

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

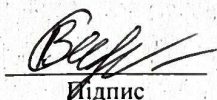
КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

РОЗРОБКА ПОБУТОВОЇ СУШИЛЬНОЇ  
КАМЕРИ З ПОЛПШЕНИМИ  
ВЛАСТИВОСТЯМИ

Галузь знань 14 Електрична інженерія  
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
Освітня програма Електропобутова техніка

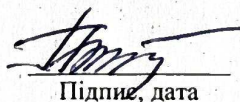
Шифр МРМА 25.00.00.000 ПЗ

Виконав студент  
2 курсу група ЕТмз-24

  
Підпис

Грибан В.С.  
Ініціали, прізвище

Керівник

  
Підпис, дата

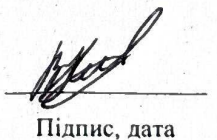
Білий Л.А., д.т.н, проф.  
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер

  
Підпис, дата

Тимошук О., к.т.н.  
Ініціали, прізвище доц.

До захисту допускаю:  
Зав. кафедри МАЕЕС

  
Підпис, дата

к.т.н., доц. Неймак В.С.  
Ініціали, прізвище

10 12 2025 р.

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС

к. т. н., проф., Шейник В. С.  
Шейник 12 2025 р.

## ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

**Грибан Владислав Сергійович**

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи **Розробка побутової сушильної камери  
з поліпшеними властивостями**

Керівник роботи **Білий Л.А., д.т.н, професор**

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

Затверджено наказом ректора університету від 25 08 2025 р. № 65

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 10.12.2025 р

3. Вихідні дані до роботи: **теоретичні відомості процесів сушки, типові сушильні камери, технологічні характеристики процесу сушки, системи керування процесами сушки,**

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

**1 Аналіз та дослідження сучасних технологічних підходів та технічних рішень у сфері використання побутових сушильних камер.**

**2 Проєктування конструкції побутової сушильної камери з поліпшеними властивостями.**

**3 Розрахунки, які підтверджують працездатність побутової сушильної камери з поліпшеними властивостями.**

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

**Аркуш 1. Конструкції сушильних побутових камер. Документ ілюстраційний (A1). Аркуш 2. Схема сушки побутової сушильної камери з поліпшеними функціями. Документ технологічний (A2). Аркуш 3. Діаграма сушки побутової сушильної камери з поліпшеними функціями. Доку-**

мент технологічний (А2). Аркуш 4. Побутова сушильна камера з полішеними функціями. Габаритне креслення (А1). Аркуш 5. Схема керування режимами роботи побутової сушильної камери з полішеними властивостями. Схема структурна (А1). Аркуш 6. Система керування температурно-вологісним режимом побутової сушильної камери. Документ ілюстраційний (А1). Аркуш 7. Побутова тепла камера з полішеними функціями. Габаритне креслення (А1).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

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

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

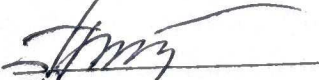
Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1 Аналіз та дослідження сучасних технологічних підходів та технічних рішень у сфері використання побутових сушильних камер.	05.09.25 р.	
2 Проектування конструкції побутової сушильної камери з полішеними властивостями.	20.10.25р.	
3 Розрахунки, які підтверджують працездатність побутової сушильної камери з полішеними властивостями.	20.11.25р.	

Студент

  
Підпис

Грибан В.С.  
Ініціали, прізвище

Керівник роботи

  
Підпис

Білий Л.А.  
Ініціали, прізвище

# АНОТАЦІЯ

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

2. Прізвище, ім'я та по батькові Грибан Владислав Сергійович

2. Тема магістерської роботи Розробка побутової сушильної камери з поліпшеними властивостями

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

4. Об'єм магістерської роботи: креслень 7 арк., сторінок записки \_\_\_\_\_

5. Ця робота присвячена розробці побутової сушильної камери з поліпшеними властивостями для забезпечення оптимальних параметрів сушки продуктів та отримання іншої продукції.

У роботі описується розробка та реалізація конструкції побутової сушильної камери з поліпшеними властивостями

В розрахунково-пояснювальній записці наведено всі необхідні розробки, а також розділи, що відповідають встановленим вимогам.

В першому розділі виконано інформаційний огляд технічних характеристик процесів теплового нагрівання, що реалізуються різними способами. Проведено аналіз обладнання, в якому використовуються процеси нагрівання та сушіння, зокрема пристроїв для короткочасного зберігання сільськогосподарської продукції, сушіння та копчення харчових продуктів, а також обладнання для вирощування птиці в домашніх умовах.

У другому розділі на підставі проведеного інформаційного огляду технічних пристроїв, що працюють з використанням теплового нагріву, було розроблено конструкцію побутової сушильної камери, зокрема її корпус у якому передбачено систему рекуперації використаного тепла з метою поліпшення ефективності процесу сушки та енергозбереження. У програмному середовищі SolidWorks спроектовано механізм переміщення полиць сушильної камери. Також розроблено електричну схему підключення нагрівальних елементів побутової сушильної камери та систему керування вологісно-температурними параметрами і механізмом переміщення полиць залежно від вибраного технологічного режиму роботи.

У третьому розділі виконано розрахунки, які підтверджують працездатність конструкції побутової сушильної камери. Зокрема, визначено тепловий баланс побутової теплової камери в процесі сушіння продуктів. Обчислено робочий об'єм сушильної камери. Проведено розрахунок теплових елементів і вентиляційної системи побутової сушильної камери. Також виконано розрахунок конструктивних елементів механізму переміщення полиць у побутовій сушильній камері.

Підпис студента \_\_\_\_\_

« 10 » 12. 20 25 р.

Р І Ш Е Н Н Я Е К

Протокол 5 від « 29 » 12. 20 25 р.

Оцінка проекту ЕК суде / В / 86

Рекомендації ЕК впровадити з виробництва

Особливі відмітки -

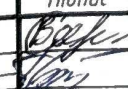
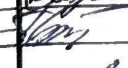

Технічний секретар Куряк А.В.

« 29 » 12. 20 25 р.

## ЗМІСТ

	стор.
Вступ .....	7
1 Аналіз та дослідження сучасних технологічних підходів та технічних рішень у сфері використання побутових сушильних камер .....	9
1.1 Аналіз і дослідження наявних конструктивних рішень побутових сушильних камер .....	9
1.2 Аналіз та дослідження наявних конструктивних рішень побутових теплових камер .....	12
2 Проектування конструкції та системи керування побутової сушильної камери з поліпшеними властивостями .....	24
2.1 Проектування конструкції побутової сушильної камери з поліпшеними властивостями .....	24
2.2 Розробка конструкції пристрою переміщення полиць побутової сушильної камери з поліпшеними властивостями .....	32
2.3 Розробка системи керування вологісно-температурними параметрами та системою переміщення полиць побутової сушильної камери з поліпшеними властивостями .....	36
2.3.1. Розробка структурної схеми системи керування побутової сушильної камери .....	36
2.3.2 Проектування та вибір елементів системи керування вологісно-температурними параметрами та механізмом переміщення полиць побутової сушильної камери .....	37
2.4 Розробка електричної схеми керування живлення побутової сушильної камери з поліпшеними властивостями .....	50

МРМА 25.00.00.000 ПЗ

Знн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Грибан			Розробка побутової сушильної камери з поліпшеними властивостями	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Білий						
Реценз.								
Н. Контр.								
Затверд.		Неймак			ХНУ гр.ЕТМ-24			

3 Розрахунки, які підтверджують працездатність побутової сушильної камери з поліпшеними властивостями.....	57
3.1 Тепловий баланс побутової сушильної камери .....	57
3.2 Розрахунок робочого об'єму побутової сушильної камери .....	61
3.3 Розрахунок теплових елементів побутової сушильної камери .....	64
3.4 Розрахунок вентиляційної системи побутової сушильної камери.....	66
3.5 Розрахунок конструктивних елементів механізму переміщення полиць побутової сушильної камери .....	68
Висновки.....	73
Перелік джерел посилань.....	74
Додатки.....	76

					MPMA 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

Нагрівання є одним із технологічних процесів, що застосовується для прискорення різноманітних фізичних та фізико-хімічних явищ. Воно також використовується для зміни фізичних і хімічних характеристик матеріалів у харчових і сільськогосподарських продуктах, електротехнічних матеріалах, а також у хімічній, оптичній, взуттєвій і текстильній галузях промисловості, зокрема під час вологотермічної обробки текстильних матеріалів, підігріву та сушіння харчових продуктів, переробки сільськогосподарської продукції (одержання курчат з яєць), вулканізації взуттєвих деталей тощо.

У процесі нагрівання як безпосередні джерела теплової енергії застосовуються електрична енергія, повітря та водяна пара.

Вибір теплоносія визначається температурою, необхідною для нагрівання, інтенсивністю теплообміну всередині теплоносія, його вартістю та доступністю, а також іншими чинниками.

В опалювальних процесах використовується обладнання з різною конструкцією та способами керування технологічними процесами, що реалізуються на ньому. У зв'язку з цим виникає потреба у пошуку нових шляхів узагальнення пристроїв, які працюють на основі принципу нагрівання. Це передбачає розробку універсальних конструкцій обладнання, здатних за допомогою нагріву виконувати якомога більшу кількість операцій.

Розв'язання цієї проблеми можливе шляхом застосування теплових камер. Вони являють собою контейнери з теплоізолюваним корпусом, які зазвичай оснащені нагрівальним елементом і системою керування для регулювання температури в центральній частині камери.

Пристрій повинен бути компактним і зручним у використанні для домогосподарств та малих підприємств, що працюють у відповідних умовах. Метою та завданням кваліфікаційної роботи є розробка інфрачервоної камери загального призначення для побутового застосування. Для завершення поставленої мети не-

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	Злокум.	Пілпис	Дата		

обхідно розв'язати такі завдання:

- . виконати огляд і аналіз технічних параметрів процесів нагрівання з використанням різних методів і пристроїв, у роботі яких застосовується тепло;
- . розробити проєкт побутових опалювальних приміщень;
- . створити систему контролю техніко-технічних параметрів термокамер;
- . виконати технічні розрахунки для перевірки працездатності конструкції термокамери.

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	З'явує.	Підпис	Дата		

# 1 АНАЛІЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПІДХОДІВ ТА ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ У СФЕРІ ВИКОРИСТАННЯ ПОБУТОВИХ СУШИЛЬНИХ КАМЕР

## 1.1 Аналіз та дослідження наявних конструктивних рішень побутових сушильних камер

На сучасному етапі розвитку технічних систем застосовується широкий спектр способів теплового впливу.

Парове нагрівання. Водяна пара може цілеспрямовано вироблятися у спеціальних парогенераторах або утворюватися як вторинний продукт у процесах сушіння, вологотеплової обробки та випаровування вологи з відкритих поверхонь. У кожному з цих випадків джерелом пари є нагріта вода.

За умови підведення теплоти до води при незмінному тиску відбувається поступове підвищення її температури, внутрішньої енергії, ентропії, ентальпії та питомого об'єму. Процес нагрівання за сталого тиску триває до моменту завершення температури фазового переходу - кипіння. Подальше підведення теплової енергії не викликає зростання температури, а витрачається на перетворення рідини в пару, доки весь об'єм води не випарується повністю.

Кількість пари, необхідна для забезпечення процесу нагрівання, визначається на основі рівнянь теплового балансу [1]:

$$G_n = \frac{m \cdot c(t_{\text{кінц}} - t_{\text{поч.}}) + Q_n}{i - 4,2t_{\text{кінц}}} \quad (1.1)$$

де  $m$  - маса рідини, що нагрівається, кг;

$c$  - питома теплоємність рідини, що нагрівається кДж/(кг К);

$Q_n$  - втрати теплоти у навколишнє середовище;

$t_{\text{поч.}}$  - початкова температура рідини, яка нагрівається;

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	Злокум.	Пілпис	Лата		

$t_{кінц}$  - кінцева температура рідини, яка нагрівається.

Газове нагрівання. Природний газ застосовується як джерело енергії для теплопостачання парогенераторів, сушильних установок, парових котлів та іншого теплотехнічного обладнання. Процес спалювання газу здійснюється в газовому пальнику. Горіння являє собою хімічну реакцію взаємодії вуглецевмісного палива з киснем, що міститься в повітрі. Встановлено, що для повного згорання тисячі кілограмів палива необхідно приблизно 1,12 м<sup>3</sup> повітря.

За показником теплотворної здатності газу поділяють на низькокалорійні, середньокалорійні та висококалорійні. Даний параметр характеризує кількість теплової енергії, що виділяється в результаті повного згорання одного метра кубічного газу. Таким чином, зі збільшенням теплоти згорання зростає і потреба в об'ємі повітря, необхідному для забезпечення процесу горіння.

Потужність газового пальника визначається об'ємом газу, який подається через відповідне сопло за одиницю часу за умови його налаштування на максимальну витрату палива та повне згорання. Кількість теплової енергії, що виділяється пальником при номінальному режимі подачі газу, обчислюється за відповідною формулою [1]:

$$Q = V \cdot Q_n^p \quad (1.2)$$

де  $Q_n^p$  - невисока теплотність згорання палива, кДж/м<sup>3</sup>.

$V$  - продуктивність горілки, м<sup>3</sup>/с.

$$V = S \cdot k_g \sqrt{2p_r / \rho} \quad (1.3)$$

де  $S$  - площа поперечного перерізу сопла газового пальника;

$k_g$  - коефіцієнт витрати, що залежить від кута конуса сопла газового пальника;

$p_r$  - тиск газу перед газового пальника;

$\rho$  - густина газу, який спалюється.

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	Злокум.	Пілпис	Лата		

Опалення теплим повітрям. Даний спосіб застосовується під час технологічної обробки продукції в сушильних установках та спеціалізованому обладнанні. Нагрівальний пристрій за допомогою електричної енергії або водяної пари доводить повітря до заданої температури, після чого воно стискується та спрямовується до об'єкта, який підлягає обробці. Передача теплової енергії здійснюється в умовах примусової конвекції.

Кількість теплоти, що передається від нагрітого повітря до об'єкта технологічного процесу, визначається за рівняннями конвективного теплообміну. Для виконання теплових розрахунків процесу конвективного сушіння необхідно знати витрату повітря під час сушіння,  $M_v$  (кг/с).

$$M_e = X_{ex} = M_e \cdot X_{вих} + W \quad (1.4)$$

де  $X_{ex}$  - вологовміст повітря на виході із сушарки, кг/кг повітря;

$X_{вих}$  - вологовміст повітря на вході у сушарку, кг/кг повітря.

Тоді,

$$M_e = \frac{W}{X_{ex} - X_{вих}} \quad (1.5)$$

Нагрівання електричним струмом. Використання електричної енергії дає змогу здійснювати процес нагрівання в надзвичайно широкому температурному діапазоні. Керування та стабілізація заданої температури відбуваються без ускладнень відповідно до встановленого технологічного режиму. У переважній більшості випадків застосовується електричний нагрів за рахунок опору провідника. При цьому вся споживана потужність нагрівального елемента перетворюється на теплову енергію, що використовується для обігріву.

За відомих значень електричного опору нагрівача, довжини провідника та площі його поперечного перерізу можна визначити потужність нагрівального елемента за відповідною формулою [1]:

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	Злокум.	Піппис	Лата		

$$N = \frac{U^2}{R} = \frac{U^2 \cdot S}{\rho \cdot L} \quad (1.6)$$

де  $U$  - падіння напруги (різниця потенціалів), В;

$\rho$  - питомий опір дроту, В/м<sup>2</sup>.

За значенням напруги електричної мережі  $U$  визначаємо силу струму  $I$ , яку обчислюють за відповідною формулою [1]:

$$I = N / U \quad (1.7)$$

Виходячи з допустимого значення граничної густини струму  $i_{ep}$ , визначаємо площу поперечного перерізу провідника:

$$S = \frac{I}{i_{ep}} \quad (1.8)$$

$$i_{ep} = \frac{I_{ep}}{S} \quad (1.9)$$

де  $I_{ep}$  - гранична сила струму. Із довідкових матеріалів обирається стандартне значення площі поперечного перерізу, яке є найближчим до розрахованого, після чого за цим параметром визначається довжина провідника [1].

