

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

Навчально-науковий інститут інженерії та інформаційних технологій
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра комп'ютерної інженерії та електромеханіки
(повна назва кафедри)

Дипломна магістерська робота

на тему Вдосконалення електропривода з мікропроцесорним керуванням для побутової
хлібопічки

Виконав: студент групи МгЕМ-21
спеціальності

141 Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка _____

(шифр і назва спеціальності)

Освітньої програми

Денис СТАДНИК

(прізвище та ініціали)

Керівник К.Т.Н., доц.

Тетяна Біла

Рецензент _____

(прізвище та ініціали)

Київ 2022

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

Навчально-науковий інститут інженерії та інформаційних технологій

Кафедра комп'ютерної інженерії та електромеханіки

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма Електропобутова техніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Б.М. Злотенко

“ _____ ” _____ грудня _____ 2022 _____ року

**З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Стадник Денису Олеговичу

1. Тема роботи Вдосконалення електропривода з мікропроцесорним керуванням для побутової хлібопічки

Науковий керівник роботи Біла Тетяна Яківна, к.т.н., доц.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 28 09 2022 року № 180-уч

2. Строк подання студентом роботи 9.12.2022

3. Вихідні дані до роботи Технічні характеристики сучасних роботів-пилососів

4. Зміст дипломної роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕННЯ.

2. РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ДЛЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ ПОБУТОВОЇ ХЛІБОПІЧКИ
З МІКРОПРОЦЕСОРНИМ КЕРУВАННЯМ

3. РОЗРАХУНКИ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ ВДОСКОНАЛЕНОЇ
ПОБУТОВОЇ ХЛІБОПІЧКИ

6. Консультанти розділів дипломної магістерської роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Вступ	Тетяна БІЛА, к.т.н., доц.		
Розділ 1	Тетяна БІЛА, к.т.н., доц.		
Розділ 2	Тетяна БІЛА, к.т.н., доц.		
Розділ 3	Тетяна БІЛА, к.т.н., доц.		
Висновки	Тетяна БІЛА, к.т.н., доц.		

7. Дата видачі завдання _____**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломної магістерської роботи	Терміни виконання етапів	Примітка про виконання
1	Вступ	30.09.2022	З підписом керівника і студента
2	Розділ 1	10.10.2022	З підписом керівника, студента та консультанта
3	Розділ 2	20.10.2022	З підписом керівника, студента та консультанта
4	Розділ 3	25.10.2022	З підписом керівника, студента та консультанта
5	Висновки	27.10.2022	З підписом керівника і студента
6	Оформлення дипломної магістерської роботи (чистовий варіант)	1.11.2022	З підписом керівника і студента
7	Здача дипломної магістерської роботи на кафедру для рецензування (за 14 днів до захисту)	4.11.2022	З підписом керівника, студента консультанта, рецензента
8	Перевірка дипломної магістерської роботи на наявність ознак плагіату (за 10 днів до захисту)	7.11.2022	З підписом фахівця відділу моніторингу якості підготовки фахівців та аналітичної роботи
9	Подання дипломної магістерської роботи на затвердження завідувачу кафедри (з 7 днів до захисту)	10.11.2022	З підписом завідувача кафедри

Студент

_____ —

(підпис)

Денис СТАДНИК

Науковий керівник роботи

(підпис)

Тетяна БІЛА

Директор НМЦУПФ

(підпис)

Олена ГРИГОРЕВСЬКА

АНОТАЦІЯ

Стадник Д.О. Вдосконалення електропривода з мікропроцесорним керуванням для побутової хлібопічки – Рукопис.

Дипломна магістерська робота за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. – Київський національний університет технологій та дизайну, Київ, 2022 рік.

Дипломна магістерська робота присвячена вдосконаленню електропривода з мікропроцесорним керуванням побутової хлібопічки. В роботі проведено огляд і аналіз роботи сучасних хлібопічок, а також патентних рішень, що направлені на їх вдосконалення. Вибрано технічне рішення, що дозволить покращити конструкцію.

Метою дослідження є удосконалення конструкції побутових хлібопічок, що може бути застосовано при створенні нових конструкцій.

В роботі виконано розрахунок термоізоляції корпусу при наявності повітряного зазору і при умові примусової циркуляції повітря в камері випікання. Визначено, що при турбулентному режимі руху повітря тепловий режим найбільш сприятливий і корпус не потребує додаткової теплоізоляції. Виконано розрахунки відцентрового вентилятора, що буде забезпечувати визначені параметри роботи хлібопічки. Розраховано елементи схеми керування.

Завдання, що поставлені в даній роботі, вирішувалися на основі сучасних математичних методів з використанням класичних положень гідравліки, фізики, електромеханіки.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що виконано аналітичне дослідження теплового режиму хлібопічки при умові використання відцентрового вентилятора.

Ключові слова: хлібопічка побутова, система керування, камера випікання, циклограма роботи, алгоритм, тепловий режим роботи,

відцентровий вентилятор, теплоізоляція корпусу, схема електрична, мікропроцесор.

SUMMARY

Stadnyk D.O. Improvement of an electric drive with microprocessor control for a household bread maker - Manuscript.

Diploma master's degree work is in the specialty 141 Power engineering, electrical engineering and electromechanics. – Kyiv National University of Technology and Design, Kyiv, 2022.

The master's thesis is devoted to the improvement of the electric drive with microprocessor control of the household bread maker. The paper reviews and analyzes the operation of modern bread ovens, as well as patent solutions aimed at their improvement. A technical solution has been chosen that will improve the design.

The purpose of the research is to improve the design of household bread ovens, which can be used in the creation of new designs.

In the work, the thermal insulation of the case is calculated in the presence of an air gap and under the condition of forced air circulation in the baking chamber. It was determined that with a turbulent mode of air movement, the thermal mode is the most favorable and the case does not need additional thermal insulation. The calculations of the centrifugal fan, which will provide the defined parameters of the bread maker, have been performed. The elements of the control scheme are calculated.

The tasks set in this work were solved on the basis of modern mathematical methods using classical principles of hydraulics, physics, and electromechanics.

The scientific novelty of the obtained results lies in the fact that an analytical study of the thermal regime of the bread maker was carried out under the condition of using a centrifugal fan.

Key words: household bread maker, control system, baking chamber, work cycle, algorithm, thermal mode of operation, centrifugal fan, thermal insulation of the case, electrical scheme, microprocessor.

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	9
1.1 Загальні характеристики сучасних побутових хліб опічок.....	9
1.2. Аналіз конструкцій побутових хліб опічок.....	12
1.3. Технічне рішення, що покладено в основу вдосконалення побутової хлібопічки.....	18
....	18
Висновки по розділу 1.....	21
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ДЛЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ ПОБУТОВОЇ ХЛІБ ОПІЧКИ З МІКРОПРОЦЕСОРНИМ КЕРУВАННЯМ.....	22
2.1. Кінематична схема електроприводу лопаті хліб опічки.....	22
2.2. . Розробка і аналіз циклограми роботи побутової хлібопічки	24
2.3. Розробка структурної схеми керування хлібопічкою.....	27
2.4. Електрична принципова схема керування хлібопічкою.....	29
2.5. Розробка алгоритму роботи побутової хліб опічки.....	40
РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНКИ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ ВДОСКОНАЛЕНОЇ ПОБУТОВОЇ ХЛІБОПІЧКИ.....	42
3.1. Розрахунок теплового режиму роботи удосконаленої хлібопічки з системою циркуляції повітря.....	42
3.2. Розрахунок втрат тиску повітря при обдуві камери хліб опічки.....	51
3.3. Розрахунок відцентрового вентилятора	54
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	61

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	62
---------------------------------	----

ВСТУП

Актуальність роботи. Процес еволюції побутових хлібопічок полягає в ускладненні системи управління, що враховує багато нюансів, а також в появі відразу декількох програм випікання різних видів хліба в одному пристрої.

Хоча сучасні хлібопічки достатньо добре зарекомендували себе в використанні, ми вирішили в магістерській роботі знайти можливість їх вдосконалення на основі детального аналізу недоліків конструкцій. Вдосконалення хлібопічки можливо в результаті інженерних розрахунків показників фізичних процесів, що відбуваються при випіканні хліба в цих пристроях. Одним з таких процесів є тепловий режим нагрівання продукту і теплопередача від нагрівача до стінок камери випікання (втрати тепла в навколишнє середовище).

Вирішення питань покращення якісних і енергетичних показників побутових хлібопічок є актуальним завданням.

Мета і задачі досліджень. Метою дослідження є удосконалення конструкції побутових хлібопічок, що може бути застосовано при створенні нових конструкцій.

Для досягнення мети роботи поставлено такі завдання:

- провести аналіз конструкцій побутових хлібопічок, визначити основні напрямки їх можливого удосконалення;
- аналітично дослідити процес теплового режиму роботи побутової хлібопічки з відцентровим вентилятором;
- розробити структурну і електричну схеми керування приводу удосконаленої хлібопічки .

Об'єкт дослідження - Процес роботи побутових хлібопічок.

Предмет дослідження – Електропривод побутової хлібопічки.

Методи досліджень. Завдання, що поставлені в даній роботі, вирішувалися на основі сучасних математичних методів з використанням

класичних положень гідравліки, фізики, електромеханіки.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що:

- встановлено тенденції розвитку побутових хлібопічок і перспективи їх ефективного використання;
- виконано аналітичне дослідження теплового режиму хліб опічки при умові використання відцентрового вентилятора.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що отримані аналітичні залежності можуть бути використані при проектуванні і удосконаленні побутових хлібопічок.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Загальні характеристики сучасних побутових хлібопічок

Хлібопічка - побутовий малогабаритний електромеханічний пристрій, основною функцією якого є автоматизоване виготовлення формового хліба, починаючи від замісу тіста і закінчуючи випіканням готового хлібобулочного виробу. Максимальна маса виробу - від 450 до 2000 г, залежно від моделі хлібопекаря. Час виготовлення - 1-6 годин, залежно від виду хліба та способу виготовлення.

Прототип побутової хлібопічки з'явився у Бостоні на початку ХХ століття. Перша ж сучасна хлібопічка була розроблена 1987 року японською фірмою *Matsushita Electric Industrial Company, Ltd.* (Назва в даний час - *Panasonic Corporation*).

Інновація японських інженерів полягає в тому, що вони об'єднали в одному пристрої тістомісильну машину, шафу для розстоювання і хлібопекарську піч, використавши форму для замішування в якості хлібопекарської форми, а також автоматизували технологічний процес за допомогою мікропроцесора.

У кожній хлібопічки свій максимальний об'єм випічки від 0,5 до 1,5 кг.

До речі, не обов'язково щоразу готувати величезну хлібину. Практично у всіх моделях можна вибрати розмір і вагу готового хліба.

У деяких хлібопічках є параметр мінімального об'єму та ваги випічки: для компактних моделей – до 0,6 кг, для середніх і великих – понад 0,6 кг.

Компактні та середньорозмірні моделі споживають 500...800 Вт, великому пристрою буде потрібно трохи більш як 800 Вт.

Сучасні хлібопічки можуть виконувати до 14 повністю автоматичних програм приготування хліба. У них різний час і режими приготування – заміс, підйом, випічка, інгредієнти та добавки.

Нами було розглянуто технічні характеристики декількох найбільш відомих моделей хліб опічок. Для порівняння хлібопічок тіхнічні характеристики наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1.

Технічніні характеристики найбільш відомих моделей хлібопічок

Параметр	Panasonic SD-255WT	Moulinex OW5004	Delonghi BDM 125 S	LG HB - 205CJ	Kenwood - BM350
Потужність ,Вт	550	680	550	550	645
Маса випічки, г	600/1250	750/1500	750/900	500/900	750/1000
Час основної програми, годин	3:55	3:20	3:00	4:10	3:20
Форма випічки	цеглина	цеглина	цеглина	цеглина	цеглина
Кількість програм	9+8	14	12	13	14
Габарити (ШхВхД), мм	330x370x280	300x360x450	300x350x400	252x345x365	300×360×440
Наявність вентилятора	-	+	-	-	+

Стандартна модель вміє готувати різні види тіста.

Хлібопічка може приготувати не тільки тісто, а ще й джем або варення.

Основні елементи конструкції побутової хлібопічки представлені на рис.

2.1.

Диспенсер – ємність, яка автоматично додасть в тісто додаткові інгредієнти: родзинки, горіхи, сухофрукти, шоколад. Якщо в хлібопічці немає

диспенсера, вона подасть звуковий сигнал. У цей момент потрібно підняти кришку та вручну додати потрібні інгредієнти, що не завжди зручно.

Антипригарне покриття ємності для випікання допоможе хлібу не пригоріти, а господині легко витягти отримане блюдо та швидко відмити ємність.

Через оглядове вікно можна спостерігати за приготуванням хліба. Якщо підглядати за процесом просто відкриваючи кришку, порушиться температурний режим, а це може зіпсувати випічку.

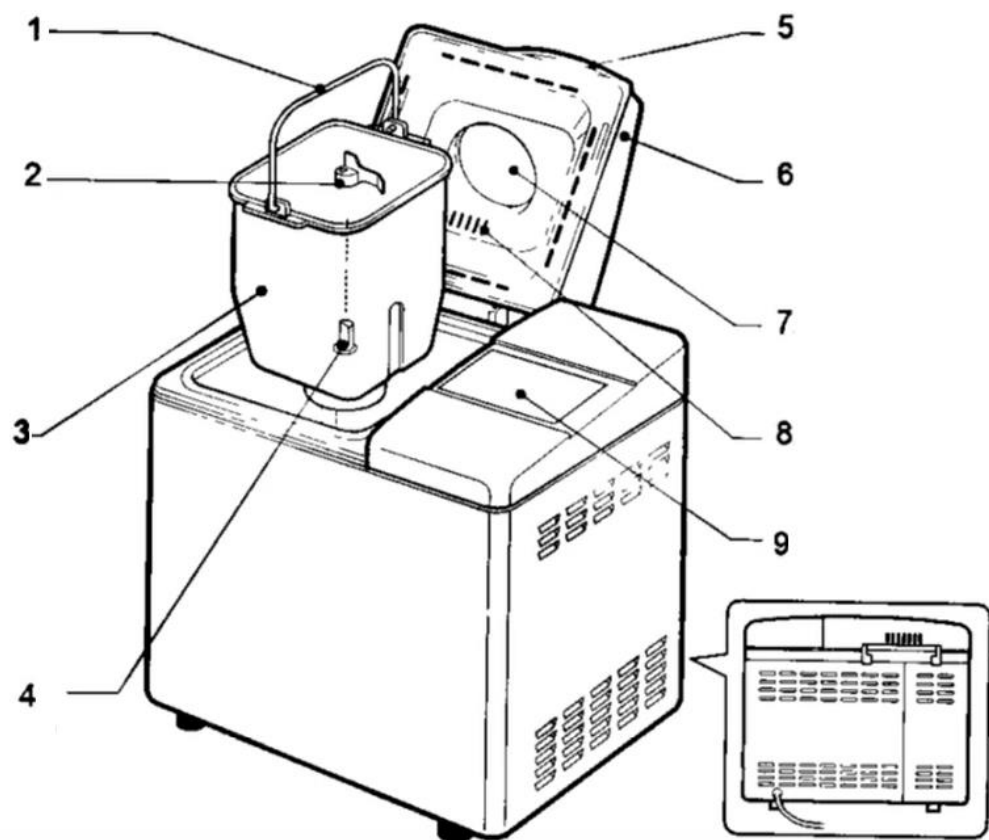


Рис. 1.1. Основні елементи конструкції побутової хлібопічки: 1 – ручка форми; 2 – лопать для замішування тіста; 3 – корпус форми; 4 – шпіндель обертання лопаті; 5 – ручка; 6 – кришка; 7 – оглядове вікно; 8 – вентиляційний отвір; 9 – панель керування

Дисплей покаже обрану програму, поточний режим роботи і скільки часу залишилося до закінчення процесу.

