

Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Розробка мікрохвильової печі
з поліпшеними властивостями

Галузь знань 14 Електрична інженерія
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та
Електромеханіка


Шифр БРМА 23.00.00.000 ПЗ

Виконав студент
4 курсу група ЕМ-19


Підпис

Бізюк І.Ю.
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

д.т.н., проф. Білий Л.А.
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата


Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
Зав. кафедри МАЕЕС


Підпис, дата

д.т.н., проф. Поліщук О.С.
Ініціали, прізвище

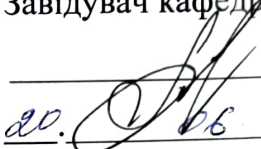
20 06 2023 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем
Освітній рівень бакалавр
Галузь знань 14 Електрична інженерія
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітня програма Електропобутова техніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС


_____ .2023

ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Бізюк Ілля Юрійович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи **Розробка мікрохвильової печі з поліпшеними властивостями**

керівник роботи **Скиба М.Є., д.т.н, професор**

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 1 03 2023 р. № 5

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 20. 06. 23р.

3. Вихідні дані до роботи: **типові пристрої на НВЧ випромінювання, технічні характеристики та особливості роботи пристроїв з НВЧ**

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1 Огляд та аналіз технології та устаткування НВЧ нагрівання при обробці харчових продуктів

2 Розробка моделі НВЧ нагріву у мікрохвильовій печі

3 Розробка конструкції та схеми керування мікрохвильової печі з поліпшеними властивостями

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

Аркуш 1. Пристрої для НВЧ нагріву Документ оглядовий. (A1). Аркуш 2.

Технологічна схема НВЧ-нагріву Документ технологічний (A2). Аркуш

3. Розробка мікрохвильової печі з поліпшеними властивостями Схема електрична (A1). Аркуш 4. Розробка мікрохвильової печі з поліпшеними

властивостями Документ ілюстраційний (A1). Аркуш 4. Розробка

мікрохвильової печі з поліпшеними

властивостями Схема електрична (A1).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

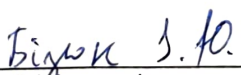
7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1 Огляд та аналіз технології та устаткування НВЧ нагрівання при обробці харчових продуктів	05.05.23р.	
2 Розробка моделі НВЧ нагріву у мікрохвильовій печі	20.05.23р.	
3 Розробка конструкції та схеми керування мікрохвильової печі з поліпшеними властивостями	20.06.23р.	

Студент


Підпис


Ініціали, прізвище

Керівник роботи


Підпис


Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

до бакалаврської кваліфікаційної роботи студента спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

1. Прізвище, ім'я та по батькові **Бізюк Ілля Юрійович**

2. Тема бакалаврської роботи

Розробка мікрохвильової печі з поліпшеними властивостями

3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента Шур Серій
провісний інженер ТОВ «Карді»

4. Об'єм магістерської роботи: креслень 5 арк., сторінок записки **54**

5. Основні розділи розрахунково-пояснювальної записки:

1 Огляд та аналіз технології та устаткування НВЧ нагрівання при обробці харчових продуктів

2 Розробка моделі НВЧ нагріву у мікрохвильовій печі

3 Розробка конструкції та схеми керування мікрохвильової печі з поліпшеними вла-

стивостями

Висновки

Перелік джерел посилання

Підпис студента 

"26" "06" 2023 р.

РІШЕННЯ ЕК:

Протокол МЧ від "30" "06" 2023 р.

Оцінка проекту ЕК добре 4.5/5

Рекомендації ЕК _____

Особливі відмітки _____

Технічний секретар 

"30" "06" 2023 р.

Зміст

Вступ	6
1 Огляд та аналіз технології та устаткування НВЧ нагрівання при обробці харчових продуктів	8
1.1 Огляд технології НВЧ нагрівання при обробці харчових продуктів	8
1.2 Огляд та аналіз обладнання для НВЧ-нагрівання при обробці харчових продуктів	12
1.3 Висновки до розділу	23
2 Розробка моделі НВЧ нагріву у мікрохвильовій печі	24
2.1 Розрахунок параметрів впливу НВЧ електромагнітного поля на продукти харчування у мікрохвильовій печі	24
2.2 Аналіз теплофізичних та електрофізичних параметрів обробки продуктів у мікрохвильовій печі	29
2.3 Висновки до розділу	33
3 Розробка конструкції та схеми керування мікрохвильової печі з поліпшеними властивостями	34
3.1 Розробка схеми керування мікрохвильової печі з поліпшеними властивостями	34
3.2 Розробка конструкції та підбір елементів мікрохвильової печі з поліпшеними властивостями	42
3.3 Висновки до розділу	50
Висновки	54
Перелік посилань	52
Додатки	54

БРМА 23.00.00.000 ПЗ

М.	Арк.	Медокум.	Підпис	Дата	Літера	Аркул	Аркуш
Виконав	Бізюк						
Перевір.	Білий					5	54
Контр.	Поліщук С.І.						
Затвер.	Поліщук						
Розробка мікрохвильової печі з поліпшеними властивостями Пояснювальна записка					ХНУ гв. ЕМ-19		

ВСТУП

Фізичний механізм нагріву продуктів харчування, що представляють собою діелектрики, що містять більш або менш достатній кількості воду, спрощено складається в поглинанні енергії НВЧ електромагнітного поля оброблюваним речовиною за рахунок сил тертя, що виникають в електромагнітному полі, що між молекулами води при їх поляризації. Процес поляризації розуміється як вимушений, відбувається за рахунок падаючого НВЧ електромагнітного поля. Енергія електромагнітного поля витрачається на виконання роботи сил тертя між молекулами в процесі їх поляризації і коливань. Ця енергія, як будь-яка, витрачається на подолання сил тертя, переходить у внутрішню потенційну енергію у вигляді тепла. При цьому, наростання цієї енергії на відміну від процесів звичайної термічної обробки відбувається не за рахунок теплового потоку від зовнішнього джерела, тобто з поверхні, а практично одночасно у всьому об'ємі тіла. Тіло, піддане НВЧ діелектричному нагріванню, саме стає джерелом теплового випромінювання в навколишнє середовище.

Мікрохвильові (мікрохвильові) печі різних фірм, моделей і потужностей, які стали популярні в останні роки, мають практично однакові схемні рішення і, відповідно, причини виходу з ладу їх електронної частини.

При приготуванні їжі в робочій камері виникає велика кількість водяної пари, який після виключення духовки і зупинки вентилятора осідає на внутрішніх поверхнях і електронних компонентах, викликаючи їх прискорене старіння і передчасний вихід з ладу.

Крім того, раптова зупинка повітряного потоку, який охолоджує нагрітий в процесі роботи магнетрон, призводить до появи мікротріщин в його структурі, поступової втрати вакууму і зниження терміну служби.

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Метою даної бакалаврської роботи є усунення цих недоліків, підвищити надійність і довговічність побутової техніки.

Для цього нам потрібно:

- модернізувати її електричну схему, яка полягає в продовженні роботи вентилятора після спрацьовування таймера, протягом часу, достатнього для вентиляції внутрішньої камери і охолодження магнетрона.

- також необхідно встановити датчик контролю пари у ємності мікрохвильової печі. Цим датчиком буде здійснюватися контроль за кількістю пари, яка виникає при приготуванні. Відключення вентилятора буде здійснюватися тоді, коли рівень пари буде відповідати заданому.

- встановити додатковий вентилятор для інтенсивнішого повітрообміну та видалення пари із ємності мікрохвильової печі.

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ ТА УСТАТКУВАННЯ НВЧ-НАГРІВАННЯ ПРИ ОБРОБЦІ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

1.1 Огляд технології НВЧ-нагрівання при обробці харчових продуктів

Мікрохвильова обробка в даний час використовується в таких процесах в побуті і харчовій промисловості. Стимулюючими чинниками удосконалення технологічних процесів і підвищення харчової цінності сировини, напівфабрикатів і готової продукції є розігрівання і варіння харчових продуктів, сушіння, розморожування, відварювання, запікання, знезараження і екстрагування.

Найпоширенішим використанням мікрохвильової енергії є нагрівання, приготування їжі та готових продуктів. Термічна обробка страви в режимі варіння ділиться на два етапи. Нагрівається до постійної температури та підтримується температура до завершення приготування. Крім того, також прийнятий метод поступового нагрівання за допомогою мікрохвиль, який має високу швидкість нагрівання, і існує можливість перерозподілу температури за рахунок теплопровідності матеріалу при регулюванні температури, так що нерівномірне нагрівання кожної частини обробленого продукту можна уникнути.

Однією з особливостей мікрохвильової обробки є швидке і відносно рівномірне (неградієнтне) нагрівання продукту по всьому його об'єму. Це, за своєю природою, залежить не стільки від теплофізичних властивостей тіла, що нагрівається, скільки від присутності вологи та її властивостей, розподіл її за об'ємом. Така діелектрична нагрівальна здатність ефективно використовується при розморожуванні продуктів у харчовій промисловості.

Обробка дріжджових напівфабрикатів електромагнітним випромінюванням надвисокої частоти (мікрохвильове поле) інтенсифікує процес бродіння. Сильне електричне поле, що діє під час замішування, інтенсифікує процес бродіння тіста, збільшуючи швидкість виділення CO₂ і підйом тіста, коли температура підвищується від кімнатної до 30 °C [1].

Випал в електромагнітному полі надвисокої частоти збільшує швидкість на-

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

грівання і скорочує час термообробки в 5-10 разів, але в порівнянні з поверхневим нагріванням продукт не пригорає і зберігається харчова цінність продукту, підвищується цінність і збільшується вихід готового продукту.

Нагрівання об'єктів, особливо харчових продуктів, в електромагнітних полях відрізняється від нагрівання кондукцією і конвекцією тим, що елементи навколишнього середовища, що розділяють джерело електромагнітних коливань і об'єкт, що нагрівається, в принципі не беруть участі в теплопередачі. Тому в такій системі (генератор-середовище-нагрівальне тіло) тепловий потік не є безперервним і енергія передається у вигляді електромагнітних коливань. Тепло утворюється в самому нагрітому об'єкті при взаємодії зі електромагнітним полем.

Діелектричний нагрів - спосіб нагріву діелектричних матеріалів за допомогою змінного в часі електричного поля. Надвисокочастотне (НВЧ) нагрівання — це використання енергії електромагнітного поля надвисокої частоти в діапазоні $3 \cdot 10^8 - 5 \cdot 10^{10}$ Гц для нагрівання різних середовищ і тіл. Відповідно до Міжнародної угоди про розподіл частот для мікрохвильових систем використовуються частоти 895-915 МГц і 2350-2450 МГц [1].

Діелектричні властивості харчових продуктів і різних матеріалів залежать насамперед від їх виду, вологості, температури і частоти коливань поля. Складний характер взаємодії між кількістю тепла, що виділяється, і глибиною проникнення мікрохвильового поля означає, що товщина виробу повинна бути обрана такою, щоб перегрів відбувався на зовнішніх (поглинання) і внутрішніх шарах коефіцієнта поглинання (для малих значень) не спостерігається.

З електрофізичної точки зору їжу можна класифікувати як напівпровідник. Їжа являє собою складну неоднорідну суміш, що містить 50-95% води. З точки зору взаємодії їжі з електромагнітними полями, її складові, такі як білки, жири, вуглеводи та вода, слід класифікувати як неідеальні діелектрики, а водні розчини солей (електроліти) слід класифікувати як провідники відповідно до встановленої класифікації. Коли прикладається зовнішнє електричне поле, у продукті виникає струм зміщення, що відображає діелектричні властивості, і струм провідності, що відображає рух вільних зарядів. Останні завжди присутні у вологих харчових

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

продуктах, оскільки основи, солі та кислоти дисоціюють у воді з утворенням іонів, створюючи активну провідність матеріалу

Ефект нагрівання їжі в надвисокочастотних (НВЧ) полях в основному пов'язаний з її діелектричними властивостями, які визначаються поведінкою диполів у таких полях. Диполі (дипольні молекули та атоми) можуть бути присутніми в продуктах харчування, наприклад молекулах води, або можуть створюватися в продуктах харчування під впливом зовнішнього електричного поля. Вирівнювання існуючих диполів і поява нових диполів і їх вирівнювання під впливом зовнішнього електричного поля становить суть поляризації (рис. 1.1). Це явище відіграє центральну роль у механізмі нагрівання об'єктів, поміщених у мікрохвильове поле. Енергія зовнішнього поля, яка витрачається на поляризацію діелектрика, перетворюється в тепло всередині нього, і тепло виділяється у всьому об'ємі продукту, а не тільки на його поверхні. Тому діелектричний нагрів часто називають об'ємним.

