

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

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

### Розробка конструкції мікрохвильової печі

Назва теми

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Шифр, назва

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Шифр, назва

Освітня програма «Електропобутова техніка»

Шифр БРМА 24.00.00.000 ПЗ


Виконав студент 3 курсу  
група ЕТс-21-2

  
Підпис

В.Ю. Прокопенко

Ініціали, прізвище


Керівник

  
Підпис, дата

В.С. Неймак

Ініціали, прізвище

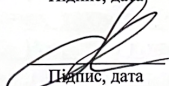
Нормоконтролер

  
Підпис, дата

С.І. Пучиняк

Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

  
Підпис, дата

О.С. Поліщук

Ініціали, прізвище

Зав. кафедри МАЕЕС

11 06 2024 р.

Хмельницький 2024

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

Освітній рівень бакалавр

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Шифр і назва

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Шифр і назва

Освітня програма Електропобутова техніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС

д.т.н., проф. Поліщук О.С.

11 06 .2024р.

ЗАВДАННЯ

НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Прокопенко Володимир Юрійович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка конструкції мікрохвильової печі

керівник роботи Неймак Віталій Станіславович, к.т.н., доцент

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

Затверджено наказом ректора університету від 15 02 2024 р. № 8

2. Строк подання студентом роботи на кафедру

3. Вихідні дані до роботи технічні характеристики мікрохвильових печей

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

Вступ. 1. Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень із тематики бакалаврської роботи. 2. Розробка конструкції мікрохвильової печі. 3. Розрахунок елементів конструкції мікрохвильової печі. Перелік джерел посилення.

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

1. Мікрохвильові печі (ДО, А1). 2. Процеси нагріву продуктів (ДТ, А1). 3. Мікрохвильова піч (ЕЗ, А1). 4 Блок керування (ЕЗ, А1). 5. Мікрохвильова піч LG MS-4042 G (ДІ, А1).

### 6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи


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

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

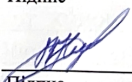
| Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи   | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|--|-------------------------------|----------|
| 1. Огляд та аналіз існуючих із технологічних та технічних рішень тематики бакалаврської роботи | до 20.05.24р.                 |          |
| 2. Розробка конструкції мікрохвильової печі  | до 29.05.24р.                 |          |
| 3. Розрахунок елементів конструкції мікрохвильової печі  | до 5.06.24р.                  |          |
| 4. Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу                                    | до 17.06.24р.                 |          |
|  |                               |          |
|  |                               |          |
|  |                               |          |

Студент

  
Підпис

В.Ю. Прокопенко  
Ініціали, прізвище

Керівник роботи

  
Підпис

В.С. Неймак  
Ініціали, прізвище

# АНОТАЦІЯ

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

1. Прізвище, ім'я та по батькові Прокопенко Володимир Юрійович

2. Тема бакалаврської роботи Розробка конструкції мікрохвильової печі

3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента \_\_\_\_\_

4. Об'єм бакалаврської роботи: креслень 5 арк., сторінок записки 70

5. Технологічна обробка всіляких об'єктів майже завжди містить у собі термообробку й у першу чергу нагрівання або сушіння. При традиційних способах нагрівання й сушіння (конвективному, радіаційному і контактному) нагрівання об'єкта відбувається по поверхні. Якщо теплопровідність об'єкта низка, що має місце в діелектриків, то термообробка об'єкта відбувається повільно, з локальним перегрівом поверхні нагрівання, отчого можливе підгоряння цієї поверхні, виникнення внутрішніх механічних напруг. Все це в остаточному підсумку може привести до виходу об'єкта з ладу. Саме на вирішення вказаної проблеми направлена дана бакалаврська робота. В розрахунково-пояснювальній записці наведено всі необхідні розробки, а також розділи, що відповідають встановленим вимогам. В першому розділі проведено огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень із тематики бакалаврської роботи. В другому розділі здійснюється розробка конструкції мікрохвильової печі. В третьому розділі здійснено розрахунок елементів конструкції мікрохвильової печі.

Підпис студента [підпис]  
" 17 " 06 2024 р.

## РІШЕННЯ ЕК:

Протокол №2 від " 26 " 06 2024 р.

Оцінка проекту ЕК добре / С  
Рекомендації ЕК \_\_\_\_\_

Особливі відмітки \_\_\_\_\_  
Технічний секретар [підпис]



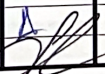
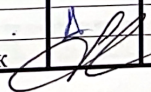
" 26 " 06 2024 р.

## ЗМІСТ

с.

|  |    |
|--|----|
| Вступ.....   | 5  |
| 1. Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень із тематики бакалаврської роботи .....               | 7  |
| 1.1 Патентний огляд конструкцій мікрохвильових печей .....   | 7  |
| 1.2 Аналіз систем керування НВЧ-печей .....  | 23 |
| Висновки до першого розділу .....  | 26 |
| 2 Розробка конструкції мікрохвильової печі .....   | 28 |
| 2.1 Опис технологічного процесу та особливостей обробки продуктів харчування в побутовій мікрохвильовій печі ..... | 28 |
| 2.2 Розробка принципової схеми керування мікрохвильової печі .....   | 34 |
| 2.3 Розробка електричної схеми керування мікрохвильової печі .....   | 35 |
| 2.4 Вибір елементів схеми керування мікрохвильової печі .....  | 37 |
| Висновки до другого розділу .....  | 42 |
| 3 Розрахунок елементів конструкції мікрохвильової печі .....   | 43 |
| 3.1 Розрахунок потужності споживання блоку керування .....   | 43 |
| 3.2 Розрахунок трансформатора .....  | 45 |
| 3.3 Розрахунок основних параметрів мікрохвильової печі .....   | 48 |
| Висновки до третього розділу .....   | 65 |
| Загальні висновки .....  | 66 |
| Перелік джерел посилання .....   | 67 |
| Додаток А  |    |

БРМА 24.00.00.000 ПЗ

| Зм.      | Арк. | №докум.    | Підпис  | Дата |  |        |       |         |
|----------|------|------------|---|------|--|--------|-------|---------|
| Виконав  |      | Прокопенко |  |      | Розробка конструкції<br>мікрохвильової<br>печі | Літера | Арквш | Арквшів |
| Перевір. |      | Неймак     |  |      |  |        | 4     | 70      |
| Н.контр. |      |            |  |      | ХНУ, гр.ЕТс-21-2                               |        |       |         |
| Затвер.  |      | Поліщук    |  |      |  |        |       |         |

## ВСТУП

Постійне зростання рівня життя викликає великий попит на товари особистого користування (одяг, взуття, трикотаж), предмети домашнього вжитку (різна побутова техніка, верстати, пристосування для дому). Тому повне задоволення потреб населення в споживчих товарах, включаючи побутову техніку і верстати, є одним з найважливіших факторів підвищення рівня життя людей.

Технічна обробка різних об'єктів найчастіше передбачає термічну обробку, і в першу чергу нагрівання або сушку.

При традиційних методах нагрівання та сушіння (конвекція, випромінювання та контакт) предмети нагріваються на поверхні. Якщо теплопровідність об'єкта являє собою послідовність, яка виникає в діелектрику, то термообробка об'єкта відбувається повільно, і через локального перегріву поверхні нагріву ця поверхня може обгорати, що призводить до виникнення внутрішнього механічного напруження. Все це в кінцевому підсумку може привести до поломки приміщення.

Надвисока частота-це нагрівання об'єкта енергією електромагнітного поля надвисокої частоти. Електромагнітні хвилі, що проникають в об'єкт, взаємодіють із зарядженими частинками. Таке поєднання мікроскопічних процесів призводить до поглинання енергії поля в об'єкті. Повний опис ефекту можна отримати тільки за допомогою квантової теорії.

Завдання дипломної роботи бакалавра:

- Аналіз конструкції і типів сучасних мікрохвильових печей і систем їх управління;
- Огляд технологічного процесу обробки продуктів мікрохвильовим випромінюванням;

|     |      |         |        |      |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |         |        |      | БРМА 24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|     |      |         |        |      |                      | 5    |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |                      |      |

- Розробка структурної схеми мікрохвильової печі;
- Розробка мікрохвильових печей і підбір електричних схем управління та їх елементів;
- Розрахунок СВЧ-елементів;
- Проведення експериментальних досліджень.

|     |      |         |        |      |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |         |        |      | БРМА 24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |                      | 6    |

# 1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ІЗ ТЕМАТИКИ БАКАЛАВРСЬКОЇ РОБОТИ

## 1.1 Патентний огляд конструкцій мікрохвильових печей

Основним завданням [6] цього винаходу є підвищення ефективності роботи пристрою і рівномірності розподілу енергії мікрохвильового поля в нагрівальній камері. Це мікрохвильова піч, пристрій для теплової обробки харчових продуктів енергією СВЧ-поля, яке включає в себе камеру нагріву, СВЧ-генератор і електронний блок з підключеним до нього модулем збудження камери нагріву, являє собою антену поля кругової поляризації з випромінювачем у вигляді круглого металевого диска, корпус якого виконаний у вигляді лотка, уздовж якого він нерозривно з'єднаний з металевим каркасом і закріплений в електричному контакті з бічними стінками камери. Згідно з цим винаходом, модуль збудження використовується в пристрої для теплової обробки харчових продуктів енергією мікрохвильового електричного поля, він являє собою лінію з 2 антен однакового діапазону з випромінювачами у вигляді круглого металевого диска і коаксіальним входом, збуджує електромагнітні хвилі з круговою поляризацією світла в камері, перетворює на рівновіддаленою і встановленої всередині нагрівальної камери бічній стінці нагрівальної камери поздовжня вісь симетрії лінійки 2-смугової антени збігається з прямою лінією на поверхні бічної стінки камери., Паралельна поверхні нижньої стінки, що лежить на відстані, рівному  $3/4$  висоти камери, а поперечна вісь симетрії лінійки 2-смугової антени збігається з поперечною віссю симетрії бічної стінки.Смугова антена підключена до коаксіальних плечей I і II з двома T-подібними перемичками, до плеча III, до якого підключений СВЧ-генератор, і до плеча IV-контурного трансформатора.Осі

|     |      |         |        |      |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |         |        |      | БРМА 24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|     |      |         |        |      |                      | 7    |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |                      |      |



коаксіальним сегментом плечей I і II 2-ма T-подібними перемичками, 2-ма T-подібними перемичками на зовнішній поверхні бічної стінки міцної камери механічного кріплення, і смугова антена на внутрішній поверхні бічної стінки камери  $\pi$ -на. Мікрохвильова камера електричними контактами прикріплена до корпусу електронів, механічне з'єднання блоку в єдину конструкцію здійснюється за допомогою замка, а електричне підключення схеми здійснюється за допомогою роз'єму.; Бічний відсік з коаксіальним мостом 2T закритий знімним металевим кожухом. Дверцята камери являє собою висувну металеву конструкцію, що переміщається по направляючій профільній планці, закріпленої на горизонтальному сегменті металевої рами, разом з дросельної канавкою металевої рами, утворюючи дросельний фільтр, який закриває дверцята, забезпечуючи екранування мікрохвильового поля в камері, від якості якого залежить по периметру рамки. Збільште поглиблення в електромагнітному ущільненні (рис. 1.1)..

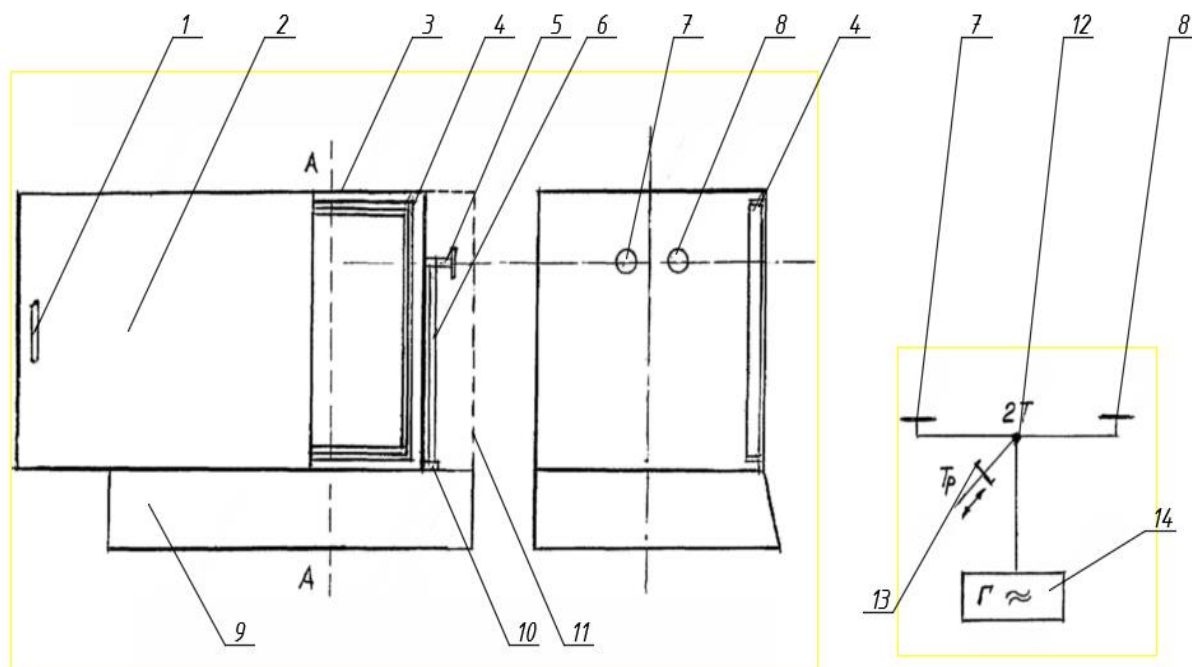


Рисунок 1.1 – Мікрохвильова піч (патент РФ № 2279768)

|     |      |         |        |      |
|-----|------|---------|--------|------|
|     |      |         |        |      |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |

БРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.  
9

Коаксіальний вхід, що випромінює випромінювання кругової поляризації, не рівновіддалений від випромінювача у вигляді металевого диска, використання коаксіального моста 2t для розподілу і подачі рівної потужності на антену від мікрохвильового генератора, гарне поєднання модуля збудження і генератора і коаксіального моста 2t для використання модуля збудження у вигляді лінійка з 2 ідентичних смугових антен забезпечує розв'язку >20 дБ між двома плечами I і II за рахунок модуляції контурного трансформатора. Крім того, вдалося домогтися помітного підвищення ефективності і рівномірності розподілу енергії мікрохвильового поля в камері нагріву, значно послабивши залежність ефективності мікрохвильової печі від обсягу, маси і розташування оброблюваного продукту в камері.