Додаткові функції

Крім основних режимів роботи, у хлібопічки бувають і додаткові функції.

Вибір кольору скоринки з двох-трьох доступних варіантів: світла, середня та темна, досягається регулюванням температури в кінці циклу випічки хліба. Чим вище температура і більше час запікання – тим темніше скоринка.

Стандартний час приготування хліба – 3-4 години, але вставати о 3 годині ночі, щоб отримати до сніданку хліб з печі, не потрібно. Для цього передбачена така корисна функція, як таймер відтермінування старту – до 10-13 годин в залежності від моделі.

1.2. Аналіз конструкцій побутових хлібопічок

Процес випічки хліба дуже складний і включає настільки різноманітні технологічні операції, що здається неможливим створити компактний, надійний пристрій, здатний приготувати хліб в автоматичному режимі. Однак такі пристрої існують, коштують порівняно недорого і набули досить високої популярності. Найдивовижніше, що при всій складності випікання хліба, самі хлібопічки влаштовані дуже просто.

Як приклад розглянемо пристрій, схему, хлібопічки SCARLETT Silver line SL-1525.

Короткий опис

Хлібопіч SCARLETT Silver line SL-1525 має 12 програм, серед них випічка різних видів хліба, заміс тіста (без випічки), приготування варення. Передбачена можливість вибору кольору скоринки хліба (3 варіанти), вибір одного з двох варіантів розміру буханця (маси хліба, що випікається). Є таймер, що дозволяє відкладати старт програми до 13 годин. Хлібопічка самостійно

продовжує виконання програми після нетривалих збоїв в електроживленні (якщо напруга в мережі зникає не більше 10 хвилин).

Пекти легка, має малі розміри, економно витрачає електроенергію. Зі своїми функціями справляється чудово. Зручна і проста у користуванні. Кришка печі забезпечена оглядовим вікном, через яке можна спостерігати за приготуванням тіста та випіканням протягом усього процесу.

Пекти було куплено з нагоди акції в одному продуктовому мережевому магазині за символічну суму - всього 60 \$. До першої поломки пропрацювала трохи менше року у досить інтенсивному режимі: використовувалася практично щодня, іноді неодноразово протягом дня. Тож вона встигла окупитися з урахуванням наших цін на хліб. Якщо врахувати, що наступний ремонт коштував близько 0.05\$, після чого експлуатація була продовжена, то покупка в цілому виявилася прибутковою. Навмисно не вказуватиму назву магазину, щоб не робити йому рекламу, так як він того не заслужив - його співробітники не спромоглися оформити гарантійний талон як годиться, внаслідок чого ремонтувати піч довелося самостійно. Зате вдалося розібратися з її пристроєм.

Якщо заглянути всередину печі, можна виявити досить високу якість складання.

Пристрій

Хлібопічка SCARLETT Silver line SL-1525, ось так виглядає в цілому.



Рис. 1.2. Зовнішній вигляд хлібопічки

Весь процес приготування хліба відбувається в одній формі для випічки (знімної чаші). Замість тесту здійснюється за допомогою спеціальної лопаточки, розташованої на дні форми. Лопаточка є знімною, вона закріплюється на валу, що проходить через дно форми, який і приводить її в обертання. Вал обертається в підшипнику ковзання, а протікання рідких інгредієнтів запобігається самопритискним сальником, що витримує високу температуру під час випікання та безпечним для використання у пристроях для приготування їжі. Вал, сальник, підшипник зібрані у вигляді єдиного вузла, прикріпленого заклепками на дно форми, який також виконує функції фіксації форми на відповідному вузлі приводу/фіксації всередині хлібопічки. Знімна чаша має особливу форму, вона втиснута з боків. За рахунок такої форми чаші і спеціально підібраної конфігурації лопаточки, при обертанні тісто збирається в "колобок" і "котається" по стінці форми. При прокочуванні по рельєфу форми відбувається перемішування між зовнішніми і внутрішніми шарами колобка.

Початкове перемішування інгредієнтів відбувається за рахунок обертання лопаточки. Обминка, яка потрібна між циклами підйому тесту, здійснюється

подібно до замісу, але протягом дуже нетривалого часу. Таким чином, пара форма-лопаточка виявляється універсальним інструментом для всіх процесів під час підготовки тесту.

Під час підйому тісто має бути у теплі. У хлібопічці для підігріву тіста використовується той же нагрівач, що і для випічки, тільки включається він рідко і на короткі проміжки часу. Регулювання температури здійснюється в ключовому режимі: коли температура опускається нижче заданого програмою рівня, нагрівач включається на повну потужність до тих пір, поки не буде досягнутий необхідний рівень нагріву, після чого відключається; плавне регулювання відсутнє. Контроль температури здійснюється за допомогою високочутливого терморезистора.

Після остаточного підйому ми отримуємо форму, заповнену тестом. Залишилося помістити її в піч для випічки... Ах, так, форма і так уже в печі! Залишилося тільки увімкнути нагрівач! Температура під час випікання контролюється за допомогою терморезистора з досить високою точністю, завдяки чому завжди виходить стабільно чудовий результат. Точна витримка температурного режиму дозволяє навіть задавати потрібний колір хлібної кірки.

Все, що потрібно від користувача - закласти інгредієнти у форму, почекати і витрусити готовий хліб із форми. Лопаточка для замішування залишається запеченою у хлібі. У деяких випадках вона прориває ще м'яке гаряче дно хліба при його витягуванні з форми (коли лопаточка приварюється тестом до валу), у деяких випадках її доведеться витягти з хліба самостійно. Зовнішній вигляд хліба при цьому практично не страждає.

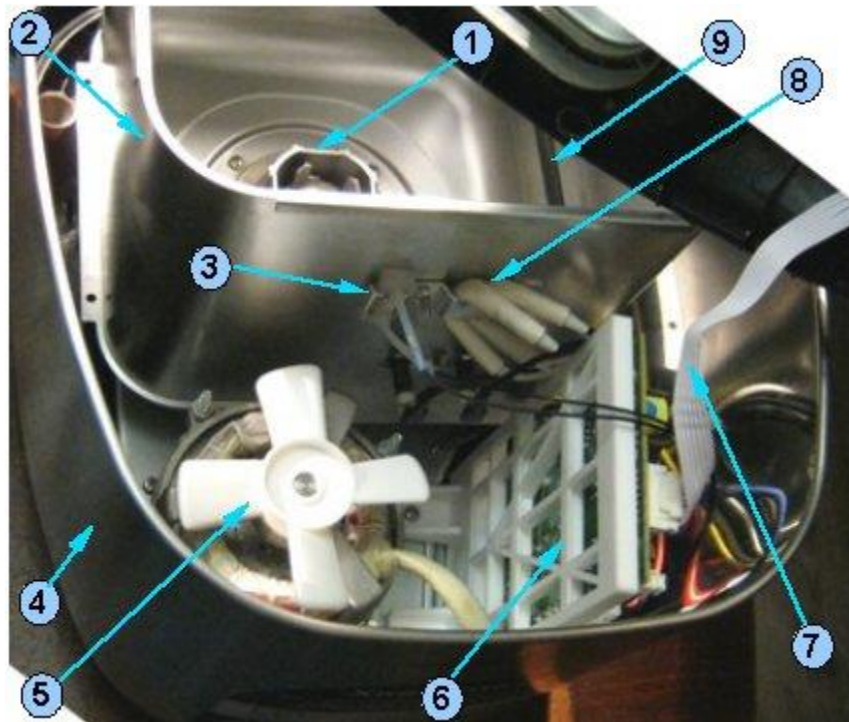


Рис. 1.3. Внутрішнє облаштування хлібопічки

Хлібопічка має багат шарову конструкцію, є кілька вкладених один в одного камер: корпус, камера з нагрівачем, форма для випікання хліба (знімна чаша). Всередині корпусу 4 з листової нержавіючої сталі (очевидно, зовнішній шар конструкції) знаходиться камера 2, всередину якої поміщається знімна чаша (форма для випічки хліба) з алюмінієвого сплаву з антипригарним покриттям. На малюнку чаша вийнята і видно вузол 1 фіксації чаші і приводу лопаточки для замісу тесту. У зазорі між стінкою камери і знімною чашею розміщений нагрівальний елемент - він має форму рамки і знаходиться в горизонтальній площині, на цьому малюнку видно лише невелику частину 9.

У просторі між камерою і корпусом, передній частині печі розташована плата з силовою електронікою, вона кріпиться до пластикової рами 6, пригвинченої до днища корпусу. Плата підключається до плати керування за допомогою шлейфу 7; плата управління кріпиться до пластикової знімної верхньої частини корпусу, тут не показано. Тут же розташований асинхронний електродвигун з охолодною крильчаткою 5 на валу. З протилежного боку валу,

між металевим днищем та пластиковою основою печі розташовані елементи ремінної передачі для передачі моменту на вузол 1.

На стінці камери закріплений терморезистор 3. Терморезистор поміщений у захисну силіконову оболонку та кріпиться сталевією скобою. Поряд, також за допомогою скоби, до стінки камери притиснуті запобіжники 8, вони знаходяться всередині трубок із теплостійкого ізоляційного матеріалу. З цього боку через стінку камери виведені кінці нагрівального елемента з контактами для підключення в електричний ланцюг.

У зібраному, робочому стані піч закривається кришкою, що відкидається. Кришка забезпечена оглядовим вікном. Кришка має вентиляційні отвори для випуску надлишків пари під час випікання.

На рис. 1.4 зображено внутрішній пристрій хлібопічки після зняття плати силової електроніки (плата знята разом із кріпленням). Видно відключені від неї роз'єми 3 для підключення шнура живлення, терморезистора, двигуна та інших компонентів. Можна розглянути конденсатор 2 для запуску двигуна. Добре видно контакти 4 для підключення нагрівача 1.

Плата із силовою електронікою є односторонньою.



Рис. 1.4. Внутрішній пристрій хлібопічки після зняття плати силової електроніки

Схема електрична принципова

Електроніка хлібопічки розміщена, в основному, на двох друкованих платах (плата управління та плата виконання), за винятком кількох елементів, винесених за їх межі та підключених за допомогою роз'ємів: терморезистор, нагрівальний елемент, запобіжники, асинхронний електродвигун та фазозсувний конденсатор для нього.

За логіку функціонування та контроль усіх процесів хлібопічки відповідає керуюча частина схеми на друкованій платі, закріпленій на лицьовій панелі хлібопічки. Вона містить мікроконтролер, індикатор, кнопки керування. Ця друкована плата з'єднана за допомогою шлейфу та роз'ємів з іншою платою, що розміщена в глибині корпусу і містить силову частину схеми: блок живлення та схеми узгодження між мікроконтролером та виконавчими елементами печі (драйвери).

1.3. Технічне рішення, що покладено в основу вдосконалення побутової хлібопічки

Відомі хлібопічки, що містить камеру для випікання, електричний нагрівач у нижній частині, форму для випікання, яка є контейнером, що встановлюється всередину камери для випікання для прийому в неї інгредієнтів, мішалку для перемішування та замішування інгредієнтів усередині форми для випікання та двигун для обертання мішалки певним чином. У хлібопічках такого типу повітря всередині камери для випікання нагрівається нагрівачем у нижній частині, і після того, як воно піднімається всередину камери для випікання, дозволяє виходити з камери для випікання. Іншими словами, вироблене тепло в таких хлібопічках не використовувалося ефективно. Метою

винаходу [4] є створення хлібопічок, які більш ефективно використовують вироблене тепло.

Удосконалена хлібопічка має не лише форму для випікання, розміщену всередині пекарної камери над нагрівачем, але й відцентровий вентилятор для проштовхування повітря через неї вгору. Перегородка з верхніми та нижніми отворами відокремлює вентилятор від форми для випікання так, що гаряче повітря, що штовхається вгору, стікає вниз навколо форми для випікання. Завдяки цьому форма для випікання нагрівається рівномірно, а теплова енергія використовується ефективно.

На рис. 1.5 показано хлібопічку, що відповідає винаходу [4] (позначення відповідають оригінальному документу).

Камера 50 для випікання, що містить електричний нагрівач 52 біля дна, сформована всередині корпусної конструкції 54. Корпусна конструкція 54 забезпечена кришкою 56, яку можна відкрити так, що форму для випічки 58 для розміщення в ній інгредієнтів для хліба можна встановити всередину камери 50 для випікання. Поруч із камерою 50 для випікання всередині корпусу 54, але відокремлена стінкою 80, що відокремлює камеру, знаходиться камера 60 двигуна, що містить двигун 62 мішалки, приводний вал якого перебуває у взаємозв'язку руху з приводним валом 64 мішалки через ремінь 66 таким чином, що лопаті мішалки (не показані) прикріплені до приводного валу 64 мішалки для переміщення.