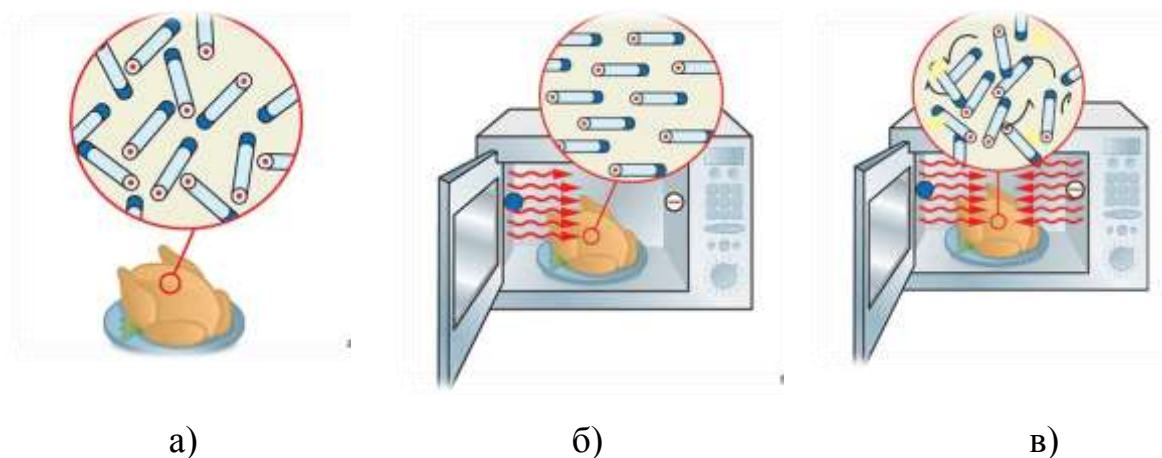


Рисунок 1.1 - Орієнтація диполів продукту під впливом зовнішнього електричного поля: а - при відсутності електричного поля; б - в постійному електричному полі; в - у високочастотному змінному електричному полі

. Мікрохвильове випромінювання – напрямом електричного поля електромагнітних хвиль змінюється мільярди разів на секунду, і водночас повертаються молекули води. У той же час вони поглинають променисту енергію і виділяють її у вигляді тепла в масу, що оточує продукт.

Джерелом мікрохвильового випромінювання є високовольтний вакуумний прилад, або магнетрон (рис. 1.2). Магнетрон — особливий вид електричної вакуумної лампи, в якій електрони рухаються в додатковому магнітному полі.

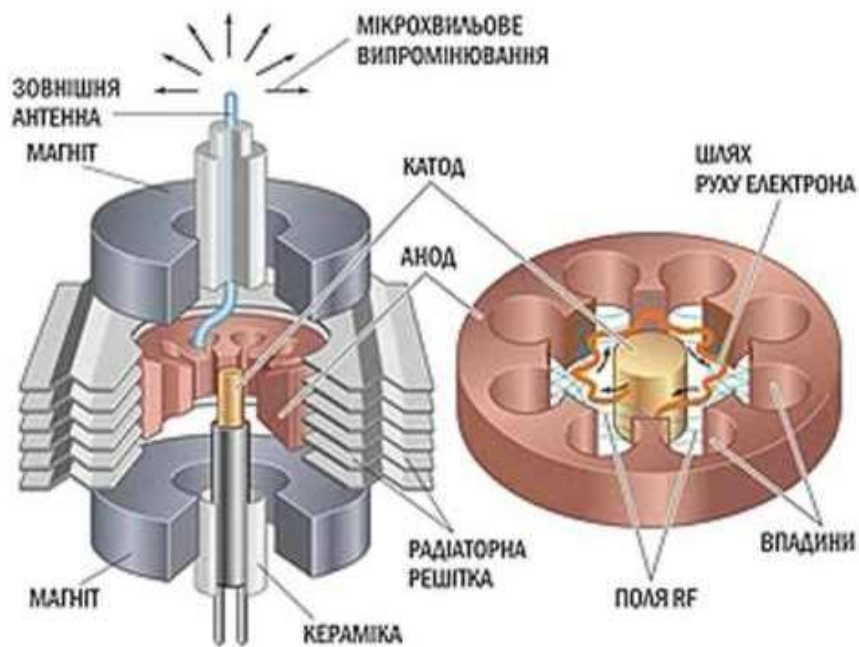
Для випромінювання мікрохвиль від магнетронної антени необхідно подати високу напругу (приблизно 3-4 кВ). Оскільки напруги в мережі (220 В) магнетрону недостатньо, він живиться від спеціального трансформатора високої напруги. Сучасні мікрохвильові печі мають потужність магнетронів від 600 до 900 Вт.



а)



б)



в)

Рисунок 1.2 – Конструкція магнетрона: а - загальний вигляд; б – схема підключення магнетрона; в – схема конструктивна магнетрона

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА 23.00.00.000 ПЗ

Арк.

Магнетронний катод складається з центральної нитки розжарення всередині порожнистої камери, зовнішня стінка якої виконує роль анода. Електрони, випущені з гарячого катода, летять до анода через проміжок сильного магнітного поля, створений постійним магнітом. Магнітне поле змушує електрони обертатися по спіралі крізь стінки камери. Електромагнітні резонатори циліндричної порожнини рівномірно розташовані на краю магнетронної камери. Високочастотне поле всередині резонатора збуджується електронним струмом. Це також впливає на потік електронів, спричиняючи відхилення в протилежному напрямку, ще більше збільшуючи поле, створене в порожнині резонатора. За допомогою металевих хвилеводів частина цього поля передається на антену, звідки випромінюється в простір камери. Петля дроту, прикріплена до одного з резонаторів, або отвір від резонатора до зовнішньої сторони циліндра діє як вилка для розсіювання мікрохвильової енергії.

Частота електромагнітних хвиль визначається розміром і формою резонатора. Змінне електромагнітне поле печі змушує молекули «гойдатися» на високих частотах, змушуючи їх рухатися інтенсивніше, що призводить до збільшення кінетичної енергії та, як наслідок, підвищення температури. Мікрохвилі, що випромінюються магнетроном (генератором хвиль), надходять по хвилеводу в камеру печі, багато разів відбиваються на металевих стінках і досягають продукту.

1.2 Огляд та аналіз устаткування для НВЧ-нагрівання харчових продуктів

Мікрохвильова піч або мікрохвильова піч - електронний пристрій, призначений для розігріву або швидкого приготування їжі і розморожування продуктів за допомогою електромагнітних хвиль дециметрового діапазону (зазвичай частоти 2450 МГц).

Ці печі використовуються для розморожування, сушіння та плавлення пластмас, випалювання кераміки, нагрівання клеїв тощо. Деякі промислові печі можуть мати різні частоти випромінювання. На відміну від традиційних печей (наприклад духовок), нагрівання продуктів в мікрохвильових печах відбувається не

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Мікрохвильова піч, зазвичай містить такі основні компоненти (рис. 1.3): лампа освітлення камери печі (1); вентиляційна решітка (2); магнетронний генератор хвиль (3); охолоджувач (4); НВЧ-хвилевід для передачі хвиль в камеру печі (5); панель керування та дисплей (8); механічний привід з підставкою (9); поворотний лоток, поворотний столик для рівномірного опромінення продукту (10); розділове кільце з обертовими роликами (11); дверний замок (12).

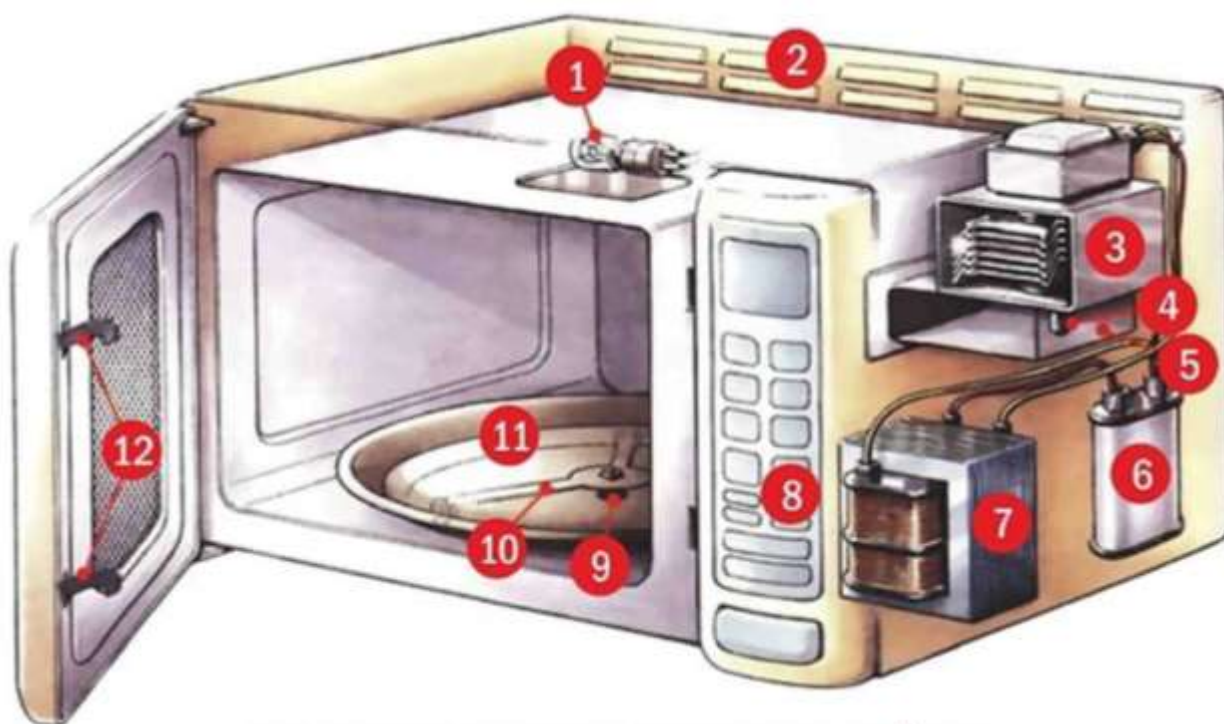


Рисунок 1.3 – Загальний вигляд мікрохвильової печі.

Представляємо основні функціональні характеристики мікрохвильової печі та варіації основних і додаткових елементів. магнетрон. Магнетрон перетворює напругу в мікрохвилі і направляє її в камеру печі. Якби не було магнетронів, то не було і мікрохвиль, а отже, і мікрохвильових печей. Термореле магнетрона (термічний запобіжник) – захищає камеру печі від перегріву магнетрона. Термозапобіжник відключає живлення магнетрона, якщо він перегрівається.

Кулер (вентилятор). Він виконує дві функції - охолоджує магнетрон і вентилює камеру печі під час роботи. Працює у всіх режимах мікрохвильовки.

Замок дверей має досить складну конструкцію. Він має роль міцного за-

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

криття дверцят і функцію запобігання роботі печі, якщо дверцята відкрити під час виконання процесу приготування. Мікрохвильова піч буде заблокована та автоматично припинить роботу

Панель керування. Виконує функцію своєчасного вмикання та вимикання суміжних агрегатів печі за заданою програмою. Існує три види контролю та керування: механічний, кнопковий, сенсорний.

Механічний (рис. 1.4, а) - найпростіший вид управління - немає електронного дисплея, тільки ручка. Потрібно встановити потужність випромінювання двома поворотними ручками та запустити таймер. Управління машиною є найпростішим, найнадійнішим, невідмовним і найдешевшим. Однак цей механізм не забезпечує необхідної точності при встановленні часу, і навіть різниця в кілька секунд може зіпсувати продукт.



Рисунок 1.4 - Типи панелей керування мікрохвильових печей:

а - механічна; б – кнопкова; в - сенсорна

Кнопковий (рис. 4, б) – кнопками встановлюється час на електронному циферблаті. Менш надійні, ніж механічні, але надійніші, ніж сенсорні. програмування стає можливим. Має привабливий зовнішній вигляд.

Сенсорний (рис. 4,в) – має гладкий екран на якому є кнопкове позначення функцій мікрохвильової печі. Має привабливий зовнішній вигляд. Є можливість програмувати складний процес приготування. За відсутності виступаючих кнопок на екрані не накопичується бруд. Недоліки цього керування - при сильних стриб-

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ках напруги у мережі сенсорні елементи інколи пригорають і їх заміна вимагає значних коштів порівняно із іншими системами керування. Мікрохвильові печі з сенсорним управлінням складають близько 60-70% всіх СВЧ-печей. що продаються.