До основних недоліків нагрівання електричним струмом належать відносно невеликий ресурс роботи нагрівальних елементів, знижений коефіцієнт корисної дії, тривалий період виходу на робочий режим, а також висока інерційність нагрівального елемента.

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	Злокум.	Пілпис	Дата		

## 1.2 Аналіз та дослідження наявних конструктивних рішень побутових теплових камер

На сучасному ринку побутової техніки представлений широкий асортимент приладів, робота яких ґрунтується на принципі теплового впливу на матеріал і які відрізняються між собою конструктивним виконанням, встановленою потужністю та рівнем автоматизації.

У результаті аналізу інформаційних джерел виявлено значну кількість пристроїв, призначених для зберігання сільськогосподарської продукції, функціонування яких базується на застосуванні терморегулятора. Терморегулятор (термостат) являє собою пристрій, що забезпечує встановлення та підтримання заданого температурного режиму в замкненому об'ємі. Одним із прикладів такого використання є ємність для зберігання коренеплодів у холодний період року.

Існують також ємності, призначені для зберігання овочів і фруктів, конструкція яких складається з теплоізольованого корпусу та кришки. Камера розміщується всередині корпусу з утворенням зазорів між стінками, дном і кришкою. В проміжку між дном камери та основним корпусом встановлюється електричний нагрівальний елемент. Одна з бокових стінок корпусу обладнана вікном вивантаження з відкидною кришкою, яка має можливість повороту та поступального переміщення в горизонтальному напрямку. Пристрій регулювання температури розташовується між дном корпусу та дном контейнера і електрично з'єднаний з нагрівачем та рухомою секцією стінки. Додатково контейнер оснащується сіткою, що встановлюється в отвір стінки корпусу, який утворюється після демонтажу відповідного блока [3].

На рисунку 1.1 подано конструкцію ємностей для зберігання продукції. Контейнер складається з теплоізольованого корпусу 1, кришки 2 та камери, сформованої стінками 3, 4 і дном 5, яка інтегрована в корпус 1 через зазор А. У зазорі А між днищем 5 камери та корпусом розміщений електронагрівач корпусу 1.

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	Злокум.	Піппис	Лата		

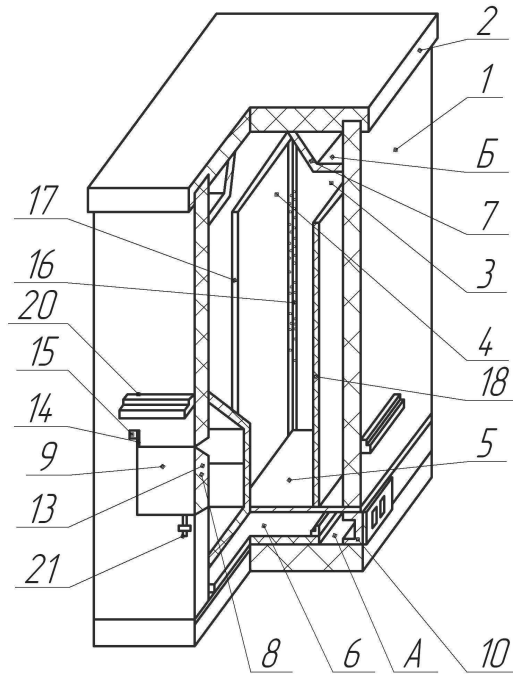


Рисунок 1.1 - Ємність, призначена для зберігання продукції

На одній з бокових стінок корпусу передбачене висувне віконце 8 з кришкою 9, яке має можливість відкриватися, повертатися в горизонтальній площині та переміщуватися поступально вперед і назад. Терморегулювальний елемент розташований у зазорі між днищем камери 5 та дном корпусу 1 і об'єднаний в єдиний блок 10 з електронагрівачем 6, а також з частиною стінки корпусу 1.

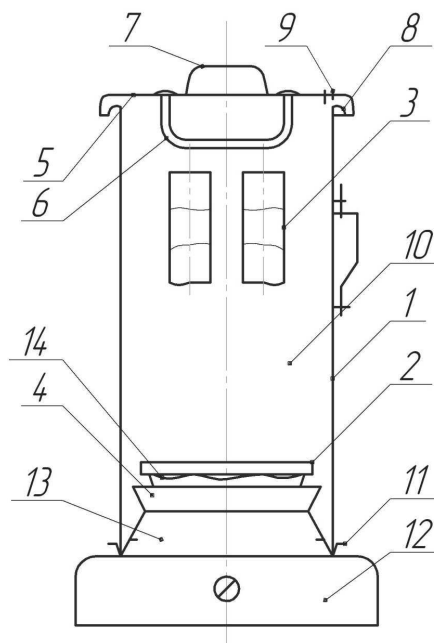
Контейнер додатково укомплектований вентиляційною решіткою 11, яка встановлюється в отвір 12, що утворюється після вилучення блока 10. Кришка 9 виконана з похилою поверхнею 13 і закріплена на корпусі 1 за допомогою шарніра 14 та осі 15. У бічній стінці 3 камери передбачено технологічний отвір. Над віконцем 8 і отвором 12 закріплюються козирки 19 та 20. Роз'єм 21 запірного механізму встановлений на корпусі 1 і складається із засувки 22, закріпленої на блоці 10, вентиляційної решітки 11 та кришки 9 [3].

Монтаж внутрішнього контейнера здійснюється таким чином. Днище 5 встановлюється в корпус 1, після чого в камеру монтуються стінки 3 і 4. З урахуванням кількості та виду овочевої й фруктової продукції, що закладається на зберігання, камера розділяється перегородками 17 на секції різної місткості. Над ка-

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	Злокум.	Пілпис	Дата		

метою розміщується вставка 7, орієнтована вільними кінцями донизу. Вставка 7 перешкоджає потраплянню овочів і фруктів у зазори між корпусом 1, стінками 3, 4 та днищем 5 камери. Далі кришку 9 опускають, віконце 8 закривають, а кришку 9 фіксують у закритому положенні за допомогою засувки 22. Контейнер, заповнений продукцією для зберігання, додатково накривається кришкою 2 корпусу 1.

Існує також пристрій, призначений для копчення та сушіння харчових продуктів, конструкцію якого наведено на рисунку 1.2. Пристрій складається з вертикальної ємності 1, лотка 3 для відведення рідини, що виділяється з продукту, лотка 4 для розміщення тирси, кришки 5 з кронштейнами 6 для підвішування продукції та ручки 7. Лотки 2 і 4 жорстко закріплені на корпусі контейнера. Над ємністю 1 з утворенням зазору 10 та над електронагрівачем 11 розташована електрична плита 12 [8].



1 - ємність; 2 – піддон.; 3 – продукт, що призначений для приготування; 4 - піддон; 5 - кришка; 6 – кронштейн кріплення; 7 - ручка; 8 – пластина затискна

Рисунок 1.2 - Пристрій для сухого копчення і сушки продуктів

Робота пристрою відбувається таким чином. Тирсу засипають у піддон 4 і встановлюють його на упор 13 контейнера 1. Зверху тирса накривається гофро-

					MPMA 25.00.00.000 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	Злокум.	Піппис	Дата		

ваною шайбою 14, на яку монтується піддон 2. Продукт 3 підвішується на три-мачі 6 кришки 5 таким чином, щоб отвір 9 знаходився над плитою. Дим, що утворюється в результаті тління тирси, проходить через гофри 15 та кільцевий зазор 10 між стінкою 1 і піддоном 2 у внутрішній об'єм ємності з оброблюваним продуктом. Відведення диму з камери регулюється шляхом повороту ручки 7 на кришці 5 та переміщення отвору 9 у пластині 8. Ступінь готовності продукту визначається за запахом диму, який набуває характерних для копчених виробів властивостей.

До основних переваг даного пристрою належать простота його конструктивного виконання та зручність у використанні, а також наявність можливості регулювання інтенсивності утворення диму. Габаритні розміри пристрою є відносно малими. Водночас до недоліків цього обладнання слід віднести невисоку продуктивність, значну тривалість процесу обробки та підвищене споживання енергії.

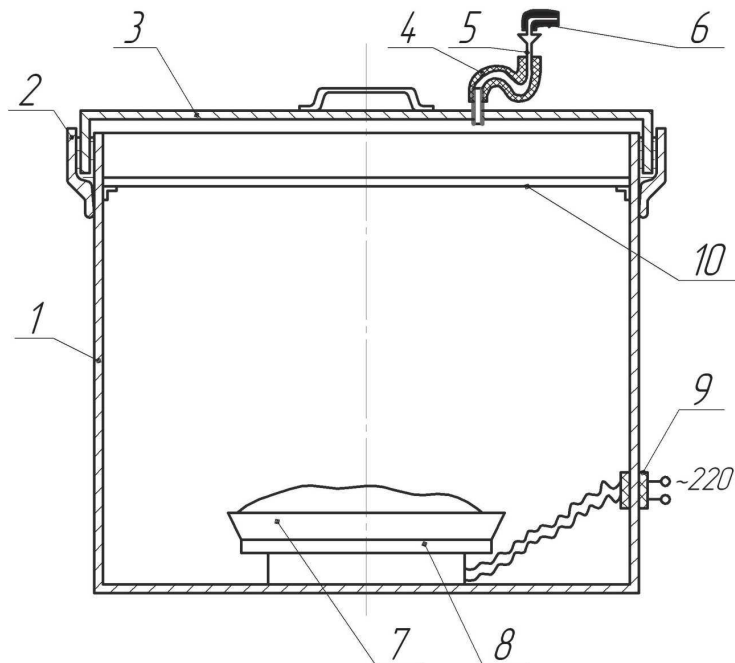
Існує також пристрій, призначений для копчення м'ясної та рибної продукції, конструкція якого наведена на рисунку 1.3 [4].

Пристрій складається з герметичного корпусу 1, у верхній частині якого приварена герметична кришка 2, заповнена рідиною. Основний корпус апарата зверху закривається кришкою 3, до якої приєднано гідророзподільник. Клапанна система включає дозатор 4 з прозорого матеріалу та розширювальний конус 5, до якого під'єднаний гнучкий шланг 6. У нижній частині корпусу розміщений піддон 7 з тирсою, який встановлюється над електронагрівачем 8.

Герметичний електричний роз'єм забезпечує надійне підключення пристрою до електричної мережі. У верхній зоні корпусу передбачена перекладина 10 для підвішування м'ясних або рибних продуктів. Робота камери відбувається таким чином: усередині корпусу 1 на електронагрівачі 8 розміщується піддон 7 з тирсою, а на перекладинах 10 підвішуються попередньо замариновані м'ясні чи рибні продукти. Прозорі частини кришки 2 та дозатора 4 гідророзподільника заповнюються водою. Після підключення електронагрівача 8 до електромережі ти-

					MPMA 25.00.00.000 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	Злокум.	Пілпис	Дата		

рса в піддоні починає тліти, утворюючи дим. Під впливом диму рідина поступово переміщується від прозорої частини 4 гідророзподільника до конічної частини 5 гідрозатвора, а дим відводиться через гнучкий шланг 6 у димохід. Це слугує сигналом для вимкнення пристрою від джерела живлення [5].



1 – корпус ; 2 - кожух; 3 – кришка пристрою; 4 – дозатор продукції.; 5 – конус дозування; 6 – шланг подачі повітря; 7 – піддон для тирси; 8 – нагрівач електричний.; 9 - теплоізоляція; 10 – перекладина для розміщення продуктів сушіння

Рисунок 1.3 - Пристрій для копчення м'ясних та рибних продуктів

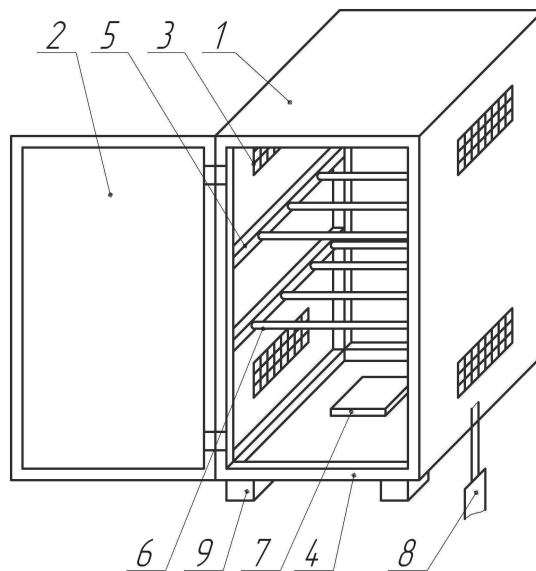
Перевагою такої конструктивної схеми є можливість здійснення процесу копчення за умов максимальної концентрації диму всередині коптильної камери, що забезпечується наявністю гідрозатвора. Водночас до недоліків даного обладнання належать значна тривалість процесу копчення, невисока продуктивність та відсутність засобів контролю за перебігом технологічного процесу.

Також існує сушильна шафа, конструкція якої наведена на рисунку 1.4. Шафа 1 виготовляється з листового металу, а її каркас 4 формується з дерев'яних рейок або металевих куточків. Зовнішня поверхня шафи пофарбована в чорний колір. Вентиляційні отвори 3, закриті металевою сіткою з великим перерізом

					MPMA 25.00.00.000 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	Злокум.	Пілпис	Дата		

дроту, розміщені у верхній та нижній частинах конструкції. Замість сітки допускається встановлення регульованих клапанів, які забезпечують керування повітряним потоком.

У внутрішньому об'ємі шафи 1 до бічних брусків 5 закріплюються планки 6, призначені для встановлення настилів. Збоку монтується рама з сіткою або рама з цвяхами, на які натягується струна з висушуваним виробом. У нижній частині шафи 1 розміщується електрична плита 7, оснащена терморегулятором. У разі неможливості використання електроплити шафу допускається встановлювати на кухонну плиту або інше джерело відкритого полум'я.



1 – корпус шафи сушильної побутової; 2 – двері шафи; 3 - вентиляційний отвір; 4 - каркас; 5 – напрямлюючі поличок; 6 - планка; 7 – нагрівальний елемент;  
8 - заземлення; 9 - підставка

Рисунок 1.4 - Шафа сушильна побутова

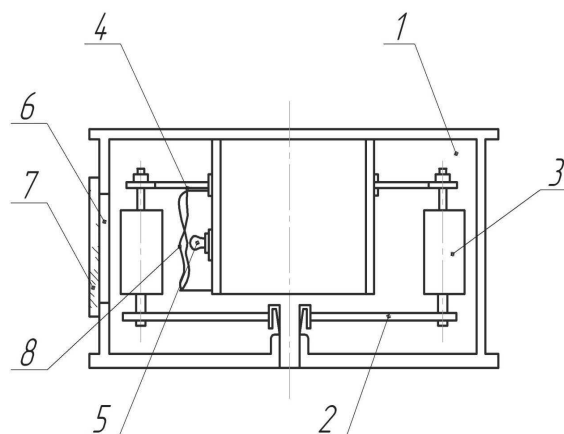
Перевагою цієї конструкції є простота її виготовлення та зручність у процесі експлуатації. Водночас недоліком виступає застосування дерев'яних елементів у конструкції пристрою, що знижує його довговічність і підвищує рівень пожежної небезпеки.

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	Злокум.	Пілпис	Дата		

Також існують пристрої, призначені для нагрівання яєць та вирощування птиці в побутових умовах, приклади яких наведені на рисунках 1.5–1.8.

На рисунку 1.5 представлено обладнання для домашнього вирощування птиці, а саме інкубатор. Він складається з інкубаційної камери 1, всередині якої розміщений барабан 2 з ексцентрично встановленим яйцетримачем 3. У центральній частині барабана 2, за яйцетримачем, послідовно розташовані екран 4 та джерело світла 5, наприклад лампа, а з протилежного боку в корпусі 6 виконане вікно 7 з прозорого матеріалу. Барабан 2 разом з яйцетримачем 3 оснащений приводом, що забезпечує їх обертання навколо осі. В екрані 4 передбачено отвір 8 [6].