Завдяки використанню розсувних дверей і дросельної заслінки, фільтрів, вбудованих в камери порожнину, можна забезпечити високу якість стабільний екранування СВЧ-поле в камері робочої печі, який дозволяє значно зменшити вагу дверей, її виробничі витрати, в тому числі без урахування підвісу цикл від дизайну. Це був чудовий досвід.

Розподілена компоновка конструкції мікрохвильової печі, розбивка на блоки (коаксіальний тракт для передачі мікрохвильової енергії від камер, електронних блоків і генераторів до смугових антен) значно знижує виробничі витрати на одиницю продукції (більш ніж на 25%) і знижує експлуатаційні витрати на 15%.

Було проведено експериментальне дослідження камери того ж розміру і конструкції, що і пічна камера rcs10MPS виробництва американської компанії Amana.

|     |      |         |        |      |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |         |        |      | БРМА 24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|     |      |         |        |      |                      | 10   |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |                      |      |

Похибка відносного вимірювання не перевищувала  $\pm 1,5\%$ , але 2 Т-образних моста за допомогою петльових трансформаторів забезпечували розподіл потужності на 2.

З'єднання 2-х т-подібних мостів з дисковим випромінювачем і аналогічною смуговою антеною з опором, рівним плечам I і II, може порушити її конфігурацію.

Не було реакції на генератор камери (вимірювали сигнал, пропорційний квадрату напруженості поля E плечей III з 2-х т-мостів), в яких встановлені лінії з 2-х антен однакового діапазону були включені на рівновіддаленій відстані, і було навантаження у вигляді скляна колба об'ємом 1 л з водою розташована в центрі нижньої частини камери.

Мікрохвильова піч [БРМА24.00. 00. 000-1, Рис. 1] апарат для термічної обробки продуктів харчування забезпечений нагрівальної камери з розсувними дверима, з рухомою рукояткою 1 2 3, СВЧ-генератор 14 знаходиться в знімне житло електронного блоку 9 у вигляді лотка забезпечений нагрівальної камери 3, її відкритий кінець оточений металеві виймки рами і пружних електромагнітних ущільнення (не показано) і збудження модуля., Це 2 однакових смугових антени 7 і 8 ліній з випромінювачами у вигляді круглого металевого диска і коаксіальний вхід, збуджують електромагнітне поле з круговою поляризацією світла в камері, поверніть на рівній відстані, поздовжні осі симетрії лінії 2-діапазонні антени 7 і 8 збігається з прямою лінією на поверхні бічної стінки камери 3, паралельно поверхні нижньої стінки, він встановлюється всередині нагрівальної камери 3 на його бічних стін так, що він знаходиться на відстані, рівному  $3/4$  довжини стіни.поперечна вісь симетрії правитель 2-діапазонні антени 7 і 8 збігається з поперечною віссю симетрії бічної стінці камери, антени діапазону 7 і 8 з радіатором у формі круглого металевого диска і коаксіальний вхід з'єднаний з рук I і II коаксіальний 2т міст 12, і його

|     |      |         |        |      |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |         |        |      | БРМА 24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|     |      |         |        |      |                      | 11   |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |                      |      |

плече III підключено до СВЧ-генератора 10 руці ІЖ підключений до петлі трансформатор, що має настройка ручки 5 13.; Довжини рук I і II рівні, їх сума в порівнянні з приблизно  $5/4\pi$  ( $\lambda$ -середня довжина хвилі СВЧ-коливань генератора), Довжина рукоятки IV в порівнянні з  $5/4\pi$  - замовлення  $\sigma$   $CP/2$ , Довжина від плеча III-це  $3/4$  від висоти бічних стінок камери 3, і набір коаксіальних ліній, форма рукоятки I і II коаксіальний міст 2т порожнину кожної камери 3 з цих сегментів (Рис. 1 0) за межами сегмента, як показано на Рис. 1, 0. На рис. 1, на фіг. 2 не показано); коаксіальний сегмент на вході смугового антени 7 і 8-це окремо, підключені до коаксіальних сегментів рук I і II коаксіальний 2т міст, і забезпечений накидною гайкою, що забезпечує надійну механічну і електричну зв'язок коаксіальний вхід смуга пропускання антени 7 і 8 співвісно 2т міст відрізків коаксіальної лінії рук I і II 12, відповідно, кріпляться до зовнішньої поверхні бічної стінки камери мосту 3 2т 12, і смуга пропускання антени 7 і 8 прикріплені до внутрішньої поверхні бічної стінки камери.3; Міст 2т закривається знімним металевим кожухом 11, який забезпечує захист СВЧ-поле.

Мікрохвильова камера 3 встановлена на корпусі 9 електронного блоку, міцне механічне з'єднання між камерою 3 і корпусом електронного блоку 9 виконано за допомогою замка, а електричне з'єднання схеми виконано за допомогою роз'єму і гальванічного зв'язку в нижній частині корпусу 9 і фотоапарат (на рис.1 не показано). Дверцята камери 3 2 є висувною і переміщається по паралельній профільної направляючої (на кресленні не показана).1), міцно закріпленої в горизонтальному сегменті металевої рами 4 разом з дросельної канавкою металевої рами 4, дверцята 2 в закритому стані утворює дросельний фільтр, що забезпечує екранування СВЧ-поля в камері 3, якість якого підвищує поглиблення з електромагнітним ущільненням по всьому колу металевого каркаса.

|     |      |         |        |      |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |         |        |      | БРМА 24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |                      | 12   |

Ось подробиці збірки і роботи пристрою: самостійно виготовте деталі і зберіть камеру 3 з дверцятами 2. Електронний блок, що включає СВЧ-генератор 14 9. Смугові антени 7 і 8 з випромінювачами у вигляді круглих металевих дисків і коаксіальними входами. Коаксіальний міст 2т з петльовим трансформатором 12 13. Далі камеру з дверцятами 2 прикріплюють 3 до корпусу електронного блоку 9, камеру 3 і корпус електронного блоку 9 міцно механічно з'єднують замком, електрично, потім коаксіальний 2Т міст 12 підключають до виходу НВЧ-генератора 14 10, коаксіальний 2Т міст 12 підключають до виходу НВЧ-генератора 14 10. сегменти плечей I і II через отвір в бічній стінці камери 3 після вставки смугових антен 7 і 8 з'єднуються за допомогою з'єднувачів з коаксіальним сегментом, відповідно, входом антени 7 і 8 накидною гайкою плеча I і II і коаксіальним з'єднувачем а коаксіальний вихід генератора 14 10 міцно механічно фіксує положення моста 2т і антени 7 і 8 на бічній стінці камери 3.

Остаточне регулювання печі проводиться за допомогою контурного трансформатора 13.

Проведені випробування дослідного зразка мікрохвильової печі з порушенням світлового поля кругової поляризації в резонансному обсязі нагрівальної камери за допомогою лінійки 2-смугових антен з включеною рівновіддаленою СВЧ-потужністю, що подається за допомогою коаксіального моста 2т, довели реальність досягнення значення коефіцієнта однорідності потужності. розподіл мікрохвильової енергії в нагрівальній камері становить 92%, ККД - 61%.

Вартість масового виробництва такої печі на 20-25% нижче в порівнянні з вартістю мікрохвильової печі з Центральної компоновкою, металоємність і, відповідно, вага знижуються на 10-15%, що підвищує експлуатаційну надійність.

|     |      |         |        |      |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |         |        |      | БРМА 24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|     |      |         |        |      |                      | 13   |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |                      |      |

Основною проблемою, на вирішення якої направлено даний винахід [БРМА24.00.00.000do1, фіг.2], є підвищення ефективності пристрою за рахунок підвищення рівномірності розподілу мікрохвильової енергії в камері нагріву, підвищення ефективності та стабілізації режиму теплової обробки харчових продуктів [7]. Це топки з дверцятами, СВЧ-генератор, розташований в бічній камері, мікрохвильової печі зовні камери нагріву, короткого замикання прямокутного хвилеводу приєднаний до зовнішньої сторони верхньої стінки камери нагріву, полого тонкостінного металевого циліндра, в центрі механічно і електрично з'єднані герметично, її верхній кінець через загальне з'єднання отвір в широкій стінці верхньої стінки камери нагріву і прямокутного хвилеводу, частина закрита в кінці, в прямокутному хвилеводі частина закрита в кінці прямокутного хвилеводу, частина закрита, частина закрита в кінці прямокутного хвилеводу, частина закрита в кінці прямокутного хвилеводу, частина закрита в кінці прямокутного хвилеводу, частина закрита в кінці прямокутного хвилеводу, частина закрита в кінці прямокутного хвилеводу, частина закрита в кінці прямокутного хвилеводу, частина закрита в кінці прямокутного хвилеводу, частина закрита в кінці прямокутного хвилеводу, частина закрита в кінці прямокутного хвилеводу, частина закрита в кінці прямокутного хвилеводу, частина закрита в кінці прямокутного хвилеводу, частина закрита в кінці прямокутного хвилеводу, частина закрита в кінці кінців, занурюють всередину і передача енергії з генератора СВЧ в камеру нагріву, а вентилятор встановлений у відсіку встановлюється в мікрохвильову піч, щоб створити потік повітря, що викликає примусове обертання металевих дипольна антена. У з'єднувальному отворі тонкостінний металевий циліндр оточений діелектричним кільцем, яке забезпечує підвіску металеві дипольної антени і допускає її примусове обертання, і згідно з цим винаходом пристрій для обробки харчових продуктів енергією мікрохвильового поля оснащено

додатковим модулем збудження, що представляє собою смужку антена, що випромінює світлові хвилі з круговою поляризацією. Антена встановлена на бічній стінці нагрівальної камери через коаксіальний хвилеводний перехід для випромінювання хвиль з круговою поляризацією від мікрохвильового генератора. Антена встановлена на смуговій антені та антені з металевим покриттям. ン体的には、例えば、 加熱 加熱室発生ンン、ン金属ン発生ンン、ン金属ン発生ンン、ンンンン、ンンンン、ンンンン、, Він підключений по центру до центрального провідника коаксіального виходу коаксіального хвилеводного переходу через металевий проводить штир і на відстані 4/5 радіусу металевого диска випромінювача до металевій екрануючій пластині, прикріпленою до зовнішнього провідника коаксіального хвилеводного переходу, до пластини з механічним і гальванічним контактом по всьому діаметру зовнішнього провідника коаксіального сегмента коаксіального хвилеводного переходу, з'єднаного через круглий отвір - не стикається з бічною стінкою нагрівальної камери і не стикається з бічною стінкою хвилеводного переходу (рис. 1.2), яке є частиною смугову антену і через хвилеводний перехід (рис. 1.2), який є частиною смугової антени, з'єднаний з металевію екрануючою пластинію, прикріпленою до зовнішнього провідника коаксіального сегмента коаксіального хвилеводного переходу..

|     |      |         |        |      |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |         |        |      | БРМА 24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |                      | 15   |

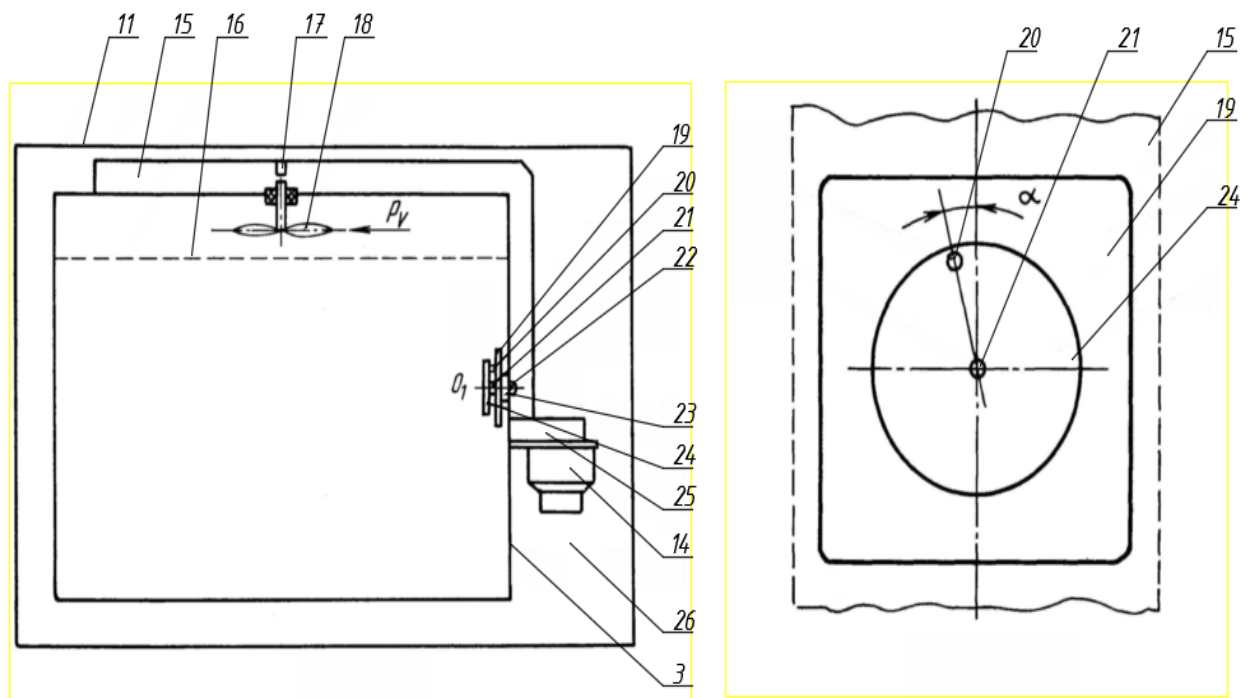


Рисунок 1.2 – Мікрохвильова піч

Обидва модуля збудження виконані у вигляді 2 синфазних лікувальних антен, розташованих таким чином, що осі симетрії антен ортогональні один одному, координати точки підключення смугової антени, що випромінює хвилю світла з круговою поляризацією, збігаються з координатами точки симетрії бічної стінки нагрівальної камери, а координати точки підключення металевої дипольної антени збігаються з координатами точки симетрії верхньої стінки нагрівальної камери.