Трансформатор високої напруги. Він перетворює напругу мережі 220 В на напругу, необхідну для роботи магнетрона.

Запобіжник високої напруги. Це допомагає захистити високовольтний трансформатор від перевантаження в разі виходу з ладу високовольтного випрямляча або магнетронного елемента.

Випрямляч високої напруги. Він складається з розділового конденсатора і випрямного діода, призначеного для високої напруги. Він перетворює змінний струм, необхідний для приводу магнетрона, в постійний.

Вхідні двері складаються з перфорованої пластини та скляної панелі. Діаметр щілини вибирається таким чином, щоб хвиля не проходила через отвір і відбивалася назад в камеру.

Лампа освітлення. Освітлює камеру духової шафи, коли дверцята відкриті та під час роботи. Лампа розрахована на напругу живлення 220В та потужність 20Вт.

Гриль — це функція, яка дозволяє смажити на грилі майже все, від овочів до риби та м'яса. Завдяки цьому приладу ви зможете насолоджуватися стравою «засмаженою скоринкою», яку можна приготувати в мікрохвильовці. Два нагрівальні елементи з'єднані послідовно. Кожен елемент розрахований на 110 В, а два послідовно - на 220 В.

ТЕНовий гриль - зовні нагадує чорну металеву трубку з нагрівальним елементом всередині і знаходиться у верхній частині робочої камери. Багато печей оснащені так званим «рухомим» нагрівальним елементом (ТЕН), який можна переміщати і розташовувати вертикально або діагонально (під кутом), щоб він прогрівав з боків, а не тільки зверху.

Рухомий ТЕНовий гриль особливо простий у використанні та пропонує додаткові можливості для приготування їжі в режимі гриля (наприклад, деякі моделі

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

дозволяють смажити курку вертикально). Крім того, внутрішню частину мікрохвильової печі з рухомою ТЕНовою решіткою легко та зручно чистити (як і сам гриль). Деякі моделі крім верхнього нагрівального елемента гриля також мають нижню нагрівальну решітку.

Кварцова решітка - трубчастий кварцовий елемент, розташований у верхній частині мікрохвильової печі та за металевою решіткою. Переваги кварцового гриля: на відміну від грилів ТЕНових, кварцові грилі займають менше місця в робочій камері. Продуктивність кварцових грилів, як правило, нижча, ніж у грилів з нагрівальними елементами, а мікрохвильові печі з кварцовими грилями споживають менше електроенергії. Кварцові печі-гриль готують більш м'яко та рівномірно, а грилі з нагрівальними елементами можуть виконувати більш інтенсивну роботу (більш агресивний нагрів).

Керамічні грилі (рис 1.5) – у поєднанні з традиційними та кварцовими грилями керамічні грилі (нагрівальні елементи) дозволяють готувати ще швидше та створювати ідеальні умови для приготування будь-якої їжі. З керамічним грилем інфрачервоні промені проникають глибше, що дозволяє продукту утримувати більше вологи і тепла та більш рівномірно пропікати продукт всередині і зовні.

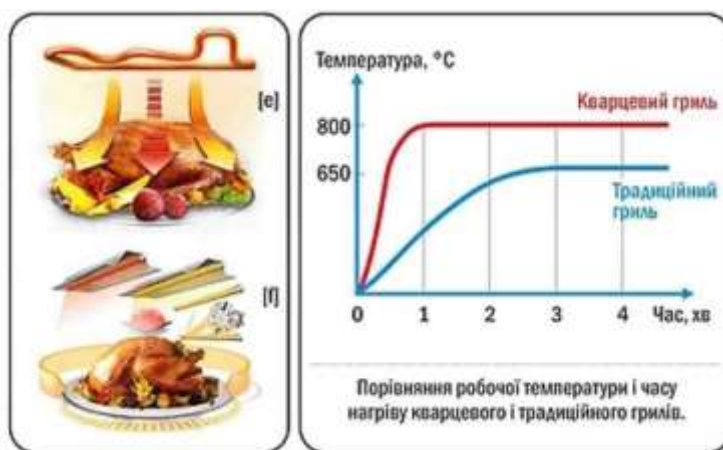


Рисунок 1.5 - Керамічний гриль

Мережевий фільтр. Захищає мікрохвильову піч від перепадів напруги під час роботи та ззовні.

Розрізняють побутові та виробничі мікрохвильові печі. Всі моделі в основному мають однакові характеристики: розморозувати, розігрівати, варити. Але

більш різноманітні і складні страви можна приготувати тільки в духовці з грилем. Побутові мікрохвильові печі можуть виготовлятися як в окремих конструкціях, так і у вигляді вбудованих пристроїв.

Побутові мікрохвильові печі діляться на:

- мікрохвильова піч НВЧ-соло – це пересічна мікрохвильова піч, яка виконує тільки функцію розморожування чи розігрівання їжі. Додаткових функцій така піч не має (рис. 1.6,а).



а)



б)



в)



г)

Рисунок 1.6 – Конструкції НВЧ-печей: а - НВЧ соло; б - НВЧ з грилем;
в - НВЧ з конвекцією; г - multifunctional НВЧ

- мікрохвильова піч НВЧ з грилем – це мікрохвильова піч, яка окрім підігрівання їжі і розморожування продуктів, має вбудований ТЕН (як додатковий нагрівальний елемент) і вертель, за допомогою якого можна приготувати, до прикладу, курку-гриль (рис. 1.6,б).

- мікрохвильова піч НВЧ з конвекцією - ця мікрохвильова піч має функцію обдування продукту під час приготування гарячим потоком повітря. Воно рівномірно розподіляється по всій поверхні продукту, що дає ефект приготування їжі наче у духовій шафі (рис. 1.6,в). Завдяки конвекції, продукти краще пропікаються та прожарюються. У такій НВЧ-печі можна тушити м'ясо, запікати курку, пекти пироги з більшою швидкістю як зазвичай тощо.

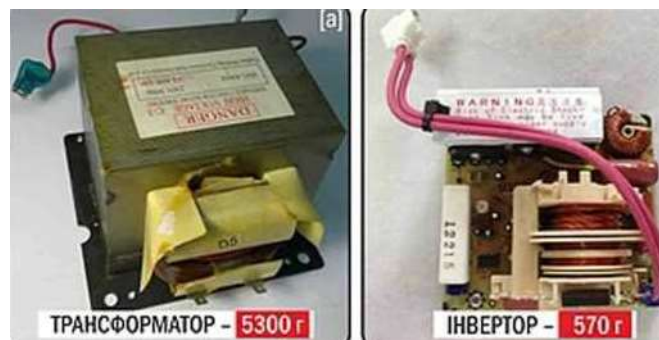
Цей вид мікрохвильових печей з грилем і конвекцією дозволяє готувати найскладніші страви. У такій печі можна готувати п'ятьма різними способами за допомогою мікрохвиль: розігрівати їжу та напої, розморожувати, готувати прості страви та кип'ятити воду. Готувати апетитні страви зі скоринкою (куркою або гарячі бутерброди) за допомогою гриля. При суміщенні гриля і мікрохвиль дозволяє приготування страв із м'яса. Поєднання мікрохвиль і конвекції дозволяє сушити зелені та готувати овочеві страви. Поєднання гриля та конвекції дозволяє ство-

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

рення складних вишуканих страв ресторанні страви.

Багатофункціональна мікрохвильова піч (рис. 1.6, г). Найдорожча з побутових мікрохвильових печей, з додатковими функціями, такими як гриль, конвекція, пароварка, тостер та іншими додатковими режимами для приготування їжі та іншими технічними рішеннями на додаток до стандартної мікрохвильової печі.

Інверторна мікрохвильова піч – технологія інверторної духовки була розроблена Panasonic. На відміну від звичайних мікрохвильових печей, де випромінювання випромінюється порціями певної потужності (імпульси), інверторні печі випромінюють хвилі постійно, тому потужність випромінювання змінюється з часом, що призводить до безперервного проникнення в продукт. Це гарантує більш природні результати (збереження поживних речовин та структури вихідного продукту), більш ошадне нагрівання. Свою назву інверторні печі отримали завдяки спеціальному пристрою - інвертору. Те, що відрізняє цей тип духовки від інших (традиційних) видів печей, так це його наявність. Це дозволяє контролювати та керувати потужністю магнетрона. Трансформатор (рис. 1.7) займає в мікрохвильовці значно більше місця, ніж електронний блок керування інверторний. Відсутність трансформатора зменшує вагу таких моделей.



а)



б)

Рисунок 1.7 – Трансформатор класичної та інверторної мікрохвильової печі:

а – загальний вид; б – графік зміни потужності

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Основною перевагою інверторної мікрохвильової печі є спосіб її роботи. Він полягає у наступному: протягом часу приготування можна змінювати потужність магнетрона, тим самим впливати на страву протягом усього процесу приготування; поступово зменшувати потужність до кінця приготування, дозволяючи створити більш вишукану та здоровішу страву.

Безсумнівно, всі мікрохвильові печі мають значне енергоспоживання. Печі із грилем і конвекційні печі є найбільшими споживачами енергії і потребують надійної електромережі на кухні. У таких моделей є тільки один недолік – їх вартість. Сьогодні вона мало чим відрізняється від звичайної мікрохвильовки. Якщо раніше ця різниця становила майже половину вартості, то зараз вона стала доступнішою для споживачів.

У звичайній мікрохвильовці частина мікрохвиль відбивається від стінок робочої камери і потрапляє на продукт. Поворотний столик сприяє рівномірному розподілу мікрохвиль. Зустрічаються також мікрохвильові печі без вертушки (рис. 1.8, а) та з поворотною платформою (рис. 1.8, б). У камері обертається розподільник НВЧ-хвиль. Його можна встановити зверху або знизу мікрохвильової печі.

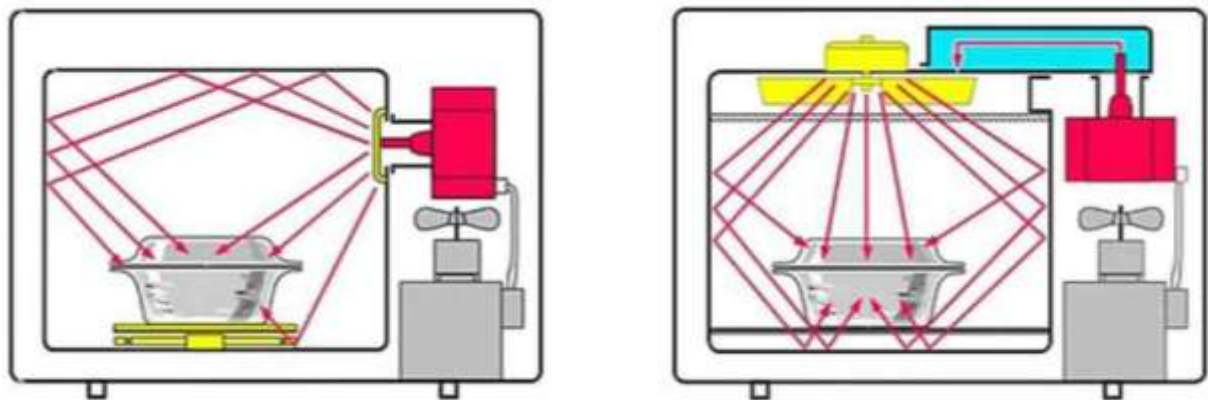


Рисунок 1.8 - Мікрохвильова піч: а - без поворотного столу;

б - із поворотним столом

Додаткові опції та пристосування, які використовуються у мікрохвильових печах.

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		

Приготування страв із використанням датчиків (сенсорів) (рис. 1.9). У деяких моделях ця функція дозволяє точніше та своєчасніше готувати їжу. Спеціальний датчик відстежує активне виділення пари з продукту, коли температура досягає 100°C, і розраховує час, що залишився, залежно від завантаженого продукту.



Рисунок 1.9 – Функція сенсорного приготування продуктів

Тарілка «Крусті». Додатковий спосіб отримання засмаженої скоринки, яка за принципом нагадує звичайну сковорідку. Мікрохвильова піч оснащена металевою пластиною, яка під час приготування нагрівається до максимальної температури 200°C.

Голосові підказки. Деякі моделі мікрохвильових печей нового покоління виводять підказки щодо подальших дій на дисплей і навіть додатково дублюються голосом

Подача пари. Моделі із такою опцією можуть запобігти пересиханню продуктів, прискорити процес приготування та полегшити очищення внутрішньої поверхні.

