МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) НІТТІ ім. акад. І.С. Гулого
Кафедра Машин і апаратів харчових та фармацевтичних виробництв

«До захисту в ЕК»	**«До захисту допущено»**
Директор інституту(декан факультету)	Завідувач кафедри
_____ Сергій БЛАЖЕНКО	_____ Олександр ГАВВА
(підпис) (прізвище та ініціали)	(підпис) (прізвище та ініціали)
«___» _____ 20__р.	«___» _____ 20__р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування
(код та назва спеціальності)
освітньо-професійної програми _____
на тему: Розроблення конструкції спірального апарату для охолодження хліба в лінії з тунельною піччю площею поду 50 м^2
Виконав: здобувач 2 курсу, групи ОХ-2-4М

Дубина Руслан Вікторович _____
(прізвище, ім'я, по батькові повністю) (підпис)

Керівник Теличкун Володимир Іванович _____
(прізвище , ім'я та по батькові повністю) (підпис)

Консультанти _____ _____
(прізвище та ініціали) (підпис)

_____ _____
(прізвище та ініціали) (підпис)

_____ _____
(прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент _____ _____
(прізвище та ініціали) (підпис)

Я як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач _____
(підпис)

Київ - 2024р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) _____ ННІТІ _____
Кафедра Машин і апаратів харчових ті фармацевтичних виробництв _____
Освітній ступінь_____Магістр_____
Спеціальність_____133 Галузеве машинобудування _____
(код і назва)
Освітньо-професійна програма _____
Інжиніринг харчових та біотехнологічних виробництв _____
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри Олександр ГАВВА

_____
“____” _____2023року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

_____ Дубини Руслана Вікторовича_____
(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема ,, Розроблення конструкції спірального апарату для охолодження хліба в лінії з тунельною піччю площею поду 50 м^2,,
керівник роботи_ Теличкун Володимир Іванович _____,
(прізвище, ім’я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом закладу вищої освіти від “11”листопада 2023року № 940-КС
2. Строк подання здобувачем роботи_____
3. Вихідні дані до роботи технічний паспорт обладнення; креслення обладнання; навчальна, нормативна та спеціальна література_____

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) *Анотація; Вступ; Охолодження хлібобулочних виробів на сучасних хлібопекарських підприємствах; Опис лабораторного обладнання, методик та інструментів, використовуваних для здійснення досліджень процесу охолодження хлібних виробів; . Аналіз процесу охолодження хлібних виробів; Структура та принцип функціонування розробленого конструктивного рішення; Технологя машинобудування; Виконання розрахунків з техніко-економічного аспекту для запропонованого конструктивного рішення; Безпека праці та охорона навколишнього середовища в підприємствах, що займаються виробництвом хлібобулочних виробів; Висновки; Використана література.*

5. Перелік графічного матеріалу:
- Загальний вигляд; Перехід; Поперечний розріз; Технологія Збирання привідного валу

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технологія машинобудування	Юрій Бойко		

7. Дата видачі завдання_____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Анотація, зміст; перелік умовних позначень, термінів	02.12.2023	Виконано
2	Вступ	04.12.2023	Виконано
3	Охолодження хлібобулочних виробів на сучасних хлібопекарських підприємствах	4.12.2023-08.12.2023	Виконано
4	Опис лабораторного обладнання, методик та інструментів, використовуваних для здійснення досліджень процесу охолодження хлібних виробів	08.12.2023-11.12.2023	Виконано
5	Аналіз процесу охолодження хлібних виробів	12.12.2023-14.12.2023	Виконано
6	Структура та принцип функціонування розробленого конструктивного рішення	14.12.2023-17.12.2023	Виконано
7	Технологя машинобудування	17.12.2023	Виконано
8	Виконання розрахунків з техніко-економічного аспекту для запропонованого конструктивного рішення	17.12.2023-20.12.2023	Виконано
9	Безпека праці та охорона навколишнього середовища в підприємствах, що займаються виробництвом хлібобулочних виробів	17.12.2023-20.12.2023	Виконано
10	Висновок	21.01.2024-22.01.2024	Виконано
11	Графічна частина: 5 аркушів	22.01.2024-03.02.2024	Виконано
12	Подача ДП на кафедру	05.02.2024	Виконано

Здобувач _____ ___Руслан ДУБИНА
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Володимир ТЕЛИЧКУН
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

У моїй магістерській роботі представлені результати власних досліджень, які стосуються процесу охолодження хліба на підприємствах з безперервним виробництвом. Сучасні методи охолодження хлібних виробів передбачають використання значних виробничих площ та великої кількості людської праці.

Дослідження включало в себе аналіз процесу охолодження хлібобулочних виробів перед нарізанням та пакуванням, і проводилося як у лабораторних умовах, так і на промислових підприємствах. Експериментальні вимірювання охоплювали зміни часу охолодження та його вплив на якість та масу готової продукції при використанні природного методу охолодження, а отримані результати були графічно відображені.

Також у магістерській роботі був проведений експеримент, заснований на математичній моделі термічної обробки циліндричних тістевих заготовок. Окрім цього, була розроблена конструкція спірального кулера для ефективного охолодження хлібобулочних виробів.

В роботі також виконано розрахунки економічних показників та розроблено заходи з техніки безпеки та охорони праці, спрямовані на забезпечення безпеки під час роботи з обладнанням. Загальна структура магістерської дипломної роботи включає пояснювальну записку, рисунки, таблиці та креслення.

Ключові слова: охолодження хлібних виробів, спіральний кулер, експериментальні дослідження, математична модель.

SUMMARY

My master's thesis presents the results of my own research concerning the bread cooling process in continuous production enterprises. Modern methods of bread cooling involve the utilization of significant production areas and a large amount of human labor.

The research encompassed an analysis of the cooling process of bakery products before slicing and packaging, conducted both in laboratory conditions and at industrial facilities. Experimental measurements included variations in cooling time and its impact on the quality and weight of the final product when employing a natural cooling method, with the results graphically illustrated.

Additionally, the thesis included an experiment based on a mathematical model of the thermal treatment of cylindrical dough pieces. Furthermore, a design for a spiral cooler was developed to efficiently cool bakery products.

Economic calculations were performed in the thesis, and safety measures and occupational health practices were devised to ensure safety while working with the equipment. The overall structure of the master's thesis comprises an explanatory note, drawings, tables, and diagrams.

Key words: cooling of bread products, spiral cooler, experimental research, mathematical model.

Зміст

АНОТАЦІЯ……..4

ВСТУП……..7

1. Охолодження хлібобулочних виробів на сучасних хлібопекарських підприємствах…….…….…8

1.1. Основа та ціль процесу охолодження хлібобулочних виробів…….....8

1.2. Огляд наявних підходів до охолодження хлібобулочних виробів…….12

1.3. Технічні засоби, які застосовуються для процесу охолодження хлібобулочних виробів на сучасних підприємствах ……...15

1.4. Основні концепції, що стосуються теорії процесу охолодження хлібобулочних виробів……...……27

2. Опис лабораторного обладнання, методик та інструментів, використовуваних для здійснення досліджень процесу охолодження хлібних виробів……...……29

2.1 Методика здійснення експериментальних досліджень у хлібопекарному виробництві ……...29

2.2 Лабораторне обладнання для приготування хліба..…….30

2.3 Встановлення температурного режиму у хлібопекарській камері..……...31

2.4 Оцінка змін ваги тіста під час випікання та охолодження……..32

3. Аналіз процесу охолодження хлібних виробів……...33

3.1 Дослідження процесу охолодження хлібних виробів в лабораторних умовах і на виробництві……...……33

3.2 Створення математичної моделі для аналізу процесу нагрівання тістових заготовок циліндричної форми….……...41

4. Структура та принцип функціонування розробленого конструктивного рішення…..……..54

4.1. Функціональний принцип роботи розробленого конструктивного рішення……...……54
4.2. Розрахунки параметрів кінематики. ……....55
4.3.Розрахунки валу…….…..…...64
4.4. Розрахуноки підшипників……..……...66
4.5. Підбір належного мотора-редуктора та виконання розрахунків для кінематичних параметрів системи приводу…….……...67
4.6. Виконання розрахунків для черв'ячної передачі...……..69
5. Технологя машинобудування…….…..77
6. Виконання розрахунків з техніко-економічного аспекту для запропонованого конструктивного рішення….……..82
7. Безпека праці та охорона навколишнього середовища в підприємствах, що займаються виробництвом хлібобулочних виробів……..93
ВИСНОВКИ…….……..99
ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА……100

ВСТУП

На підприємствах з виробництва хлібобулочних виробів значна частина затрат часу та зусиль витрачається на охолодження свіжовипеченої продукції [21], що призводить до численних труднощів, таких як використання додаткової ручної праці, потреба у великому просторі для охолодження на вагонетках та обмеження режиму виробництва [21, 23]. У моїй магістерській дипломній роботі я пропоную рішення проблем, пов'язаних із процесом охолодження хліба.

