін. «Темні» випромінювачі (ТЕНи, конфорки та ін.) мають температуру до 1000 К, $\lambda_{max} = 2,6...4,0$ мкм, у спектрі їхнього випромінювання відсутнє видиме випромінювання [10].

При виборі випромінювача враховують особливості технологічного процесу, властивості матеріалу, інерційність генератору, інтенсивність і довжину хвилі випромінювання, можливість імпульсного опромінення, санітарні вимоги, економічні показники роботи випромінювача.

«Світлі» і «темні» випромінювачі можуть застосовуватися з відбивачами, які

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

в більшості апаратів мають прості форми (зазвичай, параболічні). Основним призначенням відбивачів є утворення рівномірного температурного поля на поверхні харчового продукту. Розробляються конструкції, які забезпечуватимуть можливість керування інтенсивністю теплового потоку в об'ємі робочої камери [7].

Утворення рівномірного теплового потоку на поверхні продукту гарантує стабільність технологічного процесу та високу якість готової продукції. Однією з основних характеристик джерела ІЧ-випромінювання є енергетична освітленість, або щільність променистого потоку.

Освітленість об'єкту точковим джерелом розраховується по формулі:

$$E = \frac{I}{Z^2} \cos \alpha, \quad (1.17)$$

де I – сила світла джерела випромінювання;

Z – відстань від джерела до поверхні, що опромінюється;

α – кут падіння променів на об'єкт.

На практиці доводиться користуватись такими джерелами випромінювання, розміри яких не малі у порівнянні з відстанню до об'єкту опромінювання. Такі джерела не є точковими і користуватися співвідношенням (1.17) неможна. Внаслідок неправильної форми випромінювача залежність $E(Z)$ може мати досить складний вигляд. Однак можна розрахувати цю залежність для деяких простіших випадків (круглих або квадратних випромінювачів). В роботі М.М. Жукова [10] отримані аналітичні залежності, які дозволяють оцінити енергетичну освітленість поверхні виробу, що піддається обробці. Для випромінювача круглої форми радіусом R_0 або квадратної форми зі стороною $2R_0$ залежність енергетичної освітленості по центру випромінювача має вигляд:

$$E = \frac{I}{Z^2 + \left(\frac{S}{\pi}\right)}, \quad (1.18)$$

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

$$I = B \cdot S, \quad (1.19)$$

де I – енергетична сила світла;

B – яскравість випромінювача;

S – площа випромінювача;

Z – відстань від ІЧ-випромінювача до поверхні, що опромінюється.

Залежність $E(Z)$ може бути використана також для розрахунку енергетичної освітленості, утвореної випромінювачем подовженої форми. Для цього до формули (1.18) необхідно підставити «ефективну» площу випромінювача S , тобто площу деякого круглого або квадратного випромінювача, що дає таку ж освітленість.

У таблиці 1.1 представлені значення I та S , знайдені за експериментальними залежностями $E(Z)$ для різних типів ІЧ-випромінювачів.

Таблиця 1.1 – Характеристики ІЧ-випромінювачів різних типів [10]

Тип випромінювача	I , Вт	S , см ²	$W_{\text{спож}}$, Вт	λ_{max} , мкм
Лампа КІ-1000	200	56,5	1000	1,04
Відкрита ніхромова спіраль	550	120	2300	2,50
Газовий пальник ГПВ-1	1250	200	-	2,50
Керамічна панель з електрообігрівом	450	350	2000	3,80
ТЕН	210	175	600	4,50
Софітна лампа	20	190	40	1,40

Залежність освітленості об'єкту від зсуву від центру випромінювача (X) визначається наступним співвідношенням [10]:

$$E = \frac{2BR_0}{\sqrt{Z^2 + R_0^2}} \cdot \arctg \frac{R_0 \sqrt{Z^2 + R_0^2}}{Z^2 + R_0^2} - B \frac{(x_0 - R_0)}{\sqrt{(x_0 - R_0)^2 + Z^2}} \cdot \arctg \frac{R_0}{\sqrt{(x_0 - R_0)^2 + Z^2}} + \frac{B(x_0 + R_0)}{\sqrt{(x_0 + R_0)^2 + Z^2}} \cdot \arctg \frac{R_0}{\sqrt{(x_0 + R_0)^2 + Z^2}} \quad (1.20)$$

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Формули (1.17) та (1.19) мають практичну користь, оскільки розрахункові дані добре узгоджуються з експериментальними.

ІЧ-обладнання широко застосовується у сучасних закладах ресторанного господарства. Перш за все це обумовлено стабільним попитом споживачів на продукцію-гриль, тому більшість підприємств різного типу (ресторани, кафе, гриль-бари, ПШО, спеціалізовані підприємства і навіть загальнодоступні їдальні) включають такі страви в меню, а для деяких закладів це стає цілою концепцією і основним напрямком діяльності. Крім цього ІЧ-обробка за зведеною інформацією [12] має ряд переваг у порівнянні з іншими традиційними видами теплової обробки, а саме:

- завдяки великій щільності теплового потоку при використанні ІЧ-випромінювання. Тривалість процесу скорочується на 24-42 %, що зменшує загальні енерговитрати на 20-60 %, це сприяє покращенню органолептичних властивостей і підвищенню якості кінцевого продукту за рахунок збереження вітамінів та мінеральних речовин;

- при ІЧ-випромінюванні, особливо якщо використовується переривчасте підведення енергії, вихід готової продукції підвищується на 10-16 %;

- обмежується або повністю відпадає необхідність використання жирів, як допоміжних продуктів для смаження, що дозволяє отримати продукцію з меншою калорійністю та дієтичними властивостями;

- бактерицидна дія ІЧ-випромінювання, яке проникає у глибину продукту, сприяє повному знищенню шкідливих мікроорганізмів, що особливо важливо для м'ясних і рибних продуктів;

- так званий імпульсний режим нагріву (обертання продукту, зміна положення продукту або джерела ІЧ-випромінювання) дає можливість готувати великі продукти (курчат, великошматкові м'ясні та рибні напівфабрикати), випікати хлібобулочні вироби тощо;

- є можливість використання комбінованих способів теплової обробки у

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

закритій робочій зоні з використанням атмосфери водяної пари або двоокису вуглецю, що дозволяє інтенсифікувати процес теплоперенесення;

– у залежності від потреб та специфіки підприємства існує альтернатива вибору джерела енергії, (електроенергія, газ, тверде паливо);

– функція гриль-обробки є додатковою в окремих моделях універсального теплового обладнання (НВЧ, пароконвектомати та конвектомати);

– окрім основних функцій, деяке ІЧ-обладнання використовується для підігріву столового посуду та збереження готових страв у підігрітому стані (грилі конструкції «саламандра»).

Завдяки переліченим перевагам у наш час активно розвивається відповідний сегмент ринку технологічного обладнання. Відомі світові виробники пропонують широкий асортимент ІЧ-обладнання, різного за функціональним призначенням та конструктивними особливостями [13].

Серійно випускаються печі шашличні ПШСМ-14, ШР-2 [14] з твердопаливним обігрівом, грилі електричні ГЕ-3, ГЕ-4, ЕГР-3/220-3, які відрізняються між собою об'ємом робочої камери та потужністю ІЧ-нагрівачів, піч ПКЖ для безперервного жаріння виробів з м'яса без їхнього перевертання.

У пристрої для жаріння харчових продуктів [15] ІЧ-генераторі з відбивачами розміщені у верхній частині робочої камери по твірній циліндру, а у пристрої [16] привід шампурів змонтовано так, що вони здійснюють складний обертально-коливальний рух. За таких умов готування продукту відбувається у так званому імпульсному режимі нагріву, що сприяє рівномірному розподіленню теплового поля на поверхні напівфабрикатів.

Технічною особливістю та відмінною рисою електрошашличниць [17, 18] є те, що електронагрівачі у них розміщені в центрі робочої камери, а шампури з продуктами навкруги них у горизонтальному положенні. Така конструкція апаратів дозволяє мінімізувати зайві витрати електроенергії та досягти певного технологічного ефекту.

У пристрої [19] електронагрівач виконано у вигляді касети, усередині якої

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

встановлено горизонтальні ІЧ-випромінювачі один під одним таким чином, що відстань між ними збільшується знизу вгору за законом зростаючої арифметичної прогресії. Це дозволяє домогтися рівномірного нагріву та високих органолептичних якостей оброблюваного продукту на всіх вертелах. Для підвищення органолептичних якостей продуктів цей апарат оснащено пристроєм для поливання продукту рідиною, яка забезпечує змочування продукту 2-3 рази по 10 с протягом циклу теплової обробки.

З метою розширення асортименту продукції у пристрої [20] передбачене смаження різних за розмірами продуктів за допомогою вертикально встановленого ІЧ-нагрівача, який здатен міняти положення у залежності від розміру напівфабрикату.

У пристрої [21] використовується відбивач, який виконано у формі еліптичного циліндру. На одній з його фокальних осей розміщено з'ємні випромінювачі, положення яких у просторі можна змінювати, а на другій фокальній осі розміщується носій із продуктом. Особливість такої конструкції дозволяє досягти рівномірної концентрації та розподілу теплового поля в зоні обробки у залежності від виду продукту та технології приготування. Тим самим відкриваються шляхи для розширення асортименту продукції та зменшення енерговитрат.

Для більш повного використання теплового потоку ІЧ-випромінювання у пристрої [22] застосовано поворотні відбивачі, положення яких у просторі змінюється вручну або автоматично (за допомогою біметалічного приводу).

У апараті [23] підтримується певне відношення відстані від осі симетрії пристрою до шампурів із продуктом та ІЧ-генераторів, які оснащені відбивачами напівеліпсоїдної форми.

Необхідно відзначити, що використання відбивачів у ІЧ-апаратах ускладнює їх технічну конструкцію, підвищує вартість обладнання за рахунок матеріалоємності та складності їх виготовлення. В процесі експлуатації відбивачі потребують спеціального догляду, оскільки їх відбиваюча поверхня може

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

забруднюватись часточками продуктів, жиру та вологи, виділення яких супроводжує процес смаження. Ускладнюють конструкцію апаратів також додаткові механічні пристрої та прибори автоматики.

Одним з напрямків зменшення енерговитрат в процесі ІЧ-обробки є використання економічних генераторів ІЧ-випромінювання.

Відкрита ніхромова спіраль є більш економічною ніж ТЕН, але її використання у якості генератору ІЧ-випромінювання ускладнюється, оскільки в процесі нагрівання спіраль деформується, і, як слідство, змінюються параметри обробки. У пристрої [24] для підтримування нитки розжарювання у стані постійного натягування використовується пружина з ефектом пам'яті. Вона виключає можливість стискання сусідніх ниток між собою, попереджує перегрів і можливість перегорання.

Фірмою Heraeus Noblelight (Німеччина) [25] випускаються графітові інфрачервоні випромінювачі CIR. Вони дозволяють обробляти харчові продукти, нагріваючи поверхню та залишаючи внутрішню частину відносно холодною. Це досягається за рахунок того, що графітові ІЧ-випромінювачі мають середню довжину хвилі випромінювання, яке поглинається поверхневими шарами продукту. Використання таких випромінювачів, які мають високу поверхневу потужність та ККД, дозволяє запобігти переварюванню продукту, знизити витрати пов'язані з технічним обслуговуванням та споживання електроенергії. Джерела теплоти відрізняються компактністю, що також є важливим фактором.

Ще одним напрямком удосконалення ІЧ-обладнання є розробка та використання малоінерційних електронагрівачів [26].

Найчастіше заклад ресторанного господарства не може обходитися лише традиційним тепловим обладнанням для смаження м'яса: плити, електросковороди, фрай-топи, шафи для смаження [12]. Тоді оптимальним виходом є придбання спеціалізованого стаціонарного або мобільного обладнання – грилів, барбекю, мангалів [13, 27].

Барбекю на твердому паливі найчастіше мають великі габарити. Для них

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

використовуються прості конструкції із цегли з двома ґратами: нижня (для розведення вогню) і верхня (для готування їжі), які, як правило, розміщуються на фіксованій висоті.

Серед переносних барбекю найбільш поширені барбекю-казани, які можна використовувати як звичайні або як духовку чи коптильню.

Найбільш простий і популярний вид барбекю – це барбекю-жаровня, для якого також використовується тверде паливо. Такі барбекю складаються з неглибокої ємності для згоряння палива й ґрати зверху. Деякі види ґрат можна піднімати, опускати або навіть обертати. Кращі жаровні оснащені тепловідбиваючою кришкою для підтримки постійної температури. Але головна їхня відмінність полягає в компактності.

Стаціонарні горизонтальні барбекю-жаровні (horizontal smokers) обладнані піддувалом і димоходом, а також масивною кришкою. Від висоти труби-димоходу залежить тяга, для поліпшення якої деякі зразки ґрилів додатково оснащують піддувалом з електричним вентилятором або механічною системою вентиляції.

Найбільш поширеними серед стаціонарних барбекю залишаються кам'яні вогнища з потужними жаровнями.

Серед країн-виробників ПЧ-обладнання лідерами є Італія й Німеччина.

Використання твердопаливних мангалів і барбекю пов'язане з труднощами, а саме:

– твердопаливне обладнання може розміщуватись лише на відкритих майданчиках або спеціально обладнаних приміщеннях, що вимагає додаткових матеріальних витрат;

– твердопаливне обладнання потребує спеціального палива (дрова, тирса, деревинне або кам'яне вугілля), яке потрібно регулярно постачати на підприємство та зберігати з дотриманням спеціальних умов;

– приготування продукції на такому обладнанні потребує постійного нагляду та контролю за станом розжареного вугілля, що робить практично неможливим організацію безперервного технологічного процесу;

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

– приготування гриль-продукції в мангалах та барбекю потребує від кухаря певної кваліфікації та практичних навичок, бо таке обладнання, як правило, позбавлене будь якої контролюючої або регулюючої арматури, і єдиним способом контролю за ходом технологічного процесу є візуальне спостереження.

Також, при згорянні твердого палива виділяються смоли та зола, які містять канцерогенні речовини та негативно впливають на споживчі властивості продукції.

Зараз найбільш досконалим вважається газове ПЧ-обладнання [12, 13]. Воно є економічним стосовно вартості енергоносія, швидко виходить на робочий режим, дає можливість плавного регулювання температури в процесі обробки, дозволяє отримати продукцію найбільш наближену за кінцевими властивостями до продукції, яку виготовлено з використанням твердопаливного обладнання. Ще однією перевагою газового обладнання на балонному паливі є можливість його автономного використання, що має важливе значення при виїзному обслуговуванні, виробництві кулінарної продукції на вулиці, у парках тощо.

Однак використання газового обладнання має і ряд серйозних обмежень:

- експлуатація газового обладнання вимагає дотримання більш жорстких умов техніки безпеки та організації протипожежних заходів у роботі з ним;
- використання газових апаратів потребує обов'язкової наявності досконалої системи припливно-витяжної вентиляції.

Тому найбільш поширеним є електричне ПЧ-обладнання, яке відрізняється простотою устрою, меншими габаритними розмірами та масою. Воно благополучне у дотриманні санітарно-гігієнічних норм та просте в експлуатації. Основним недоліком є високі енерговитрати, що відбивається на собівартості продукції.

Більшість моделей газового й електричного ПЧ-обладнання з відкритою робочою зоною аналогічні за конструкцією і принципом дії і відрізняються лише видом ПЧ-генераторів. Тому основні питання з їх використання можна розглядати в комплексі.

Апарати з нижнім розташуванням ПЧ-генераторів за принципом дії подібні

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

твердопаливному обладнанню: продукт розташовується на решітці, під якою розміщене джерело ІЧ-випромінювання. В електричних барбекю використовуються трубчасті електронагрівачі, в газових – пальники з розсікачами для рівномірного розподілення полум'я. Часто апарати з нижнім розміщенням нагрівачів оснащуються кришкою, яка дозволяє використовувати їх у разі необхідності для коптіння або запікання. На рисунках 1.4 і 1.5 представлено електричне і газове барбекю виробництва фірми «ROLLER-GRILL», США, Канада [28].



Рисунок 1.1 – Електричне барбекю



Рисунок 1.2 – Газове барбекю

Обладнання з нижнім розташуванням ІЧ-генераторів має ряд недоліків, пов'язаних із конструктивними особливостями:

- оскільки робоча зона необмежена, в процесі роботи відбуваються значні витрати теплової енергії в повітря;
- на першому етапі теплової обробки нагрівається лише один бік продукту, а другий має значно нижчу температуру, за рахунок чого відбуваються великі втрати маси;
- при розташуванні ТЕНів під продуктом, на них постійно потрапляє жир та

волога, що з часом призводить до виходу їх із ладу;

– на решітці звичайно залишаються часточки продукту, які можуть потрапити і на ІЧ-генератори, що потребує постійного очищення їх від залишків продуктів.

Серед електричного і газового ІЧ-обладнання з відкритою робочою зоною поширені лавові грилі, в яких як проміжний генератор ІЧ-випромінювання використовується лавове каміння (каміння вулканічного походження). Розжарене лавове каміння є джерелом інтенсивного ІЧ-випромінювання, аналогічно вугіллю в твердопаливному мангалі. Приготований на такому обладнанні продукт за своїми властивостями наближається до продукту, який приготовано на вугіллях. Однак розігрів каміння вимагає додаткових витрат енергії. Лавове каміння має пористу структуру і його дуже складно очищати від забруднень. Строк експлуатації лавового каміння обмежений і складає 2-3 місяці.

Порівняно недавно на ринку з'явився новий вид газового гриля. Довгий газовий пальник прикритий зверху масивним напівциліндром з нержавіючої сталі, що і є в цьому випадку вторинним джерелом потужного інфрачервоного випромінювання. Над ним розташовується регульована по висоті ґрата із продуктами, а під ним – ємність із водою.

Переваги використання подібного гриля:

– розжарені від газового пальника нагрівальні елементи забезпечують рівномірне і якісне смаження продукту;

– ємність із водою створює підвищену вологість (продукт зберігає соковитість і менше втрачає у масі), а також слугує для миттєвого охолодження жиру й усунення неприємних запахів;

– можливість регулювання відстані між нагрівальними елементами й продуктом створює можливість вибору оптимального режиму термообробки напівфабрикатів з різної сировини;

– завдяки універсальній конструкції гриль можна використовувати для смажіння плоских продуктів на ґратах і у вигляді шматочків на шампурах.

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Вапо-гриль фірми «METOS» (Фінляндія) – один з сучасних зразків електричних грилів, який дещо відрізняється за конструкцією та принципом дії від інших апаратів (Рис. 1.3) [29, 30].