Функція «Автозважування» автоматично зважує продукти, розміщені в камері, за допомогою вбудованих ваг. Це дозволяє точніше визначити час і потужність мікрохвильової печі.

У мікрохвильових печах використовується кілька методів захисту від НВЧ хвиль: вимикання магнетрона, коли двері відкриті; замикання дверцят, коли піч увімкнена; функція «Батьківський контроль» блокує пульт керування та перестає реагувати на його команди.

Переваги мікрохвильових печей: компактні – мають відносно невеликі габарити; найвища ефективність (ККД), порівняно з іншими кухонними приладами у приготуванні їжі; продукт можна швидко розморозити і розігріти; приготування їжі в мікрохвильовій печі зберігає більше поживних речовин, ніж приготування їжі на плиті; не потрібно використовувати воду або олію (не виробляє канцерогенів); продукти горіння не виділяються; екологічні- працюють без шкоди навколишньому середовищу.

Недоліки мікрохвильових печей: обмеження щодо приготування їжі (мікрохвильові печі не можуть використовувати деякі рецепти та не можуть готувати деякі продукти (до прикладу, яйця, ракоподібні); внутрішня поверхня стає брудною і її незручно мити; захист від мікрохвиль з часом погіршується через щілини між шафами та дверцятами (через знос ущільнювача); при приготуванні в мікрохвильовій печі не використовуються масло або олія (в тому числі сік), тому смак відрізняється від звичайного приготування; параметри часу і потужності повинні бути підібрані правильно і точно, щоб отримати хороший кінцевий результат інакше страва може стати твердою чи сухою.

Думки щодо небезпеки мікрохвильових печей для здоров'я розділилися та здебільшого ґрунтуються на комерційних інтересах. Пряма шкода для людини від мікрохвильових печей пов'язана з негативним впливом мікрохвильового випромінювання. Щоб мінімізувати прямий і непрямий негативний вплив мікрохвильового випромінювання, рекомендується: не стояти біля мікрохвильової печі, коли вона працює та не готуйте в мікрохвильовці тривалий час.

1.3 Висновки до розділу

У цьому розділі представлено огляд та аналіз технології діалектичного мікрохвильового нагрівання продуктів. Отже, дані досліджень щодо використання енергії НВЧ в різних технологічних процесах дозволяють казати про ефективність цього фізичного способу обробки продукції.

Застосування мікрохвильового нагріву дає можливість покращити техноло-

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

гічні процеси, знизити собівартість готової продукції та підвищити харчову та біологічну цінність сировини, напівфабрикатів і готової продукції.

Також було проведено огляд та аналіз мікрохвильового діелектричного нагрівального пристрою. Приведено переваги та недоліки.

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

2 РОЗРОБКА МОДЕЛІ НВЧ-НАГРІВУ У МІКРОХВИЛЬОВІЙ ПЕЧІ

2.1 Розрахунок параметрів впливу НВЧ-електромагнітного поля на продукти харчування у мікрохвильовій печі

Фізичний механізм нагрівання їжі, яка є діелектриком з більш-менш достатньою кількістю води, полягає в тому, що оброблений матеріал поглинає енергію мікрохвильового електромагнітного поля завдяки силам тертя, що виникають в електромагнітному полі між молекулами води під час поляризації. Під процесами поляризації розуміють вимушені процеси, викликані падаючими мікрохвильовими електромагнітними полями. Енергія електромагнітного поля витрачається на дію сил тертя між молекулами в процесі молекулярної поляризації та коливання. Ця енергія, як і будь-яка інша енергія, використовується для подолання сил тертя і перетворюється на внутрішню потенційну енергію у вигляді тепла. На відміну від звичайного процесу термічної обробки, це збільшення енергії відбувається майже одночасно в усьому об'ємі тіла, а не через зовнішнє джерело, а саме потік тепла з поверхні. Джерелом теплового випромінювання в навколишнє середовище стає об'єкт, підданий мікрохвильовому діелектричному нагріванню.

Електромагнітні хвилі, що проходять через хвилеводи, прийнято поділяти на два види.

Хвилі типу Е мають компонент електричного поля в напрямку поширення і не мають магнітного компонента в тому ж напрямку.

Хвилі типу Н мають магнітну складову магнітного поля в напрямку поширення, але не мають електричної складової в тому ж напрямку.

Коли ці типи хвиль змішуються, вони створюють у хвилеводі багато хвиль змішаного типу. У той же час різні типи хвиль створюють різне положення силових ліній електромагнітного поля всередині хвилеводу. У робочому просторі духовки їжа готується під впливом мікрохвильового випромінювання. Ця камера являє собою прямокутну металеву ємність, в яку з одного боку вводиться мікрохвильове випромінювання. Вже з цього факту видно, що основною проблемою таких

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

печей є нерівномірний прогрів продуктів всередині. По суті, камера є ідеальним місцем для утворення стоячої хвилі (яку можна порівняти з акустичним резонатором). Це означає, що багато мінімумів і максимумів електромагнітної вібрації виникають в результаті багаторазового відбиття електромагнітних хвиль. Хвилі б'ють об металеві стінки камери. На малюнку представлений спектр резонансних частот мікрохвильової камери з продуктом і без нього. 2.1.

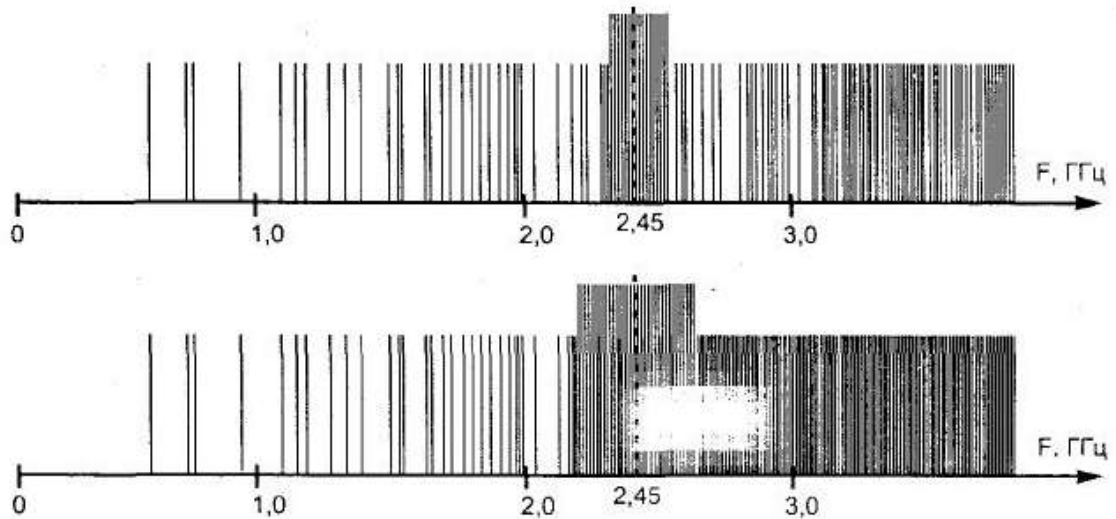


Рисунок 2.1 – Резонансні НВЧ частоти в камері печі

На додаток до основних типів вібрації всередині камери виникає ряд вищих вібрацій. Для забезпечення кращого приготування найвища модальна щільність повинна бути досягнута навколо основної робочої частоти генератора, що збуджує камеру. Найпростіший спосіб досягти цього - збільшити габарити камери.

Як видно з рисунка 2.1 зі збільшенням завантаження камери зростає рівномірність прогріву їжі. По суті, чим більше підготовленого продукту завантажуються в камеру, тим складніше розподіл електромагнітного поля всередині камери. На додаток до основної вібрації в камері виникає велика кількість комбінованих режимів вібрації, що сприяє більш рівномірному розподілу електромагнітної енергії всередині камери, що призводить до кращої рівномірності нагріву продукту.

Отже, хоча ситуація покращується з більшим навантаженням на камеру, цього недостатньо для нормального приготування їжі. Рівномірного нагрівання можна досягти лише шляхом чергування доступних типів електромагнітних коли-

вань. Ви також можете змінювати амплітуду різних режимів вібрації. Коли це відбувається, кожен продукт під час процесу приготування піддається впливу поля з різним розподілом мінімальних і максимальних значень. Ряд комбінацій цих полів дає можливість рівномірно прогрівати продукт в центральній частині камери.

У дослідженнях використовуються різні види овочів і фруктів. Яблука, картопля, морква, буряк, огірки, баклажани та перець мають різну пористість і щільність, механічні, електрофізичні та теплофізичні властивості. Внаслідок ефекту ослаблення електромагнітних хвиль λ , як і при інших хвильових процесах, поглинена потужність зменшується на відстані від поверхні зразка, відповідно зменшується рівень нагріву (рис. 2.2).

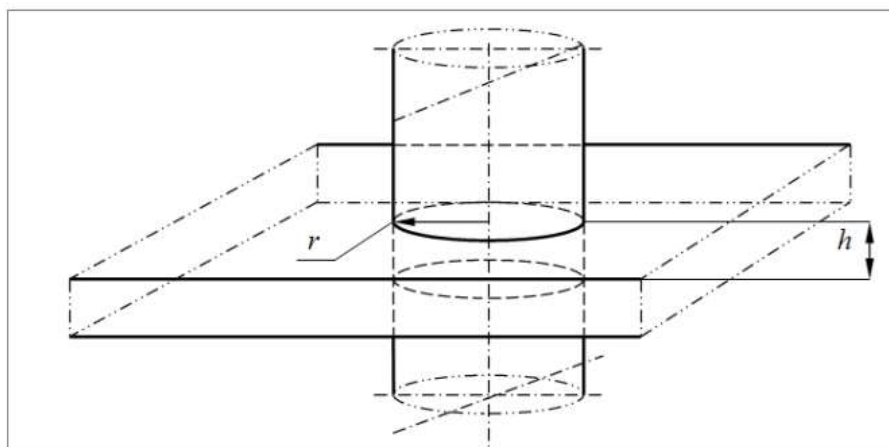


Рисунок 2.2 – Моделювання об'єктів нагрівання у мікрохвильовій печі та їх рекомендовані геометричні розміри

Об'єктом моделювання є геометричне тіло, яке складається з перетину взаємно ортогональних геометричних тіл, нескінченно довгого циліндра заданого радіуса та нескінченно довгої пластини, товщина якої дорівнює висоті циліндра (рис. 2.3).

НВЧ-випромінювання

Глибина проникнення випромінювання у продукт

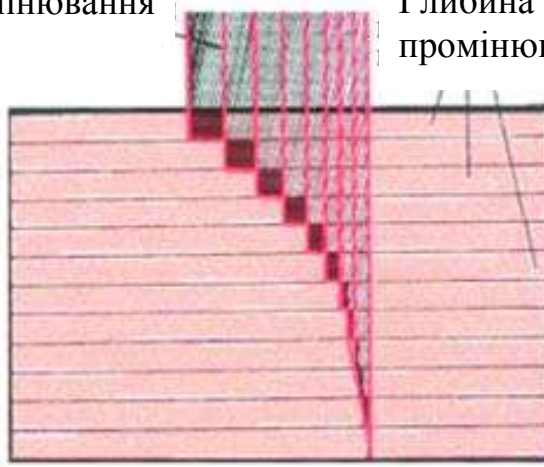


Рисунок 2.3 – Схема розподілу поглинутої потужності в об'ємі продукту

Відповідно до інформації про процес нагрівання зразка передбачається такий тепловий баланс:

$$Q_1(h) - Q_2(h) = q(h) \quad (2.1)$$

де h – товщина досліджуваного зразка; $Q_1(h)$ - кількість тепла, що виділяється в об'ємі зразка за рахунок поглинання мікрохвильової енергії; $Q_2(h)$ - кількість тепла, що передається від внутрішньої області зразка до поверхні за допомогою механізмів теплообміну і виділяється в навколишнє середовище; $q(h)$ - кількість тепла, що залишається в об'ємі зразка через падаючу мікрохвильову енергію.

Якщо вважати теплове випромінювання в зовнішнє середовище постійним і воно визначається лише складом і структурою зразка, то збільшення питомої потужності електромагнітного НВЧ призведе до збільшення залишкового тепла в об'ємі зразка. поля, якщо ні - підвищення температури. Як згадувалося вище, температура зменшується зі збільшенням відстані від джерела тепла, оскільки ми помічаємо, що електромагнітні хвилі послаблюються зі збільшенням відстані від поверхні. Фізична модель впливу НВЧ-випромінювання на діелектричні матеріали неоднорідної структури і складу наведена на рисунку 2.4.