Свіжоздуханий гарячий хліб потребує особливої уваги, оскільки невірне поводження може призвести до його механічного ушкодження [11], втрати форми, структури та пористості, що призводить до його віднесення до браку [13]. Після випікання свіжий хліб переміщується на спеціальні вагонетки для подальшого охолодження [13]. Процес охолодження хліба розпочинається із зовнішніх шарів і поступово просувається до центру м'якиша [1]. Одночасно з охолодженням вологість м'якиша зменшується, що призводить до втрати маси хліба, а вологість скоринки збільшується, адаптуючись до відносної вологості навколишнього середовища [2].

Зменшення маси хліба та хлібобулочних виробів через випаровування частини води та деяких продуктів бродіння відоме як усихання [1]. Цей процес визначається різницею у вазі між гарячим і вже охолодженим хлібом протягом певного періоду часу і виражається у відсотках відносно ваги гарячого хліба [11]. Усихання хліба протягом перших 3-6 годин зберігання зазвичай коливається від 2% до 4% [13]. Після 10-12 годин зберігання хліб може почати ставати черствим при звичайних умовах [1]. Органолептичні характеристики зазнають змін разом із змінами структурно-механічних властивостей м'якиша [1].

РОЗДІЛ 1. ОХОЛОДЖЕННЯ ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ НА СУЧАСНИХ ХЛІБОПЕКАРСЬКИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

1.1. Основа та ціль процесу охолодження хлібобулочних виробів

Виробництво хліба може бути розділено на п'ять етапів [1]:

- Підготовка сировини;
- Замішування тіста;
- Формування виробів;
- Випікання хліба;
- Охолодження готової продукції та упаковка хліба.

Для замішування пшеничного тіста існують два методи [1]: безопарний і опарний [1, 11]. При безопарному методі всі компоненти, які входять до рецептури тіста, вводяться одночасно, що призводить до отримання тіста густої консистенції [1]. Ускладнений розвиток дріжджів у такому тісті, і норма додавання дріжджів перевищує 1,5% від маси борошна [11]. Тривалість бродіння дріжджів у тісті становить 3-3,5 години [1]. Економічні переваги не компенсують якість хліба, яка нижча, ніж за опарним методом [1, 11].

Опарний метод виконується у два етапи. Спочатку отримують опару, до якої додають 2/3 необхідної води і 1/2 маси борошна [9]. На цьому етапі вводять усі дріжджі, їх кількість становить приблизно 0,75% [1]. Зменшення кількості дріжджів зумовлене тим, що опара є рідким середовищем і складається з основних компонентів (борошно + вода + дріжджі), а сіль вводиться в окремих випадках [9, 11]. Опара поділяється на густу (60-70% борошна при вологості 45%) та рідку (30% борошна, вологість до 65%) [1]. Після закінчення першого етапу додається інше борошно [9], вода та всі інші компоненти згідно рецептури [9]. Час бродіння тіста становить 1-1,5 години.

Опарний метод у порівнянні із безопарним дозволяє краще контролювати процес приготування тіста [11], надаючи можливість вибирати оптимальні режимні параметри та виробляти ширший асортимент хлібобулочних виробів [9]. Двофазове бродіння сприяє поліпшенню структури клейковини в тісті та дозволяє отримати хліб із більш розвиненою пористістю та вищим вмістом ферментів [1], що надають хлібу характерний аромат і смак [9]. Сумарна тривалість за опарним методом становить 4,5-6 годин [9]. Машинно-апаратна схема виробництва хліба представлена на рис. 1 [13].

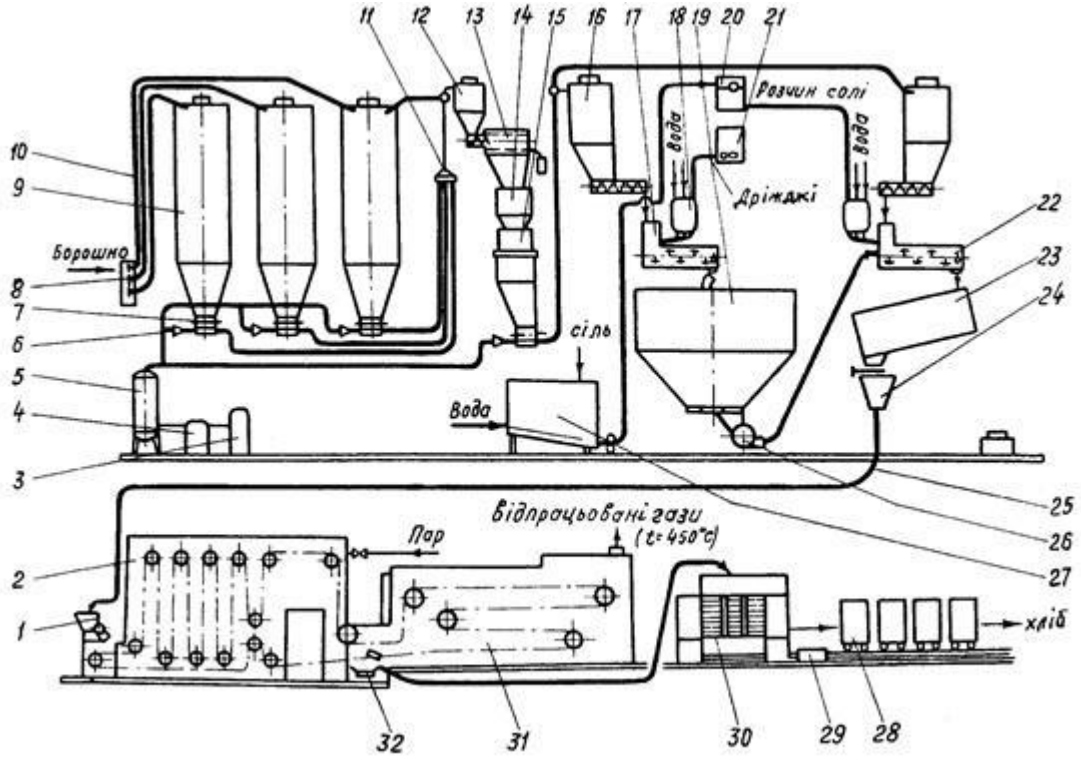


Рис. 1.1. Машинно-апаратурна схема виробництва хліба [13]:

1 — пристрій для розділення тіста; 2 — камера для стабілізації та вистою; 3 — фільтр для очищення повітря; 4 — компресор; 5 — ємкість для зберігання; 6 — надзвукове сопло; 7 — пристрій для подачі інгредієнтів; 8 — приймаюча платформа; 9 — сховище для борошна; 10 — трубопровід для транспортування матеріалів; 11 — перемикач напрямку; 12 — циклон для очищення повітря; 13 — пристрій для просіювання борошна; 14 — автоматичні ваги; 15 — проміжний бункер;

16 — основний бункер; 17 — замісник опари; 18 — дозатор для рідких інгредієнтів; 19 — бункер для бродіння опари; 20 — резервуар для розчину солі; 21 — розчинювач дріжджів; 22 — пристрій для змішування тіста; 23 — бункер для бродіння тіста; 24 — прилад для приймання тіста; 25 — трубопровід для транспортування тіста; 26 — дозатор для опари; 27 — розчинник солі; 28 — контейнери для хліба; 29 — механізм для розподілу; 30 — пристрій для розкладання хліба; 31 — тупикова піч; 32 — механізм для вивантаження хліба.

Підготовка сировини включає кілька етапів, таких як просіювання борошна, приготування опари та розчину солі [9], а також підготовка добавок [1]. Починаючи з борошна, його замішують та просіюють, проводять висіювання магнітних домішок [13]. Підгріта вода до досягнення необхідної температури, готують розчин солі, фільтрують його та залишають для відстоювання, готують дріжджовий розчин [11]. Крім того, проводять очищення і розтоплення жирів або олій, готують інші добавки відповідно до рецепту [9].

Процес замішування тіста включає такі технологічні операції: замішування опари, бродіння опари, замішування тіста, його бродіння та обминання тіста [1]. Замішування опари зазвичай триває приблизно 4-6 хвилин до досягнення однорідної маси [13]. Час бродіння опари становить 1,5-3 години [1]. Після цього додають залишаючіся компоненти сировини згідно з рецептом і повторно перемішують [11]. Час замішування тіста складає 5-8 хвилин. Під час замішування опари і тіста розпочинається процес бродіння, включаючи зброджування дисахаридів, що містяться в борошні, і утворення мальтози внаслідок гідролізу крохмалю [9]. Головна мета бродіння - накопичення смакових і ароматичних речовин у опарі та тісті [1], а також призводження тіста до таких показників, як газоутримуюча здатність і фізичні властивості, що найкраще підходять для подальшого розділення тіста та випічки [11].