Робота інкубатора здійснюється наступним чином. Під час обертання барабана 2 створюється ефект штучної гравітації. Для проведення контролю стану яєць обертання барабана припиняють, після чого яйцетримач 3 з яйцями розташовують на одній осі з джерелом світла 5, отвором 8 екрана 4 та вікном 7 корпусу 6. При ввімкненні джерела світла 5 яйця просвічуються без потреби їх вилучення з інкубаційної камери. У разі необхідності огляду інших яєць відповідний яйцетримач переміщують ближче до джерела світла 5 шляхом обертання барабана 2.



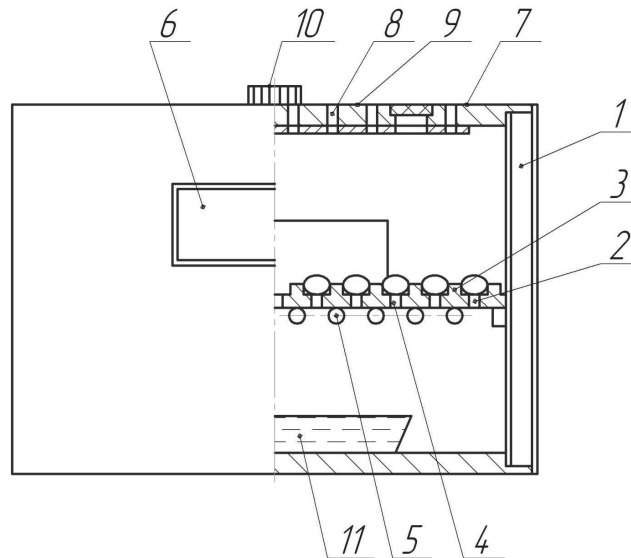
1 – камера інкубатора; 2 - барабан; 3 - яйцетримувач; 4 - екран; 5 - джерело освітлення інкубатора; 6 - корпус; 7 - вікна; 8 - отвір

Рисунок 1.5 – Інкубатор побутовий

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	Злокум.	Піппис	Дата		

Даний інкубатор має низку переваг, серед яких зручність експлуатації та можливість контролю стану яєць без їх вилучення з інкубаційної камери. Разом з тим до недоліків конструкції слід віднести значні габаритні розміри та наявність великої частки внутрішнього об'єму, яка не використовується ефективно.

На рисунку 1.6 наведено конструкцію іншого інкубатора.



- 1 – камера інкубатора; 2 – лоток; 3 – рамки для яєць; 4 – пази для рамок;  
 5 - нагрівальні елементи камери; 6 – вікно; 7 – кришка; 8 – отвори;  
 9 – пластина.; 10 – ручка; 11 – піддон для вологи

Рисунок 1.6 –Інкубатор побутовий

Він складається з термостійкої камери (ТК) 1, у верхній та нижній частинах якої відповідно виконані вентиляційні отвори 8 і 12. Усередині термостійкої камери 1 розміщені ємність 11 з водою та лоток 2 для розміщення яєць. Дно лотка має наскрізний отвір, систему паралельних канавок 4 і нагрівальний елемент 5. Через вентиляційний отвір 12 повітря надходить у термостійку камеру 1. У результаті нагрівання та зволоження повітря в нижній частині камери за рахунок роботи нагрівального елемента 5 і випаровування води з ємності 11 повітряні потоки піднімаються вгору вздовж канавок. Регулювання швидкості руху повітря, рівня вологості та температурного режиму здійснюється шляхом зміни площі вентиляційних отворів 8.

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	Злокум.	Піппис	Дата		

Робота інкубатора відбувається таким чином. Після закладання яєць лоток 2 встановлюють у камеру постійної температури 1, ємність 11 заповнюють водою, а отвір 8 за допомогою ручки 10 налаштовують до необхідного розміру. Термостійку камеру 1 підключають до електричної мережі, при цьому теплова енергія, що виділяється нагрівальним елементом 5, використовується як для нагрівання лотка 2, так і для підігріву повітря в нижній частині камери.

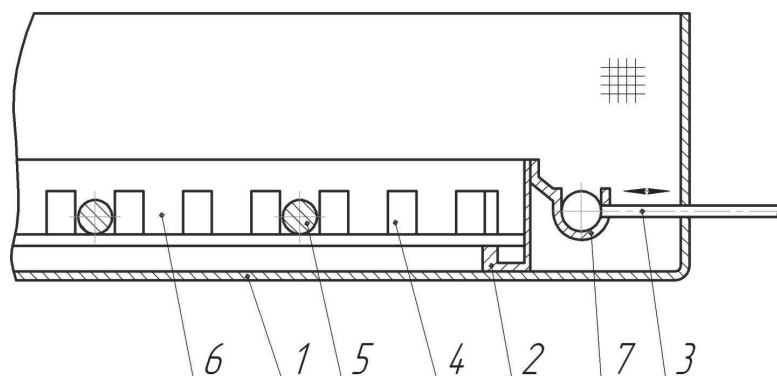
Нагріте повітря збагачується вологою, що утворюється внаслідок випаровування води з ємності 11, після чого підіймається через канавку 4 лотка 2 до верхньої частини термостійкої камери 1, забезпечуючи зволоження яєць. Свіже повітря надходить у камеру через вентиляційний отвір 12, тоді як відпрацьоване повітря відводиться через отвір 8. При цьому інтенсивність повітряного потоку, рівень вологості та температура всередині ТК 1 регулюються шляхом зміни розмірів отвору 8 за допомогою рухомої пружини 9.

Перевертання яєць у процесі інкубації здійснюється механізмом 3, який кінематично з'єднаний з приводним пристроєм [7]. Інкубатор відрізняється простотою виготовлення та зручністю в керуванні, при цьому для його експлуатації не потрібні спеціальні навички. Водночас недоліками даної конструкції є підвищене споживання теплової енергії як нижньою, так і верхньою частинами інкубатора, відсутність автоматизованого регулювання температури повітря та відсутність контролю рівня вологості.

Також існує пристрій, призначений для перевертання яєць в інкубаторі, конструкцію якого наведено на рисунку 1.7.

Складається з лотка 1, оснащеного рамою 2, та приводного механізму 3, за допомогою якого рама здійснює зворотно-поступальний рух. У центральній частині рами встановлена сітка із зубчастих рейок 4, по периметру якої розміщені стрижні 5, здатні переміщуватися відносно один одного в пазах зубчастих рейок 4. Стрижні 5 формують прямокутні комірки 6 на дні кожного лотка 1. Кожна рама 2 додатково обладнана кронштейном 7, призначеним для її з'єднання з приводним механізмом 3 [8].

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	Злокум.	Піппис	Дата		



1 - лоток; 2 - рамка; 3 - механізм приводу пристрою перевертання; 4 - рейка; 5 - пруток; 6 - комірки; 7 - кронштейн

Рисунок 1.7 - Пристрій для перевертання яєць у інкубаторі

Принцип роботи пристрою полягає в наступному. Шляхом переміщення стрижнів 5 уздовж рейок 4 формується прямокутна комірка 6 корпусу рами 2, у межах якої інкубаційні яйця можуть вільно розміщуватися. Яйця укладаються в комірках як горизонтально, так і вертикально відносно напрямку руху рами 2. Після цього кожен кронштейн 7 з'єднується з приводним механізмом 3 для передавання рамі зворотно-поступального руху. У процесі роботи стрижень 5 підштовхує яйце, внаслідок чого воно перекидається та перекочується по поверхні шкаралупи [8].

Перевагою такого обладнання є можливість перевертання яєць різних типів. Разом з тим недоліком даної конструкції є застосування зворотно-поступального руху сітки, що потребує наявності додаткового простору для перекидання об'єктів, які можуть використовуватися для інкубації.

### Висновок розділу 1

У розділі виконано інформаційний огляд технічних характеристик процесів теплового нагрівання, що реалізуються різними способами. Проведено аналіз обладнання, в якому використовуються процеси нагрівання та сушіння, зокрема пристроїв для короткочасного зберігання сільськогосподарської продукції, су-

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	Злокум.	Пілпис	Дата		

шіння та копчення харчових продуктів, а також обладнання для вирощування птиці в домашніх умовах. Основним недоліком відомих конструкцій є обмежена сфера їх застосування, оскільки такі пристрої мають сезонний характер і протягом більшої частини року не експлуатуються.

Оснащення пристроїв лотками з рухомими механізмами, джерелами тепла, гаками, піддонами для тирси та ємностями для збору жиру, а також механізмами перевертання яєць в інкубаторах підвищує їх універсальність і значно розширює функціональні можливості.

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	З локум.	Пілпис	Лата		

## 2 ПРОЄКТУВАННЯ ТА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ПОБУТОВОЇ СУШИЛЬНОЇ КАМЕРИ З ПОЛІПШЕНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

### 2.1 Проєктування конструкції побутової сушильної камери з поліпшеними властивостями

Побутові сушильні камери застосовуються для сушіння харчових продуктів, копчення, довготривалого зберігання сільськогосподарської продукції за стабільного температурного режиму, інкубації яєць, підігріву різних хімічних речовин, а також для висушування електротехнічних виробів, зокрема проводів та кабелів.

До сучасних побутових сушильних камер висуваються підвищені технічні, конструктивні та експлуатаційні вимоги. Таке обладнання повинно забезпечувати високу продуктивність, належну якість теплової обробки, скорочену тривалість технологічних процесів і мінімальне енергоспоживання під час експлуатації.

З конструктивної точки зору сушильна камера має бути компактною, мати невеликі габаритні розміри та масу, що спрощує її транспортування й установлення. Робочі характеристики обладнання повинні відповідати чинним санітарним нормам і вимогам пожежної безпеки.

Запроєктована сушильна камера повинна забезпечувати виконання таких функцій:

- зберігання сільськогосподарської продукції (коренеплодів, капусти, фруктів, овочів) за умов стабільної температури та вологості;
- сушіння овочів, фруктів та інших продуктів при підвищених температурах із використанням нагрівальних елементів і механізмів перемішування або обертання;
- отримання молодняка з яєць із дотриманням заданих інкубаційних режимів шляхом застосування нагрівальних елементів та механізмів перевертання яєць;
- автоматизоване підтримання необхідних температурно-вологісних пара-

					MPMA 25.00.00.000 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	З'яв. локум.	Піппис	Лата		

метрів у робочому об'ємі термокамери за допомогою системи керування.

Змішування висхідних і зворотніх потоків вологопоглинача забезпечує багаторазову циркуляцію повітря, що сприяє рівномірному висушуванню продукту. У середині сушарки формується зона з пониженою інтенсивністю сушіння, в яку опускається вологопоглинач. Ефективність процесу в цій зоні може бути підвищена шляхом збільшення швидкості руху вологопоглинача та зниження його початкової температури. На початку циклу температура відпрацьованих газів становить 25–30 °С і поступово зростає до 50–55 °С наприкінці процесу. Швидкість руху газу в камері перебуває в межах 2,5–3,5 м/с, при цьому рівень вакууму підтримується на рівні близько 10 Па.

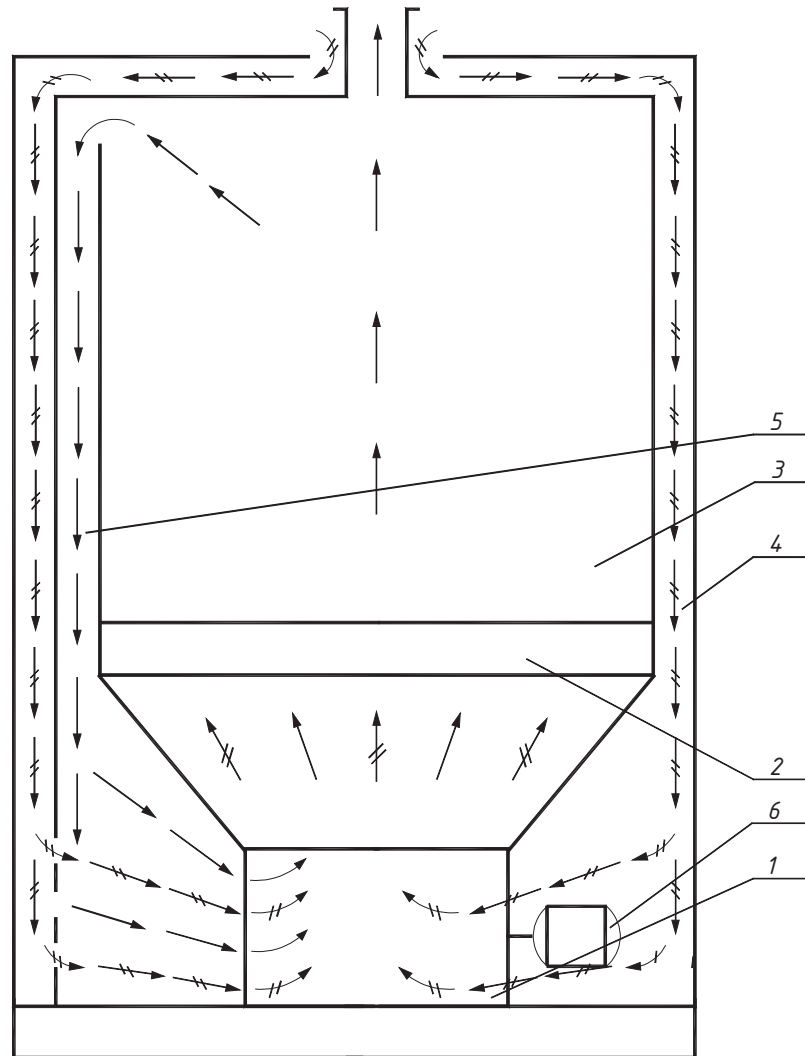
На рисунку 2.1 наведено основні елементи конвективної сушарки та схему руху повітряних потоків. Сушильна шафа складається з вентилятора (1), призначеного для переміщення повітря, трубчастого нагрівального елемента (2), сушильного відділення (3), повітропроводу подачі нагрітого повітря (4) та повітропроводу для його відведення (5).

Сушильні шафи використовуються для сушіння овочів і фруктів та мають прямокутний корпус із вентилятором і нагрівачем, розміщеними в нижній частині, а також панель керування і витяжну трубу у верхній частині. Корпус виконаний із подвійними стінками: міжстінковий простір сполучений з атмосферою через верхній отвір і з усмоктувальним патрубком вентилятора — через нижній.

Другий вхід вентилятора з'єднаний із повітропроводом, утвореним внутрішньою стінкою шафи та вертикальною перегородкою, через який частина вологого циркулюючого повітря відводиться назовні. На внутрішніх стінках шафи встановлені кронштейни для навісних полиць, на яких розміщуються продукти.

Вентилятор оснащений однофазним електродвигуном і має два припливні та один витяжний отвір. Нагрівальні елементи встановлені на витяжних отворах вентилятора та виконані у вигляді блоків трубчастих електронагрівачів, закріплених на спільному тримачі. Панель керування розміщена у верхній частині шафи та містить температурні реле, реле часу, сигнальні пристрої й вимикачі живлення.