Металевий диск випромінювача смугової антени, який випромінює кругову поляризацію, повернутий на кут  $\alpha$  відносно своєї осі і знаходиться в діапазоні від 3 до 10 градусів, утворений уявним променем, який з'єднує точку підключення металевого диска випромінювача з коаксіальним виходом пристрою. коаксіальний хвилеводний перехід, вісь, перпендикулярна верхній стінці нагрівальної камери, і випромінювач, що проходить через центр металевого диска.

|     |      |         |        |      |
|-----|------|---------|--------|------|
|     |      |         |        |      |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |



верхній частині антени. стінка нагрівальної камери проходить через центр металевого диска випромінювача.

Мікрохвильова піч, що представляє собою пристрій для обробки харчових продуктів енергією мікрохвильового поля, оснащена нагрівальною камерою 3 з дверцятами (фіг. 3).1 не показано).

Зовні верхньої і бічних стінок нагрівальної камери встановлений L-подібний сегмент прямокутного хвилеводу 15, Нижня широка стінка є частиною верхньої і бічних стінок нагрівальної камери, L-образного прямокутного хвилеводу і нагрівальної камери, причому сегмент прямокутного хвилеводу має тонкостінний металевий циліндр, електрично з'єднаний короткозамкненим з'єднувальним отвором на кінці г-образного горизонтального ділянки, взаємодіє з металевим штифтом 17, міцно закріпленим на металевій крильчатці 18, яка узгоджена з металевим штифтом 17. Тонкостінний металевий циліндр з крильчаткою на торці утворює базовий модуль збудження-обертається дипольна антена передає частину мікрохвильової енергії з L-образного сегмента прямокутного хвилеводу в камеру нагріву, змушуючи крильчатку 26 обертатися за рахунок повітряного потоку, створюваного вентилятором, встановленим в супутньому камера мікрохвильової печі 18 і повітропровід з променистого прозорого діелектрика при наведенні по направляючої 16 розподіляються по всьому об'єму.

Вертикальна ділянка прямокутного хвилеводу 15, закорочений на кінці горизонтальної ділянки L-образного сегмента, електрично з'єднаний з нагрівальною камерою за допомогою коаксіального хвилеводного переходу, утвореного металевим грушоподібним з'єднувальним елементом 23, що проходить через зовнішній провідник 23 у вигляді металеві оцинкованої втулки, з'єднаної уздовж по всьому периметру до центрального провідника коаксіальної лінії і стінки l-образного сегмента 15. Екран 19 з металеві

пластини міцно прикріплений до зовнішнього провідника 23 за допомогою гальванічного зв'язку. Металевий диск 24, який є випромінювачем додаткового модуля збудження нагрівальної камери, механічно і електрично централізовано з'єднаний з центральним провідником коаксіального хвилеводного переходу металевим штирем 21 і з'єднаний з екраном за допомогою металевого штиря 24, який забезпечує міцне механічне і електричне з'єднання на відстані від  $4/5$  радіуса металевого диска випромінювача 20 до екрану 19.

Відкритий кінець вертикально орієнтованої частини 1-сегмента прямокутного хвилеводу 15 електрично з'єднаний з хвилеводно-резонаторним переходом 26, з'єднаним з мікрохвильовим генератором 14, встановленим в суміжній камері 25 мікрохвильової печі. Зовнішній кожух 11 використовується для захисту і запобіжних пристроїв. Пристрій працює наступним чином: встановлюється додатковий модуль збудження - Полоскова антена, що випромінює світлові хвилі кругової поляризації, шляхом з'єднання металевого диска випромінювача 24 металевим штирем 19 з металевою екранує пластиною 20 і металевим штирем 21 з центральним провідником коаксіального хвилеводного переходу. Це забезпечує підключення смугової антени до лінії передачі НВЧ-випромінювання. На екрані 19 виконані наскрізні отвори, завдяки чому диск випромінювача 24 смугової антени може повертатися на кут  $\alpha$  в діапазоні 3-10 градусів щодо своєї осі.

Металевий диск випромінювача 24 повернутий щодо своєї осі на кут  $\alpha$ , утворений уявним променем, який з'єднує точку підключення диска випромінювача 24 з коаксіальним виходом коаксіального хвилеводного переходу, і віссю, перпендикулярній верхній стінці нагрівальної камери, що проходить через центр з диска випромінювача 24 досягається найвище значення ККД печі.

|     |      |         |        |      |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |         |        |      | БРМА 24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|     |      |         |        |      |                      | 19   |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |                      |      |

Проведені випробування дослідного зразка мікрохвильової печі з порушенням резонансного об'єму нагрівальної камери від 2-х принципово різних антенних систем показали значення коефіцієнта рівномірності розподілу мікрохвильової енергії в нагрівальній камері 86% без використання обертової платформи і ККД 62%, а також оскільки стабільність цих параметрів при зміні обсягу, маси і розташування оброблюваних харчових продуктів в камері нагріву довела реальність їх досягнення.

В основі цього винаходу лежить завдання створення мікрохвильової печі з антибактеріальним ефектом, внутрішня поверхня якої буде покрита матеріалом, що містить речовини, здатні знищувати шкідливі бактерії і мікроорганізми [8].

Нижче будуть розглянуті деталі найкращого варіанту винаходу, приклади якого наведені на доданих кресленнях. Звертаючись до [БРМА24.00.00.000k1, фіг. 3, b], показано, що кожна внутрішня стінка камери 3 для приготування їжі, її дверцята 2 і шар з антибактеріальним ефектом, сформований на обертовому колі 28 мікрохвильової печі 29, забезпечують знищення бактерій. Більш конкретно, антимікробний шар 29 утворений на лівій, правій, внутрішній задній стінці, верхній стінці і дні варильної камери 3, а також на внутрішній поверхні дверцят 2 і зовнішньої поверхні обертового колеса 28. Загалом, антимікробний шар 29 утворюється з цеоліту-Ag, в результаті чого він має чудові антибактеріальні властивості та запобігає зеленій цвілі. Цеоліт-Ag є термостійким матеріалом і не знебарвлюється при температурі 300о. Крім того, він дуже стабільний, не розкладається під впливом води або органічних розчинів і має антибактеріальну дію протягом тривалого часу (рис. 1.3).

|     |      |         |        |      |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |         |        |      | БРМА 24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|     |      |         |        |      |                      | 20   |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |                      |      |

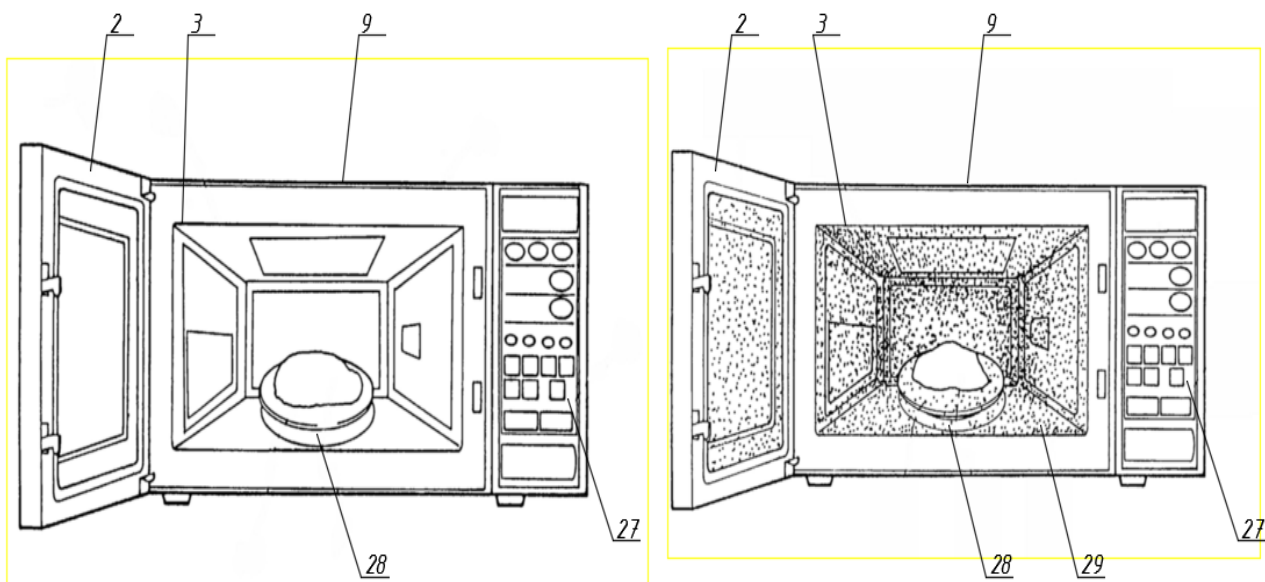


Рисунок 1.3 – Мікрохвильова піч (патент ФРН № 2142677)

Цей матеріал, що володіє антибактеріальною дією, знищує такі мікроорганізми, як кишкова паличка, сальмонела черевного тифу, синьогнійна паличка і *bacillus alvei*, запобігає появі цвілі і робить його ефективним в приміщеннях з високою температурою і вологістю. Кишкова паличка-це непатогенні мікроорганізми, цей вид мікроорганізмів присутній в нормальній мікрофлорі кишечника хребетних тварин. Кишкова паличка використовується в якості індикатора забруднення їжі при її гігієні. Ми легко можемо отримати харчове отруєння при прийомі їжі, що містить бактерії і токсичні речовини.

Сальмонела-це внутрішньоклітинна бактерія, яка вражає людей та інших теплокровних тварин і викликає забруднення їжі, запалення, черевний тиф або загальну інфекцію.

Як описано вище, антимікробна мікрохвильова піч згідно з цим винаходом має шар антимікробного покриття, сформований на кожній внутрішній стінці, що утворює камеру для приготування їжі, що дозволяє запобігти забрудненню харчових продуктів різними мікроорганізмами.

Завданням цього винаходу є забезпечення зв'язку між резонатором і генератором при будь-яких навантаженнях, спрощення конструкції і поліпшення однорідності магнітного поля і резонатора.

Він включає випромінювач, який мікрохвильова піч [БРМА24.00. 00. 000 К, малюнок 4] складається з мікрохвильового генератора, резонаторної камери, лінії передачі, вхід якої з'єднаний з виходом генератора, і кругової поляризації випромінювання в лівому і правому напрямках. обертання вектора поляризації, і встановлений в одному з кутів резонатора, електричної осі якого це досягається за рахунок того, що вона збігається з діагоналлю [9].

Поділ між резонатором і генератором відбувається через ортогональність хвиль, випромінюваних і відбитих від резонатора. Відсутність регульованих елементів печі спрощує конструкцію і покращує однорідність магнітного поля за рахунок збудження резонатора під кутом, що забезпечує збудження.

СВЧ-генератор 14 може бути виконаний магнітним з електромагнітними коливаннями постійної частоти. Лінія 22 передачі може бути хвилеводною або коаксіальною.

Випромінювач 24 може бути виконаний у вигляді відкритого торця: відрізка прямокутного хвилеводу, що руйнується випромінюванням з лінійною поляризацією, вектор якого розташований під кутом 450 по відношенню до його стінки, а розміри стінки підібрані таким чином, щоб створити фазовий зсув між ними, залишаючи ортогональним перпендикуляр до стінка хвилеводу, 900; ділянка еліптичного хвилеводу, зруйнований випромінюванням з лінійною поляризацією сегмента, вектор якого розташований під кутом 450 по відношенню до осі еліпса.;

Відрізок круглого хвилеводу поперечного перерізу з диференціальною фазовою діелектричною вставкою під кутом 900 градусів розташований під кутом 450 по відношенню до вектора поляризації випромінювання на його

|     |      |         |        |      |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |         |        |      | БРМА 24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|     |      |         |        |      |                      | 22   |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |                      |      |

вході, відрізок круглого хвилеводу з двома тонкими металевими паралельними стрижнями, розташованими на відстані  $3/8$  довжини хвилі. Робоча довжина хвилі, що закриває протилежну стінку хвилеводу (рис. 1.4).

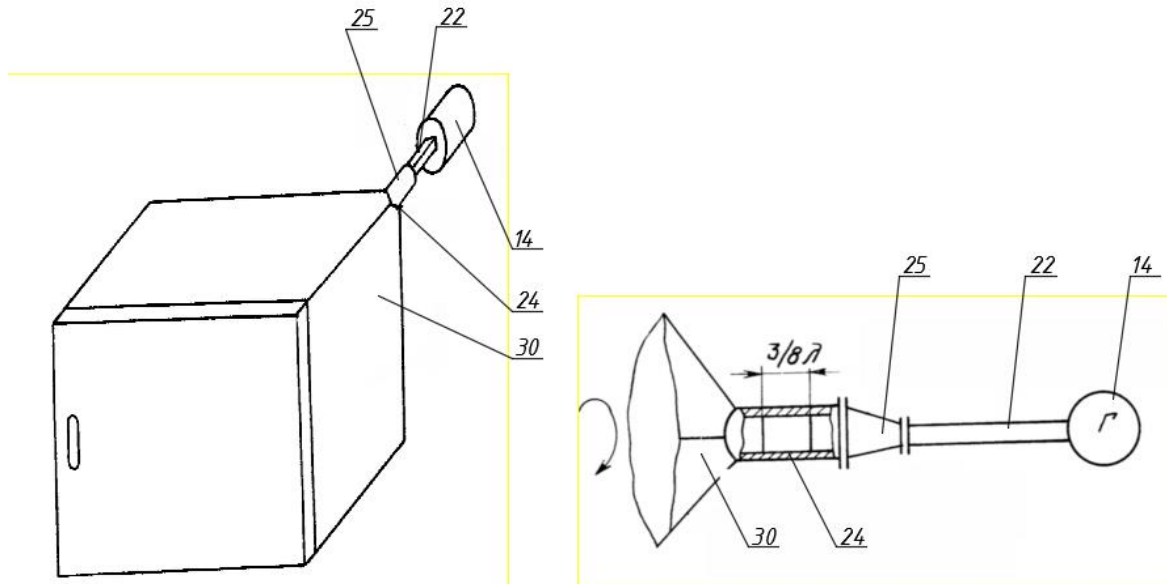


Рисунок 1.4 – Мікрохвильова піч (патент ФРН № 2060598)

Резонаторна камера 30 може бути виконана у вигляді металевого паралелепіпеда (з листового металу або латуні). Поперечний розмір резонатора більше робочої довжини хвилі.