Тісто, яке пройшло бродіння, направляється на етап поділення [1], що включає розділення його на шматки, маса яких повинна бути більшою на 10-15% [1], ніж маса готових виробів з урахуванням упікання та усихання на подальших стадіях [9]. Отримані шматки тіста округлюють до форми сфери [1], після чого їх направляють на попереднє вистоювання - період спокою округлених тістових заготовок з пшеничного тіста тривалістю 5-8 хвилин [1]. Під час вистоювання шматки тіста збільшують свій об'єм, поліпшують фізичні властивості та структуру тіста [1, 11].

При формуванні складних за формою виробів куски тіста направляються на формувально-валильні машини [13]. Після надання необхідної форми вони направляються на заключний етап вистоювання [1]. Потреба в кінцевому вистоюванні пов'язана з тим, що під час формування тіста кисень повністю витісняє $CO2$, що порушує пористість тіста [11]. Для отримання хліба з необхідною пористістю та об'ємним виходом необхідно [1], щоб тістові заготовки збільшили свій об'єм та отримали рівномірну пористість [9].

Кінцеве вистоювання проводять у спеціальних шафах за температури 35-40°C та вологості 75-85% [1]. Для уникнення обвітрювання та утворення твердої кірки вироби не піддаються обдуванню повітрям [9]. Підвищена вологість зберігає поверхневий шар виробів еластичним, запобігаючи розриву під час збільшення їх об'єму під час інтенсивного бродіння [13]. Тривалість кінцевого вистоювання залежить від рецептури і особливостей технології, складаючи приблизно 60 хвилин [1]. Сформовані тістові заготовки розміщують на лентовому транспортері, де вони продовжують вистоюватися, і той самий транспортер переносить їх до печі [13].

Останнім етапом виробництва хліба є випікання [21], яке здійснюється в різних типах хлібопекарських печей [11]. Тістові заготовки направляють на процес випікання за температури 200-260°C протягом 25 хвилин [9]. Режим випікання хліба налаштовується для кожного виду хліба, враховуючи сорт

борошна, вологість тіста, масу та форму виробів, метод випікання, параметри газового середовища в пекарні та інші фактори [1, 13].

Під час процесу випікання, при збільшенні температури, відбувається термічна денатурація білків та клейстеризація крохмалю [9]. Тістові шматки утримують свою форму та перетворюються в хліб [1]. Стійка форма хліба досягається за рахунок утвореної кірки та еластичного м'якушка [11]. Процес випікання завжди включає втрати маси тіста, відомі як упікання хліба, яке становить 6-14%, залежно від різних факторів [13]. Основна частина цих втрат складається з вологи (95%), решта включає спирт, CO2 та інші леткі органічні речовини [1].

Останнім етапом у виробництві хлібних виробів є охолодження [1]. Зниження температури сприяє уникненню конденсації в упаковці та полегшує транспортування готової продукції [11]. Охолодження необхідне з двох причин: для нарізання хліба (температура повинна бути менше 35°C) та для подальшого пакування [9]. Мікробіологічне псування хлібу часто пов'язане з високим вмістом вологи в зберігальних приміщеннях та можливою конденсацією при недостатньому контролі температури [9]. Очищене повітря, яке використовується для охолодження, допомагає утримувати хліб в чистому середовищі та усуває непотрібні запахи [13]. Температура хліба після випікання становить 96-98°C, а вологість в кірці коливається від 0 до 3% [1, 13].

1.2 Огляд наявних підходів до охолодження хлібобулочних виробів

Свіжовипечений гарячий хліб вимагає особливої уваги при обробці [11]. Неправильна обробка може призвести до його деформації, втрати форми, пористості і структури [9]. Відразу після випічки готовий хліб розташовують на вагонетках для охолодження [13]. Процес охолодження хліба розпочинається з його поверхні та поступово проникає всередину м'якушки [9]. Водний та масовий вміст хліба одночасно зменшуються, тоді як

вологість у скоринці збільшується, адаптуючись до відносної вологості повітря [9]. Зменшення маси хліба через випаровування води та продуктів бродіння відоме як усихання [11]. Це визначається різницею в масі між гарячим та охолодженим хлібом через певний проміжок часу, і виражається у відсотках від маси гарячого хліба [13]. Усихання хліба протягом перших 3-6 годин зберігання становить приблизно 2-4% [9]. Процес охолодження проводиться на заключному етапі виробництва для створення необхідних умов для нарізання та упакування продукції [9]. Три основних методи охолодження - природний, кондиційованим повітрям та вакуумний - є найбільш поширеними [9, 13].

Природне охолодження, хоча й найдешевший, але найтриваліший метод, включає розміщення свіжовипеченої продукції на складі для охолодження протягом певного часу [1]. Цей спосіб вимагає значних виробничих площ, забирає велику кількість часу і передбачає ручну працю [11]. Внаслідок використання цього методу охолодження хлібних виробів виникають певні недоліки, зокрема [9]:

- необхідність великої площі на виробництві;
- тривалість процесу охолодження;
- нерівномірний розподіл вологи в об'ємі виробів;
- велика ймовірність бактеріального забруднення кірки хліба через тривалий контакт з оточуючим повітрям.

Використання **кондиціонованого повітря** дозволяє скоротити час охолодження [1]. Подача повітря відбувається за рециркуляційною схемою, де тепле повітря, забране у верхній зоні охолодження [11], піддається зволоженню та охолодженню у кондиціонері [9], після чого повертається в охолоджувач через зону з найнижчою температурою [13]. Існують два потоки повітря: один направлений в зону з гарячими виробами, інший - в зону з пониженою температурою [1]. Це сприяє підвищенню інтенсивності охолодження та зменшенню втрат вологи в продукції [13].

Оптимальні умови для повітря під час охолодження включають температуру 15-18°C і вологість 90-95% [9, 13]. Крім того, широко використовується метод охолодження, що включає створення кондиціонованих камер для шокового охолодження продуктів хлібобулочного та кондитерського виробництва [1]. Ці камери можуть охолоджувати продукцію до температури +3°C [9]. Технологія шокового охолодження поділяється на жорстке та м'яке [1], причому останнє застосовується для делікатних продуктів [9], а перше - для виробів із високою щільністю та жирністю [9]. Ці методи сприяють збільшенню термінів зберігання, хоча не на тому самому рівні, що й шокове заморожування [3, 13].

Вакуумний метод охолодження базується на швидкому зниженні температури кипіння вологи у хлібобулочних виробах за розрідженого середовища, що призводить до скорочення тривалості охолодження [1].

Цей спосіб охолодження ґрунтується на виникненні холоду за рахунок випаровування води з продукту [9]. При звичайному атмосферному тиску вода починає кипіти при 100 °C [9]. Зниження тиску призводить до того, що при цій температурі відбувається перехід води з рідкого в газоподібний стан [11]. Використання вакуумного методу охолодження хлібних виробів має ряд переваг [1]:

- Зменшує тривалість випікання виробів на 10-30%, що призводить до зменшення витрат на випікання [1].

- До 95% скорочує час охолодження хлібобулочних виробів, що дозволяє уникнути використання додаткової виробничої площі [1].

- Підвищує якість і термін зберігання готових виробів без використання додаткових хімічних добавок [1].

1.3 Технічні засоби, які застосовуються для процесу охолодження хлібобулочних виробів на сучасних підприємствах

Хліб, який є одним з найбільш поширених продуктів з обмеженим терміном придатності для споживання, вимагає високих санітарних стандартів та недоліковує механічних впливів [1], особливо протягом перших годин після приготування [9]. Тому велика увага приділяється транспортуванню та зберіганню продукції [13]. Однак у порівнянні з механізацією інших етапів виробництва, автоматизація транспортно-складських операцій для готової продукції залишається менш розвиненою [9]. Схеми проведення транспортно-складських робіт [1]. Для хлібосховища та експедицій на більшості хлібопекарських виробництв розповсюджено транспортування готових виробів у лотках ти вагонетках з ручним способом укладки продукції до лотків і перевантаженням їхна спеціалізовані автофургони [13].

Більш сучасним способом транспортування хлібних виробів є використання контейнерів [1]. У такому випадку використовується спеціалізований транспортний засіб з підйомним бортом, який приводиться в рух електричним приводом [11]. Готові продукти, що вийшли з печей, переміщуються за допомогою стрічкових транспортерів на сортувальний стіл, де їх переглядають та укладають в контейнери вручну [1]. Після цього контейнери транспортуються в хлібосховище [1]. Для переміщення контейнерів використовуються навантажувачі, або підвісні та напольні конвеєри [13].