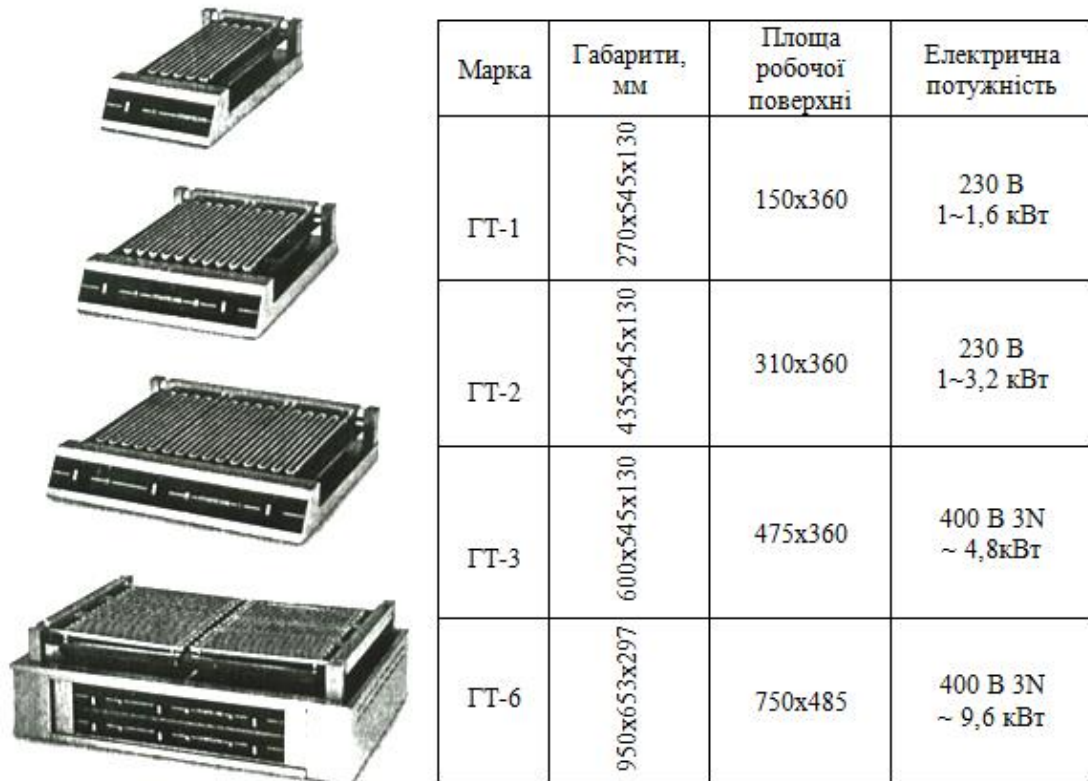


Рисунок 1.3 – Вапо-грилі фірми «Metos»

Готування продукту відбувається безпосередньо на нагрівальних елементах. Запатентований зволожувач «Вапо» зберігає продукти соковитими, зводить до мінімуму втрати їхньої маси. Приготовлені на такому грилі продукти мають смак і аромат, як і продукти, приготовлені на класичному вугільному грилі. Вапо-гриль безпечний для використання в будь-якому приміщенні. Випускаються грилі із двома, трьома й шістьма елементами з роздільним регулюванням температурного режиму та малим часом виходу на робочий режим. Нагрівальні елементи легко мити. Їх можна підняти, що полегшує миття внутрішніх поверхонь й піддону з водою.

У ємності з водою збирається весь жир, що стікає із продуктів, які готуються.

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Гриль безпечний у використанні, оскільки жир попадає у воду й не може спалахнути. Емальований піддон для води легко виймається, завдяки чому його миття й очищення не пов'язані з особливими труднощами. Усі марки Вапо-грилів виготовлені з нержавіючої сталі.

Саламандри сконструйовані таким чином, що тепла енергія на решітку, де розміщується продукт, надходить зверху і знизу, нижнє джерело ІЧ-випромінювання нерухоме, а верхнє дозволяє змінювати відстань до решітки, що впливає на інтенсивність теплової обробки. На рис. 1.4 представлений зовнішній вигляд саламандри виробництва корпорації «Metos»



(Фінляндія) [28].

В окремих марках робоча зона обмежується ще й з боків, що зменшує тепловитрати в навколишнє середовище. Саламандри призначені для приготування шашликів, люля-кебаб, запеченої цілком риби, страв у горщиках, підігрівання та термостатування кулінарних виробів.

Вони мають високий рівень безпеки при роботі, зручні у технічному обслуговуванні, забезпечують максимальну інтенсивність нагріву з низькими тепловитратами через елементи конструкції. Окремі марки можуть розташовуватись на стіні у підвішеному стані, що сприяє економному використанню площ виробничих приміщень. Недоліками саламандр є висока матеріалоємність, яку спричинено особливостями конструкції, обмеженість площі робочої поверхні решітки та додаткові витрати енергії на роботу верхнього джерела ІЧ-випромінювання.

Вертикальне ІЧ-обладнання з відкритою зоною доволі поширене, але використовується лише у спеціалізованих закладах ресторанного господарства та підприємствах швидкого обслуговування бо розраховане на вузький асортимент продукції. Шаурма-грилі випускаються як газовими, так і електричними.

Рисунок 1.4 – Гриль «Саламандра» СС206 фірми «Metos»

						ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Вертикальне розміщення продукту відносно джерела ІЧ-випромінювання дозволяє використовувати газові безполуменеві інжекційні пальники, які характеризуються високим коефіцієнтом корисної дії. Особливістю шаурма-грилів є суміщення дії ІЧ-випромінювання з обертанням продукту, завдяки чому досягається ефект імпульсного нагріву. Це дозволяє готувати великошматкові напівфабрикати або щільно нанизані пласти відбитого м'яса – шаурму. Зовнішній вигляд такого грилю виробництва фірми «Fimar» представлений на рис. 1.5.



Рисунок 1.5 – Вертикальний електричний гриль фірми «Fimar», Італія

Активну роботу по удосконаленню грилів-барбекю проводять фірми-виробники технологічного обладнання США. На рис. 1.6 представлений сучасний гриль-барбекю виробництва США.

Новизна технічних удосконалень апаратів даного виду полягає у використанні суміщеної дії ІЧ-генераторів різних конструкцій; використанні особливих конструкцій решітки та корпусу; застосуванні у виробництві обладнання сучасних технологій і матеріалів. В результаті цього обладнання є технічно складним, що впливає на початкову вартість обладнання, та суму витрат

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

на обслуговування і ремонт.

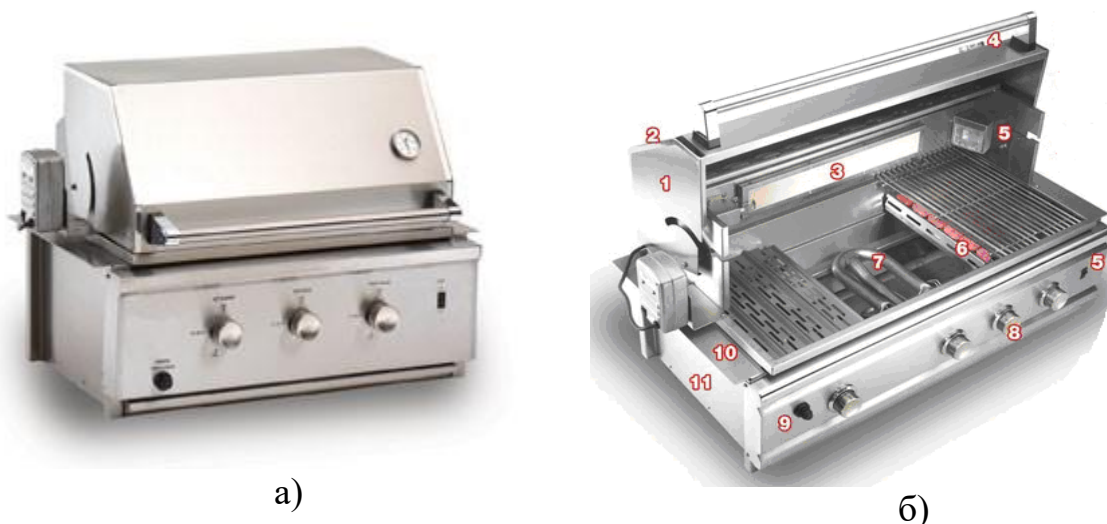


Рисунок 1.6 – Сучасний гриль-барбекю виробництва США:

а – зовнішній вигляд; б - конструктивні елементи (1 – подвійна стінка з нержавіючим покриттям; 2 – безшовна кришка з полірованою поверхнею; 3 – інфрачервоний керамічний пальник з потужним двигуном, вертелом та виделками; 4 – вимірювач температури; 5 – внутрішній галогенний легкий гриль з перемикачем On/Off; 6 – спеціальні решітки з нержавіючої сталі; 7 – нагрівачі з нержавіючої сталі; 8 – електронна кнопка розжарювання; 9 – регулятори температури; 10, 11 – корпус з нержавіючої сталі)

Таким чином можна відмітити велику різноманітність сучасного ПЧ-обладнання з огляду на призначення, продуктивність, особливості конструкції та досконалість технічного виконання. Проте серійні ПЧ-апарати з відкритим робочим простором переважно представлені обладнанням імпортного виробництва. До того ж таке обладнання є затратним як з позиції стартової ціни, так і з позиції експлуатаційних витрат та витрат на обслуговування, ремонт. ПЧ-обладнання з відкритим робочим простором відрізняється відносно низькою продуктивністю і високим енергоспоживанням. Тому воно потребує науково обґрунтованого удосконалення з огляду на специфічні особливості процесу теплової обробки харчових продуктів за умов відкритого робочого простору.

1.3 Напрямки удосконалення процесів теплової обробки харчових продуктів ІЧ-випромінюванням

При виробництві кулінарної продукції досить важливим є максимальне збереження біологічно активних речовин [31]. Складний состав і структура вихідного продукту обумовлюють складну побудову технологічного процесу. При переробці сировини під впливом різних технологічних прийомів виникають численні й різноманітні сполучені одна з одною зміни, які обумовлені закономірностями фундаментальних і прикладних наук. Явища й процеси, що відбуваються при переробці харчової сировини в готову кулінарну продукцію, взаємопов'язані, причому одні з них є обов'язковими (незамінними), а інші можуть виявитися необов'язковими (замінними). При проєктуванні технологічних процесів є дуже важливим знання природи і взаємодії різних впливів на продукт, що переробляється.

Метод ІЧ-опромінювання є одним з перспективних фізичних методів обробки харчових продуктів. Він знаходить все більшого застосування у різних галузях харчової промисловості і використовується для бланширування, обсмажування й сушіння плодово-овочевої сировини; пастеризації молока, соків, вин та пива; теплової обробки м'ясопродуктів; готування гриль-продукції з різних видів харчової сировини у закладах ресторанного господарства [10].

Шляхи удосконалення процесів ІЧ-обробки харчової продукції полягають у зменшенні енерговитрат за рахунок інтенсифікації дії ІЧ-випромінювання та скорочення часу на обробку; підвищення якості кінцевих продуктів.

На хід процесів ІЧ-обробки мають вплив режими обробки; характеристики генераторів ІЧ-випромінювання; конструктивні особливості апаратів; властивості середовища обробки; теплофізичні та оптичні властивості продуктів, які піддаються обробці. Відповідно до сказаного, роботи з удосконалення процесів ІЧ-обробки проводяться у декількох напрямках.

Багатьма дослідженнями встановлено, що найбільш ефективним режимом

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

при ІЧ-обробці харчових продуктів є переривчасте підведення теплоти. Як правило, процес розбивається на дві стадії: перша – на максимальній потужності, друга – на зменшеній або мінімальній потужності ІЧ-випромінювачів. Для обробки великих за розмірами продуктів, як різновид, використовується імпульсний режим підведення теплоти, що досягається, наприклад, обертанням продукту відносно джерела випромінювання.

Дослідження Х.Ф. Джураєва та О.Р. Абдурахмонова (Узбекистан) [32], проведені при термообробці цілих плодів і овочів з метою отримання нових кулінарних виробів, показали, що, завдяки використанню ІЧ-випромінювання з великою щільністю теплового потоку, тривалість процесу їх приготування скорочується на 24-42 % у порівнянні з традиційними способами. ІЧ-енергопідведення сприяє кращому збереженню вітамінів і мінеральних речовин, що є результатом скорочення тривалості теплової обробки. Також це дозволяє покращити органолептичні показники готової продукції.

Найкращим варіантом сушіння плодів ІЧ-випромінюванням є переривчастий режим опромінювання, при якому перший етап сушіння здійснюється при сильному, а останній – при слабкому опромінюванні. Експериментальні дослідження [32] показують, що нативні властивості продуктів краще зберігаються при жорсткому режимі опромінювання, який скорочує тривалість процесу сушіння. Із технологічних та біохімічних оцінок продуктів, які висушені ІЧ-променями, випливає, що втрати органічних кислот і загальних цукрів не перевищують втрат при конвективному сушінні, а зовнішній вигляд покращується. Встановлено, що в отриманих продуктах у високому ступеню зберігаються біологічно активні речовини: вітаміни А, Е, групи В – 60-70 %; вітамін С – 50-65 %, незамінні амінокислоти і мікроелементи – близько 100 %. Таким чином технологія ІЧ-обробки сільськогосподарських продуктів не знижує харчової цінності сухих продуктів та зменшує вірогідність появи у продуктах канцерогенних речовин.

Для удосконалення процесів ІЧ-обробки харчових продуктів необхідно враховувати механізм дії процесу, який залежить як від властивостей ІЧ-

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

випромінювання з його законами тепло- масо переносу, так і від властивостей продукту, що піддається обробці (теплофізичних, оптичних). Впливає на процес і середовище, в якому здійснюється обробка.

Процеси тепло- і масообміну при ІЧ-опроміненні харчових продуктів та інших капілярно-пористих матеріалів мають свої специфічні особливості [33, 34], пов'язані з проникненням в матеріал ІЧ-випромінювання, яке впливає на структуру речовини та інтенсифікує процеси фазових перетворень, а також біохімічні властивості. Проникнення ІЧ-випромінювання в матеріал суттєво впливає на характер полів температури й вологості. Експериментальні дослідження спектральних терморадіаційних характеристик харчових продуктів та інших матеріалів показують, що при опромінуванні високотемпературними ІЧ-генераторами і сонячною радіацією глибина проникнення 0,01 частки потоку випромінювання досягає від 5-10 мм до 40 мм.

У багатьох харчових продуктах і капілярно-пористих матеріалах, подібних до харчових продуктів за структурними оптичними властивостями, було виявлено аномальне розподілення температури за товщиною шару – температура на глибині 1-6 мм вище за температуру поверхні на 1-10 °С, а у деяких випадках і на 20 °С.

У початковий період часу при ІЧ-опромінуванні, незважаючи на інтенсивний прогрів (іноді до 100 °С) поверхневого шару, помітних втрат вологи тілом не спостерігається, відбувається пере розподілення вологи по товщині шару. Внаслідок термовологопровідності відбувається зневоднення поверхневого шару у зв'язку з переміщенням вологи усередину.

Проникнення ІЧ-випромінювання у шарі продукту залежить від його оптичних властивостей. Під оптичними властивостями матеріалу розуміють його пропускну, поглинальну та відбивальну властивості.

Перелічені характеристики залежать від ряду факторів, у тому числі від структури матеріалу, волого утримання, форм зв'язку вологи, стану і кольору поверхні.

Оптичні характеристики матеріалу можуть бути визначені за допомогою

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

експериментально знайдених терморадіаційних характеристик шару кінцевої товщини й функціонального зв'язку між коефіцієнтами K_λ , S_λ та R_λ , T_λ .

Один з напрямків підвищення ефективності процесів ІЧ-обробки пов'язаний з використанням в робочому просторі різних за вмістом та концентрацією газових середовищ.

У природних умовах нагрівання продукту в полі ІЧ-випромінювання значна частка променистої енергії відбивається та розсіюється у зовнішньому середовищі, що відносно знижує ефективність її використання [35].

Відомо, що наявність у газовому середовищі триатомних газів, а саме CO_2 , H_2O , значно впливає на механізм переносу променистої енергії, що дає підставу для визначення додаткових можливостей їх використання під час обробки харчових продуктів ІЧ-випромінюванням.

У роботах [36, 37] авторами було експериментально і теоретично підтверджено можливість інтенсифікації теплової обробки ІЧ-випромінюванням конкретних діапазонів довжин хвиль при розміщенні продукту в середовищі, що являє собою суміш повітря та двоокису вуглецю і позитивно впливає на збільшення теплового потоку. Завдяки цьому можна підвищити ефективність використання променистої енергії та зменшити енерговитрати.

Але з точки зору економічної ефективності зайве підвищення парціального тиску двоокису вуглецю не є бажаним, оскільки збільшує його витрати та ускладнює апаратне оформлення процесу. Метою роботи вчених було встановлення показників парціального тиску, які б дозволяли за мінімальних витрат двоокису вуглецю отримати максимальну ефективність використання променистої енергії.

В результаті теоретичних і експериментальних досліджень, проведених вченими О.І. Черевко, В.М. Михайловим, І.В. Бабкіною (Харків, Україна) [38-41], було встановлено, що у робочій камері ІЧ-апарату при підвищеному парціальному тиску двоокису вуглецю за максимальних довжин хвиль випромінювання, які відповідають поглинанню останнього, збільшується загальний коефіцієнт

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

тепловіддачі, температура середовища, загальна кількість поглинутої об'єктом нагріву теплоти і загальний тепловий потік при підвищенні парціального тиску двоокису вуглецю.

В результаті проведених розрахунків променисто-конвективного теплообміну в робочій камері апарата ІЧ-нагрівання з розміщеним у ній деком за підвищеного парціального тиску двоокису вуглецю (до 100 кПа) було визначено, що за максимальних довжин хвиль випромінювання 2,1; 2,7; 4,3 мкм зростають відповідно: загальний коефіцієнт тепловіддачі – на 8,1; 13,9; 12,6 %; температура середовища – на 428; 277; 87 К; загальна кількість поглинутої деком теплоти і загальний тепловий потік – на 45,5; 57,8; 84,9 %.

В ході аналізу окремих часток загального коефіцієнту тепловіддачі та кількості поглинутої деком теплоти було визначено, що у всіх випадках зі зростанням парціального тиску двоокису вуглецю їх променисті складові від ІЧ-випромінювачів декілька зменшуються. За вищевказаних максимальних довжин хвиль випромінювання простежується зменшення: променистого коефіцієнту тепловіддачі від ІЧ-випромінювачів у поглинальному середовищі – відповідно, на 5,4; 5,7; 17,8 %; кількості поглинутої деком теплоти у поглинальному середовищі – на 5,0; 51; 5,3 %. Такі зміни пояснюються поглинанням променистої енергії двоокисом вуглецю, поглинальна здатність якого підвищується зі зростанням його парціального тиску.

За рахунок збудження молекул двоокису вуглецю відбувається випромінювання ними променистої енергії, що також підвищується зі зростанням парціального тиску. Унаслідок зміни складу робочого середовища змінюються і його теплофізичні властивості. Одночасно з підвищенням температури, що відбувається завдяки поглинанню променистої енергії, вони збільшують значення конвективного коефіцієнту тепловіддачі та конвективної теплоти, що поглинається деком, що підвищує значення загального коефіцієнту тепловіддачі та кількості поглинутої деком теплоти.

На підставі наведених ними даних встановлено, що найбільше зростання

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

відносної ефективності використання променистої енергії відбувається за парціального тиску двоокису вуглецю до 10...30 кПа, після чого воно є менш суттєвим. За максимальної довжини хвилі $\lambda = 4,3$ мкм досліджуваний показник є найбільшим і за парціального тиску двоокису вуглецю 100 кПа складає 84,9 %. Виявлено, що збільшення максимальної довжини хвилі випромінювання підвищує відносну ефективність використання променистої енергії.

Проведені розрахунки дозволили встановити, що для розробки комбінованих процесів теплової обробки харчових продуктів у полі ІЧ-випромінювання бажаним є використання середовища, яке містить двоокис вуглецю з парціальним тиском 10...30 кПа за наявності ІЧ-випромінювачів з максимальною довжиною хвилі випромінювання 2,7 та 4,3 мкм. Такі умови ІЧ-нагрівання дозволяють підвищити відносну ефективність використання променистої енергії за рахунок підвищення температури газового середовища, загального коефіцієнта тепловіддачі та загального теплового потоку.