Узгоджений перехід 25 може бути виготовлений з латуні методом електролізного наплавлення.

При підключенні лінії 22 до коаксіального кабелю хвилевід в секції 3 може збуджуватися безпосередньо під потрібним кутом за допомогою сегмента центральної лінії, тому перехід 25 не потрібно.

Мікрохвильова піч включає в себе СВЧ-генератор 14, резонаторну камеру 30, лінію 22 передачі і випромінювач 24. Вхід лінії 22 з'єднаний з виходом генератора 14, вихід якого з'єднаний з випромінювачем 30, який встановлений в одному з кутів резонатора 1, 24 таким чином, що його

|     |      |         |        |      |
|-----|------|---------|--------|------|
|     |      |         |        |      |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |

електрична вісь збігається з діагоналлю камери, що з'єднує кут, під яким розташований випромінювач. встановлено навпроти нього.

Лінійно поляризовані електромагнітні хвилі надходять від генератора 450 по лінії передачі 24 на вхід випромінювача під кутом 22 по відношенню до осі поперечного перерізу хвилеводного сегмента випромінювача або в площині діелектричної вставки, або в площині металевого стрижня, що приймає сигнал. квадратурна складова вектора 14 поляризації і ліва і права сторони обертання вектора поляризації електромагнітних хвиль, випромінюваних в порожнину резонаторної камери 30, зміщуються по фазі на 900 градусів відносно один одного у вигляді кругової поляризації у напрямку. Оскільки хвилі, відбиті від резонатора, мають поляризацію, ортогональну випромінюваним, вони повністю відбиваються від вихідного сигналу випромінювача і не проходять через генератор 14. Це забезпечує ізоляцію між резонатором і генератором. При збуренні резонатора з кута утворюється рупор, який сприяє генерації коливань в резонаторі і підвищує однорідність магнітного поля в резонаторі.

## 1.2 Аналіз систем керування НВЧ-печей

В цілому, системи управління мікрохвильовими печами діляться на системи з механічним і електронним управлінням.

Типова схема простої мікрохвильової печі з механічним таймером показана на малюнку 1.5.

|     |      |         |        |      |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |         |        |      | БРМА 24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |                      | 24   |

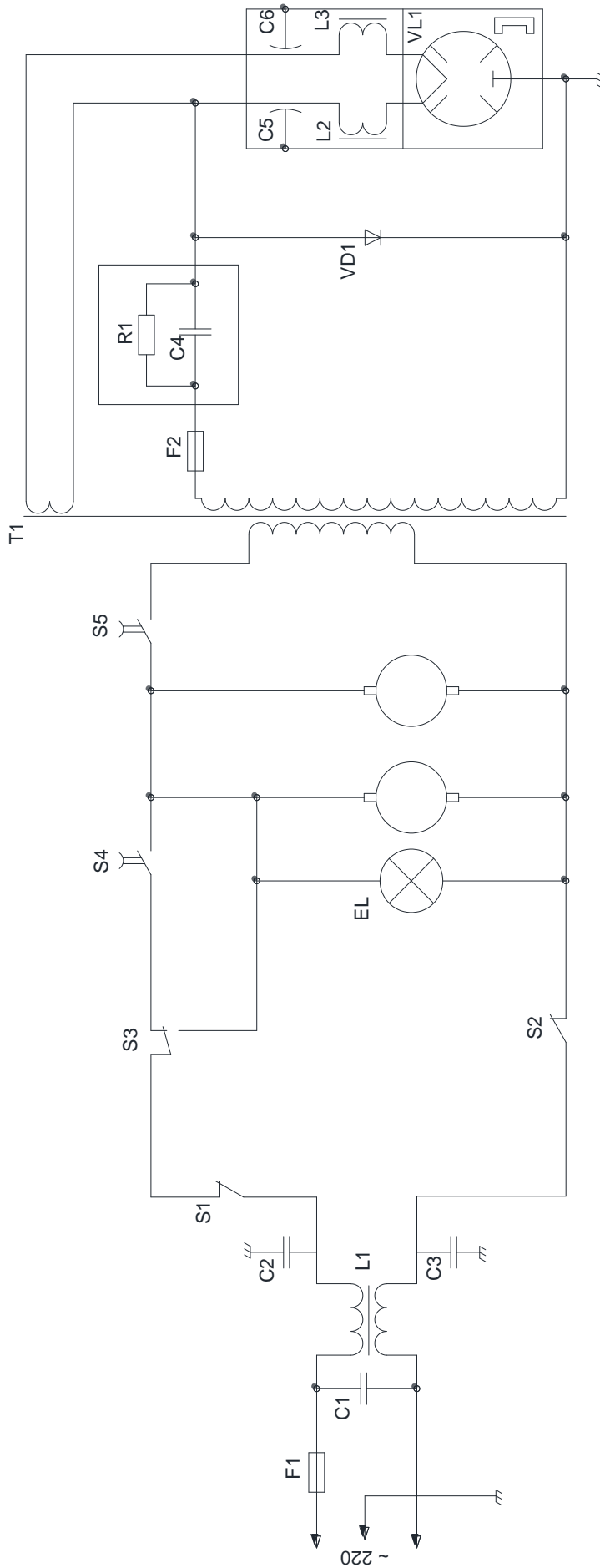


Рисунок 1.5 – Електрична схема мікрохвильової печі з механічним таймером

|     |      |         |        |      |
|-----|------|---------|--------|------|
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |
|     |      |         |        |      |

БРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.  
25



- Лампа для освітлення робочої зони;
- Електродвигун з вентилятором для обертання дека печі.

Коли дверцята відкриється, загориться лампочка освітлення. Піч можна запустити тільки при закритих дверцятах, включаться регулятор потужності і таймер. При запуску печі включається електродвигун для обертання піддону і магнетронний вентилятор охолодження.

Типова схема мікрохвильової печі з електронним управлінням показана на аркуші БРМА24.00.00.000k2, малюнок 1-4.

Такі печі коштують дорожче, ніж прості, але і у них досить багато можливостей. Ці моделі оснащені пультом управління з процесором, а на передній панелі розташовані кнопки для вибору рівня потужності, часу приготування та інших операцій з управління духовкою. Ці печі оснащені рідкокристалічним дисплеєм і безліччю функцій, що забезпечують програмоване меню з певною кількістю рецептів. У робочій камері такої печі встановлений 1, а іноді і 2 нагрівальних елемента, які називаються нагрівальними елементами (термоелектричні нагрівачі). Вони виготовляються у вигляді металевих трубок діаметром 8 мм... Вигнутих особливим чином або у вигляді кварцової трубки діаметром від 12 до 10 мм... 15 мм, в ній знаходиться нагрівальна спіраль. Взаємодія елементів в мікрохвильовій печі з електронним управлінням більш складне, ніж в простій печі, але загальний принцип їх взаємодії для всіх мікрохвильових печей схожий і показаний вище..

## Висновки до першого розділу

Проводиться огляд і аналіз патентної інформації та технічної літератури по темі бакалаврської роботи. Враховується конструкція багатьох мікрохвильових печей, аналізуються їх переваги і недоліки. Також розглядається існуюча система управління мікрохвильовою піччю. Розробка конструкції мікрохвильової печі з урахуванням розглянутих особливостей є актуальним завданням.

|     |      |         |        |      |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |         |        |      | БРМА 24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |                      | 28   |

## 2 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ МІКРОХВИЛЬОВОЇ ПЕЧІ

### 2.1 Опис технологічного процесу та особливостей обробки продуктів харчування в побутовій мікрохвильовій печі

Технічна обробка різних предметів найчастіше включає в себе теплову обробку, і в першу чергу нагрівання або сушку.

При традиційних методах нагрівання і сушіння (конвекція, випромінювання і контакт) нагрів предметів відбувається на поверхні. Якщо теплопровідність об'єкта являє собою послідовність, яка виникає в діелектрику, то термообробка об'єкта відбувається повільно, і через локального перегріву поверхні нагріву ця поверхня може обгорати, що призводить до виникнення внутрішнього механічного напруження. Все це в кінцевому підсумку може привести до поломки приміщення.

Надвисока частота-це нагрівання об'єкта енергією електромагнітного поля надвисокої частоти. Електромагнітні хвилі, що проникають в об'єкт, взаємодіють із зарядженими частинками. Таке поєднання мікроскопічних процесів призводить до поглинання енергії поля об'єктом. Повний опис ефекту можна отримати тільки за допомогою квантової теорії. Давайте обмежимося розглядом макроскопічних властивостей матеріального середовища, описуваних класичною фізикою.

Залежно від розташування в них заряду молекули діелектричної середовища можуть бути полярними і неполярними. У деяких молекулах розташування зарядів дуже симетрично, тому за відсутності зовнішнього електричного поля їх електричний дипольний момент буде дорівнює нулю. Полярні молекули мають деякі електричні дипольні моменти навіть за відсутності зовнішнього магнітного поля. При додатку зовнішнього електричного поля неполярні молекули поляризуються, тобто порушується

|     |      |         |        |      |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |         |        |      | БРМА 24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|     |      |         |        |      |                      | 29   |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |                      |      |

симетрія розташування їх зарядів, і молекули набувають деякі електричні моменти.

Під впливом зовнішнього магнітного поля полярні молекули не тільки змінюють величину електричного моменту, але і повертають вісь молекули в напрямку магнітного поля. Діелектрики зазвичай мають електрони, іони, диполі та структурну поляризацію. У мікрохвилях дипольна і структурна поляризація мають найбільшу питому вагу, тому виділення тепла можливо навіть при відсутності струму електропровідності.

Технічні мікрохвильові пристрої працюють на частотах, встановлених міжнародними угодами. Електромагнітні коливання на частотах 433, 915, 2375 (2450) МГц найчастіше використовуються для термообробки в мікрохвильовому діапазоні. У цій таблиці представлена інформація про глибину проникнення електромагнітних хвиль в деякі діелектрики з втратами.

Таблиця 2.1 – Глибина проникнення електромагнітної хвилі у діелектрику із втратами при 20-25<sup>оc</sup>

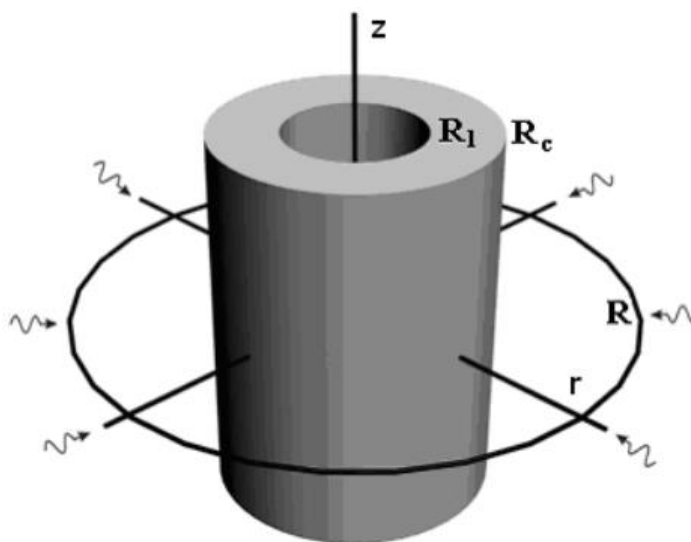
| Діелектрики      | Глибина проникнення, см |         |          |
|------------------|-------------------------|---------|----------|
|                  | 433 МГц                 | 915 МГц | 2375 МГц |
| Титанат барію    | 11.3                    | 3.5     | 0.6      |
| Метилловий спирт | 33.0                    | 7.8     | 1.4      |
| Вода             | 70.5                    | 23.4    | 3.5      |
| Скло             | 4600                    | 2180    | 840      |
| М'ясо            | 5.1-10.7                | 2.8-6.2 | 1.6-3.1  |
| Овочі            | 8.1-9.1                 | 5.0-6.3 | 2.6-3.0  |
| Риба             | 5.0-6.2                 | 3.4-3.8 | 1.2-2.0  |

Отже, якщо замість звичайного способу нагріву використовувати нагрів з використанням мікрохвильової коливальної енергії, оскільки хвиля проникає в глибину об'єкта, ця енергія перетворюється в тепло не на поверхні, а в його обсязі, то можна домогтися більш високої рівномірності нагріву в порівнянні зі звичайним нагріванням. спосіб і більш сильне

підвищення температури. Остання обставина в деяких випадках призводить до підвищення якості продукту.

Мікрохвильова термічна обробка має багато інших переваг. Таким чином, відсутність традиційних охолоджуючих рідин забезпечує стерильність процесу і безінерційне регулювання нагріву. Змінюючи частоту, можна домогтися нагрівання різних компонентів об'єкта. Електротермічні установки СВЧ-діапазону займають меншу площу, ніж аналогічні установки з традиційними електроприводами, і надають менший шкідливий вплив на навколишнє середовище при поліпшених умовах праці обслуговуючого персоналу.

На малюнку 2.1 показана схема нагріву протяжних керамічних труб радіальним електромагнітним випромінюванням.



$R_1$ ,  $R_c$ ,  $R$ , - радіуси отвору, циліндра і камери мікрохвильової печі

Рисунок 2.1 - Схема нагріву протяжної керамічної труби електромагнітним випромінюванням радіального типу

|     |      |         |        |      |
|-----|------|---------|--------|------|
|     |      |         |        |      |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |

Використано характеристики циліндричної системи координат і осьової симетрії. Змодельовано статичний режим нагріву керамічних виробів електромагнітним випромінюванням.

