

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 переробної і харчової
промисловості»
Цвіркун Л.О.
« _____ » _____ 2024 року

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**
на здобуття ступеня вищої освіти «Бакалавр»
зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
за освітньою програмою «Обладнання переробної і харчової промисловості»

на тему: **«УДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИПКАННЯ
ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ»**

Виконав:
здобувач вищої освіти Царенко Віталій Олегович
(прізвище, ім'я, по-батькові) (підпис)

Керівник: доцент, к.п.н., Цвіркун Л.О.
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

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

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Кривий Ріг
2024

6. Список використаних джерел.

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

Обладнання для випікання хліба.

Механізм тепловіддачі у процесі випікання хліба всередині хлібопекарської печі.

Зони термічної обробки при випікання хлібобулочних виробів.

Модернізація нагрівальних елементів хлібопекарської печі.

Вплив температури води на якість тіста та підйом дріжджового хліба.

6. Дата видачі завдання «23» листопада 2023 р.

7. Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи
1	Вступ	31.01.2024-15.02.2024
2	Аналіз обладнання для випікання хліба	16.12.2024-10.03.2024
3	Удосконалення обладнання для випікання хлібобулочних виробів	11.03.2024-15.04.2024
4	Аналіз результатів досліджень	16.04.2024-30.04.2024
5	Висновки по роботі	01.05.2024-12.05.2024
6	Оформлення роботи і подання до захисту	16.05.2024-05.06.2024

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Царенко В.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Цвіркун Л.О.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Обсяг і структура бакалаврської роботи. Повний обсяг бакалаврської роботи – 50 сторінок, в тому числі основного тексту – 42 сторінки. Робота містить 18 рисунків, 6 таблиць. Список використаних джерел складається з 14 найменувань.

Об'єкт роботи – хлібопекарська піч.

Предмет роботи – процес випікання хліба.

Мета роботи – удосконалення обладнання для випікання хлібобулочних виробів.

У роботі зазначено, що хлібобулочні вироби є одними з найпопулярніших і найрізноманітніших категорій продуктів харчування. Однак, щоб досягти бажаної якості, текстури, смаку та терміну придатності цих продуктів необхідно оптимізувати теплові процеси.

На основі аналізу, було зазначено, що випікання є одним з найважливіших теплових процесів в харчовій промисловості, що залежить від передачі тепла кондукцією, конвекцією і випромінюванням. Випічка хліба – це складний процес, який включає поєднання фізичних та хімічних змін в харчових продуктах, таких як клейстеризація крохмалю, білка, виділення вуглекислого газу внаслідок додавання дріжджів, випаровування води, утворення скоринки і реакції підрум'янювання в результаті тепло- і масообміну через продукт та простір всередині печі.

Запропоновано три зони термічної обробки при випікання хлібобулочних виробів: розігріву, нагрівання, випікання. Здійснено модернізацію елементів нагрівання у хлібопекарській печі. Вважається за доцільне, замість традиційних нагрівальних елементів застосувати інфрачервоне випромінювання, що забезпечить більш рівномірний розподіл температури на деко. Під нагрівальними елементами пропонується встановити пластину з кварцового скла, щоб не відбувалося пригорання окремих ділянок сировини. У модернізованій хлібопекарській печі інфрачервоні лампи встановлені на стелі та орієнтовані до пластин для випікання. Здійснено моделювання розподілу температури в камері для випікання хліба.

Досліджено вплив температури води на якість тіста, а також на підйом дріжджового хліба. Для цього було замішані три різні тіста: одне з прохолодною водою 50°C, друге з теплою водою 120°C і третє з температурою 78°C. Температуру тіста вимірювали безконтактним термометром. Найкращі зразки тіста були отримані при застосуванні води з температурою 78°C про що свідчить тісто, яке добре піднялося та має відповідні властивості.

Оцінено якісні показники хліба отриманого під час випікання. Для цього було здійснено випікання трьох зразків хліба за однаковою температурою та часом випікання. Результати показали, що найкращими показниками якості володіє випечений зразок хліба 3 (тісто №3: температура води 78°C, температура тіста 59°C). Контроль якості є важливим фактором, оскільки необхідно контролювати та вимірювати параметри тіста до випікання.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: хлібопекарська піч, випікання, хліб, нагрівальні елементи, тепломасообмін, якість сировини.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИПІКАННЯ ХЛІБА	7
1.1 Технологія випікання хліба	7
1.2 Типи конструкцій хлібопекарських печей	11
РОЗДІЛ 2. УДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИПІКАННЯ ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ	19
2.1 Тепломасообмінні процеси під час випікання хліба	19
2.2 Зони термічної обробки при випіканні хлібобулочних виробів	24
2.3 Модернізація нагрівальних елементів хлібопекарської печі	27
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	33
3.1 Вплив температури води на якість тіста	33
3.2 Оцінка якості хліба отриманого під час випікання	36
ВИСНОВКИ	38
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	40
ДОДАТКИ	41

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Царенко</i>				Удосконалення обладнання для випікання хлібобулочних виробів	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Цвіркун</i>						5	1
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>				ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО			
<i>Затверд.</i>	<i>Цвіркун</i>							

ВСТУП

Актуальність роботи. У роботі зазначено, що хлібобулочні вироби є одними з найпопулярніших і найрізноманітніших категорій продуктів харчування. Однак, щоб досягти бажаної якості, текстури, смаку та терміну придатності цих продуктів необхідно оптимізувати теплові процеси. Випікання – спосіб виготовлення хлібобулочних виробів під час різноманітних складних хімічних та фізичних процесів, що відбуваються всередині продукту.

Мета та задачі дослідження. Метою бакалаврської роботи є удосконалення обладнання для випікання хлібобулочних виробів.

Практична та наукова новизна. На основі аналізу, було зазначено, що випікання є одним з найважливіших теплових процесів в харчовій промисловості, що залежить від передачі тепла кондукцією, конвекцією і випромінюванням. Випічка хліба – це складний процес, який включає поєднання фізичних та хімічних змін в харчових продуктах, таких як клейстеризація крохмалю, білка, виділення вуглекислого газу внаслідок додавання дріжджів, випаровування води, утворення скоринки і реакції підрум'янювання в результаті тепло- і масообміну через продукт та простір всередині печі.

Запропоновано три зони термічної обробки при випікання хлібобулочних виробів: розігріву, нагрівання, випікання. Здійснено модернізацію елементів нагрівання у хлібопекарській печі. Вважається за доцільне, замість традиційних нагрівальних елементів застосувати інфрачервоне випромінювання, що забезпечить більш рівномірний розподіл температури на деко. Під нагрівальними елементами пропонується встановити пластину з кварцового скла, щоб не відбувалося пригорання окремих ділянок сировини. У модернізованій хлібопекарській печі інфрачервоні лампи встановлені на стелі та орієнтовані до пластин для випікання. Здійснено моделювання розподілу температури в камері для випікання хліба.

Досліджено вплив температури води на якість тіста, а також на підйом дріжджового хліба. Для цього було замішані три різні тіста: одне з прохолодною водою 50°C, друге з теплою водою 120°C і третє з температурою 78°C. Температуру тіста вимірювали безконтактним термометром. Найкращі зразки тіста були отримані при застосуванні води з температурою 78°C про що свідчить тісто, яке добре піднялося та має відповідні властивості.

Оцінено якісні показники хліба отриманого під час випікання. Для цього було здійснено випікання трьох зразків хліба за однаковою температурою та часом випікання. Результати показали, що найкращими показниками якості володіє випечений зразок хліба 3 (тісто №3: температура води 78°C, температура тіста 59°C). Контроль якості є важливим фактором, оскільки необхідно контролювати та вимірювати параметри тіста до випікання.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Царенко</i>				Удосконалення обладнання для випікання хлібобулочних виробів	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушіє</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Цвіркун</i>						6	1
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>					ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
<i>Затверд.</i>	<i>Цвіркун</i>							

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИПІКАННЯ ХЛІБА

1.1 Технологія випікання хліба

Хлібобулочні вироби є одними з найпопулярніших і найрізноманітніших категорій продуктів харчування. Однак, щоб досягти бажаної якості, текстури, смаку та терміну придатності цих продуктів необхідно оптимізувати термічну обробку, яку вони проходять. Термічна обробка – це застосування тепла до харчових продуктів для зменшення мікробного навантаження, покращення сенсорних властивостей і продовження терміну зберігання.

У процесі випікання є два основних структурних явища. Перший – це перетворення напіврідкого тіста в переважно твердий виріб. Це перетворення характеризується відповідними реологічними властивостями. На зміни реологічних властивостей впливають умови випічки. Другим структурним явищем є розширення тіста в духовці поки її форма не стане остаточною. Розширення супроводжується потоками, що відбуваються між газовими комірками в тісті.

Найбільшими змінами є створення газових пор в тісті та затвердіння водної маси в середині хліба. Затвердіння частково спричинене клейстеризацією. Хліб готовий, коли м'якш досягає температури 100°C. Коли тісто піддається високій температурі під час випікання відбуваються зміни його в'язкопружних властивостей залежно від фізико-хімічних характеристик пшеничної клейковини. Нагрівання при температурах вище 60°C призводить до збільшення тіста в об'ємі та виникнення пружних властивостей. В іншому випадку зміни можуть залежати від рівня температури, яка дозволяє активувати реакції термореактивності, що утворюють внутрішньо- та міжмолекулярні ковалентні зв'язки білкової мережі.

Вуглекислий газ в основному виділяється дріжджами і частково деякими розпушувачами. Виділення вуглекислого газу дріжджами продовжується з підвищеною швидкістю протягом першого етапу випікання до руйнування дріжджів при температурі приблизно 55°C. Відповідно до закону Гей-Люссака, закритий газ розширюється, коли температура підвищується від 25°C до 70°C. При температурах нижче 55°C розширення об'єму незначне під впливом температури [1, 7]. Однак температура демонструє значний вплив на розширення об'єму після того, як температура тіста досягає 60°C. При підвищенні температури під час хлібопечення, розчинність вуглекислого газу в рідкій фазі тіста зменшується. Потім розчинений вуглекислий газ випаровується. В той же самий час тиск насиченої пари води швидко зростає і в результаті цього газові комірки в тісті розширюються. При наявності постійного тиску об'єм газу збільшується в 1,15 разу. Однак тиск залишається

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Царенко</i>				Удосконалення обладнання для випікання хлібобулочних виробів	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушіє</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Цвіркун</i>						7	12
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>				ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО			
<i>Затверд.</i>	<i>Цвіркун</i>							

постійним до тих пір, поки температура тіста досягає 50°C, тому що в'язкість тіста не впливає на його підйом в духовці до цієї температури. Якщо тиск зростає то розширення відповідно зменшується. Розширення припиняється через інактивіацію дріжджів при вищій температурі.

Колір є важливою характеристикою випічки та сприяє споживчим перевагам. У скоринці хліба чим вище температура та нижчий вміст води тим сильніше активуються реакції потемніння. Швидкість реакції потемніння залежить від активності води та температури. Активність води, яка забезпечує максимальну швидкість реакції потемніння, знаходиться в діапазоні від 0,4 до 0,6 залежно від типу харчової речовини. [1, 5]. Під час випікання хліба реакція підрум'янювання скоринки відбувається при температурах вище 110°C. Колір можна виміряти за допомогою інфрачервоної техніки. Смак є ще одним атрибутом якості, що розвивається під час процесу випікання. Датчики смаку були розроблені для використання в якості індикатору у процесах випікання та смаження.