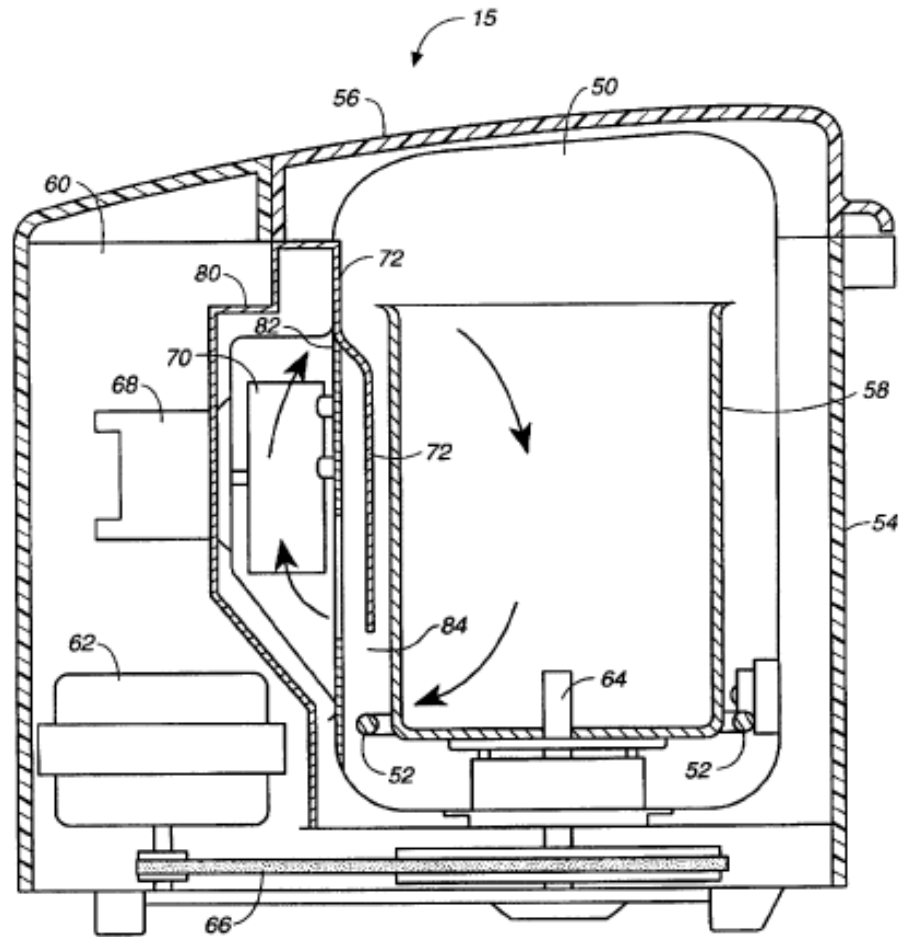


Рис. 1.5. Вид збоку в розрізі хлібопічки з вентиляцією повітря в камері випікання

Камера 60 двигуна також містить двигун 68 вентилятора для відцентрового вентилятора 70, який знаходиться всередині пекарної камери 50, але відокремлений від форми 58 перегородкою 72. Перегородка 72 має верхні вікна 82 над відцентровим вентилятором 70 і нижній впускний отвір 84 під відцентровим вентилятором 70 таким чином, що, коли двигун 68 вентилятора активує відцентровий вентилятор 70, повітря, яке було нагріте нагрівачем 52, витісняється через нього вгору, як показано спрямованими вгору стрілками на рис. 2.1 через простір між перегородкою 72 і роздільною камерою стінкою, що відокремлює камеру 50 для випікання від камери 60 двигуна. Гаряче повітря, що виштовхується вгору, змушене проходити через верхні вікна 82 до форми 58 для

випікання, тече вниз навколо деки 58, як показано спрямованими вниз стрілками на рис. 2.1, а потім всмоктується через нижній впускний отвір 84 до відцентрового вентилятора 70. Таким чином, нагріте повітря всередині пекарної камери 50 циркулює в ній, як показано стрілками на рис. 2.1 навколо форми 58 для випікання, замість того, щоб виходити з камери 50 для випікання, як це було в хлібопічках цього типу. У результаті тепло більш ефективно використовується через конвекцію в хлібопічці, що втілює цей винахід, так що до 2,0 фунтів пшеничного хліба та до 2,5 фунтів білого хліба можна спекти з кількістю енергії, необхідною для випікання приблизно 1,5 фунтів хліб від хлібопічки попереднього рівня техніки подібної конструкції. Крім того, оскільки примусова циркуляція повітря відповідно до цього винаходу сприяє рівномірному розподілу температури через форму 58 для випічки.

Висновки по розділу 1

1. Для вдосконалення хлібопічки запропоновано оснастити її системою циркуляції повітря в камері випікання. Це призведе до покращення процесу випікання хліба за рахунок більш рівномірного розподілу теплового потоку від електричного нагрівача по об'єму камери.

2. Для технічної реалізації цього вдосконалення потрібно вирішити наступні задачі:

- розробити алгоритм роботи хлібопічки з вентилятором;
- розробити структурну схему керування хлібопічкою;
- розробити електричну принципову схему хлібопічки;
- виконати розрахунок теплового режиму роботи хлібопічки з системою циркуляції повітря;
- визначити необхідні параметри повітряного потоку для забезпечення турбулентного режиму його руху;
- розрахувати конструкцію і технологічні параметри відцентрового вентилятора;
- розрахувати елементи схеми керування;
- розробити складальне креслення конструкції вдосконаленої хлібопічки.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ДЛЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ ПОБУТОВОЇ ХЛІБ ОПІЧКИ З МІКРОПРОЦЕСОРНИМ КЕРУВАННЯМ

2.1. Кінематична схема електроприводу лопаті хлібопічки

Кінематична схема електроприводу лопаті хлібопічки показана на рис. 2.1.

Електропривод складається з електродвигуна 10, зубчастого шківів 8 на валу I електродвигуна, зубчастого шківів 7 на валу II, зубчастого паса 9, підшипників ковзання 5 і 6, роз'ємних муфт 4 і 3, робочого органу 1, ємності для випікання 2, стопора 11.

Вал приводу робочого органу II розміщений в підшипнику ковзання 6, який нерухомо закріплений в корпусі піддону хлібопічки. В днищі ємності для випікання 2 закріплено підшипник ковзання 5, в якому обертається вал з робочим органом 1, який є може зніматися завдяки роз'ємній муфті 3. Ємність 2 також може зніматися завдяки роз'ємній муфті 6 і утримується від провертання при роботі стопором 11, що встановлений на піддоні.

В хлібопічці частота обертання робочого органу постійна, тому для приводу використовується асинхронний однофазний електродвигун з частотою обертання 1390 об/хв.

Для зменшення частоти обертання валу робочого органу використано зубчасту пасову передачу з передаточним відношенням 10. Завдяки цьому частота обертання валу робочого органу становить 139 об/хв.

Зубчаста пасова передача дозволяє передавати крутний момент без проковзування і її основна перевага перед плоско- або пасовими та, що вона може виконана з значними передаточними відношеннями.

Робочий орган 1 хлібопічки представляє собою насадку з однією консольною лопаткою. Така його конструкція дозволяє виконувати процес

вимішування тіста найбільш ефективно, оскільки воно представляє собою в'язку масу.

2.2. Розробка і аналіз циклограми роботи побутової хлібопічки

Автоматичний режим роботи всіх побутових хлібопічок заснований на принципі виконувати всіх операцій згідно циклограм. Тобто задається певний час на виконання операцій і режим роботи виконавчих органів під час кожного періоду. При цьому єдиним параметром, що контролюється за принципом "зворотного зв'язку" є температура в камері випікання. Швидкість обертання робочого органу не регулюється.

Перед вмиканням хлібопічки користувач вручну повинен закласти в ємність всі необхідні інгредієнти і закрити кришку.

При вмиканні системи керування хлібопічки всі виконавчі органи вимкнені до тих пір доки оператор не введе програму (алгоритм) процесу випікання.

Після введення програми натискається кнопка "Пуск" і далі хлібопічка працює в автоматичному режимі за заданою циклограмою. Саме з цього моменту починається відлік часу роботи.

На основі аналізу роботи моєї домашньої хлібопічки Kenwood BM350 розроблено циклограму автоматичного випікання хліба за основною програмою.

Вимірювання часу здійснювалось за допомогою секундоміру, а температури - за допомогою цифрового вимірювального приладу з термопарою, яка була розміщена всередині камери випікання. Контроль увімкнення нагрівача здійснювався шляхом введення в розрив кабелю живлення амперметра.

Циклограма представлена на рис. 2.2.

Як видно з циклограми, в початковий момент часу $t = 0$ вмикається тільки електронагрівач. При цьому, температура в камері випікання підтримується на рівні 25°C. Цей процес потрібний для попереднього нагрівання закладених інгредієнтів і він триває 8 хвилин. За цей час відбувається прогрівання всієї маси суміші в середині камери випікання. Електричний нагрівач працює в режимі

вмикання-вимикання в результаті роботи терморегулятора зі зворотним зв'язком.

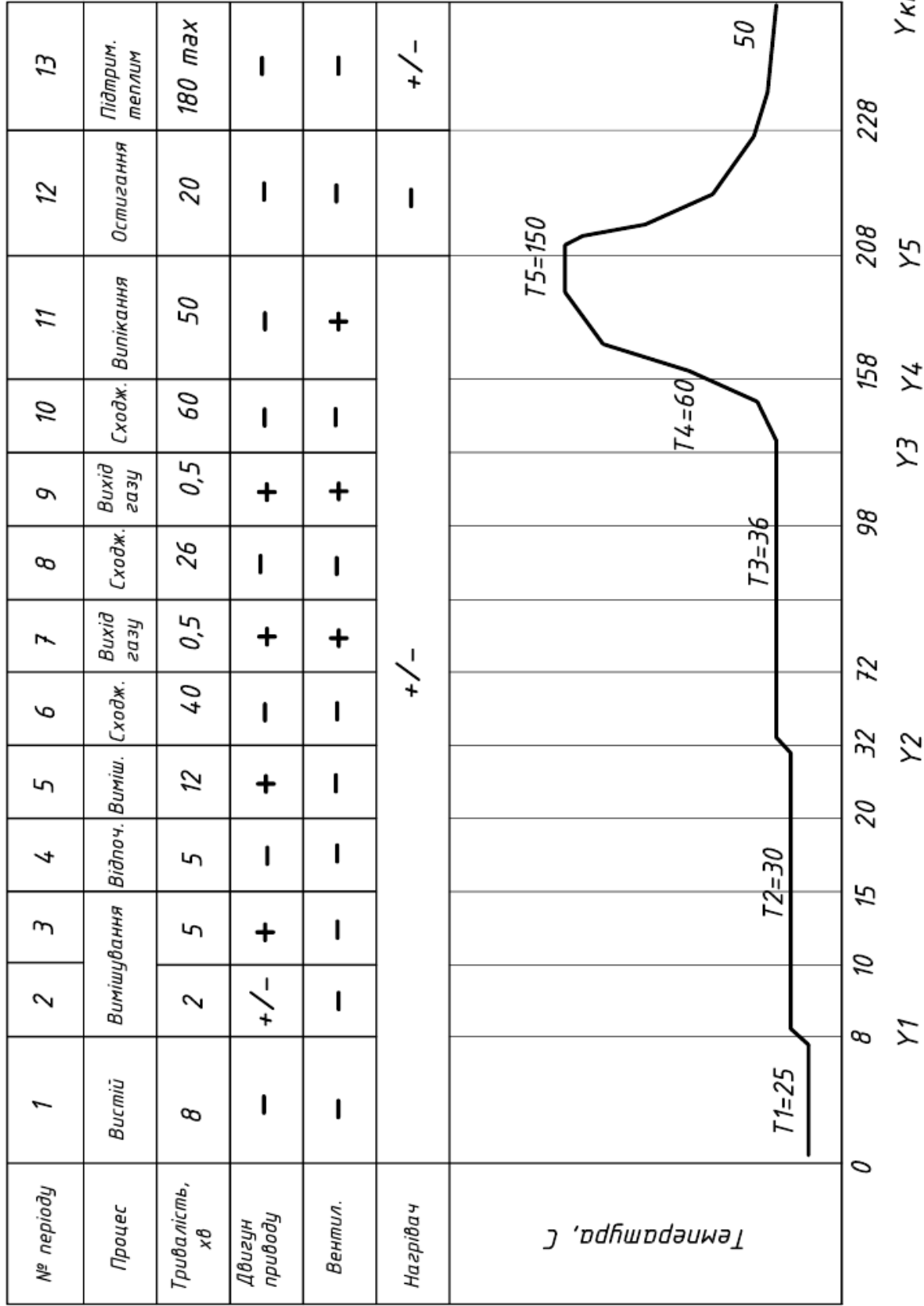


Рис. 2.2. Циклограма автоматичної роботи побутової хлібопічки при випіканні хліба за "основною" програмою

Наступний період циклограми триває дві хвилини. Під час цього періоду відбувається короткочасне вмикання електродвигуна приводу лопатки. Лопатка здійснює чотири - п'ять повних обертів і потім відбувається вистій протягом 10 секунд. На початку другого періоду терморегулятор переходить на режим 30 °С.

"На мою думку", перервність процесу вимішування в другому періоді обумовлена тим, що суміш сухих і рідких компонентів ще не однорідна і вимагає осипання - перетікання в період вистою. Якщо здійснювати процес перемішування безперервно, то можливо утворення "застійних" зон в суміші інгредієнтів.

Якщо частота обертання лопатки (згідно кінематичній схемі) становить 139 об/хв., то п'ять повних обертів вона здійснить за 2,16 секунди, а чотири - за 1,73 секунди.

Приймаємо час вмикання двигуна 2 секунди.

Тоді другий період роботи складається з інтервалів вмикання двигуна на 2 секунди і його вистою протягом 10 секунд. За 120 секунд буде виконано 10 циклів.

Третій період триває 5 хвилин при безперервній роботі електродвигуна. Температура підтримується на рівні 30 °С.

Протягом четвертого періоду (5 хвилин) двигун вимкнений, температура підтримується на рівні 30 °С. Відбувається прогрівання маси тіста і пасивне розчинення (розмочування) сухих компонентів.

П'ятий період супроводжується безперервним вимішуванням протягом 12 хвилин при температурі 30 °С.

Протягом шостого періоду (40 хвилин) двигун вимкнений, температура підтримується на рівні 36 °С - відбувається "сходження тіста.

Протягом сьомого періоду відбувається вмикання електродвигуна на 30 секунд. При цьому відбувається розбивання крупних пухирів з вуглекислим газом і зменшується об'єм тіста.

Під час восьмого періоду (26 хвилин) знову продовжується сходження тіста. Температура підтримується на рівні 36 °С.

Дев'ятий період повторює сьомий, тобто двигун вмикається на 30 секунд.

Протягом десятого періоду (26 хвилин) знову продовжується сходження тіста. При цьому температура поступово зростає до 60 °С.

Одинадцятий період - процес випікання. Температура зростає до 150 °С. Тривалість періоду 50 хвилин.

По завершенні випікання електричний нагрівач вимикається і температура поступово знижується до 50 °С приблизно за 20 хвилин.

Якщо хлібопічку не вимикати, то після досягнення температури 50 °С починає працювати електронагрівач, для підтримування спеченого хліба гарячим.

Як показав експеримент, хлібопічка автоматично вимкнулась через три години.

Аналіз циклограми дозволяє зробити висновок про доцільність вмикання вентилятора обдування камери випікання в в сьомому і дев'ятому періодах роботи для покращення провітрювання камери від вуглекислого газу, та в одинадцятому - для покращення теплового режиму випікання.

2.3. Розробка структурної схеми керування хлібопічкою

Розроблена структурна схема системи керування хлібопічкою представлена на рис. 2.3.