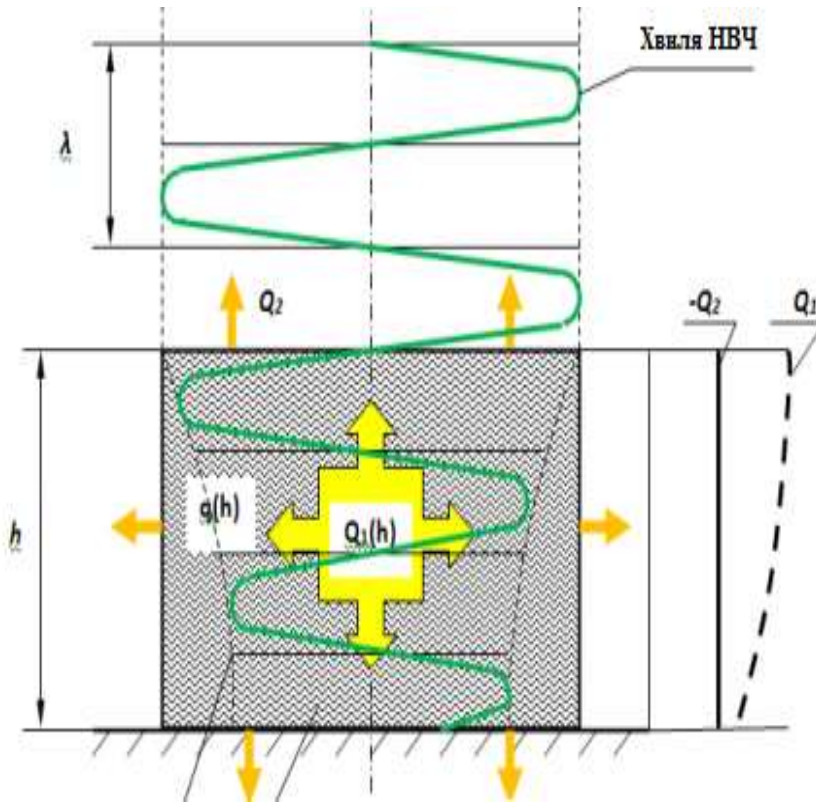


Рисунок 2.4 – Схема дії НВЧ-випромінювання на діелектричні матеріали, неоднорідні по структурі та складу

Припускаючи рівномірний розподіл частинок в об'ємі зразка, можна припустити, що: мікропори з підвищеним термічним опором перешкоджають дифузії теплового потоку в зовнішнє середовище. При використанні малих і середніх питомих потужностей мікрохвильових електромагнітних полів мікропори продукту виконують роль свого роду теплового бар'єру на шляху теплового потоку, що випромінюється від нагрітого об'єкта, тобто з внутрішньої області. Розсіювання від об'єкта до зовнішніх областей сповільнюється, а поблизу продукту частинки можуть стати дифузними через зниження інтенсивності.

Таким чином, для приведеного випадку можна записати таке рівняння теплового балансу процесу нагрівання:

$$Q_1(h) - [Q_2(h) - q_1(\Pi)] = q(h) \quad (2.2)$$

де $q_1(P)$ – кількість теплоти, яка затримується на границях порожнин (пор) в структурі зразка, пропорційне пористості матеріалу.

Згідно з цією формулою, чим більше тепла утримується в порах продукту, тим менше тепла буде виділено в оточення, тим більше буде залишкового тепла, і тим більш рівномірним буде тепловий ефект від поверхні до глибини продукту. Це врівноважує теплові ефекти та покращує якість продукту.

При використанні високих питомих потужностей характер залежності відрізняється від описаної тим, що відбувається зональне різке збільшення температури. Це може бути пов'язано з підвищенням дипольної активності мікрочастинок нуту в сильному електромагнітному полі. При зниженні потужності НВЧ електромагнітного поля у міру збільшення відстані від поверхні, енергія електромагнітних хвиль стає недостатньою і приплив додаткового тепла припиняється. Надалі починає діяти механізм, описаний вище.

При використанні високих питомих ємностей вид залежності відрізняється від описаного тим, що температура різко смугово зростає. Ймовірно, це пов'язано з підвищеною дипольною активністю мікрочастинок продукту в сильних електромагнітних полях. Коли потужність мікрохвильового електромагнітного поля зменшується від поверхні, електромагнітна хвиля вичерпує свою енергію і припиняє надходження додаткового тепла. У майбутньому запрацює вищезгаданий механізм.

2.2 Аналіз теплофізичних та електрофізичних параметрів оброблення продуктів у мікрохвильовій печі

Характер і швидкість охолодження або нагрівання залежать від теплофізичних властивостей плодів, овочів, сировини і готової з них продукції. Теплофізичні властивості плодів і овочів використовуються для розрахунку раціональних параметрів процесів приготування їжі за допомогою різних джерел енергії. В даному випадку ми вдамося до мікрохвильового нагріву.

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Ці показники повинні бути використані в подальших розрахунках для створення моделі процесу прогрівання. До них відносяться:

Насипна щільність - це маса фруктів, овочів и інших продуктів в одиниці об'єму, яка визначається його формулою:

$$P = \frac{m}{V} \text{ кг/м}^3, \quad (2.3)$$

де m – маса продукту, кг; V - об'єм фруктів, овочів чи інших продуктів, м³.

Величина цього показника залежить від сухої речовини плодів і овочів, вмісту води в тканинах і повітря. Повітря тканин наповнене киснем, вуглекислим газом і азотом і займає порівняно великий об'єм. Чим більше сухих речовин містить фрукт або овоч і чим менше в них повітря, тим щільніша маса.

Теплоємність характеризує силу зміни температури при охолодженні та нагріванні плодів і овочів. Питома теплоємність — величина, яка вказує на кількість теплоти, необхідну для нагрівання одиниці маси (кг) плодів і овочів на 1°C. Питома теплоємність розраховується за такою формулою:

$$C = \frac{Q}{m \cdot \Delta t} \text{ Дж/(кг К)}, \quad (2.4)$$

де Q - кількість теплової енергії для виконання нагріву, Дж; m - маса плодів, овочів та інших пропонованих продуктів, кг; Δt - перепад температури при нагрівання, °C.

Питома теплоємність плодів і овочів залежить від їх вологості, вмісту органічних і мінеральних речовин, структури і властивостей тканин. Існує пряма залежність між вологовмістом і питомою теплоємністю.

Теплопровідність — це кількість теплової енергії, яка протікає за одиницю часу (с) при різниці температур 1°C через поверхню 1 м² поверхні овоча чи фрукта товщиною 1 м. Розраховується за такою формулою:

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$\lambda = \frac{Q \cdot B}{S(t_1 - t_2)\tau} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К}), \quad (2.5)$$

де Q - кількість теплової енергії, Дж; B - товщина прошарку продукту, м; S - площа, через яку передається тепло у продукті, м^2 ; τ - час, с.

Абсолютне значення теплопровідності плодів і овочів залежить від вмісту в них води, температури, структури тканини і пористості.

Теплопровідність - це показник, який характеризує швидкість нагрівання або охолодження плодів і овочів. Чим вище теплопровідність, тим швидше відбувається охолодження або нагрівання фруктів і овочів. Рівень теплопровідності визначається щільністю, розміром пор і температурою фруктів або овочів.

Температуропровідність у процесі визначається за формулою:

$$d = \frac{\lambda}{C \cdot P} \quad (2.6)$$

де d - коефіцієнт температуропровідності, $\text{м}^2/\text{с}$; λ - коефіцієнт теплопровідності, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$; C - питома теплопровідність, $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$; P - щільність маси фруктів, овочів та іншої продукції, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Електричні поля впливають не тільки на фізіологічний стан фруктів і овочів, а й на вміст деяких речовин, наприклад, кислот у темних фруктових соках, які використовуються в наукових дослідженнях.

Електропровідність - це здатність фруктів або овочів проводити електричний струм. Це залежить від хімічного складу фруктів, овочів і продуктів їх переробки, вмісту води, цукрів, органічних кислот, неорганічних солей тощо, будови клітинних мембран, будови та особливостей тканин. Кожна сполука має власну провідність, яка разом становить загальну провідність фруктів і овочів. Кожен вид, різновид і сорт фруктів і овочів зі своїм особливим хімічним складом, структурою клітин і тканин має різний рівень електропровідності.

Електропровідність плодів і овочів змінюється зі зміною їх хімічного складу, структурно-механічних і електрофізичних властивостей тканин і підвищується зі збільшенням кількості вільної води і зменшенням зв'язаної.

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Швидкість приготування в мікрохвильовій печі визначається потужністю, яку може видавати магнетрон. Більшість плит сьогодні оснащені магнетронами потужністю 700-850 Вт і можуть закип'ятити 200-грамову склянку води, наприклад, за 2-3 хвилини. Тому оцінити потужність мікрохвильової печі можна простими засобами.

Приведемо формулу, що встановлює взаємозв'язок потужності та теплофізичних параметрів НВЧ-нагріву в процесі обробки продукції:

$$P = \frac{C \cdot m \cdot \Delta t}{\tau} \quad (2.7)$$

де C – питома теплоємність продукту, що обробляється (Дж/градус); m – маса продукту, що обробляється (кг); Δt – різниця температур (початок і кінець нагріву); τ – час нагріву (с).

В результаті аналізу визначено параметричну залежність теплоємності та теплопровідності і динаміку температури.

Оскільки процес мікрохвильового нагрівання діелектричних матеріалів, у тому числі досліджуваних харчових продуктів, характеризується зсувом зарядів і пов'язаних з ними молекул (поляризація з утворенням диполів) під час дії на речовину (продукт) ультразвуку, високочастотний електромагнітне поле призначене для динаміки мікрохвильових діелектричних процесів, а електрофізичні властивості уражених тіл, такі як комплексна діелектрична проникність із втратами ϵ та тангенс кута діелектричних втрат, важливі для нагрівання $\operatorname{tg} \delta$ [2].

$$\epsilon_{\kappa} = \epsilon_0 \epsilon (1 - j \cdot \operatorname{tg} \delta) \quad (2.8)$$

де ϵ - відносна діелектрична проникність матеріалів; ϵ_0 - електрична постійна; j – щільність струму магнетрона; $\operatorname{tg} \delta$ - коефіцієнт діелектричних втрат (тангенс кута втрат).

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\epsilon_1}{\epsilon} \quad (2.9)$$

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

де ε_1 - активна складова діалектичної проникності.

У той же час ослаблення електромагнітного поля всередині матеріалу (як і в інших хвильових процесах) зменшує силу його впливу зі збільшенням розмірів перерізу виробу, що призводить до нерівномірного нагріву. Відповідно до [3] оцінка рівномірності нагріву діелектрика НВЧ залежить від глибини проникнення електромагнітного поля НВЧ, що дає відстань, на якій поглинена потужність зменшується в e разів і визначається за формулою:

$$\Delta = \frac{\lambda}{\sqrt{2 \cdot \varepsilon_k (\sqrt{1 + \tan^2 \delta} - 1)}} \quad (2.10)$$

де λ - довжина хвилі, що залежить від частоти хвилі електромагнітної та властивостей матеріалу.

Експерти з енергетики розуміють, що глибина проникнення мікрохвиль – це відстань, на якій щільність потужності знижується до 37% від її значення на поверхні дорівнює 63% початкової енергії електромагнітної хвилі поглинається матеріалом і перетворюється на тепло.

Електрофізичні властивості багатьох харчових продуктів описані в [4]. Отримані дані для вивчення взяті з відповідної літератури. Ці дані будуть використані в майбутньому для визначення частот мікрохвильового електромагнітного поля, необхідних для рівномірної термічної обробки виробів стандартної товщини.

2.4 Висновки до розділу

З урахуванням зміни теплофізичних і фізико-механічних властивостей продукції в процесі діелектричного нагрівання, а також їх електрофізичних характеристик, встановлена залежність частоти НВЧ електромагнітного поля, що забезпечує підвищену рівномірність прогрівання продуктів необхідної товщини. Визначено значення притаманної потужності НВЧ електромагнітного поля для доведення температури готовності харчових продуктів при відповідній оптимальній частоті.