Згідно з замовленням, після завантаження контейнерів їх розміщують на вантажній платформі [11], яку водій прикріпляє до опущеного борта машини [9]. Далі контейнери піднімаються і впроваджуються в фургон [1]. Після доставки до торгової точки водій розвантажує контейнери у підсобні приміщення або торговий зал магазину [11], а також збирає порожні контейнери і повертає їх назад [13]. Продаж хліба здійснюється в магазинах за допомогою контейнерів [1]. Після санітарної обробки контейнерів та лотків цей процес повторюється [13].

На рисунку 1.2 представлена схема інтегрованої автоматизації операцій з вантажно-розвантаження та транспортування в хлібосховищах та під час роздачі [1], яка є економічно виправданою для впровадження на великих хлібозаводах та розроблена для автоматизації всіх етапів — від виходу хліба з пекарської камери до його укладання в тару перед завантаженням у вантажівку [1]. У даній схемі використані агрегати 1, 4, 5 для розміщення хліба у лотки, а потім лотків у контейнери [1]. Також використані візки траверсів 2, конвеєр 3, круговий поворотний пристрій 6, агрегат 7 для ручного розміщення малих виробів у лотки, циркуляційний стіл 8, контейнери з порожніми лотками 9, підйомник спеціальний 10 для листів з малими виробами, механізми 11...13 для підняття і розвантаження хліба з печей, пристрої 14, 15 для центрування і з'єднання з автівками, двостулкові ворота 16, ділянка для додаткового комплектування 17, рейковий шлях 18, комплектуючі візка 19, конвеєри для завантаження 20, вантажівки 21, підлоговий накопичувач для контейнерів 22, агрегат 23 для санітарної обробки лотків, накопичувач 24 для наповнених контейнерів, візок роздавальний 25 [1, 13].

Операції з вантажно-розвантаження та транспортування за цією схемою виконуються таким чином [1]: Хліб, що виходить з печі, переміщується розвантажувальними механізмами за допомогою стрічкових конвеєрів до хлібоукладальних агрегатів [9]. Перед подачею до цих агрегатів хліб проходить через механізми центрування [13].

Від хлібоукладальних агрегатів завантажені контейнери, що переміщуються візком (див. рис. 1.2), поступають на конвеєри для збереження хліба - накопичувачі 24 [1]. Траверс-візки рухаються по рейкових шляхах перпендикулярно до осей накопичувачів [13]. Кожен вид хлібних виробів зберігається на відповідному конвеєрі-накопичувачі до відправлення в торгову мережу [1]. Комплектація відвантажувальних партій контейнерів

виконується автоматично [1]. Згідно з замовленням оператор вводить програму для комплектування [13].

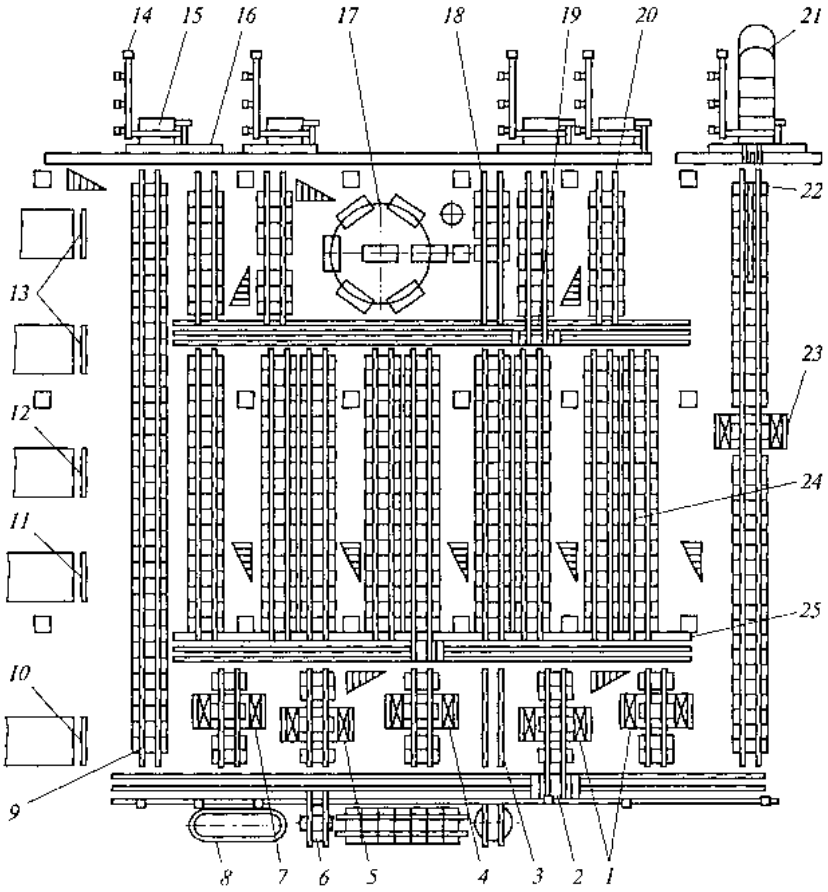


Рис.1.2. Схема комплексної механізації вантажно-вивантажувальної і транспортно-складських робіт в хлібних сховищах і доставці

Доукомплектування контейнера лотками проводиться на ділянці 17 [1], що включає кільцевий конвеєр-комплектувальник, механізм перевантаження лотків, рейковий шлях 18 та пульт [1]. Обертаючи контейнер навколо осі, можна привести будь-який накопичувач до місця завантаження в комплектувальнику [1, 13].

Закомплектовані контейнери видаляються комплектувальним візком і подаються на визначений у програмі загрузочний конвеєр 20 [1]. Всі загрузочні конвеєри призначені для зберігання двох комплектів - 8 контейнерів [11]. Загрузочний контейнер вирівнюється з вантажівкою 27, яка, прибувши на виробництво з торгової точки, [13] приєднується до лінії

приймання контейнерів з порожніми лотками 22 і розвантажує контейнери [9]. Порожні контейнери направляються в агрегат 23 для санітарної обробки [1]. Контейнери, які пройшли санітарну обробку, траверс-візком 2 подаються за встановленою програмою до хлібовложувальних агрегатів 1, 4, 5, 7 [11].

Після приєднання вантажівки до загрузочного конвеєра активується механізм [1], який автоматично завантажує повний набір із чотирьох контейнерів до кузова [13]. Рахівник вимірює кількість готової продукції. Кожен контейнер містить 32 стандартизовані лотки [13].

Аналіз різних методів удосконалення систем зберігання та транспортування хлібних продуктів вказує на те [1], що використання контейнерного транспорту з використанням вантажівок із підйомним бортом дозволяє уникнути необхідності важкої ручної праці [1], оптимізує процес переміщення з мінімальними витратами [1], скорочує час простою вантажівок під час завантаження та розвантаження [1], а також забезпечує можливість одночасно обробляти кілька контейнерів [1].

Навпаки, впровадження сучасних конструкцій для хлібосховищ і експедицій поки що не знаходить широкого застосування на практиці в хлібопродуктових підприємствах через їхні обмеження [13]. Ці конструкції мають значні розміри, потребують великих металевих ресурсів і не враховують сучасних тенденцій у сфері нарізання та упакування готової продукції [9,13].

Для сортування та оброблення свіжовипечених виробів [1], зокрема хліба перед їх укладанням у лотки [9], використовується спеціальне обладнання, а саме циркуляційні столи, як показано на рисунку 1.2 [1]. Існують два основних типи цих столів: круглий із гнучким пластинчастим конвеєром [1].

Круглий стіл, який можна побачити на рисунку 1.2, складається з кришки з конусоподібною формою діаметром 2000 мм та невеликим бортом [13].

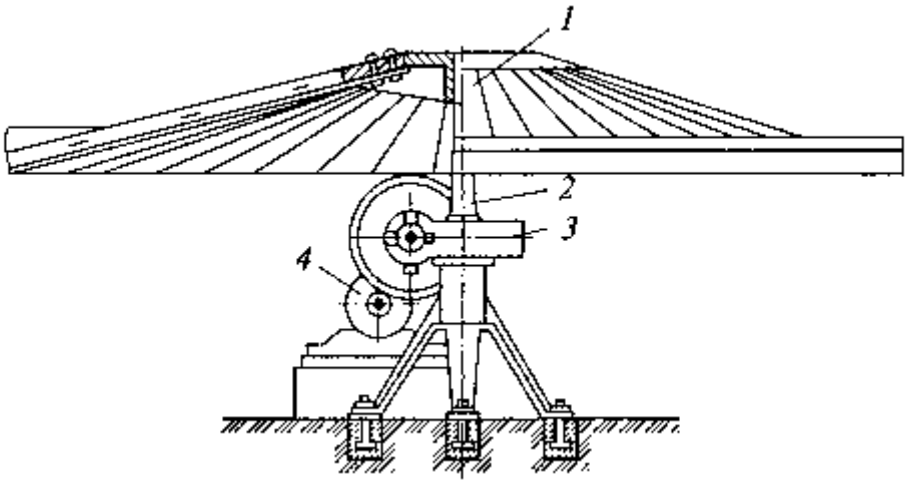


Рис.1.2. Круглий циркуляційні столи

Листова сталь використовується для виготовлення кришки [1], яка монтується на вертикальній стійці 2 [9]. На цій стійці встановлений черв'ячний редуктор 3 [1]. Вал колеса черв'ячного редуктора виконує функцію осі для обертання кришки столу [13]. Електродвигун 4 забезпечує рух кришки з частотою 4 оберти в хвилину, при цьому кришка обертається, ковзаючи від обертання до упору в борт [1, 13].