Згідно схемі, система керування складається з наступних вузлів і елементів:

- вузла введення програм, який представляє собою клавіатуру на панелі керування;
- вузла індикації для наочного відображення заданої програми і ходу її виконання в процесі роботи;
- мікроконтролера;

- датчика температури, який розміщено безпосередньо в камері випікання;

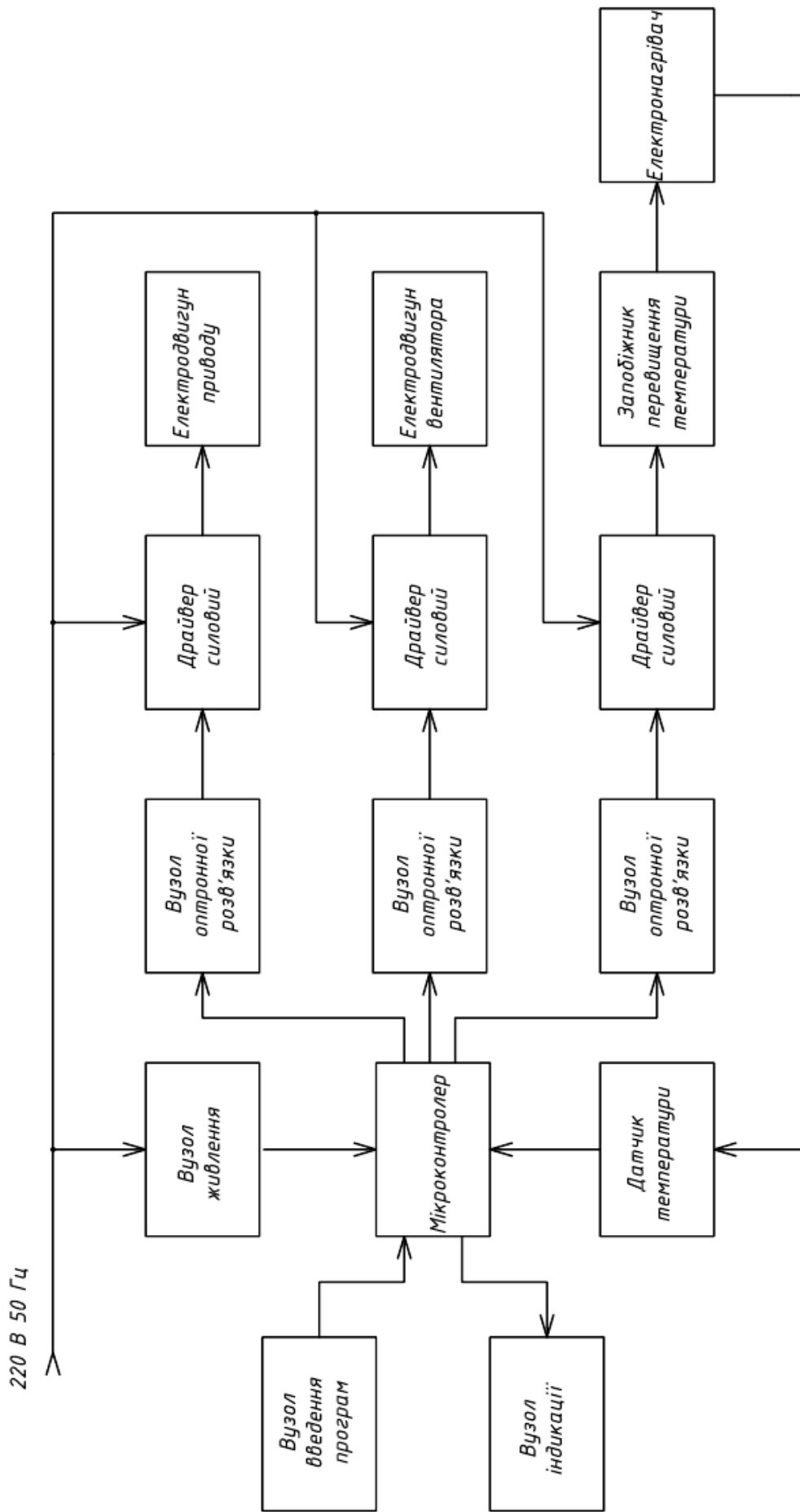


Рис. 2.3. Схема структурна побутової хлібопічки

- вузла оптронної розв'язки (для розділення електронної частини схеми від силової з високою напругою);
- силових драйверів керування виконавчими органами;
- електродвигуна приводу;
- електродвигуна вентилятора;
- електричного нагрівача;
- запобіжника перевищення температури у випадку виходу з ладу терморегулятора;
- вузла живлення електронних частин схеми.

Використання мікроконтролера з наявними в ньому схемами порівняння рівня напруги сигналів дасть змогу використовувати його для регулювання температури.

2.4. Електрична принципова схема керування хлібопечкою

Електрична схема керування хлібопечкою складається з двох блоків:

- блоку силового управління електродвигунами і нагрівачем;
- блоку мікропроцесора, що керує силовим блоком згідно програмного забезпечення.

Розглянемо спочатку роботу силової частини схеми. На рис. 2.4 представлено електричну принципову схему силового блоку хлібопечки.

В схемі є дві зони: високої та низької напруги, на рис. 2. вони відповідно розташовані ліворуч і праворуч із кордоном розділу по елементах U4, T1, C30, U2, IC2, REL1.

За допомогою роз'єму AC на плату подається мережна напруга. Конденсатори C1, C10, C19 утворюють спрощений варіант фільтра, який підключається до мережі через плавкий запобіжник FUSE1. Резистор R1 є елементом забезпечення безпеки користувача, що гарантовано розряджає конденсатори фільтра після відключення хлібопечки від мережі.

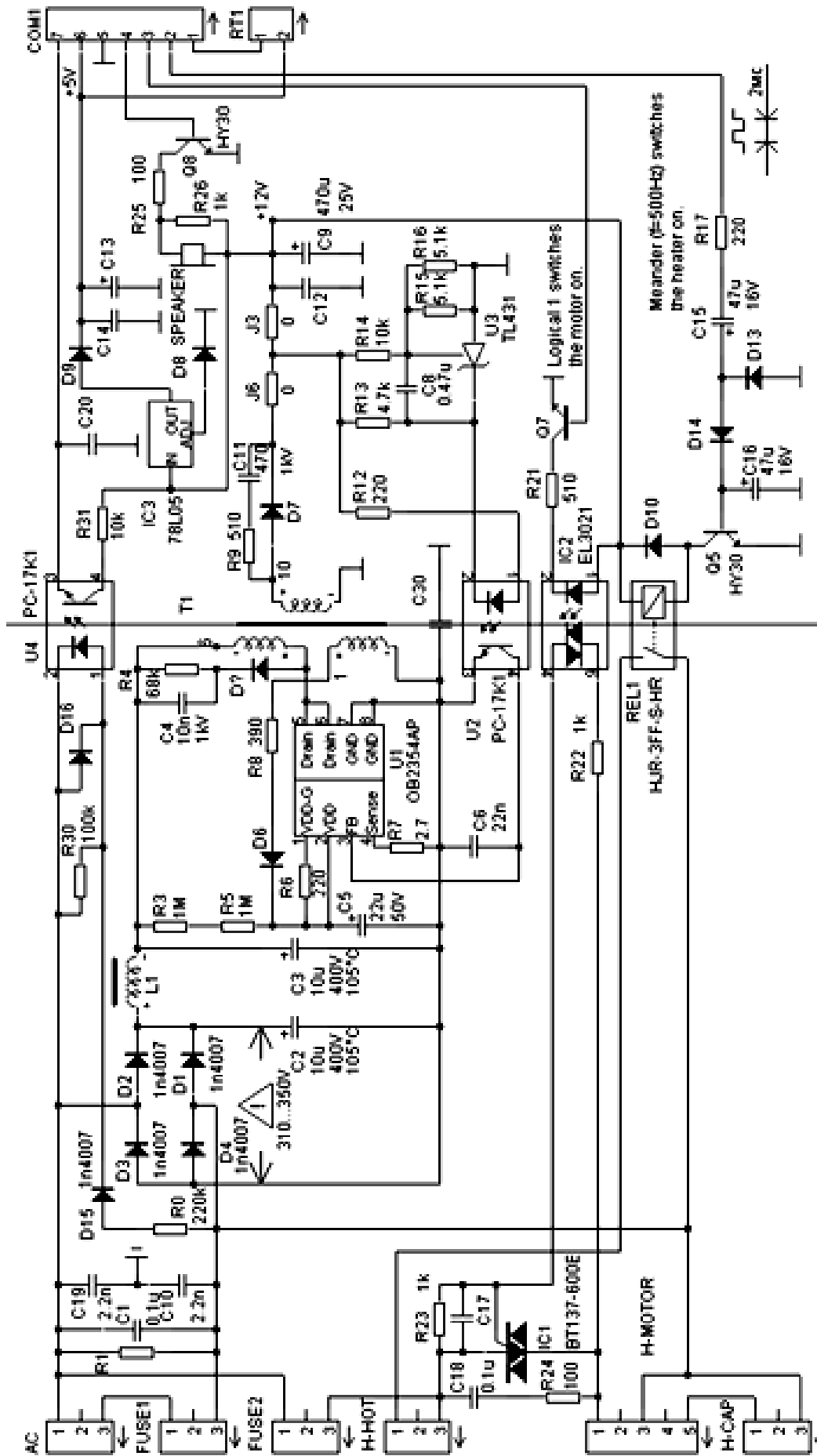


Рис. 2.4. Схема електрична принципова силового блоку побутової хлібопічки

Мережева напруга подається на випрямляч імпульсного блоку живлення та на датчик напруги. Випрямляч зібраний за класичною бруківкою на чотирьох діодах D1-D4 типу 1N4007. Датчик наявності напруги зібраний на оптроні U4, який формує вихідний сигнал і забезпечує гальванічну розв'язку від мережі. На світлодіод оптрона подається напруга з однонапівперіодного випрямляча - діода D15, однонапівперіодний випрямляч отримує живлення від мережі через баластний резистор R0 з високим опором. D16 захищає оптрон від зворотної напруги, створюваного зворотним струмом діода D15 в інтервали часу, коли діод випрямляча закритий. Резистор R30 підвищує швидкість закриття світлодіода в оптроні. На виході оптрона формуються імпульси струму, що обмежуються амплітудою резистором R31, який підключений до джерела +12 В. Імпульси впливають із частотою, що дорівнює частоті мережі, за їх наявності мікроконтролер визначає наявність напруги в мережі (імпульси виведені на висновок 7 роз'єму COM1, через який підключається схема управління). Якщо в процесі виконання хлібопечкою будь-якої програми, напруга в мережі зникає, мікроконтролер переходить у режим зниженого енергоспоживання, перебувати в якому він може приблизно до 10 хвилин, отримуючи напругу від зарядженого електролітичного конденсатора C13 ланцюга живлення мікроконтролера. Якщо протягом цього часу напруга в мережі знову з'явиться, мікроконтролер дізнається про це сигналом від датчика наявності мережі, вийде з режиму зниженого енергоспоживання і продовжить виконання програми. За їх наявністю мікроконтролер визначає наявність напруги в мережі (імпульси виведені на виведення 7 роз'єму COM1, через який підключається схема управління). Якщо в процесі виконання хлібопечкою будь-якої програми, напруга в мережі зникає, мікроконтролер переходить у режим зниженого енергоспоживання, перебувати в якому він може приблизно до 10 хвилин, отримуючи напругу від зарядженого електролітичного конденсатора C13 ланцюга живлення мікроконтролера. Якщо протягом цього часу напруга в мережі знову з'явиться, мікроконтролер дізнається про це сигналом від датчика

наявності мережі, вийде з режиму зниженого енергоспоживання і продовжить виконання програми. за їх наявністю мікроконтролер визначає наявність напруги в мережі (імпульси виведені на виведення 7 роз'єму COM1, через який підключається схема управління). Якщо в процесі виконання хлібопічкою будь-якої програми, напруга в мережі зникає, мікроконтролер переходить у режим зниженого енергоспоживання, перебувати в якому він може приблизно до 10 хвилин, отримуючи напругу від зарядженого електролітичного конденсатора C13 ланцюга живлення мікроконтролера. Якщо протягом цього часу напруга в мережі знову з'явиться, мікроконтролер дізнається про це сигналом від датчика наявності мережі, вийде з режиму зниженого енергоспоживання і продовжить виконання програми. мікроконтролер переходить у режим зниженого енергоспоживання, перебувати в якому він може приблизно до 10 хвилин, отримуючи напругу від зарядженого електролітичного конденсатора C13 ланцюга живлення мікроконтролера. Якщо протягом цього часу напруга в мережі знову з'явиться, мікроконтролер дізнається про це сигналом від датчика наявності мережі, вийде з режиму зниженого енергоспоживання і продовжить виконання програми. мікроконтролер переходить у режим зниженого енергоспоживання, перебувати в якому він може приблизно до 10 хвилин, отримуючи напругу від зарядженого електролітичного конденсатора C13 ланцюга живлення мікроконтролера. Якщо протягом цього часу напруга в мережі знову з'явиться, мікроконтролер дізнається про це сигналом від датчика наявності мережі, вийде з режиму зниженого енергоспоживання і продовжить виконання програми.

Блок живлення хлібопічки виконаний на мікросхемі U1 за типовою зворотною імпульсною схемою. Вихідна напруга джерела +12 В. Стабілізація вихідної напруги здійснюється за стандартною схемою на основі мікросхеми паралельної стабілізації TL431 (U3 на схемі), навантаженої на світлодіод оптрона U2 (світлодіод підключається через струмообмежуючий резистор R12); оптрон, забезпечує гальванічну розв'язку від мережі та формує

сигнал управління для U1. Необхідна вихідна напруга +12 блоку живлення задається дільником напруги (R14 і паралельно з'єднані R15, R16), до якого підключений керуючий вхід U2. Конденсатор C8 необхідний частотної компенсації стабілізатора з метою забезпечення стійкої роботи. За допомогою наявних у схемі перемичок J3, J6 можна відключити споживачів джерела та зворотний зв'язок у ланцюзі стабілізації,

Для живлення мікроконтролера використовується напруга +5 В, яка виходить з +12 за допомогою аналогового стабілізатора - елемента IC3. Діод D9 запобігає розряду конденсаторів C13, C14 в ланцюзі живлення мікроконтролера зворотним струмом IC3. Таким чином, елементи D9 та C13 забезпечують резервування живлення мікроконтролера при нетривалих перебоях (до 10 хв) напруги в мережі. Для компенсації падіння напруги на діоді D9, ланцюг ADJ стабілізатора IC3 включений зміщує діод D8 такого ж типу, що і D9. Він збільшує напругу на виході стабілізатора на величину падіння напруги на D8, яка приблизно дорівнює падінню напруги на D9.

Потужні споживачі печі підключаються до мережі через два запобіжники, включені і у фазному та нейтральному дроті: FUSE1, FUSE2. Дуже цікавий їхній спосіб розміщення - вони механічно притиснуті до стінки камери, в якій знаходиться форма для випікання і таким чином мають тепловий контакт з нею. У разі аварійної ситуації, при сильному перегріві камери відбудеться розплавлення струмопровідних елементів запобіжників та хлібopічка буде повністю знеструмлена. Таке конструктивне рішення захистить пристрій від займання навіть у разі важких відмов, коли втрачається контроль над нагрівальним елементом.