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

3 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ТА СХЕМИ КЕРУВАННЯ МІКРОХВИЛЬОВОЇ ПЕЧІ З ПОЛІПШЕНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

3.1 Розробка схеми керування мікрохвильової печі з поліпшеними властивостями

На основі вищевикладеного матеріалу виявлено ряд недоліків, що виникають у процесі роботи мікрохвильової печі, зокрема:

- при приготуванні їжі в робочій камері виникає велика кількість водяної пари, який після виключення духовки і зупинки вентилятора осідає на внутрішніх поверхнях і електронних компонентах, викликаючи їх прискорене старіння і передчасний вихід з ладу;

- раптова зупинка повітряного потоку, який охолоджує нагрітий в процесі роботи магнетрон, призводить до появи мікротріщин в його структурі, поступової втрати вакууму і зниження терміну служби.

На основі цього було намічено основні аспекти модернізації мікрохвильової печі з метою підвищення надійності та довговічності мікрохвильової печі.

Для цього уже існуючу схему електричну керування необхідно модернізувати шляхом інтеграції у неї наступних елементів керування:

- реле часу для продовження роботи вентилятора після спрацьовування таймера після завершення роботи мікрохвильової печі;

- датчика контролю пари у ємності мікрохвильової печі.

На рисунку 3.1 та у графічній частині бакалаврської роботи приведено додаткову схему підключення реле часу для продовження роботи вентилятора після спрацьовування таймера після завершення роботи мікрохвильової печі.

Контакти схеми L out (фаза) і N out (нейтраль) підключаються безпосередньо до відповідних клем (контактів, слідів) виходу мережевого фільтра, де мережева напруга завжди присутня.

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

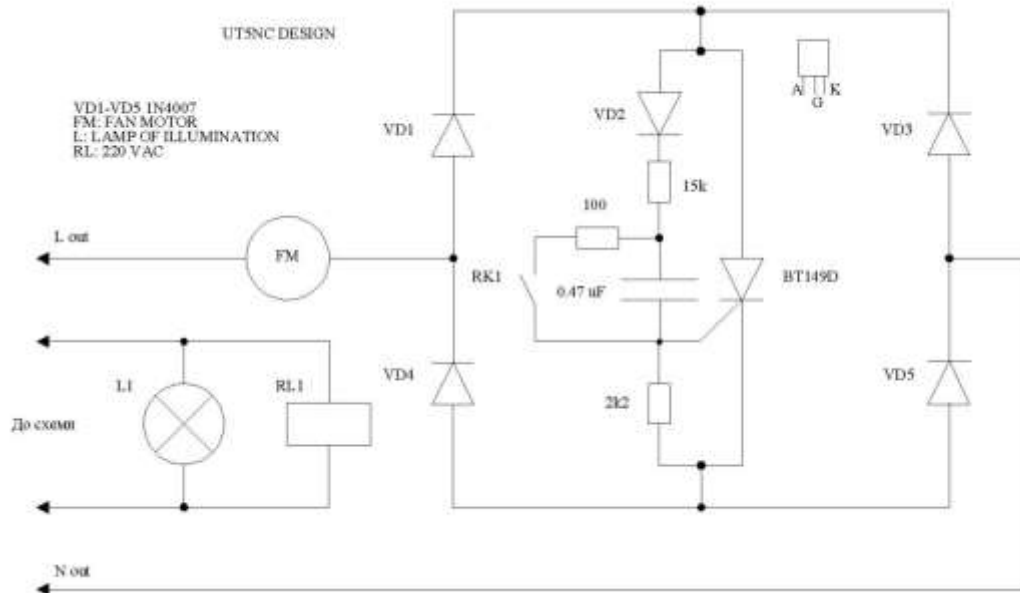


Рисунок 3.1 - Схема підключення реле часу для продовження роботи вентилятора

Реле RL1 підключається паралельно лампі освітлення. При включенні мікрохвильовки спрацьовує реле, контакт якого РК1 замикає затвор таймерного конденсатора і відкриває тиристор, шунтуючи діодний міст і подаючи напругу мережі на двигун вентилятора. Мікрохвильова піч працює в звичайному режимі.

При запуску таймера або відкритті дверей знеструмлюється ланцюг НВЧ, лампа гасне, знеструмлюється реле RL1, розмикається його контакт РК1 і починається зарядка конденсатора часозадач. Вентилятор працюватиме, доки конденсатор не зарядиться. Потім тиристор блокується і вимикається вентилятор. Конденсатор слід вибирати необхідного номіналу, який встановлює час вимкнення вентилятора на 1-2 хвилини.

Усі елементи схеми (рис. 3.1) поміщаються в будь-який вільний простір корпусу і припаюються рухомим кріпленням на контактних клемах реле, яке склеюється клеєм-герметиком. Для жорсткості використовуються додаткові контактні стійки та кріплення, монтажні дроти знаходяться високовольтній ізоляції.

У схемі використовуються діоди VD1, VD3, VD4, VD5, які можна зібрати у діодний міст. Конденсатор для встановлення додаткового часу роботи вентиля-

тора, повинен бути плівковим, типу К73 на напругу 400 В. Також можна використовувати і електролітичні резистори потужністю 0, 125 Вт.

Для більш надійної роботи мікрохвильової печі, зниження зовнішнього випромінювання і проникнення радіоперешкод в електромережу необхідно дотримуватися фазування мережевої вилки, нейтральна клема N якої повинна бути включена у відповідну нейтральну розетку стаціонарної розетки або носія.

Дана схема може працювати і в інших пристроях, де потрібна тимчасова затримка від декількох секунд до декількох хвилин, з тимчасовою нестабільністю не більше 10% і навантаженням як струменевого (двигуни, реле), так і активного (лампи, обігрівачі) типу.

Для поліпшення роботи мікрохвильової печі, збільшення її довговічності та працездатності у існуючі схему мікрохвильової печі інтегровано схему підключення датчика контролю пари у ємності мікрохвильової печі. Датчик контролю буде фіксувати наявність пари у ємності, а елементи, що входять у схему керування будуть здійснювати включення та виключення вентилятора для додаткового обдуву і виведення пари з ємності печі. Схема підключення датчика пари показана на рисунку 3.2.

Дана схема працює наступним чином. Термореле завжди очікує натискання кнопки S2, вона буде замикатися одразу, як ми виберемо режим приготування в мікрохвильові печі або повернемо важіль таймера тим самим активуючи цим самим кнопку. Коли кнопка закрита, генерується імпульс струму, який подається на вхід лічильника Т-тригера DA1 (контакт 3) для переходу зі стану 0 у стан 1 (контакт 1). При цьому відкривається транзистор VT2, активуючи реле, контакти якого вмикають мікрохвильову піч до мережі.

Після закінчення процесу приготування необхідно, щоб усіх елементи припинили свою роботу, а тільки вентилятор на обдув продовжував працювати до повного видалення пари з ємності камери печі.

При надлишкові парі в ємності - пар, що випаровується з поверхні продуктів по паропроводу (передбачено конструкцією даного датчика), надходить в терморезистор R3 з негативним температурним коефіцієнтом.

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Це призводить до зниження його опору, що в свою чергу відкриває транзистор VT1. Позитивна напруга від випромінювача VT1 надходить на вхід уставки R (контакт 4) тригера, що призводить до його скидання. Тригер перемикається в стан 0, піч перестає працювати, а вентилятор обдуву вмикається до повного видалення пари. Ланцюг затримки C4-R7 також підключається до входу R, утворюючи майже двосекундний імпульс скидання в початковий момент, коли ланцюг отримує живлення. Це необхідно для утримання спускового гачка в нульовому стані до тих пір, поки всі перехідні процеси не будуть завершені при включенні мікрохвильовки. Для запобігання відскоку контактів S2 в ланцюг вводиться ланцюг C5-R8, завдяки якій на рахунковий вхід тригера надходять чіткі одиночні імпульси і запобігають множинні швидкі спрацьовування

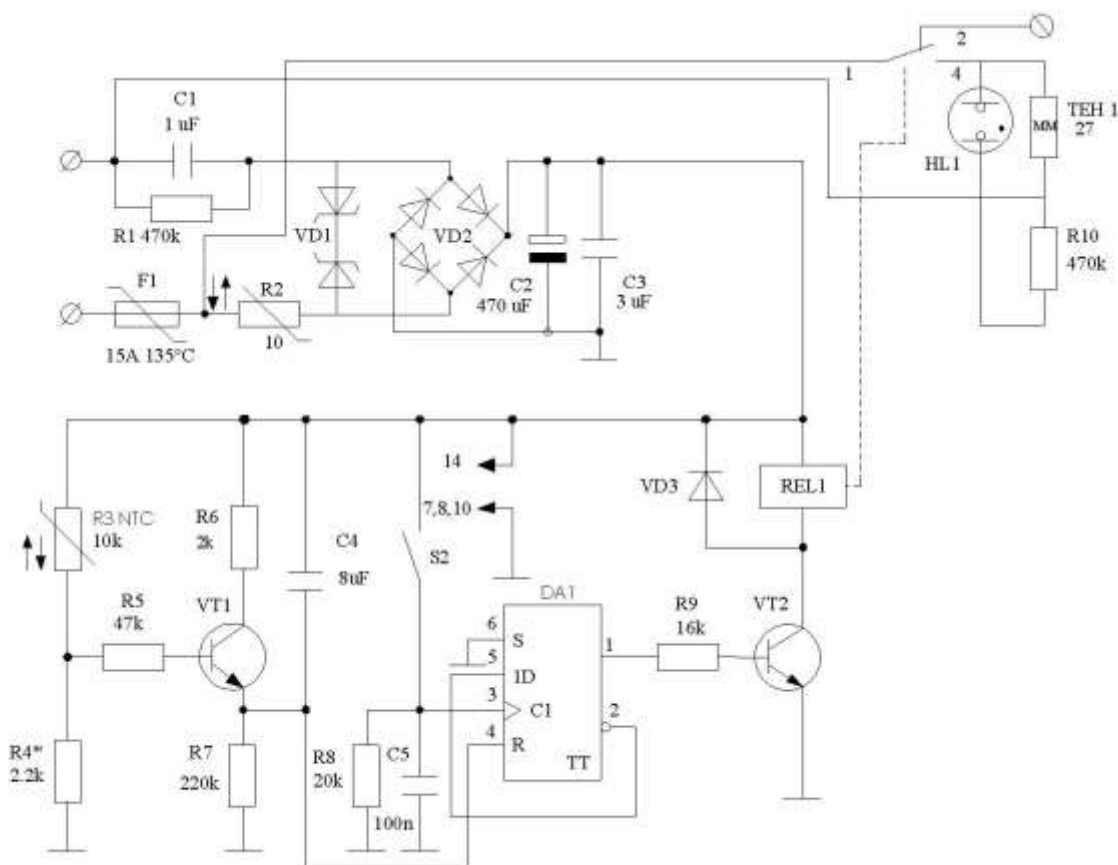


Рисунок 3.2 - Схема підключення датчика пари

Процес регулювання зводиться до підбору опору резистора R4. Це здійсню-

						БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата			

ється наступним чином. Замість R4 підключається змінний резистор з опором 10 кОм, а терморезистор R3 опускається в місце з максимальною концентрацією пари. Змінний резистор відкручується до максимального опору. Потім переводимо тригер в єдиний стан, реле повинно замикати контакти без навантаження і поступово знижувати опір змінного резистора. Як тільки реле вимкнеться (спусковий гачок скинеться), вимірюємо опір змінного резистора. Отримане значення - для температури 100 ° С. А якщо пар інтенсивно виділяється, ще не факт, що його температура становить 100 ° С. При низькому атмосферному тиску, наприклад, високо над рівнем моря, пароутворення буде відбуватись при 70-80 ° С. Тому збільшуємо отримане значення опору на 300 Ом і припаємо найближчий постійний резистор. Таким чином, поріг роботи реле знижується приблизно до 85 ° С (спусковий гачок скинеться, як тільки датчик нагріється до 85 ° С, це означає, пар вже інтенсивно виділяється, тепло передається по паропроводу на датчик і швидко нагріває його. У будь-якому випадку рекомендую орієнтуватися на пароутворення. Можна спробувати підключити датчик, наприклад, до корпусу мікрохвильовки, але через теплової інерції прилад не буде достовірно визначати момент інтенсивного пароутворення, якщо мало – відключення не буде. Є можливість відрегулювати датчик на більш низьку робочу температуру реле, а при її досягненні включити таймер затримки, який через кілька секунд вимкне піч.