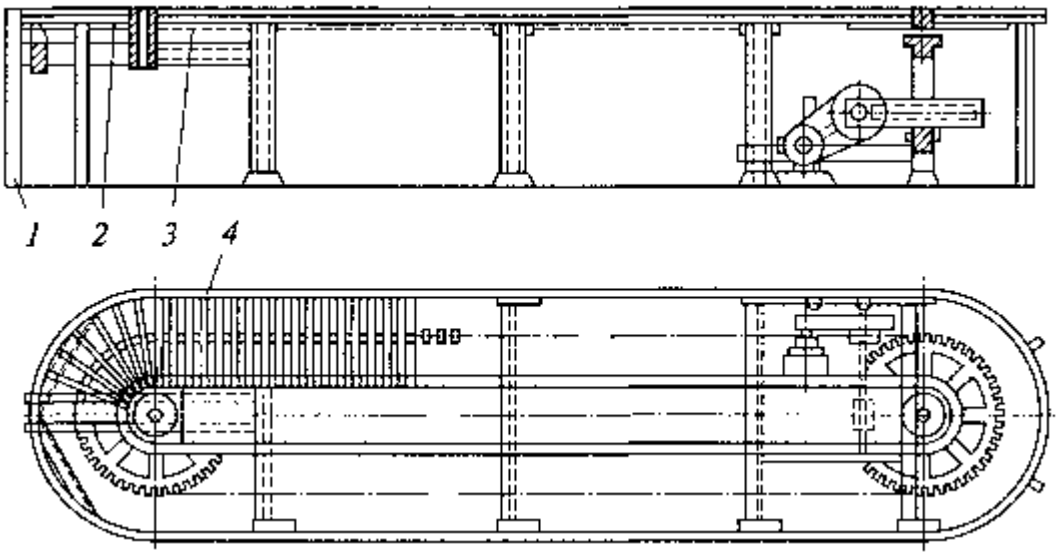


Рис.1.3. Циркуляційний стіл з гнучким пластинчастим конвеєром

Свіжовипечені продукти, які надходять на стіл зі стрічкового конвеєра чи ковзаючої поверхні [1], розподіляються рівномірно по всій його поверхні з однаковими проміжками [9]. Стіл із гнучким конвеєром пластинчастого типу (див. Рис. 1.3) – це горизонтальний конвеєр, який складається з двох

горизонтально розміщених ланцюгових блоків 2 та пластинчастого роликового ланцюга 3 [13]. На цьому ланцюзі закріплені планки 4 [1]. Станина 7 має невеликий бортик [1]. Під час руху конвеєра планки ковзають кінцями по бортах столу станини, які мають форму уголків [1, 9].

Вагонетка для хліба (рис. 1.4) розроблена для охолодження, зберігання і транспортування хлібних виробів [1], які розміщуються на лотках з дерева або пластмаси [1]. Це обладнання застосовується на хлібозаводах, пекарнях приватних підприємств, а також у закладах громадського харчування і торгівлі [1, 13]. Для утримання лотків (листів) та запобігання їх випаданню виготовлені спеціальні тримачі [1]. Маневреність та легкість управління досягаються завдяки наявності чотирьох коліс у вагонетці [13].

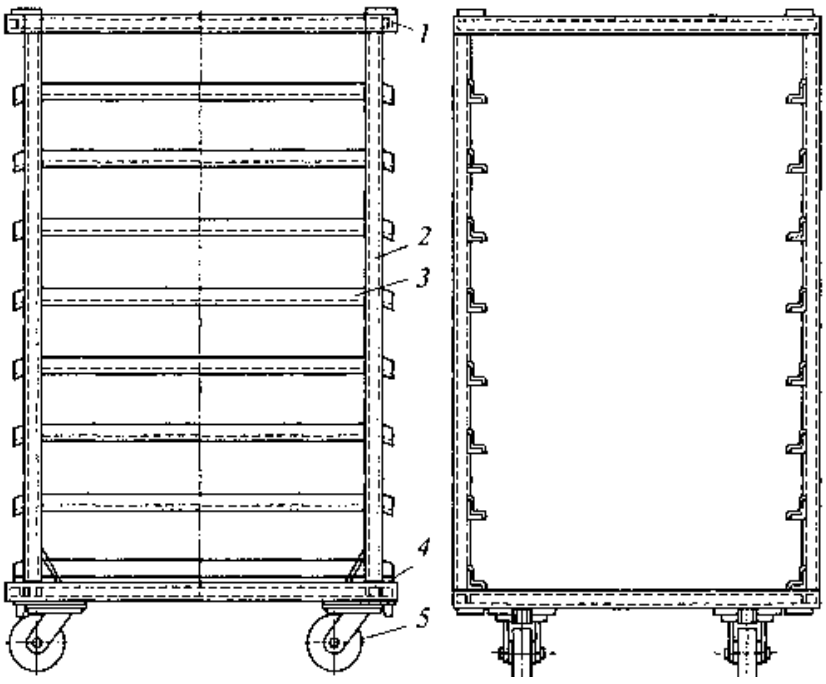


Рис.1.4. Вагонетка для охолодження хлібних виробів

1 – верхня напрямна; 2 – вертикальні стійки; 3 – напрямні; 4 – нижня рама; 5 - колесо

Колисковий кулер представляє собою рамну конструкцію шафи (рис. 1.5) [1], в якій використовується принцип функціонування колискового транспортера, аналогічний принципу шафи для вистою [13]. Свіжовипечений

хліб розташовується на колисках, які мають гребінчасто-гратчасту форму [1].

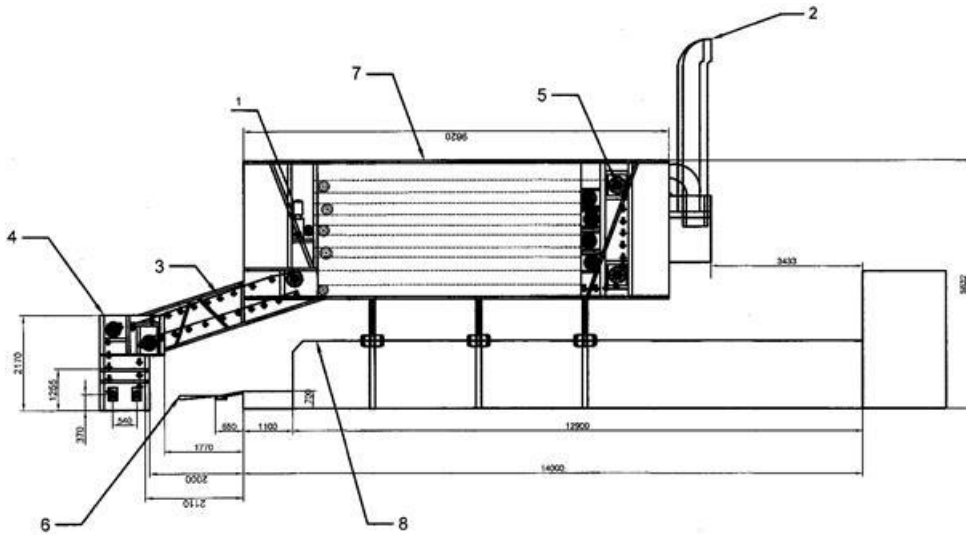


Рис. 1.5. Колисковий кулер для охолодження

1 – система обдува; 2 – вентиляційна труба для виведення гарячого повітря; 3 – колисковий механізм; 4 – транспортер для завантаження та розвантаження; 5 – привідний вал; 6 – транспортер для перевантаження; 7 – охолоджувальна камера; 8 – тунельна піч; 9 – натяжний вал.

Спіральні кулери (рис. 1.6) можуть мати різноманітні конфігурації [1], що залежать від точок завантаження та вивантаження [13]. Спіральний конвеєр включає в себе раму, направляючі, два обертових барабани, стрічку, складену з модулів, привідні мотор-редуктори та контрольну будку [11].