Температура є важливим фактором якості продукту під час випікання, оскільки впливає на ферментативні процеси, об'єм, розширення, реакцію потемніння та випаровування води. Градієнт температури забезпечує градієнт тиску в продукті, градієнт тиску змушує розширення, що відбуваються в тісті від центру хліба до поверхні. В результаті такий хліб легко розламується по внутрішній стороні скоринки. Тому щоб уникнути дефектів градієнт тепла в печі повинен адаптуватися до міцності клейковини, що утворює поверхню розділу газових комірок в тісті [13]. Потрібний оптимальний рівень температури необхідно здійснювати в потрібний час. В іншому випадку якість продукції може бути зниженою. Наприклад, подача занадто високої температури на ранньому етапі випікання може призвести до раннього утворення скоринки, зморщеної буханки хліба та занадто темної скоринки. Використання занадто високої температури знизу може спричинити отвори в нижній частині батона, а потім трикутної форми.

Крім температури на якість випічки впливає швидкість потоку повітря. Недостатня однорідність продукту може бути пов'язаною з нерівномірністю повітряного потоку навколо сировини під час випікання. Збільшення швидкості повітряного потоку призводить до більшої втрати ваги, меншої м'якості та темнішої поверхні. Тому або час випікання або температуру випікання слід зменшити, щоб відбулося збільшення швидкості тепловіддачі. Але процес випічки вимагає мінімальної температури для створення відповідного кольору. Коли хліб випікається під дуже низькою температурою або дуже високою швидкістю потоку повітря може відбутися збільшення швидкості висихання на поверхні. Наприклад, у випадку мікрохвильової печі, продукт випікається при низькій температурі навколишнього середовища і короткий час. Не тільки відсутність кольору та смаку випікання, але і конденсація на поверхні продукту також є основною проблемою при випіканні продуктів в мікрохвильовій печі. Щоб подолати означені проблеми було збільшено швидкість потоку повітря [1, 13]. В результаті коефіцієнт масопередачі все ще був недостатньо високим, щоб швидко видалити суттєве накопичення вологи, зменшити вміст води на поверхні, покращити колір і розвинути смакові якості.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Якість хліба залежить не тільки від температури але і від часу випікання. Тому, щоб скоротити час випікання, збільшивши потік повітря швидкості або температури випікання, необхідно переконатися, що клейстеризація та реакція підрум'янювання завершені, інакше якість продукту може бути погіршена. Незважаючи на те, що клейстеризація крохмалю та реакція підрум'янення завершені, якість продукту, випеченого коротким і довгим часом випікання, все ще може бути зовсім іншими. Більш тривалий час випікання може призвести до того, що хліб може бути крихким та менш м'яким. Необхідно оптимізувати поєднання температури випікання та часу випікання для виробництва бажаного продукту.

При тій же самій температурі в духовці та швидкості повітряного потоку підвищення вологості повітря шляхом впорскування водяної пари в духовку або міграція водяної пари з продукту збільшує тепловий потік. Тому середня температура в духовці, що складається на 100% з водяної пари, може бути вище на 5⁰С печі, яка містить лише сухе повітря. Надлишок вологи може обмежити утворення скоринки. Тому водяну пару, зазвичай, застосовують в духовці лише на початку процесу випікання хлібобулочних виробів. З іншого боку, неправильний контроль водяної пари та керування заслінкою може призвести до надто низької вологості в камері печі. В результаті втрати при випіканні можуть збільшитися.

Процес випікання поділяється на три стадії. Перша стадія починається приблизно при 204⁰С і складається з однієї чверті загального часу випікання 26 хв. Температура зовнішньої м'якушки зростає із середньою швидкістю 4,7⁰С за хвилину до 60⁰С. Підвищення температури посилює ферментативну активність дріжджів, що призводить до підняття тіста в духовці (відчутне збільшення буханки в обсязі). Коли температура досягає 50–60⁰С більшість ферментів активні та інактивуються і дріжджі гинуть [5]. Вуглекислий газ вивільняється з розчину, що призводить до швидкого розширення буханки хліба в печі на одну третину від початкової. Крім того, поверхнева шкірка втрачає еластичність, потовщується і з'являється потемніння. На другому етапі температура повітря в печі витримується при 238⁰С протягом 13 хв. Температура підвищується зі швидкістю 5,4⁰С за хвилину до 98,4–98,9⁰С перед тим, як починає підтримуватися постійна. При цій температурі максимально протікають всі реакції, тобто випаровування, клейстеризація крохмалю та коагуляція білка.

Рум'яна скоринка може спостерігатися коли температура досягає 150-205⁰С. Випаровування органічних речовин позначається на втраті випікання. Це період також займає одну чверть загального часу випічки. Було розроблено систему моніторингу у процесі якого температуру повітря в печі контролювали термопари з тепловим екрануванням для контролю температури випікання на заданому рівні. Термопари були підключені до контролеру. Тепловий потік визначається як швидкість тепловіддачі на одиницю площі, яка необхідна для випікання від камери печі до продукту [1]. Вважається, що вимірювання теплового потоку є більш корисним методом контролю якості ніж вимірювання температури повітря хлібобулочних виробів. Було підтверджено, що наявність радіації є найважливішим режимом теплопередачі для процесу випікання високоякісного хліба, особливо в печі з природною конвекцією. Частка режимів

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

теплообміну може бути різноманітною, залежно від природи продукту та типу печі. Проте встановлено, що кондукційний режим теплопередачі має найбільше значення для випікання. Щоб виміряти загальний тепловий потік було використано датчик та дві термомпари. Показання температури від цих 2 термомпар разом з температурами тепловідвідності та навколишнього середовища були використані для розрахунку загального теплового потоку.

Розглянемо методи випікання хліба [13]:

1. Метод прямого замісу або масової ферментації. Хліб, який виготовлений за цим методом, зазвичай, виготовляється для роздрібної торгівлі. Змішування здійснюється в один етап шляхом поєднання всіх інгредієнтів в міксері. Перемішування триває до повного розвитку клейковини, доки тісто не досягне гладкої текстури. Повністю ферментоване тісто йде на поділ і механічну обробку. Метою процесу прямого замісу тіста є отримання високоякісного та стандартизовану партію хліба за дуже короткий проміжок часу.

2. Метод відкладеної солі. Вся кількість четвертої рецептури для партії береться на першому етапі самого змішування. Після першого змішування забезпечується масова ферментація протягом 2–3 годин залежно від чотирьох якостей. Після бродіння тісто перемішують повторно, під час якого в кінці замішування додається вся рецептурна сіль. Оскільки сіль знижує продуктивність дріжджів, додавання солі в кінці прискорить бродіння спочатку в безсольовому тісті та зменшить час бродіння. Потім замішане тісто витримується і далі обробляється, як зазвичай.

3. Безчасовий метод. Цей метод за своєю суттю є методом прямого замішування тіста. Замишування тіста досягається механічно за допомогою спіральних змішувачів. Тісто готують за допомогою порівняно більшої кількості дріжджів. Температура тіста підтримується помірно вищою, приблизно 28–30°C. Повністю замішане тісто має короткий час або взагалі не бродить. Потім його поділяють, округлюють, формують, витримують і випікають. Цей спосіб здебільшого використовується в надзвичайних ситуаціях, коли потрібно виготовити тісто для обробки в дуже короткий період часу. Цей метод також підходить для виробництва замороженого тіста для роздрібної торгівлі пекарнями. Після змішування тісто негайно відправляється на подальшу обробку.

4. Безперервний метод. Цей метод виробництва відноситься до системи в якій тісто виготовляється безперервно й автоматично в закритій камері. Цей процес був запроваджений в США в 1950-х роках. Безперервний хліб за таким методом створення скорочує час обробки, простір і робочу силу. Метод використовуються для великомасштабного виробництва з продуктивністю 2000–3000 кг тіста на годину.

5. Високошвидкісний метод. Метод виник у Великій Британії та широко використовується в усьому світі. Розробка тіста досягається за рахунок високої механічної енергії і хімічної дії, а не через тривалий період бродіння. Метод застосовує спеціально розроблені високошвидкісні змішувачі, які здатні завершити формування тіста за набагато коротший час змішування 3–5 хв. Спосіб передбачає додавання всіх чотирьох інгредієнтів, а також воду в міксер

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

та змішування приблизно 3 хв. Тісто має містити підвищений рівень аскорбінової кислоти та азодикарбонамід як окислювач, дріжджі та воду, а також жир з високою температурою плавлення, а також емульгатор.

1.2 Типи конструкцій хлібопекарських печей

Випікання хлібопекарської продукції здійснюється за допомогою використання печей різних типів. При цьому всі види печей мають такі загальні конструктивні елементи, як пекарська камера, пристрої для генерації тепла та його обміну, пристосування допоміжного призначення (установки для підвищення вологості в навколишньому середовищі, пристрої для завантаження сировини в піч та вивантаження сировини з печі, а також шафи для ведення вистоювання). Головна частина печі – пекарна камера [2]. Якщо пекарна камера – тупикова, то вивантаження та завантаження виробів у ній здійснюється, з однієї сторони. У печах тунельного типу для вивантаження та завантаження виробів підходять дві сторони, орієнтовані протилежним чином щодо один одного. У пекарній камері може знаходитися конвеєри, трубки пароводяного типу, елементи для електричного нагріву, пристрої для підвищення рівня вологості повітря. Пекарська камера є герметичною.

Піч в основному складається з пекарської камери та системи опалення, зазвичай, має вигляд прямокутної коробки, стінки печі зверху, з боків і знизу утеплені. Для опалення існує кілька систем генерації тепла та його постачання до печі, включаючи природний газ, пропан-бутан та електрику. Електрика чистіша і легша в обслуговуванні але вартість не економічна. Загалом на 1 кг хліба потрібно близько 340–450 кВт для завершення випічки. Додаткова енергія потрібно для нагрівання форм (приблизно 90 кВт на кг тіста).

Деякі з найпоширеніших хлібопекарських печей у малих і середніх пекарнях є багаторівневими. Вони складаються з кількох рівнів печі, які поставлені один на один. Цей тип печі має статичну атмосферу випічки з домінуючими провідністю та випромінюванням, механізмом теплопередачі. Завдяки своїй легкій конструкції ці печі займають обмежену площу, що займають, мають швидку динамічну реакцію на зміни температури, можливість напівавтоматичного та повністю автоматизованого живлення та відносно низькі експлуатаційні витрати [10]. Для того, щоб забезпечити можливість запускати різні програми на різних рівнях багатоярусної духовки ці печі можуть бути виготовлені з автономних модулів хлібопекарської печі, що підвищує гнучкість системи, але також збільшує інвестиційні витрати. Кожен компонент модульної декової печі побудований окремо, що означає, що його можна доставити через стандартний дверний отвір і встановити на місці. Гарне рішення для пекарень з обмеженим доступом, а також для тих, хто розташований на верхніх поверхах. Модульну декову піч для пекарні представлено на рисунку 1.1

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.1 – Модульна декова піч для пекарні

Модульна декова піч має низку переваг [2, 3]:

- незалежні елементи керування верхніми та нижніми елементами для створення ідеального балансу тепла;
- цільні пластини з товстою підшвою для рівномірного розподілу нижнього тепла ідеально підходять для традиційного хліба на дні духовки;
- кожна секція окремо контролюється для повної гнучкості;
- гігієнічна конструкція з нержавіючої сталі, всередині та зовні, для легкості очищення та довговічності;
- 240 програм для зберігання циклів випікання, які використовуються найчастіше;
- швидка швидкість рекуперації тепла;
- для освітлення камери випічки використовуються галогенні лампи із зовнішнім доступом;
- зменшує споживання енергії, нагріваючи лише необхідні деки;
- модульні компоненти роблять її придатною для установки в підвалах або на надземному рівні.