Стаціонарність теплового стану керамічної труби може бути встановлена з рівняння енергетичного балансу між нагріванням шляхом розсіювання енергії, що подається радіальною електромагнітною хвилею  $E(0;0;E_z = E(r))\exp(i\omega t), H(0;H_\varphi = H(r);0)\exp(i\omega t)$ , кондуктивне охолодження за рахунок відведення тепла в навколишній нерухомий газ.

Теплові та електромагнітні властивості керамічної трубки в мікрохвильовій печі можуть бути отримані шляхом вирішення рівняння енергетичного балансу, наведеного вище хвильового рівняння і наступних обмежуючих умов::

$$\begin{aligned} \frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left( r \lambda \frac{dT}{dr} \right) + \frac{1}{2} \varepsilon_i \omega \varepsilon_0 E E^* &= 0; \\ \frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left( r \frac{dE}{dr} \right) + k_0^2 \varepsilon_0 E &= 0; \\ r = 0: dT / dr = 0, dE / dr = 0; \\ r = R: T = TR, E = ER; \end{aligned} \quad (2.1)$$

де  $T$  - температура;

$E$  – напруженість електричного поля;

$E^*$  – комплексно – поєднане значення  $E$ ;

$\varepsilon_c = \varepsilon_r - i\varepsilon_i$  - комплексна діелектрична проникність;

$\varepsilon_r, \varepsilon_i$  дійсна та умовна частина  $\varepsilon_c$ ;

$\lambda$  - теплопровідність;

$\omega$  - кругова частота;

$k_0 = \omega / c$ ,  $c$  - швидкість світла;

$r, \varphi, z$  - циліндричні координати.

На межі (керамічний газ) дотримуються умови температури, теплового потоку, безперервності напруги електричного і магнітного полів, і величина  $ER$  дорівнює заданому значенню, створюваному електромагнітним полем  $Q_n$ .

Для аналітичного рішення рівняння (2.1) використовується апроксимація рівномірного розподілу коефіцієнтів по поперечному перерізу керамічної труби. Це виправдано, наприклад, у випадку керамічних циліндрів, виготовлених з оксиду алюмінію, невеликою різницею температур по поперечному перерізу в порівнянні з максимальною температурою  $T_0$   $\Delta T = T_0 - T_c \approx 60K$ ,  $T_0 = 2000K$  [9]. Тоді з рішення рівнянь (2.1) отримаємо:

$$\begin{aligned}
 0 \leq r \leq R_1 &: E_0 J_0(k_0 r) \cdot T(r) = T_0; \\
 R_1 < r \leq R_c &: \\
 E(r) = E_n e(r), e(r) &= A_1 H_0^1(kr) + B_1 H_1^2(kr), \\
 T(r) = T_0 - (T_0 - T_c) \frac{\varphi(r)}{\varphi'(R_c)}; & \\
 R_c < r \leq R &: \\
 E(r) = E_n e(r), e(r) &= A_2 H_0^2(k_0 r) + B_2 H_1^2(k_0 r), \\
 S(r) = S_c \frac{\ln(R/x)}{\ln(R/R_c)}, S(T) &= \int_{T_c}^T \lambda(T) dT; \\
 S_c = S(T_c), &
 \end{aligned} \tag{2.2}$$

де  $J_0(x)$ ,  $H_0^{(1)}(x)$ ,  $H_0^{(2)}(x)$  - функції Бесселя і Ханкеля нульового порядку 1-го та 2-го роду,  $\varphi(r)$  знаходиться чисельно з рівняння енергії та наступних граничних умов:

$$\varphi'' + \frac{1}{r} \varphi' - e e^* = 0, \varphi(0) = 0, \varphi'(0) = 0$$

Це впливає з виразу і умови, що загальний потік енергії електромагнітного поля, що поглинається на одиницю довжини керамічної труби, відводиться в навколишнє середовище (нерухомий газ) за рахунок теплопровідності:

$$Q_d = 2\pi r S'(r) = 2\pi \frac{S_c}{\ln(R/R_c)} \quad (2.3)$$

Виходячи з безперервності температури і теплового потоку на зовнішній межі (керамічний газ), знайдено рівняння для визначення максимального перепаду температури вздовж поперечного перерізу керамічної труби і осового значення напруженості електричного поля:

$$\Delta T = T_0 - T_c = \frac{S}{\lambda R_c \ln(R/R_c)} \frac{\varphi(R_c)}{\varphi'(R_c)} \quad (2.4)$$

$$E_0^2 = \frac{2\lambda}{\varepsilon_0 \varepsilon_1 w} \frac{T_0 - T_c}{\varphi(R_c)}$$

Вибір коефіцієнтів суперпозиції падаючої і відбитої циліндричних електромагнітних хвиль заснований на порівнянні значень напруженості електричного поля на кордоні розділу (керамічний газ):

$$\begin{aligned} A_1 &= i\pi R_l / 4(k_0 J_1(k_0 R_l) H_0^{(2)}(k R_l) - k J_0(k_0 R_l) H_1^{(2)}(k R_l)), \\ B_1 &= -i\pi R_l / 4(k_0 J_1(k_0 R_l) H_0^{(1)}(k R_l) - k J_0(k_0 R_l) H_1^{(1)}(k R_l)), \\ A_2 &= A_1 i\pi R_c / (k H_1^{(1)}(k R_c) H_0^{(2)}(k_0 R_c) - k_0 H_0^{(1)}(k R_c) H_1^{(2)}(k_0 R_c)) / 4 \\ &+ B_1 i\pi R_c / (k H_1^{(2)}(k R_c) H_0^{(2)}(k_0 R_c) - k_0 H_0^{(2)}(k R_c) H_1^{(2)}(k_0 R_c)) / 4, \\ B_2 &= A_1 i\pi R_c / (-k H_1^{(1)}(k R_c) H_0^{(1)}(k_0 R_c) + k_0 H_0^{(1)}(k R_c) H_1^{(1)}(k_0 R_c)) / 4 \\ &+ B_1 i\pi R_c (-k H_1^{(2)}(k R_c) H_0^{(1)}(k_0 R_c) + k_0 H_0^{(2)}(k R_c) H_1^{(1)}(k_0 R_c)) / 4 \end{aligned} \quad (2.5)$$



## Рисунок 2.2 – Структурна схема НВЧ-печі

Основним джерелом мікрохвильової енергії є магнетрон. Серед інших типів пристроїв найбільш перспективними є клістрон і СВЧ-тріод. Генерується потужність подається по хвилеводу (лінії зв'язку) в робочу зону мікрохвильової печі, яка представляє собою прямокутну камеру. Поруч з виходом хвилеводу знаходиться розсіювач, який обертається від повітряного струменя вентилятора. Розсіювач необхідний для отримання рівномірного розподілу мікрохвильового поля за обсягом камери, як наслідок, для забезпечення рівномірного прогріву продукту. У новій конструкції мікрохвильової печі використовується обертовий стіл, на який поміщається оброблюваний продукт, а не Пристрій для оброблення. Система управління (по-іншому, блок управління і введення інформації) управляє всім процесом обробки.

### 2.3 Розробка електричних схем для мікрохвильових печей

Основна електрична схема наведена на аркуші БРМА24.00. 00. 000е3.

Мікроконтролер, обраний вище, займає центральне місце в схемі. Підключені периферійні пристрої.

У нашому випадку периферійними пристроями будуть Клавіатура, 7-сегментний індикатор, випромінювач, Двигун, вентилятор, лампочка розжарювання.

При реалізації клавіатури і дисплея були використані декодер DO155D13 і 2 індикатора: 3 сегмента E1-3040apr3 і 4 сегмента E3-4040apr2.

Діоди D1-D4 використовуються для запобігання відключення виходу мікроконтролера при одночасному натисканні декількох кнопок. Якщо

|     |      |         |        |      |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |         |        |      | БРМА 24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|     |      |         |        |      |                      | 36   |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |                      |      |

жодна кнопка на цій лінії відповіді не натиснута, резистори R1-R4 блокують логічний стан "0".

У цьому випадку Активний низький рівень напруги, тому резистор підключений до шини живлення "-5 В".

Схема живлення блоку управління [БРМА24.00.00.000e3], в принципі, має кілька вихідних напруг.

Для ланцюга напруження люмінесцентного індикатора використовується змінна напруга 2,5 В.

Анодна напруга - 31 В генерується схемою подвоєння, що складається з діода D2 і конденсатора C2, і її робота аналогічна роботі блоку живлення. Реле і зумер живляться від регульованої напруги -12 В, що формується випрямлячем на діоді D1 і керованого згладжує фільтром на транзисторі Q, джерелом опорної напруги на стабілітроні ZD, резистором R1 і конденсаторами C1 і C3.

Додатковий стабілізатор на інтегральній схемі IC1 забезпечує живлення мікроконтролера. На вхід IC1 подається напруга -12 В, а з виходу знімається досить стабільна напруга -5 В.

Паралельно первинній обмотці трансформатора може бути включений варистор-напівпровідниковий пристрій на основі оксиду цинку. Призначення варистора-захист Джерела живлення від стрибків напруги (які можуть виникати при відключенні великого навантаження, наприклад, магнетрона).

#### Високовольтні діоди

Варистор складається з великої кількості діодів, з'єднаних послідовно в одному корпусі. Це неможливо перевірити за допомогою тестера. Однак, якщо ви підключаєте за цим методом, є один спосіб перевірити діод з певною точністю.1 Вимір виконується в 2 напрямках, для чого діод необхідно перевернути (рис. 2.3).

Основним елементом блоку управління мікрохвильовою піччю є Мікроконтролер, послідовність і величина вихідного сигналу програмується відповідно до інформації, що надходить на його вхід. Основним джерелом інформації, що надходить є клавіатура, користувач встановлює час і режим приготування.

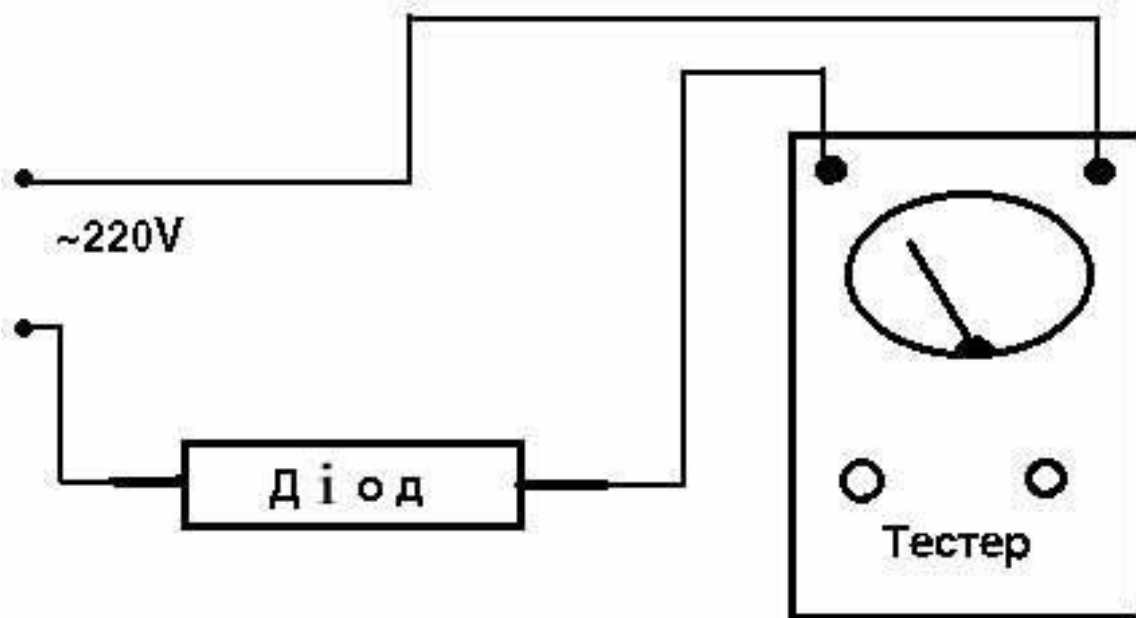


Рисунок 2.3 – Схема вимірювання діода

Крім того, на вхід мікроконтролера надходять сигнали про закриття дверцят мікрохвильової печі і, в деяких випадках, від різних датчиків. На індикаторі відображається інформація про обраний режим роботи і часу, що залишився до закінчення програми. Під час роботи Мікроконтролер включає і вимикає різні виконавчі механізми, включаючи реле, сімістори, п'єзоелектричні дзвінки і т. д.

|     |      |         |        |      |
|-----|------|---------|--------|------|
|     |      |         |        |      |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |

## 2.4 Вибір елементів схеми керування мікрохвильової печі

Для розроблюваних мікрохвильових печей були обрані мікроконтролери сімейства Atmel AT89.

1. Корпорація Atmel є одним з найбільших у світі виробників мікросхем енергонезалежної пам'яті. Компанія пропонує практично всі типи мікросхем енергонезалежної пам'яті: EEPROM з паралельними інтерфейсами до 4 Мбіт і кілька типів послідовних інтерфейсів до 1 Мбіт, одноблочні і багатоблочні типи з паралельними інтерфейсами до 16 Мбіт, 8 - і 16-розрядні. Багатоблочна флеш - пам'ять EEPROM з послідовним інтерфейсом до 32 Мбіт, серія EPROM з 8-розрядним і 16-розрядним одиночним програмованим інтерфейсом 27xxx до 8 Мбіт, EEPROM для завантаження мікросхем FPGA.

Великий досвід Atmel у виробництві електрично перепрограмованої пам'яті дозволив їй вийти на ринок з недорогими мікроконтролерами сімейства mcs-51 (At89Cxx), оснащеними флеш-пам'яттю EEPROM для зберігання програм. Стандартні мікросхеми сімейства MCS-51, які також мають дуже вигідну ціну, і мікроконтролери серії At89Cxx, які на 100% сумісні як з програмним, так і з апаратним забезпеченням, роблять їх відмінним вибором в умовах скорочення або припинення виробництва традиційними виробниками, такими як Intel. Крім того, ці мікроконтролери набагато зручніше і економічніше на етапі розробки пристрою, так як вони не вимагають спеціальних можливостей налагодження мікроконтролерів і виключають процес стирання з використанням джерел ультрафіолетового випромінювання. Мікроконтролер виготовлений з використанням технології CMOS і має повністю статичну структуру. Мікроконтролер спроектований з використанням статичної логіки і не вимагає постійної синхронізації. Таким чином, тактова частота може бути знижена або зупинена в очікуванні обробки

події. Це також допомагає зменшити споживання їжі. Це сімейство включає в себе 15 мікроконтролерів[2].