Таким чином, процеси променисто-конвективного теплообміну залежать від оптичних властивостей середовища, а використання у якості середовища CO_2 сприяє перерозподілу променистої енергії та зміненню співвідношення складових променисто-конвективного теплового потоку, підвищуючи частку корисно використаної енергії. В результаті тривалість теплової обробки харчових продуктів ІЧ-випромінюванням зменшується з підвищенням вмісту в середовищі двоокису вуглецю.

В. М. Михайловим (Харків, Україна) були проведені дослідження показників раціональності розподілу теплової енергії, яка поглинається кулінарними виробами під час жаріння інфрачервоним випромінюванням у різноманітних за складом газових середовищах із підвищеним вмістом двоокису вуглецю і пароповітряного середовища.

Було встановлено, що досягнутий за умов використання газових сумішей ефект інтенсифікації нагріву не може бути повною мірою оцінений позитивно, з огляду на те, що отримані вироби були низької якості. Так, за використання у

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

якості середовища суміші повітря з двоокисом вуглецю, у напівфабрикатів відмічалися значний перегрів і опіки поверхневого шару та значне збільшення товщини утвореної скоринки – до 3 мм. При смаженні у пароповітряному середовищі, навпаки, спостерігалось помітне уповільнення утворення шкуринки.

Також за випадків, що розглядалися, встановлений негативний вплив на втрати маси виробів. Так, якщо при традиційному ІЧ-смаженні зменшення маси складає близько 23 %, то при жарінні запропонованими способами 20-22 %. Це зумовлено, з одного боку, більш жорсткими умовами нагрівання у середовищі з підвищеним вмістом двоокису вуглецю, з іншого боку – уповільненням процесу утворення шкуринки у виробів, що смажили у пароповітряному середовищі, а, як відомо, шкуринка має чинити опір перебігу масообмінних процесів. Відмічене деяке зниження втрати маси при ІЧ-смаженні виробів у пароповітряному середовищі, за думкою дослідника, мабуть зумовлено «пом'якшеними» умовами нагрівання внаслідок підвищених значень відносної вологості.

Для пояснення отриманих результатів були отримані відомості щодо розподілу теплової енергії, що поглинається зразками, при реалізації запропонованих способів термообробки. У якості показника розподілу теплової енергії використовувався температурний градієнт.

Як об'єкти дослідження використовували біфштекси січені, які смажили у повітряному середовищі, у середовищі двоокису вуглецю з різним парціальним тиском (20 і 40 кПа) та при різній відносній вологості пароповітряного середовища (20 і 30 %).

Результати досліджень свідчать, що градієнт температури зростає зі збільшенням парціального тиску двоокису вуглецю і, навпаки, зменшується зі збільшенням відносної вологості пароповітряного середовища. Це свідчить про різноманітний характер розподілу теплової енергії зразками в залежності від умов термообробки.

Для перевірки та уточнення отриманих тверджень були розраховані значення критерію Ребіндера (відношення теплових потужностей – кількості теплоти,

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

витраченої на нагрів зразків і випаровування вологи) та теплового ККД (відношення кількості теплоти, що витрачається на нагрів зразків, до повної кількості поглинутої теплоти) для різних умов обробки.

Чисельні значення критерію Ребіндера та теплового ККД вказують на те, що при ПЧ-смаженні в середовищі з підвищеним вмістом двоокису вуглецю тепла енергія використовується більш раціонально, тобто її більша частка є корисно використаною і витрачається саме на нагрівання виробів. Але в цьому випадку вона концентрується перш за все у поверхневих шарах, що є негативним чинником, який призводить до перегрівання та опіків поверхні виробів.

Теплота, що поглинається зразками при ПЧ-смаженні у пароповітряному середовищі, використовується менш раціонально, бо значна її кількість іде на випаровування вологи. Крім того такі умови значно уповільнюють процес утворення шкуринки на поверхні виробів, що негативно впливає на втрати маси в результаті випресовування вологи (у вигляді рідини) та жиру.

Із цього випливає, що поряд із позитивними результатами, які полягають, у першу чергу, в скороченні тривалості процесу теплової обробки, за рахунок збільшення частки енергії, що поглинається, маються суттєві недоліки, що зазначені вище. Найбільш вагомими серед них є недостатній ступінь раціональності розподілу теплової енергії, що поглинається виробами, великі втрати їхньої маси та зниження якості.

Досягти більш високих технологічних та теплотехнічних показників і показників раціональності розподілу теплової енергії під час ПЧ-смаження у газових середовищах можна знизивши щільність теплового потоку ПЧ-нагрівачів на величину, яка може бути компенсованою зміною складу газового середовища завдяки створенню надмірного тиску двоокису вуглецю.

Зменшення негативних факторів також можливе за рахунок використання у процесі ПЧ-нагрівання газових середовищ, які регулюються за складом. Цей напрямок є досить перспективним, оскільки тим самим можна прогнозувати зменшення впливу негативних чинників, що були встановлені.

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Д. А. Смагін (Білорусь) вивчав вплив перегрітої пари на якісні характеристики м'ясних виробів: втрати маси при тепловій обробці, вологість, органолептичні показники [42]. Також, як показник ефективності, враховувався час теплової обробки. Процес відбувався за умов природної циркуляції теплообмінного середовища. В ході досліджень були отримані такі результати: вихід готової продукції, приготованої у середовищі перегрітої пари на 5...10 % вище, ніж за умов приготування у середовищі нагрітого повітря; тривалість теплової обробки менша на 30...35 %; вологість кінцевих продуктів вища на 3...10 %. На підставі отриманих показників можна зробити висновки, що підвищення температури середовища перегрітої пари сприяє збільшенню виходу готових виробів за рахунок скорочення тривалості теплової обробки, і навпаки, зменшує вихід для виробів, приготованих у повітряному середовищі.

Вплив концентрації водяної пари у середовищі обробки на ефективність процесу обробки досліджували Черевко О.І., Михайлов В.М., Лебединець І.В (Україна, Харків) [39-41]. Теоретичними розрахунками променисто-конвективного теплообміну в робочій камері ПЧ-апарату було встановлено, що підвищення відносної вологості пароповітряного середовища до $\varphi = 80\%$ за максимальних довжин хвиль випромінювання $\lambda = 1,4; 1,8; 2,7$ мкм призводить до збільшення, відповідно: загального коефіцієнту тепловіддачі – на 9,8...20,7 %; величини питомого теплового потоку та загальної кількості поглинутої теплоти на 74,1...102,8 %. Вченими було визначено раціональні параметри, за яких спостерігається найбільш ефективно підвищення частки корисно використаної енергії (відносна вологість пароповітряного середовища – $\varphi = 20...30\%$ за довжини хвилі випромінювання $\lambda = 2,7$ мкм).

Експериментальними дослідженнями було визначено, що при ПЧ-випромінюванні за умов відносної вологості пароповітряного середовища $\varphi = 20...30\%$ підвищується температура середовища в середньому за об'ємом робочої камери на 30...60 % та значення загальної кількості теплоти, що поглинається – на 21,2...28,7 %. Тривалість теплової обробки ПЧ-випромінюванням біфштексів

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

січених скорочується на 19,4...27,8 %, а втрати маси зменшуються на 4...5 %.

Із вище переліченого виходить, що ІЧ-обробка у середовищах триатомних газів є більш ефективною у порівнянні з тепловою обробкою у звичайному повітряному середовищі. Однак слід звернути увагу і на можливі негативні моменти для даних видів обробки (втрати маси і зниження якості кінцевих продуктів). Приведені результати свідчать про перспективність проведення досліджень, пов'язаних з визначенням раціональних режимів термообробки харчових продуктів у газових середовищах, що регулюються за складом, з метою підвищення ефективності теплової обробки харчових продуктів.

Численні дослідження вчених підтверджують, що процеси теплової обробки харчових продуктів у великій мірі залежать від їх виду, а точніше – характерних властивостей. Це вологовміст, колір та стан поверхні, початкова температура, геометричні характеристики тощо. Також кожному харчовому середовищу притаманні теплофізичні властивості, які визначаються теплоємністю, теплопровідністю і температуропровідністю. Всі перелічені характеристики певною мірою впливають на процес теплової обробки, тому потребують визначення та урахування для підвищення її ефективності.

При ІЧ-смаженні поверхня харчових продуктів одразу ж підлягає дії променистої енергії, яка перетворюється в теплову, одночасно із впливом повітряного середовища при високих температурах (150...280 °С), що призводить до складних фізико-хімічних, біохімічних та мікробіологічних процесів в поверхневому та внутрішньому шарах продукту, оскільки ІЧ-випромінювання здатне проникати на деяку глибину продукту від мікрометрів до декількох міліметрів. Характер змін залежить від виду продуктів, які підвергаються обробці – м'ясні, овочеві, борошняні тощо.

Процес ІЧ-смаження м'ясних продуктів супроводжується зміною кольору, утворенням нових смакових і ароматичних речовин, переходом із продукту в навколишнє середовище вологи у вигляді рідини, а з нею розчинних речовин, ліпідів. В основі цих змін лежать такі процеси, як тепла деструкція білків,

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

дифузія речовин, хімічні реакції синтезу, гідролізу і теплового розпаду, окислювальні та інші процеси. Більшість з цих змін можна охарактеризувати як позитивні, бо вони забезпечують кулінарну готовність виробів та надають їм привабливих споживчих характеристик (органолептичні та структурно-механічні властивості). Однак такі зміни, як втрати маси, вологи, харчової цінності, є небажаними. Ступінь негативних змін в основному визначається здатністю сировини утримувати вологу [43].

Хімічно зв'язана волога за своїми властивостям відрізняється від вільної і не видаляється при тепловій обробці. Достатньо міцним видом зв'язку є фізико-хімічний, який визначається дією адсорбційних, осмотичних і капілярних сил. Найбільш слабкою формою зв'язку є механічна, при якій вода утримується в порах продукту. Механічно зв'язана волога, досить інтенсивно видаляється при нагріванні виробів за рахунок випресовування та випаровування [44].

На зміну водозв'язуючої здатності м'ясного фаршу в процесі теплової обробки впливає велика кількість чинників, таких як ступінь подрібнення м'яса, величина РН, кінцева температура і тривалість її впливу, швидкість нагрівання, хімічний склад фаршу, кількість кухарської солі, фосфатів, та води, що додаються, вид м'яса, вік тварин тощо.

Водозв'язуюча здатність м'ясного фаршу підвищується зі збільшенням ступеня подрібнення, що пов'язано з більшим руйнуванням м'язових волокон і виходом структурних елементів в навколишнє середовище, підвищенням частки розчинного білка у дисперсному середовищі і посиленням зв'язування води білками [45]. Підвищення тривалості нагрівання та час витримки при кінцевій температурі призводить до зниження водозв'язуючої здатності і збільшення втрат маси.

Зі збільшенням швидкості нагрівання внутрішніх шарів знижується водозв'язуюча здатність [46], а додавання до складу м'ясних фаршів у певних кількостях хлоридів натрія, калія, кальція, магнія, а також фосфатів позитивно впливає на даний показник.

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

По мірі збільшення кількості жиру і зменшення вмісту білків водозв'язуюча здатність фаршу знижується. Однак, додавання певної кількості жиру до м'язової тканини сприяє її підвищенню. Найбільш оптимальним є склад жиру – 15..22 %, білка – 11...14 %, вологи – 63...69 % [47].

Водозв'язуюча здатність пов'язана також зі складом з'єднувальної тканини. При значній кількості колагену, який при тепловій обробці перетворюється в глютин, зв'язується більша частина вологи. Підвищений склад еластину, який при нагріванні практично не змінюється, не сприяє утриманню води у фарші.

Необхідно відмітити, що зміна водозв'язуючої здатності фаршу в процесі жаріння, що можна простежити за кількістю відпресованої та невідпресованої вологи, відбувається ступінчасто. При нагріванні до температури 45 °С кількість відпресованої вологи зменшується, а невідпресованої збільшується. В інтервалі температур 45..50 °С різко збільшується кількість відпресованої вологи і зменшується кількість невідпресованої. При подальшому підвищенні температури до 55 °С відповідних змін не відбувається. Підвищення температури до 75 °С значно знижує кількість невідпресованої і збільшує кількість відпресованої вологи. При температурі напівфабрикатів вище 75 °С зміна відпресованої і невідпресованої вологи набуває протилежного характеру, що означає завершення процесу коагуляції білків. За подальшого нагріву фаршу зменшується кількість відпресованої і збільшується кількість невідпресованої вологи [44, 45].

При ПЧ-смаженні м'ясних напівфабрикатів внаслідок інтенсивного підвищення температури поверхневий шар починає зневоднюватись. Внаслідок інтенсивного підводу теплоти швидко підвищується температура поверхневого шару, і відносно повільно нагріваються більш глибокі – центральні шари. Біля поверхні здійснюються інтенсивні фазові перетворення води в пару і випаровування її в навколишнє середовище. Температура поверхневого шару не перевищує 100 °С, що зумовлено випаровуванням вологи. Швидкість видалення вологи з обжарюваного продукту в значній мірі залежить від величини градієнтів тиску і вологопровідності. Під дією температурного градієнту вода у вигляді

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

рідини рухається до центру, а під дією градієнта тиску у вигляді рідини і пари – до поверхні.

Причинами виникнення термовологопровідності під дією градієнта температури є :

- молекулярний рух рідини і пари в продукті;
- зменшення поверхневого натягу вологи зі збільшенням температури (переміщення рідини відбувається від ділянки з меншим поверхневим натягом, але з більшою температурою, до ділянки з більшим поверхневим натягом і меншою температурою);
- збільшення тиску повітря, що знаходиться в порах продукту і не має зв'язку з навколишнім повітрям при нагріванні, в результаті чого відбувається його переміщення до місць із більш низькими температурою і тиском та проштовхування вологи за напрямком теплового потоку.

Разом з вологою під дією градієнта температури передається і теплота. В процесі нагріву продукту приймає участь теплопровідність і масоперенесення.

Оскільки дифузія рідкої фази – це більш повільний процес, ніж випаровування, поверхневий шар порівняно швидко зневоднюється.

Температура поверхневого шару після випаровування з неї вологи підвищується до 102...105 °С і вище, що призводить до термічного розпаду органічних речовин поверхневого шару м'яса (білків, жирів, вуглеводів, екстрактивних речовин, вітамінів). В результаті цього поверхневий шар ущільнюється, утворюється скоринка, товщина і колір якої залежать від густини променистого потоку і тривалості нагрівання. У скоринці накопичуються продукти пірогенетичного розпаду, що надають смаженому продукту специфічного смаку й аромату. Накопичування бажаних продуктів розпаду відбувається до температури 135°С. Подальше підвищення температури скоринки негативно позначається на органолептичних показниках якості готового продукту: утворюються присмак і запах горілого; колір скоринки змінюється від сірого до коричневого. Всі ці зміни обумовлені продуктами піролізу, а також речовинами меланоїдиноутворення.

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

З моменту утворення скоринки збільшується градієнт вологопровідності і при його значеннях, що перевищують температурний градієнт, напрямок потоку вологи змінюється і волога переміщується із внутрішніх шарів до зневодненого поверхневого шару. Однак скоринка, яка утворена по всій поверхні продукту здійснює опір виходу з неї вологи, внаслідок чого зменшується швидкість зміни вологовмісту напівфабрикату.

М'ясо характеризується невисокою теплопровідністю, тому в момент досягнення в центрі виробу необхідної температури (80...85 °С), температура кожного іншого шару є більш високою за збільшенням відстані від центру. Перепад температури збільшується з підвищенням густини променистого потоку і маси обжарюваного продукту.

Втрати маси при ПЧ-смаженні залежать від виду м'яса, маси напівфабриката, його попередньої обробки і складають: для великошматкових, порційних та дрібношматкових – 25...32 %, порційних панірованих – 27...30 %, із котлетної маси – 14...17 %.

Вихід готових продуктів і їх якість в першу чергу залежить від густини променистого потоку, температурного режиму і тривалості теплової обробки. З підвищенням температури в центрі і тривалості нагріву знижується біологічна цінність виробу за рахунок руйнування амінокислот, збільшуються втрати маси, що призводить до зниження таких важливих органолептичних показників, як смак та соковитість.

При тепловій обробці ПЧ-випромінюванням овочі та плоди набувають більш м'якої консистенції, легше розкушуються, розрізаються і протираються [48]. При цьому структурний білок клітинних стінок рослинного походження підвергається деструкції з утворенням розчинних продуктів. Різна тривалість теплової кулінарної обробки окремих видів овочів обумовлена неоднаковою термостійкістю клітинних стінок і різним характером деструкції їх компонентів. Зміна маси овочів при жарінні обумовлена інтенсивним випаровуванням води. Втрати маси різних овочів при жарінні коливаються від 17 до 60 % і залежать від виду овочів та підготовки

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

напівфабрикату. Втрати розчинних речовин при жарінні ІЧ-випромінюванням овочів дуже малі, і практично не впливають на зменшення маси. Панірування деяких овочів перед ІЧ-обробкою сприяє зниженню втрат маси. У цьому випадку частина вологи зв'язується крохмалем борошна, а утворена на поверхні шматочків скоринка затримує випаровування вологи.

Слід зазначити, що ІЧ-смаження харчових продуктів є доволі складним процесом, в результаті якого відбуваються суттєві фізико-хімічні зміни поверхневих і внутрішніх шарів. Характер цих змін для м'ясних, овочевих та борошняних напівфабрикатів у великому ступеню визначається хімічним складом, способом попередньої підготовки та формою зв'язку вологи.

Важливу роль в процесі ІЧ-смаження відіграють спектральні характеристики харчових продуктів. Експериментально встановлено, що для більшості харчових продуктів притаманне переважно розсіювання, та слабе поглинання ІЧ-випромінювання у діапазоні довжин хвиль $\lambda = 0,4...1,1$ мкм, середнє розсіювання та поглинання у діапазоні $\lambda = 1,4...2,6$ мкм, та сильне поглинання у діапазоні $\lambda = 3,0...12,0$ мкм.

Для м'ясних продуктів наявність різких смуг поглинання у зонах спектру 1,5; 2,0; 2,7 мкм, що відповідають смугам поглинання води, обумовлюють низький показник пропускання променистого потоку напівфабрикатів в зонах спектру з $\lambda = 1,4...3,0$ мкм, а максимум пропускання припадає на зону спектра з $\lambda = 0,6...1,4$ мкм, де відсутні смуги поглинання води. При загальній подібності в характері пропускання спостерігаються кількісні відмінності для різних м'ясних кулінарних виробів при однаковій товщині. Так, пропускну спроможність котлети січеної нижче ніж у біфштекса січеного, а у останнього нижче ніж у натурального.

На пропускну спроможність м'ясних продуктів суттєво впливає теплова обробка. Доведено, що в результаті нагрівання м'ясопродуктів вище 40 °С відбувається зниження їх пропускну спроможності, що пояснюється денатурацією білку з подальшою його коагуляцією [7, 8].

У роботі [49] було досліджено залежність пропускну спроможності курячого

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

м'яса та різних м'ясних фаршів в процесі теплової обробки, в результаті чого встановлено, що для цих продуктів пропускна спроможність має аналогічний характер і за нагрівання до температури початку денатурації білків збільшується, після чого спостерігається зниження за нагрівання до 70 °С, а потім поступове збільшення.

Продукти рослинного походження мають максимальну пропускну спроможність у зоні спектру з $\lambda = 0,75...1,5$ мкм, що за товщини шару 1 мм складає 40...60 %. Як і для м'ясних продуктів, пропускна спроможність овочів знижується зі збільшенням довжини хвилі випромінювання, на підставі чого для теплової обробки овочевої кулінарної продукції рекомендовано діапазон ІЧ-випромінювання з $\lambda = 1,0...2,5$ мкм [48].