Подібні переваги мають також роторні печі. Деко встановлене на візку, який входить в однооб'ємну пекарську камеру ротаційної печі. Всередині духовки візок з деками може стояти на повороті, диск на дні духовки або може звисати з обертового валу у верхній частині духовки. Ротаційна піч оснащена теплообмінником, що нагріває повітря на вході пекарської камери, яка зазвичай передає теплову енергію від електричних нагрівачів або від гарячих вихлопних газів з пальника. В процесі випікання візок з деками обертається, щоб забезпечити рівномірне пропикання. Домінуючим механізмом теплопередачі є конвекція. Це призводить до посиленого висихання випічки, що робить цей тип духовки більш підходящим для невеликих виробів, таких як круасани або булочки. Основні недоліки: ця концепція печі полягає в слабкій теплопередачі на дно тіста через відсутність кондуктивного теплообміну на початку процесу, значне падіння температури пекарської камери під час заїзду візка та збільшення вимог до вільного простору перед піччю, необхідного під час

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

завантаження печі. Ротаційна піч з 16 лотками представлена на рисунку 1.2, технічні характеристики наведено у таблиці 1.1.



Рисунок 1.2. – Ротаційна піч з 16 лотками

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики

Модель	Тип	Потужність, кВт	Комплектація	Розмір, мм	Напруга
СТ-16Д	Електрична	22,8	16 лотків	1490x2350x2450	380 В/50 Гц
СТ-16С	Дизель	2,5	16 лотків	1490x2350x2450	380 В/50 Гц
СТ-16К	Газ	2,5	16 лотків	1490x2350x2450	380 В/50 Гц

Ротаційна піч має низку переваг [2, 3]:

- конструкція з нержавіючої сталі;
- діапазон температур: кімнатна температура 300⁰С;
- дві стійки для візків, розмір лотка: 400x600 мм;
- розумна конструкція циркуляції гарячого повітря забезпечує рівномірність випікання (конструкція з 3 виходами гарячого повітря);
- регульований вихід гарячого повітря;
- обертальний нагрів на 360 градусів, рівномірний нагрів;
- ущільнювальна стрічка стійка до високих температур;
- інтелектуальне управління: автоматична сигналізація, пристрій автоматичного регулювання температури, цифровий індикатор підтримує температуру в духовці.

Електрична духовка працює за принципом електричного опору. Завдяки опору до протікання струму, нагрівальний елемент нагрівся, а індикатор напруги світиться зеленим світлом, що підтверджує наявність струму. Коли перемикач увімкнено, індикатор світиться червоним, вказуючи, що піч працює. Нагрівальний елемент виділяє тепло, яке виділяється в духовці за допомогою плати. Більше тепла передається тісту в основному шляхом теплопровідності,

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

оскільки харчова речовина знаходиться в прямому контакті. Щоб запобігти надлишковому теплу та пересмаженню або підгорянню, термостат регулює подачу струму на нагрівальний елемент. Основним принципом роботи електродуховки є процес теплопередачі. Перенесення тепла через провідність, конвекцію та випромінювання, як правило, відбувається щоразу, коли є різниця температур. Електрична духовка представлена на рисунку 1.3, технічні характеристики наведено у таблиці 1.2.



Рисунок 1.3 – 3-палубна електрична духовка

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики

Модель	Напруга	Потужність, кВт	Комплектація	Розмір, мм	Вага, кг
STD-3-6DB	380 В/50 Гц	19,8	3 палуби, 6 лотків	1685x820x1450	160
STD-3-9DB	380 В/50 Гц	24	3 палуби, 9 лотків	1685x820x1450	225

Електрична духовка має низку переваг [2, 3]:

- міцний залізний матеріал з чорним фарбувальним покриттям;
- велика ємність площі випічки;
- удосконалені нагрівальні трубки далекого інфрачервоного діапазону для швидкого та рівномірного нагрівання їжі;
- подвійне керування нижньою та верхньою частинами, тепло регулюється окремо;
- безпечний пристрій захисту від перегріву, більш безпечний і надійний;
- вбудований датчик температури, постійна температура автоматично контролюється. Точний контроль температури для запобігання різниці температур;
- вбудоване освітлення, стійкість до високих температур і вибухозахищеність, опановують умови випічки в будь-який час;
- візуальна конструкція вікна з подвійним склом, запобігає виходу тепла назовні;
- оснащений високоякісним теплоізоляційним шаром зі скловолокна товщиною 8 см, ефективно економить енергію.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Конвекційні пічі застосовуються для великих виробничих потужностей. Цей тип печі має стаціонарні решітки з нагрівальними плитами, які зазвичай нагріваються термальною олією. Шматки тіста вставляються на перфоровані пластини приблизно на 5 мм вище поверхні нагрівальних пластин за допомогою напівавтоматизованої системи лотків [10]. Концепція забезпечує високий рівень автоматизації процесу. Крім того, всі три механізми теплопередачі відбуваються під час процесу випічки. Провідність і випромінювання виникають від нагрівальних плит і конвенції від навколишнього повітря. Деякі з недоліків духовки цього типу: відсутність гнучкості для випікання різних продуктів і в водночас значна потреба у додатковому просторі перед піччю для системи подачі, слабка тепловіддача на дно тіста або неоптимальні характеристики випікання щодо процесу випікання хліба. Конвекційна піч представлена на рисунку 1.4, технічні характеристики наведено у таблиці 1.3.



Рисунок 1.4 – Конвекційна піч

Таблиця 1.3 – Технічні характеристики

Модель	Тип	Потужність, кВт	Комплектація	Розмір, мм	Напруга
STC-5Q	Газ	0,5	5 лотків	1160x900x810	220 В/50 Гц
STC-10Q	Газ	0,5	10 лотків	1160x900x1310	220 В/50 Гц

Конвекційна піч має низку переваг [2, 3]:

– оснащена поворотним нагрівальним вентилятором, системою циркуляції гарячого повітря, завдяки чому температура залишається рівномірною;

– автоматична система контролю температури, яка робить середовище випікання найкращим;

- за допомогою функції подачі пари підтримується вологість для кращого смаку їжі;
- оснащена якісним товстим теплоізоляційним шаром;
- подвійне загартоване скло з теплоізоляційними характеристиками та стійкістю до високих температур;
- вбудоване освітлення, стійкість до високих температур і вибухозахищеність.

У пекарнях з найвищими вимогами до виробничої потужності найчастіше використовують тунельну хлібопекарську піч. Ці печі оснащені транспортною смугою, яка переміщує випічку від входу до випуску тунельної печі. Довжина промислової тунельної печі зазвичай становить до 25 м. Всередині духовки термоуправління енергією забезпечує різні зони по всій довжині духовки з індивідуальним регулювання температури і вологості залежно від типу випічки та обраної програми випікання. Тунельна піч представлена на рисунку 1.5.



Рисунок 1.5 – Тунельна піч

Головною перевагою цієї концепції є повністю автоматизований процес, який підходить для найвищих навантажень виробничих потужностей. З іншого боку, тунельні хлібопекарські печі займають значне місце простору та потребують відносно тривалого часу, щоб налаштувати програму випікання для іншого типу кондитерських виробів, що зменшує їх виробничу гнучкість.

Мікрохвильові печі заощаджують енергію та час випікання. Однак, випікання в мікрохвильовій печі продуктів ще не має повністю прийнятним споживачами. Мікрохвильова піч швидко підвищує температуру продукту за рахунок посилення руху молекул води. Тому температура навколишнього середовища в мікрохвильовій печі низька. В результаті всі процеси на поверхні тіста можуть не завершитися [1]. Короткий час випікання може спричинити неповну желатинізацію крохмалю та розвиток смаку. Були здійснені спроби модифікувати традиційну мікрохвильову піч поєднавши її з природними та примусовими режимами конвекції. У результаті встановлено, що коефіцієнт масопередачі та однорідність коефіцієнта теплопередачі на поверхні їжі може бути значно збільшеним.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Інфрачервоні печі випромінюють енергію в навколишнє середовище. Енергія або випромінювання випромінюється у вигляді електромагнітних хвиль, які поширюються зі швидкістю світла. Хвилі можуть проходити через вакуум або інше середовище. При зіткненні з об'єктом вони частково поглинаються, а частково відбиваються. Інфрачервоне випромінювання знаходиться в смузі довжин хвиль 0,7 – 300 мкм (над видимим світлом). Більш високі температури призводять до більш коротких довжин хвиль. Типова довжина хвилі в печі з непрямим випромінюванням становить близько 4,6 – 6,4 мкм, що забезпечує гарне проникнення тепла в заготовки тіста.

Переваги та недоліки найпоширеніших типів печей наведено в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Переваги та недоліки найпоширеніших типів печей

Тип духовка	Основні переваги	Основні недоліки
Модульні печі	Обмежена потреба в просторі. Швидкі динамічні реакції на зміни температури. Можливість напівавтоматичної та повністю автоматизованої подачі. Низькі експлуатаційні витрати.	Індивідуальні камери для випікання випікаються в одному режимі. Тимчасово невикористовувані ділянки печі, якщо піч завантажена не повністю.
Роторні печі	Обмежена потреба в просторі. Швидкі динамічні реакції на зміну температури. Можливість напівавтоматичної та повністю автоматизованої подачі. Низькі експлуатаційні витрати.	Конвекційна випічка. Значне зниження температури біля дверного отвору. Слабка тепловіддача до низу випічки. Неоптимальний режим для випічки хліба.
Конвекційні печі	Високий рівень автоматизації процесів. Всі три механізми теплопередачі відбувається під час процесу випічки. Однорідна температура всередині пекарської камери. Збільшення виробничих потужностей за рахунок додавання додаткових духових модулів.	Неоптимальні для випічки різних продуктів одночасно. Необхідність додаткового простору перед піччю для системи. Відносно слабка тепловіддача в дні тіста. Неоптимальні хлібопекарські характеристики для випічка хліба.

Тунельні печі	Підходять для найвищих навантажень виробничих потужностей. Регульовані рівні тепла та вологості в окремих зонах уздовж довжини печі. Підходять для повністю автоматизованих процесів.	Значні потреби в просторі. Відносно довгий час запуску/попереднього нагріву. Тривалий час адаптації до зміни у типі продукту. Не підходять для малого та середнього розміру пекарні.
---------------	---	---

На основі вище зазначеного можна вважати, що хлібобулочні вироби є одними з найпопулярніших і найрізноманітніших категорій продуктів харчування. Однак, щоб досягти бажаної якості, текстури, смаку та терміну придатності цих продуктів, необхідно оптимізувати термічну обробку, яку вони проходять. Термічна обробка – це застосування тепла до харчових продуктів для зменшення мікробного навантаження, покращення сенсорних властивостей і продовження терміну зберігання.