Основними елементами базової архітектури сімейства (архітектури мікроконтролера 8051) є:

- 8-розрядний ALP;
- 4 банки регістрів, по 8 в кожному;
- Внутрішня (резидентна) програмна пам'ять типу ROM або EPROM (8751) об'ємом 4 кбайт;
- 128 байт внутрішньої (резидентної) пам'яті даних;
- Запис 21 спеціальної функції;
- Логічний процесор;
- 2 16-розрядних таймера / лічильника;
- Контролер послідовного порту (UART);
- Контролер обробки переривань з двома рівнями пріоритету;
- 4 8-розрядні порти вводу-виводу, що використовуються як шина адреси / даних для доступу до пам'яті та даних зовнішньої програми;
- Вбудований генератор тактових імпульсів. [1]

На додаток до стандартних мікроконтролерів сімейства Mcs-51 (80C51, 80C52), Atmel також створила кілька власних модифікацій. Перш за все, це мікроконтролери, виконані в 20-контактних корпусах AT89C1051, AT89C2051 і AT89C4051, які відрізняються об'ємом пам'яті і мають менше ліній введення-виведення, ніж їх 40-контактні аналоги, але повністю програмно і апаратно сумісні з ними в межах доступних ресурсів. Він сумісний з апаратним забезпеченням. Мікроконтролер AT89C1051 був обраний через невеликий обсяг пам'яті, необхідний для роботи.

Основна структура мікроконтролерів відповідає базовій структурі мікроконтролерів сімейства mcs-51 і домашніх мікроконтролерів серій 1816/51 і 1830/51, але багато типів мікроконтролерів містять нові

запам'ятовуючі пристрої і периферійні пристрої і є частиною базової структури. Пристрій володіє і іншими характеристиками

Мікроконтролери сімейства AT89 працюють при різних значеннях напруги живлення і тактової частоти, в залежності від частоти кристалічного блоку, підключеного до мікроконтролера. У таблиці 2.2 показаний діапазон значень напруги живлення мікроконтролера ( $V_{cc}$ ) і тактової частоти ( $F_{osc}$ ). Споживаний струм залежить від значення напруги живлення і тактової частоти. У таблиці 1 наведені значення споживаного робочого струму ( $I_{cc}$ ) при максимальній напрузі живлення  $F_{osc}=12$  МГц.

Таблиця 2.2 – Характеристики мікроконтролера AT89C1051

| Тип МК    | $V_{cc}$ (В) | $F_{osc}$ (МГц) | $I_{cc}$ (мА) | N  |
|-----------|--------------|-----------------|---------------|----|
| AT89C1051 | 2,7-6,0      | 0-24            | 15            | 20 |

На додаток до робочого режиму Мікроконтролер може перемикатися в енергозберігаючий режим роботи в режимі очікування (idle mode) і режим зниженого енергоспоживання (power-down mode).

У режимі очікування процесор зупиняється, периферійний пристрій продовжує працювати, а код в ІРАМ зберігається. Споживання струму знижується в 4-5 разів. Перемикання в режим очікування здійснюється командами в програмі, а вихід з режиму - за сигналом скидання або при отриманні авторизованого запиту на переривання.

Хоча мікроконтролери випускаються в різних типах корпусів з різною кількістю контактів, кількість контактів, що використовуються для підключення мікроконтролера до схеми пристрою, може відрізнитися від кількості клем у корпусі. У таблиці 2.2 показано кількість контактів (N), які використовуються для підключення мікроконтролера до схеми пристрою.

У корпусах PDIP20 і SOIC20 є N=20 мікроконтролерів. Всі мікроконтролери сімейства AT89 програмуються і перепрограмуються Користувачем. [2]

У стандартній комплектації Мікроконтролер має 5 джерел переривань: 2 зовнішніх переривання, 2 переривання по таймеру і переривання від послідовного порту. Переривання для кожного джерела можна ввімкнути або вимкнути окремо, встановивши або скинувши відповідні біти в реєстрі дозволу переривань IE в області SFR.[3]

Для узгодження потужності привід і іноді блок індикації підключаються до буферного підсилювача (рис. 2.4).



Рисунок 2.4 – Структурна схема електронного блока керування

Блок управління також включає в себе джерело живлення, що складається з понижуючого трансформатора, 1 або більше випрямлячів і баластів.

В даний час в основному використовуються моделі з сенсорною клавіатурою, але це інша справа:

- Стильний дизайн;
- Інтуїтивно зрозуміле управління;
- Можливість програмування при приготуванні страв за складними рецептами;
- Він викликається збереженням Вашого улюбленого рецепта в пам'яті пристрою і легким натисканням пальця на відповідний датчик (мікрохвильові печі брендів Samsung і LG).;
- Наявність фіксованої програми приготування (наприклад, у моделі Panasonic NN-ST342w);).

Але у такої мікрохвильової печі є 1 істотний недолік-блок управління з сенсорною клавіатурою вимагає дбайливого поводження під час роботи і не переносить стрибків напруги. На жаль, в сучасних умовах практично неможливо забезпечити відповідні умови роботи мікрохвильової печі, тому датчик часто виходить з ладу, і це дуже поширене явище. Тому в розроблюваної конструкції були використані механічні кнопки для підвищення надійності і зручності обслуговування.

#### Висновки до другого розділу

Розглянуто технічний процес приготування продуктів з використанням мікрохвильового нагріву. Розроблено електричні схеми для мікрохвильових печей і блоків живлення, а також окремі елементи, такі як мікроконтролери.

|     |      |         |        |      |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |         |        |      | БРМА 24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |                      | 43   |

### 3 РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ МІКРОХВИЛЬНОЇ ПЕЧІ

#### 3.1 Розрахунок потужності споживання блоку керування

Загальна споживана потужність блоку управління дорівнює сумі потужностей, споживаних усіма елементами схеми [12].

$$P = \sum_{i=1}^n k \cdot P_i, \quad (3.1)$$

де  $P$  – сумарна потужність пристрою, Вт;

$P_i$  – потужність 1-го елемента, Вт;

$n$  – кількість різних типів елементів, шт.;

$k$  – кількість однотипних елементів, шт.

Потужність споживання

$$P_{MK} = U_{жс} \cdot I_{сп}, \quad (3.2)$$

де  $U_{жс}$  - напруга живлення, В;

$I_{сп}$  - споживаний струм, А.

$$P_{MK} = 5 \cdot 60 \cdot 10^{-3} = 0,3 \text{ Вт.}$$

Потужність споживання індикатором:

$$P_{HG} = U_{жс} \cdot I_{сп}, \quad (3.3)$$

|     |      |         |        |      |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |         |        |      | БРМА 24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |                      | 44   |

$$P_{HG} = 5 \cdot 30 \cdot 10^{-3} = 0,15 \text{ Вт.}$$

Сумарне споживання індикаторами HG1 і HG2 рівна 0,3 Вт.

Потужність споживання резисторів:

$$P_R = \sum P_R = P_R \cdot n; \quad (3.4)$$

$$P_{R1} = 0.125 \cdot 23 = 2,875 \text{ Вт};$$

$$P_{R2} = 5 \cdot 1 = 5 \text{ Вт};$$

$$P_{R3} = 10 \cdot 2 = 20 \text{ Вт};$$

$$\sum P_{Rn} = P_{R1} \cdot P_{R2} \cdot P_{R3}; \quad (3.5)$$

$$P_{Rn} = 2,875 + 5 + 20 = 27,875 \text{ Вт.}$$

Вихідний сигнал з транзисторів VT1 та VT2 :

$$P_{VT} = I_{VT} \cdot U_{KE}; \quad (3.7)$$

$$P_{VT} = 1 \cdot (20 - 15) = 5 \text{ Вт};$$

$$\sum P_{VT} = P_{VT} \cdot 2; \quad (3.8)$$

$$\sum P_{VT} = 5 \cdot 2 = 10 \text{ Вт.}$$

Вихідний сигнал з транзисторів VT3 та VT4 :

$$P_{VT} = I_{VT} \cdot U_{KE} = 1 \cdot (20 - 19,75) = 0,25; \quad (3.9)$$

$$P_{VT} = 1 \cdot (20 - 19,75) = 0,25 \text{ Вт};$$

$$\sum P_{VT} = P_{VT} \cdot 2 = 0,5 \text{ Вт.}$$

Вихідний сигнал з транзисторів VT5 та VT6 розраховується аналогічно



$$U_2 = 0,75 \cdot 10 + \frac{7,5 \cdot 10^3 \cdot (2 \cdot 0,25 + 0,131)}{530} = 9 \text{ В.}$$

Струми вторинної  $I_1$  і первинної  $I_2$  обмоток трансформатора:

$$I_2 = 1,41 \cdot I_0 + \frac{16,6 \cdot U_0}{2 \cdot R_1 + R_{mp}}; \quad (3.12)$$

$$I_2 = 1,41 \cdot 7,5 \cdot 10^3 + \frac{16,6 \cdot 20}{2 \cdot 0,25 + 0,131} = 10154 \text{ мА} = 10,15 \text{ А};$$

$$I_1 = \frac{1,2 \cdot U_2 \cdot I_2}{U_1}; \quad (3.13)$$

$$I_1 = \frac{1,2 \cdot 24 \cdot 10154}{220} = 1328 \text{ мА} = 1,3 \text{ А.}$$

Обраховуємо габаритну потужність трансформатора, яка для двохнапівперіодної схеми визначається виразом:

$$P_2 = \frac{1,7 \cdot U_2 \cdot I_2}{1000}; \quad (3.14)$$

$$P_2 = \frac{1,7 \cdot 24 \cdot 10154}{1000} = 414 \text{ ВА.}$$

Тепер, коли ми визначили загальну потужність трансформатора, ми можемо бачити, що ми застосовуємо площу поперечного перерізу сердечника трансформатора до площі вікна сердечника. З розрахунків, отриманих раніше, є можливість визначитися з вибором проводів. Водночас ми отримаємо:

$$Q_c \cdot Q_0 = 1,6 \cdot P_2; \quad (3.15)$$

$$Q_c \cdot Q_0 = 1,6 \cdot P_2 = 1,6 \cdot 488 = 723 \text{ см}^4.$$

З таблиці, де наведені основні дані типової W-подібної пластини, в залежності від значення, виберіть пластину сердечника трансформатора типу USH40 см, ширину стрижня проміжного сердечника, см, висоту вікна, см, ширину вікна, см, в даному випадку, наступні значення отримані:

$$Q_c = \frac{Q_c \cdot Q_0}{Q_0}; \quad (3.16)$$

$$Q_c = \frac{723}{18,7} = 38,7 \text{ см}^2.$$

Необхідна товщина пакета пластин обраховується за наступною формулою:

$$c = \frac{Q_c}{a}; \quad (3.17)$$

$$c = \frac{38,7}{4} = 9,68 \text{ см}.$$

Визначаємо число витків  $w$  і товщину провідника  $d$  первинної і вторинної обмоток трансформатора:

$$w_1 = \frac{48 \cdot U_1}{Q_c} = \frac{48 \cdot 220}{38,7} = 273 \text{ витка}; \quad (3.18)$$

$$w_2 = \frac{54 \cdot U_2}{Q_c} = \frac{54 \cdot 25}{38,7} = 34 \text{ витка}; \quad (3.19)$$

$$d_1 = 0,02 \sqrt{I_1} = 0,02 \sqrt{1450} = 0,76 \text{ мм}; \quad (3.20)$$

$$d_2 = 0.02\sqrt{I_2} = 0.02\sqrt{10636} = 2,063 \text{ мм.} \quad (3.21)$$

Для первинної обмотки вибираємо мідні обмотувальні проводи діаметрами  $d_1=0,8$  мм, для вторинної –  $d_2=2,12$  мм, марки ПЕВ-2.

### 3.3 Розрахунок параметрів мікрохвильової печі, що розробляється

Потужність печі

$$P = \frac{C_p \cdot m \cdot \Delta T}{t}, \quad (3.22)$$

де  $C_p$  - питома теплоємність продукту, що нагрівається;

$m$  - маса продукту, кг;

$\Delta T$  - різниця температур;

$t$  - час нагріву, с

Розрахунок магнетрона

Вихідні дані:

1. Частота генеруючих коливань  $f = 2500$  МГц;
2. Потужність безперервних коливань  $P = 1$  кВт;
3. Анодна напруга  $U_a = 4$  кВ;
4. Коефіцієнт корисної дії  $\eta = 70$  %;
5. Струм аноду  $I_a = 300$  мА;
6. Температура анодного блоку  $T_a = +12^\circ\text{C}$ .

#### 3.3.1 Вибір резонаторної системи

При виборі резонаторної системи визначальним фактором є потужність, довжина хвилі магнетрона, ККД, допустима маса.

|     |      |         |        |      |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |         |        |      | БРМА 24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|     |      |         |        |      |                      | 49   |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |                      |      |

Виберіть резонаторну систему із з'єднанням типу "щілинний отвір", яка являє собою систему, що складається з резонаторів, розташованих навколо анода. Така резонаторна система використовується для магнетронів безперервної дії. Форма і розмір резонатора відіграють важливу роль у таких системах. [3]

Резонаторні системи типу "щілинний отвір" мають досить високим характеристичним опором, сприяють постійному підвищенню стабільності роботи магнетрона в режимі роботи від вібрації, володіють високим внутрішнім якістю і ККД. Ця обставина робить дану систему більш кращою для короткохвильового магнетрона.

Системи типу "щілинний отвір" мають досить невеликі габарити і вага. Крім того, така система дозволяє отримати хороший тепловідвід з торця анодного сегмента, і тому вона може бути застосована, якщо магнетрон розрахований на середню потужність. Система технічно проста і може бути легко виготовлена за допомогою пресування або електроерозії.