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	Злокум.	Пілпис	Дата		



- нагріте повітря
- ↔ холодне повітря
- 1 - вентилятор
- 2 - трубчаті електричні нагрівачі (ТЕНи)
- 3 - сушильний відсік
- 4 - повітропровід подачі холодного повітря
- 5 - повітропровід подачі гарячого відпрацьованого повітря

Рисунок 2.1 – Сушіння в конвекційних сушильних камерах із частковою циркуляцією повітря

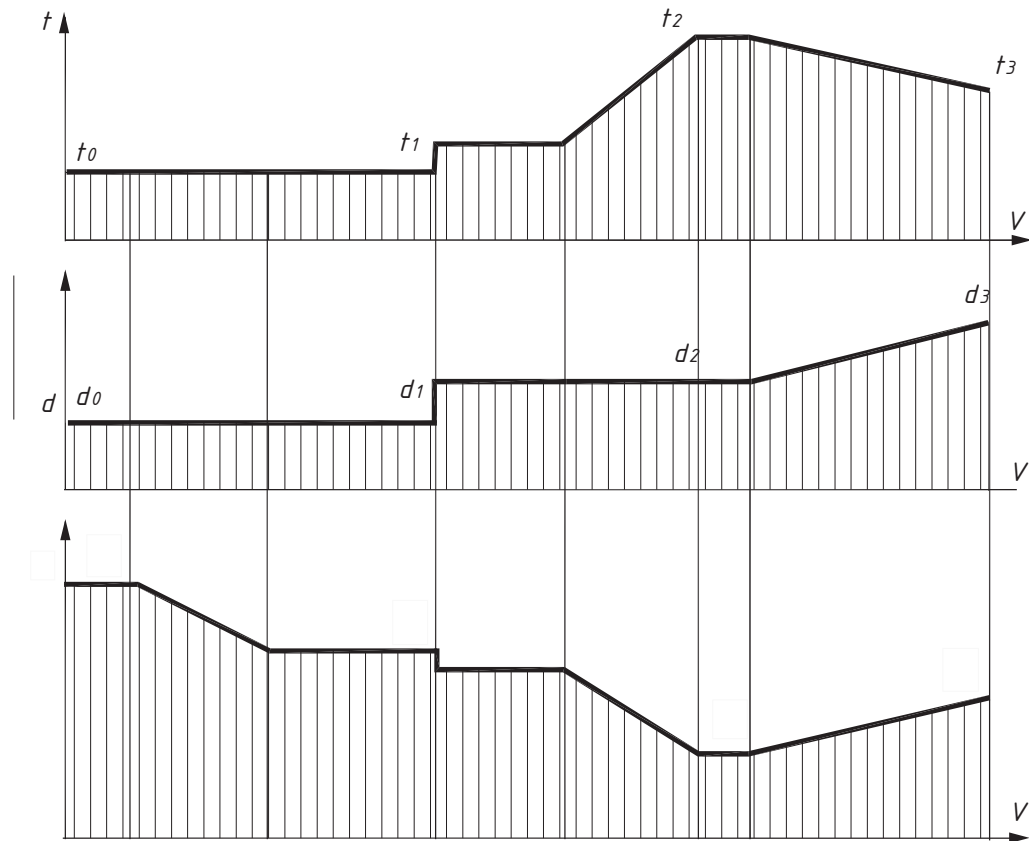
Витяжні вентиляційні отвори призначені для видалення вологого повітря з шафи та можуть підключатися до локальної вентиляційної системи. Над шафою встановлено регулятор заслінки, за допомогою якого здійснюється керування кількістю вологого повітря, що відводиться в атмосферу.

У результаті спільної роботи нагрівальних елементів і вентиляційної сис-

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	З'яв.	Піппис	Дата		

теми в сушильній камері формується сталий повітряний потік. Частина повітря після проходження через камеру виводиться назовні, тоді як інша частина повертається в систему для повторного використання. Така схема роботи підвищує енергоефективність сушарки та зменшує загальні витрати енергії.

Діаграма сушки з допомогою повітря показана на рисунку 2.2.



Умовні позначення  
 1 - вентилятор  
 2 - електронагрівач  
 3 - сушильний відсік  
 4 - повітропровід подачі холодного повітря

$t$  - температура повітря  
 $d$  - вологовмісткість повітря  
 $\phi$  - відносна вологість повітря

Рисунок 2.2 – Діаграма сушіння повітрям у сушильній камері

Повітря з приміщення попередньо підігрівається за рахунок теплообміну з нагрітими стінками сушильної камери та через повітропровід подається до вен-

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	Злокум.	Пілпис	Дата		

тилятора. При цьому абсолютний вміст вологи в повітрі залишається сталим, а відносна вологість має задане значення. Частина відпрацьованого повітря з відповідними параметрами повертається в систему.

У барабані вентилятора відбувається перемішування потоків, після чого повітря надходить до нагрівального елемента. На виході з нагрівача температура повітря підвищується до заданого рівня, а відносна вологість зменшується.

У сушильній камері температура повітря знижується внаслідок витрат тепла на випаровування вологи з продукту. Під час цього процесу повітря зволожується, абсолютний вміст вологи зростає, а відносна вологість змінюється відповідно до нових термодинамічних умов.

На основі виконаного аналітичного огляду інформаційних джерел запропоновано конструкцію термокамери, що містить потрібні вузли для забезпечення універсального застосування в побутових умовах.

Побутова сушильна камера виконана у вигляді шафи прямокутної форми. Вона складається з розбірного корпусу, який укомплектований лотком для короткочасного або тривалого зберігання продуктів, сушіння сировини та розміщення інкубаційних яєць.

Сушильна камера монтується на напрямний блок і фіксується кронштейном. Нагрівальний модуль містить корпус і висувний ящик, у якому на спеціальних тримачах встановлюються нагрівальні прилади (лампочки — для інкубації та виведення молодняку, трубчасті електронагрівачі — для сушіння харчових продуктів і матеріалів).

У дверцятах передбачено оглядове вікно для візуального контролю процесу зберігання. Верхня кришка корпусу оснащена вентиляційними отворами.

Корпус побутової сушильної камери (рис. 2.3 і рис. 2.4) має прямокутну форму з габаритами 1100 × 840 × 640 мм. Його основу утворюють 8 U-подібних куточків, які зварені між собою в окремі блоки та облицьовані листовим металом. Зазначені блоки, дві бокові стінки та задня стінка з'єднуються між собою гвинтами 16 і гайками 13. Для збільшення жорсткості конструкції задня стінка

					MPMA 25.00.00.000 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	Злокум.	Пілпис	Дата		



За допомогою кутових кронштейнів на ролики 7 монтується ящик зі спеціальним поворотним пристроєм, у якому розміщується продукція та відбуваються процеси сушіння або підігріву інкубаційних яєць.

Лоток для зберігання та розкладки продуктів складається з передньої стінки 7, задньої стінки 3 та бокових стінок 4, з'єднаних між собою ребрами 2. На передній стінці 7 встановлене оглядове вікно. До бокової стінки приварено куточок 9, за допомогою якого ящик встановлюється на ролик.

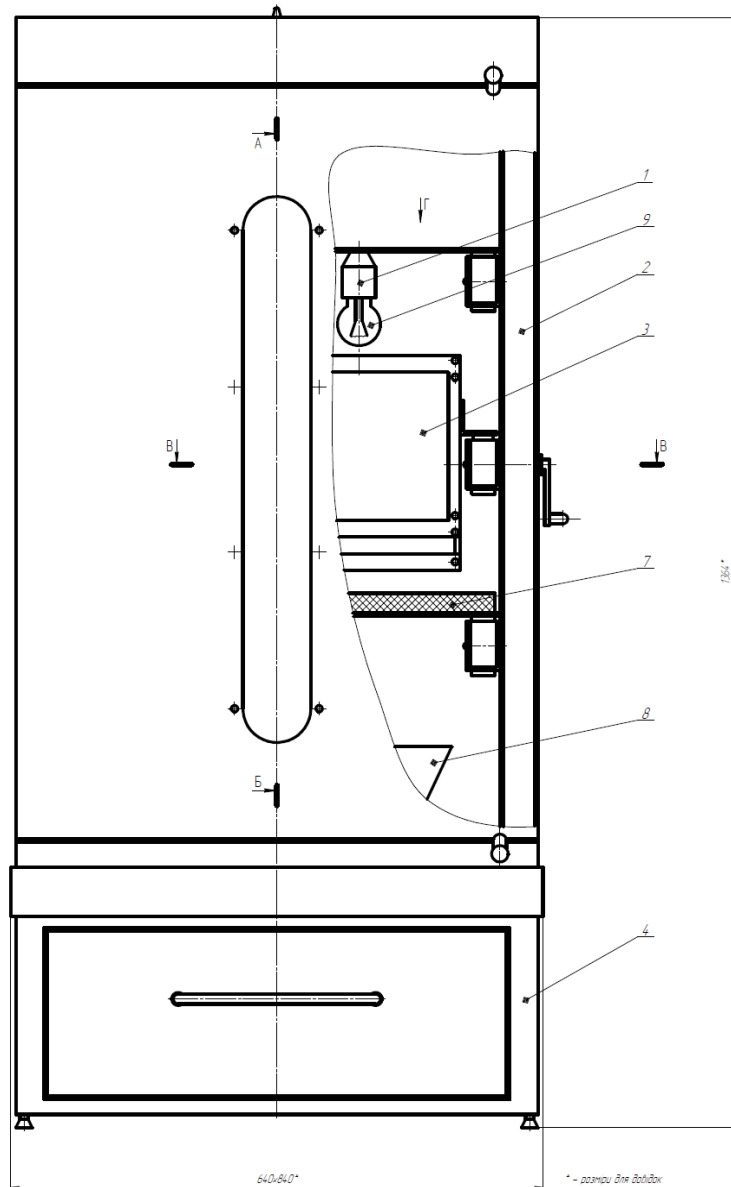


Рисунок 2.4 – Загальний вигляд побутової сушильної камери з висувним ящиком для встановлення нагрівальних елементів (ТЕНів)

					MPMA 25.00.00.000 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	З'якум.	Піппис	Лата		

Якщо експлуатація термокамери здійснюється в холодний період року в приміщенні, де температура повітря опускається нижче +5 °С, корпус необхідно додатково теплоізулювати полівінілхлоридною панеллю товщиною 10 мм, яка має внутрішні повітряні порожнини та достатню питому теплоємність.

Застосування цього матеріалу для виготовлення корпусу забезпечує незначні втрати теплової енергії з внутрішнього об'єму камери, високу механічну міцність, надійність конструкції та простоту її виготовлення.

Верхня і нижня частини корпусу обладнані тепловідбивними елементами, які сприяють максимальному спрямуванню теплового потоку від зони розміщення нагрівальних елементів (трубчастих електронагрівачів і ламп розжарювання малої потужності).

У внутрішньому просторі нагрівальної камери розміщені такі основні конструктивні вузли:

- висувний механізм для переміщення лотків із продуктами, що включає малопотужний електродвигун, кривошипний штовхач, напрямну раму та кривошипно-штовхальний привід;
- опорний кронштейн для фіксованого встановлення лотка;
- контейнер для розміщення продуктів;
- зволожувальний вузол, виконаний у вигляді пластикового піддона з мікрофібровими вставками, які забезпечують природне зволоження внутрішнього об'єму камери;
- електричний вентилятор, призначений для примусової циркуляції нагрітого повітря, регулювання відносної вологості та періодичного охолодження повітря в камері;
- джерела тепла, до яких належать лампи розжарювання малої потужності та трубчасті електронагрівачі;
- сенсорний блок для визначення положення полиці з продуктом;
- датчик контролю температури повітря в нагрівальній камері;
- пристрій контролю рівня вологості в робочому об'ємі.

					MPMA 25.00.00.000 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	Злокум.	Пілпис	Дата		

Як основний нагрівальний елемент застосовано трубчастий електронагрівач. У конструкції використано три нагрівачі потужністю по 400 Вт та п'ять ламп розжарювання малої потужності по 10 Вт. Використання таких нагрівальних елементів забезпечує ефективне та рівномірне підтримання необхідного температурного режиму протягом усього процесу нагрівання або сушіння.

Крім того, корпус нагрівальної камери обладнаний значною кількістю вентиляційних отворів, що забезпечують необхідну швидкість руху повітря всередині робочого простору камери.

Побутова сушильна камера функціонує наступним чином. Пристрій підключається до електричної мережі, після чого на панелі керування обирається відповідний режим роботи. Камера може використовуватися для зберігання продуктів, їх сушіння, підігріву, інкубації яєць та виведення курчат.

Для завантаження продукції обирається відповідний режим роботи. У процесах, що передбачають нагрівання, на технічній панелі відображається назва активного технологічного режиму, а також у реальному часі виводяться значення температури та вологості. Після завершення операції на дисплеї з'являється індикація її закінчення.

Система керування камерою у автоматичному режимі втримує задані параметри температури та вологості в робочому об'ємі. У разі відхилення від установлених значень відповідна інформація відображається на панелі керування.

## 2.2 Розробка конструкції пристрою переміщення полиць побутової сушильної камери з поліпшеними властивостями

Запропонована конструкція призначена для забезпечення одночасного переміщення всіх полиць під час виконання технологічних процесів із використанням нагріву. Полиця має можливість поступального переміщення назад і коливального руху. Під час зворотно-поступального переміщення полиці продукти, розміщені на лотку, обертаються навколо власної осі та одночасно переміщуються.

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	Злокум.	Пілпис	Дата		

При коливальному русі лоток із продуктом переміщується під кутом  $45^\circ$ .

Механізм переміщення лотків з продуктами розміщується всередині корпусу нагрівальної камери. Ескіз пристрою, розробленого в програмному середовищі SolidWorks, наведено на рисунку 2.5.

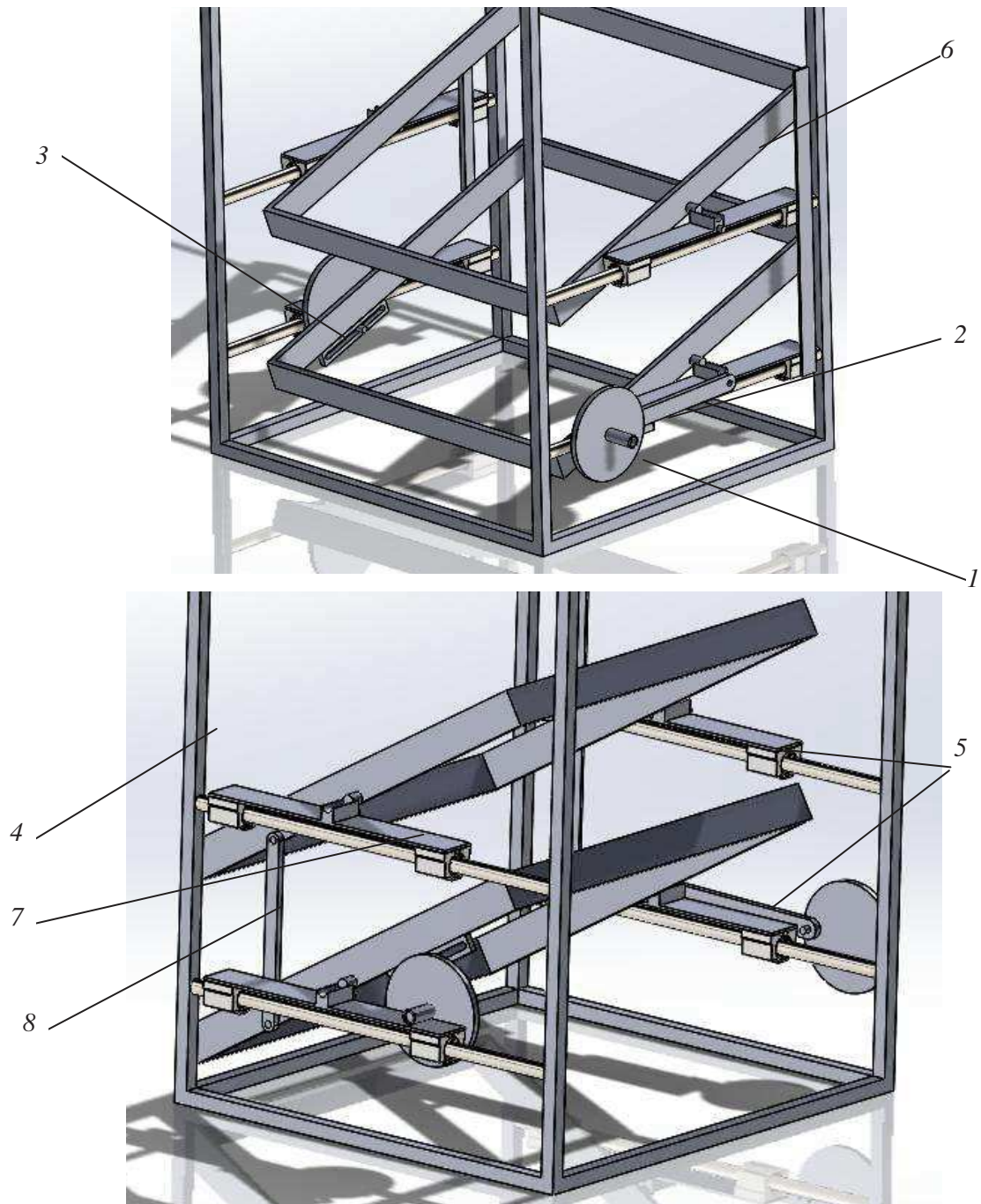


Рисунок 2.5 - Ескізне зображення пристрою для переміщення лотків

Змн.	Анк.	З локум.	Піппис	Лата

МРМА 25.00.00.000 ПЗ

Анк.