Для борошняних виробів характерно, що максимум пропускання приходить на інтервал довжин хвиль з $\lambda=0,7...1,2$ мкм, а збільшення довжини хвилі вище цього інтервалу призводить до різкого зниження пропускну спроможності практично до нульового значення.

Отже, можна зазначити, що спектральні характеристики харчових продуктів досить суттєво впливають на процес теплової обробки ІЧ-випромінюванням, тому при проектуванні ІЧ-апаратів необхідно враховувати їх відповідність до спектральних характеристик ІЧ-нагрівачів. Цілеспрямовано змінювати спектральні характеристики продукту можна у багатокомпонентних кулінарних виробках, наприклад м'ясних січених виробках, шляхом підбору компонентів з відповідними властивостями, що входять до рецептур, використання паніровки тощо.

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 2

ВИВЧЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ ІЧ-ВИПРОМІНЮВАННЯ З ГЕТЕРОГЕННИМ СЕРЕДОВИЩЕМ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

2.1. Математичне моделювання процесу обробки харчової сировини ІЧ-випромінюванням

Розробка нових ефективних способів теплової обробки харчової сировини і напівфабрикатів базується на адекватному теоретичному розгляді і побудові на його основі математичних моделей і процесів, що відбуваються в харчових продуктах при зміні впливових факторів, з метою проведення інженерних розрахунків технологічного процесу, що проектується.

Різноманіття умов теплової обробки у визначеній часовій послідовності принципово обмежує можливості традиційного емпіричного підходу до оптимізації режиму обробки і параметрів відповідного обладнання. Реалізація такого підходу пов'язана з утворенням дорогих експериментальних стендів і проведенням великомасштабних досліджень, що у свою чергу тягне за собою великі витрати конструктивних матеріалів, енергії, матеріальних ресурсів та робочого часу. Тому орієнтація на використання доволі точних математичних моделей процесів дозволяє значно прискорити технологічні розробки.

Складність внутрішньої структури та хімічного складу харчових продуктів не дозволяє теоретично описати їх теплофізичні властивості та теплові процеси, що відбуваються у них на молекулярному (мікроскопічному) рівні; тому є виправданим використання феноменологічного (макроскопічного) підходу, сутність якого полягає в описі механізму процесів на підставі кількісних взаємозв'язків між зовнішніми параметрами продукту, що спостерігаються, –

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Коренець Ю.М.</i>			Розділ 2 ВИВЧЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ ІЧ-ВИПРОМІНЮВАННЯ З ГЕТЕРОГЕННИМ СЕРЕДОВИЩЕМ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Хорольський В.П.</i>						
<i>Н.контр.</i>		<i>Омельченко О.В.</i>				ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
<i>Затверд.</i>		<i>Цвіркун Л.О.</i>						

температурою, вологовмістом, які є, у загальному випадку, функціями координат і часу без детального урахування атомно-молекулярного складу продуктів. Такий підхід, з одного боку, вказує шляхи подальшого, більш поглибленого розгляду, а з іншого боку, дозволяє отримати приблизні кількісні вирази, які описують динаміку процесу обробки та можуть використовуватися для практичних розрахунків і орієнтовних оцінок. Крім того, вищевказані параметри мають сенс об'єктивних показників стану і якості продукту, тому їх оцінка в ході процесу теплової обробки може мати і безпосереднє практичне значення.

Одним з чотирьох феноменологічних методів є напівемпіричний опис, при якому вивчається яка-небудь одна сторона складного явища або процесу з метою отримання приблизних кількісних співвідношень, зручних для використання у інженерній практиці. Такий підхід може бути корисним при розгляданні комплексу процесів тепломасопереносу у харчових продуктах, що піддаються тепловій обробці, оскільки повний теоретичний опис цього комплексу в аналітичній формі не уявляється можливим, особливо якщо враховувати зміни структури, геометрії та теплофізичних властивостей продуктів при їх нагріванні.

Серед багатьох фізичних методів теплової обробки харчової продукції одним з перспективних і розповсюджених у практичній діяльності харчових галузей промисловості та ресторанному господарстві є вплив на продукт потоку інфрачервоного випромінювання (ІЧ-нагрів) з довжиною хвилі $\lambda = 1 \dots 1,5$ мкм. Цей спосіб теплової обробки широко застосовується як самостійний технологічний процес, так і у сполученні з іншими видами теплового впливу, тобто як складова частина комбінованих способів обробки продуктів [50].

У результаті аналізу існуючих способів теплової обробки ІЧ-випромінюванням та технологічної апаратури для їх реалізації було встановлено, що поряд із перевагами у порівнянні з традиційними способами теплової обробки, переліченими у розділі 1, вони мають низку недоліків. Особливо це стосується процесів обробки в апаратах з необмеженими елементами конструкції робочим простором: грилі типу «барбекю», «саламандра» та вертикальні відкриті «шаурма»-

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

грилі. Основними недоліками для означених процесів є розсіювання значної частки енергії у довколишньому середовищі, відбиття частки енергії елементами конструкції апаратів та безпосередньо продуктом у результаті невідповідності спектральних характеристик генераторів ІЧ-випромінювання і оброблюваних продуктів. Поряд із цим, внаслідок однобічного розташування ІЧ-нагрівачів (окрім grillів конструкції «саламандра») значна частка потоку ІЧ-променів поглинається елементами конструкції.

При розв'язанні задач теплообміну між ІЧ-нагрівачами і продуктом недостатньо використовувати існуючі методи, необхідно переходити до розглядання явищ, які керуються законами не лише класичної, а і квантової фізики.

Носіями енергії променистого теплообміну є електромагнітні хвилі, які випромінюються нагрітим тілом у вигляді певних порцій, якими є елементарні частки випромінювання (фотони). Фотони володіють властивостями рухомих часток і мають нульову масу покою, а також певну частоту, запас енергії, імпульс, спіни, які запозичують від випромінюючої його частки. Кінетична енергія рухомих часток перетворюється в енергію випромінювання.

Уявимо трьохмірний робочий простір, з розташованим у ньому точковим джерелом ІЧ-випромінювання, що впливає на умовний продукт. У даному випадку розглядаються три взаємно перпендикулярні напрямки, які умовно представлені на рис. 2.1.

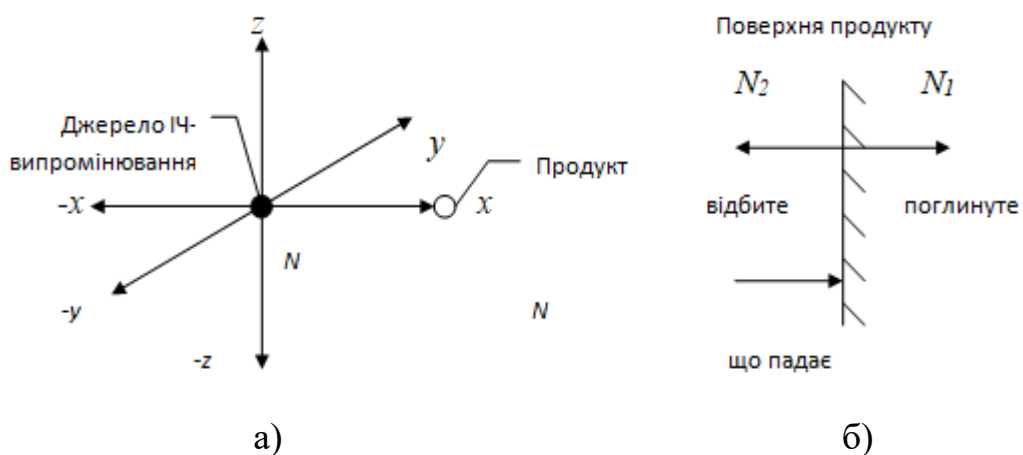


Рисунок 2.1 – а) умовний розподіл фотонів ІЧ-випромінювання у тримірному просторі; б) схема відбиття та поглинання фотонів поверхнею продукту

У силу їх рівноправності вважаємо, що у напрямку, перпендикулярному поверхні продукту, рухається одна третина всіх фотонів, з них лише половина рухається у напрямку продукту, а інша половина рухається від продукту [51-53]. Тоді кількість фотонів, що падають на одиницю поверхні в одиницю часу можна записати, як:

$$N = \frac{1}{6}nc, \quad (2.1)$$

де n – об’ємна концентрація фотонів;

c – швидкість руху фотонів.

Таким чином, згідно хвильовим уявленням можна припустити, що поверхні продукту досягає лише 1/6 частка потоку фотонів.

Якщо поглинальну здатність речовини поверхні продукту позначити, як α , то з N фотонів, що падають на поверхню продукту $N_1 = \alpha N$ поглинеться поверхнею, а $N_2 = (1 - \alpha)N$ – відіб’ється. Вочевидь, що $N_1 + N_2 = N$. Якщо припустити, що приблизно 1/2 потоку фотонів, що падають на поверхню продукту, відбиваються від неї, то лише 1/12 частка фотонів буде поглинатися поверхнею продукту, здійснюючи необхідний тепловий вплив.

Наслідком означених недоліків є значні не виправдані ресурсо- та енерговитрати, обумовлені, у першу чергу, конструкцією існуючого спеціалізованого теплового обладнання. Відомо також, що електромагнітні хвилі ІЧ-діапазону у певній мірі негативно впливають на людину.

З метою удосконалення означеного процесу за рахунок усунення вищевказаних недоліків актуальним завданням постає розробка високоефективних енергозберігаючих процесів та спеціалізованого теплового ІЧ-обладнання.

При попаданні на продукт потоку ІЧ-променів з інтенсивністю I_0 його

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

частина $I_{відб} = RI_0$ (R – коефіцієнт відбиття) відбивається від його поверхні (відбиття носить переважно дифузний характер, оскільки характерні розміри нерівності поверхні продукту порівнянні з довжиною хвилі ГЧ-випромінювання), а інша частина випромінювання з інтенсивністю $I_{ногл} = (1-R)I_0$ проникає усередину продукту. Інтенсивність $I_{прох}$ випромінювання, що проходить крізь шар продукту завтовшки d , виражається відомим законом Бугера [51]:

$$I_{прох} = I_{ногл} \cdot e^{-\chi d}, \quad (2.2)$$

де χ – коефіцієнт поглинання.

Коефіцієнт поглинання залежить від природи і структури продукту та довжини хвилі ГЧ-випромінювання. До величини χ вносить вклад не лише «істинне» поглинання випромінювання (при якому його енергія переходить у теплоту), але й його розсіювання на неоднорідностях структури – екстинкція випромінювання в неоднорідному («мутному») середовищі.

Залежність температури продукту від часу обробки $T(\tau)$, з урахуванням невеликої глибини проникнення ГЧ-променів до шару продукту, можна описати формулою:

$$T(\tau) = T_0 + \frac{A(-\frac{1}{2} + \frac{1}{2} e^{z^2} \cdot (1 - \Phi(z))) + \frac{1}{\sqrt{\pi}} z}{k^2 a}, \quad (2.3)$$

$$k = \frac{1}{\Delta}; \quad z = k\sqrt{a\tau},$$

де T_0 , $T(\tau)$ – відповідно початкова і кінцева температура продукту, К;

A – величина, що дає оцінку темпу ГЧ-нагрівання продукту, К/с;

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$A = \frac{Q_{v0}}{c\rho_0}. \quad (2.4)$$

Δ – глибина проникнення ІЧ-випромінювання усередину продукту. Порядок величини $k = 1/\Delta$ для м'ясопродуктів – 500 м^{-1} ; на практиці визначення цієї величини ускладнене із-за неоднорідності структури і нерівності поверхні харчових продуктів;

a – коефіцієнт теплопровідності, $\text{м}^2/\text{с}$;

$$a = \frac{\lambda}{c\rho_0}, \quad (2.5)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності продукту, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$;

ρ_0 – густина «сухих речовин» продукту, $\text{кг}/\text{м}^3$;

c – приведена питома теплоємність продукту, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$;

$$c = c_0 + c'_e \bar{u}, \quad (2.6)$$

де c_0 – питома теплоємність сухих речовин, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$;

c'_e – питома теплоємність вологи в продукті, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$;

\bar{u} – середній вологовміст у період нагріву;

Стосовно ІЧ-нагріву $Q_{v0} = I_0 (1-R)$, $\text{Вт}/\text{м}^2$.

У випадку тонких харчових виробів (або для поверхневих шарів «товстих» виробів):

$$Q_{v0} \approx E/d,$$

де E – енергетична освітленість поверхні виробу, $\text{Вт}/\text{м}^2$;

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

d – товщина виробу, м.

Динаміка втрат маси продукту при ІЧ-нагріванні за рахунок випарювання та випресовування вологи може бути описана формулою:

$$\frac{\Delta m}{m_0} = \frac{1}{2} w_0 \left(1 + \Phi\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha' \tau}}\right)\right), \quad (2.7)$$

де m_0 – початкова маса продукту, кг;

Δm – втрати маси продукту з вологою, кг;

w_0 – початкова вологість продукту;

α' – сумарний коефіцієнт дифузії рідкої і пароподібної вологи, визначає темп видалення вологи в процесі ІЧ-нагрівання і знаходиться по формулі:

$$\alpha' = \frac{\alpha_{m2}}{1 - \mu}, \quad (2.8)$$

де α_{m2} – коефіцієнт дифузії рідкої вологи в продукті;

μ – коефіцієнт фазового перетворення рідина-пара (найчастіше у розрахунках припускають $\mu = 0,5$).

Більш «поверхневий» характер ІЧ-нагрівання відбувається при малому значенні α' – приблизно $1,8 \cdot 10^{-6}$ м²/с. З тієї ж причини при ІЧ-нагріванні, як правило, не виникає надлишкового тиску у продукті.

Вимірювання енергетичної освітленості E продукту у конкретних умовах пов'язане з певними утрудненнями, тому представляє інтерес можливість її теоретичної оцінки при відомій геометрії ІЧ-опромінювання, з урахуванням порівняно невеликого віддалення ІЧ-випромінювачів від об'єкту (що робить неможливим використання моделі «точкового» джерела) та їх несиметричного взаємного розташування [9].

Сутність методу, зазначеного нижче, полягає у заміні реального ІЧ-

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

випромінювача складної геометричної форми (або блоку випромінювачів) одним плоским випромінювачем (пластиною) простої (круглої або квадратної) форми з «ефективною площиною» S , який утворює ту ж енергетичну освітленість продукту, що і реальний випромінювач. Потужність випромінювання самого джерела характеризується його енергетичною силою світла I_0 у напрямку, нормальному до поверхні, що випромінює. Величини S і I_0 є феноменологічними параметрами теорії, що підлягають відбудові за експериментальними даними.

У випадку взаємного симетричного розташування ІЧ-випромінювача і продукту, що піддається нагріванню, зручно використовувати модель круглого випромінювача радіуса $R_0 = \sqrt{S/\pi}$, центр якого лежить на загальному перпендикулярі до поверхонь випромінювача і продукту, який проходить через центр випромінювача і центр симетрії виробу. Для косинусного модельного випромінювача (з однаковою енергетичною яскравістю B за усіма напрямками) $I = I_0 \cos i$, де кут i відраховується від нормалі до поверхні випромінювача. Освітленість ΔE елементарної ділянки dS' об'єкту, розташованої на загальному перпендикулярі довжиною z , який проходить через цю ділянку і геометричний центр круглого випромінювача, яка утворюється малою ділянкою ΔS поверхні випромінювача на відстані R від його центру, визначається формулою для «точкового» випромінювача:

$$\Delta E = \frac{B \Delta S \cos i \cos i'}{r^2}, \quad (2.9)$$

де $r = \sqrt{R^2 + z^2}$ - відстань між ΔS і dS' , кут падіння ІЧ-променів i' відраховується від нормалі до поверхні продукту. При взаємній паралельності поверхонь випромінювача і продукту $i = i'$, тоді

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta E = \frac{B\Delta S \cos^2 i}{r^2}, \quad \cos i = \frac{z}{r} = \frac{z}{\sqrt{R^2 + z^2}}. \quad (2.10)$$

Усі елементи ΔS , які знаходяться на кільцевому шарі поверхні випромінювача завтовшки ΔR та площиною $dS = 2\pi R dR$, утворюють однакову освітленість ΔE на ділянці об'єкту dS' , тому, складаючи за усіма цими елементами, знаходимо освітленість dE , яка створюється на dS' усім цим шаром:

$$dE = \frac{B \cos^2 i}{r^2} dS = \frac{B \cos^2 i}{r^2} 2\pi R dR. \quad (2.11)$$

Тоді повна освітленість E ділянки dS' визначається інтегруванням за усією площею круглого випромінювача:

$$E = 2\pi B \int_0^{R_0} \frac{\cos^2 i}{r^2} R dR. \quad (2.12)$$

Підставляючи приведені вище вирази для $\cos i$ та r через R і z знаходимо:

$$E = \frac{\pi B R_0^2}{z^2 + R_0^2} = \frac{BS}{z^2 + \frac{S}{\pi}} = \frac{I_0}{z^2 + \frac{S}{\pi}}, \quad I_0 = BS. \quad (2.13)$$

При великих значеннях z ця формула переходить у формулу для точкового випромінювача ($E \approx I_0 / z^2$).

Якщо об'єкт опромінення розташовується несиметрично відносно випромінювача, тобто ділянка dS' не лежить на спільному перпендикулярі до поверхні об'єкта і випромінювача, який проходить через центр випромінювача, тоді зручніше використовувати квадратний модельний випромінювач зі стороною

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$2R_0$ та площею $S' = 4R_0^2$. Нехай ділянка dS' зміщена відносно центра модельного випромінювача на x_0 у напрямку осі x , тоді елементарна ділянка dS випромінювача утворить на dS' освітленість:

$$dE = \frac{BdS \cos^2 i}{r^2}, \quad r = \sqrt{(x_0 - x)^2 + y^2 + z^2}, \quad \cos i = \frac{z}{r}. \quad (2.14)$$

Після інтегрування за усією площею випромінювача з урахуванням симетрії відносно осі y знаходимо:

$$E = 2Bz^2 \int_{-R_0}^{R_0} dx \int_0^{R_0} \frac{dy}{[(x_0 - x)^2 + y^2 + z^2]^2} = \frac{BR_0}{\sqrt{z^2 + R_0^2}} \operatorname{arctg} \frac{2R_0 \sqrt{z^2 + R_0^2}}{z^2 + x_0^2} - \quad (2.15)$$

$$- \frac{B(x_0 - R_0)}{\sqrt{(x_0 - R_0)^2 + z^2}} \operatorname{arctg} \frac{R_0}{\sqrt{(x_0 - R_0)^2 + z^2}} + \frac{B(x_0 + R_0)}{\sqrt{(x_0 + R_0)^2 + z^2}} \operatorname{arctg} \frac{R_0}{\sqrt{(x_0 + R_0)^2 + z^2}}.$$

Якщо врахувати, що $\frac{R_0}{\sqrt{(x_0 - R_0)^2 + z^2}} \leq 1$, $\frac{R_0}{\sqrt{(x_0 + R_0)^2 + z^2}} \leq 1$ та що при не дуже великих R_0 , коли $R_0 \sim x_0$, $R_0 \leq \frac{z}{\sqrt{3}}$, маємо $\frac{2R_0 \sqrt{z^2 + R_0^2}}{z^2 + x_0^2} \leq 1$, то можна з точністю не нижче 20% зробити заміну $\operatorname{arctg} \xi \rightarrow \xi$ в формулі (3.14) впритул до $\xi = 45^\circ$ ($\xi = 0,8$, $\operatorname{tg} \xi = 1$). На практиці вказані нерівності свідомо виконуються. Тоді формула (3.14) значно спрощується:

$$E = E(z, x_0) \approx 2BR_0^2 \frac{(z^2 + R_0^2)(2z^2 + R_0^2) + x_0^2(2z^2 - R_0^2)}{(z^2 + x_0^2)[(x_0 + R_0)^2 + z^2][(x_0 - R_0)^2 + z^2]}. \quad (2.16)$$

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При малих зміщеннях, коли $x_0 \leq R_0, z$ (великі зміщення невігідні усилу різкого спаду E), отримаємо:

$$E \approx \frac{2BR_0^2\alpha}{(R_0^2 + z^2)^2 z^2} \left[1 - \left(\frac{1}{z^2} - \frac{\beta}{\alpha} - \gamma \right) x_0^2 \right], \quad (2.17)$$

де введені позначення:

$$(z^2 + R_0^2)(2z^2 + R_0^2) \equiv \alpha, \quad 2z^2 - R_0^2 \equiv \beta, \quad \frac{4R_0^2}{(R_0^2 + z^2)^2} \equiv \gamma \quad (2.18)$$

Значення величини E окрім оцінки об'ємної потужності ІЧ-нагріву дозволяє також приблизно оцінювати температуру поверхні об'єкта з урахуванням радіаційної тепловіддачі від продукту, без необхідності повного розв'язання задачі тепломасопереносу в продукті.