Привід обладнано частотним регулятором для поступового налаштування швидкості руху [1], що дозволяє регулювати продуктивність системи та рівень охолодження хліба [1]. Система додаткових транспортерів може включати різноманітні типи [13]: прямі, поворотні, підйомні або опускні транспортери [1, 13]. Кількість та конфігурацію цих транспортерів можна визначати в залежності від особливостей будівлі цеху та організації виробничих процесів [11].

Рис. 1.6. Спіральний кулер для охолодження

Застосування кулерів у технологічному процесі виробництва дозволяє забезпечити рівномірне охолодження виробів [9], які піддаються нарізанню та пакуванню, знизити ризик порушення санітарно-гігієнічних стандартів [9], ефективно використовувати виробничу площу, автоматизувати ключові етапи виробництва та підвищити рівень автоматизації [13].

Незважаючи на те, що природне охолодження забезпечує привабливий зовнішній вигляд готового продукту [1], час, необхідний для цього процесу, може коливатися від 0,5 годин до 3-5 годин [13]. Використання спірального конвеєра-кулера виявляється більш оптимальним рішенням для тривалого охолодження [9]. Завдяки специфіці геометрії розташування стрічки у просторі можливе ефективне використання виробничої площі та зменшення її обсягу [13].

Спіральний конвеєр дозволяє ніжно транспортувати продукцію, зберігаючи її розташування відносно стрічки [1]. Переваги використання

спірального кулера включають швидкість та якість охолодження [1], повну автоматизацію виробничих процесів, можливість охолодження різноманітної продукції без необхідності переналаштування системи та одночасне охолодження різних сортів продукції [13].

Недоліки спіральних конвеєрів включають великі габаритні розміри [1], високий рівень енергоспоживання та потребу в тривалому технічному обслуговуванні [1]. Різноманітні конфігурації спіральних кулерів визначаються місцем завантаження та вивантаження хліба [11], а також асортиментом охолоджуваної продукції [13].

Завдяки своїй гнучкості, система переміщення продукції по спіралі надає можливість створити різноманітні конфігурації кулерів [1]: круглих чи овальних (варіанти 7, 8, 9), з однією (1, 6), двома (3, 4, 5, 9), трьома (2, 8) або навіть чотирма окремими стрічками на одному "барабані" [1], з виходом і входом продукції в будь-якому місці [1]. Цей підхід повністю відповідає потребам замовників [11]. Різноманітні типи сіток дозволяють переміщати в просторі абсолютно будь-яку продукцію в розгорнутому або фасованому вигляді [1], таку як хлібні та кондитерські вироби, готові упаковані страви і інше [13].

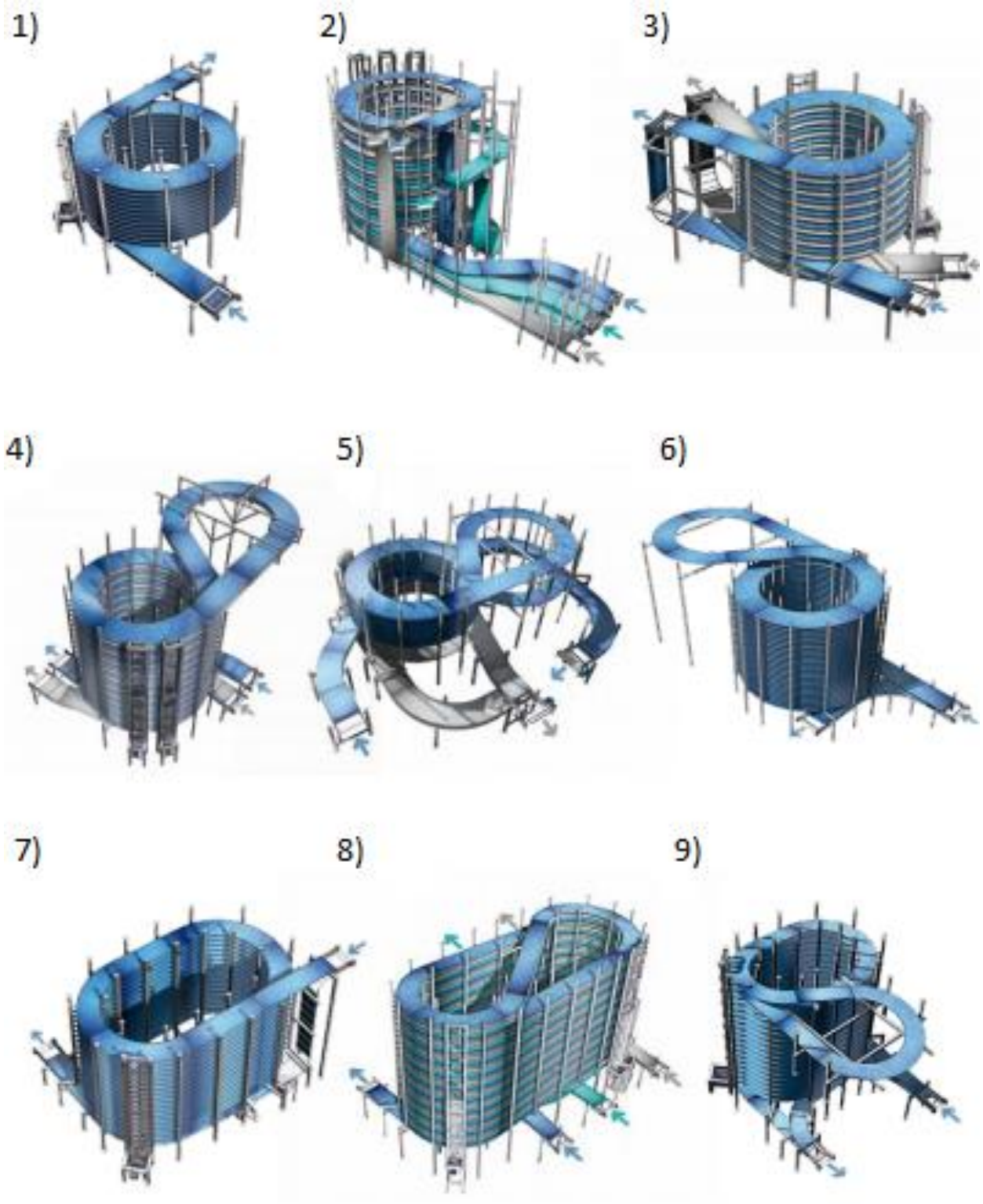


Рис. 1.7. Види спіральних кулерів

Вакуум-випарне охолодження.

Виробники пропонують різноманітні методи утворення вакууму в камері [1], розпочинаючи від відкачування пароповітряної суміші вакуум-

насосом та закінчуючи використанням друготеплоти [13]. На сьогодні відомі виробники вакуумних камер, такі як Revent, Weber, SGet, BVT, Coldmax та інші [13].

Рис. 1.8. Вакуум охолоджувач хлібу KMS-100D

Ця камера має два режими, які можна встановити в режимі стандарту або швидкого в залежності від потреб [13]. Швидкість охолодження гарячих продуктів до кімнатної температури забезпечується [1], уникаючи можливих пошкоджень і втрати смаку [11]. Вбудована функціональність печі використовується для приготування їжі [11]. Як альтернатива, продукти, які потрібно зберігати, охолоджуються майже миттєво для збереження свіжості та підвищення смаку [9]. Вміст камери складає 100 кг, а час приготування становить 20-30 хвилин [13].

1.4. Основні концепції, що стосуються теорії процесу охолодження хлібобулочних виробів

Охолодження після випікання є важливою складовою виробничого процесу хлібобулочних виробів [1]. Упакування хліба до повного

охолодження може спричинити конденсацію вологи, що скорочує термін зберігання [9]. Процес охолодження включає два взаємопов'язаних фізичних явища: випаровування вологи та конвективний теплообмін [9]. Збільшення коефіцієнта конвективної тепловіддачі призводить до зростання випареної кількості вологи [11]. Втрати маси через випаровування води під час охолодження становлять кілька відсотків від загальної маси свіжовипеченого продукту [9]. Випаровування вологи, як правило, відбувається на початковому етапі охолодження, коли поверхневе усихання спричинює дифузію вологи через шкірку [13]. Після цього відбувається випаровування вологи з продукту, і теплообмін в основному відбувається за рахунок конвективного теплообміну [9].

Температура корки хліба одразу після випікання коливається від 130 до 180 °С, а в перехідній зоні – 100 °С [1]. В середньому, температура корки зазвичай становить 110-114 °С [1]. Вологовміст корки в момент виходу з печі майже нульовий [9]. Температура м'якоті близька до 98 °С, а вологовміст перевищує вологість тіста на 1-2% [11].