Живлення ланцюга здійснюється постійним струмом напругою 15В. Живлення проводиться за безтрансформаторною схемою з гасить конденсатором С1. Амплітуда напруги обмежена симетричним придушувачем (захисним діодом) до 16В і подається на випрямний міст VD2, на якому падає з 0,5 до 1В. В результаті отримуємо напругу 15-15,5В на конденсаторі С2. Варто відзначити, що при спрацьовуванні реле напруга на виході блоку живлення «просідає» на 5В, аж до 10,5В, але на роботу пристрою це ніяк не впливає і цілком достатньо для надійного утримання контактів реле. На вході теплового реле обов'язково потрібно встановити термозапобіжник F1 з температурою перегорання 130-140 °С.

Тепловий запобіжник - розриває ланцюг при досягненні певної температури, запобіжник розриває ланцюг при досягненні певного струму, це не одне і те ж.

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

При складанні пристрою потрібна максимальна точність при виготовленні і монтажі, використання виключно якісних електронних компонентів, розрахованих на високі температури. Неприпустимо використовувати легкоплавкі припої для пайки і лудіння друкованої плати. Також будьте гранично уважні при налаштуванні пристрою, щоб уникнути ураження електричним струмом. У цій схемі використовується безтрансформаторний блок живлення і різниця потенціалів між будь-якою деталлю пристрою і заземленням практично дорівнює амплітудній напрузі електромережі. У схемі використовуються радіоелементи в SMD виконанні. Розмір всіх деталей SMD - 1206. неполярні конденсатори - керамічні, SMD, можна використати з несправної материнської плати комп'ютера. Також отримати SMD-транзистор VT1 зі структурою NPN. До комплекту елементів входить терморезистор R2, призначення якого - обмеження стрибків струму в момент зарядки конденсатора. Не рекомендується використовувати плівкові або дротяні резистори, з часом вони пробираються між витками і починають підгорати.. Опір резистора R2 - до 50 Ом. Транзистор VT2 - з коефіцієнтом посилення не менше 200, інакше реле не буде спрацьовувати. Можливе використання композитного або польового транзистора.

Елементи схеми F1, C1, R1, HL1, R10, R3, S2, REL1 розміщуються зовні друкованої плати та розташовуються в будь-якому зручному місці корпусу мікрохвильової печі, бажано якомога далі від магнетрона.

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

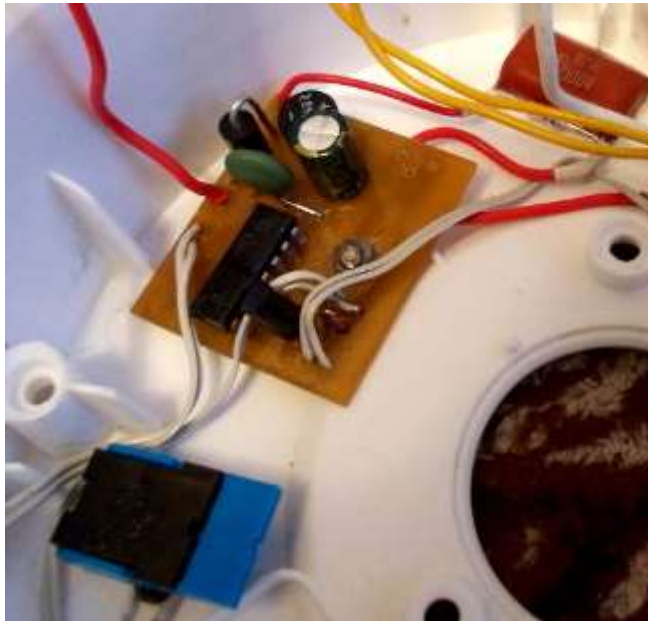


Рисунок 3.3 – Плата підключення датчика пари

Термозапобіжник припаюється безпосередньо до контактів нагрівача і найкраще закріплюється силіконовим клеєм-герметиком для фіксації інших елементів. Після затвердіння він перетворюється на каучук і може витримувати високі температури до 180°C. На друкованій платі достатньо місця для гвинтових з'єднань.

Після складання всі сторони друкованої плати необхідно покрити двома шарами фарби, дати висохнути, а потім нанести другий шар. Використовуйте дроти з показником ізоляції 105°C або вище. Провід для кнопки S2, реле живлення і термістора R3 можна використати кабель IDE 40. Потрібна досить товста (300В) і термостійка (105С) ізоляція.

Після того, як всі компоненти конструкції закріплені всередині мікрохвильової, їх необхідно додатково утеплити скловолокном або іншим негорючим матеріалом з високою температурою плавлення (добре підходить кевлар, можна знайти в старих рукавичках зварювальника). Датчики температури також повинні бути ретельно захищені. Припаяти дроти термозбіжною трубкою, змочити датчик лаком і висушити, прикласти термозбіжну трубку до контактів, нагріти до затягування, потім знову змочити датчик в лаку і висушити.

Принципова схема мікрохвильової печі складається з керуючої та виконав-

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

До складу цього ланцюга входить: високовольтний трансформатор (HVTransformer) (рис. 3.4). Через нього має проходити струм, напруга та генеруватись потужність в 1500 – 2000 Вт (1,5 – 2 кВт), необхідних для магнетрона. Вихідна ж (корисна) потужність магнетрона 500 – 850 Вт.

До первинної обмотки трансформатора підводиться змінна напруга мережі 220В. З одної із вторинних обмоток знімається перемінна напруга напруження 3,15В. Воно підводиться до обмотки накаливання магнетрона. Обмотка накаливання необхідна для генерації (емісії) електронів. Варто відзначити, що струм, споживаний цієї обмоткою, може досягати 10А.

Інша вторинна обмотка високовольтного трансформатора, схема подвоєння напруги на високовольтному конденсаторі (HVCapacitor) та діод (HV Diode) створює постійну високу напругу в 4кВ для живлення анода магнетрона. Струм анода невеликий і складає десь 300 мА (0,3А).

У результаті електрони, емітовані обмоткою накаливання, починають свій рух у вакуумі. Особлива траєкторія руху електронів усередині магнетрона створює НВЧ-випромінювання, яке і потрібно нам для нагрівання та приготування продуктів. НВЧ-випромінювання відводиться з магнетрона за допомогою антени і надходить у камеру через відрізок прямокутного хвилеводу. Схема є певним НВЧ-нагрівачем. Сама камера мікрохвильової печі є елементом даного НВЧ-нагрівача, оскільки представляє, по суті, резонатор, в якому виникає електромагнітне випромінювання.

3.2 Розробка конструкції та підбір елементів мікрохвильової печі з поліпшеними властивостями

За прототип для модернізації взято побутову мікрохвильову піч стандартного ряду фірми Samsung.

Конструктивно мікрохвильова піч складається з металевої камери, в якій відбувається процес нагрівання та приготування їжі (рис. 3.5).

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Камера мікрохвильової печі у своїй конструкції має дверцятами (рис. 3.7), які не дозволяють випромінюванню вийти назовні.

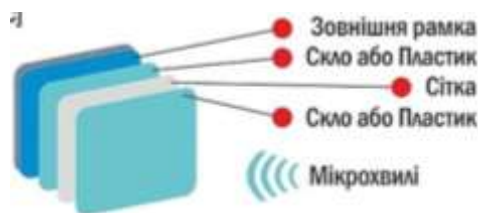


Рисунок 3.7 – Конструкції дверей мікрохвильової печі.

Для рівномірного розігріву страви в камеру встановлюється поворотний стіл, який приводиться в рух редуктором (двигуном) скорочено ТТMotor (Turntable Motor).

Щоб рівномірно нагріти їжу, потрібно використовувати дисектор у верхній частині мікрохвильової печі. Дисектор виглядає схожим на вентилятор, але призначений для створення певного типу мікрохвиль у камері, щоб їжа рівномірно нагрівалася.

Для вирішення цієї проблеми використовуються два підходи: використання металевих дисекторів. З піддоном, що обертається. На малюнку 3.8 показано дисектор, розміщений поблизу місця, де мікрохвильова енергія вводиться в камеру печі.

Металеві лопаті дисектора обертаються на стику хвилеводу магнетрона і камери печі. Лопаті дисектора мають різні розміри, і кожна взаємодіє з полем у хвилеводі, постійно змінюючи спектр електромагнітних коливань і таким чином змінюючи структуру поля всередині камери печі. При цьому, звичайно, постійно змінюються і без того неідеальні умови пристосування магнетрона до камери печі, що призводить до зниження ККД печі і додаткового нагріву магнетрона.

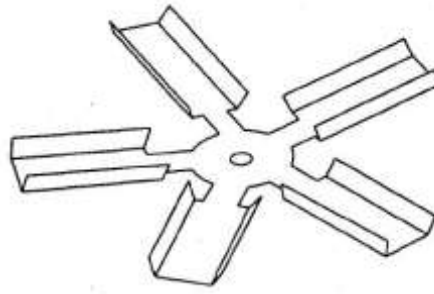


Рисунок 3.8 – Металевий дисектор

Інший механізм вирівнює температуру страви, коли включена тарілка для їжі у мікрохвильовій печі. Загалом, приготовані страви неоднорідні за структурою і розташовуються на підносі асиметрично. Тому під час обертання печі поле різних коливальних режимів, що існують в камері печі, стрибкоподібно змінюється.. Навіть у центрі обертання виробу напруга електромагнітного поля постійно змінюється. Це призводить до більш рівномірного нагріву та вищого ККД печі, ніж при використанні дисекторів. З цієї причини більшість мікрохвильових печей зарубіжного виробництва не використовують дисектор і використовують обертовий піддон.

Основним компонентом мікрохвильової печі є магнетрон. Магнетрон - це спеціальна вакуумна лампа, що створює мікрохвильове випромінювання. Мікрохвильове випромінювання має дуже цікавий вплив на просту воду в усіх харчових продуктах (рис. 3.9).

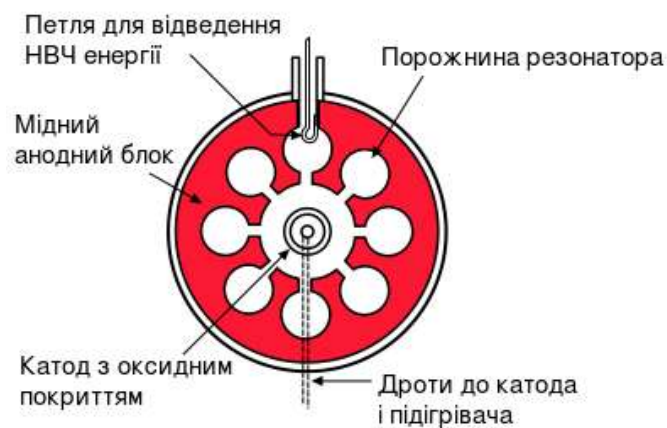


Рисунок 3.9 – Будова резонансного магнетрона

Мікрохвильове випромінювання генерується магнетроном і подається на камеру через прямокутний хвилевід. Потужність магнетрона регулюється від 50 до 900 Вт.

Для охолодження магнетрона під час роботи використовується вентилятор FM (мотор вентилятора), який нагнітає холодне повітря на магнетрон. Потім він нагрівається потоком повітря від магнетрона, через повітропровід потрапляє в камеру, а також використовується для розігріву їжі. Частина нагрітого повітря і водяної пари виходить назовні через спеціальні невипромінювальні отвори.

Традиційно, магнетрони використовуються як мікрохвильові генератори в побутових мікрохвильових печах як відносно недорогі, але потужні мікрохвильові пристрої. Проблема, однак, полягає в тому, що при різних обсягах і різних видах їжі параметри духової камери істотно змінюються в залежності від навантаження на магнетрон. У такому широкому діапазоні варіацій навантаження виявляється практично неможливим добре узгодити магнетрони (у сенсі підтримки високої ефективності мікрохвильової схеми у всьому діапазоні навантажень). Тому між магнетроном і камерою печі встановлюють хвилевід — пристрій, що поширює електромагнітні хвилі певного типу і діапазону частот.

Набагато простіше належним чином (з мінімальними втратами потужності) під'єднати магнетрон до хвилеводу, а потім під'єднати хвилевід до камери печі, ніж під'єднати магнетрон безпосередньо до камери мікрохвильової печі. Однак підібрати магнетрон до хвилеводу і камері печі так, щоб відображення мікрохвильової енергії було в допустимих межах (до 30%) як при повному навантаженні, так і при порожній камері, поки неможливо. Тому завжди вказується мінімальне навантаження печі, зазвичай не менше 0,2 ... 0,3 кг.