ІЧ-смажіння харчових продуктів належить до процесів зі складним променисто-конвективним обміном. При цьому виникає необхідність вирішення двох задач: зовнішньої і внутрішньої. Для теплового процесу зовнішня задача розглядає теплообмін між джерелом ІЧ-випромінювання і поверхнею продукту, а внутрішня – теплоперенесення всередині продукту.

В умовах зовнішньої задачі необхідно враховувати одночасну наявність променистого і конвективного теплообміну, причому перший має переважне значення. Суттєву поправку до механізму перенесення променистої енергії вносить склад газового середовища, в якому він відбувається. Так, двоатомні гази (H_2, N_2, O_2 та ін.) майже не поглинають променисту енергію, тобто сухе і чисте повітря практично прозоре для теплового випромінювання, що характерно для обладнання з необмеженим робочим простором.

В умовах внутрішньої задачі в першу чергу необхідно враховувати передачу

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

теплоти теплопровідністю, проте досить суттєве значення має також променисте теплоперенесення. Механізм теплопередачі полягає у проникненні променистої енергії на певну глибину всередину продукту, її перетворення на теплову, яка в подальшому передається за рахунок теплопровідності.

Зв'язок між цими етапами можна спостерігати під час визначення коефіцієнту теплопередачі, який є однією з основних величин, що впливає на кількість переданої теплоти. Його значення залежить від величин коефіцієнту тепловіддачі випромінюванням і термічного опору продукту [8]. При цьому необхідно враховувати факт перетворення продукту в процесі нагрівання на багатошаровий об'єкт, що визначається різним ступенем фізико-хімічних змін у його окремих шарах. Унаслідок цього кожний окремо взятий невеликий шар продукту товщиною δ у певний період його нагрівання має конкретне значення коефіцієнту теплопровідності λ та, відповідно, термічного опору (δ/λ). Особливо наочно це спостерігається при формуванні на поверхні продукту скоринки підсмажування, теплофізичні властивості якої суттєво відмінні від інших шарів продукту. У зв'язку з цим:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_n} + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{\delta_i}{\lambda_i}}, \quad (2.17)$$

де K – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·К);

α_n – коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням.

У формулі (2.17) величина $\sum_{i=1}^{i=n} \frac{\delta_i}{\lambda_i}$ може бути з певним наближенням визначена за використання довідкових даних теплопровідності продуктів при різних температурах, або експериментальним шляхом.

Підвищення коефіцієнта теплопередачі є можливим при збільшенні коефіцієнту тепловіддачі випромінюванням, який залежить від щільності

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

теплового потоку, але наслідком може бути перегрівання та «опіки» поверхневого шару, значне збільшення за рахунок цього товщини скоринки і погіршення якості готових виробів. Крім того, як вже відмічалось, переважна частина променистої енергії розсіюється через необмежений робочий простір у навколишнє середовище. Тому інтенсифікація ІЧ-смажіння за рахунок збільшення теплового потоку має певні обмеження.

Можливим шляхом удосконалення означеного процесу ІЧ-теплової обробки є переривчасте підведення енергії, яке полягає у періодичній зміні потужності опромінення продукту у деякому інтервалі від максимального до мінімального значення. У цих умовах температура продукту змінюється з часом за певним законом, який можна описати на підставі вирішення відповідної системи рівнянь тепломасопереносу у нестационарних умовах. Однак цей шлях веде до складних розрахунків і громіздких виразів, тому більш доцільне застосування спрощеного методу розрахунку.

Прийmemo, що кількість теплоти dQ_1 , що надходить до шару продукту на глибині h за проміжок часу $d\tau$, дорівнює:

$$dQ_1 = k(h)Ed\tau, \text{ Дж} \quad (2.18)$$

де $k(h)$ – ефективний коефіцієнт поглинання для ІЧ-випромінювання, який враховує відбиття і розсіювання ІЧ-енергії продуктом;

E – енергетична освітленість продукту, Вт/м².

При періодичному змінненні потужності випромінювачів від P_{min} до P_{max} і назад з періодом T величина E змінюється аналогічним чином від E_{min} до E_{max} . За цей же проміжок часу $d\tau$ із шару продукту, що розглядається, передається кількість теплоти dQ_2 , яке включає різні види теплових витрат. Прийmemo для dQ_2 узагальнений закон тепловіддачі Ньютона у вигляді:

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$dQ_2 = \alpha(h)(t - t_c)d\tau, \text{ Дж} \quad (2.19)$$

де $\alpha(h)$ – ефективний коефіцієнт тепловіддачі, який залежить від глибини шару, що віддає теплоту;

t – температура шару, що віддає теплоту, °С;

t_c – температура навколишнього середовища, °С.

Ефективні параметри $k(h)$ і $\alpha(h)$ підлягають визначенню експериментальним шляхом для різних шарів продукту при заданих умовах ГЧ-обробки.

Зміни температури шару dt , який має теплоємність C , за час $d\tau$ визначається виразом:

$$dt = \frac{1}{C}(dQ_1 - dQ_2). \quad (2.20)$$

Величина C залежить від параметрів шару, що розглядається, і є феноменологічним параметром теорії. Використовуючи (2.18)-(2.20), після перетворень отримуємо диференціальне рівняння для температури продукту $t(\tau)$ у такому вигляді:

$$\frac{dt_r}{d\tau} + \frac{\alpha}{C}t_r = \frac{k}{C}E(\tau), \quad (2.21)$$

де уведено позначення:

$$t(\tau) - t_c = t_r. \quad (2.22)$$

Початкові умови для t_r природно прийняти у «нульовому» вигляді:

$$t_r(t=0) = 0. \quad (2.23)$$

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рівняння (2.21) розв'язується без утруднень при відомому вигляді $E(\tau)$.

При безперервному ГЧ-нагріванні з постійною потужністю опромінення:

$$E = E_0 = \frac{1}{2}(E_{\max} + E_{\min}) = \text{const} \quad (2.24)$$

розв'язання $t_r^{(0)}(\tau)$ рівняння (3.22) дається виразом:

$$t_r^{(0)} = t_r^{(\infty)} [1 - \exp(-B\tau)], \quad (2.25)$$

де

$$t_r^{(\infty)} = \frac{kE_0}{\alpha}, \quad B = \frac{\alpha}{C}. \quad (2.26)$$

Величина B , як α і C , також є феноменологічним параметром теорії.

«Прямокутна» залежність $E(\tau)$ у вигляді скачкоподібних змін E від E_{\min} до E_{\max} і навпаки з періодом T симетрична відносно значення E_0 ; вона може бути представлена відомим розкладанням до ряду Фур'є:

$$\begin{aligned} E(\tau) &= E_0 + \frac{4}{\pi}(E_{\max} - E_0) \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(2n-1)x}{2n-1} = \\ &= E_0 + \frac{4}{\pi}(E_{\max} - E_0) (\sin x + \frac{\sin 3x}{3} + \dots), \quad x = \frac{2\pi\tau}{T}. \end{aligned} \quad (2.27)$$

Підставляючи (2.27) до (2.21), після необхідних обчислень знаходимо рішення рівняння (2.21) також у вигляді ряду:

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\begin{aligned}
t_r = & const \cdot \exp\left(-\frac{\alpha}{C}\tau\right) + \frac{kE_0}{\alpha} + \frac{4}{\pi}(E_{\max} - E_0) \frac{k}{C} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{2n-1} \times \\
& \times \left\{ \frac{\alpha}{C} + \left[\frac{2\pi}{T}(2n-1) \right]^2 \right\}^{-1} \cdot \left[\frac{\alpha}{C} \sin \frac{2\pi}{T}(2n-1)\tau - \right. \\
& \left. - \frac{2\pi}{T}(2n-1) \cos \frac{2\pi}{T}(2n-1)\tau \right]. \tag{2.28}
\end{aligned}$$

Вираз для $const$ виходить з умови (2.23) та має громіздкий вигляд. Для спрощення вигляду рішення (2.28) відзначимо, що зазвичай у реальних умовах ГЧ-нагрівання має місце граничний випадок:

$$BT \leq 1, \text{ або } \frac{\alpha}{C}T \leq 1. \tag{2.29}$$

Тоді вираз (2.28) спрощується і приймає вигляд:

$$\begin{aligned}
t_r = & const \cdot \exp\left(-\frac{\alpha}{C}\tau\right) + \frac{kE_0}{\alpha} - \frac{4}{\pi} \frac{k}{C} (E_{\max} - E_0) \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\frac{2\pi}{T}(2n-1)^2} \times \\
& \times \cos \left[\frac{2\pi}{T}(2n-1)\tau \right], \tag{2.30}
\end{aligned}$$

де

$$const = \frac{k}{C} \frac{T}{4} (E_{\max} - E_0) - \frac{kE_0}{\alpha} \approx -\frac{kE_0}{\alpha}. \tag{2.31}$$

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ряд $\left\{ -\frac{4}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \cos(2n-1)x \right\}$ у правій частині рівняння (2.30) уявляє собою розкладання у ряд Фур'є в інтервалі $(0, \pi)$ «пилоподібної» функції $y = x$, зміщеної на $\frac{\pi}{2}$ ($x = \frac{2\pi\tau}{T}$).

Введемо позначення:

$$\frac{k}{C} \frac{T}{2\pi} (E_{\max} - E_0) = p, \quad (2.32)$$

а також позначимо згадану зміщену «пилоподібну» функцію через $f(\tau)$ та представимо третій складник у правій частині рівняння (2.30) у вигляді $pf(\tau)$. Перші два складники з урахуванням (2.31) співпадають з правою частиною рівняння (2.25) для випадку $E = E_0 = const$. Тому формулу (2.30) можна представити у простому вигляді:

$$t_r = t - t_c = t_r^{(0)} + pf(\tau) \quad (2.33)$$

Таким чином, рішення $f_r(\tau)$ у цьому випадку отримується шляхом додавання до експоненціальної залежності $t_r^{(0)}(\tau)$ «пилоподібної» функції $pf(\tau)$.

Для зручності практичних оцінок можливе отримання приблизного аналітичного виразу для $pf(\tau)$. З цією метою представимо «прямокутну» функцію $E(\tau)$ приближеною до неї синусоїдальною залежністю:

$$E = E_0 + \Delta E \sin \omega\tau, \quad (2.34)$$

де

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta E = E_{\max} - E_0 = E_0 - E_{\min}, \omega = \frac{2\pi}{T}. \quad (2.35)$$

Якщо підставити (2.35) до (2.21), отримуємо рішення $t_r(\tau)$ у вигляді:

$$t_r = t_r^{(0)} + \frac{k\Delta E\omega}{C(\omega^2 + B^2)} \left(1 + \frac{B}{\omega} \sin \omega\tau - \cos \omega\tau\right) \quad (2.36)$$

($B = \alpha/C$, а $t_r^{(0)}$ дається виразом (2.25)). У практично важливому випадку $B \leq \omega$ (2.29) замість (2.26) отримуємо:

$$t_r \approx t_r^{(0)} + p(1 - \cos \omega\tau) = t_r^{(0)} + p \cdot 2 \sin^2 \frac{\omega\tau}{2}, \quad (2.37)$$

або

$$t_r \approx t_r^{(0)} + pf'(\tau). \quad (2.38)$$

де p дається виразом (2.32), а функція $f' = 2 \sin^2 \frac{\omega\tau}{2}$ приймає значення 2 при $\tau = T/2, 3T/2, 5T/2 \dots$. При цих же значеннях τ «пилоподібна» функція $f(\tau)$ приймає значення π . Тому для більш точного опису фактичного виду функції $t_r(\tau)$ (при «прямокутній» залежності $E(\tau)$) підставимо до (2.38) замість p величину:

$$p' = \frac{\pi}{2} p = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{1}{2\pi} \frac{kT}{C} \Delta E = \frac{1}{4} \frac{k}{C} T \Delta E, \quad (2.39)$$

тоді

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$t_r \approx t_r^{(0)} + p'f'(\tau). \quad (2.40)$$

Отримана формула є аналогічній (2.33), проте тепер функція $f'(\tau)$, на відміну від $f(\tau)$, дається простим аналітичним виразом:

$$f'(\tau) = 2 \sin^2 \frac{\omega\tau}{2} = 2 \sin^2 \pi \frac{\tau}{T} \quad (2.41)$$

У вираз для p' входить єдиний феноменологічний параметр теорії $\frac{k}{C}$.

На підставі рівняння (2.21) можна описати зміни температури продукту за часом і при будь-якому іншому вигляді залежності $E(\tau)$, який може бути доцільним з технологічної точки зору.

Отримані теоретичні залежності були перевірені в експериментальних умовах, при цьому розрахункові і експериментальні дані розходились не більше ніж на 2...5%. Викладена теорія забезпечує достатню для практики точність кількісних оцінок.

2.2 Визначення оптимальних параметрів поцесу ІЧ-смаження харчових продуктів в умовах відкритого робочого простору

Основні напрямки удосконалення процесів ІЧ-обробки харчової продукції полягають у підвищенні якості кінцевих продуктів та зменшенні енерговитрат за рахунок інтенсифікації дії ІЧ-випромінювання та скорочення часу на обробку.

На хід процесів ІЧ-обробки впливають: режими обробки; характеристики генераторів ІЧ-випромінювання; конструктивні особливості апаратів; властивості

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

середовища обробки; теплофізичні та оптичні властивості продуктів, що піддаються обробці.

Відповідно до зазначеного, роботи з удосконалення процесів ІЧ-обробки проводяться у таких напрямках: визначення оптимальних режимів процесу обробки; дослідження впливу складу та характеристик робочого середовища; визначення впливу характеристик продукту на хід процесу обробки; удосконалення існуючих та розробка нових конструкцій ІЧ-апаратів.

Значну частку ІЧ-обладнання, що експлуатується у закладах ресторанного господарства, складають апарати з відкритим робочим простором. Таке обладнання успішно застосовується для теплової кулінарної обробки виробів з м'яса, птиці, риби, оскільки вдало імітує смаження продуктів над розжареним деревинним вугіллям.

В процесі обробки продукт розташовується на металевій решітці під якою знаходяться генератори ІЧ-випромінювання. Суттєвість процесу обробки харчової сировини в полі ІЧ-випромінювання за умов відкритої робочої зони полягає у тому, що електромагнітні хвилі від джерела випромінювання проникають у продукт на деяку глибину (від часток до 2 мм) і частково або повністю поглинаються в ньому. При цьому електромагнітна енергія перетворюється в теплову, що викликає нагрівання продукту. Окрім цього, нагрівання продукту відбувається конвективно гарячим повітрям робочого простору (175...350 °С) та кондуктивно поверхнею решітки апарату.

Виробничий досвід підтверджує, що процес смаження харчових продуктів в обладнанні з ІЧ-енергопідводом доцільно проводити у два етапи (стадії): перший етап – обробка продукту при максимальній температурі джерела ІЧ-випромінювання до утворення на поверхні виробу скоринки підсмажування; другий етап – доведення продукту до повної готовності при зменшеній постійній температурі генераторів. Зменшення температури на другому етапі здійснюється за допомогою зменшення електричної потужності або збільшенням відстані продукту до джерела ІЧ-випромінювання.

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Хід процесу у ІЧ-обладнанні характеризується ускладненим теплообміном між генератором ІЧ-випромінювання і продуктом, та значними витратами енергії опромінювання до навколишнього середовища та елементів конструкції.

Вирішення завдання з пошуку оптимальних умов процесу смаження харчової сировини ІЧ-випромінюванням в умовах відкритого робочого простору можливе шляхом проведення активного експерименту.

Предметами досліджень було обрано м'ясні, рибні та овочеві напівфабрикати, підготовлені до дослідження у відповідності [53, 54]:

- з м'яса яловичини – антрекот (рецептура № 548);
- з м'яса свинини – котлета натуральна (рецептура № 565);
- з м'яса птиці – котлета натуральна з філе птиці (рецептура № 656);
- з риби – риба смажена на вертелі (рецептура № 498);
- з овочів – баклажани смажені (рецептура № 340), картопляні дольки, цибуля, томати, корінь селери смажені барбекю.

М'ясну, рибну та овочеву сировину купували у ТЦ «METRO», куди вона надходить від постійних виробників. Харчова сировина відповідає вимогам нормативної документації.

М'ясну сировину піддавали попередній обробці за традиційною технологією [54-56].

Для реалізації цілей дослідження було сконструйовано експериментальний стенд, оснащений тепловими, механічними, регулюючими та вимірювальними приладами (рис. 2.2).

Завдяки можливості контролювано змінювати більшу частину параметрів процесу за рахунок передбачених елементів конструкції та заміни складових частин експериментальна установка дозволяє моделювати процеси теплової обробки харчової продукції, що застосовуються у закладах ресторанного господарства при використанні серійного ІЧ-обладнання.

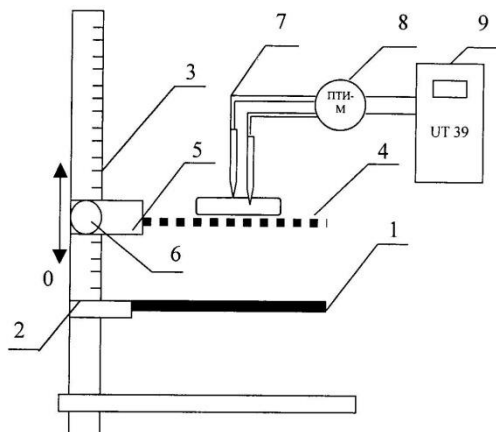
Експериментальний стенд дає можливість керувати основними параметрами (споживана ТЕНами потужність, Вт; відстань від продукту до джерела ІЧ-

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

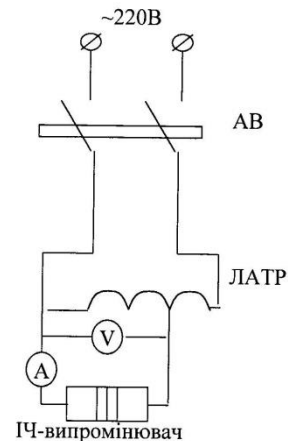
випромінювання, мм) та іншими параметрами процесу (температури продукту, повітря в робочому просторі, поверхні ТЕНу та решітки, °С; початкова та кінцева маси продукту, кг; напруга, В; сила електричного струму, А).