При потраплянні до хлібосховища, де температура, як правило, коливається в межах 18-25 °С [1], хліб швидко охолоджується, втрачаючи масу внаслідок усихання [9]. Очевидно, що процес охолодження розпочинається з поверхневих шарів і, поступово поширюючись, просувається вглиб м'якоті хліба [11].

Актуальність теми магістерської роботи обумовлена необхідністю ефективного охолодження готових виробів до необхідної температури [1], щоб забезпечити готовність їх до нарізання та упакування [13], скоротити тривалість процесу охолодження перед обробкою та упакуванням [9], а також використовувати обмежені виробничі площі з максимальною ефективністю [13]. З метою забезпечення найвищої якості та свіжості продуктів на полицях магазину, важливо об'єднати переваги різних методів охолодження, зокрема, швидкість та потоковість охолодження [13].

Метою даної магістерської роботи є глибоке вивчення процесу охолодження хліба в автоматизованих потокових лініях, визначення тривалості охолодження в залежності від методів охолодження та впливу різних методів на якість кінцевого продукту [13]. Також метою є розробка сучасної конструкції спірального кулера для охолодження хлібобулочних виробів на основі проведених досліджень [1].

РОЗДІЛ 2. ОПИС ЛАБОРАТОРНОГО ОБЛАДНАННЯ, МЕТОДИК ТА ІНСТРУМЕНТІВ, ВИКОРИСТОВУВАНИХ ДЛЯ ЗДІЙСНЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ ОХОЛОДЖЕННЯ ХЛІБНИХ ВИРОБІВ

2.1 Методика здійснення експериментальних досліджень у хлібопекарному виробництві

Було організовано дослідження для розгляду впливу умов охолодження та зміни температури на усихання виробів у залежності від тривалості зберігання [13]. Проведені експерименти включали виробничі та лабораторні умови [13]. На першому етапі виробничих досліджень хліб випікався в тунельній печі БН-50. Випечені батони складалися в лотки по 12 штук [9], а потім розміщувалися на вагонетці, що вміщувала 18 лотків [1]. Час переміщення батону від печі до лотка становив близько 40 секунд [1]. Для досліджень обирали хліб із середини лотка, визначали його початкову вагу, зважували електронними вагами і повертали назад до лотка для збереження виробничих умов охолодження [11]. Температура в цеху під час досліджень становила 26,9 °С. Експерименти дозволили визначити зміну температури батону та його маси під час охолодження [1].

Другий етап досліджень проводився в лабораторних умовах, де батони випікалися в електричній печі і залишалися для охолодження [9]. Для прискорення процесу використовувався обдув виробів кондиційованим повітрям [13]. Температура в лабораторії під час досліджень становила -26,7 °С, а температура кондиціонованого повітря, яким обдували вироби, складала 16 °С [1].

На обох етапах досліджень кожен експеримент повторювався не менше п'яти разів для забезпечення достовірності отриманих даних [13]. Після цього дані компілювалися у таблиці, а їх аналіз та побудова графіків виконувалися для математичної обробки експериментальних даних з метою виявлення закономірностей та взаємозв'язків результатів проведених досліджень [9].

2.2 Експериментальна установка для випікання

Випікання та сушіння сухих виробів здійснювалися в пекарській камері лабораторної установки [1]. Камера для випікання складається з верхньої та нижньої поверхонь нагріву, що імітує принципову роботу більшості промислових тунельних печей [11]. Даний метод виробництва сухарних виробів пропонується для використання в таких печах [13].

Структура та принцип роботи експериментальної лабораторної установки для випікання та сушіння хлібних виробів представлені на рисунку 2.3 [1].

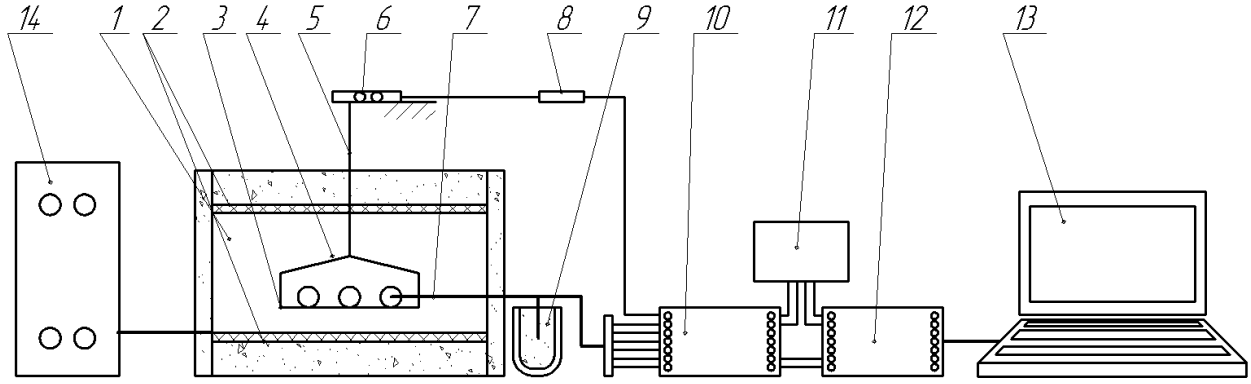


Рис.2.1 Структура лабораторної установки для випікання та сушіння хлібних виробів:

1 – камера випікання, 2 – верхня та нижня поверхні нагріву, 3 – під, 4 – підвіска, 5 – штанга, 6 – ваговий датчик тензометричний, 7 – блок зчитування термопар, 8 – підсилювач сигналу, 9 – Дюарів сосуд, 10 – модуль передавання сигналу, 11 – блок живлення, 12 – модуль перетворення, 13 – ЕОМ (електронно-обчислювальна машина), 14 – щит керування.

Ця конструкція включає в себе камеру випікання (1) із верхньою та нижньою поверхнями нагріву (2), де на піді (3), утримуваному на підвісці (4), розташовані заготовки тіста, що завантажуються через дверцята [1]. Підвіска прикріплена до штанги (5), яка з'єднана з ваговим датчиком тензометричним (6), звідки за допомогою аналогового модуля (10) та модуля перетворення (11) вага тістової заготовки вимірюється та реєструється на ЕОМ (13) протягом процесів випікання та сушіння [13].

Піч обладнана автономним автоматичним регулятором температури поверхонь нагріву [11], управлінням якого здійснюється з щитка керування (14). Також на цьому щитку відображається температура в пекарній камері [13].

Вимірювання температури в шарах тістових заготовок виконується за допомогою термопар [13], потенціал яких зчитується аналоговим модулем ICP CON I-7018 (10) [1]. Цей модуль працює від блока живлення (11), а за допомогою модуля перетворення ICP CON I-7520 (12) сигнал перетворюється та передається в ЕОМ (13) [13]. Для реєстрації даних в ЕОМ використовується необхідне програмне забезпечення [1].

2.3. Встановлення температурного режиму у хлібопекарській камері

В процесі експериментів використовували термопари [1], що складаються з провідників із міді та константану діаметром до 0,2 мм [9]. Для визначення температур в різних шарах хліба під час випікання використовувалося 7 термопар, які вставляли в заготовку з тіста на різних висотах [1]. Гарячі кінці термопар, попередньо покриті барвником, вводили в тісто, що дозволяло визначити глибину їх занурення після випікання [11].

Холодні кінці термопар поміщали до Дюарового сосуду, наповненого льодом і водою [13]. Для ізоляції контактів термопар використовували термостійкий кремнієвий органічний лак К-58 [9].

Усі лабораторні експерименти, що проводились за допомогою термопар із міді та константану [11], включали вимірювання температур на поверхнях нагріву камери випікання та в навколишньому середовищі [13].

2.4. Оцінка змін ваги тіста під час випікання та охолодження

Для дослідження процесів масообміну під час випікання хлібних виробів [11], визначення кількості конденсованої вологи на поверхні тістової заготовки під час гігротермічної обробки та вимірювання втрат маси під час упікання [13], ми використовували спеціальний автоматичний пристрій, що базується на тензорезистивному датчику [9]. Зазвичай це спеціальна гнучка конструкція з прикріпленими до неї тензорезисторами та іншими елементами [9]. Зміна опору тензорезистора служила основою для розрахунку ступеня деформації, яка пропорційна силі, що діє на конструкцію [11].

Принцип вимірювання маси за допомогою тензодатчиків ґрунтується на збалансуванні маси вантажу [9], який зважується із пружною механічною силою тензодатчиків, та подальшому перетворенні цієї сили в електричний сигнал, що подається до аналого-цифрового перетворювача [9]. Отриманий сигнал потім відображався на екрані ЕОМ за допомогою спеціального програмного забезпечення [13].

РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ОХОЛОДЖЕННЯ ХЛІБНИХ ВИРОБІВ

3.1 Дослідження процесу охолодження хлібних виробів в лабораторних умовах і на виробництві

Вироблені дослідження в умовах виробництва були аналізовані, і на їх основі були побудовані графіки [13], що відображають зміни температури і маси хліба з плином часу [9].