Випікання є одним з важливих теплових процесів в харчовій промисловості та залежить від передачі тепла кондукцією, конвекцією і випромінюванням. Традиційне нагрівання здійснюється або за рахунок спалювання палива або за допомогою електричного джерела. Тепло передається ззовні на поверхню їжі за допомогою конвекції та кондукції, а температура поверхні їжі збільшується ще більше, доки тепло не досягне через провідність у їжу. При більшому підвищенні температури це викликає фізико-хімічні зміни нагрітої речовини. Розглянуто переваги та недоліки найпоширенішого обладнання для випікання хліба, а саме модульні, конвекційні, роторні та тунельні пічі. Наприклад, у звичайній духовці використовується гаряче повітря і вона підходить для більшості хлібобулочних виробів, але може спричинити нерівномірне нагрівання та висихання. Випікання в мікрохвильовій печі використовує електромагнітні хвилі та підходить для дрібних і вологих виробів, але може призвести до поганого утворення скоринки. Інфрачервоне випікання використовує випромінюване тепло і корисно для тонких і плоских виробів, але може призвести до підгорання поверхні та втрати вологи. Гібридна випічка поєднує в собі два або більше механізмів теплопередачі, що дозволяє краще контролювати параметри, якість продукту та споживання енергії.

Контроль якості є важливим фактором, оскільки необхідно контролювати та вимірювати параметри якості продукту після процесу випікання. Колір та смак є важливою характеристикою випічки та сприяє споживчим перевагам. Удосконалення методів випікання хліба та розробка рецептури також є складним завданням, оскільки потрібно розробити та випробувати нові або вдосконалені хлібобулочні вироби, які витримують термічну обробку та відповідають уподобанням споживачів.

РОЗДІЛ 2 УДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИПІКАННЯ ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ

2.1 Тепломасообмінні процеси під час випікання хліба

Випічка – це спосіб виготовлення хлібобулочних виробів під час різноманітних складних хімічних та фізичних процесів, що відбуваються всередині продукту. Механізм випікання хліба є складним процесом при якому в продуктах відбувається ланцюжок фізичних, хімічних і біохімічних змін. Ці зміни є результатом одночасного тепло- та масообміну у сировині. Під час випікання хліба в тісті перенесення тепла та води відбувається, головним чином, через поєднання провідності до тіста, конвекції від навколишнього гарячого повітря, випромінювання від стін духовки до поверхонь продукту, а також випаровування води та конденсації парів в газових камерах тіста [8, 5, 6]. Оскільки тісто є поганим провідником тепла, що обмежує передачу тепла через провідність, механізми дифузії пари та води відіграють дуже важливу роль у процесі. На рисунку 2.1 розглянуто механізм тепловіддачі у процесі випікання хліба всередині хлібопекарської печі.

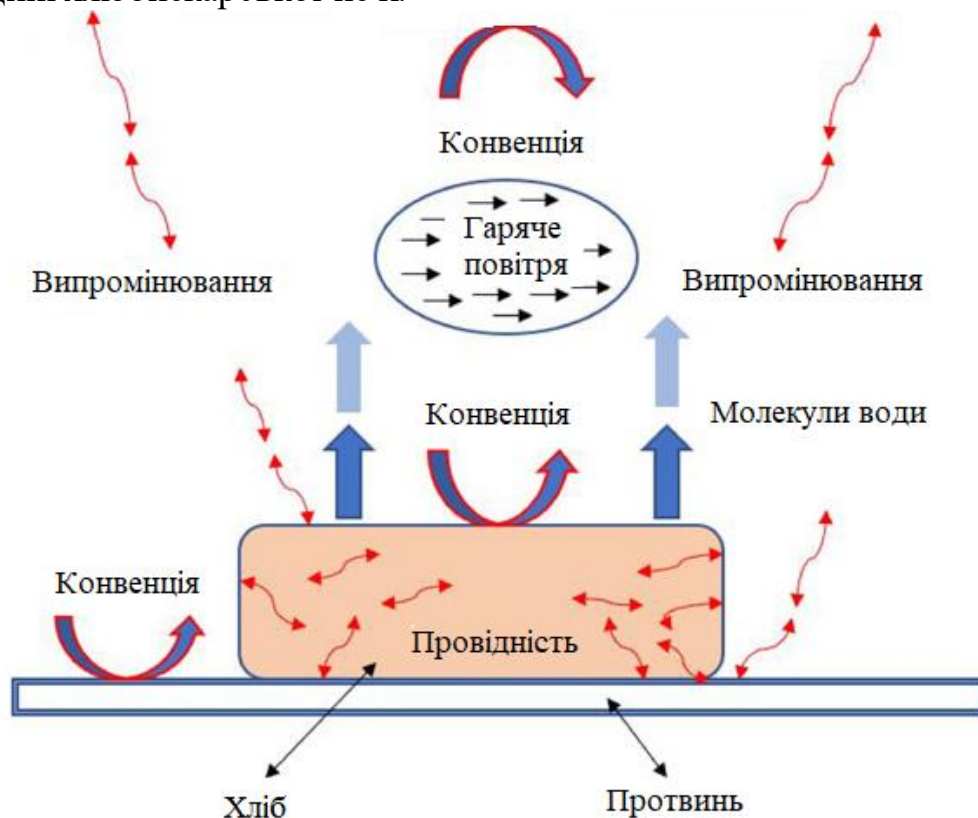


Рисунок 2.1 – Механізм тепловіддачі у процесі випікання хліба всередині хлібопекарської печі [14]

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Царенко				Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Цвіркун					19	14
Н. Контр.	Омельченко				ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
Затверд.	Цвіркун						
Удосконалення обладнання для випікання хлібобулочних виробів							

Тепло переноситься випромінюванням від стінок печі до поверхні продукту шляхом конвекції від нагрівальних середовищ (гаряче повітря та волога) і шляхом теплопровідності від поверхні носія до геометричного центру виробу. При цьому волога розсіюється назовні до поверхні виробу.

Хлібовипікання є дуже складною агрегатною операцією в якій реалізуються численні фізико-хімічні зміни. Це відбувається як наслідок теплопередачі (випромінювання, конвекція та провідність) і масопередачі (вода, пароповітряний рух у печі, випаровування води всередині продукту та іноді утворення води під час спалювання газу). Випічка здійснюється не тільки для того, щоб підняти температури продукту, а також для індукції деяких біохімічних реакцій інгредієнтів. Під час підвищення температури одні реакції бажані, а деякі викликані. Всі ці реакції роблять хлібобулочні вироби більш приємними на смак і легко засвоюваними. Випічка також структурує виріб і дозволяє проявити бажаний смак і колір. Під час прямого нагрівання випічка інактивує ферменти і різні мікроорганізми. Під дією тепла випікання генеруватиме значне зниження вмісту води в продукті. Обидва явища призведуть до помітного збільшення терміну зберігання продукту. Також можливі небажані перетворення, такі як надмірне потемніння, деградація пігментів і вітамінів.

Нагрівання хліба при випічці здійснюється конвекційним, кондукційним і радіаційним механізмами. Верхня поверхня хліба нагрівається переважно випромінюванням і лише незначна частина тепла передається конвекцією (менше 10%) [5, 6]. Нижню поверхню хліба можна нагріти за допомогою того ж механізму або за допомогою кондукції коли хліб кладуть на металеве блюдо. Розглянемо зразок хліба діаметром 200 мм і висотою 70 мм, розміщений на металевому посуді в печі (рис. 2.2). Верхня поверхня зразка піддається теплообміну шляхом випромінювання та природної конвекції. Нижня поверхня зразка піддається тільки теплообміну кондукцією, оскільки він розміщений на металевому посуді.

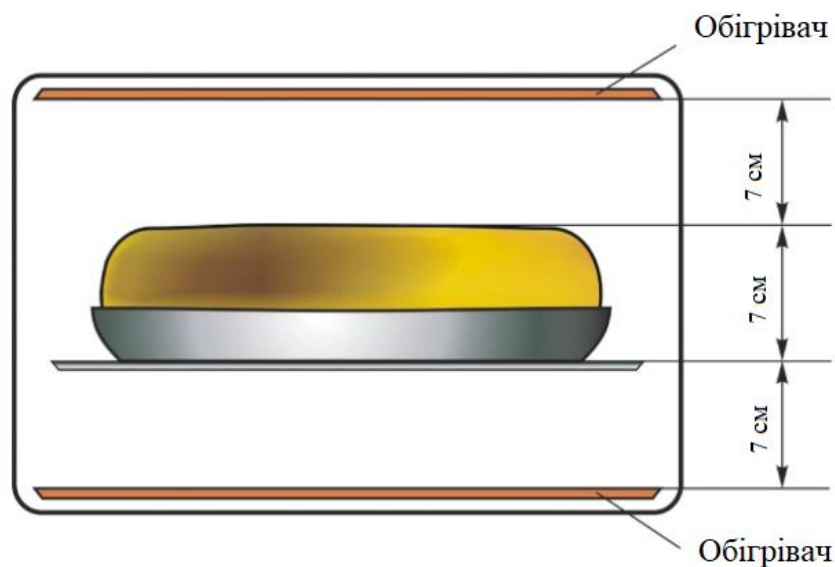


Рисунок 2.2 – Схема обладнання для випікання хліба [5]

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Для вивчення механізму тепловіддачі у процесі випікання хліба всередині хлібопекарської печі було проведено численні дослідження режимів тепловіддачі [7, 8]. Більшість досліджень виявили, що радіація (випромінювання) була переважаючим способом теплообміну для частки, що коливалася в межах 50% і 80% по відношенню до загальної тепловіддачі. Випромінювання – це передача енергії електромагнітними хвилями довжиною від 0 до нескінченності. Променева енергія подорожує безперервно, поки вона не вдариться об поверхню де вона поглинається, відбивається або передається. Променева енергія передається через електромагнітні хвилі, а потім вивільняється, впливаючи на контактну поверхню, перетворюючись на тепло.

Випромінювання – це обмін енергією між двома поверхнями при двох різних температурах без контакту та середовища передачі шляхом випромінювання, відбиття та поглинання теплового випромінювання. Інфрачервона енергія подається під час випікання та смаження від газових пальників або електричних елементів, а також від стінок духовок. Інфрачервона енергія випромінюється всіма гарячими предметами. Випромінювання віддає енергію для нагрівання матеріалів коли вона поглинається. Швидкість теплопередачі залежатиме від:

- температури поверхні матеріалів, що нагрівають і приймають;
- властивості поверхні двох матеріалів;
- форми випромінюючого і приймаючого тіл.

Кількість тепла, що виділяється ідеальним радіатором (чорним тілом), розраховується за допомогою системи Стефана-Больцмана [7]:

$$Q_r = \sigma AT^4$$

де σ – стала Стефана–Больцмана,
 A – площа.

Променисті обігрівачі є не ідеальними. Для врахування цього використовується поняття сірих тіл і рівняння змінюється відповідно [7]:

$$Q_r = \varepsilon \sigma AT^4$$

де ε – коефіцієнт випромінювання сірого тіла (шкала від 0 до 1). Для більшості харчових продуктів коефіцієнт випромінювання дорівнює коефіцієнту поглинання.

Чиста теплопередача випромінюванням до об'єкта визначається [7]:

$$Q_r = \varepsilon \sigma A(T_1^4 - T_2^4)$$

де T_1 – температура поверхні випромінюючого тіла;
 T_2 – температура зразка їжі.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При використанні цього відношення, необхідно вважати, що площа поверхні продукту є незначною порівняно з площею стін; вологе повітря є прозорим для радіації; поверхня та стінка продукту мають «ідеальні» оптичні властивості (поглинаючі та випромінюючі властивості не залежні від довжини хвилі та напрямку випромінювання); обмін на енергію впливають відповідні розміри випромінюючих поверхонь та їх відносне положення.