### 3.3.2 Розрахунок простору взаємодії

1 Вибір кількості резонаторів. Кількість резонаторів вибирається з таблиці 1 [3] залежно від довжини хвилі, на якій працює магнетрон. Згідно з вихідними даними, довжина хвилі дорівнює  $\lambda = 3$  см, а кількість резонаторів дорівнює  $N=12$ .

2 розрахунок співвідношення катод-анод. Для цього розрахунку використовуйте таблицю 3.1

Таблиця 3.1-Розрахунок співвідношення катод-анод

|          |      |       |       |       |       |      |       |       |
|----------|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
| N        | 6    | 8     | 10    | 12    | 16    | 18   | 20    | 38    |
| $\sigma$ | 0.26 | 0.376 | 0.505 | 0.517 | 0.619 | 0.64 | 0.644 | 0.765 |

При виборі значення  $E$  слід враховувати, що його зменшення призводить до підвищення ефективності електроніки. Однак це зниження допускається тільки до певних меж, що накладаються Умовами самозбудження і, отже, стабільністю роботи, а також допустимою щільністю струму катодного емісії..

Вибирає для нашого випадку  $\sigma = 0.517$ .

1 Визначення діаметра аноду. Для визначення величини  $d_a$  потрібно попередньо задатися значенням граничного електронного ККД  $\eta_{e \text{ доп}}$ , який знаходиться в межах для магнетронів з хвилеводним виводом енергії:

$$\eta_{e \text{ доп}} = 0.65 - 0.8.$$

Вибираємо для даного випадку  $\eta_{e \text{ доп}} = 0.8$ .

Потім по заданих величинах анодної напруги  $U_a$ ; довжини хвилі  $\lambda$ ; по вибраному числу резонаторів  $N$  з умови синхронізму може бути розрахований діаметр аноду:

$$d_a = N \cdot \lambda \sqrt{(1 - \eta_{e \text{ доп}}) \cdot U_a \cdot 10^{-6}}, \quad (3.23)$$

$$d_a = 12 \cdot 30 \sqrt{(1 - 0.8) \cdot 4000 \cdot 10^{-6}} = 20 \text{ мм.}$$

Знайдене значення  $d_a$  є першим наближенням і при подальших розрахунках буде уточнене.

2 Визначення діаметру катода проводимо за формулою:

$$d_k = d_a \cdot \sigma, \quad (3.24)$$

$$d_k = 20 \cdot 0.517 = 10.3 \text{ мм.}$$

3 Визначення величини робочого анодного струму. Ми використовуємо співвідношення:

$$I_a = \frac{P}{U_a \cdot \eta_{II}} = \frac{1000}{4000 \cdot 0.75} = 0,3 \text{ А.} \quad (3.25)$$

4 Визначення допустимої густини струму з катоду. Реально допустима густина струму знаходимо за формулою:

$$j_k \geq 3 \cdot 10^{-3} \cdot f, \text{ А/см}^2, \quad (3.26)$$

де  $f$  – робоча частота, МГц.

$$j_k = 3 \cdot 10^{-3} \cdot 2500 = 7.5 \text{ А/см}^2.$$

5 Визначення активної частини катоду. Величину  $l_k$  можна знайти з співвідношення:

$$l_{\hat{e}} = \frac{I_a}{j_k \cdot \pi \cdot d_k}, \quad (3.27)$$

$$l_{\hat{e}} = \frac{0,3}{7,5 \cdot 3,14 \cdot 0,103} = 1,2 \text{ мм.}$$

|     |      |         |        |      |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |         |        |      | БРМА 24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |                      | 52   |

6 Визначення довжини анода. Можна припустити, що довжина анода дорівнює довжині активної частини катода. Однак, щоб усунути ефект взаємодії між електронами і кінцевими полями поблизу кінцевої межі резонаторної системи, ми повинні вибрати:

$$l_a \approx (1,07 \div 1,12)l_k, \quad (3.28)$$

$$l_a = 1,12 \cdot 1,2 = 1,34 \text{ мм.}$$

Ці небажані взаємодії призводять до зниження Електронної ефективності і погіршення умов для збільшення вібрації робочого типу і, отже, до зниження стабільності магнетрона. В цілому, рекомендується уникати проектування резонаторної системи зі значною осьовою довжиною. Тому необхідно дотримуватися наступних обмежень: для систем з двостороннім зв'язком:

$$l_a < 0,4 \lambda; l_a = 0,4 \cdot 30 = 12 \text{ мм.}$$

### 7 Визначення величини робочої магнітної індукції.

За виключенням магнетронів, які працюють в режимах низьких полів, для більшості випадків робочу магнітну індукцію розраховують за формулою:

$$B = K_1 \frac{13,5 \cdot 10^{-4} \sqrt{U_a}}{d_a (1 - \sigma^2)}, \quad (3.29)$$

де  $K_1 = 1,3$ .

$$B = 1,3 \frac{13,5 \cdot 10^{-4} \sqrt{4000}}{0,2(1 - 0,26)} = 0,7 \text{ Тл.}$$

|     |      |         |        |      |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |         |        |      | БРМА 24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|     |      |         |        |      |                      | 53   |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |                      |      |



Електронний ККД розраховується за формулою:

$$\eta_e = 1 - \frac{1}{U_a} \left[ 3,75 \cdot 10^4 d_a (1 - \sigma)^3 \sqrt[3]{\frac{I_a^2 \cdot N^2 \cdot B^2}{U_a \cdot I_a^2 \cdot d_a (1 - \sigma)}} + \frac{2020 \cdot 10^4 \cdot d_a^2}{N^2 \cdot \lambda^2 \left(1 + \frac{2,14}{N \cdot \lambda \cdot B}\right)^2} \right] \quad (3.29a)$$

$$\eta_e = 1 - \frac{1}{4000} \left[ \frac{3,75 \cdot 10^4 \cdot 0,2(1 - 0,517)^3 \sqrt[3]{\frac{0,3 \cdot 12^2 \cdot 0,7^2}{4000 \cdot 0,12^2 \cdot 0,2(1 - 0,517)}}}{\frac{2020 \cdot 10^4 \cdot 0,2^2}{12^2 \cdot 3^2 \left(1 + \frac{2,14}{12 \cdot 3 \cdot 0,7}\right)^2}} \right] = 0,85$$

## 9 Розрахунок величини високочастотної напруги.

Орієнтована величина високочастотної напруги на щілинах резонаторної системи може бути знайдена з співвідношень

$$U_{ВЧ} \approx \frac{\lambda U_a}{\sqrt{2} d_a (1 - \sigma)} \cdot \frac{\omega}{\sin\left(\frac{N}{2} \cdot \frac{\omega}{d_a}\right)}, \quad (3.30)$$

$$U_{ВЧ} = \frac{3 \cdot 4000}{\sqrt{2} \cdot 1,2(1 - 0,517)} \cdot \frac{0,2}{\sin\left(\frac{12}{2} \cdot \frac{0,2}{1,2}\right)} = 3000 \text{ В.}$$

При розрахунку слід зазначити, що збільшення УВЧ збільшує силу фазового фокусування і намагається зменшити фазовий кут зсуву між положенням електронного згустку і максимумом УВЧ, що зменшує ємнісний ефект, і поблизу щілини резонатора утворюється згусток, в результаті чого при цьому частота, що генерує коливання, збільшується. Тому в малопотужних і

низьковольтних магнетронах різниця між частотами дуже важлива і повинна враховуватися при розрахунку довжини хвилі системи.

### 3.3.3 Розрахунок резонансної довжини хвилі щілинного резонатора

Відповідна резонансна довжина хвилі  $\lambda_{\pi}$  обчислюється за такою формулою:

$$\lambda_{\pi} = \sqrt{\frac{8\pi}{2l_a + d_{\text{OTB}}} \left( \frac{\pi \cdot d_{\text{OTB}}^2}{4} + \frac{l_{\text{Щ}} \cdot \omega}{2} \right) \frac{l_a}{4\pi} \left\{ \frac{l_{\text{Щ}}}{\omega} + \frac{1}{\pi} \ln \frac{d_{\text{OTB}}}{\omega} + \frac{4}{\pi} \left( 1 + \frac{d_{\text{OTB}}}{2l_a} \right) \right\} + C_{\text{СВ}} \cdot 9 \cdot 10^{11} + C_{\text{КР}} \cdot 9 \cdot 10^{11} + C' \cdot 9 \cdot 10^{11}}.$$

Ємність зв'язок  $C_{\text{ЗВ}}$  визначається в залежності від вибраної конструкції зв'язок. В нашому випадку при одинарних двосторонніх зв'язках використовується рівняння:

$$C_{\text{ЗВ}} = \frac{\tau_1}{4\pi} \left( \frac{2s + \Delta_1 + \Delta_1}{\Delta} + \frac{\delta_{\text{СВ}} + \Delta}{\Delta_1} \right) \cdot 1,11 \cdot 10^{-12}. \quad (3.31)$$

Оскільки розташування зв'язок таке, що  $\Delta = \Delta_1$  і  $\Delta_2=0$ , дана формула перетвориться в:

$$C_{\text{ЗВ}} = \frac{\tau_1(2s \cdot \delta_{\text{СВ}} + 2\Delta)}{4\pi} 1,11 \cdot 10^{-12} \quad (3.32)$$

де  $\tau_1 = \frac{\pi(d_{\text{ЗВ}} + \delta_{\text{ЗВ}})}{N} - \omega$ , інші величини беремо з [8, рисунок 4].



довжини хвилі найближчого виду, для якого  $n = N/2-1$ ), можна скористатися формулою:

$$\frac{\frac{N}{2}-1}{\lambda_{\pi}} = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{C_{3В}}{C_{\Sigma}} \cdot \left(\frac{\lambda_{\pi}}{\pi d_{3В}}\right)^2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{C_{3В}}{C_p} \cdot \left(\frac{l_a \cdot N}{\pi d_{3В}}\right)^2}}, \quad (3.34)$$

$$\frac{\frac{N}{2}-1}{\lambda_{\pi}} = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{0,13 \cdot 10^{-12}}{8,6 \cdot 10^{-12}} \cdot \left(\frac{26,8}{3,14 \cdot 4}\right)^2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{0,13 \cdot 10^{-12}}{5,4 \cdot 10^{-12}} \cdot \left(\frac{12 \cdot 12}{3,14 \cdot 4}\right)^2}} = 1,2.$$

У таких системах поділ по частоті зменшується зі збільшенням числа резонаторів і довжини анодних блоків.

У проєкційному магнетроні поділ частоти досягається легше, ніж у високовольтному магнетроні. Чим більше поділ частоти, тим стабільніше буде працювати магнетрон.

### 3.3.5 Розрахунок власної добротності резонаторної системи

Для визначення ефективності схеми необхідно виконати розрахунок власної добротності резонаторної системи, що є істотним для даного типу магнетрона.

Розрахунок системи типу "щілинний отвір" здійснюється за такою формулою:

$$Q_0 = \frac{83,5 \cdot 10^{-12} \cdot (\lambda_{\pi})^{3/2}}{C_{\Sigma} \left[ \frac{\pi d_{\text{отв}} + l_{\text{ш}}}{l_a} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{\text{Cu}}}{\sigma_p} + \frac{2\omega + \tau_1}{8s}} \cdot \left( \frac{C_{3B}}{C_{\Sigma}} \right)^2 \sqrt{\frac{\sigma_{\text{Cu}}}{\sigma_{\text{св}}}} \right]} \quad (3.35)$$

$\sigma_{\text{Cu}} = 0,32$ ;  $\sigma_{\text{св}} = 0,4$ ;  $\sigma_p = 0,25$  [12].

Тоді власна добротність резонаторної системи:

$$Q_0 = \frac{83,5 \cdot 10^{-12} \cdot (28,6)^{3/2}}{8,6 \cdot 10^{-12} \left[ \frac{3,14 \cdot 0,4 + 0,5}{12} \cdot \sqrt{\frac{0,32}{0,25} + \frac{2 \cdot 0,2 + 0,3}{8 \cdot 0,7}} \cdot \left( \frac{0,13 \cdot 10^{-12}}{8,6 \cdot 10^{-12}} \right)^2 \sqrt{\frac{0,32}{0,4}} \right]} = 1000$$

### 3.3.6 Розрахунок характеристичного опору резонаторної системи

Після визначення всіх розмірів резонаторної системи необхідно оцінити, наскільки дотримані вимоги до розмірів  $\rho_c$ .

З формули:

$$\rho_{\text{сист}} = \frac{1}{N} \cdot \frac{\lambda_{\pi}}{2\pi \cdot c \cdot C_{\Sigma}}, \quad (3.36)$$

$$\rho_{\text{сист}} = \frac{1}{12} \cdot \frac{0,286}{2 \cdot 3,14 \cdot 15 \cdot 10^9 \cdot 8,6 \cdot 10^{-12}} = 8,3 \text{ Ом}$$

### 3.3.7 Розрахунок зовнішньої добротності

Зовнішня добротність  $Q_{\text{зовн}}$  розраховується з умови отримання степені затягування частоти  $F_3$ .

$$Q_{\text{ЗОВН}} = \frac{0,44 \cdot \nu_0}{F_3}, \quad (3.37)$$

де  $\nu_0$  – генеруюча частота при узгодженому навантаженні.  $\nu_0 = 10$  Гц.

$F_3$  – степінь затягування частоти,  $F_3 = 20$  МГц.

Тоді

$$Q_{\text{ЗОВН}} = \frac{0,44 \cdot 10 \cdot 10^9}{20 \cdot 10^6} = 220.$$

### 3.3.8 Розрахунок ККД магнетрона

Повний коефіцієнт корисної дії визначається за формулою:

$$\eta_{\text{ПОВН}} = \eta_{\text{СЛ}} \cdot \eta_{\text{КОНТ}}. \quad (3.38)$$

Для визначення ККД контуру використовуємо нерівність:

$$\eta_{\text{КОНТ}} = \frac{Q_0}{Q_0 + Q_{\text{ЗОВН}}}, \quad (3.39)$$

$$\eta_{\text{КОНТ}} = \frac{1000}{1000 + 220} = 0,82.$$

Тоді

$$\eta_{\text{ПОВН}} = 0,85 \cdot 0,82 = 0,7.$$

|     |      |         |        |      |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |         |        |      | БРМА 24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |                      | 60   |

Це значення дорівнює встановленому, тому всі розрахунки виконуються коректно.