Нагрівальний елемент підключається до плати через роз'єм H-HOT. Комутація нагрівача здійснюється за допомогою реле REL1, яке керується транзистором Q5. Транзистор відкривається напругою з випрямляча-подвійника (D13, D14, C15, C16) з баластним резистором R17. Діод D10 захищає транзистор від викидів індуктивних напруги на котушці реле. Транзистор відкривається і

спрацьовує реле в тому випадку, якщо мікроконтролер подає послідовність прямокутних імпульсів на виведення 2 роз'єму COM1. Такий складний спосіб керування забезпечує додаткову безпеку пристрою. Прямокутні коливання включення нагрівача формуються мікроконтролером програмно. Так що, якщо відбудеться зависання мікроконтролера через збій або помилку в програмі,

До роз'єму H-MOTOR підключається асинхронний електродвигун ^{хлібопечі}, від якого через ремінну передачу приводиться в рух лопаточка для замісу та обминки тіста. Для того, щоб двигун міг запускатися при підключенні до однофазної мережі, використовується фазозсувний конденсатор, який підключений до роз'єму H-CAP. Двигун вмикається в мережу через симістор IC1, який для забезпечення гальванічної розв'язки керується через оптрон IC2. Включення оптрона здійснюється мікроконтролером через контакт 3 роз'єму COM1 за допомогою транзистора Q7. Транзистор тут виконує функцію посилення сигналу мікроконтролера за струмом та узгодження рівнів: 5-вольт логіки мікроконтролера та 12-вольт живлення виконавчої плати.

У хлібопечі встановлений двигун MBM-30W-D3 (розрахований на напругу 230-240VAC, 50Hz, потужність двигуна 80W); такий самий двигун встановлюється і в багатьох інших моделях печей.

На платі розташоване джерело звуку SPEAKER, який подає звукові сигнали при включенні хлібопечки, при завершенні виконання програми, натисканні на кнопки управління, а також використовується для позначення моменту, коли потрібно закладати родзинки :) SPEAKER управляється сигналом від мікроконтролера з контакту 4 роз'єму COM1, через узгоджуючий транзистор Q8.

До роз'єму RT1 підключено терморезистор для вимірювання температури в камері хлібопечки. Один висновок терморезистора з'єднується з джерелом +5, інший підключений до контакту 1 роз'єму COM1 - обробкою інформації про температуру займається мікроконтролер.

У даній хлібопідці використовується 8-бітний мікроконтролер SAMSUNG S3C9228 (рис. 2.5). Розшифровка маркування:

S – LSI (Large Scale Integration, велика інтегральна мікросхема);

3 – мікроконтролер;

C - MASK ROM (програмується у процесі виробництва);

9 - ядро: 86, 8-біт;

2 – вбудована підтримка LCD;

2 - serial No;

8 - 8Кбайт ROM-пам'яті.

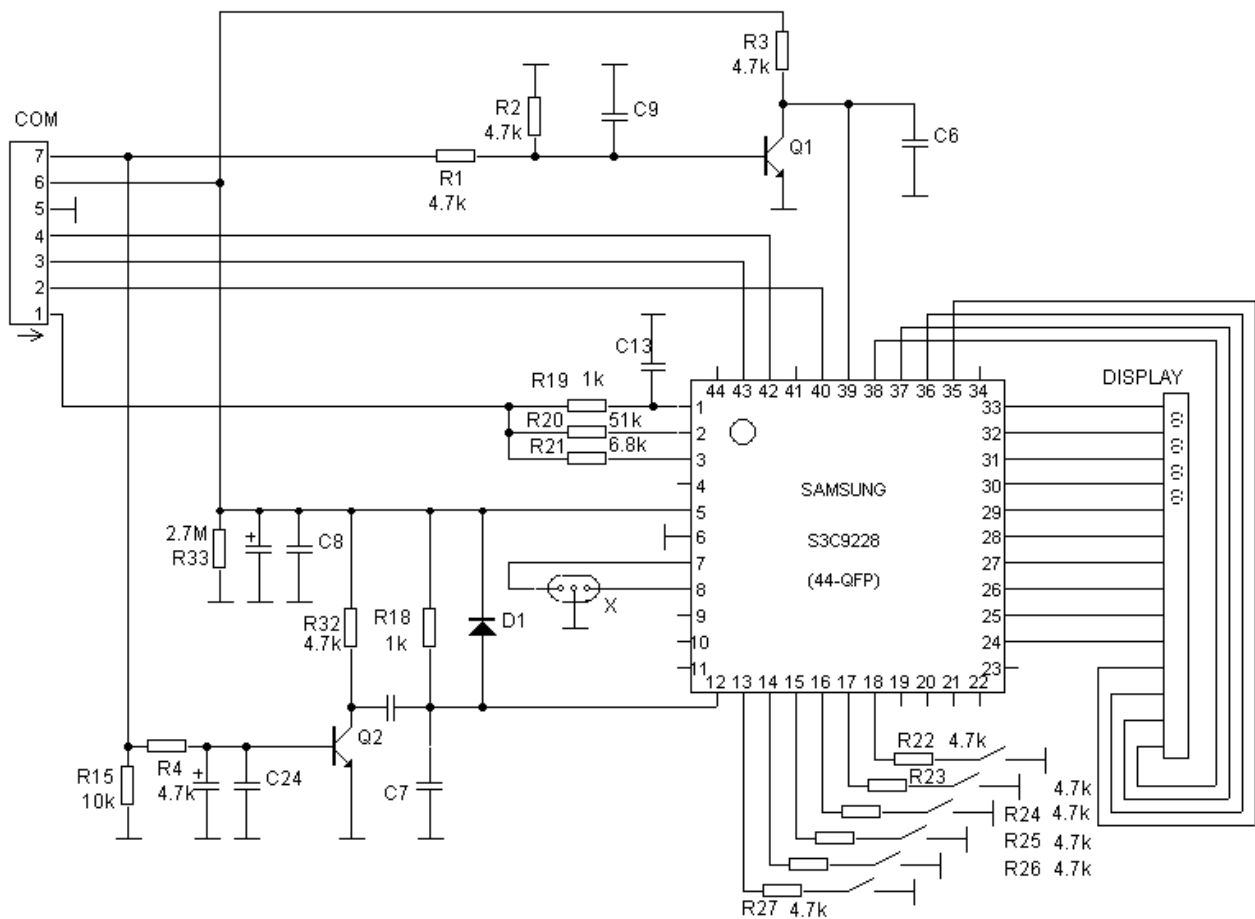


Рис. 2.5. Схема електрична принципова блоку мікроконтролера побутової хлібопідці

Живлення підключається до виводів 5, 6 мікроконтролера (+5, загальний), в ланцюг живлення як фільтр включені керамічний і електролітичний конденсатори. Включений паралельно конденсаторам резистор R33 з великим опором обмежує максимальний час, який здійснюється резервування живлення при відключенні мережі. Це дійсно необхідно, тому що: 1) користувач міг навмисно вимкнути піч з мережі, не натиснувши кнопку СТОП, і буде вкрай здивований поновленню програми при включенні хлібопічки після тривалого часу; 2) відновлення програми, перерваної на тривалий час, не має сенсу, тому що виявиться грубо порушений процес приготування, і хліб все одно не вийде.

До виводів 7, 8 мікроконтролера підключено керамічний резонатор для стабілізації тактової частоти.

Вивід 12 мікроконтролера - виведення скидання (RESET). До виводу підключено схему для виконання скидання мікроконтролера при включенні та відновленні живлення від мережі (Q2 та його резисторно-конденсаторна об'язка). Причину скидання мікроконтролера повинен встановити програмно сам.

До виводів 13-18 мікроконтролера підключені кнопки керування хлібопічкою. До виводів 24-33, 35-38 підключено рідкокристалічний семисегментний індикатор (з додатковими сегментами для відображення службової інформації). Даний мікроконтролер має вбудований контролер/драйвер LCD, що робить гранично простим підключення рідкокристалічного індикатора та управління ним. На індикатор виводиться інформація про поточний режим роботи, вибрану програму та опції та час до закінчення виконання програми випічки.

На вивід 39 мікроконтролера через підсилювач-формував імпульсів на транзисторі Q1 подається сигнал датчика наявності напруги в мережі.

Вивід 40 управляє включенням нагрівального елемента (для включення програмно формується меандр із частотою 500 Гц).

Вивід 42 управляє спікером (лог. 1 включає струм через динамік). Вивід 43 керує двигуном (лог. 1 включає двигун).

На вивід 1, який працює в режимі аналогового входу, надходить сигнал терморезистора (мікроконтролер в даній хлібопечі має 10-бітовий АЦП). Виводи 2 і 3 мікроконтролера підключають терморезистор у послідовний ланцюг з резистором R20 (51 кОм) або R21 (6.8 кОм). Інший вивід терморезистора підключений до джерела +5 (на виконавчій платі). Таким чином, сигнал виведення 1 мікроконтролера надходить з дільника напруги терморезистор - постійний резистор. Дільник підключений до джерела живлення та напруга, що знімається з нього та вимірювана за допомогою ADC мікроконтролера пропорційно струму через дільник, який, у свою чергу, залежить від опору терморезистора, а значить, від температури в камері хлібопечки. Перекладаючи один з виводів 2 або 3 Z-стан, а інший - в стан з рівнем 0 на виході, ми перемикаємо опір моста, з якого знімається сигнал, що вимірюється. Завдяки цьому ми зберігаємо точність вимірювань як в області кімнатних температур (під час приготування тіста), так і в області високих температур, за яких відбувається випікання. При низьких температурах опір терморезистора великий, тому для більшої точності використовується резистор R20 з великим опором. Зі зростанням температури опір терморезистора стрімко, на порядки падає й у забезпечення прийнятної точності вимірювань потрібно перемикавання на резистор з меншим опором - R21. При низьких температурах опір терморезистора великий, тому для більшої точності використовується резистор R20 з великим опором. Зі зростанням температури опір терморезистора стрімко, на порядки падає й у забезпечення прийнятної точності вимірювань потрібно перемикавання на резистор з меншим опором - R21. При низьких температурах опір терморезистора великий, тому для більшої точності використовується резистор R20 з великим опором. Зі зростанням температури опір терморезистора стрімко, на порядки падає й у забезпечення прийнятної точності вимірювань потрібно перемикавання на резистор з меншим опором - R21.

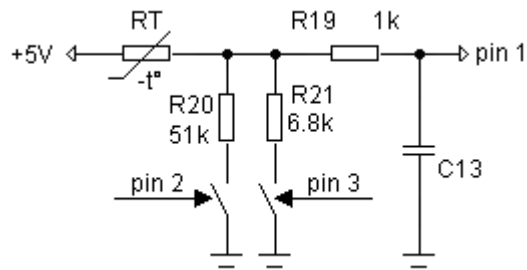


Рис. 2.6. Еквівалентна схема блоку вимірювання температури побутової хлібопічки

Еквівалентна схема (рис.2.6) пояснює спосіб вимірювання температури, що використовується в печі. Переведення виведення мікроконтролера 2, 3 із Z-стану в стан з логічним 0 на виході відповідає замиканню ключа pin 2, pin 3 на еквівалентній схемі. Ланцюжок R19, C13 є фільтром нижніх частот, що захищає вхід аналого-цифрового перетворювача мікроконтролера від впливу перешкод, наявність конденсатора C13 є обов'язковою, оскільки АЦП даного мікроконтролера не має власного пристрою вибірки та зберігання. Вхідний опір АЦП дуже великий (2 МОм мінімум, 1000 МОм типове значення), тому його впливом на результат вимірювання можна знехтувати.

Тоді, якщо $E = +5$ - напруга живлення; R - опір підключеного до загального дроту резистора ($R=R20$ або $R=R21$, якщо необхідно, може використовуватися і паралельне включення: $R=1/(1/R20+1/R21)$); R_t - опір терморезистора при цій температурі; V - виміряне мікроконтролером напруга, то $V=E \cdot R / (R+R_t)$ або $R_t=R(E/V-1)$.

По опорі терморезистора, знаючи параметри, легко визначити температуру. Але про це в іншій статті. Тут лише зауважимо, що з отриманої формули опорі впливає, що мінімальна похибка (відносна похибка) вимірювання опорі терморезистора буде в тому випадку, коли $R=R_t$. Чим ближче значення опорів резистора та терморезистора, тим точніше результат. Необхідністю отримати досить високу точність і пояснюється використання в схемі резисторів, що перемикаються.

Виводи мікроконтролера 4, 9-11, 19-23, 34, 41, 44 залишені незадіяними.

Технічні рішення, що забезпечують безпеку.

Хлібопіч, як і будь-яка піч – це потужний споживач електроенергії, джерело великої кількості тепла, пристрій, робоча зона якого розігрівається до високих температур. Тому при використанні хлібопічки потрібно виявляти відомий ступінь обережності та дотримуватись вимог безпеки.

Конструкція хлібопічки, у свою чергу, враховує можливі загрози безпеці, і технічні рішення, що використовуються в ній, прагнуть звести ці загрози мінімуму.

До таких рішень, що забезпечують безпеку печі, можна зарахувати таке. Корпус, камера хлібопічки - металеві, що унеможлиблює загоряння (нижня частина корпусу та кришка виготовлені з пластику, але він пожегобезпечний). Металеві частини корпусу заземлені та безпечні з погляду можливості удару електричним струмом (якщо у дотриманні вимог інструкції використовується розетка із заземленням).

Раніше зазначалося, що чималу загрозу безпеці може становити нагрівальний елемент печі. Тому тут використовується багаторівнева система захисту від збоїв у системі керування нагрівачем. По-перше, рахунок схемотехнічних рішень, нагрівач включається лише за наявності сигналу від мікроконтролера як прямокутних коливань. Якщо сигнал у вигляді коливань зникає, нагрівач вимкнеться. Так як ці коливання формуються програмно (перемиканням логічних 0 і 1 на виведенні MCU з переривання), тим самим здійснюється захист від зависання мікроконтролера - у разі зависання обробка переривань припиниться, і сигнал на виході мікроконтролера не формуватиметься.

По-друге, для включення нагрівача в мережу використовується реле, а не, скажімо, симістор, як це зроблено для включення двигуна. На відміну від симістора, реле стійке до впливу високовольтних імпульсів напруги в мережі, не піддається електричному або тепловому пробою.

І нарешті, якщо вже перелічені заходи не спрацюють, передбачено ще один рівень захисту - плавкі запобіжники. Конструктивно забезпечується тепловий контакт запобіжників із камерою хлібопічки, в якій знаходиться нагрівальний елемент. Так що у разі сильного перегріву камери, відбудеться розплавлення провідних елементів запобіжників, і піч буде знеструмлена.

2.5. Розробка алгоритму роботи побутової хлібопічки

На основі отриманої циклограми (рис. 2.7) було розроблено алгоритм роботи терморегулятора хлібопічки хлібопічки.

При розробці алгоритму на циклограмі було виділено 6 значень часу роботи ($Y1...Y5$, $Y_{кінц.}$). Кожному з п'яти періодів відповідають температури $T1...T5$.

Робота контролера основана на відраховуванні часу за допомогою вбудованого таймера.