Конвекційний теплообмін є результатом руху молекул або частинок градієнтами щільності, які створені різницею температур або примусовим рухом частинок зовнішніми засобами, такими як вентилятор [7]. Примусова циркуляція повітря за допомогою вентиляторів, як і в пекарських камерах, приклад вимушеної конвекції, де встановлюється турбулентність, щоб сприяти швидшому обміну нагрівання. Конвекція регулюється законом Ньютона, який стверджує, що швидкість конвективного теплообміну пропорційна площі поверхні теплообміну і різницею температур між поверхнею і рідиною [13]:

$$Q_{cv} = hA(T_s - T)$$

де Q_{cv} – тепловіддача конвекцією;

h – коефіцієнт тепловіддачі;

T_s – температура поверхні продукту;

T – температура масової рідини.

Характеристики нагрівання конвекцією можуть сильно відрізнятися в системах з примусовою конвекцією та в системах з природною конвекцією. Тепло перенесення шляхом природної або вільної конвекції (включаючи рух у рідині) обумовлено різницею в щільності та дією сили тяжіння, що викликає природну циркуляцію та передачу тепла. Коли немає примусової швидкості рідини, тепло передається повністю природною конвекцією. В таких часто доводиться враховувати також вплив радіації. Теплопередача шляхом вимушеної конвекції виникає з рухомою рідиною і твердою поверхнею. Важливими є чотири змінні: в'язкість, щільність, швидкість і діаметр для характеристики потоку незалежно від розмірів. Представлено результуюче безрозмірне число символом Re [7]:

$$Re = \frac{Lv\rho}{\mu}$$

З метою визначення коефіцієнта тепловіддачі при вимушеній конвекції системи можна використовувати кореляції Нуссельта-Рейнольдса. Замість Рейнольда (Re) число Грасгофа (Gr) використовується для задач природної конвекції. Тепло перенесення через повітря менше, ніж через рідини.

Число Нуссельта $Nu = \frac{hL}{k}$

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Число Прандтля $Pr = \frac{C_p \mu}{k}$

Номер Грасгофа $Gr = \frac{L^3 \rho^2 g \beta \Delta T}{\mu^2}$

Коли використовується повітря і більш високі показники теплопередачі досягаються рухомим повітрям потрібні більші теплообмінники. Конденсація пари забезпечує вищу тепловіддачу, ніж гаряча вода. Наявність повітря в парі знижує швидкість тепловіддачі. Зокрема, у випічці існує три загальні рівняння для розрахунку коефіцієнту теплопередачі [7]. Кондуктивний теплообмін відбувається в твердих тілах і передається безпосередньо через молекули. Швидкість теплопровідності визначається різницею температур між їжею та середовищем нагрівання/охолодження та загальним опором теплопередачі. Закон теплопровідності Фур'є стверджує, що швидкість передачі тепла через однорідний матеріал прямо пропорційна площі тепла перенесення та градієнту температури з посиленням на товщину в напрямку теплопередачі [13]:

$$\frac{dQ_c}{dt} = -kA \frac{dT}{dx}$$

де dQ_c/dt – швидкість теплопередачі,

A – площа теплопередачі,

dT/dx – температурний градієнт по одиниці товщини,

k – константа пропорційності (теплопровідність).

Від'ємний знак міститься в правій частині, оскільки dT/dx є негативним (температура знижується зі збільшенням товщини). Якщо температура в певній точці продукту під час обробки залежить від часу нагрівання або охолодження та положення в їжі, нестационарний стан переважає умови проведення. Температура змінюється з часом і напрямками у рівняннях, які є більш складними. Основне диференціальне рівняння в частинних похідних для нестационарного кондуктивного нагрівання за участю тривимірного тіла визначається як [13]:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left[\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right) + \left(\frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + \left(\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \right]$$

Температура продукту рівномірна на початку нагрівання, температура поверхні тривимірного тіла становить постійним після початку нагрівання та коефіцієнт температуропровідності продукту α постійний з часом, температурою та положенням тіла.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2 Зони термічної обробки при випіканні хлібобулочних виробів

Процес випікання – це етап на якому знаходиться заготовка сирого тіста, яке перетворюється на консистенцію м'якушки та скоринки під впливом тепла. Найбільш очевидними змінами в цей період є збільшення об'єму, утворення скоринки, інактивація дріжджів та ферментів, коагуляція білків, часткова клейстеризація крохмалю і втрата вологи [1]. Контроль процесу випікання впливає на параметри якості кінцевого продукту до яких належать: швидкість і кількість тепла, рівень вологості у випічці, температура та час випікання. Температура та вміст рідини є домінуючими чинниками у процесі випікання. Зміна температури різних шарів тістозаготівлі, в процесі її випічки, обумовлює перебіг у цих шарах тепломасообмінних процесів, що призводять до утворення готового виробу.

Вивчення зміни температури різних шарів випікання привертає увагу науковців і знайшло відображення у багатьох роботах [1, 3, 9]. Механізм процесу випікання та зміни температури окремих шарів тістозаготівлі подано на графіку (рис. 2.3). Криві цього графіка наочно свідчать, що температурне поле тістозаготівлі, у процесі її випікання, безперервно змінюється, що свідчить про неусталений режим процесу прогріву та безперервну зміну розмірів виробу на початку випікання.

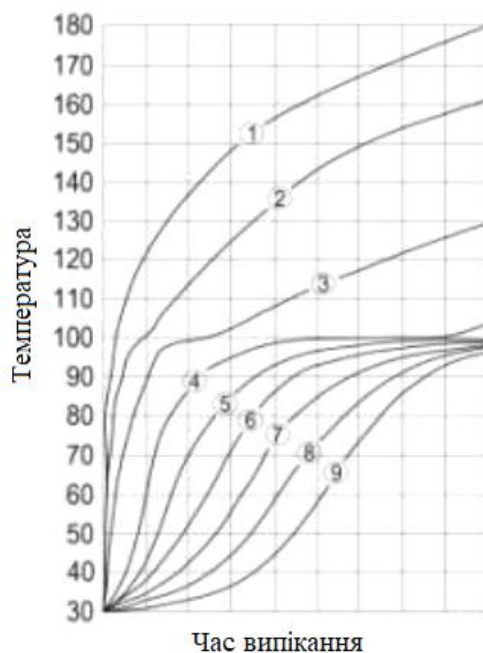


Рисунок 2.3 – Розподіл температури в шарах тістозаготівлі у процесі випікання [13]

На рисунку 2.3 зображено: 1 – крива температури поверхні хліба; 2 – крива температури шару віддаленого на 0,25 товщини кірки від поверхні хліба; 3 – крива температури шару віддаленого на 0,5 товщини кірки від поверхні хліба; 4 – крива температури шару віддаленого на 0,75 товщини кірки від поверхні; 5 – крива температури шару між кіркою та м'якушем; 6 – крива температури шару відстань на 0,75 відстані до центру; 7 – крива температури

шару віддаленого на 0,5 відстань до центру; 8 – крива температури шару віддаленого на 0,25 відстані до центру; 9 – крива температури шару, що проходить через центр м'якуша.

Аналіз передбачуваного розподілу температур за товщиною тістозаготівлі призводить до таких висновків [3, 5, 9]:

1. Нагрів всіх шарів м'якушки становить менше 100°C в ході всіх без винятку стадій випічки. Тільки з наближенням процесу випічки до завершення в центрі м'якуша досягається температура, наближена до 100°C градусів.

2. Нагрівання зовнішніх частин тістозаготівлі відбувається за температурою більшою за 100°C (у деяких випадках вона може доходити до 180°C). Хлібна скоринка має кілька шарів, температура яких є різною: ступінь нагрівання зменшується при русі від зовнішньої кірки до внутрішньої її частини, що безпосередньо контактує з м'якушем. Характерним для температурних кривих (2, 3 та 4) різних шарів кірки є відома «затримка» кривої на рівні 100°C.

3. Нагрів шару, який знаходиться між хлібною скоринкою та м'якушем, наближається до 100°C в міру завершення процесу випічки.

4. У міру випікання різниця у нагріванні різних частин скоринки поступово збільшується, досягаючи максимальних значень на момент завершення процесу випікання.

5. У міру випікання різниця в нагріванні різних частин м'якуші спочатку зростає, приймаючи максимальні значення приблизно після завершення 50% процесу випічки, а потім вона починає зменшуватися, практично зникаючи на момент виготовлення хліба.

Температура – один із найважливіших чинників, що впливає на перебіг процесу випікання хліба та якість готового продукту. Тісто перетворюється на м'якуш не миттєво. У міру збільшення тривалості температурного впливу все більша частина тіста стає м'якушем, а межа між м'якушем і тістом зрушується в центральну частину. Якщо завершити процес випікання хліба на середині та спробувати вжити напівфабрикат в їжу, то можна зіткнутися з тим, що в середині заготівлі ще залишилося тісто, що не стало м'якушем.

Границя, що відокремлює тісто від м'якішу, знаходиться в тому місці, де температура нагріву становить 69°C. Відповідно, при збільшенні ступеня нагріву консистенція тіста спочатку падає, приймаючи мінімальні значення біля температурної позначки 57°C [3, 5, 9]. При переході цієї позначки та подальшому нагріві тіста його конституція зазнає значних змін, які обумовлені насамперед тим, що відбувається клейстеризація крохмалю. Крім того, вплив на консистенцію тіста виявляє і білкова коагуляція. Коли тісто для виготовлення хліба прогривається лише до 64°C формування сировини належної якості неможливо. Якщо зупинити технологічний процес при досягненні температурної позначки в 69°C, то м'якуш буде замінятися навіть у разі легких впливів. Крім того, через підвищену концентрацію у ньому вологи м'якуш буде сируватим, прогрівання тіста до 69°C ще не забезпечує утворення м'якішу цілком нормальної якості. Причиною негативних явищ, описаних вище, є те, що завершення клейстеризації крохмалю відбувається лише при наближенні до

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

температурним відміткам 100°C. Таким чином, необхідні умови для виробництва хліба, м'якуш якого еластичний і достатньо сухий є нагрівання тістозаготівлі до температури 96°C чи більше.

У процесі випікання відбувається багато фізико-хімічних змін у випічці, що вимагає визначення основних зон у процесі випікання. На рисунку 2.4 представлено графік на якому пропонується три основні зони, які проходить тістозаготовка у печі для випікання:

1. Зона розігріву: температура – один із найважливіших чинників, що впливає на перебіг процесу випікання хліба та якість готового продукту. Тісто перетворюється на м'якуш не миттєво. У міру збільшення тривалості температурного впливу все більша частина тіста стає м'якушем, а межа між м'якушем і тістом зрушується в центральну частину.

2. Зона нагрівання (критичні зміни в тісті): тісто та його конституція зазнає значних змін у цій зоні, які обумовлені насамперед тим, що відбувається клейстеризація крохмалю. Текстура та вміст вологи залежать від цього критичного періоду. Чим довше продукт перебуває в цій зоні нагрівання тим більше вологи він втрачає, зміцнюючи продукт.

3. Зона випікання: необхідні умови для виробництва хліба, м'якуш якого еластичний і достатньо сухий є нагрівання тістозаготівлі до температури 96°C чи більше. Це температура за якої всі ділянки тіста досягають твердого стану.