Пристрій складається з опорної конструкції для фіксації лотка, малопотужного електродвигуна 1, кривошипно-шатунного штовхача 2 та кривошипно-колісного механізму 3, який приводить у рух напрямну раму і опорну стійку обладнання.

Опорна конструкція для встановлення лотка виконана у вигляді збірної рами, що містить вертикальні полиці 4 та горизонтальні напрямні 5, призначені для розміщення полиць 6. Під час зворотно-поступального руху полиці напрямна 7 переміщується всередині опори. Бруси 8 закріплюються на опорній конструкції та об'єднують лотки в єдину систему. Надалі лотки з'єднуються між собою за допомогою вертикальних рам.

Принцип дії механізму переміщення полиць у термостатичній камері полягає в наступному. Лоток із готовою продукцією розміщується на полиці 6. За сигналом від блока керування вал малопотужного електродвигуна починає обертатися та через кривошипно-шатунний механізм передає рух на рухому горизонтальну напрямну. Команда обертання надходить на вал двигуна і за допомогою відповідного передавального механізму перетворюється у зворотно-поступальний рух. У результаті продукт (яйце) всередині шкаралупи обертається навколо власної осі, що покращує рівномірність нагрівання та прискорює процес висушування. При ввімкненні другого електродвигуна і передаванні його руху на кривошипно-шатунний механізм полиця здійснює зворотно-поступальний рух під кутом  $45^\circ$  до горизонталі, що додатково підсилює тепловий вплив на продукт.

Для запобігання перекиданню полиці під час її обертання в конструкцію механізму введено кінцевий вимикач, який спрацьовує при досягненні заданого кута повороту полиці. У розділі 3 кваліфікаційної роботи наведені розрахунки переміщення полиць та геометричних параметрів ланок передавального механізму (колінчастого вала, шатунів, коромисел).

У графічній частині магістерської роботи подано модель механізму для переміщення виробів у термокамері та загальну конструкцію лотка, розроблену в програмному середовищі SolidWorks. Габаритне креслення рухомого механізму

					MPMA 25.00.00.000 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	Злокум.	Пілпис	Дата		





Основними складовими елементами цієї структурної схеми є:

- блок керування;
- реле підключення виконавчих механізмів (вентиляторів, ТЕНів, приводів переміщення полиць);
- датчик;
- панель керування.

Система контролю температурно-вологісних параметрів побутових теплових камер призначена для виконання таких завдань:

1. Контроль значень температури та вологості повітря.
2. Забезпечення зручного та інтуїтивного керування температурними і вологісними показниками.
3. Можливість вибору необхідних значень температури та вологості залежно від режиму виконання конкретного технологічного процесу.

2.4.2 Проектування та вибір елементів системи керування вологісно-температурними параметрами та механізмом переміщення полиць побутової сушильної камери

Наведено основні технічні характеристики та функціональне призначення пристроїв, що входять до складу системи керування побутовою тепловою камерою:

- точне підтримання заданої температури в діапазоні 4...99,9 °С;
- стабільне підтримання необхідного рівня вологості в межах 5...99,9 %;
- автоматичне зниження потужності нагрівальних елементів і зволожувачів після досягнення встановлених значень температури та вологості в камері;
- світлова індикація у разі відхилення параметрів мікроклімату від номінальних значень;
- автоматичне переміщення полиць через задані часові інтервали (регулю-

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	Злокум.	Пілпис	Дата		

вання в межах від 10 хвилин до 8 годин);

- буквено-цифровий дисплей, який відображає час, що залишився до чергового повороту полиці з продуктами;
- відображення на дисплеї часу, що залишився до завершення відповідного технологічного процесу з використанням нагрівання;
- можливість переміщення полиці з продуктом натисканням кнопки «Назад».

Конструктивну схему поворотного вузла полиці наведено на рисунку 2.8.

Основні технічні характеристики блока поворотного механізму:

- час одного циклу обертання — 1 година  $\pm$  0,2 с;
- контроль положення полиці залежно від сигналу кінцевого датчика;
- контроль роботи виконавчих пристроїв електродвигунів або електромагнітних реле;
- перевірка горизонтального положення полиць;
- можливість реалізації автоматичного та ручного режимів роботи;
- напруга живлення +12 В або +24 В.

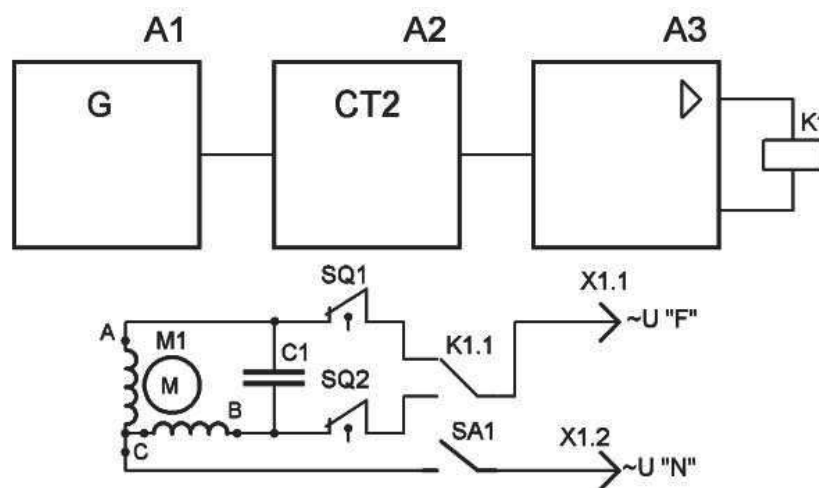


Рисунок 2.8 - Структурна схема повороту полиць сушильної камери

До складу пристрою повороту полиць (рис. 2.6) входять такі елементи: за-

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	Злокум.	Пілпис	Дата		

давальний генератор (A1), подільний лічильник (A2), реле (K1), підсилювач (A), кола контролю положення полиць, що містять кінцеві вимикачі SQ1 та SQ2, які працюють на розмикання або перемикання, а також система індикації роботи, що сигналізує про функціонування блока повороту полиць [16].

Як привід для обертання полиць термокамери застосовується малопотужний електродвигун з редуктором типу РД-09 або СД-54.

Схему розміщення кінцевих датчиків у побутовій тепловій камері типу ПХ-10І наведено в джерелі [17].

Контроль ефективності роботи нагрівального елемента та зволожувача здійснюється за повторним напівперіодом зміни напруги. З цією метою на платі керування встановлено оптрон МОС3062. Напівпровідниковий елемент, підключений до оптрона, забезпечує електричний зв'язок між нагрівальним елементом і платою керування, а світлодіоди HL1 та HL2 використовуються для світлової індикації стану нагрівального елемента.

Реле ДО1 призначене для вмикання вентилятора та організації руху повітряного потоку всередині термокамери під час нагрівання або охолодження продуктів. Контакт реле ДО1.2 може використовуватися для аварійного вимкнення ТЕНу.

У разі зниження температури або вологості нижче встановленого мінімального рівня система автоматично вмикає зволожувач або нагрівальний елемент на повну потужність незалежно від заданих параметрів температури та вологості.

Коли температура досягає верхньої допустимої межі, нагрівальний елемент вимикається, подається світловий і звуковий аварійний сигнал, а вентилятор переходить у режим провітрювання [15].

Система керування мікролімітом для побутової сушильної камери проектується з використанням програмного забезпечення «Fritzing для Arduino». Програма Fritzing призначена для розробки електронних пристроїв - від прототипів у вигляді макетних плат до завершених виробів у формі друкованих плат.

Пристрій формується із готових елементів, перелік яких доступний у біблі-

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	Злокум.	Пілпис	Дата		

отеці програми. До нього входять плати Arduino, макетні плати, різноманітні аналогові та цифрові мікросхеми, транзистори, світлодіоди, резистори, конденсатори, кнопки, джерела живлення та електродвигуни різних типорозмірів. Для розміщення компонентів на схемі їх необхідно вибрати зі списку, перетягнути лівою кнопкою миші в робочу область програми та відредагувати відповідним чином.

Стандартне подання програми Blink у середовищі Fritzing для Arduino наведено на рисунку 2.9.

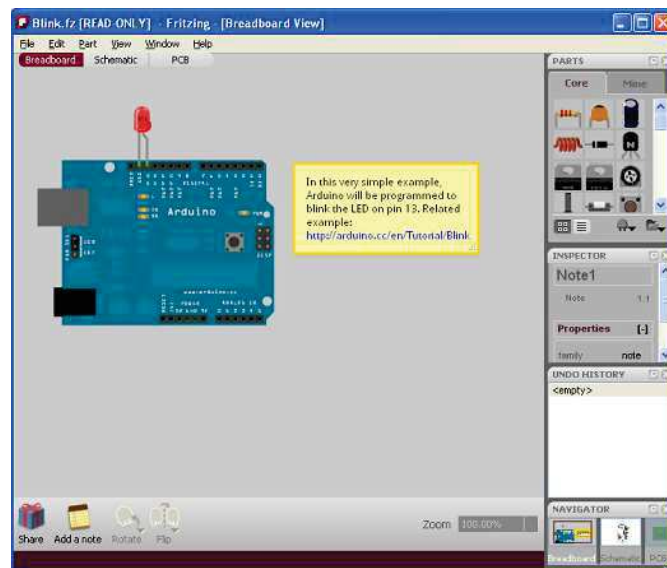


Рисунок 2.9 – Стандартний вигляд програми «Fritzing»

Центральним елементом системи є плата Arduino Mega Atmega8A (рис. 2.10). Дана плата побудована на базі мікроконтролера ATmega2560 або, як було запропоновано раніше, мікроконтролера SC1602ault-XH-HS-G. Вона являє собою завершену версію плати серії Arduino Mega Atmega8A та є повністю сумісною з усіма платами розширення, розробленими для платформ Uno або Duemilanove.

Запропонований контролер призначений для програмування автономних мікропроцесорних систем, а також може використовуватися як інтерфейс для взаємодії з програмним забезпеченням персональних комп'ютерів. Для коректної роботи контролер необхідно під'єднати до зовнішнього джерела живлення або акумуляторної батареї.

					MPMA 25.00.00.000 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	Злокум.	Пілпис	Дата		



ся для приймання та передавання даних. Контакти 0 і 1 з'єднані з відповідними виводами мікросхеми послідовного інтерфейсу ATmega8U2.

Нормальна робота контролера забезпечується за напруги живлення 5 В. Якщо напруга зовнішнього джерела менша за 7 В, значення 5 В на виході може знижуватися, що спричиняє нестабільну роботу пристрою. Подавання напруги понад 12 В може призвести до перегріву стабілізатора та пошкодження контролера. Рекомендований діапазон напруги живлення становить 7–12 В. Зовнішнє живлення може подаватися через відповідний роз'єм на платі керування.

Підключення живлення здійснюється таким чином: VIN - вхід для подавання напруги від зовнішнього джерела; 5 В - стабілізоване джерело напруги для живлення мікроконтролера та інших компонентів плати; 3,3 В — вихідна напруга 3,3 В, що формується вбудованим стабілізатором, із максимальним струмом навантаження 50 мА; GND - контакт заземлення.

Основні характеристики мікроконтролера ATmega: робоча напруга 5 В; рекомендована вхідна напруга 7–12 В; допустима вхідна напруга 6–20 В; кількість аналогових входів - 16; максимальний постійний струм через один вхід/вихід 40 мА; струм на виході 3,3 В до 50 мА; обсяг оперативної пам'яті - 8 Кбайт; тактова частота 16 МГц.

Усі необхідні датчики та модулі, показані на конструктивній схемі термокамери, підключаються безпосередньо до плати керування Arduino Mega. Увімкнення та вимкнення системи підтримання мікроклімату в термокамері визначається такими параметрами, як температура та вологість повітря всередині камери.

До складу системи входить датчик вологості (рис. 2.11). Датчик вологості (гігрометр) для Arduino побудований на мікросхемі LM393, має окремий чутливий елемент і вузол налаштування чутливості [18]. Між двома електродами датчика формується невелика різниця потенціалів. За умов сухого повітря електричний опір зростає, а сила струму зменшується. У разі підвищення вологості повітря опір знижується, що призводить до збільшення струму.

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	Злокум.	Піппис	Дата		

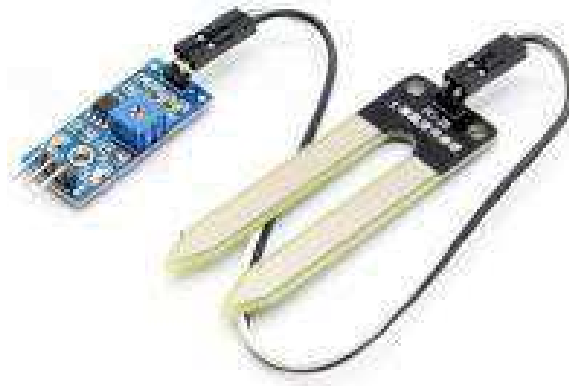


Рисунок 2.11 – Датчик вологості

Рівень вологості визначається за значенням вихідного аналогового сигналу. Датчики вологості можуть формувати на виході логічні рівні 1 або 0 залежно від того, чи досягнуто заданого рівня вологості навколишнього середовища. Принцип роботи гігрометра Arduino полягає в наступному: спочатку за допомогою підлаштувального резистора встановлюється необхідне порогове значення вологості. При цьому датчик формує сигнал низького рівня, коли вологість перевищує встановлену межу, і сигнал високого рівня, коли значення вологості нижче заданого порогу.

Датчик вологості (гігрометр) Arduino використовується для контролю вологості повітря всередині термокамери під час інкубації яєць, а також для оцінювання залишкової вологості в процесі сушіння овочів і фруктів.

Основні характеристики датчика вологості: виконаний на базі мікросхеми LM393; наявність цифрового та аналогового виходів; напруга живлення - 3,3–5 В; споживаний струм - близько 35 мА; габаритні розміри модуля - 38,1 × 15,6 × 8,0 мм; габарити чутливого елемента - 63,8 × 20,0 × 8,0 мм; довжина з'єднувального кабелю - 0,2 м; маса комплекту - 11 г.

Для вимірювання температури води застосовується датчик LM335Z. Це аналоговий термодатчик (термостабілізатор), конструкція якого наведена на рисунку 2.12.

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	З'яв. локум.	Пілпис	Дата		

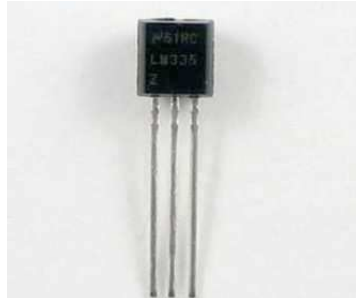


Рисунок 2.12 – Аналоговий термодатчик типу LM335Z

Датчик LM335 є термочутливим елементом, що забезпечує вимірювання температури в діапазоні від  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$  з точністю до  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . За принципом роботи LM335 функціонує як стабілітрон, напруга стабілізації якого безпосередньо залежить від температури. При зростанні температури на  $1\text{ K}$  напруга на виході датчика збільшується на  $10\text{ мВ}$ . Для зчитування температури використовуються дві лінії підключення, тоді як третій вивід призначений для калібрування датчика. Основні характеристики застосованого температурного датчика такі: діапазон вимірювання - від  $-40$  до  $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; похибка вимірювання - близько  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; температурний коефіцієнт -  $10\text{ мВ}/^{\circ}\text{C}$ .