а)



б)



в)

Рисунок 2.2 – Загальний вигляд (а), принципова (б) та електрична (в) схеми стану для проведення експериментальних досліджень ІЧ-обробки харчової сировини за умов відкритого робочого простору: 1 – ІЧ-випромінювач типу ТЕН; 2 – кронштейн; 3 – стійка зі шкалою; 4 – решітка для розміщення продукту; 5 – рухома каретка; 6 – притискні гвинти; 7 – термомпари; 8 – багатопозиційний перемикач; 9 – універсальний вимірювальний прилад

У представлений на рисунку комплектації генератором ІЧ-випромінювання є високотемпературний ТЕН (номінальна потужність 1500 Вт) 1, який закріплено на стійці 3 за допомогою нерухомого кронштейну 2.

Металева решітка 4, призначена для розміщення продукту, закріплюється на стійці за допомогою рухомої каретки 5, положення якої фіксується притискними гвинтами 6, що дозволяє змінювати відстань між решіткою, на якій розміщено продукт, та джерелом ІЧ-випромінювання. Для фіксованої зміни цієї відстані на стійку нанесено відповідну шкалу.

Конструкція експериментальної установки дозволяє використовувати різні типи ІЧ-випромінювачів та решіток. Також є можливість для додавання до

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

загальної конструкції відбивачів різної форми.

Для проведення вимірів, контролю та коригування параметрів процесу (теплотехнічних, електричних, геометричних), експериментальну установку оснащено сучасними вимірювальними та регулюючими приладами.

Для зміни величини напруги, що подається на ТЕН, на стенді встановлено лабораторний автотрансформатор ЛАТР (діапазон зміни напруги 0...250 В, максимальна сила струму 9 А).

Для вимірювання електричних величин напруги, сили електричного струму, споживання електроенергії використано електронну вимірювальну техніку.

Для вимірювання та індикації діючого значення напруги перемінного струму застосовано цифровий вольтметр В-0,8К з діапазоном вимірювання 70...400 В та класом точності 0,25. Для вимірювання значень сили електричного струму використано багатофункціональний цифровий вимірювальний прилад УТ39А.

Температура усередині та на поверхні продукту, а також у середовищі обробки вимірюється за допомогою хромель-копелевих термопар, спаї яких поміщені у сталеві голки таким чином, щоб при зануренні у напівфабрикат були у контакті з продуктом. Термопари з виводами 7 через багатопозиційний перемикач 8 приєднані до універсального вимірювального приладу 9.

Для забезпечення безпеки при роботі з ІЧ-нагрівачем та здійснення контролю за температурою повітря у робочому просторі експериментальну установку оснащено вимикачем-терморегулятором TR/7 11 N з діапазоном регулювання 50...400 °С.

Для вимірювання значень початкової та кінцевої маси продуктів застосовуються ваги електронні SOEHNLE з діапазоном вимірювань 1...5000 г.

Перейдемо до методики дослідження розподілу теплового потоку у робочому просторі ІЧ-установки.

Для реалізації плану активного експерименту необхідні попередні відомості на підставі яких можна визначити інтервали варіювання факторів.

Товщина напівфабрикатів обумовлюється їх видом, а початкова температура

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

відповідає діапазону температур для охолоджених напівфабрикатів. Тому межі варіювання цих двох факторів (x_2 та x_3 у плані експерименту) визначені апіорі.

Для визначення меж варіювання факторів експерименту x_1 – потужність, яка подається на ТЕН та x_2 – відстань від поверхні продукту до ТЕНу необхідне проведення попередніх дослідів. Інтервали варіювання цих факторів залежатимуть від розподілу теплового потоку у робочому просторі експериментальної установки, тому можливе їх визначення шляхом попереднього однофакторного експерименту.

Одним з основних умов успішного використання ІЧ-випромінювання для обробки харчових продуктів є забезпечення максимально можливої рівномірності опромінення. Утворення рівномірного теплового потоку на поверхні продукту гарантує стабільність технологічного процесу та високу якість готової продукції [47, 50, 57].

Вимірювання щільності теплового потоку уможливорює оптимізацію процесів термообробки харчових продуктів, а датчики теплових потоків можуть бути використані як для контролю та регулювання теплових процесів, так і для оцінки щільності променевого теплового потоку випромінювачів для їх підбирання та встановлення відстані між продуктом і джерелом ІЧ-випромінювання виходячи з умов конкретної термообробки та виду харчової сировини.

В процесі ІЧ-смаження продукт знаходиться в умовах складного теплообміну, який містить променеву, конвективну та кондуктивну складові. Дослідити розподіл теплового потоку у робочому просторі можливо за допомогою датчиків, в конструкції яких використовуються термоелектричні приймачі випромінювання.

Сутність проведеного експерименту з визначення розподілу теплового потоку у робочому просторі установки полягає у визначенні динаміки зміни температури за часом у певних точках робочого простору (рис. 2.3.).

При проведенні однофакторного експерименту з визначення розподілу теплового потоку у робочому просторі установки проводили смаження напівфабрикату котлети натуральної з філе птиці. В процесі смаження знімали

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

показання температури у п'яти точках. Чотири точки розташовані у робочому просторі навколо джерела випромінювання (його центру площини) згідно рис. 2.3. П'ята точка знаходиться у центрі виробу і призначена для контролю процесу обробки. Температуру заміряли за допомогою термодатчиків, які складаються з термопар К-типу під'єднаних до приймачів випромінювання – сталевих пластини, покритих мілкодисперсною сажею та кремнійорганічним зв'язуючим. Такий склад покриття забезпечує задовільне поглинання в усьому діапазоні ІЧ-випромінювання з коефіцієнтом (0,95-0,98) та витримує температури до 300 °С. Прийнята періодичність проведення замірів у 10 с.

Промисловий досвід свідчить про доцільність проведення теплової обробки харчових продуктів ІЧ-випромінюванням у дві стадії. Перша стадія проводиться на максимальній потужності ІЧ-випромінювача до утворення на поверхні виробу характерної кірочки підсмажування (відповідає температурі $T = 393$ К на поверхні продукту). Друга стадія процесу смаження проводиться на зменшеній потужності ІЧ-нагрівача до досягнення продуктом стану кулінарної готовності (визначається досягненням певної температури усередині продукту, конкретне значення якої характерно для кожного окремого виду харчової сировини).

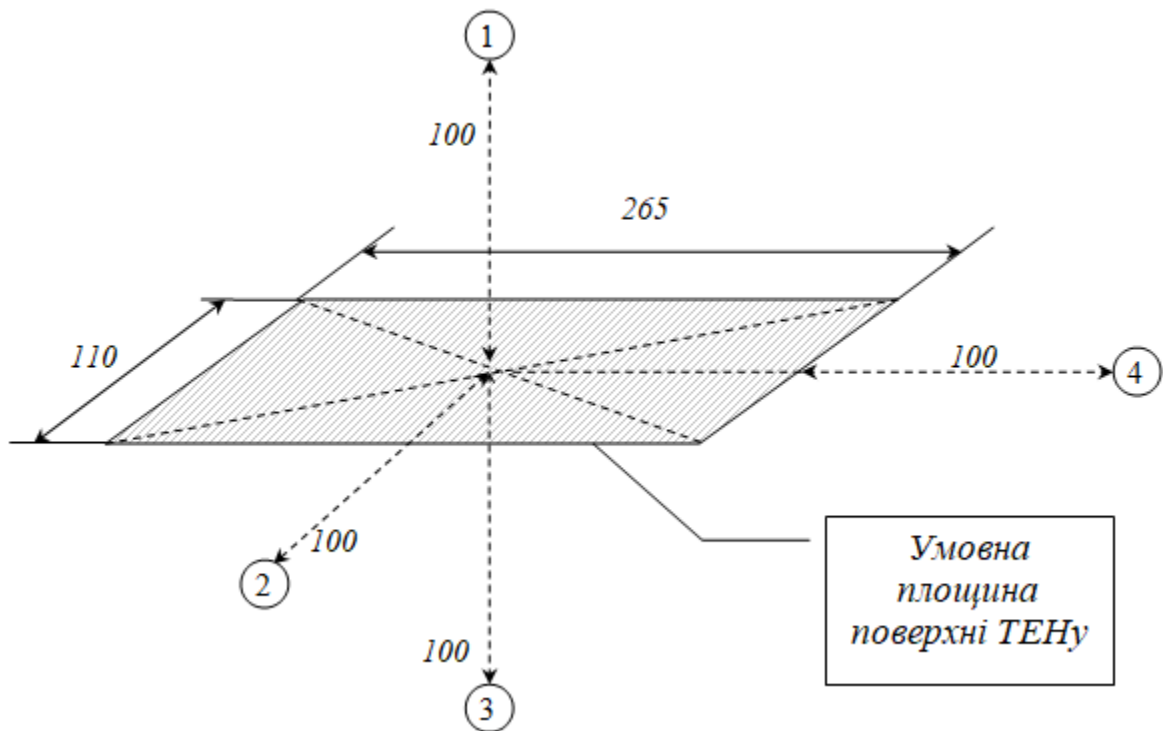


Рисунок 2.3 – Схема розміщення точок заміру температури відносно ІЧ-випромінювача (1, 2, 3, 4 – місця розміщення термоелектричних датчиків)

Відповідно до цього проводили смаження контрольного зразку – котлети натуральної з курячого філе, під час якого проводили заміри температури.

Планування екстремального експерименту – це метод вибору кількості та умов проведення дослідів, мінімально необхідних для відшукування оптимальних умов, тобто для вирішення поставленого завдання [58].

Для вирішення цього завдання було розроблено план і реалізовано активний факторний експеримент.

За фактори, що варіюються прийняті:

x_1^* – споживана джерелом ІЧ-випромінювання потужність, кВт;

x_2 – товщина зразку, мм;

x_3 – початкова температура продукту, °С;

x_4 – відстань від продукту до джерела випромінювання, мм.

За функції відгуку прийняті:

y_1 – втрати маси під час теплової обробки продукту (Δm), %:

$$\Delta m = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100, \quad (2.42)$$

де m – маса продукту до випробувань, кг;

m_1 – маса кінцевого продукту після випробування, кг;

y_2 – питомі витрати електроенергії за один цикл обробки (W), кВт·ч/кг;

$$W = \frac{E}{m}, \quad (2.43)$$

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де E – витрати електроенергії за час одного циклу обробки, кВт;

m – маса продукту до випробувань при кожному циклі смаження, кг;

* - Процес обробки розбивається на дві стадії: I стадія проводиться на максимальній потужності ІЧ-випромінювачів до досягнення на обох боках продукту характерної скоринки підсмажування; II стадія проводиться на зменшеній потужності до досягнення продуктом повної кулінарної готовності (визначається досягненням температури 80...82 °С усередині продукту).

y_3 – органолептична оцінка готового продукту, бал.

Межі варіювання підібрані з попередньо проведених дослідів і представлені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Межі варіювання факторів екстремального експерименту для напівфабрикатів тваринного походження

Позначення	Фактори	Рівні			Інтервал варіювання
		1	0	2	
x_1	Споживана джерелом ІЧ-випромінювання потужність, кВт (відповідно на I та II стадіях процесу)	0,57	0,72	0,87	0,15
		0,27	0,42	0,57	0,15
x_2	Товщина продукту, мм	10	15	20	5
x_3	Початкова температура продукту, °С	+5	+10	+15	5
x_4	Відстань від продукту до джерела випромінювання, мм	20	30	40	10

Межі варіювання факторів для напівфабрикатів рослинного походження аналогічні, проте не враховується фактор x_3 – початкова температура продукту,

оскільки для цього виду продукції він не є важливим.

Матриця планування експерименту уявляє собою напіврепліку від 2^4 , яку задано генеруючим співвідношенням: $x_4 = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3$. Визначальним контрастом у цьому випадку є: $I = +x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot x_4$.

Якщо вважати строку (1) парною, напіврепліку можна записати наступним способом: (1), *ad, bd, ab, ac, cd, bc, abcd*.

Таблиця 2.2 – Матриця планування 2^{4-1}

№ дослідів	x_1	x_2	x_3	x_4	Буквене позначення
1	+	+	-	-	<i>ab</i>
2	-	-	-	-	(1)
3	+	-	-	+	<i>ad</i>
4	-	+	-	+	<i>bd</i>
5	+	+	+	+	<i>abcd</i>
6	-	-	+	+	<i>cd</i>
7	+	-	+	-	<i>ac</i>
8	-	+	+	-	<i>bc</i>

Для виключення впливу систематичних помилок проведено рандомізацію за часом дослідів, запланованих матрицею.

У дробовому факторному експерименті 2^{4-1} передбачається проведення двох паралельних дослідів для кожного випадку – усього 16 дослідів. Для рандомізації використано таблицю випадкових чисел, в результаті чого отримано випадкову послідовність дослідів.

Вимірювання факторів та параметрів процесу проводили відповідно до інструкцій з експлуатації засобів вимірювальної техніки та методики за [59].

Окрім факторів і параметрів оптимізації процесу включених до плану активного експерименту, здійснювалися визначення та контроль інших важливих показників, які не можуть виступати параметрами оптимізації.

Зміни температурного поля при смаженні зразків визначали шляхом заміру температури у трьох різних точках усередині продукту з наступним знаходженням

середньоарифметичного значення термopарами К-типу з коефіцієнтом термо-ЕРС 64-88 мкВ/°С в діапазоні температур 0...600°С, діапазоном температур -200...600°С та максимальною температурою при короткочасному використанні 800°С. Температуру вимірювали за допомогою електронного багатофункціонального пристрою UT39А. Перемикання між термодатчиками здійснювали за допомогою багатопозиційного перемикача типу ПТИ-М.

Втрати маси під час обробки знаходили за формулою (2.42). Масу виробів до та після обробки визначали шляхом зважування на електронних вагах SOEHNLE.

Кінцеві продукти підвергалися якісному аналізу за органолептичними показниками за п'ятибальною шкалою відповідно [60]: зовнішній вигляд, колір, консистенція, смак, аромат. При цьому користувалися стандартною таблицею 5-бальної оцінки харчових і гастрономічних продуктів по Тільгнеру Д.Є. [60] та ГОСТ 9959-91 [62].

В дослідженні застосовано метод органолептичної оцінки, який призначений для об'єктивного контролю якості продукції ресторанного господарства масового виготовлення і полягає у прямій рейтинговій оцінці якості зразків продукції в цілому та окремих ключових органолептичних характеристик зразків продукції. Для кожної оцінюваної характеристики встановлено сенсорні специфікації.

Органолептичний аналіз продукції ресторанного господарства масового виготовлення містить у собі рейтингову оцінку зовнішнього вигляду, текстури (консистенції), запаху і смаку з використанням бальної шкали: 5 балів – відмінна якість, 4 бали – добра якість, 3 бали – задовільна якість і 2 бали – незадовільна якість [63].

Якість продукції, яку отримували в процесі проведення експериментів, за органолептичними показниками визначали для партії відразу після її виготовлення.

Кількість порцій продукції, що підлягала тестуванню, відповідала кількості співробітників, що брали участь у її оцінці.

При органолептичній оцінці температура продукції відповідала температурі виробу при його реалізації.

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

При оцінці зовнішнього вигляду зверталась увага на його конкретні властивості, такі як колір (основний тон і його відтінки, інтенсивність і однорідність), форма і її збереження у готовому виробі, стан поверхні, вид на розрізі (злам).

Вироби після оцінки зовнішнього вигляду нарізали на загальній тарілці на порції для тестування.

Оцінка текстури (консистенції) проводилася:

– візуально і тактильно – дотиком до виробу столовим приладом (ножем, виделкою) і/або кухарською голкою, а також додатком зусиль натисканням, натисненням, проколюванням, розрізуванням;

– тактильно у порожнині рота та у процесі пережовування.

Оцінку запаху проводили у такий спосіб: робили глибокий вдих, затримували подих на 2-3 с і видихали. У ході аналізу встановлювали типовість запаху для виробу даного виду, а також визначали наявність сторонніх запахів.

Для оцінки виробів із щільною текстурою (продукти тваринного походження), застосовували «пробу голкою» або «пробу на ніж», для чого дерев'яну голку (підігрітий ніж) вводили в товщу виробу, а після витягу швидко оцінювали запах.

Оцінку смаку проводили у такий спосіб: порцію продукції для тестування поміщали у ротову порожнину, ретельно пережовували і встановлювали типовість смаку для виробу даного виду, а також визначали наявність сторонніх присмаків.

Для органолептичної оцінки використовували критерії, які представлені у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Критерії органолептичної оцінки смажених виробів

Оцінка	Характеристика виробів
1	2
5 балів	Оцінка відповідає виробам без недоліків. Органолептичні показники повинні строго відповідати вимогам нормативних і технічних документів.
4 бали	Оцінка відповідає виробам з незначними недоліками, або з недоліками, які легко усунути. До таких недоліків відносять типові для даного виду продукції, але слабо виражені запах і смак.

1	2
3 бали	Оцінка відповідає виробам з більш значними недоліками, але придатним для реалізації без переробки. До таких недоліків відносять підсихання поверхні виробів, порушення форми, слабкий або надмірний запах спецій, тверду текстуру (консистенцію) м'яса і т.д. Якщо смаку і запаху виробу привласнюють оцінку 3 бали, то незалежно від значень інших характеристик, загальний рівень якості оцінюють не вище, ніж у 3 бали.
2 бали	Оцінка відповідає виробам зі значними дефектами: наявністю сторонніх присмаків або запахів, надмірно солоний смак виробу, недосмажені, підгорілі, що втратили форму і т.д.

У випадку виявлення недоліків і/або дефектів оцінюваної продукції проводили зниження максимально можливої кількості балів відповідно до рекомендацій, наведених у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Зниження бальної оцінки показників якості кулінарних виробів за виявлені дефекти

Найменування органолептичних характеристик	Недоліки та дефекти	Зниження оцінки в балах
ЗОВНІШНІЙ ВИГЛЯД		
Стан поверхні	Слабке підсихання поверхні основного продукту або виробу	1,0
Колір (у тому числі на розрізі)	Незначно відрізняється від типового	0,5
	Смажені вироби мають слабке зафарблення або мають на поверхні інтенсивно пофарбовані краплі	2,0
	Вироби підгорілі, темного кольору або з нетиповим кольором для даних виробів	3,0
ТЕКСТУРА (КОНСИСТЕНЦІЯ)	Суха, тверда в порціонних виробах з м'яса, птаха, риби, овочів	2,0
ЗАПАХ	Слабко виражений, недостатньо типовий, з помітною перевагою одного компоненту	1,5
	Нетиповий, сторонній	3,0
СМАК	Слабко виражений, не відчувається смак спецій	1,0
	Злегка пересолений	2,0
	Нетиповий, сторонній, надзвичайно гострий, солоний, кислий, сторонній	3,0

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Органолептична оцінка з різних видів харчової сировини має свої особливості. Так, у м'ясних виробів спочатку оцінювали зовнішній вигляд: правильність форми нарізки, стан поверхні. Потім перевіряли ступінь готовності виробів проколом кухарською голкою відповідно до текстури (консистенції) і кольору на розрізі. Після цього оцінювали запах і смак виробу.

При оцінці виробів з риби перевіряли правильність оброблення та дотримання рецептури; правильність підготовки напівфабрикатів (нарізка); текстуру (консистенцію); запах і смак виробів.

При перевірці якості смажених овочів спочатку оцінювали зовнішній вигляд: правильність форми нарізки, а потім текстуру (консистенцію), запах і смак.

Загальну оцінку якості виробу, що піддавався аналізу, розраховували як середнє арифметичне значення оцінок всіх співробітників, що приймали участь в оцінці, з точністю до першого знака після коми.