На початку задається № програми, якій відповідають певні значення $Y1...Y5$, $Y_{кінц.}$ і $T1...T5$.

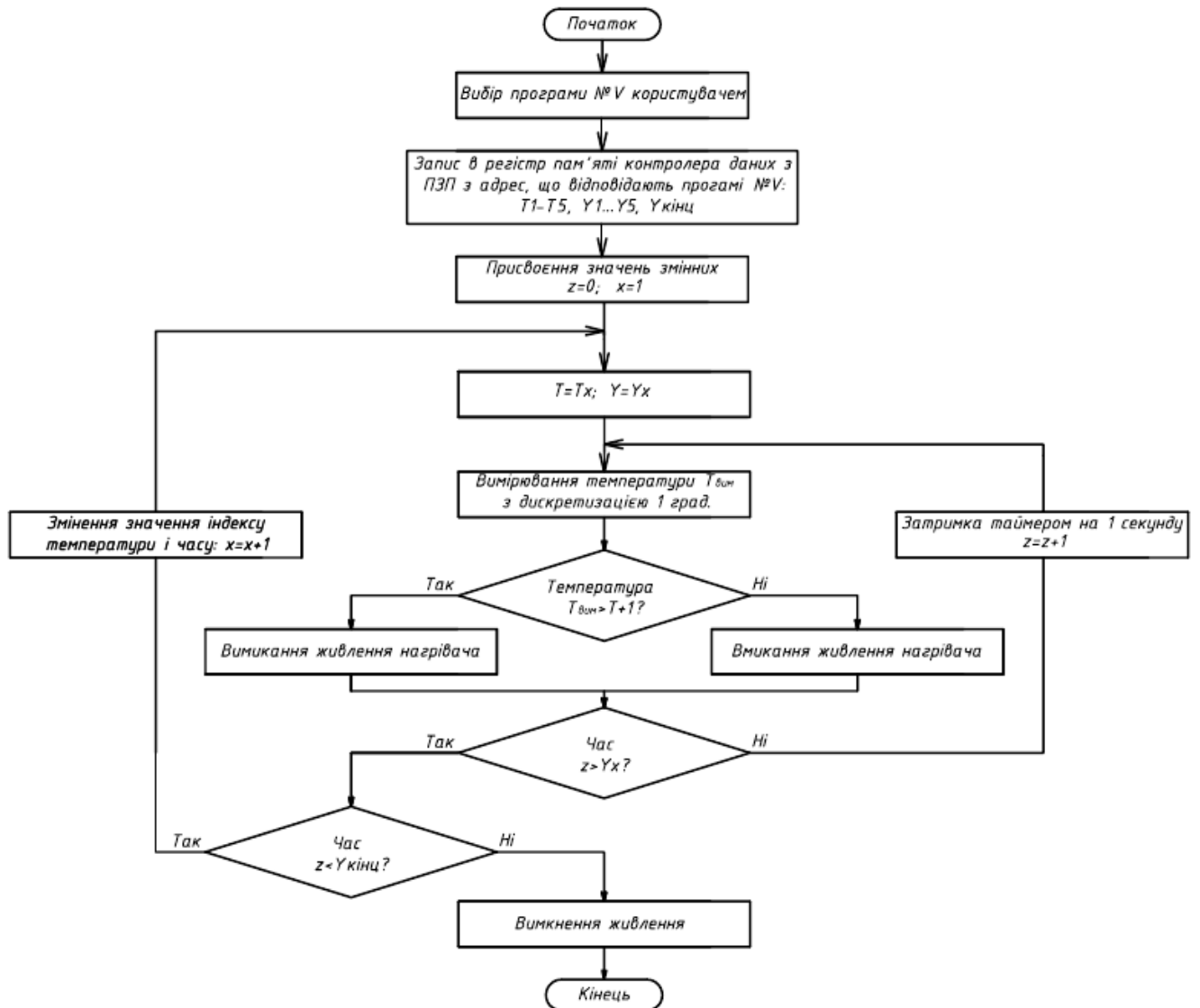


Рис. 2.7. Алгоритм роботи терморегулятора хлібопічки

Згідно алгоритму таймер працює з дискретизацією 1 секунда.

Вимірювання температури відбувається з дискретизацією 1 °С. При цьому при порівнянні виміряних і контрольних значень температур задається диференціал температурного інтервалу також 1 °С. Це дозволить зменшити частоту вмикань - вимикань електричного нагрівача.

При перевищенні часу таймера кожного з заданих значень $Y1...Y5$, контролер "переходить" до порівняння вимірюваної температури зі значенням $T1...T5$.

При досягненні таймером часу $Y_{\text{кінець}}$ контролер дає сигнал на вимкнення живлення.

Робота електродвигуна і вентилятора описується аналогічним алгоритмом, але з більшим числом контрольних точок часу, що визначаються за циклограмою на рис. 2.2. При цьому слід врахувати, що другий період роботи хлібопічки передбачає короткочасне увімкнення електродвигуна на 2 секунди і зупинки на 10 секунд.

РОЗДІЛ 3

РОЗРАХУНКИ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ ВДОСКОНАЛЕНОЇ ПОБУТОВОЇ ХЛІБОПІЧКИ

3.1. Розрахунок теплового режиму роботи удосконаленої хлібопічки з системою циркуляції повітря

Для безпечної експлуатації хлібопічки потрібно, щоб температура корпусу не перевищувала 50°C. Зазвичай для цього в конструкціях таких апаратів застосовують шари теплової ізоляції з матеріалів низької теплопровідності.

Пропонується забезпечення теплоізоляції і стабілізації температурного режиму роботи завдяки продуванню повітря між зовнішнім 2 і внутрішнім 3 корпусами (рис. 3.1). Для цього потрібно використовувати вентилятор 1.

Для примусової циркуляції повітря можна використати відцентровий вентилятор, який повинен всмоктувати повітря з однієї частини камери і нагнітати його в іншу частину. При цьому, потрібно забезпечити турбулентний режим руху повітря в каналі камери випікання. При турбулентному режимі перемішування повітряного потоку буде відбуватись більш інтенсивно. Також, при турбулентному режимі руху нагрітого повітря будуть менші втрати тепла в результаті конвективної теплопередачі до стінки корпусу [4].

Гранична температура корпусу в режимі роботи хлібопічки повинна становити 150...170 °C.

Внутрішній і зовнішній корпуси хлібопічки виготовлено з листової нержавіючої сталі товщиною 0,5 мм. В таблиці 3.1. представлено фізичні властивості нержавіючої сталі.

Зазори між зовнішньою і внутрішньою стінками становлять $t_1=t_2=25$ мм; загальна довжина каналу 225 мм; ширина каналу 190 мм.

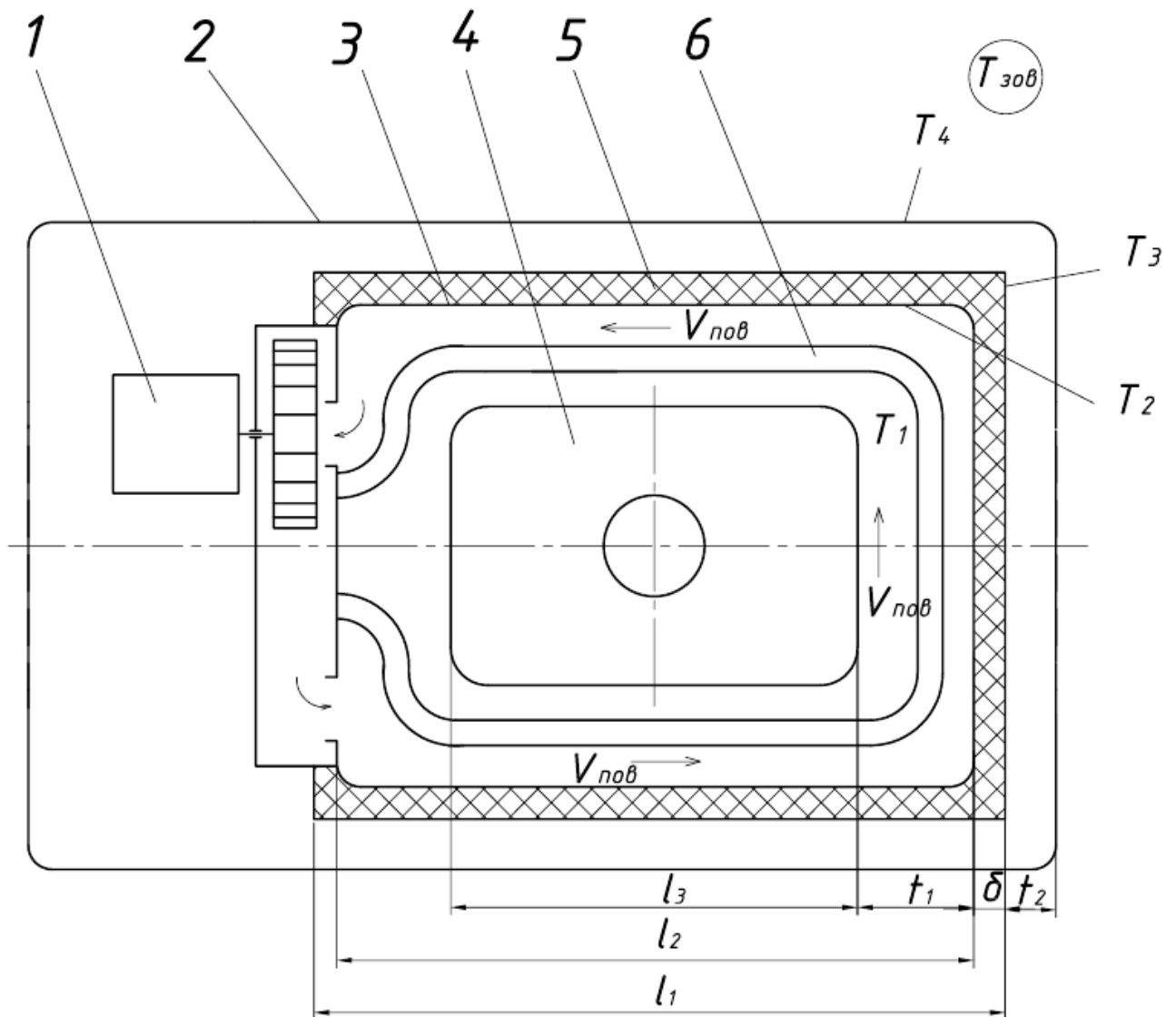


Рис. 3. 1. Розрахункова схема теплоізоляції хлібопічки: 1 - вентилятор; 2 - зовнішній корпус; 3 - внутрішній корпус; 4 - камера випікання хліба; 5 - термоізоляція; 6 - електронагрівальний елемент; t_1 , t_2 - зазори між стінками кожуху і корпусу; T_1 - температура в камері випічки; T_2 - температура стінки внутрішнього корпусу; T_3 - температура на поверхні теплоізоляції; T_4 - температура стінки зовнішнього корпусу; $T_{зov}$ - температура зовнішнього повітря; $V_{пов}$ - швидкість руху повітря в каналі

Таблиця 3.1.

Теплофізичні властивості нержавіючої сталі

Температура випробувань, °С	20	100	200	300	400	500	600	700	800	900
Густина кг/м ³	7859	7834	7803	7770	7736	7699	7659	7917	7624	7600
Коефіцієнт теплопровідності λ , Вт/(м · °С)		51	49	44	43	39	36	32	26	26
Питома теплоємність, С, Дж/(кг · °С)	486	498	514	533	555	584	636	703	703	695

Поверхневу густину теплового потоку q_T (Вт/м²), що проходить через поверхню, за умови одномірної стаціонарної теплопровідності ($Q_1 = Q_2 = Q_3$) в однорідному матеріалі можна визначити з рівняння Фур'є [9], :

$$q_T = -\lambda \frac{dt}{dx}, \quad (3.1)$$

де t - температура, що змінюється вздовж вісі x , °С; λ - теплопровідність матеріалу, Вт/м · °С.

Температурний напір для трьохшарового огороження хлібопічки буде становити [10]:

$$T_1 - T_{зов} = q(r_{вн} + r_1 + r_{із} + r_{конв1} + r_{конв2} + r_2 + r_{зов}), \quad (3.2)$$

де $T_{зов}$ - температура навколишнього повітря; T_1 - температура гарячого повітря в камері випічки; r_1 температурний опір стінки внутрішнього корпусу; $r_{вн}$ - температурний опір, обумовлений конвективним теплообміном гарячого повітря з внутрішньою стінкою корпусу; $r_{конв1}$ - температурний опір, що обумовлений конвективним теплообміном зовнішньої стінки внутрішнього корпусу з нерухомим повітрям в зазорі; $r_{із}$ - температурний опір термоізоляції; r_2 - температурний опір повітряного зазору; r_3 - температурний опір стінки зовнішнього корпусу; $r_{зов}$ - температурний опір, обумовлений конвективним теплообміном зовнішньої стінки корпусу з навколишнім повітрям; $r_{конв2}$ -

температурний опір, що обумовлений конвективним теплообміном внутрішньої стінки зовнішнього корпусу з рухомим повітрям в зазорі.

Диференціальне рівняння (3.8) лінійне відносно опору теплопередачі, тому можна визначити температуру t_x в будь якому перетині огороження (рис. 3.5):

$$T_x = T_1 - \frac{(T_1 - T_{зов})}{r_o} \cdot r_{x-вн} = T_n + \frac{(T_1 - T_{зов})}{r_o} \cdot r_{x-зов}, \quad (3.3)$$

де $r_{x-зов}$ і $r_{x-вн}$ - опори теплопередачі відповідно від зовнішнього потоку повітря до точки x до внутрішнього потоку повітря.

Рівняння (3.10) з урахуванням (3.9) для температури T_4 зовнішньої поверхні корпусу хлібопічки, приймає вигляд:

$$\frac{T_1 - T_4}{(T_1 - T_{зов})} = \frac{r_{вн} + r_1 + r_{із} + r_{конв1} + r_{конв2} + r_2 + r_3}{r_{вн} + r_1 + r_{із} + r_{конв1} + r_{конв2} + r_2 + r_3 + r_{зов}}. \quad (3.4)$$

Визначаємо всі опори теплопередачі.

Тепловий опір сталевих стінок:

$$r_1 = r_3 = \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}}. \quad (3.5)$$

Товщина стінок $\delta_{ст} = 0,5$ мм, тоді:

$$r_1 = r_3 = \frac{0,5 \cdot 10^{-3}}{50} = 1 \cdot 10^{-5} \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт)}.$$

Тепловий опір, який обумовлений конвективним обміном гарячого повітря в камері пічки з внутрішньою стінкою $r_{вн}$ визначимо за формулою:

$$r_{вн} = \frac{1}{\alpha_1}, \quad (3.6)$$

де α_1 - коефіцієнт тепловіддачі гарячого повітря до стінки.

Коефіцієнт тепловіддачі при проходженні повітря вздовж стінки визначимо з рівняння:

$$\alpha = \frac{\lambda \cdot Nu}{d_{mp}}, \quad (3.7)$$

де d_{mp} - діаметр поверхні циліндра через яку відбувається теплообмін; Nu - критерій Нусельта; λ - коефіцієнт теплопровідності повітря ($\lambda=0,0263$ Вт/м·град).