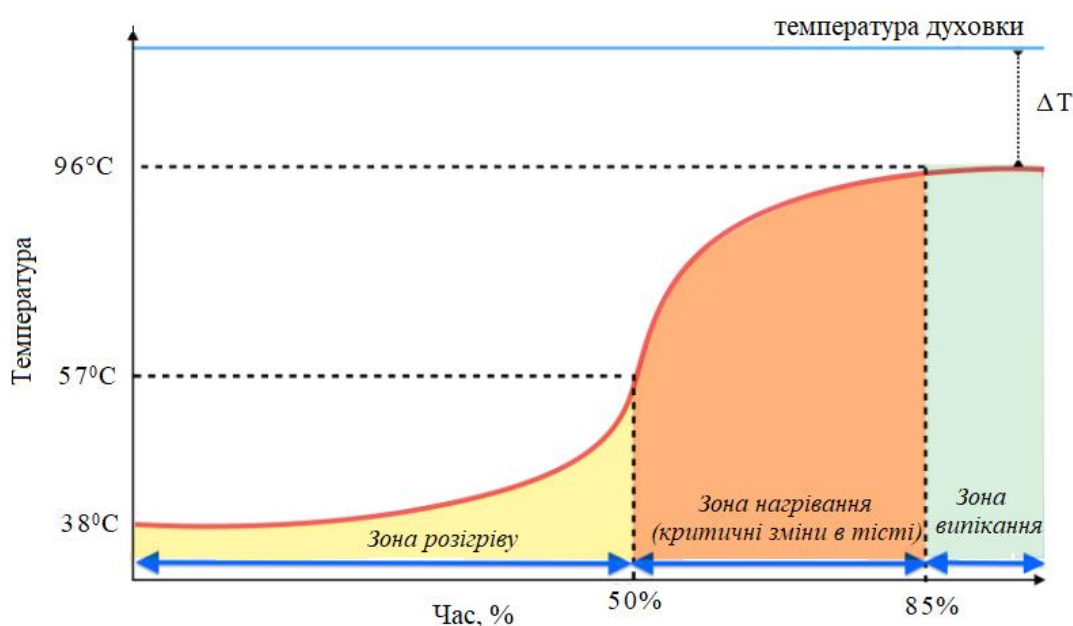


Рисунок 2.4 – Зони термічної обробки при випіканні хлібобулочних виробів

На основі вище зазначеного можна вважати, що на процес випічки впливає кілька факторів, наприклад тип і склад інгредієнтів, розмір і форма виробу, температура і вологість духовки, а також час і швидкість нагрівання. Ці фактори впливають на фізичні, хімічні та біологічні зміни, які відбуваються в продукті під час нагрівання (втрата вологи, інактивация мікробів). Щоб оптимізувати процес випікання необхідно враховувати ці чинники та регулювати їх відповідно до конкретного продукту та вимог до якості.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

2.3 Модернізація нагрівальних елементів хлібопекарської печі

Харчова промисловість входить до десятки найбільш енергоємних галузей промисловості. Її щорічні потреби в енергії постійно зростають. У харчовій промисловості хлібопекарські підприємства є одними з найбільших споживачів енергії через потреби в енергії хлібопекарських печей на які припадає більше половини загальної енергії, необхідної в цілому на процес виробництва [10]. Пекарська піч – ключовий елемент кожної пекарні, безпосередньо впливає на енергоефективність самого процесу виробництва, а також на якість та вартість кінцевого продукту.

Нагрівання є одним з важливих теплових процесів в харчовій промисловості та залежить від передачі тепла кондукцією, конвекцією і випромінюванням. Традиційне нагрівання здійснюється або за рахунок спалювання палива або за допомогою електричного джерела. Тепло передається ззовні на поверхню їжі за допомогою конвекції та кондукції, а температура поверхні їжі збільшується ще більше, доки тепло не досягне через провідність у їжу. При більшому підвищенні температури це викликає фізико-хімічні зміни нагрітої речовини.

Випічка хліба – це складний процес, який включає поєднання фізичних, хімічних і біохімічних змін в харчових продуктах, таких як клейстеризація крохмалю, денатурація білка, виділення вуглекислого газу внаслідок додавання дріжджів, випаровування води, утворення скоринки для випічки і реакції підрум'янювання в результаті тепло- і масообміну через продукт та простір всередині печі. Традиційно класифікують хліб на чотири фази: хрусткий білий хліб, передача тепла зсередини скоринці, варіння або клейстеризація і підрум'янювання. Альтернативною технологією традиційного хліба є короткохвильовий інфрачервоний нагрів. Зразки хліба випечені за допомогою різних методів, а саме конвенції, інфрачервоного випромінювання та кондукції наведено на рисунку 2.5. Очевидно, що хліб випечений за допомогою інфрачервоного випромінювання має кращі показники якості.

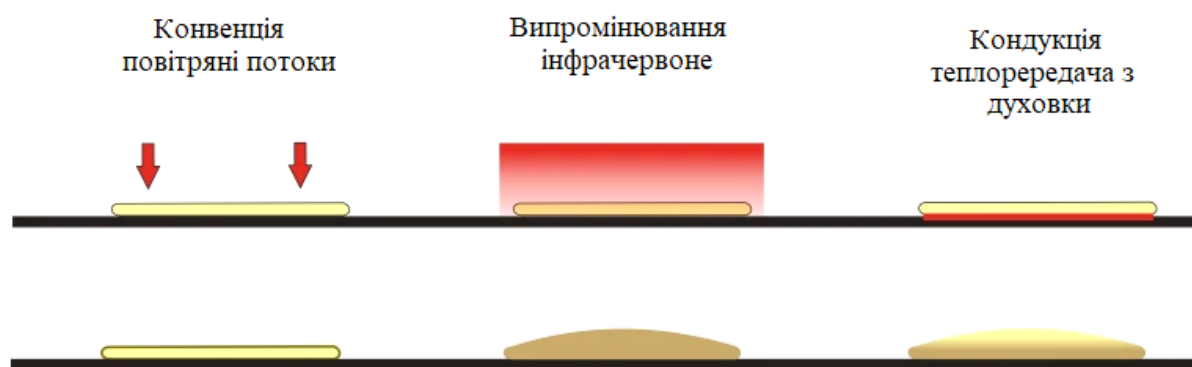


Рисунок 2.5 – Зразки хліба випечені за допомогою різних методів [11]

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Двома традиційними джерелами інфрачервоного випромінювання є використання електричних обігрівачів та газових обігрівачів. Ці методи виробляють інфрачервоне випромінювання в діапазоні 343-1100°C для газу та 1100-2200°C для електричних обігрівачів [11]. Щоб запобігти горінню продуктів, типова температура інфрачервоного випромінювання становить від 650 до 1200°C.

Вартість газових обігрівачів дуже висока але вартість їх експлуатації відносно невисока в порівнянні з системами, що виробляють електричне інфрачервоне випромінювання (електронагрівачі). Інфрачервоні електричні обігрівачі більш поширені, ніж газоподібні, через простоту управління, швидку швидкість нагріву та чисту енергію. Інфрачервоні випромінювачі більш гнучкі у створенні необхідної довжини хвилі для конкретного застосування. Інфрачервоне випромінювання також може випромінювати довжини хвиль від коротких до довгих довжин хвиль залежно від напруги прикладеної до випромінювачів. ККД роботи електричних інфрачервоних обігрівачів коливається від 40% до 70%, в той час як інфрачервоні газові обігрівачі виробляють 30%-50%. Найкраща ефективність теплопередачі випромінюванням настає коли обігрівач стає червоним.

Електричні інфрачервоні випромінювачі складаються з металеві нитки, поміщеної всередину герметичної ємності і заповненої інертним газом або порожньої. Інфрачервоне випромінювання здійснюється за допомогою електричного нагрівача шляхом пропускання електричного струму через дріт з високим опором, такий як ніхромовий дріт, залізо-хромовий дріт і вольфрамова нитка. Коли металевий дріт нагрівається і досягає температури світіння, а його температура підвищується до 2200 К це призведе до інфрачервоного випромінювання з довжиною хвилі в межах від 0,7 до 1,4 мкм. Лампи розжарювання, що випромінюють інфрачервоне випромінювання, відносять до короткохвильових випромінювачів, а кварцові трубки і елементи опору до середньо- і довгохвильових випромінювачів відповідно.

Довжина хвилі λ є інвертованою частотою ν і може бути обчислена за наступним рівнянням [11]:

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \text{ Or } \frac{1}{\lambda} = \frac{\nu}{c} = \frac{\nu}{3 \times 10^{10}}$$

де c – швидкість електромагнітного випромінювання (см/с).

Хвильове число можна обчислити за наступним рівнянням і його одиницями (1/см) [11]:

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda}$$

ΔE можна обчислити з наступного співвідношення:

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

$$\Delta E = h\nu c$$

Перетворення довжини хвилі та хвильового числа дорівнює [11]:

$$\lambda (\mu\text{m}) = \frac{10000}{\bar{\nu} (\text{cm}^{-1})}$$

Інфрачервона технологія є високоенергоєфективною, менш водоемною та екологічно чистою, а також характеризується однорідністю нагріву, високою швидкістю теплопередачі, низьким часом нагрівання, низьким споживанням енергії, покращеною якістю продукції та безпекою харчових продуктів. Інші особливості включають низькі витрати на електроенергію, повітря прозоре для інфрачервоного випромінювання, а розміри інфрачервоного обладнання невеликі, а також високоточні керуючі фактори в ньому. Він також володіє унікальними радіаційними властивостями і високою тепловою ефективністю, і вважається альтернативним джерелом енергії та опалення.

Хлібопекарська піч, а саме електрична духовка, яка підлягає модернізації представлена на рисунку 2.6.



Рисунок 2.6 – Хлібопекарська піч

Теплова енергія забезпечується двома комплектами незалежно керованих електричних нагрівачів, які встановлені у верхній частині пекарської камери та під пластинами для випікання (рис. 2.7). Кожен комплект нагрівачів має номінальну потребу електроенергії 3 кВт, коефіцієнт теплопередачі 0,9 Вт/мК.

Передача тепла випічці в цій конструкції духовки в основному пов'язана з умовами передачі від пластин до випічки, природною конвекцією від теплового повітря всередині та ІЧ-випромінювання від відкритого, встановленого зверху, нагрівача. Пара, яка необов'язково використовується на початку процесу випікання, генерується в окремому електричному парогенераторі, який встановлений за духовкою. Він вводиться в пекарську камеру через прямокутний отвір на задній стінці камери.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29



Рисунок 2.7 – Вид спереду в пекарській камері електродуховки з верхнім нагрівачем, встановленим на стелі (а) і нижній нагрівач, розміщений під пластинами для випічки (б)

Контроль параметрів духовки, таких як температура (верхній і нижній нагрівачі окремо), час випікання, кількість пари тощо встановлюється вручну через вбудований інтерфейс і панель керування, які встановлені з правого боку передньої панелі духовки, поруч із ручкою дверцят. Технічні характеристики електродуховки наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики електродуховки

Габаритні розміри духовки, мм	1500 x 1210 x 390
Розміри пекарської камери, мм	1200 x 800 x 220
Площа поверхні пластин для випічки, м ²	0,96
Сумарна електрична потужність обох нагрівачів, кВт	6,4
Загальна потужність парогенератора, кВт	3

Для зменшення енергоємних показників пропонується зробити конструктивні зміни в хлібопекарській печі та оптимізувати конструктивні елементи. Пропонуємо замість традиційних нагрівальних елементів застосувати інфрачервоне випромінювання. Модель хлібопекарської печі з інфрачервоним нагріванням наведено на рисунку 2.8.