Хвилевід, який використовується між магнетроном і мікрохвильовою камерою, зазвичай є секцією прямокутної або круглої труби. Стінки хвилеводів (особливо довгих) іноді ретельно полірують або покривають сріблом, щоб зменшити втрати енергії. Як відомо, коаксіальний кабель також можна використовувати для передачі електромагнітної енергії. Різниця в роботі між коаксіальними кабелями та хвилеводами означає, що в коаксіальних кабелях втрати збільшуються зі збільшенням частоти, тоді як хвилеводи працюють лише на частотах, вищих за певну так звану критичну частоту. Ця частота чітко визначається геометричними ро-

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

змірами хвилеводу. Щоб хвилевід проводив мікрохвильову енергію, один із розмірів його поперечного перерізу має бути (з наближенням першого порядку) більшим за половину довжини хвилі, що надходить у хвилевід.

Крім цих елементів, в мікрохвильових схемах є багато захисних елементів. Наприклад, термодеремікач контролює температуру магнетрона. Стандартна робоча температура становить близько 800-1000°C. Цей термовимикач кріпиться до магнетрона.

Додаткові теплові вимикачі (рис. 3.10) позначені на схемі як «термічний вимикач мікрохвильової печі» (приєднується до повітроводу) і «термічний вимикач гриля» (регулює температуру гриля). Коли виникає нестандартна ситуація і магнетрон перегрівається, термовимикач розмикає ланцюг і магнетрон перестає працювати. При цьому термовимикачі підбираються з невеликим запасом з температурою відключення 120-145 ° С.

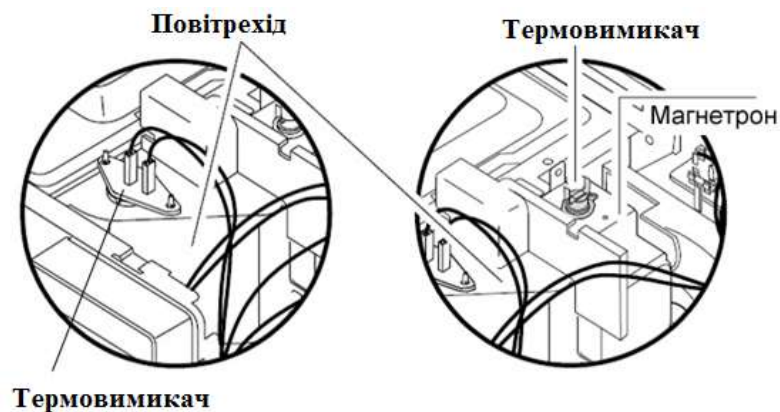


Рисунок 3.10 - Схеми розміщення термовимикачів у корпусі печі

Важливими елементами мікрохвильової печі є три перемикачі, що вмонтовані у правий торець камери мікрохвильової печі (рис. 3.11).

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.11 – Перемикач

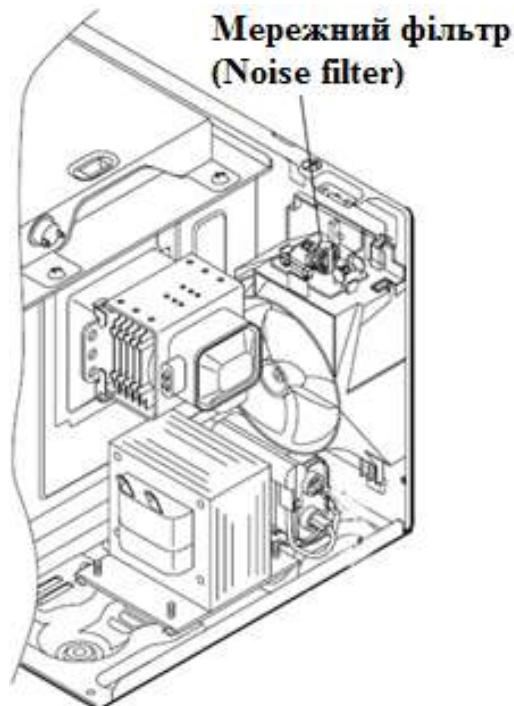


Рисунок 3.12 - Мережевий фільтр

Два вимикачі (первинний вимикач, вторинний вимикач) замикають свої контакти, коли входні двері закриті. Третій моніторний перемикач (перемикач керування) має контакти, які розмикаються, коли двері закриті. Якщо хоча б один з цих перемикачів вийде з ладу, мікрохвильова піч не буде працювати або перегорить запобіжник (запобіжник). Мережевий фільтр-перешкоди (рис. 3.12) необхідний для зменшення перешкод, що надходять в мережеве живлення під час роботи мікрохвильової печі.

Для більшої наочності розробки дослідної установки наведено графічну схему мікрохвильової печі в програмі SolidWorks (рисунок 3.13).

Підбір вентилятора для додаткового обдуву магнетрона та видалення пари з ємності мікрохвильової печі

Практично всі моделі сучасних мікрохвильових печей мають стандартну функцію конвекції. Для таких пристроїв характерна наявність спеціального вентилятора. Завданням цього пристрою є циркуляція потоків теплого повітря всередині печі, що дає можливість прискорення розігріву продуктів.

Ця опція дозволяє додати універсальність мікрохвильової печі, а також суттєво прискорити процес нагрівання страв. Зручне рішення, яке дає додаткові переваги в печі. Крім того, вентилятор здійснює обдування магнетрону та грилю. Тому дуже важливо стежити за справністю цього елемента в мікрохвильовій печі.

Завданням витяжного вентилятора для пристроїв, зокрема для нашої мікрохвильової печі є ефективно видалення повітря з нормативної кратністю, тобто за одиницю часу весь об'єм повітря повинен кілька разів оновитися.

Цим сумарним об'ємом визначається витрата повітря, м³/год - основна характеристика вентилятора. Зазвичай при розрахунках враховують не тільки норми повітрообміну, але і запас по продуктивності, що враховує місцеві опори (вигини повітроводів, довжину фільтри, тощо).

Продуктивність вентилятора для видалення пари визначається за формулою:

$$L = V \cdot k, \quad (3.1)$$

де L – продуктивність вентилятора, м³/год; V – об'єм мікрохвильової печі, м³; $V = 20$ літрів або $0,02$ м³; k – кратність повітрообміну. Для якісного повітрообміну і повного видалення пари із ємності печі приймає коефіцієнт повітрообміну $k = 4$.

$$L = 0,02 \cdot 4 = 0,08 \text{ м}^3/\text{год.}$$

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

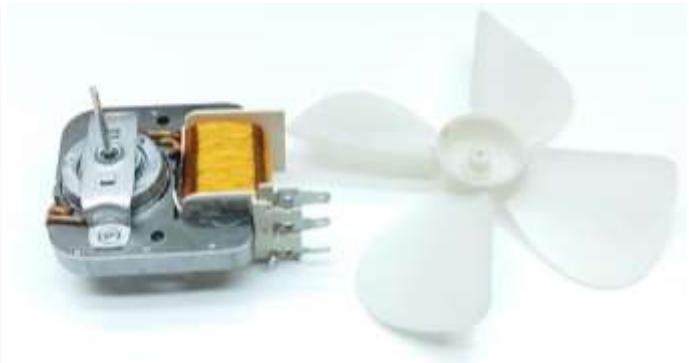
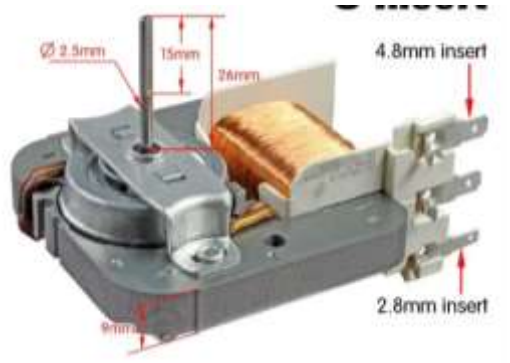


Рисунок - Загальний вигляд вентилятора із двигуном

Із стандартного ряду [16] вибираємо вентилятор обдування для мікрохвильової печі Alragi MWO-2070118 MWO-2070120. Діаметр колеса вентилятора 110мм.

3.3 Висновки до розділу

В даному розділі було розроблено конструкцію та схеми керування мікрохвильової печі з поліпшеними властивостями. Приведено схеми підключення схеми керування для додаткового обдуву ємності мікрохвильової печі в процесі роботи. Розроблено схему підключення датчика пари з метою контролю її кількості у ємності мікрохвильової печі.

Здійснено підбір вентилятора для додаткового обдуву магнетрона та видалення пари з ємності мікрохвильової печі.

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

В даній бакалаврській роботі розглянуто особливості взаємодії НВЧ-енергії з харчовою сировиною, представлено технологічні аспекти застосування НВЧ-обробки та устаткування, яке для цього використовується.

В результаті бакалаврської роботи було зроблено наступне:

1) Розроблено додаткові схеми для модернізації електричної схеми даної мікрохвильової печі, яка полягає в продовженні роботи вентилятора після спрацьовування таймера, протягом часу, достатнього для вентиляції внутрішньої камери і охолодження магнетрона.

2) Підібрано датчик контролю пари у ємності мікрохвильової печі та інтегровано його у існуючі схему мікрохвильової печі.

3) Розроблено конструктивну модель мікрохвильової печі з поліпшеними властивостями і інтегруванням у неї додаткових пристроїв для поліпшення її конструкції та підвищення працездатності та довговчності.

4) Підібрано необхідні додаткові складові (вентилятор) для інтенсивнішого повітрообміну та видалення пари із ємності мікрохвильової печі.

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Архангельский, Ю. С. Багаточастотні установки НВЧ діалектичного нагрівання / Ю.С.Архангельський, Е.М.Гришина //Питання електротехнологій. – 2014. - № 2. – С. 59-63. 153 10.
2. Афіногенов, В. И. Моделювання НВЧ нагрівання діелектрика рухомим випромінювачем / В.И.Анфіногенов, Т.К.Гараєв, Г.А.Морозов // Електронне приладобудування. Науково-практичний збірник. – 2003. - № 1(29). – с. 114-117.
3. Ільницький Л.Я., Сібрук Л.В., Щербина О.А. «Пристрої надвисоких частот та антени»: Навч. посібник. – К: НАУ, 2013.
4. Поплавко Ю.М., Переверзева Л.П., Воронов С.О., Якименко Ю.І. Фізичне матеріалознавство. К.: НТУУ «КПІ», 2007. – Частина 2. Діелектрики. 392 с
5. Теорія електромагнітного поля і основи техніки НВЧ: Навч. посіб. / С.В. Соколов, Л.Д. Писаренко, В.О. Журба; за заг. ред. Г.С. Воробйова. – Суми : Сумський державний університет. 2011. – 393 с.
6. ДСанПіН 3.3.6.096-2002 Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів.
7. ДСТУ 2815–94 "Електричні й магнітні кола та пристрої. Терміни і визначення".
8. Мелков Г. А., Прокопенко О. В. Мікрохвильова електродинаміка та електроніка: Навчальний посібник. – 2-е вид., перероб. та доп. – К.: Факультет радіофізики, електроніки та комп'ютерних систем Київського національного університету імені Тараса Шевченка, 2017. – 272 с.
9. Стоянов А.В. Плоди і овочі — невід'ємний компонент їжі / А.В. Стоянов //Харчова і переробна промисловість. — 2001. — № 8. — С. 8 – 10.
10. Пузік Л.М. Наукове обґрунтування та розробка заходів продовження строків споживання плодів гарбузових рослин: дисертація на здобуття наукового ступеня д. с. - г. н. / Пузік Людмила Михайлівна. - Харків, 2010. - с. 221–232.
11. Іванченко В.И., Модонкаєва А.Э., Ялпачик В.Ф., Стручаєв К.Н., Загорко

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Н.П. Визначення коефіцієнта теплопровідності плодоовочевої продукції при заморожуванні // Зберігання та переробка сільгоспродукції. - 2001. - № 12. - с.24–25.

13. Низкоінтенсивні НВЧ–технології (проблеми та реалізації) / Г.А. Морозов [та інші]. – Київ.: Радіотехніка, 2003. – 112 с.

14. Промислова електроніка. Офіційний сайт журналу. Код доступу: http://www.electronics.ru/files/article_pdf/0/article_59_323.pdf.

15. Офіційний сайт фірми Samsung. Код доступу. <http://www.samsung.com/ua/cooking-appliances>.

16. Офіційний сайт фірми «Київ-Комфорт». Код доступу <https://www.kievkomfort.com.ua/ua/info/articles/rasschitat-proizvoditelnost-ventiljatora-onlajn/>.

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Додатки

					БРМА 23.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		