Критерій Нусельта для газів, що проходять всередині циліндру, залежить від режиму течії [10]:

$$\text{ламiнарний режим} \quad \overline{Nu}_{f,d} = 0,146 \cdot Re_{f,d}^{0,33} \cdot Gr_{f,d}^{0,1}; \quad (3.8)$$

$$\text{турбулентний режим} \quad \overline{Nu}_{f,d} = 0,018 \cdot Re_{f,d}^{0,8}; \quad (3.9)$$

$$\text{перехiдний режим} \quad \overline{Nu}_{f,d} = 0,86 \cdot K_0, \quad (3.10)$$

де Gr - критерій Грасгофа; Re - число Рейнольдса.

Число Рейнольдса визначаємо за формулою [10]:

$$Re = \frac{V \cdot d_{mp} \cdot \rho_{нов.}}{\mu_{нов.}}, \quad (3.11)$$

де $\rho_{нов.}$, $\mu_{нов.}$ - густина повітря і динамічна в'язкість повітря (при температурі $T_1 = 150^\circ C$, $\rho_{нов.} = 0,946$ кг/м³; $\mu_{нов.} = 2,17 \cdot 10^{-5}$ Н·с/м²); V - швидкість повітря в зазорі.

Оскільки канал камери випічки має переріз, що за формою наближений до прямокутного, виразимо його через еквівалентний діаметр $d_{екв}$, що відповідає площі перетину каналу прямокутного перетину:

$$d_{екв} = 2 \sqrt{\frac{h_1 \cdot t_1}{\pi}}, \quad (3.12)$$

де h_1 , t_1 - висота і товщина зазору між формою і внутрішнім корпусом.

Визначимо швидкість повітря у внутрішньому каналі за формулою:

$$V = \frac{Q_{г1}}{S_{к1}}, \quad (3.13)$$

де $S_{к1}$ - площа поперечного перерізу каналу; $Q_{г1}$ - продуктивність вентилятора.

$$S_{к1} = \frac{\pi \cdot d_{екв}^2}{4}. \quad (3.14)$$

Підставляємо (3.14) в (3.13) і отримуємо:

$$V = \frac{4 \cdot Q_{г}}{\pi \cdot d_{екв}^2}, \quad (3.15)$$

Тоді (3.11) приймає вигляд:

$$Re = \frac{\frac{4 \cdot Q_{г}}{\pi \cdot d_{екв.1}^2} \cdot d_{екв} \cdot \rho_{нов.}}{\mu_{нов.}} = \frac{4 \cdot Q_{г} \cdot \rho_{нов.}}{\pi \cdot d_{екв} \cdot \mu_{нов.}}.$$

З метою зменшення тепловіддачі до зовнішньої стінки необхідно в камері випічки забезпечити турбулентний режим руху повітря, тобто виконання умови ($Re > 10000$):

$$\frac{4 \cdot Q_{г} \cdot \rho_{нов.}}{\pi \cdot d_{екв.1} \cdot \mu_{нов.}} > 10000;$$

$$Q_{г} > \frac{10000 \cdot \pi \cdot d_{екв.1} \cdot \mu_{нов.}}{4 \cdot \rho_{нов.}}$$

$$d_{екв.1} = 2 \sqrt{\frac{0,2 \cdot 0,025}{3,14}} = 0,08 \text{ м.}$$

$$Q_{г} > \frac{10000 \cdot 3,14 \cdot 0,08 \cdot 2,17 \cdot 10^{-5}}{4 \cdot 0,946} = 1441 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с.}$$

Приймаємо $Q_{г} = 1500 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с.}$

Отже для забезпечення турбулентного руху повітря в зазорі продуктивність вентилятора повинна становити:

$$Q_{г} = 1500 \cdot 10^{-5} \cdot 3600 = 54 \text{ м}^3/\text{Год.}$$

При умові турбулентного руху повітря для розрахунку критерія Нусельта застосовуємо формулу (3.9), яка має вигляд:

$$\overline{Nu} = 0,018 \cdot \left(\frac{4 \cdot Q_6 \cdot \rho_{нов.}}{\pi \cdot d_{екв.1} \cdot \mu_{нов.}} \right)^{0,8}$$

Тоді коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha_1 = \frac{0,0263}{0,08} 0,018 \cdot \left(\frac{4 \cdot Q_6 \cdot \rho_{нов.}}{\pi \cdot d_{екв.1} \cdot \mu_{нов.}} \right)^{0,8} = 9,7$$

(Вт/м²·К).

$$r_{вн} = \frac{1}{9,7} = 0,103 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт)}.$$

Тепловий опір повітряного зазору між зовнішніми і внутрішніми стінками корпусу:

$$r_2 = \frac{t_2}{\lambda_{нов.}} \quad (3.16)$$

В хлібопічці зазор між зовнішніми і внутрішніми стінками становить 25 мм, тоді значення t_2 :

$$t_2 = 0,025 - \delta_{із},$$

де $\delta_{із}$ - товщина ізоляції (шукана величина).

$$r_2 = \frac{0,025 - \delta_{із}}{\lambda_{нов.}}$$

Температурний опір зовнішньої стінки корпусу хлібопічки з навколишнім повітрям, обумовлений конвективним теплообміном:

$$r_{зов} = \frac{1}{a_3}, \quad (3.17)$$

де a_3 - коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні корпусу в навколишнє середовище.

При умові, що навколишнє повітря є нерухомим a_3 розраховується за формулою:

$$a_3 = 9.76 + 0.07(T_4 - T_{зов}). \quad (3.18)$$

Температура T_4 не повинна перевищувати 50°C .

$$r_{зов} = \frac{1}{9.76 + 0.07(T_4 - T_{зов})}. \quad (3.19)$$

Тепловий опір конвективного теплообміну стінок корпусів через нерухоме повітря визначимо за рівнянням, що аналогічне (3.17). При цьому враховуємо, що температура в повітряному зазорі однорідна і дорівнює температурі сусідніх стінок.

Тоді тепловий опір, який обумовлений конвективним теплообміном з цими поверхнями, становитиме:

$$r_{конв1} + r_{конв2} = \frac{1}{2 \times 9,76} = 0,205 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C/Вт)}.$$

Тепловий опір теплоізоляції дстановитиме:

$$r_{із} = \frac{\delta_{із}}{\lambda_{із}}. \quad (3.20)$$

Визначимо необхідний опір теплоізоляції для забезпечення умови, щоб температура корпусу не перевищувала 50°C .

В якості теплоізоляційного матеріалу вибрано мінеральну вату. Коефіцієнт теплопровідності мінеральної вати $\lambda_{із} = 0,04 \dots 0,06 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$, максимальна допустима температура $t_{\text{max}} = 900^\circ\text{C}$.

З рівняння (3.4) маємо:

$$\frac{T_1 - T_4}{(T_1 - T_{зов})} = \frac{0,103 + 1 \cdot 10^{-5} + r_{із} + 0,205 + \frac{0,025 - \delta_{із}}{\lambda_{нов}} + 1 \cdot 10^{-5}}{0,103 + 1 \cdot 10^{-5} + r_{із} + 0,205 + \frac{0,025 - \delta_{із}}{\lambda_{нов}} + 1 \cdot 10^{-5} + \frac{1}{9.76 + 0.07(T_4 - T_{зов})}}. \quad (3.21)$$

Для визначення невідомої температури T_4 , підставляємо значення знайдених опорів, відомих температур в рівняння (3.21). (температуру зовнішнього повітря приймаємо 20°C).

Перший розрахунок проведемо за умовою відсутності термоізоляції
($\delta_{i3}=0$):

$$\frac{170 - T_4}{(170 - 20)} = \frac{0,308 + \frac{0,025}{0,0263}}{0,308 + \frac{0,025}{0,0263} + \frac{1}{9,76 + 0,07(T_4 - 20)}};$$

$$\frac{170 - T_4}{150} = \frac{1,26}{1,26 + \frac{1}{8,36 + 0,07T_4}};$$

$$170 - T = \frac{189}{\frac{1,26(8,36 + 0,07T_4) + 1}{8,36 + 0,07T_4}};$$

$$170 - T_4 - \frac{189(8,36 + 0,07T_4)}{11,53 + 0,088T_4} = 0;$$

$$\frac{(170 - T_4)(11,53 + 0,088T_4) - 189(8,36 + 0,07T_4)}{(11,53 + 0,088T_4)} = 0;$$

$$0,088T_4^2 + 9,8T_4 - 380 = 0.$$

Загальне рішення квадратного рівняння має вигляд:

$$T_{4(1,2)} = \frac{-9,8 \pm \sqrt{9,8^2 + 4 \cdot 0,088 \cdot 380}}{2 \cdot 0,088}.$$

Маємо два корені:

$$T_{4(1)} = T_{4(1,2)} = \frac{-9,8 + \sqrt{9,8^2 + 4 \cdot 0,088 \cdot 380}}{2 \cdot 0,088} = \frac{-9,8 + 15,16}{0,176} = 30,5;$$

$$T_{4(2)} = T_{4(1,2)} = \frac{-9,8 - \sqrt{9,8^2 + 4 \cdot 0,088 \cdot 380}}{2 \cdot 0,088} = \frac{-9,8 - 15,16}{0,176} = -142.$$

Перший корінь є дійсним позитивним і температура поверхні корпусу буде становити $T_{4(1)} = 30,5$ °С.

Таким чином встановлено, що немає необхідності встановлювати додаткову теплоізоляцію при забезпеченні турбулентного режиму руху повітря в камері хлібопічки.

3.2. Розрахунок втрат тиску повітря при обдуві камери хлібопічки

Повітрепровід обдуву хлібопічки складається з замкненого щілинного каналу, що утворений корпусами і відцентрового вентилятора. Кожний з цих елементів має певний аеродинамічний опір.

Визначимо втрати тиску на всіх ділянках.

Потрібно розрізнити втрати тиску в повітропроводі і втрати на місцевих опорах. Отже, втрати тиску кожної ділянки каналу ΔH , Па:

$$\Delta H = \gamma \cdot \frac{l}{d_{екв}} \frac{V^2 \rho}{2} + \zeta \frac{V^2 \rho}{2},$$

де V - швидкість потоку, м/с; ζ - коефіцієнт місцевого опору, що залежить від його виду; $d_{екв}$ - еквівалентний діаметр каналу, м; l - довжина каналу, м; γ - лінійний коефіцієнт опору; ρ - питома вага повітря кг/м³.

Втрати на тертя залежать від довжини повітропроводу, форми і розмірів поперечного перетину, режиму течії повітря, від шорсткості стінок і коефіцієнта тертя.

Втрати в місцевих опорах визначаються їх видом, характеристиками і швидкістю потоку повітря в кожному елементі.

Швидкість повітряного потоку в кожному елементі тракту визначимо за формулою:

$$V = \frac{Q}{F},$$

де Q - розхід повітря, м³/с; F - площа поперечного перетину елемента, м².

Розраховуємо втрати тиску на кожній ділянці.

Прямолінійна ділянка:

$$\Delta H_1 = \gamma \cdot \frac{l}{d_{екв}} \frac{V^2 \rho}{2}.$$

$$V = \frac{4 \cdot 1500 \cdot 10^{-5}}{3,14 \cdot 0,08^2} = 3 \text{ м/с.}$$

Загадбна довжина прямолінійних ділянок каналу:

$$l = 2 \cdot 0,225 + 0,19 = 0,64 \text{ м.}$$

$$\gamma = 0,02 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}; \quad \rho = 0,946 \text{ кг/м}^3.$$

$$\Delta H_1 = 0,02 \cdot \frac{0,64}{0,08} + \frac{3^2 \cdot 0,946}{2} = 0,7 \text{ Па.}$$

Ділянки з поворотом (дві ділянки):

$$\Delta H_2 = 2\zeta \frac{V^2 \rho}{2}.$$

$\zeta = 1$ при $\alpha = 90^\circ$, тоді:

$$\Delta H_2 = 2 \frac{3^2 \cdot 0,946}{2} = 8,5 \text{ Па.}$$

Втрати на вході і виході з вентилятора (звуження каналу) 5 (рис. 3.1):

$$\Delta H_3 = \zeta \frac{V_{зв}^2 \rho}{2}.$$

На вході і виході корпусу вентилятора виконано по 19 отворів діаметром 10 мм.

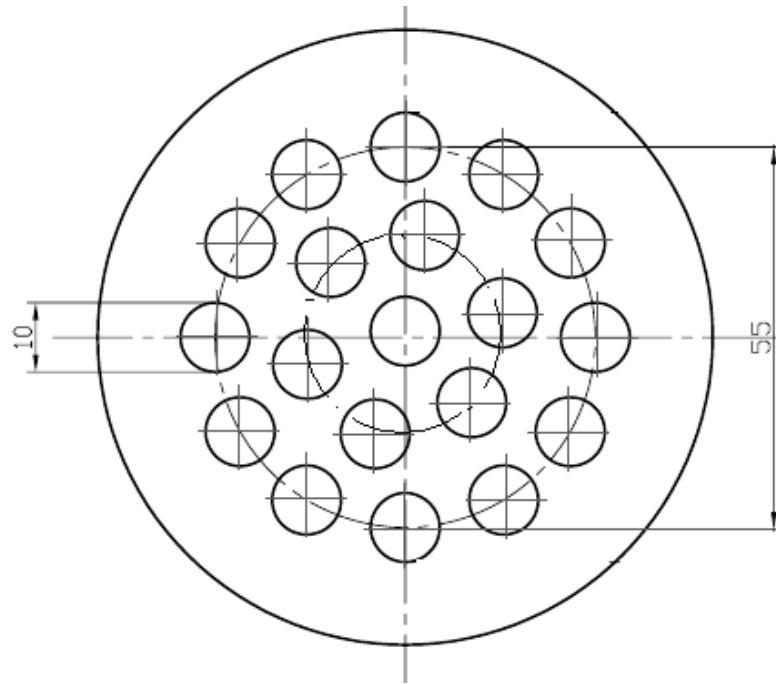


Рис. 3.2. Схема решітки вентилятора

Швидкість повітряного потоку в отворах решітки:

$$V = \frac{4 \cdot 1500 \cdot 10^{-5}}{3,14 \cdot 19 \cdot 0,01^2} = 10 \text{ м/с.}$$

$$\zeta = 0,4;$$

$$\Delta H_3 = 2 \cdot 0,4 \frac{10^2 \cdot 0,946}{2} = 37,8 \text{ Па}$$

Сумарні втрати напору:

$$\Delta H = \sum_{i=1}^3 \Delta H_i = 0,7 + 8,5 + 37,8 = 47 \text{ Па.}$$

Теоретичну потужність, що витрачається на створення повітряного потоку, визначимо по формулі:

$$P_B = \Delta H \cdot Q_e,$$

$$P_B = 47 \cdot 1500 \cdot 10^{-5} = 0,7 \text{ Вт.}$$

3.3. Розрахунок відцентрового вентилятора

Потрібно розрахувати вентилятор для подання $1500 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$ повітря при підвищенні повного тиску 200 Па. Зовнішні умови: температура повітря 170° , атмосферний тиск 730 мм рт. ст.