Для підключення датчика до плати керування необхідно використовувати резистор номіналом  $2,2\text{ кОм}$ . Регулювання струму, що проходить через датчик у межах від  $0,45\text{ мА}$  до  $5\text{ мА}$  (резистор R1), забезпечує формування відповідної напруги на його виводах. Значення цієї напруги пропорційне абсолютній температурі, вираженій у градусах Кельвіна, та представлене в десятках мілівольт.

Схема підключення датчика наведена на рисунку 2.13.

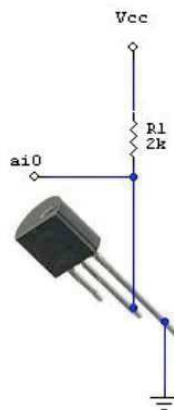


Рисунок 2.13 – Схема підключення термодатчика

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	З'якум.	Піппис	Лата		

Вибір реле для керування силовими споживачами (вентиляторами, нагрівальними елементами, електродвигунами механізмів переміщення полиць термокамери) здійснюється з урахуванням умов роботи системи. Керування зазначеними технологічними процесами відбувається у випадку, коли значення параметрів, отримані від датчиків, відповідають заданим умовам. Обране реле живиться від лінії напругою 5 В та забезпечує комутацію навантаження до 10 А при напрузі 30 В постійного струму і до 10 А при напрузі 250 В змінного струму.

Реле має дві електрично ізольовані частини (рисунки 2.14): коло керування, представлене контактами A1 і A2, та комутаційне коло, утворене контактами 1, 2 і 3. Зазначені кола між собою не з'єднані. Між контактами A1 і A2 розташований металевий осердок, при протіканні струму через який рухомий якір притягується до нього. Контакти 1 і 3 є нерухомими.

Слід зазначити, що якір перебуває під дією пружини та в початковому стані притиснутий до контакту 3 до моменту подачі струму на осердок. Після подавання струму осердок намагнічується і притягує якір до контакту 1. При знятті напруги з обмотки пружина повертає якір у вихідне положення, і контакт знову замикається з контактом 3.

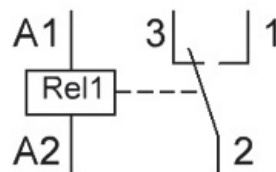


Рисунок 2.14 – Електрична схема реле керування технологічними процесами побутової сушильної камери

Модуль має три вихідні контакти (крок 2,54 мм): VCC - «плюс» це живлення; GND - «мінус» живлення; IN - вхід керувального сигналу. Підключення модуля здійснюється так: VCC під'єднується до +5 В плати Arduino, GND - до одного з контактів GND Arduino, а IN - до одного із цифрових входів/виходів Arduino. Вентилятор підключається до електроживлення через релейний модуль.

					MPMA 25.00.00.000 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	Злокум.	Піппис	Дата		

Підбір електродвигунів для сервопривода. Для регулювання температурного режиму повітря в нагрівальній камері передбачено три варіанти роботи: пасивна вентиляція, активна вентиляція, а також примусова циркуляція повітря під час сушіння продукції.

Пасивна вентиляція полягає у відкриванні вентиляційних каналів, тоді як активна передбачає керування роботою вентилятора під час сушіння матеріалів, підтримання необхідних значень температури та вологості при інкубації яєць, а також забезпечення інтенсивної циркуляції нагрітого повітря для сушіння овочів і фруктів. Окрім цього, сервоприводи застосовуються для керування механізмом переміщення полиць у термокамері. Відкривання вентиляційного каналу реалізується за допомогою сервопривода Futaba T306 MG995 (рис. 2.15).



Рисунок 2.15 – Вид сервопривод Futaba T306 MG995

Серводвигун з приводом, що застосовується в конструкції, має такі технічні характеристики: швидкість спрацювання - 0,17 с на поворот 60° (за напруги 4,8 В без навантаження); крутний момент - 13 кг·см при напрузі 4,8 В та 15 кг·см при 6 В; робочий діапазон напруги - 4,8–7,2 В; довжина з'єднувального проводу - 300 мм; габаритні розміри - 40 × 19 × 43 мм; маса - 0,6 кг.

Окрім цього, сервоприводи використовуються для приведення в дію механізму переміщення полиць усередині побутової теплової камери. Для реалізації зворотно-поступального руху полиць застосовується сервопривод із редуктором моделі JK60HS88-2804PG3.6, зовнішній вигляд якого показано на рисунку 2.16.

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	З'яв.	Піппис	Лата		



Рисунок 2.16 – Зовнішній вигляд сервопривода із редуктором  
модель JK60HS88-2804PG3.6

Планетарні крокові двигуни-редуктори застосовуються в приводах, де необхідно забезпечити значний крутний момент на валу за відносно малих швидкостей обертання. У редукторі використовується планетарна передача з прямозубими колесами, що характеризується мінімальним люфтом. Наявність редуктора також дозволяє уникнути роботи крокового двигуна в зоні низькочастотних резонансів, що забезпечує більш рівномірну та стабільну роботу електроприводу.

Застосовуваний сервопривод має такі технічні характеристики: вихідна потужність 15 Вт; утримувальний момент 3,6 Н·м; струм фази 2,8 А; опір фази 1,5 Ом; індуктивність фази 6,8 мГн; кількість виводів 4; передавальне відношення редуктора 3,6; маса 1,8 кг.

Для переміщення полиці під кутом  $45^\circ$  використовується сервопривод напругою 24 В типу CL-75A-3 (артикул № 60-43-2046), зовнішній вигляд якого наведено на рисунку 2.16.

Основні характеристики застосованих сервоприводів: потужність 200 Вт; швидкість роботи 2 с на поворот  $90^\circ$  (за напруги 24 В без навантаження); крутний момент 55 кг·см при 24 В та 35 кг·см при 12 В; робоча напруга 24 В; довжина з'єднувального проводу 300 мм; габаритні розміри 120 × 48 мм; маса 0,5 кг.

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	З'яв. лок. ум.	Підпис	Дата		





наведена в [15].

Датчик вологості Sensirion SHT обрано завдяки його високій точності вимірювань та наявності цифрового інтерфейсу передачі даних.

Для повороту полиць використовується механізм, керування яким здійснюється за допомогою електромагнітного реле з двома групами перемикаючих контактів. Механізм обертання реалізований на базі мікроконтролера AT89C2051.

#### 2.4 Розробка електричної схеми керування побутової сушильної камери з поліпшеними властивостями

Електрична схема призначена для автоматизованого керування тепловою камерою сушіння харчових продуктів із забезпеченням заданих температурних режимів та реалізацією механізму перевертання лотків у процесі сушіння. Система керування побудована на базі мікроконтролера та забезпечує комплексне керування нагрівальними, вентиляційними та виконавчими механізмами камери. Загальна схема керування побутової сушильної камери з поліпшеними властивостями показана на рисунку 2.20 та у графічній частині кваліфікаційної роботи [МАМА 25.00.00.000 ЕЗ].

Опишемо призначення всіх компонентів електричної схеми, їх функціональні можливості та приведемо узагальнену таблицю 2.1 позначень на кресленні електричної схеми.

Джерело живлення забезпечує перетворення напруги електричної мережі змінного струму 220 В у стабілізовану постійну напругу, необхідну для живлення мікроконтролера, датчиків температури та елементів керування. Містить випрямляч, фільтрувальні конденсатори та стабілізатори напруги.

Мікроконтролер (блок керування). Є центральним елементом системи керування. Виконує наступні функції: зчитування сигналів із температурних датчиків; обробку інформації згідно з заданим алгоритмом; формування керуючих

					MPMA 25.00.00.000 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	Злокум.	Пілпис	Дата		

сигналів для нагрівальних елементів, вентилятора та двигунів перевертання лотків; координацію роботи всіх вузлів камери сушіння.

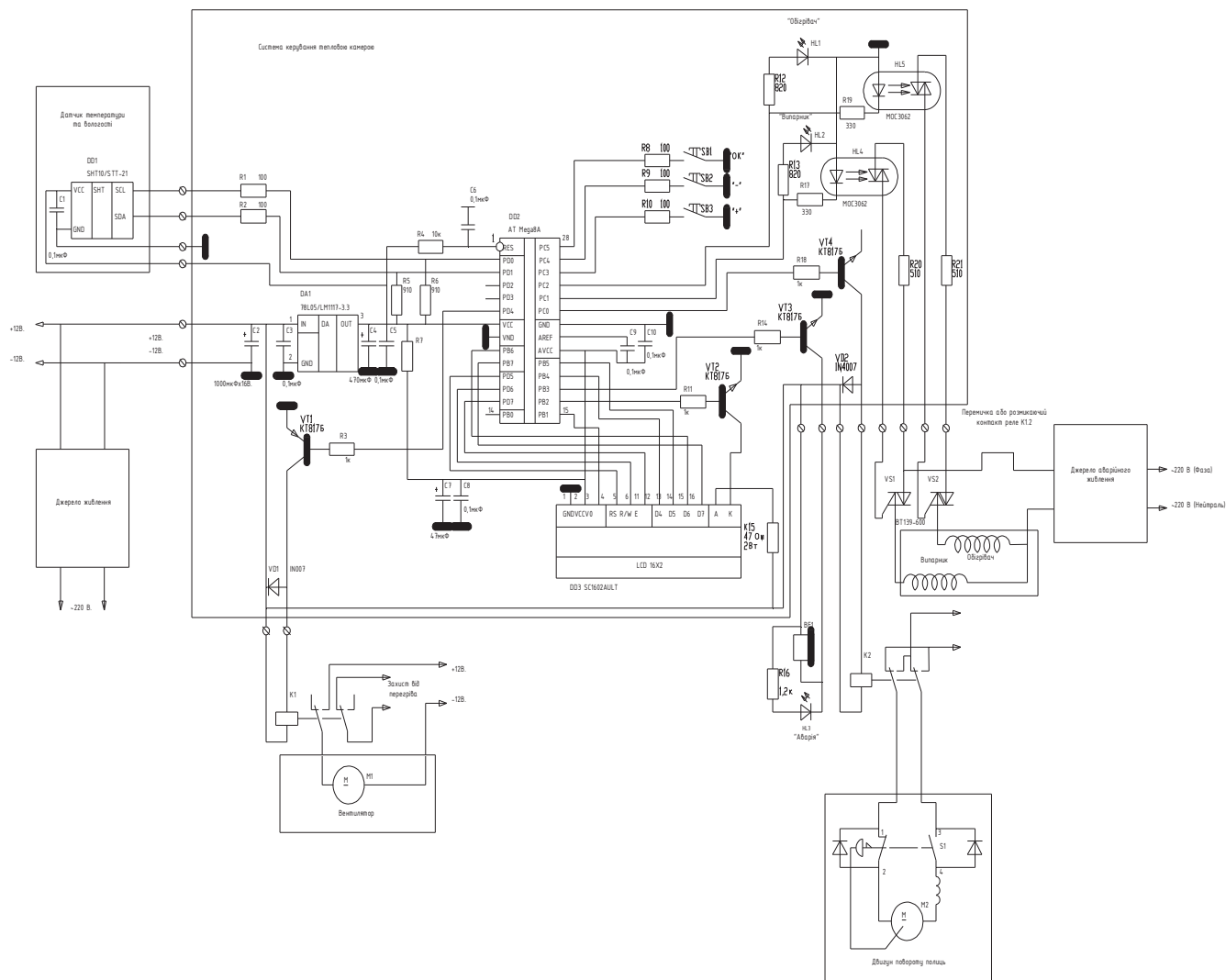


Рисунок 2.20 - Загальна схема керування побутової сушильної камери з поліпшеними властивостями

Датчики температури здійснюють безперервний контроль температури повітря всередині теплової камери.

Сигнали з датчиків надходять на входи мікроконтролера, де відбувається їх обробка та порівняння з заданими у програмі керування температурними уставками. На основі отриманих даних мікроконтролер формує керуючі сигнали для вмикання або вимикання нагрівальних елементів та вентилятора примусової циркуля-

ції повітря. Формують електричний сигнал, пропорційний температурі, який надходить на вхід мікроконтролера для підтримання заданого температурного режиму сушіння.

Нагрівальний елемент служить для підвищення температури повітря в камері до необхідного рівня. Вмикається та вимикається мікроконтролером через силові керуючі елементи залежно від поточного значення температури.

Вентилятор циркуляції повітря забезпечує примусову циркуляцію повітря в робочому об'ємі теплової камери, що сприяє рівномірному розподілу температури та підвищує ефективність процесу сушіння продуктів.

Механізм перевертання лотків реалізовано за допомогою двох електродвигунів, які забезпечують керований поворот або зміну положення лотків у задані проміжки часу. Керування електродвигунами здійснюється через силові транзисторні каскади або релейні елементи, що дозволяє комутувати навантаження підвищеної потужності. Для захисту керуючих елементів від перенапруг, що виникають при комутації індуктивного навантаження, у схемі передбачені захисні діоди.

Алгоритм роботи передбачає періодичне перевертання лотків відповідно до заданого часового інтервалу, що забезпечує рівномірність сушіння продуктів у камері. Мікроконтролер координує роботу електродвигунів перевертання з температурним режимом, запобігаючи їх активації у критичних умовах або при відхиленні температури від допустимого діапазону.

Двигун перевертання лотків №1 забезпечує механічний рух частини системи лотків у заданому напрямку. Використовується для періодичного перевертання або зміни положення лотків з продуктами з метою рівномірної теплової обробки.

Двигун перевертання лотків №2 працює у парі з першим двигуном та забезпечує синхронний або протилежний рух лотків. Така конфігурація дозволяє реалізувати більш складну кінематику перевертання та підвищити рівномірність сушіння.

Силові транзистори / реле керування двигунами виконують функцію кому-

					MPMA 25.00.00.000 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	Злокум.	Пілпис	Дата		

тації електродвигунів та нагрівального елемента. Дозволяють керувати навантаженнями підвищеної потужності за допомогою низьковольтних сигналів мікроконтролера.

Захисні діоди захищають силові елементи та мікроконтролер від імпульсів зворотної напруги, які виникають під час вимикання індуктивних навантажень (електродвигунів, реле).

Резистори у схемі використовуються для: обмеження струмів у сигнальних та керуючих ланцюгах; формування логічних рівнів на входах мікроконтролера; створення ділянок напруги для узгодження сигналів датчиків.

Конденсатори застосовуються для фільтрації пульсацій напруги живлення, зменшення електричних завад та забезпечення стабільної роботи електронних компонентів схеми.

Роз'єми та клемні колодки призначені для підключення зовнішніх елементів системи: датчиків температури, електродвигунів, нагрівального елемента та живлення. Забезпечують зручність монтажу та обслуговування.

Для контролю та індикації режимів роботи система може бути оснащена індикатором або панеллю керування, що відображає поточну температуру, стан нагріву та активність механізму перевертання. Органи керування та індикації використовуються для задання режимів роботи, запуску та зупинки процесу сушіння, а також для відображення поточних параметрів роботи теплової камери

Таблиця 2.1 – Найменування компонентів електричної схеми та їх призначення

Позначення на схемі	Найменування	Позначення на схемі	Найменування
DD1	Мікроконтролер	R1–Rn	Резистори
VT1–VTn	Транзистори керування	C1–Cn	Конденсатори
VD1–VDn	Захисні (випрямні) діоди	L1	Дросель (за наявності)
DA1	Стабілізатор напруги	H1	Нагрівальний елемент

## Продовження таблиці 2.1

HL1	Світлодіод індикації	FU1	Запобіжник
M1	Електродвигун вентилятора	QF1	Автоматичний вимикач
M2	Електродвигун механізму перевертання лотків	X1–Xn	Роз'єми
K1–Kn	Реле керування	XT1–XTn	Клемні колодки
SA1	Перемикач (кнопка)	XP	Штекерне з'єднання
+5V, +12V	Лінії постійного струму	XS	Розетка
GND	Загальна шина (земля)	PWM	Широтно-імпульсний сигнал керування
L	Фазний провід	IN	Вхідний сигнал
N	Нульовий провід	OUT	Вихідний сигнал
PE	Захисне заземлення	TEMP	Сигнал з датчика температури

Усі функціональні блоки працюють у єдиному циклі керування відповідно до програмного забезпечення, реалізованого у мікроконтролері.