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Розділ 3

РОЗРОБКА ІЧ-АПАРАТУ ДЛЯ СМАЖЕННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

3.1. Визначення впливу технічних властивостей апаратів ІЧ-випромінювання на параметри процесу

Повсякденну діяльність підприємств ресторанного господарства складно уявити без використання цілого арсеналу універсального теплового обладнання, за допомогою якого вдається швидко та ефективно виробляти різноманітні за асортиментом страви, при цьому раціонально спланувавши робочий час виробничих працівників. До складу таких апаратів відносяться компактні грилі, які є основним технічним засобом для теплової обробки у багатьох підприємствах харчування та торгових точках, включаючи ресторани, кафе, заклади швидкого харчування, супермаркети тощо. Завдяки високій продуктивності, простоті застосування, надійності та наочності в роботі сьогодні грилі здобули високої популярності серед фахівців відповідної галузі.

Сучасні моделі грилів цілком конкурентоспроможні в порівнянні із традиційними видами теплового обладнання. Основне їх призначення – швидке готування смажених страв із птаха, натуральних м'ясних або рибних напівфабрикатів. На відміну від дорогих електричних плит грилі є більш універсальними. Крім того, вони більш економічні в роботі оскільки процес готування в них швидкий і ефективний. Все це відбивається на смакових характеристиках продукції, а також часі їхнього готування, що у середньому становить 10-30 хв і залежить від попередньої кулінарної обробки продуктів.

Грилі не створюють характерної кухонної атмосфери з духотою та жаром, при цьому більша частина електроенергії йде не на прогрів виробничого

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Коренець Ю.М.</i>			Розділ 3 РОЗРОБКА ІЧ-АПАРАТУ ДЛЯ СМАЖЕННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Хорольський В.П.</i>						
<i>Н.контр.</i>		<i>Омельченко О.В.</i>				ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
<i>Затверд.</i>		<i>Цвіркун Л.О.</i>						

приміщення, а на готування їжі. В процесі смаження продуктів можна при необхідності додавати інгредієнти та перевіряти ступінь готовності без порушення режиму готування та побоювань втрати тепла.

Оскільки в грилі можна обсмажувати одночасно відразу кілька страв, то істотно підвищується продуктивність роботи та скорочується час обробки. Можливість регулювання температури дозволяє гнучко задавати ступінь утворення кірочки підсмажування, при умові рівномірного прожарювання виробу та збереження його соковитості.

У процесі роботи грилів досягається повна гігієнічна безпека продукції. Через відсутність контакту продуктів з розігрітим жиром вдається дотримуватися принципів здорового харчування.

Залежно від виду енергоносія найбільше поширення отримали апарати з електричним та газовим обігрівом. Перші працюють від мережі з напругою 220 В або 380 В, тому для інженерного забезпечення їх роботи усередині приміщень необхідне підведення електричного кабелю певного перетину.

Конструкція сучасних серійних грилів досить проста і припускає, що всі їх елементи виконані з харчової нержавіючої сталі.

Для збору жиру та соку в процесі смаження зазвичай передбачається піддон, який встановлюється на дні гриля. Для більш м'якого приготування продукції в атмосфері водяної пари та для запобігання запалюванню піддон наповнюють водою.

Як джерела променистої енергії, в електричних грилях використовуються ІЧ-випромінювачі – трубчасті електронагрівачі (ТЕНи), які відрізняються механічною міцністю та надійністю в роботі, або більш економічні кварцові лампи, які набагато легше підтримувати в чистоті.

Як правило, температура на поверхні ТЕНів досягає 700°C, вони встановлюються в нижній частині робочої зони або у задньої стінки. Кварцові лампи з температурою вище 1000°C зазвичай монтуються зверху камери.

У більш економічних газових моделях найчастіше використовуються інжекційні газові пальники із частковим попереднім змішанням газу з повітрям. Уважається, що при 12-годинному режимі роботи таких грилів 50-літрового

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

газового балону вистачає у середньому на 5 днів.

Відбивачі, розташовані між ІЧ-випромінювачем і корпусом, дозволяють найбільше точно сфокусувати потік ІЧ-променів на поверхні продукту, що піддається обробці, тим самим збільшується температура смаження продуктів, а, відповідно, і швидкість процесу. При цьому вони не дають можливості розсіюватися випромінюванню у навколишньому просторі. Найбільше поширення на практиці отримали сферичні або параболічні металеві відбивачі, які мають срібне, золоте, хромове або алюмінієве покриття.

На передній панелі грилів поза зоною розбризкування жиру та соку розташовується ряд регуляторів. Як правило, на панелі керування є кнопка «мережа», регулятор температури та таймер. У більш дорогих моделях передбачене сенсорне керування процесом, що дає можливість автоматично оцінювати та задавати потрібний для приготування продукту час, виходячи з виду продукту та його кількості. Наявність процесора дозволяє запрограмувати більше десятка режимів роботи автоматичного приготування.

Відповідно до принципу дії грилі завжди асоціювалися у свідомості багатьох споживачів із процесом термообробки, який виключає безпосередній контакт продукту з поверхнею, що нагрівається. І хоча зараз все більшої популярності здобувають контактні або кондуктивні грилі, у яких продукт розміщується між двома поверхнями, що нагріваються, такі моделі мають ряд суттєвих недоліків. Процес готування продуктів у них займає менше часу, але у підсумку губиться їхня природна форма та істотно зростає ймовірність можливого пригорання поверхні страв. При роботі з такими апаратами витрачається багато жиру та потрібно набагато більше часу для очищення їх робочих поверхонь.

Принцип роботи безконтактних моделей припускає циклічне нагрівання продуктів, що піддаються обробці, у процесі їх обертання відносно ІЧ-генераторів. Такі грилі ідеально підходять для смаження м'ясних продуктів, оскільки дозволяють проводити їх обробку в імпульсивному режимі нагрівання, що забезпечує рівномірне обсмажування з усіх боків з мінімальними втратами маси. У процесі готування напівфабрикати обертаються навколо нерухливого джерела

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

випромінювання та одержують порції променистої енергії змінної інтенсивності. І поки розігрітий джерелом бік продукту йде в тінь, отриманий імпульс теплоти встигає рівномірно розподілитися в його товщі.

Більше ефективними та продуктивними для грилювання курей вважаються грилі планетарного типу, які є різновидом «карусельних» моделей. Їхньою конструкцією передбачене обертання як самого планетарного диска, так і окремо кожного вертіла, що істотно прискорює процес обробки і робить пропікання продукції більше рівномірним та однорідним. Блокування планетарного диска дозволяє ефективно використовувати енергію за рахунок спрямування фронту променистого потоку безпосередньо на робочі вертіли.

У моделях шампурного типу, де продукти переміщуються в процесі теплової обробки навколо власної осі, є можливість готування не тільки великих форм, але й порційних та дрібношматкових напівфабрикатів з їх фіксацією за допомогою спеціальних затискачів. Обертання шампурів навколо нагрівальних елементів здійснюється електроприводом.

Як показує практика, традиційні грилі мають низку недоліків. Через високу температуру на поверхні випромінювачів збільшується ймовірність підгорання та спалахування виступаючих частин продуктів, також зростає можливість влучення на випромінювачі жиру та часточок продуктів, які потім починають пригоряти, покриваючи поверхню випромінювачів товстим нальотом. Якщо їх періодично не очищати, то згодом випромінювання стає менш потужним.

Найчастіше виробники не хочуть відмовлятися від традиційних конструктивних особливостей грилів через сталі стереотипи. Серед багатьох технологів існує думка, що м'ясо курки найкраще готується за допомогою прямого впливу кварцових випромінювачів з довжиною хвилі в 1,5 нм. Однак у цьому випадку абсолютно не приймається в розрахунок той факт, що в курки є не тільки біле, але й темне м'ясо, а також шкіра та сполучна тканина, і в цьому випадку вплив випромінювача на різні частини продукту виявиться вкрай неоднозначним.

Інше не цілком обґрунтоване твердження говорить: найбільш смачна курка-гриль виходить тільки в традиційному грилі, де в процесі теплової обробки на ній

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

спочатку утвориться рум'яна шкірочка, а потім відбувається проникнення тепла усередину продукту. Якщо процес буде відбуватися навпаки, м'ясо буде не тільки ідеально прожареним, але й більше соковитим. Тому доцільно проводити процес у кілька стадій – починаючи від злегка прожареного м'яса та закінчуючи сильно пропеченим, з темно-коричневою шкірочкою. У звичайних грилях процес прожарювання не піддається необхідному регулюванню та контролю.

Переміщення електроприводу обертання з верхньої частини моделі, яка піддається найбільшому ступеню нагріву, «холодну» зону – униз корпусу, відіб'ється на збільшенні строку його безвідмовної експлуатації.

Ряд конструктивних удосконалень дозволить зробити серію нових моделей більш універсальними та невразливими в режимі інтенсивної експлуатації. Подальше вдосконалення конструкції грилів і наділення їх ще більш великими функціональними можливостями дозволять істотно розширити сферу застосування цих теплових апаратів.

3.2 Технічні вимоги та постановка завдання на проєктування апарату

Для реалізації процесу смаження порційної і дрібношматкової продукції тваринного походження та гарнірної овочевої продукції виконано роботу з проєктування нового апарату, який повинен відповідати ряду таких вимог: технологічним, експлуатаційним, енергетичним, конструктивним, економічним, санітарно-гігієнічним, техніки безпеки та охорони праці.

Технологічні вимоги полягають у можливості здійснювати раціональні режими теплової обробки та досягати певного ступеня інтенсифікації. Основною умовою є реалізація процесу смаження з максимальною продуктивністю, мінімальними витратами сировини при досягненні високої якості кінцевої продукції [64].

Експлуатаційні вимоги передбачають простоту обслуговування апарату з мінімальними витратами праці, автоматизацію контролю та регулювання процесу,

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

безперебійність у роботі, доступність для огляду та ремонту [64].

Енергетичні вимоги передбачають мінімізацію витрат енергоресурсів та підвищення коефіцієнту корисної дії.

До конструктивних вимог відносяться:

– технологічність, тобто відповідність конструкції та матеріалів оптимальній технології машинобудування. Технологічність апарату повинна дотримуватися протягом усього циклу його виробництва – від виконання окремих деталей до випробування готових апаратів;

– стандартизація, уніфікація та нормалізація деталей та вузлів, що сприятиме підвищенню серійності, технологічності та ремонтпридатності;

– технічна досконалість, працездатність та надійність апарату, які характеризуються тривалим періодом відповідності сучасному рівню розвитку техніки, довговічністю в роботі та цілістю у процесі зберігання й транспортування;

– простота конструкції, низька матеріалоемність (в частковості металоємність), невеликі габаритні розміри, виготовлення з недорогих та доступних матеріалів [64].

Економічні вимоги відображають мінімальні витрати на виготовлення, монтаж та експлуатацію апарату за умови збереження високих техніко-економічних показників: високої питомої продуктивності та коефіцієнта корисної дії.

Санітарно-гігієнічні вимоги полягають у доступності для огляду і чищення апарату, стійкості до корозії, безпечності та гігієнічності використаних в конструкції апарату матеріалів.

Апарат повинен відповідати усім вимогам електробезпеки, мати надійне заземлення. Температура зовнішніх поверхонь не повинна викликати опіки при контакті з ними. Конструкція апарату повинна виключати вплив активного випромінювання на працівників.

В процесі проєктування апарату було сформульоване технічне завдання:

– при проєктуванні, виготовленні та постачанні апарату обов'язкове дотримання вимог відповідної нормативної документації: ГОСТ 12.2.003-74 «Производственное оборудование. Общие требования безопасности»; ГОСТ 21621-

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

83 «Электрогрили, электрошашлычницы, электротостеры, электроростеры бытовые. Общие технические условия»; ОСТ 26-291-79 «Сосуды и аппараты стальные сварные. Технические требования»;

- апарат має бути універсальним і використовуватися для приготування широкого асортименту кулінарної продукції з різної харчової сировини;
- матеріал корпусу та робочих секцій апарату – харчова нержавіюча сталь, що визначає їх міцність та надає їм естетичного вигляду;
- передбачити можливість одночасної обробки різномірної харчової продукції, що обумовлено специфікою роботи закладів ресторанного господарства;
- встановити у робочій зоні апарату вискоелективні ІЧ-генератори з довжиною хвилі $\lambda = 2,7$ мкм, що відповідає смузї максимального поглинання харчовими продуктами ІЧ-променів;
- передбачити можливість встановлення у корпусі електричного приводу робочих секцій з метою здійснення імпульсного режиму обробки продуктів;
- встановити засоби автоматичного регулювання параметрів технологічного процесу (часу та температури);
- апарат повинен відповідати вимогам екологічної безпеки [64].

3.3. Розробка принципової схеми ІЧ-апарату для смаження харчових продуктів в умовах відкритого робочого простору

модель належить до апаратів з інфрачервоним енергопідводом і може знайти застосування у закладах ресторанного господарства для смаження харчових продуктів: порційних та дрібношматкових напівфабрикатів з м'яса, птиці, риби, овочів.

До смаження процес належить за ознакою утворення на поверхні виробів характерної скоринки, проте за фізичною сутністю він істотно відрізняється від смаження основним способом або у фритюрі. Дія ІЧ-випромінювання заснована на специфічній властивості електромагнітних хвиль певної довжини проникати на глибину до 7 мм усередину продукту та за рахунок збудження молекул здійснювати

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

нагрівання. ІЧ-випромінювання розповсюджується у навколишньому середовищі в усіх напрямках. Промені, які досягають поверхні продукту частково поглинаються, частково відбиваються від неї.

Сьогодні використовуються електричні грилі з однобічним (типу «барбекю») або двобічним (типу «саламандра») розміщенням ТЕНів відносно решітки з продуктом. Для цих типів обладнання характерне горизонтальне розташування нагрівачів і решітки [28]. Ці типи обладнання мають ряд недоліків: значні витрати енергії випромінювання у навколишнє середовище; відносно низька продуктивність апаратів із-за обмеженої активної площі робочої поверхні; попадання вологи і жиру з продуктів на поверхню ТЕНів в процесі обробки призводить до виходу їх із ладу. Вертикальні грилі типу «шаурма» застосовуються переважно для готування м'яса крупним шматком або пластами на вертелі і не призначені для готування дрібношматкових та порційних напівфабрикатів.

Найбільш близькою до корисної моделі за технічною сутністю та результатом є побутова шашличниця ЕШВ-1,0/220 [63]. Електрошашличниця має циліндричну форму, у верхній частині електрошашличниці розташовано жарову камеру, у нижній – привод шампурів. У центрі жарової камери встановлено нагрівач – ніхромову спіраль, поміщену до колби з товстостінного кварцевого скла. До камери виступають осі приводу шампурів, на які встановлюються чашечки. Обертання від мікродвигуна через шестерні передається чашечкам із шампурами. Відкривається і закривається жарова камера кожухом.

Недоліками електрошашличниць типу ЕШВ-1,0/220 є: відносно низька продуктивність; можливість готування лише дрібношматкових напівфабрикатів на шампурах; відсутність можливості одночасного готування різнорідних харчових продуктів; незручності обумовлені використанням кожуху (відсутність можливості постійного візуального спостереження процесу, утруднення миття та очищення внутрішньої поверхні кожуху).

В основу розробки корисної моделі покладено завдання створити апарат для смаження харчових прордуктів з мінімальними витратами випромінювання в навколишнє середовище, підвищеної продуктивності, можливістю одночасного

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

смаження різномірної харчової продукції. Апарат призначений для експлуатації у закладах ресторанного господарства.

Поставлене завдання вирішується тим, що в апараті для смаження харчових продуктів, на відміну від прототипу, шампури замінено на шість подвійних решіток-секцій, які розташовуються вертикально навколо нагрівача, утворюючи шестигранник. Нагрівач складається з трьох високотемпературних тенів складної форми. Решітки-секції під час обробки здійснюють планетарне обертання навколо нагрівача.

Виходячи з описаного стану рівня техніки, впливає, що вказані відмінності апарату, що заявляється, є новими.

Конструкція апарату, що заявляється, має такі переваги у порівнянні з аналогами:

- більша продуктивність за рахунок збільшення площі робочої поверхні (сумарна площа поверхні фіксує двобічних решіток);
- рівномірне підведення інфрачервоного випромінювання до харчових продуктів з меншими його витратами у навколишнє середовище та на нагрів елементів конструкції, оскільки продукт розміщується навколо ІЧ-випромінювача на однаковій відстані з усіх боків;
- подовження строку експлуатації генераторів ІЧ-випромінювання, за рахунок виключення попадання на їх поверхню вологи, жиру та часточок продуктів під час обробки;
- можливість одночасного смаження різних харчових продуктів (м'ясо, риба, овочі) та різних видів напівфабрикатів (порційних та дрібношматкових) за рахунок розділення робочої поверхні на шість відокремлених секцій;
- використання в якості джерела ІЧ-випромінювання трьох ТЕНів та спосіб їх розташування по відношенню до решіток з продуктами (дія одного ТЕНу спрямовується на дві секції решіток) дозволить використовувати апарат у трьох режимах обробки залежно від необхідності: на дві, чотири або шість секцій;
- фіксування порційних напівфабрикатів у двобічних решітках запобігатиме деформації продуктів та буде забезпечувати привабливий зовнішній вигляд готових

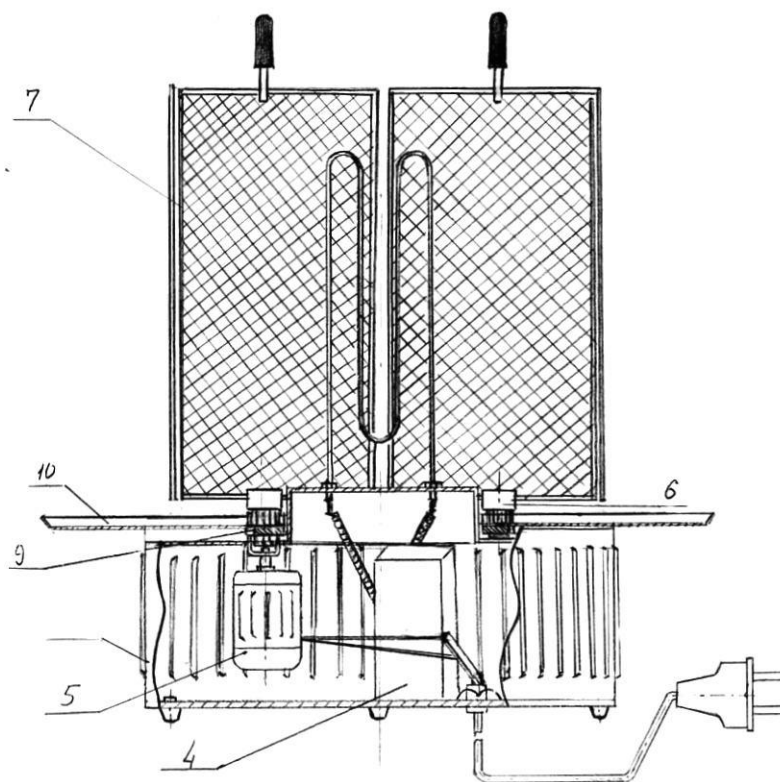
					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

виробів;

– планетарне обертання решіток-секцій навколо власної осі та навколо джерела інфрачервоного випромінювання забезпечить легкий доступ до всіх секцій та можливість готування продуктів у імпульсному режимі (з переривчастим підведенням енергії);

– привабливий зовнішній вигляд апарату, обумовлений його конструкцією (компактність, можливість візуального спостереження процесу обробки продуктів та легкий доступ до робочих секцій апарату), дозволить використовувати його у відкритих кухнях та на майданчиках [64].

На рис. 3.1 зображено конструкцію апарату для смаження харчових продуктів, на рис. 3.2 – конструкцію подвійної решітки-секції.