Оцінюючи в 10% втрати повітря через проміжок між робочим колесом і бічними стінками кожуха, а також втрати через нещільність, знайдемо розрахункову продуктивність вентилятора:

$$Q = \frac{Q_0}{\eta}$$

$$Q = \frac{1500 \cdot 10^{-5}}{0,9} = 1667 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Обираємо для приводу вентилятора двигун з частотою обертання 2800 об/хв. Густина повітря за заданих зовнішніх умов $\rho = 0,107 \text{ кг} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$.

Визначення типу і розміру вентилятора

Коефіцієнт швидкохідності :

$$\chi = \frac{53\sqrt{Q}}{\Delta H^{0,75}} \cdot \omega$$

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$$

$$\omega = \frac{3,14 \cdot 2800}{30} = 293 \text{ с}^{-1};$$

$$\chi = \frac{53\sqrt{1500 \cdot 10^{-5}}}{47^{0,75}} \cdot 293 = 19,16.$$

При $\chi = 18 \dots 55$ відцентровий вентилятор є більше відповідним, ніж осьовий. Зважаючи на високе число обертів і порівняно невисоке підвищення сумарного тиску приймемо лопаті робочого колеса, відігнуті вперед. При цьому отримаємо більш високе значення коефіцієнта реакції. Для відігнутих назад лопатей коефіцієнт тиску $\psi = 0,7 \dots 1,1$.

Прийmemo $\psi = 1,0$.

По формулі для ψ знайдемо окружну швидкість на зовнішньому діаметрі робочого колеса :

$$u_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta H}{\psi \cdot \rho}}.$$

$$u_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot 47}{1 \cdot 0,946}} = 10 \text{ м/с.}$$

Зовнішній діаметр робочого колеса :

$$D_2 = \frac{60 \cdot u_2}{\pi \cdot n}.$$

$$D_2 = \frac{60 \cdot 10}{3,14 \cdot 2800} = 0,07 \text{ м.}$$

Коефіцієнт продуктивності :

$$\varphi = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d_2^2 \cdot u_2}.$$

$$\varphi = \frac{4 \cdot 0,015}{3,14 \cdot 0,07^2 \cdot 10} = 0,39.$$

Внутрішній діаметр робочого колеса :

$$D_1 = D_2 \cdot 1,194 \cdot \sqrt[3]{\varphi}.$$

$$d_1 = 0,07 \cdot 1,194 \cdot \sqrt[3]{0,39} = 0,06 \text{ м.}$$

Окружна швидкість на внутрішньому діаметрі робочого колеса :

$$u_1 = \frac{\pi \cdot d_1 \cdot n}{60}.$$

$$u_1 = \frac{3,14 \cdot 0,06 \cdot 2800}{60} = 8,9 \text{ м/с.}$$

При $\beta_1 = 35^\circ$ швидкість входу в робоче колесо:

$$c_1 = c_{1m} = u_1 \operatorname{tg} \beta_1.$$

де $c_1 = c_{1m} = 8,9 \cdot \operatorname{tg} 35 = 6,2 \text{ м/с.}$

Ширина входу в робоче колесо визначиться по формулі:

$$b_1 = \frac{A^2 \cdot d_1^2 - d_g^2}{4 \cdot d_1 \cdot B}.$$

Прийнявши $A=1$ і, відповідно до таблиці. 62, $B=0,8$ (для штампованого колеса) і діаметр валу вентилятора $d_g=0,004$ м, отримаємо:

$$b_1 = \frac{0,06^2 - 0,004^2}{4 \cdot 0,06 \cdot 0,8} = 0,019 \text{ м.}$$

Прийmemo $b_1=0,02$ м.

Якби товщина лопатей не була врахована, то:

$$b_1' = \frac{Q}{\pi \cdot d_1 \cdot c_{1m}}.$$

$$b_1' = \frac{0,015}{3,14 \cdot 0,06 \cdot 6,2} = 0,013 \text{ м.}$$

Тобто у першому випадку ширина колеса більша, ніж в другому, в $\frac{0,02}{0,013} = 1,54$ рази.

Припустимо, що робоче колесо штамповане з легкого металу і має лопаті завтовшки $\delta = 1$ мм. Прийmemo кількість лопостей $z=8$.

Крок лопатей на внутрішньому діаметрі робочого колеса :

$$t_1 = \frac{\pi \cdot d_1}{z}.$$

$$t_1 = \frac{3,14 \cdot 0,06}{8} = 0,024 \text{ м.}$$

Коефіцієнт звуження входу в робоче колесо:

$$\tau = \frac{t_1}{t_1 - a} = \frac{t_1}{t_1 - \frac{\delta}{\sin \beta_1}}.$$

$$\tau = \frac{0,024}{0,024 - \frac{0,001}{0,57}} = 1,07.$$

Тобто переріз входу зменшиться в 1,07 рази.

Отже, знайдена величина b_1 цілком враховує звуження вхідного перерізу робочого колеса внаслідок наявності товщини лопатей.

При $c_{1r} = c_{2r} = c_r$ отримаємо:

$$b_2 = b_1 \frac{d_1}{d_2}.$$

$$b_2 = 0,019 \frac{0,06}{0,07} = 0,0163 \text{ м.}$$

Прийmemo $b_2 = 0,016$ м.

Задавшись $\eta_H = 0,7$ і $\varepsilon_1 = 0,86$ (таблиця. 3.1), отримаємо тангенціальну швидкість на виході з робочого колеса:

$$c_{2u} = \frac{\Delta P}{\rho \cdot u_2 \cdot \eta \cdot \varepsilon_1}.$$

$$c_{2u} = \frac{47}{0,946 \cdot 10 \cdot 0,7 \cdot 0,86} = 8,3 \text{ м/с.}$$

Кут виходу знаходимо по формулі:

$$\operatorname{tg} \beta_2 = \frac{c_m}{u_2 - c_{2u}}.$$

$$\operatorname{tg} \beta_2 = \frac{6,2}{10 - 8,3} = 3,65;$$

$$\beta_2 \approx 75^\circ.$$

Уточнимо значення ε_1 по формулі (172) :

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{1,5 + \frac{1,1 \cdot \beta_2}{90}} \cdot \frac{1}{z \cdot \left(1 - \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2 \right)}.$$

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{1,5 + \frac{1,1 \cdot 75}{90}} = 0,87.$$

$$1 + \frac{90}{8 \cdot \left(1 - \left(\frac{0,06}{0,07}\right)^2\right)}$$

Відхилення від заздалегідь набутого значення складає:

$$\left(\frac{0,87}{0,86} - 1\right) 100 = 1,2\%.$$

Отже, перерахунку роботи не слід. Довжина лопаті робочого колеса :

$$L = \frac{d_2 - d_1}{2 \cdot \sin\left(\frac{\beta_1 + \beta_2}{2}\right)}.$$

$$L = \frac{0,07 - 0,06}{2 \cdot \sin\left(\frac{35 + 75}{2}\right)} = 0,0061 \text{ м.}$$

Крок лопатей по середньому колу робочого колеса :

$$t = \frac{\pi(d_1 + d_2)}{2 \cdot z}.$$

$$t = \frac{3,14(0,07 + 0,06)}{2 \cdot 8} = 0,0255 \text{ м.}$$

Відношення довжини лопаті до кроку на середньому діаметрі:

$$\frac{L}{t} = \frac{0,0061}{0,0255} = 0,24.$$

Тобто нижчий за норму (1,2...1,6) для звичайних вентиляторів, що є наслідком порівняно невисокого значення тиску.

Потужність, споживана вентилятором, з урахуванням механічних втрат, що характеризуються $\eta_m = 0,85$, при $\eta_v = 1,0$ (оскільки втрати повітря через проміжок враховані) розраховуємо за формулою:

$$N_{el} = \frac{\Delta P \cdot Q}{\eta_h \cdot \eta_v \cdot \eta_m}.$$

$$N_{el} = \frac{47 \cdot 0,015}{0,7 \cdot 1,0 \cdot 0,85} = 1,2 \text{ Вт.}$$

На основі отриманих даних виконано ескіз робочого колеса (рис. 3.3).

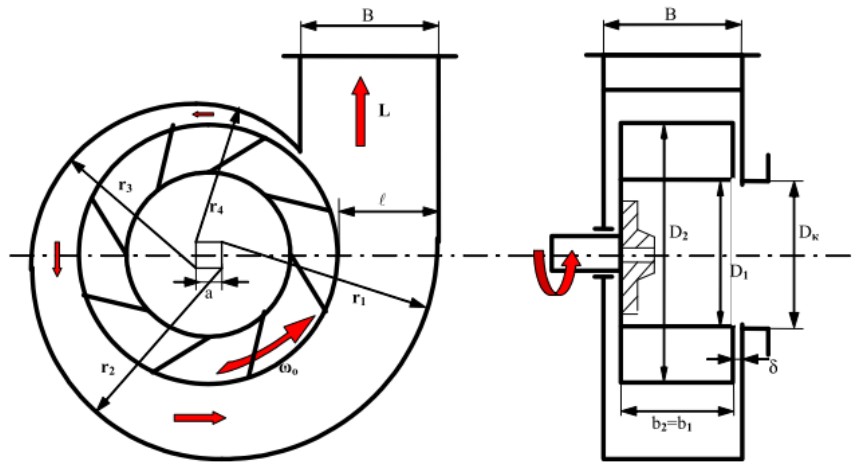


Рис. 3.3. Ескіз робочого колеса відцентрового вентилятора побутової хлібопічки

За отриманими даними розрахунку вибираємо асинхронний двигун типу УЈ58-12А/3.

На рис. 3.3 представлено основні габаритні і приєднувальні розміри електродвигуна.

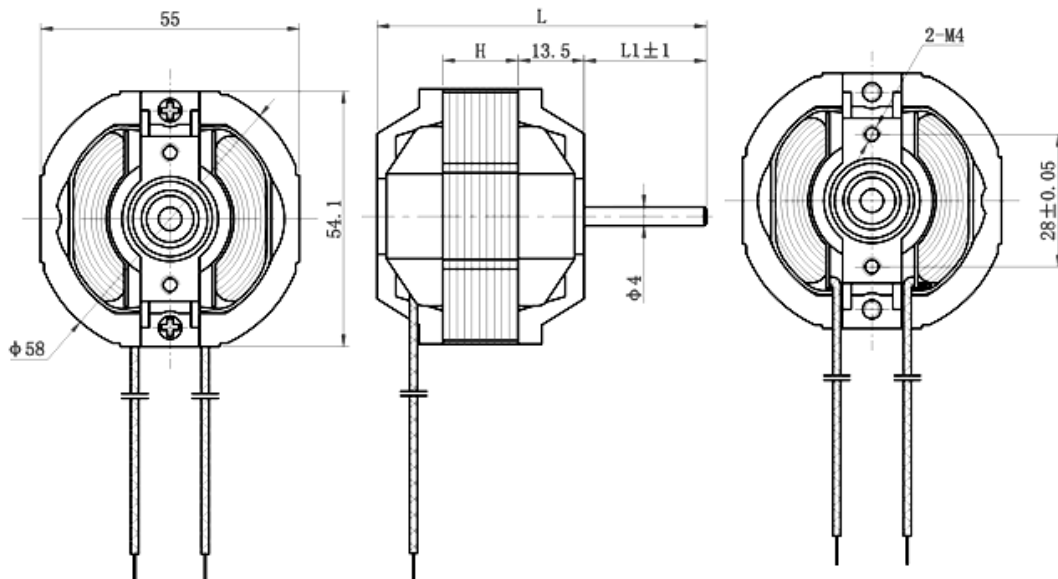


Рис. 3.3. Основні габаритні і приєднувальні розміри асинхронного двигуна типу УЈ58-12А/3

Електродвигун YJ58-12A/3 має наступні характеристики:

- вхідна потужність 12 Вт;
- корисна потужність 1,5 Вт;
- напруга живлення 240 В;
- вхідний струм 0,1 А;
- частота обертання 2800 об/хв.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. В магістерській роботі виконано вдосконалення побутової хлібопічки.

2. Проведено огляд і аналіз роботи сучасних хлібопічок.

Отримано циклограму роботи хлібопічки за основною програмою, на основі якої розроблено алгоритм.

3. Аналіз циклограми дозволяє зробити висновок про доцільність вмикання вентилятора обдування камери випікання в в сьомому і дев'ятому періодах роботи для покращення провітрювання камери від вуглекислого газу, та в одинадцятому - для покращення теплового режиму випікання.

4. Виконано розрахунок термоізоляції корпусу при наявності повітряного зазору і при умові примусової циркуляції повітря в камері випікання. Визначено, що при турбулентному режимі руху повітря тепловий режим найбільш сприятливий і корпус не потребує додаткової теплоізоляції. Виконано розрахунки відцентрового вентилятора, що буде забезпечувати визначені параметри роботи хлібопічки. Розраховано елементи схеми керування.

5. Розроблено складальне креслення хлібопічки після модернізації і електричну принципову схему на основі мікроконтролера.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. <https://www.wikiwand.com/ru>
2. <https://hotline.ua/guides/yak-vibrati-hlbopchku/>
3. <https://noviydom.com.ua/luchshie-hlebopechki-dlya-doma>
4. <https://www.rotr.info/electronics/practical/home/breadmaker.htm>
5. Патент US5704277A /01. 06. 2015
6. Бондарь, Е.С. Современные бытовые электроприборы и машины / Е.С. Бондарь, В.Я. Кравцевич. - М.: Машиностроение, 2009. - 224 с.
7. Лебедев, В.С. Расчет и конструирование бытовых машин и аппаратов бытового назначения / В.С. Лебедев. - М.: Легкая и пищевая промышленность, 2009. - 328 с.
8. Петров, А.М. Бытовые машины и приборы / А.М. Петров, Б.Е. Фишман. - М.: Легкая индустрия, 2007. - 296 с.
9. Черкасский В.М. Насосы, вентиляторы, компрессоры. Учебник для теплоэнергетических специальностей ВУЗов. М. Энергоатомиздат, 1984. 416 с.
10. <https://cyberleninka.ru/article/n/raschet-vozduhovodov-ravnomernoy-razdachi-i-udaleniya-vozduha-s-otverstiyami-v-stenke-1>
11. Каменов П.Н. Вентиляция: учебное пособие. – М., Изд-во АСВ, 2008. – 624 с.
12. <https://proizvodim.com/teplovoj-raschet-vozduxovodov.html>
13. <https://mnogovdom.ru/vse-o-ventilyacii/raschjot-skorosti-vozduha-v-vozduhovode-mir-klimata-i-holoda/>
14. Гусев В. Г., Гусев Ю. М. Электроника и микропроцессорная техника. КНОРУС 2013. - 800с.

ДОДАТКИ

Складальне креслення удосконаленої хлібопічки