Приведемо окремо опис електричної схеми живлення нагрівальних елементів побутової сушильної камери.

Схема живлення нагрівальних елементів побутової термокамери складається з ряду електронних компонентів і функціонує наступним чином. Нагрівальний елемент підключається через вхідну клему, при цьому на початковому етапі через тиристор V5 струм до нагрівального елемента не проходить. Через певний проміжок часу, коли термостат охолоджується, його електричний опір збільшується, а напруга на резисторі R7 зменшується. При зниженні напруги нижче 1,2 В транзистори V8 і V9 переходять у закритий стан.

					MPMA 25.00.00.000 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	Злокум.	Піппис	Дата		

Струм, що протікає через резистори R2 і R4 на початку кожного півперіоду, забезпечує відкриття транзистора V6. Далі струм надходить на керуючий електрод тиристора V5, унаслідок чого тиристор відкривається. Робоча напруга мережі 220 В, що проходить через відкритий тиристор V5, забезпечує нагрів ламп розжарювання, які виконують функцію трубчастих електронагрівачів або ТЕНів малої потужності.

У міру підвищення температури повітря в нагрівальній камері термістор також нагрівається, його опір зменшується, а падіння напруги на R7 зростає. Це призводить до відкриття транзисторів V8 і V9 та одночасного закривання транзисторів V6 і тиристора V5. У результаті подача живлення на ТЕН припиняється, і нагрівальний елемент вимикається.

Термостат укомплектований транзисторами серій КТ315 і КТ312 з коефіцієнтом передачі струму не менше 50. Діоди з V1 по V4 розраховані на робочий струм не менше 3 А та зворотну напругу в межах 400–600 В. Тиристор КУ202 повинен витримувати максимальну робочу напругу.

Інструкція з експлуатації системи керування побутовою сушильною камерою з поліпшеними властивостями.

1. Для ввімкнення пристрою його необхідно під'єднати до мережі постійного живлення через клему «Power» та натиснути кнопку пуску. Після цього загоряється індикатор роботи пристрою, а дисплей температури та вологості відображає поточні значення відповідних параметрів, які фіксуються датчиками температури та вологості.

2. Після ввімкнення в роботу вступають усі або окремі елементи пристрою залежно від обраного режиму функціонування побутової теплової камери.

3. Початкові значення температури та вологості за замовчуванням встановлюються під час запуску системи.

За допомогою кнопки вибору режиму можна змінювати технологічний процес, який реалізується в термокамері. Коригування параметрів температури та вологості здійснюється кнопками «+» та «-» на панелі керування.

					MPMA 25.00.00.000 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	Злокум.	Пілпис	Дата		

У разі зміни режиму роботи загоряється відповідний світлодіод, а значення температури й вологості автоматично змінюються відповідно до вибраного режиму функціонування.

Таким чином, запропонована електрична схема забезпечує автоматизоване керування процесом сушіння, стабільність температурних режимів та рівномірність обробки продуктів за рахунок застосування механізму перевертання лотків, що підвищує ефективність і якість роботи сушильної камери.

#### Висновки до розділу 2

У другому розділі на підставі проведеного інформаційного огляду технічних пристроїв, що працюють з використанням теплового нагріву, було розроблено конструкцію побутової сушильної камери, зокрема її корпус у якому передбачено систему рекуперації використаного тепла з метою поліпшення ефективності процесу сушки та енергозбереження. У програмному середовищі SolidWorks спроектовано механізм переміщення полиць сушильної камери. Також розроблено електричну схему підключення нагрівальних елементів побутової сушильної камери та систему керування вологісно-температурними параметрами і механізмом переміщення полиць залежно від вибраного технологічного режиму роботи.

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	З'яв. локум.	Піппис	Лата		

### 3 РОЗРАХУНКИ, ЯКІ ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ПОБУТОВОЇ СУШИЛЬНОЇ КАМЕРИ З ПОЛІПШЕНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

#### 3.1 Тепловий баланс побутової сушильної камери

Сумарна витрата тепла в побутовій сушильній камері визначається таким чином [1]:

$$Q_0 = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 \quad (3.1)$$

де  $Q_1$  - тепловитрати на нагрівання продуктів;

$Q_2$  - тепловитрати на нагрівання вологи, що видаляється із продуктів;

$Q_3$  - тепловитрати на випаровування вологи із продуктів;

$Q_4$  - тепловитрати нагрітими поверхнями шафи у навколишнє середовище;

$Q_5$  - тепловитрати із видаленого повітря із шафи.

Теплові витрати на нагрівання продуктів визначаються за формулою:

$$Q_1 = P \cdot C_{\bar{o}} (t_{н.б} - t_{н.с}), \quad (3.2)$$

де  $C_{\bar{o}}$  - теплоємність продуктів в сухому стані,  $C_{\bar{o}} = 1,7$  кДжС./кг.

$t_{н.б}$  - кінцева температура продуктів,  $t_{н.б} = 50$  С.

$t_{н.с}$  - температура зовнішнього середовища,  $t_{н.с} = 25$  С.

$$Q_1 = 5 \cdot 1,7(50 - 25) = 212,5 \text{ кДж/кг.}$$

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	Злокум.	Піппис	Лата		

Теплові витрати на нагрівання вологи, що виділятиметься з продуктів, визначаються за формулою:

$$Q_1 = W \cdot C_v (t_{н.в} - t_k), \quad (3.3)$$

де  $C_v$  - теплоємність вологи (води),  $C_v = 4,186$  кДж/кг;

$t_{н.в}$  - кінцева температура вологи, відповідає температурі продукту та позначається перед входом у повітропровід.

$$l_t = \frac{L}{W} = \frac{1000}{d_2 - d_{cm}}. \quad (3.4)$$

Значення  $d_2$  та  $d_{cm}$  визначаємо за  $I - d$  діаграмою вологого повітря [1].

Тоді за формулою  $l_t$  одержимо:

$$l_t = \frac{1000}{26 - 20} = 166,6 \text{ кг повітря/кг вологи.}$$

$$\frac{\Delta}{l_{cm}} = \frac{212,5}{416} = 0,5.$$

Дійсний процес сушки за  $I - d$  діаграмою у джерелі [1]. Від будь-якої точки на лінії В-С відкладають вертикальний відрізок:

$$cE = ef \frac{\Delta}{m}, \quad (3.5)$$

де  $m = 1000 \frac{m_1}{md}$  та проводиться з точки В<sub>1</sub> - відрізок дійсного значення процесу

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	Злокум.	Піппис	Лата		

$B_1C_1$  відкладають до визначеного значення  $t_2$ .

Величина відрізка  $cE = ef \frac{\Delta}{m}$ , де  $m = 1000 \frac{m_3}{m_d}$ .

Підставивши  $m_3 = 0,89$   $m_d = 0,44$ .  $ef = 27$  мм і знаходиться  $cE$ .

$$cE = 27 \frac{83,3}{200} = 1,12 \text{ мм.}$$

Процес повної сушки визначається відповідною лінією.  $AMB_1C_1M$ .

У реальному процесі сушіння з рециркуляцією допускається зменшення витрат тепла. З рівняння трикутників  $ABC$  та  $MB_1C_1$ . бачимо, що  $\frac{AB}{DC} > \frac{MB_1}{DC_1}$ , а це означає, що витрати тепла без рециркуляції є більшими.

Витрати повітря, що виходить у зовнішнє середовище, визначаються за формулою::

$$l_{c.s} = \frac{1000}{d_2 - d_0}. \quad (3.6)$$

$$l_{c.s} = \frac{1000}{25,5 - 14} = 86,2 \text{ кг повітря/кг.}$$

Витрати вологи та загальні витрати повітря, що циркулює в побутовій тепловій камері, визначаються за формулою:

$$l_{cm} = \frac{1000}{d_2 - d_{cm}}. \quad (3.7)$$

$$l_{cm} = \frac{1000}{25,6 - 20} = 178,5 \text{ кг повітря/кг вологи.}$$

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	Злокум.	Пілпис	Лата		

Загальний об'єм повітря, який витрачається на сушіння продуктів у побутовій тепловій камері.

$$L = l_{cm} \cdot W \quad (3.8)$$

$$L = 178,5 \cdot 0,5 = 246,7 \text{ кг повітря/г.}$$

Перевірку отриманого результату виконують за формулою::

$$L = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3}{C_{c.n} + \frac{C_n - d_{cm}}{1000}(t_2 - t_y)} \quad (3.9)$$

де  $C_{c.n}$  - теплоємність повітря сухого,  $C_{c.n} = 1 \text{ кДж/кг}$ ;

$C_n$  - теплоємність водяної пари,  $C_n = 1,96 \text{ кДж/кг}$ ;

$t_2$  - температура повітря, яке надходить у сушильну камеру,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_y$  - температура повітря, яке виходиться сушильної камери,  $^{\circ}\text{C}$ .

$$L = \frac{215,5 + 261,5 + 5949}{1 + \frac{1,96 - 20}{1000}(65 - 50)} = 212 \text{ кг повітря/г.}$$

Підставивши в формулу значення  $d_y$  та  $d_n$  знаходимо:

$$Q_5 = 2,5(240 + 0,47 \cdot 20) \frac{50 - 40}{25,6 - 20} = 4555,2 \text{ кДж/г.}$$

Сумарна витрата тепла для побутової сушильної камери буде:

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	З'яв. локум.	Піппис	Лата		

$$Q_c = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + A, \quad (3.10)$$

де  $A$  - Витрати тепла, які не були враховані в розрахунках, приймаються приблизно на рівні  $A = 5$  відсотків від  $Q_c$ .

$$Q_c = 212,5 + 261,6 + 5949 + 549 = 11527 \text{ кДж/г.}$$

Величину сумарних витрат тепла в процесі сушіння перевіряємо за формулою:

$$Q_c = L_0(I_2 - I_3), \quad (3.11)$$

де  $I_2$  - теплоутримання гарячого повітря, нагрітого до заданої температури  $t_2 = 65$  С.

$I_3$  - теплоутримання зовнішнього повітря, яке надходить у сушку,  $t_3 = 40$  С.

Підставивши значення у формулу 3.11 визначимо сумарні витрати:

$$Q_c = 446,2(118 - 92) = 11601,2 \text{ кДж/г.}$$

### 3.2 Розрахунок робочого об'єму побутової сушильної камери

Габаритні розміри побутової сушильної камери визначаються інтенсивністю теплообмінних процесів, які відбуваються всередині неї.

Сумарна кількість тепла, що споживається за одну секунду під час сушіння, встановлюється відповідно до рівняння 3.12.

Із загальної кількості теплоти (витрат тепла на нагрів транспортного об-

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	Злокум.	Піппис	Лата		

ладнання, стелажів, лотків та навколишнього середовища) віднімається кількість теплоти, яка за одну секунду передається сухому матеріалу в робочому об'ємі камери нагріву.

$$Q = Q_0 - W(q_{mp} + q_n) \quad (3.12)$$

Під час сушіння формованих виробів або в інших випадках, коли встановлений зв'язок між площею теплообмінної поверхні та масою матеріалу, коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha$  і площу теплообміну визначають за формулою:

$$S_T = \frac{Q}{\alpha \cdot \Delta t_{cp}} \quad (3.13)$$

де  $\Delta t_{cp}$  - середній температурний тиск,  $^{\circ}\text{C}$ .

Робочий об'єм теплообмінника обирають з урахуванням розміщення в ньому виробу або матеріалу з розрахунковою площею теплообміну.

В інших випадках для безпосереднього визначення робочого об'єму теплової камери застосовують об'ємний коефіцієнт теплопередачі  $\alpha_v$  або об'ємний коефіцієнт тепломасопередачі  $K_v$ .

Для обчислення роботи осушувача  $V_p$  використовують рівняння теплопередачі від осушувача до продукту або матеріалу.

$$V_p = \frac{Q}{\alpha \cdot \Delta t_{cp}} \quad (3.14)$$

Інтенсивність теплообміну в термокамері характеризується питомою продуктивністю виконаної роботи відносно залишкової вологи у виробі або матеріалі та визначається таким співвідношенням:

					MPMA 25.00.00.000 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	З'яв.	Піппис	Лата		

$$A_v = \frac{W}{V_p} \quad (3.15)$$

Об'ємний коефіцієнт тепломасообміну  $K_v$  визначають за показниками продуктивності установок, що працюють з обігрівом [1]. Значною мірою він залежить від гігроскопічних властивостей і кінцевого вмісту вологи продукту або матеріалу, який підлягає сушінню.

Середній температурний напір обчислюється за такою формулою:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_m}{\lg \left( \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_m} \right)} \quad (3.16)$$

$$\Delta t_{\delta} = t_1 - \Theta_m \quad \Delta t_m = t_2 - \Theta_m \quad (3.17)$$

де  $t_1, t_2$  - температура сушильного агента відповідно на вході та виході із сушарки.  $t_1 = 65 \text{ } ^\circ\text{C}$ ,  $t_2 = 50 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

У більшості випадків, температуру матеріалу  $\Theta_m$  можна приймати рівною температурі за вологим термометром  $t_m$ . Це визначається за діаграмою І-Х на основі параметрів осушувача на вході та виході з нього [1].

$$\Delta t_{cp} = \frac{63 - 51}{\lg \left( \frac{63}{51} \right)} = 15 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

За розрахунками, наведеними в підрозділі 3.1, приймаємо загальні витрати тепла  $Q$ .

З джерела [1] обираємо коефіцієнт тепловіддачі, підставляємо його у формулу 3.15 та визначаємо робочий об'єм побутової теплової камери.

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	Злокум.	Пілпис	Лата		

$$V_p = \frac{11601,2}{8 \cdot 15} = 0,96 \text{ м}^3.$$

### 3.3 Розрахунок теплових елементів побутової сушильної камери

Потужність трубчастого електронагрівача повинна незначно перевищувати величину максимально можливих теплових втрат за умов низької температури навколишнього середовища поза нагрівальною камерою. У разі значного нагрівання зовнішніх поверхонь камери виникає небезпека перегріву (коли камера використовується як інкубатор) та надмірного пересушування продукту (у випадку застосування камери для сушіння).

Потужність трубчастих електронагрівачів (ТЕНів) визначаємо за формулою:

$$P = W \cdot F \quad (3.18)$$

де  $W$  - питома поверхова потужність нагрівального елемента, Вт/см<sup>2</sup>

$F$  - поверхня для теплопередачі (активна поверхня нагрівача камери), м<sup>2</sup>.

З урахуванням розрахункової потужності нагріву ( $P_{роз.г} = 9600,2$ ) кДж/г або ( $P_{роз.г} = 1222$ ) Дж/с можна визначити встановлену потужність нагрівального елемента.

$$P_{уст} = K \cdot P_{роз.г}, \quad (3.19)$$

де  $K$  - коефіцієнт запасу, що враховує необхідність підвищення потужності внаслідок тривалої експлуатації ТЕНу, можливе зниження напруги живлення та зростання витрат у процесі роботи,  $K = 1,1 \dots 1,3$ . Приймаємо  $K = 1,11$ .

$$P_{уст} = 1,11 \cdot 1222 = 1356 \text{ Вт.}$$

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	Злокум.	Пілпис	Дата		

Приймаємо потужність нагрівального елемента

$$P_{уст} = 1500 \text{ Вт.}$$

За визначеним значенням потужності обчислюємо площу поверхні теплопередачі, тобто площу поверхні нагрівального елемента (ТЕНу).

$$F_{акт} = \frac{P_{уст}}{10W_{доод}}, \quad (3.20)$$

де  $W_{доод}$  - максимальне величина навантаження,  $W_{доод} = 1,5$ .

$$F_{акт} = \frac{1,4}{10 \cdot 1,5} = 0,1 \text{ м}^2.$$

Визначаємо необхідну кількість нагрівальних елементів за формулою:

$$n = \frac{F_{акт}}{F_{1акт}} \quad (3.21)$$

де  $F_{1акт} = \pi d_n \cdot l_n \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ ;  $d_n$  - діаметр трубки нагрівального елемента (трубки), мм;  $l$  - розгорнута довжина нагрівального елемента, м.

$$n = \frac{F_{акт}}{\pi \cdot d \cdot l_{акт} \cdot 10^{-3}}. \quad (3.22)$$

Окрім цього, визначена кількість нагрівальних елементів має відповідати співвідношенню:

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	Злокум.	Піппис	Лата		

$$n = \frac{P_{уст}}{P_1}, \quad (3.23)$$

де  $P_1$  - потужність одного використаного нагрівального елемента.