					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

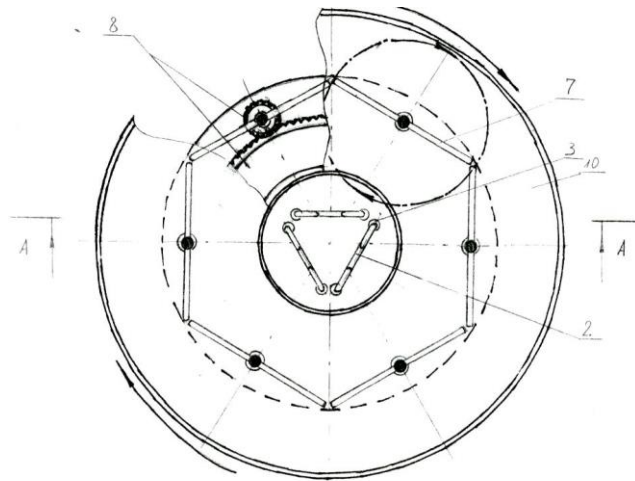


Рисунок 3.1 – Апарат для смаження харчових продуктів

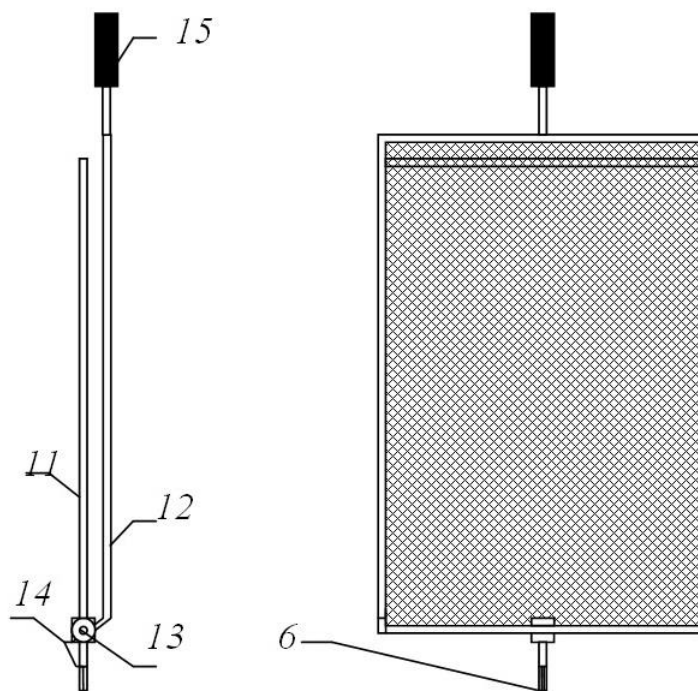


Рисунок 3.2 – Конструкція подвійної решітки-секції

Апарат для смаження харчових продуктів має корпус 1, у якому здійснюється приєднання трьох ТЕНів 2 за допомогою штуцерів 3, монтується контролююча й регулююча арматура та електродвигун 5. На корпусі за допомогою хвостовиків 6 розташовуються шість подвійних решіток-секцій 7. Обертання від електродвигуна через планетарний механізм 8 передається до верхньої частини корпусу 9 із розміщеними на ній піддоном 10 та до решіток-секцій 7. Подвійні решітки здійснюють обертання навколо ТЕНів та власних осей симетрії. Решітки-секції

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

складаються з двох плоских прямокутних решіток 11, 12, закріплених між собою шарнірними з'єднаннями 13 та зафіксованих пружинами 14. Для зручності решітки мають діелектричні термостійки рукоятки 15.

Вертикальний апарат для смаження харчових продуктів працює таким чином. За допомогою органів управління ТЕНи 2 вмикають на максимальну потужність. До решіток-секцій 7 поміщають підготовлені до смаження харчові продукти, які фіксуються між двома решітками 11, 12 за допомогою пружин 14. Після виходу на робочий режим решітки розміщують на верхній частині корпусу апарату 9 за допомогою хвостовиків 6. За необхідності вмикають режим планетарного обертання решіток-секцій. Змінюючи потужність ТЕНів доводять продукти до кулінарної готовності.

Техніко-економічні переваги апарату, що заявляється, у порівнянні з апаратами конструкцій типів «барбекю» та «саламандра», полягають у підвищенні продуктивності у середньому на 50% за рахунок збільшення площі робочої поверхні решітки апарату; зменшенні загальних енерговитрат у навколишнє середовище та на нагрів елементів конструкції за рахунок радіального розміщення робочих секцій навколо джерела ІЧ-випромінювання; подовженні строку служби ТЕНів, оскільки пропонована конструкція виключає попадання на поверхню ІЧ-випромінювачів вологи та жиру з продуктів під час обробки.

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз літературних джерел, теоретично обґрунтовано закономірності процесу обробки харчової сировини ІЧ-випромінюванням у відкритому робочому просторі та експериментально досліджено кінетику температури та маси кулінарних виробів в процесі нагрівання ІЧ-випромінюванням у відкритому робочому просторі.
2. Шляхом проведення екстремального експерименту визначені оптимальні параметри процесу теплової обробки ІЧ-випромінюванням у відкритому робочому просторі харчових продуктів тваринного і рослинного походження.
3. Виявлено вплив властивостей харчових продуктів на ведення процесу їх теплової обробки ІЧ-випромінюванням. На підставі теоретичних та експериментальних досліджень обґрунтовано вибір нових видів харчової сировини для теплової обробки ІЧ-випромінюванням.
4. Проаналізовано технічні параметри ІЧ-обладнання, що впливають на якість готової продукції. На підставі теоретичних і експериментальних досліджень розроблено рекомендації по удосконаленню технічних засобів, що використовуються для теплової обробки продуктів ІЧ-випромінюванням. З урахуванням рекомендацій розроблено конструкцію апарату для теплової обробки харчових продуктів ІЧ-випромінюванням.

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Коренець Ю.М.</i>			<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Хорольський В.П.</i>					
<i>Н.контр.</i>		<i>Омельченко О.В.</i>			ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
<i>Затверд.</i>		<i>Цвіркун Л.О.</i>					

Література

1. Грузева Т. С. Харчування різних груп населення України в сучасних умовах стратифікації суспільства. *Проблеми харчування*. Київ : Видавництво ІВО «Медицина України», 2004. № 4. С. 194–199.
2. Чорна Н. П. Стан харчування населення як базовий індикатор продовольчої безпеки України. *Інвестиції: практика та досвід*, 2013. № 8. С. 55–59.
3. Здорове харчування : збірник матеріалів для працівників системи охорони здоров'я / укл.: В.В. Брич, В.Й. Білак-Лук'янчук, Г.О. Слабкий, І.Я. Гуцол, Н.Й. Потокій. Ужгород, 2020. 64 с.
4. Стратегія продовольчої безпеки до 2030 року. URL: <https://www.me.gov.ua/Documents/Download?id=2dc0a54e-c9db-4ac0-b468-dd9b02ebf548>
5. Зубар Н. М. Теоретичні основи харчових виробництв : підруч. Київ: Видавничий дім «Кондор», 2020. 304 с.
6. Беляев М. И. Совершенствование процессов тепловой обработки. Москва: Экономика, 1975. 173 с.
7. Рогов И. А. Электрофизические методы обработки пищевых продуктов. Москва: Агропромиздат, 1988. 272 с.
8. Рогов И. А., Некрутман С. В. Сверхвысокочастотный и инфракрасный нагрев пищевых продуктов. Москва: Пищевая промышленность, 1976. 212 с.
9. Лыков А. В., Михайлов Ю. А. Теория тепло и массопереноса. Ленинград : Госэнергоиздат, 1963. 535 с.
10. Коренець Ю. М., Никифоров Р. П., Яковішена А. В. Оцінка технічного рівня і якості грилів з відкритою робочою зоною. *Обладнання та технології харчових виробництв*, 2016. Вип. 33. С. 5–18.

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Коренець Ю.М.			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Хорольський В.П.					
Н.контр.		Омельченко О.В.			ВИСНОВКИ		
Затверд.		Цвіркун Л.О.					

11. Жуков Н. Н. Исследование термической обработки некоторых мясопродуктов инфракрасным излучением : автореф. дис. канд. ... техн. наук: 05.175 / Москва, 1971. 25 с.
12. Киреева Д. Запахло жареным. *Рестораторъ*, 2004. № 1-2. С. 33–37.
13. Киреева Д. Выбираем гриль. *Рестораторъ*. 2005. № 5. С. 34–37.
14. Беляев М. И. Тепловое оборудование. Оборудование предприятий общественного питания: ученик. В 3-х т. Т. 3. Москва: Экономика, 1990. Т. 3. 559 с.
15. Устройство для жарки пищевых продуктов: А.с. 448857 СССР, МКИ А 47 J 37/04 /А.Н. Вышелесский, В.П. Кирпичников, С.В. Некрутман, В.А. Тицук (СССР). № 1845161/28-13; Заявлено 10.11.72; Оpubл. 05.11.74, Бюл. № 41. 4 с.
16. Устройство для обжаривания пищевых продуктов: А.с. 1653729, МКИ А 47 J 37/04 / И.В. Когут, А.Г. Круглов (СССР). № 4649034/13; Заявлено 13.02.89; Оpubл. 07.06.91, Бюл. № 21. 4 с.
17. Пат. 2000732 РФ, МКИ А 47 J 37/04. Электрошашлычница / А.С. Вавилов, Е.П. Ершов, В.А. Королев (РФ). № 5047147/13; Заявлено 26.03.92; Оpubл. 15.10.93, Бюл. № 37-38. 8 с.
18. Электрошашлычница: А.с. 1517931 СССР, МКИ А 47 J 37/04 / С.Ф. Квятковский (СССР). № 4325015/30-13; Заявлено 05.11.87; Оpubл. 30.10.89, Бюл. № 40. 4 с.
19. Устройство для жарки пищевых продуктов: А.с. 1237163 СССР, МКИ А 47 J 37/04 / Л.В. Островский (СССР). № 3793845/28-13; Заявлено 20.09.84; Оpubл. 15.06.86, Бюл. № 22. 4 с.
20. Устройство для обжарки пищевых продуктов: А.с. 1489700 СССР, МКИ А 47 J 37/04 / С.Ф. Квятковский (СССР). № 4211570/28-13; Заявлено 09.02.87; Оpubл. 30.06.89, Бюл. № 24. 4 с.
21. Пат. 1829926 СССР, МКИ А 47 J 37/04. Устройство для тепловой обработки продуктов / В.А. Николаев, С.Н. Храмов, В.А. Стерков, А.И. Глушков (СССР). № 4855990/13; Заявлено 01.08.90; Оpubл. 23.07.93, Бюл. № 27. 4 с.

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

22. Устройство для тепловой обработки пищевых продуктов: А.с. 603163 СССР, МКИ А 47 J 37/00 / В.П. Кирпичников, С.В. Некрутман (СССР). № 2340263/28-13; Заявлено 25.03.76; Опубл. 15.09.79, Бюл. № 18. 4 с.
23. Устройство для обжарки пищевых продуктов: А.с. 1517932 СССР, МКИ А 47 J 37/04 / С.Ф. Квятковский, А.И. Фоминцев (СССР). - № 4338301/30-13; Заявлено 16.10.87; Опубл. 30.10.89, Бюл. № 40. 4 с.
24. Устройство для жарения продуктов на вертелах.: А.с. 1554888 СССР, МКИ А 47 J 37/06 / А.К. Северин, С.Ю. Рябуха (СССР). № 4386752/30-13; Заявлено 01.03.88; Опубл. 07.04.90, Бюл. № 13. 4 с.
25. Использование ИК-излучения для тепловой обработки пищевых продуктов. *Macht Fertiggerichte attractive. Ernährungsindustrie*, 2005, № 3, С. 59.
26. Машков П. и др. Исследования и характеристики малоинерционных ИК-нагревателей, работающих при импульсном режиме (пауза-работа): Научн. тр. Сер. 3.1. Русен. унив. 2002. 39. С. 118-122.
27. Ефимова В. Искусство кулинарии – и современное оборудование. *Питание и общество*, 2006. №5. С. 24-25.
28. Дейниченко Г. В., Єфімова В. О., Постнов Г. М. Обладнання підприємств харчування: Довідник. В 3-х ч. Ч. 2. Харків: ДП Редакція «Мир Техники и Технологий», 2003. 380 с.
29. МЕТОС ВАПО-ГРИЛЬ. *Профессиональные кухни. Метос. Каталог. 2004-2005.* С. 92.
30. Если бы Volvo была печкой, она бы называлась Metos. *Рестораторь*, 2004. №11(18). С.40-43.
31. Иванов С. В., Сімахіна Г. О., Науменко Н. В. Технологія оздоровчих харчових продуктів : підручник. Київ: РВЦ НУХТ, 2015. 399 с.
32. Джураев Х. Ф. , Абдурахманов О. Р. Инфракрасная сушка плодов. *Техника и технология пищевых производств* : тез. докл. V Междунар. научн.-техн. конф., г. Могилев, 18-20 мая 2005 г. Минск : Изд. центр БГУ, 2005. С. 208-209.
33. Поперечний А. М. Тепло-, масообмінні процеси і апарати харчових виробництв : навч. посібн. Донецьк: ДонДУЕТ, 1999. 243 с.

					ДонДУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

34. Минухин Л. А. Расчеты сложных процессов тепло- и массообмена в аппаратах пищевой промышленности. Москва : Агропромиздат, 1986. 174 с.
35. Тормосов Ю. М. Геометричне моделювання та оптимізація процесу теплової променевої обробки харчових продуктів : автореф. дис... д-ра техн. наук : 05.01.01. Київ, 2004. 36 с.
36. Черевко О. І., Михайлов В. М., Лебединець І. В. Розробка комбінованого способу та апарату для теплової обробки харчових продуктів у пароповітряному середовищі. *Прогресивні технології та удосконалення процесів харчових виробництв*: Зб. наук. пр. Харків: ХДАТОХ, 2001. Ч. 2. С. 169-174.
37. Черевко О. І., Михайлов В. М., Лебединець І. В. Експериментальні дослідження теплової обробки харчових продуктів ІЧ-випромінюванням у пароповітряному середовищі. *Обладнання та технології харчових виробництв*. Донецьк: ДонДУЕТ, 2002. № 7. С. 365-372.
38. Бабкіна І. В. Удосконалення процесу теплової обробки харчових продуктів інфрачервоним випромінюванням: автореф. дис... д-ра техн. наук : 05.01.01 : 05.18.12 Харків, 2001. 19 с.
39. Черевко А. И., Михайлов В. М., Бабкина И. В. Влияние состава газовой среды на эффективность тепловой обработки пищевых продуктов. *Техника и технология пищевых производств* : тез. докл. V Междунар. научн.-техн. конф., г. Могилев, 18-20 мая 2005 г. Минск : Изд. центр БГУ, 2005. С. 224-225.
40. Черевко А. И., Михайлов В. М., Бабкина И. В., Жамкочян Э. Э. Изучение влияния газовой среды на интенсификацию тепловой обработки в поле ИК-излучения. *Актуальні науково-методичні проблеми підготовки спеціалістів вищої кваліфікації для торгівлі і харчування*: Зб. наук. праць. Харків: ХДАТОХ, 1997. Ч. 1. С. 161-163.
41. Черевко А. И., Пахомов П. Л., Михайлов В. М., Бабкина И. В. Теоретические исследования влияния газовой среды на интенсификацию тепловой обработки. *Холодильная техника и технология*, 1999. Вып. 60. С. 57-60.
42. Смагин Д. А. Исследование влияния тепловой обработки в среде перегретого

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пара на качественные характеристики мясных полуфабрикатов. *Техника и технология пищевых производств* : тез. докл. V Междунар. научн.-техн. конф., г. Могилев, 18-20 мая 2005 г. Минск : Изд. центр БГУ, 2005. С. 196–197.

43. Беляев М. И., Черевко А. И., Артеменко В. С., Паранич А. В. Тепловая обработка овощей в поле МК-излучения. *Известия вузов: Пищевая технология*, 1985. № 6. С. 49.
44. Федоров Н. Е., Рогов И. А., Жуков Н. Н., Головкин А. Е. Влияние температуры на пропускательную способность мяса и фарша для инфракрасного излучения. *Обработка мясопродуктов инфракрасным излучением*: Сб. статей. Москва, 1971. 51 с.
45. Хлебников В. И., Мулатов Н. Н. Изменение водосвязывающей способности мяса при его нагреве. *Мясная индустрия СССР*, 1984. № 2. С. 37–40.
46. Хлебников В. И. и др. Интенсификация процесса тепловой обработки мяса и мясопродуктов : обзорная информация. Москва: ЦНИИТЭИмясомолпром, 1986. 49 с.
47. Юлін О. В., Пересічний М. І., Тарасенко І. І. Теплові процеси та апарати на підприємствах громадського харчування. Київ: ІСДО, 1995. 176 с.
48. Черевко А. И. и др. Тепловая обработка овощей в поле ИК-излучения : Изв. вузов. пищ. технол., 1985. № 6. С. 49–52.
49. Митрофанов Н. С. Изменение свойств мяса кур при обработке его в поле инфракрасного излучения высокой плотности : автореф. дис... канд.. техн. наук : 05.175. Москва, 1970. 20 с.
50. Беляев М. И., Пахомов П. Л. Теоретические основы комбинированных способов тепловой обработки пищевых продуктов : монография. Харьков: Харьковский институт общественного питания, 1991. 160 с.
51. Исаченко В. П., Осипова В. А., Сукомел А. С. Теплопередача : Учебник для вузов. Москва : Энергоиздат, 1981. 416 с.
52. Крискунов Л. З. Справочник по основам инфракрасной техники. Москва : Сов. Радио, 1978. 400 с.

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

53. Адрианов В. Н. Основы радиационного и сложного теплообмена. Москва: Энергия, 1972. 463 с.
54. Збірник рецептур страв та кулінарних виробів. Київ: А.С.К., 2000. 848 с.
55. Барбекю. Пер. с англ. Москва: Издательский дом «Ниола 21-й век», 2003. 96 с.
56. Технологія м'яса та м'ясних продуктів : підручник. За ред. М. М. Клименка. Київ : Вища освіта, 2006. 640 с.
57. Лебединець І. В. Підвищення ефективності процесів та обладнання для теплової обробки харчових продуктів ІЧ-випромінюванням : дис... канд.. техн. наук : 05.18.12. Харків, 2003. 179 с.
58. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. Москва : Наука, 1976. 280 с.
59. ГОСТ 8.010-99 Державна система забезпечення єдності вимірювань. Методики виконання вимірювань. Основні положення. Київ : Держстандарт, 2002. 16 с.
60. ГОСТ 16431-70 Качество продукции. Показатели качества и методы оценки уровня качества продукции. Термины и определения.
61. Тильгнер Д. Е. Органолептический анализ пищевых продуктов. Москва: Пищепромиздат, 1962. 388 с.
62. ГОСТ 9959-91. Продукты мясные. Общие условия проведения органолептической оценки. Москва : Изд-во стандартов, 1992. 7 с.
63. Munoz A.M., Civille G.Y. & Carr B.T. (1992). Sensory evaluation in quality control. New York: Yan Nostrand Reinhold, 236 p.
64. Коренець Ю. М., Никифоров Р. П. Розробка ІЧ-апарату для смаження харчових продуктів. *Обладнання та технології харчових виробництв*, 2017. Вип. 34. С. 65–72.
65. ГОСТ 21621-83 Электрогрили, электрошашлычницы, электротостеры, электроростеры бытовые. Общие технические условия. Москва: Изд-во стандартов, 1983. 24 с.

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-21М.2022.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		