### 3.3.9 вибір типу виведення енергії

3. У многорезонаторном магнетроні зазвичай використовуються основні типи виведення енергії: коаксіальний, коаксіально-хвилеводний і хвилеводопроводящий.

Основне завдання, пов'язане з виведенням енергії, полягає в правильній вібраційної навантаженні на резонаторную систему. Опір, необхідний для стабільної роботи магнетрона, становить близько декількох Ом. Отже, джерелом енергії є трансформатор опору.

Інші вимоги до рекуперації енергії:

1. Вихідна потужність повинна забезпечувати необхідний активний опір резонаторної системи магнетрона при якомога меншому реактивному опорі.

2. Вихідна потужність повинна бути досить широкосмуговою.

3. Конструкція джерела енергії повинна виключати можливість поширення в ньому вищих типів хвиль і виникнення паразитних впливів.

4. Джерело енергії повинно забезпечувати надійне розділення вакууму між внутрішньою областю магнетрона і зовнішнім середовищем з мінімальними втратами енергії, наскільки це можливо.

5. Джерело енергії повинен володіти достатньою електричною міцністю.

6. Джерело енергії повинен бути простий у виготовленні і мати невелику вагу і габарити.

|     |      |         |        |      |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |         |        |      | БРМА 24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |                      | 61   |

При виборі вихідної потужності Вам слід звернути увагу на наступне: для виведення енергії по хвилеводу навантаження повинна мати досить високим опором. Отже, вихідна потужність повинна мати значний коефіцієнт перетворення опору. Тип і розмір цієї ділянки визначають як величину і знак внесеної реактивності, так і широкосмуговий вихід енергії, в цьому випадку перетворення майже завжди реально в цілому для спеціальної частини мікрохвильової трубки, яка поміщається між резонаторною системою і звичайним хвилеводом, адаптованим до навантаження.

Для цього магнетрона на довжині хвилі 3 см при середній потужності, з точки зору дотримання розміру і розташування контуру зв'язку в резонаторній системі, коаксіальний висновок енергії незручний, тому вибирайте хвилеводний висновок енергії.

### 3.3.10 Розрахунок енергоспоживання

1. Визначення необхідного опору вставки. Використовуючи значення характеристичного опору і зовнішнього коефіцієнта якості, отримані вище, необхідний опір вставки розраховується за такою формулою:

$$R_{\text{внос}} = \frac{\rho_{\text{сист}} \cdot N^2}{Q_{\text{зовн}}}, \quad (3.40)$$

$$R_{\text{внос}} = \frac{8,3 \cdot 12^2}{220} = 6 \text{ Ом.}$$

1. Визначення опору навантаження. За опір навантаження приймається еквівалентний хвильовий опір тракту, з яким з'єднується магнетрон:  $R_{\text{нав}} = (Z_e)_{\text{нав}}$ . Зокрема, хвилеводний тракт прямокутного перерізу

з хвилею  $H_{10}$  має еквівалентний опір, величину якого можна прийняти рівною:

$$Z_e = 2 \frac{b}{a} \cdot \frac{1}{\sqrt{\varepsilon}} \cdot \frac{377}{\sqrt{1 - \frac{\lambda^2}{4a^2 \varepsilon}}}, \quad (3.41)$$

де  $a$  і  $b$  – ширина і довжина перерізу хвилеводу,  $a = 4$  мм,  $b = 8$  мм з додатку 1 [3] для даного хвилеводу;

$\varepsilon$  - діелектрична стала,  $\varepsilon = 5,2$ ;

$\lambda$  - довжина хвилі,  $\lambda = 3$  см.

Тоді

$$Z_e = 2 \frac{8}{4} \cdot \frac{1}{\sqrt{5,2}} \cdot \frac{377}{\sqrt{1 - \frac{30^2}{4 \cdot 8^2 \cdot 5,2}}} = 32.$$

2. Визначення розмірів прямокутного хвилеводу. Розміри поперечного перерізу прямокутного хвилеводу  $a = 4$  мм,  $b = 8$  мм.

Виходячи з заданого значення потужності  $P = 1000$  Вт, потрібно визначити необхідний тиск  $p_{\text{мін}}$  елегазу в НВЧ тракті, який забезпечує його електричну міцність.

$$p_{\text{мін}} = 97 \frac{k_1}{E_{\text{доп}}} \sqrt{\frac{P}{ab}} \cdot \frac{\rho}{1 + \rho} \cdot T \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2}, \quad (3.42)$$

де  $k_1$  – константа, яка залежить від степені іонізації газу, який заповнює хвилевід,  $k_1 = 1,2$  [3, табл.8 ].

$T$  – температура,  $T = 288$  К;

$\rho$  - КСВХН,  $\rho = 4,4$ ;

$E_{\text{доп}} = 9 \cdot 10^4$  В/см.

Тоді

$$P_{\text{мін}} = 97 \frac{1,2}{9 \cdot 10^4} \sqrt{\frac{1000}{0,8 \cdot 0,4}} \cdot \frac{4,4}{1+4,4} \cdot 288 \sqrt{1 - \left(\frac{0,3}{2 \cdot 0,8}\right)^2} = 600 \text{ мм. рт. ст.}$$

Величина  $p_{\text{мін}}$  визначає і висотність магнетрона.  $h = 10$  см [3].

В іншій формі запису вказану формулу застосовуємо для оцінки гранично допустимої потужності магнетрона, коли використовується хвилеводний вивід енергії заданих розмірів на хвилі типу  $H_{10}$ ,

$$P_{\text{доп}} = 5 \cdot 10^5 \left( \frac{E_{\text{доп}}}{k_1} \right)^2 ab \left( \frac{p}{T} \right)^2 \left( \frac{\rho}{1+\rho} \right) \sqrt{1 - \frac{\lambda^2}{2a}}, \quad (3.43)$$

$$P_{\text{доп}} = 5 \cdot 10^{-7} \left( \frac{9 \cdot 10^4}{1,2} \right)^2 0,4 \cdot 0,8 \left( \frac{600}{288} \right)^2 \left( \frac{4,4}{1+4,4} \right) \sqrt{1 - \frac{0,3^2}{2 \cdot 0,8}} = 14765 \text{ Вт}$$

### 3.3.11 Розрахунок і конструювання трансформатора опорів

У магнетроні перетворення опору навантаження для отримання раніше розрахованого Значення  $R_{\text{вно}}$  зазвичай виконується плавним перетворенням або  $N$ -ступінчастим трансформатором ( $n=1, 2, 3$  і т.д.), складається з чвертьхвилинної ділянки однорідної лінії передачі. Таким чином, трансформатор виконує функцію узгоджувальних резисторів.

На відміну від термінів, прийнятих при розгляді ліній передачі при розробці магнетрона, термін "координація" вироблення енергії має такий

зміст:

а)" вирівнювання " означає введення необхідного  $R_{fno}$  в резонаторну систему, яке зазвичай змінюється відповідно до заданого Закону робочого частотного діапазону. Цей закон зміни  $\gamma_{vno}$  визначається зміною похибки діапазону робочих частот (визначається вибором методу настройки частоти) і властивостями експериментальної залежності робочих параметрів магнетрона (головним чином, ступенем посилення потужності і частоти). Відповідно до експериментальних даних коригується заданий закон зміни  $\gamma_{vno}$ . В іншому випадку можливо і прийнятно використовувати значення  $R_{vno} = \text{const}$ .

б) трансформаторна широкосмуговий зв'язок розуміється як забезпечує їм необхідні закони зміни  $\gamma_{vno}$  в діапазоні частот. У той же час широкосмуговість всіх інших елементів виведення енергії (крейда, вакуумне ущільнення, опорні елементи і т.д.) визначається кінцевим введенням мінімального відображення у всьому зазначеному діапазоні частот.

Конструкція плавних деформаційних переходів може бути найрізноманітнішою. Експоненціальні та лінійні кінчні пристрої використовуються частіше, ніж інші пристрої. Цей тип трансформатора в основному використовується при з'єднанні ліній електропередачі з різними конфігураціями їх поперечного перерізу (прямокутні циліндричні хвилеводи, Н-образні циліндричні хвилеводи і т.д.).

Ступінчасті Трансформатори (багатосекційні і односекційні) найбільш часто використовуються для виведення енергії по хвилеводах.

Для такої потужності ми вибираємо односекційний чвертьхвильовий трансформатор.

|     |      |         |        |      |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |         |        |      | БРМА 24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |                      | 65   |

### 3.3.12 Розрахунок односекційного чвертьхвильового трансформатора

Односекційні Трансформатори використовуються для магнетронів, які працюють як на постійних хвилях, так і в діапазонах перебудови, що становлять близько 5-7% від середньої частоти і навіть до 10%. Слід зазначити, що чим більше значення коефіцієнта перетворення відрізняється від 1, тим менш широкосмуговим буде трансформатор.

З іншого боку, при виведенні енергії з хвилеводу, коли коефіцієнт перетворення малий (значення  $R_{v\text{nos}}$  відносно велике), розмір зазору трансформатора збільшується, і граничне поле на стику резонатора і трансформатора різко зростає. Це змінює власну частоту вихідного резонатора. Водночас знижується широкосмуговість. У таких випадках рекомендується використовувати трансформатор з великою кількістю секцій.

Такі трансформатори використовуються для малопотужних магнетронів. В цілому це дозволяє значно зменшити габарити і вага вихідного пристрою і звести до мінімуму вплив елементів пристрою, розташованих в кінцевій площині резонаторної системи, на характер роботи в робочому діапазоні хвиль.

Важливо, щоб зменшення величини вихідної енергії при використанні такого трансформатора не призводило до зменшення широкосмуговості.

При розрахунку одновимірного чотирикутника для одного інтервалу необхідно вирішити дві задачі:

- а) отримання необхідної величини критичної довжини хвилі –  $(\lambda_{\text{кр}})_{\text{тр}}$ ;
- б) отримання необхідної величини еквівалентного опору трансформуючої секції  $(Z_e)_{\text{тр}}$ .

При конструюванні хвилеводного трансформатора рекомендується вибирати:

$$(\lambda_{кр})_{тр} \geq (\lambda_{кр})_{нав.};$$

$$2 \geq 4.3.; [3].$$

Для трансформуючої секції в прямокутному хвилеводі:

$$(Z_e)_{тр} = \sqrt{R_{внос} \cdot (Z_e)_{нав}} \quad (3.44)$$

$$(Z_e)_{тр} = \sqrt{6 \cdot 32} = 14 \text{ Ом.}$$

### Висновки до третього розділу

Розраховано елементи конструкції мікрохвильової печі, виготовлено експериментальний зразок на базі корпусу НВЧ-печі LG MB4042G.

|     |      |         |        |      |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |         |        |      | БРМА 24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |                      | 67   |

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В ході роботи бакалавра був проведений огляд конструкції сучасної мікрохвильової печі і системи її управління. В результаті перевірки було зроблено висновок про необхідність розробки дизайну стенду для проведення досліджень системи управління сучасними мікрохвильовими печами.

Була розроблена конструкція мікрохвильової печі

У розділі " розрахунки " був проведений розрахунок основних елементів вдосконаленої мікрохвильової печі, а також розраховані її параметри. Був обраний тип резонаторної системи, розраховано кількість резонаторів, розрахований коефіцієнт корисної дії, Довжина, діаметр анода і катода, Робочий струм, значення анодного напруги і довжина хвилі резонаторної системи. Коли я порівняв розраховані значення із зазначеними, то виявив, що відмінностей між ними було небагато, тому розрахунки були виконані правильно.

|     |      |         |        |      |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |         |        |      | БРМА 24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |                      | 68   |

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Саєнко Н.П. «Устаткування підприємств громадського харчування» Київ-2005р.
2. Низкоінтенсивні НВЧ–технології (проблеми та реалізації) / Г.А. Морозов [та інші]. – Київ.: Радіотехніка, 2003. – 112 с.
3. Промислова електроніка. Офіційний сайт журналу. Код доступу:[http://www.electronics.ru/files/article\\_pdf/0/article\\_59\\_323.pdf](http://www.electronics.ru/files/article_pdf/0/article_59_323.pdf).
4. Офіційний сайт фірми Samsung. Код доступу:<http://www.samsung.com/ua/cooking-appliances>.
5. Офіційний сайт фірми «Київ-Комфорт». Код доступу <https://www.kievkomfort.com.ua/ua/info/articles/rasschitat-proizvoditelnostventiljatora-onlajn/>.
6. Архангельский, Ю. С. Багаточастотні установки НВЧ діалектичного нагрівання / Ю.С.Архангельський, Е.М.Гришина //Питання електротехнологій. –2014. - № 2. – С. 59-63. 153 10.
7. 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.
8. Ільницький Л.Я., Сібрук Л.В., Щербина О.А. «Пристрої надвисоких частот та антени»: Навч. посібник. – К: НАУ, 2013.
9. Поплавко Ю.М., Переверзева Л.П., Воронов С.О., Якименко Ю.І. Фізичне матеріалознавство. К.: НТУУ «КПІ», 2007. – Частина 2. Діелектрики. 392 с
10. 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.

|     |      |         |        |      |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |         |        |      | БРМА 24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|     |      |         |        |      |                      | 69   |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |                      |      |

11. ДСанПіН 3.3.6.096-2002 Державні санітарні норми і правила при роботі з джерелами електромагнітних полів.

12. ДСТУ 2815–94 "Електричні й магнітні кола та пристрої. Терміни і визначення".

13. 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.

14. Стоянов А.В. Плоди і овочі — невід'ємний компонент їжі / А.В. Стоянов //Харчова і переробна промисловість. — 2001. — № 8. — С. 8 – 10.

|     |      |         |        |      |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |         |        |      | БРМА 24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|     |      |         |        |      |                      | 70   |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |                      |      |

ДОДАТОК А

|     |      |         |        |      |                      |      |
|-----|------|---------|--------|------|----------------------|------|
|     |      |         |        |      | БРМА 24.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Зм. | Арк. | №докум. | Підпис | Дата |                      | 71   |