На основі цих двох параметрів за довідниковими каталогами здійснюємо вибір типу нагрівального елемента.

Нагрівальний елемент ТЕН - 85/0,4 S220 має такі характеристики:  $P_1 = 1,4$  кВт;  $d_n = 13$  мм;  $l = 0,85$  м.

$$n = \frac{1,5}{1,4} = 1,07 \text{ штук.}$$

За умовою критичного навантаження кількість нагрівальних елементів повинна бути не меншою ніж  $n$ .

$$n = \frac{0,1}{3,14 \cdot 13 \cdot 0,85 \cdot 10^{-3}} = 2,8 \text{ штуки.}$$

Оскільки за заданого навантаження всі умови остаточно виконуються, для побутової теплової камери приймаємо трубчасті електронагрівачі ТЕН-85 А13/0,4 S220 за ГОСТ 132Е8-88 у кількості три штуки.

### 3.4 Розрахунок вентиляційної системи сушильної камери

Під час сушіння продуктів у термостатичних камерах, з метою підвищення ефективності процесу сушіння, а також при застосуванні термостатичних камер для культивування, необхідно забезпечувати примусове спрямування повітряного потоку.

Подача підігрітого повітря до продукту та безперервне провітрювання об'єму камери, в якій розміщені яйця. Нормальний склад повітря в камері забезпечується кратністю повітрообміну від 4 до 9 разів на годину.

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	Злокум.	Пілпис	Дата		

Для охолодження може виникати потреба у примусовому повітрообміні в камері нагріву з метою відведення надлишкової кількості тепла.

Швидкість руху повітря в нагрівальній камері повинна становити 2 м/с або більше. Напрямок повітряного потоку може бути різним. В обох випадках примусова вентиляція повинна забезпечувати ефективне перемішування повітря.

Недостатня циркуляція повітря в нагрівальній камері призводить до утворення температурних зон.

Для забезпечення підтримання рекомендованої швидкості повітрообміну в термокамері доцільно застосовувати змішаний тип вентиляції.

Повітря в нагрівальній камері переміщується як природним, так і механічним способом у напрямку припливного та витяжного повітря.

Для розрахунку параметрів вентиляційної системи термокамери задаємо такі вихідні дані: швидкість руху повітря в режимі природної вентиляції – 0,4 м/с; швидкість руху повітря в режимі примусової вентиляції – 2 м/с; рекомендована кратність повітрообміну в термокамері не менше 4 разів.

Необхідно визначити об'єм вентиляційного повітря для запропонованого типу вентилятора з діаметром отвору дифузора 50 мм.

Розрахунок обраховується за формулою.

$$V = A_x \cdot B_x \cdot 3600 \quad (3.24)$$

де  $A_x$  - площа отворів вентиляційних у камері нагрівання, м<sup>2</sup>;

$B_x$  - швидкість руху повітря у сушильній камері, м/с.

Загальна площа вентиляційних прорізів у корпусі теплової камери дорівнює,  $A_x = 0,00047 \text{ м}^2$ .

Підставляючи відповідні значення у формулу (3.24), визначаємо вентиляційний об'єм повітря.

Для режиму природної вентиляції отримуємо такі параметри  $V_{0,4} = 0,00047 \cdot$

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	Злокум.	Піппис	Лата		

$$0,4 \cdot 3600 = 0,68\text{м}^3.$$

Для режиму примусової вентиляції отримуємо такі параметри  $V_2 = 0,00047 \cdot 2 \cdot 3600 = 3,4\text{м}^3$ .

Поділивши значення вентиляційного об'єму повітря ( $V$ ) на об'єм теплової камери ( $V_k$ ), отримуємо кратність повітрообміну:

$$N = \frac{V}{V_k}, \quad (3.25)$$

де  $V$  - вентиляційний об'єм камери,  $\text{м}^3/\text{год}$ ;

$V_k$  - загальний об'єм побутової сушильної камери,  $\text{м}^3$ .

Для режиму природної вентиляції маємо  $N = 0,68/0,96 = 0,78$  год.

Для режиму примусової вентиляції отримуємо  $N = 3,4/0,96 = 3,5$  год.

За наведеною формулою визначаємо продуктивність вентиляційного пристрою побутової сушильної камери:

$$L = V_k \cdot N. \quad (3.26)$$

$$L = 0,96 \cdot 4 = 3,84\text{м}^3/\text{год}.$$

Відповідно до розрахованої продуктивності за формулою (3.26) з наявних інформаційних джерел обираємо осьовий вентилятор типу Bahcivan BK 200 [16].

Проаналізувавши результати виконаних розрахунків, робимо висновок, що запропонована вентиляційна система забезпечує підтримання необхідного рівня вентиляції побутової теплової камери та ефективно відведення відпрацьованого повітря з її повітряного об'єму.

### 3.5 Розрахунок конструктивних елементів механізму переміщення полиць побутової теплової камери

Розрахунок розмірів кривошипа та повзуна кривошипно-повзунного меха-

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	Злокум.	Пілпис	Лата		

нізму переміщення полиць виконуємо геометричним методом. Синтез механізму передбачає визначення невідомих лінійних параметрів кривошипа 1, шатуна 2 та ходу штока 3 (рисунок 3.1).

Хід повзуна 3 механізму переміщення (S) залежно від кута повороту кривошипа 1 визначається за формулою (3.27) [18].

$$S = R \left[ (1 - \cos \varphi) + \frac{\lambda}{4} (1 - \cos 2\varphi) \right], \quad (3.27)$$

де  $\varphi$  - кут повороту кривошипа механізму;  $\lambda$  - Співвідношення, яке встановлює залежність між величиною кривошипа та значенням повзуна,  $\lambda = 0,22 \dots 0,26$ ;  $R$  - радіус кривошипа.

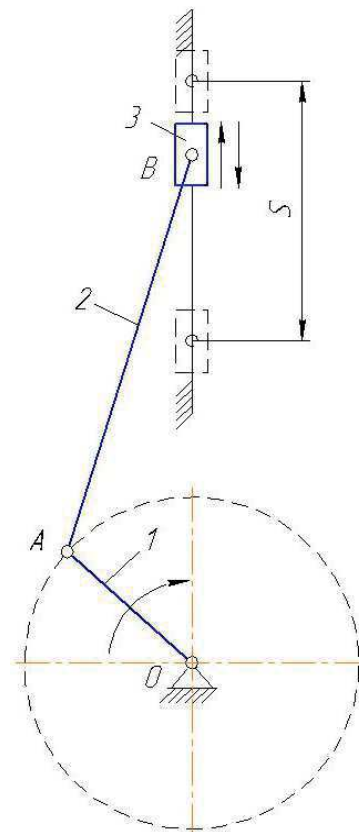


Рисунок 3.1 – Кінематична схема механізму переміщення полиць побутової сушильної камери

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	З'яв.	Піппис	Лата		

Під час зворотно-поступального руху полиць продукти, розміщені в лотках (банани, полуниця, мандарини тощо), повинні періодично повертатися на  $180^\circ$  навколо власної осі. Тому умовно приймаємо переміщення повзуна ( $S_x$ ) за умови, що при обертанні кривошипа на  $180^\circ$  виріб рухається по траєкторії, яка описується рівнянням:

$$L = 2\pi \cdot r, \quad (3.28)$$

де  $r$  - опосередкований радіус продукту сушіння  $r = 20 \dots 24$  мм.

$$L = 2 \cdot 3,14 \cdot 24 = 150,7 \text{ мм.}$$

Визначаємо радіус кривошипа 1 за наведеною формулою:

$$R = \frac{S}{2}, \quad S = L. \quad (3.29)$$

$$R = \frac{150,7}{2} = 75,35 \text{ мм.}$$

Довжину шатуна 2 визначаємо за формулою:

$$l = \frac{R}{\lambda}. \quad (3.30)$$

$$l = \frac{0,075}{0,22} = 0,34 \text{ мм.}$$

Кількість обертів кривошипа 1 визначаємо за відповідною формулою:

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	З'явує.	Піппис	Лата		

$$n = \frac{30 \cdot 2,3}{0,150} = 460 \text{ об/хв}, \quad (3.31)$$

де  $V$  - швидкість руху повзуна переміщувального механізму приймаємо 2,3 м/с [21].

Розрахунок ходу повзуна 3 механізму виконуємо для значень у межах від 0 до 360 з кроком 10, а отримані результати заносимо до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Результати розрахунків переміщення повзуна механізму

Кут повороту кривошипа	Переміщення повзуна $S$ , мм	Кут повороту кривошипа	Переміщення повзуна $S$ , мм	Кут повороту кривошипа	Переміщення повзуна $S$ , мм
10°	0,78	140°	74,46	270°	46,24
20°	3,09	150°	77,69	280°	38,98
30°	6,81	160°	80,00	290°	31,62
40°	11,77	170°	81,38	300°	24,45
50°	17,74	180°	81,84	310°	17,74
60°	24,45	190°	81,38	320°	11,77
70°	31,62	200°	80,00	330°	6,81
80°	38,98	210°	77,69	340°	3,09
90°	46,24	220°	74,46	350°	0,78
100°	53,18	230°	70,35	360°	0
110°	59,61	240°	65,37		
120°	65,37	250°	59,61		
130°	70,35	260°	53,18		

### Висновки до розділу 3

У розділі виконано розрахунки, які підтверджують працездатність конструкції побутової сушильної камери. Зокрема, визначено тепловий баланс побутової сушильної камери в процесі сушіння продуктів. Обчислено робочий об'єм сушильної камери. Проведено розрахунок теплових елементів і вентиляційної системи побутової сушильної камери. Також реалізовано розрахунок конструктивних елементів механізму переміщення полиць у побутовій сушильній камері.

					MPMA 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	З'яв. у	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

У першому розділі кваліфікаційної роботи виконано огляд і ґрунтовний аналіз сучасних технологічних процесів та технічних рішень, що застосовуються в побутових сушильних камерах. Сформульовано основні технічні вимоги до їх експлуатації, а також проаналізовано існуючі конструкції пристроїв, функціонування яких базується на використанні технологій нагрівання.

Другий розділ присвячено розробці системи контролю температурних і вологісних параметрів сушильної камери із поліпшеними властивостями. Побудовано структурну схему системи, створено макетну плату із застосуванням програмного середовища Fritzing та здійснено підбір елементної бази, що забезпечує можливість подальшого виготовлення промислових зразків.

У третьому розділі виконано інженерні розрахунки, спрямовані на обґрунтування доцільності проектування побутової сушильної камери із поліпшеними властивостями. Зокрема визначено тепловий баланс камери під час процесу сушіння продуктів, розраховано робочий об'єм камери, а також виконано розрахунки нагрівальних елементів і вентиляційної системи. Окремо визначено конструктивні параметри механізму переміщення полиць у сушильній камері.

					MPMA 25.00.00.000 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	З'яв.	Піппис	Лата		

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.

1. Технології сушіння харчових продуктів : навч. посібник / В. В. Шутюк. – К. : НУХТ, 2014. – 198 с.
2. Теплотехніка та тепломасообмін у харчових технологіях : навч. посібник / О. М. Коваленко, С. І. Кравченко. – К. : НУХТ, 2011. – 256 с.
3. Сушіння харчових матеріалів : монографія / А. С. Муджумдар ; пер. з англ. – К. : Наук. думка, 2018. – 420 с.
4. Патент № 981115 А 23 L 3/32. Пристрій для зберігання овочів і фруктів. Михайлов В.С., Михайличенко О.В.
5. Патент № 1773364 А 23 В 4/044. Пристрій для копчення харчових продуктів. Бондар С.В., Дмитрук Л.О.
6. Патент № 1783969 А 23 В 4/04. Пристрій для сирокопчення м'ясних і рибних продуктів. Малишев С.С., Олійник С.В.
7. Патент № 1126782 А 23 В 4/044. Шафа сушильна. Сиротюк В.В, Чиж О.О.
8. Патент № 1209127 А 01 К 41/00. Інкубатор. Іванова О.В., Остапчук С.О.
9. Патент № 1391554 А 01 К 41/00. Інкубатор. Дячук Г.В., Петров О.В.
10. Патент № 873995 А 01 К 41/00. Пристрій для перевертання яєць в інкубаторі. Корчинський В.С.
11. Сайт «Микроэл». Код доступу: <https://microel.info/incubators/incubator-1000>.
12. Сайт для радіолюбителів DeRex. Код доступу: <http://sokol.radioliga.com/15.htm>.
13. Ремонт і обслуговування побутових машин і приладів: Уч. посібник для проф. освіти / С.П.Петросов, В.А.Смоляниченко, В.В.Левкин та інших. – К.: Видавництво центр "Академія", 2003. – 320с.
14. Діагностика й сервіс побутових машин і приладів: Підручник для проф. освіти / С.П.Петросов, С. Альохін, А.В.Кожемяченко та інших. – К.: Видавничий

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	Злокум.	Пілпис	Лата		

центр "Академія", 2003. – 320с.

15. Проектування ремонтних та технологічних цехів галузі: методичні вказівки до виконання розрахунково-графічних робіт для студентів напряму підготовки «Машинобудування» Г.Б.Параска, С.В.Смутко, С.П.Лісевич. - Хмельницький: ХНУ, 2010. – 63 с.

16. Olvent – вентиляція и обігрів. Каталог товарів. Код доступу: <https://olvent.ua/bahcivan-bk-200/>.

17. Теорія механізмів і машин: тлумачний словник / І. П. Гречка, А. О. Зарубіна, М. А. Ткачук, О. В. Устиненко. – Харків : ТОВ «Планета-Прінт», 2020. – 56 с

18. Кіницький Я.Т., Харжевський В.О., Марченко М.В. Теорія механізмів і машин в системі Mathcad: навч.посібник /Я.Т. Кіницький, В.О. Харжевський, М.В. Марченко. – Хмельницький: ХНУ, 2014. – 295 с.

19. Теплові насоси та їх застосування: Навч. посібник для здобувачів першого (бакалаврського), другого (магістерського) рівня вищої освіти зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / О. П. Піддубняк, Р. Жилла, О.С. Поліщук, М.Є.Скиба, С.П. Лісевич, С.В.Каретний – Хмельницький: ХНУ, 2023. – 146 с.

20. Методичні вказівки до лабораторних робіт з вивчення програмно-апаратного комплексу LabVIEW для студ.спец. «Галузеве машинобудування», «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / С.В. Смутко, П.С.Майдан, С.П. Лісевич. – Хмельницький: ХНУ, 2018. – 108 с.

21. Інноваційні, енерго- та ресурсозберігаючі технології галузі: методичні вказівки до вивчення дисципліни для здобувачів вищої освіти ОНР «доктор філософії» спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» / упоряд.: О.С.Поліщук, М.Є.Скиба, С.П.Лісевич, О.О.Коротич, В.О.Харжевський. Хмельницький : ХНУ, 2021. 212 с.

					MPMA 25.00.00.000 ПЗ	Анк.
Змн.	Анк.	Злокум.	Пілпис	Лата		

Додатки

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	З локум.	Пілпис	Лата		