У модернізованій духовці інфрачервоні лампи 1 встановлені на стелі та орієнтовані до пластин для випікання 3. Перевага використання інфрачервоного нагріву в духовці для випікання хліба полягає в швидкій передачі тепла хлібу. Властивість хліба дозволяє проникненню до 2-3 мм і швидкому нагріванню. Відповідно, інфрачервоні печі кращі за звичайні, тому ця техніка є більш ефективною для нагрівання поверхонь і центральних частин їжі за короткий час випікання завдяки ефективній передачі тепла на поверхню. Це призводить до більшого вмісту води в центрі їжі під час випікання. Тому термін придатності продукту буде кращим і тривалішим.

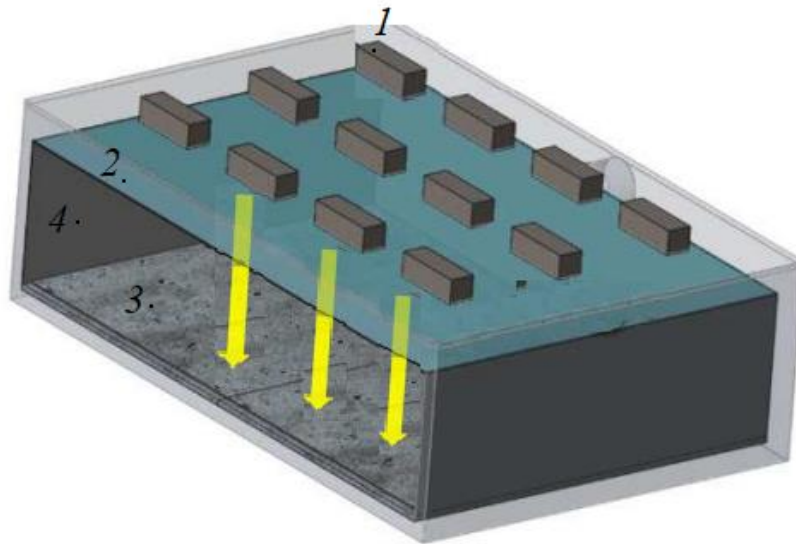


Рисунок 2.8 – Хлібопекарська піч з інфрачервоним нагріванням

На рисунку 2.8 позначено: 1 – інфрачервоне випромінювання, 2 – пластина з кварцового скла, 3 – пластини для випікання, 4 – стінки пекарської камери [10]

Розподіл температури в камері для випікання хліба представлено на рисунку 2.9. Пропонується замість традиційних нагрівальних елементів застосувати інфрачервоне випромінювання, що забезпечить більш рівномірний розподіл температури на деко, завдяки встановленню інфрачервоних ламп, які спрямовані до пластин для випікання.

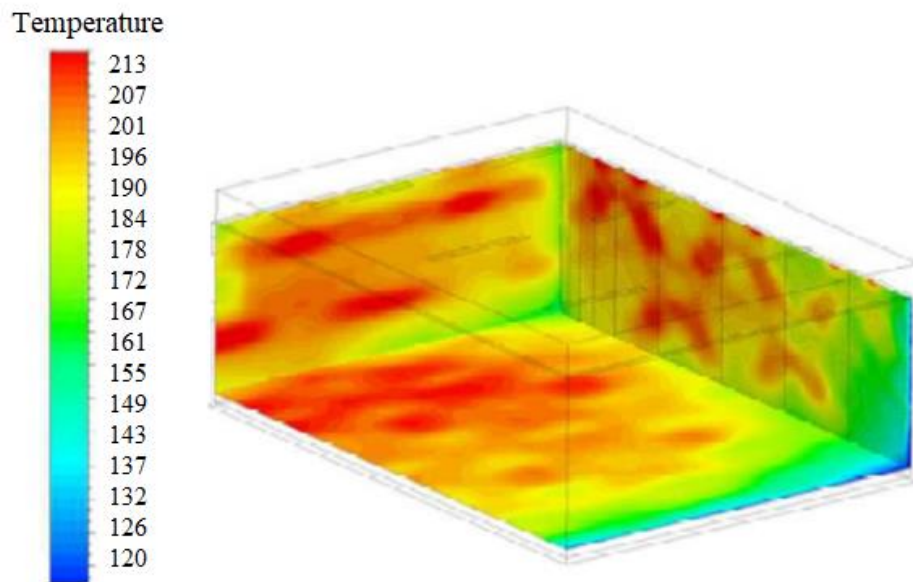


Рисунок 2.9 – Розподіл температури в камері для випікання хліба

На основі вище зазначеного можна вважати, що випічка – це спосіб виготовлення хлібобулочних виробів під час різноманітних складних хімічних та фізичних процесів, що відбуваються всередині продукту. Механізм випікання хліба є складним процесом при якому в продуктах відбувається ланцюжок фізичних, хімічних і біохімічних змін. Ці зміни є результатом одночасного тепло- та масообміну у сировині. Під час випікання хліба в тісті перенесення тепла та води відбувається головним чином через поєднання провідності до тіста, конвекції від навколишнього гарячого повітря, випромінювання від стін духовки до поверхонь продукту, а також випаровування води та конденсації пари в газових камерах тіста. Тепло переноситься випромінюванням від стінок печі до поверхні продукту шляхом конвекції від нагрівальних середовищ (гаряче повітря та волога) і шляхом теплопровідності від поверхні носія до геометричного центру виробу. При цьому волога розсіюється назовні до поверхні виробу.

Запропоновано три зони термічної обробки при випікання хлібобулочних виробів:

1. Зона розігріву: температура – один із найважливіших чинників, що впливає на перебіг процесу випікання хліба та якість готового продукту. Тісто перетворюється на м'якуш не миттєво. У міру збільшення тривалості температурного впливу все більша частина тіста стає м'якушем, а межа між м'якушем і тістом зрушується в центральну частину.

2. Зона нагрівання (критичні зміни в тісті): тісто та його конституція зазнає значних змін у цій зоні, які обумовлені насамперед тим, що відбувається клейстеризація крохмалю. Текстура та вміст вологи залежать від цього критичного періоду. Чим довше продукт перебуває в цій зоні нагрівання тим більше вологи він втрачає, зміцнюючи продукт.

3. Зона випікання: необхідні умови для виробництва хліба, м'якуш якого еластичний і достатньо сухий є нагрівання тістозаготівлі до температури 96°C чи більше. Це температура за якої всі ділянки тіста досягають твердого стану.

Здійснено модернізацію елементів нагрівання у хлібопекарській печі. Пропонується замість традиційних нагрівальних елементів застосувати інфрачервоне випромінювання, що забезпечить більш рівномірний розподіл температури на деко. У модернізованій духовці інфрачервоні лампи встановлені на стелі та орієнтовані до пластин для випікання. Перевага використання інфрачервоного нагріву в духовці для випікання хліба полягає в швидкій передачі тепла хлібу. Властивість хліба дозволяє проникненню до 2-3 мм і швидкому нагріванню. Відповідно, інфрачервоні печі кращі за звичайні, тому ця техніка є більш ефективною для нагрівання поверхонь і центральних частин їжі за короткий час випікання завдяки ефективній передачі тепла на поверхню. Це призводить до більшого вмісту води в центрі їжі під час випікання. Тому термін придатності продукту буде кращим і тривалішим. Перевага використання інфрачервоного нагріву в духовці полягає в тому, що ця техніка є більш ефективною для нагрівання поверхонь і центральних частин їжі за короткий час випікання завдяки ефективній передачі тепла на поверхню. Здійснено моделювання розподілу температури в камері для випікання хліба.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Вплив температури води на якість тіста

Процес випікання описує зміни, що відбуваються з інгредієнтами. Тому, щоб отримати хліб високої якості необхідно не лише відповідне обладнання для випікання, а й дотримуватися технологій у процесі виготовлення тіста. Підтримка температури тіста в певному діапазоні може призвести до кращого смаку та підвищення якісних показників хліба. Для дріжджового хліба на основі пшеничної муки було визначено, що найкращий діапазон температур тіста становить 75-78°C [13].

На температуру тіста впливають наступні чинники:

- температура в приміщенні;
- температура борошна;
- температура води;
- різниця температури тіста під час змішування. Ця цифра є приблизною, оскільки багато змінних впливають на те, скільки тепла виділяється під час процесу змішування та замішування і воно може значно змінюватися від одного тіста до іншого.

Дослідимо, як температура води впливає на якість тіста, а також на підйом дріжджового хліба. Для цього було замішане три різні тіста: одне з прохолодною водою 50°C, друге з теплою водою 120°C і третє за температури 78°C. Температуру тіста вимірювали безконтактним термометром.

Тісто №1: температура води 50°C. У зв'язку з тим, що вода була дещо прохолодною, тому спочатку було замішане борошно та швидкорозчинні дріжджі, перш ніж додавати у воду. Тісто після першого та другого підйому представлено на рисунку 3.1. Видно, що тісто під час першого та другого підйому піднялося не достатньо, що може вплинути на якість випеченого хліба.



тісто після 1-го підйому

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Царенко				Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Цвіркун					33	5
Н. Контр.	Омельченко				ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
Затверд.	Цвіркун						
Удосконалення обладнання для випікання хлібобулочних виробів							



тісто після 2-го підйому

Рисунок 3.1 – Тісто №1 після підйому

Під час змішування з водою 50°C кінцева температура тіста після замішування в міксері становила 72°C.

Тісто №2: температура води 120°C. Тісто після першого та другого підйому представлено на рисунку 3.2.



тісто після 1-го підйому



тісто після 2-го підйому

Рисунок 3.2 – Тісто №2 після підйому

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Видно, що тісто під час першого та другого підйому набагато більше піднялося чим у першому досліді, де застосовувалася прохолодна вода 50°C. Вода була дуже теплою тому верхівка почала пузиритися і провисати, що може вплинути на якість випеченого хліба. Під час змішування з водою 120°C кінцева температура тіста після замішування в міксері становила 94°C.

Тісто №3: температура води 78°C. Тісто після першого та другого підйому представлено на рисунку 3.3.



тісто після 1-го підйому



тісто після 2-го підйому

Рисунок 3.3 – Тісто №3 після підйому

Тісто під час першого підйому збільшується майже вдвічі, а після другого підйому має відповідну якість та готове до випікання. Під час змішування з водою 78°C кінцева температура тіста після замішування в міксері становила 59°C.

Як видно з наведених результатів температура води впливає на якість тіста, а також на підйом дріжджового хліба. Видно, що найкращі зразки тіста було отримано при застосуванні води температурою 78°C про що свідчить тісто, яке добре піднялося та має відповідні властивості.

3.2 Оцінка якості хліба отриманого під час випікання

Дослідження передбачало виявлення впливу на якість тіста температури води, що до нього додається. Для цього було замішані три різні тіста: одне з прохолодною водою 50°C, друге з теплою водою 120°C і третє за температури 78°C. Температуру тіста вимірювали безконтактним термометром.

На наступному етапі необхідно здійснити оцінку якості хліба отриманого під час випікання. Для цього було здійснено випікання трьох зразків хліба за однаковою температурою та часом випікання: зразок 1 (тісто №1: температура води 50°C, температура тіста 72°C), зразок 2 (тісто №2 температура води 120°C, температура тіста 94°C), зразок 3 (тісто №3 температура води 78°C, температура тіста 59°C). Результати випічки хліба представлено на рисунку 3.4.



Зразок 1 (тісто №1)



Зразок 2 (тісто №2)



Зразок 3 (тісто №3)

Рисунок 3.4 – Результати випічки хліба

Перш ніж здійснювати якісну оцінку отриманого випеченого хліба необхідно розглянути показники якості хлібобулочних виробів згідно зі встановленим стандартом. До основних показників якості відносять: запах, колір, форма виробу, пористість внутрішньої структури, смак (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Показники якості хлібобулочних виробів згідно зі стандартом

Показник якості	Характеристика
Запах	Властивий виробу даного виду без стороннього запаху. При використанні ароматичних добавок – запах, властивий внесеним добавкам
Поверхня	Відповідна виду виробу
Колір	Від світло-жовтого до темно-коричневого
Форма	Відповідна виду виробу
Пропеченість	Пропечений, не вологий на дотик. Для хліба – м'якуш шаруватий у зламі, для листових виробів – з відокремленими один від одного шарами; для виробів з начинкою – шар основи, що стикається з начинкою, може бути зволожений
Проміс	Без слідів непромісу
Пористість	Відповідна виду виробу
Смак	Властивий виробу даного виду, без стороннього присмаку. При використанні харчових добавок – присмак, властивий внесеним добавкам

Здійснено якісну оцінку отриманого випеченого хліба:

Зразок 1 (тісто №1: температура води 50°C, температура тіста 72°C). При випіканні отримано буханець трохи меншої форми та розміру, але він все одно відповідного розміру з рівною структурою м'якушки; хліб має вологий м'якш і насичений, трохи солодкуватий, пшеничний смак.

Зразок 2 (тісто №2 температура води 120°C, температура тіста 94°C). При випіканні отримано буханець у якому бульбашки помітні на верхній частині виробу. При охолодженні поверхня руйнується, в результаті чого утворюється велика кількість зморшок; структура не однорідна, буханець демонструє значну зморшкуватість і велику щілину під верхньою скоринкою; хліб висихає швидше, ніж інші зразки і має гіркуватий, кислуватий смак.

Зразок 3 (тісто №3 температура води 78°C, температура тіста 59°C). При випіканні отримано буханець відповідної форми та розміру з рівною структурою м'якушки; хліб має вологий м'якш і насичений, трохи солодкуватий, пшеничний смак.

На основі вище зазначеного можна вважати, що найкращими показниками якості володіє випечений зразок хліба 3 (тісто №3: температура води 78°C, температура тіста 59°C). Контроль якості є важливим фактором, оскільки необхідно контролювати та вимірювати параметри тіста до випікання. Так, наприклад, температура води впливає на якість тіста, а також на підйом дріжджового хліба. Колір та смак є важливою характеристикою випічки та сприяє споживчим перевагам. Удосконалення технології приготування тіста сприятиме покращенню якісних показників хліба у процесі випікання.

ВИСНОВКИ

Бакалаврська робота присвячена удосконаленню обладнання для випікання хлібобулочних виробів. У роботі зазначено, що хлібобулочні вироби є одними з найпопулярніших і найрізноманітніших категорій продуктів харчування. Однак, щоб досягти бажаної якості, текстури, смаку та терміну придатності цих продуктів, необхідно оптимізувати термічну обробку, яку вони проходять. Термічна обробка – це застосування тепла до харчових продуктів для зменшення мікробного навантаження, покращення сенсорних властивостей і продовження терміну зберігання.

У першому розділі здійснено аналіз обладнання для випікання хліба. Зазначено, що випікання є одним з найважливіших теплових процесів в харчовій промисловості, що залежить від передачі тепла кондукцією, конвекцією і випромінюванням. Випічка – спосіб виготовлення хлібобулочних виробів під час різноманітних складних хімічних та фізичних процесів, що відбуваються всередині продукту. Випічка хліба – це складний процес, який включає поєднання фізичних та хімічних змін в харчових продуктах, таких як клейстеризація крохмалю, білка, виділення вуглекислого газу внаслідок додавання дріжджів, випаровування води, утворення скоринки і реакції підрум'янювання в результаті тепло- і масообміну через продукт та простір всередині печі.

Розглянуто переваги та недоліки найпоширенішого обладнання для випікання хліба, а саме модульні, конвекційні, роторні та тунельні печі. Вважається, що у звичайній духовці використовується гаряче повітря і вона підходить для більшості хлібобулочних виробів, але може спричинити нерівномірне нагрівання та висихання. Випікання в мікрохвильовій печі використовує електромагнітні хвилі та підходить для дрібних і вологих виробів, але може призвести до поганого утворення скоринки. Інфрачервоне випікання використовує випромінюване тепло і корисно для тонких і пласких виробів, але може призвести до підгорання поверхні та втрати вологи. Гібридна випічка поєднує в собі два або більше механізмів теплопередачі, що дозволяє краще контролювати параметри, якість продукту та споживання енергії.

Другий розділ присвячено удосконаленню обладнання для випікання хлібобулочних виробів. Зазначено, що механізм випікання хліба є складним процесом при якому в продуктах відбувається ланцюжок фізичних, хімічних і біохімічних змін. Ці зміни є результатом одночасного тепло- та масообміну у сировині. Під час випікання хліба в тісті відбувається перенесення тепла та води, головним чином, через поєднання провідності до тіста, конвекції від навколишнього гарячого повітря, випромінювання від стін духовки до поверхонь продукту, а також випаровування води та конденсація пари в газових камерах тіста.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-20.2024.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Царенко</i>				Удосконалення обладнання для випікання хлібобулочних виробів	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Цвіркун</i>						38	2
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>					ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО		
<i>Затверд.</i>	<i>Цвіркун</i>							

Запропоновано три зони термічної обробки при випіканні хлібобулочних виробів:

1. Зона розігріву: температура – один із найважливіших чинників, що впливає на перебіг процесу випікання хліба та якість готового продукту. Тісто перетворюється на м'якуш не миттєво. У міру збільшення тривалості температурного впливу все більша частина тіста стає м'якушем, а межа між м'якушем і тістом зрушується в центральну частину.

2. Зона нагрівання (критичні зміни в тісті): тісто та його конституція зазнає значних змін у цій зоні, які обумовлені насамперед тим, що відбувається клейстеризація крохмалю. Текстура та вміст вологи залежать від цього критичного періоду. Чим довше продукт перебуває в цій зоні нагрівання тим більше вологи він втрачає, зміцнюючи продукт.

3. Зона випікання: необхідні умови для виробництва хліба, м'якуш якого еластичний і достатньо сухий є нагрівання тістозаготівлі до температури 96°C чи більше. Це температура за якої всі ділянки тіста досягають твердого стану.

Здійснено модернізацію елементів нагрівання у хлібопекарській печі. Вважається за доцільне замість традиційних нагрівальних елементів застосувати інфрачервоне випромінювання, що забезпечить більш рівномірний розподіл температури на деко. Під нагрівальними елементами пропонується встановити пластину з кварцового скла, щоб не відбувалося пригорання окремих ділянок сировини. У модернізованій хлібопекарській печі інфрачервоні лампи встановлені на стелі та орієнтовані до пластин для випікання. Перевага використання інфрачервоного нагріву в духовці для випікання хліба полягає в швидкій передачі тепла хлібу. Інфрачервоні печі кращі за звичайні, тому ця техніка є більш ефективною для нагрівання поверхонь і центральних частин їжі за короткий час випікання завдяки ефективній передачі тепла на поверхню. Здійснено моделювання розподілу температури в камері для випікання хліба.

У третьому розділі було досліджено вплив температури води на якість тіста, а також на підйом дріжджового хліба. Для цього було замішані три різні тіста: одне з прохолодною водою 50°C, друге з теплою водою 120°C і третє за температури 78°C. Температуру тіста вимірювали безконтактним термометром. Результати показали, що температура води впливає на якість тіста. Найкращі зразки тіста були отримані при застосуванні води з температурою 78°C про що свідчить тісто, яке добре піднялося та має відповідні властивості.

На наступному етапі було оцінено якісні показники хліба отриманого під час випікання. Для цього було здійснено випікання трьох зразків хліба за однаковою температурою та часом випікання. Результати показали, що найкращими показниками якості володіє випечений зразок хліба 3 (тісто №3: температура води 78°C, температура тіста 59°C). Контроль якості є важливим фактором, оскільки необхідно контролювати та вимірювати параметри тіста до випікання. Так, наприклад, температура води впливає на якість тіста, а також на підйом дріжджового хліба. Колір та смак є важливою характеристикою випічки та сприяє споживчим перевагам. Удосконалення технології приготування тіста сприятиме покращенню якісних показників хліба у процесі випікання.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-22м.2023.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Therdthai N. Recent advances in the studies of bread baking process and their impacts on the bread baking. *Technology. Food Sci. Technol. Res.*, 2003. Vol. 9 (3). P. 219–226.
2. Подові печі для випічки хліба Режим доступу: <https://egroup.com.ua/ua/g3723679-podovye-pechi-dlya>.
3. Хлібопекарські печі: типи печей, параметри якості, технічні характеристики, показники продуктивності. Режим доступу: <https://ruki.com.ua/text/2020/01/02/uk/vypecka-hlibopekarski-peci-tipi-pecej-parametri-akosti-tehnicni-harakteristiki-pokazniki-produktivnosti-dopomoga-v-pidbori-obladnanna.html>.
4. Технологія випікання хліба. Режим доступу: <https://foodtechnology.pro/tehnologiya-virobnitstva-hliba/tehnologiya-vyipikannya-hliba>.
5. Ковальов О.В., Олійник Н.В. Процес теплообміну в конвективних хлібопекарських печах // *Експрес-новини: наука, техніка, виробництво*. Київ: УкрІНТЕІ. 1999. №7. С.11–13.
6. Володарский О.В. Влияние параметров среды пекарской камеры на продолжительность выпекания // *Развиток масового харчування, готельного господарства і туризму в умовах ринкових відносин*. Київ: КДТЕУ. 1996. С. 67–70
7. Marcotte M. Heat and mass transfer during baking. *Transactions on State of the Art in Science and Engineering*, Vol 13, 2007. P. 240–265.
8. Ковальов О.В. Теплопоглинання в процесі випікання хліба // *Харчова і переробна промисловість*. 2001. №5. С. 12–18.
9. Thermal profiling for bread products. URL: https://bakerpedia.com/wp-content/uploads/2020/05/Thermal_Profiling_for_Bread_Products_BAKERpaper.pdf.
10. A novel, resource-efficient baking oven technology with product-adaptable thermal radiation and modulation dynamic. URL: https://www.researchgate.net/publication/336563611_A_novel_resource-efficient_baking_oven_technology_adaptable_thermal_radiation_and_modulation_dynamic.
11. A comprehensive review on infrared heating applications in food processing. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6891297/>
12. Випікання хліба. Режим доступу: <https://baker-group.net/bread-and-bakery-products/technology-of-bread-and-bakery-products/baking-bread.html>.
13. The fundamentals of bread making: the science of bread. URL: https://www.researchgate.net/publication/370828942_The_Fundamentals_of_Bread_Making_The_Science_of_Bread.
14. A comprehensive review on heat and mass transfer simulation and measurement module during the baking process. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772502223000094#sec0003>.

					ДонНУЕТ.133.ГМБ-22м.2023.ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		