Після виходу з печі температура батону становила приблизно 97,6 °С [1]. Протягом перших 40 секунд, у середньому, хліб переміщували до лотків [1], і температура батону в лотках знизилася до 97 °С [9]. У перші хвилини спостерігалося швидше охолодження, з середньою швидкістю в районі 1,0-1,2 °С/хв [1]. Швидкість охолодження значно зменшувалася протягом перших 15 хвилин [13], після чого зменшувалася менш швидко [1]. В проміжку від 15 до 25 хвилин після випічки швидкість охолодження складала - 0,8 °С/хв [1]. Від 25 до 40 хвилин швидкість становила 0,5 °С/хв. Протягом 40 хвилин досліджуваний зразок охолодився до 64,1 °С [1].

Через 40 хвилин після початку процесу охолодження температура зменшилася в середньому на 0,2-0,1 °С/хв [11]. Досягнення температури, при якій можливе нарізання та пакування (32,5 °С), зайняло 3 години [1]. Результати досліджень ілюструються на рис. 3.1.

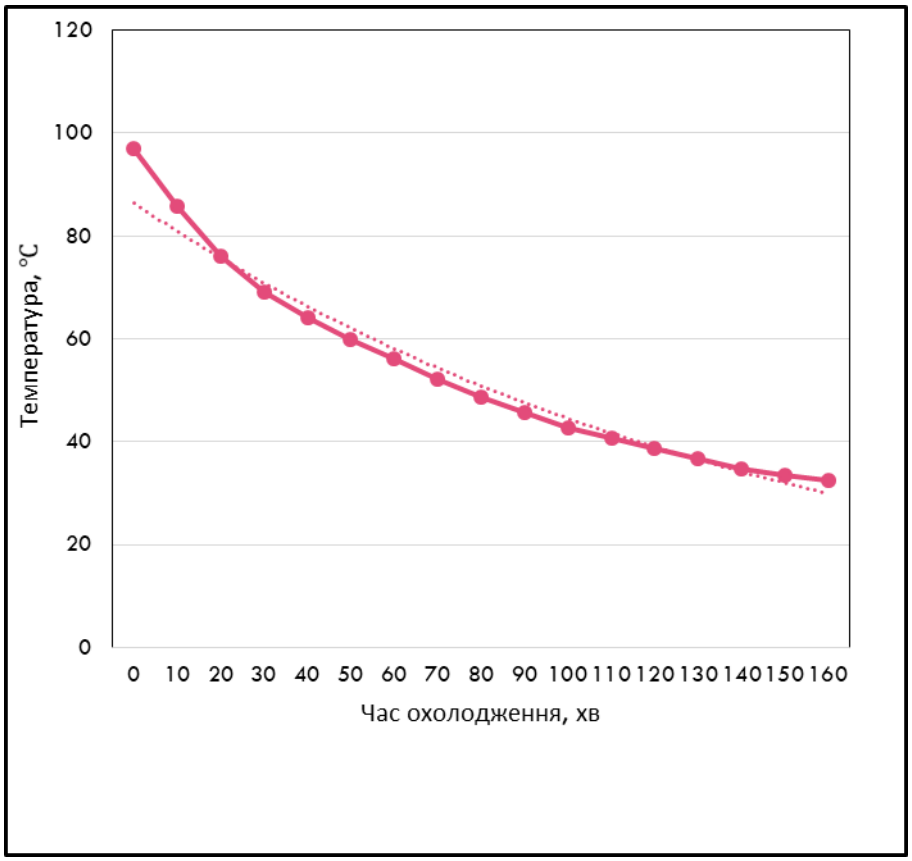


Рис. 3.1. Графік падіння температури виробу в часі, за природного способу охолодження

Під час процесу охолодження відбувається втрата маси продукту [9], і цей процес відомий як усихання [11]. Усихання визначається як зменшення ваги хліба під час охолодження та зберігання [11], спричинене випаровуванням вологи з поверхні хліба в навколишнє середовище [9]. Його можна розрахувати за допомогою формули [9]:

$$M_{ус} = \frac{M_{гх} - M_{ох}}{M_{гх}} \cdot 100\%, \text{ де}$$

$M_{гх}$- маса хліба одразу після випікання [9]

$M_{ох}$ – маса хліба після процесу охолодження [9].

Початкова вага батона складає 523 г [1]. Зменшення ваги спостерігається внаслідок падіння температури батона [11]. Протягом

перших 40 хвилин охолодження маса батона інтенсивно зменшувалася внаслідок усихання, і за цей час зменшилася до 517 г [1]. Після першої години охолодження процес зменшення маси став менш інтенсивним, і швидкість зменшення маси становила 1 г за кожні 20 хвилин [1]. Отже, вага охолодженого виробу становила 513 г [13].

$$M_{ус} = \frac{524-513}{524} \cdot 100 = 2{,}09\%$$

Графік, на якому відображено результати дослідження втрати маси внаслідок усихання, представлено на рис. 3.2.

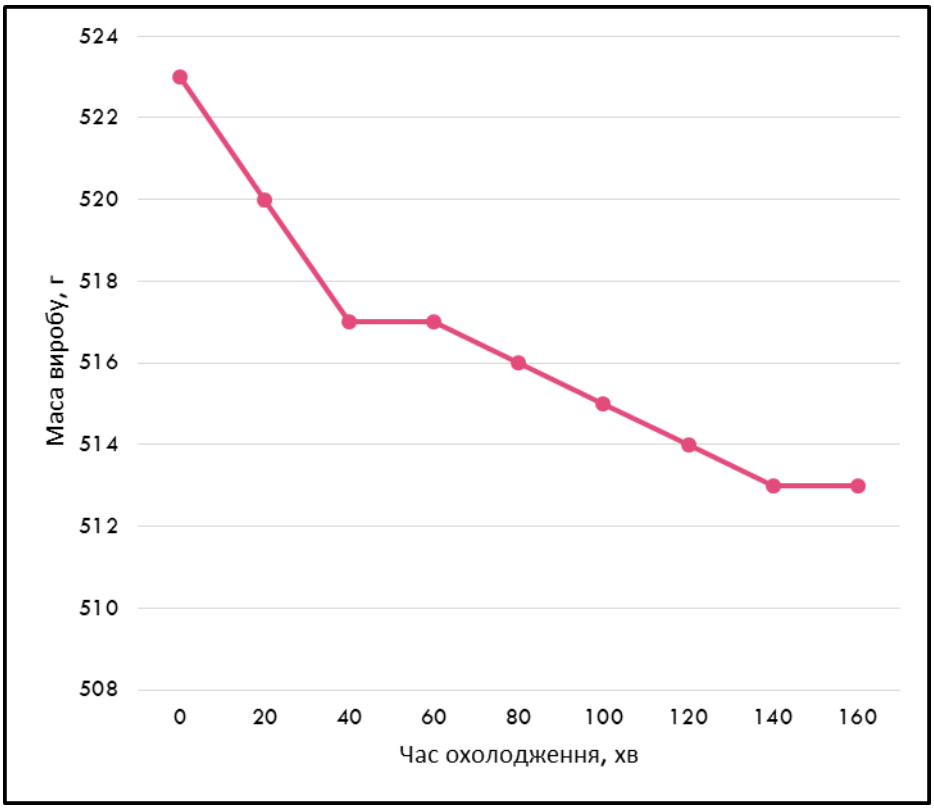


Рис. 3.2. Графік зменшення маси хліба в часі, за природнього способу охолодження

Після проведення експериментів у лабораторних умовах отримано наступні результати щодо часу охолодження, зменшення температури та маси батону відносно часу [13]. Отримані відомості були оброблені, і на їх основі були створені відповідні графіки залежностей [9].

Температура батону одразу після виходу з печі становила 98 °С [1]. Протягом перших 40 секунд хліб розміщували на лабораторному столі [13]. Для імітації умов, що можливі у майбутньому обладнанні, застосовувався вентилятор, при цьому температура потоку повітря складала - 16 °С [13].

У перші хвилини батон швидко охолоджувався, середня швидкість охолодження становила 1,5 - 2 °С [1]. Виріб швидко досягав готовності протягом перших 40 хвилин охолодження, після чого швидкість падіння температури зменшувалася [11]. Протягом перших 20 хвилин температура знизилася з 98 °С до 68,4 °С, а від 20-ї до 40-ї хвилини охолодження — з 71,3 °С до 54 °С [13]. Після 40 хвилин охолодження швидкість падіння температури середньому зменшувалася до 1,5-2 °С [13]. Загальний час охолодження до досягнення необхідної температури 30 °С склав 1 годину 40 хвилин [13]. Результати лабораторних досліджень відображені на рис. 3.3.

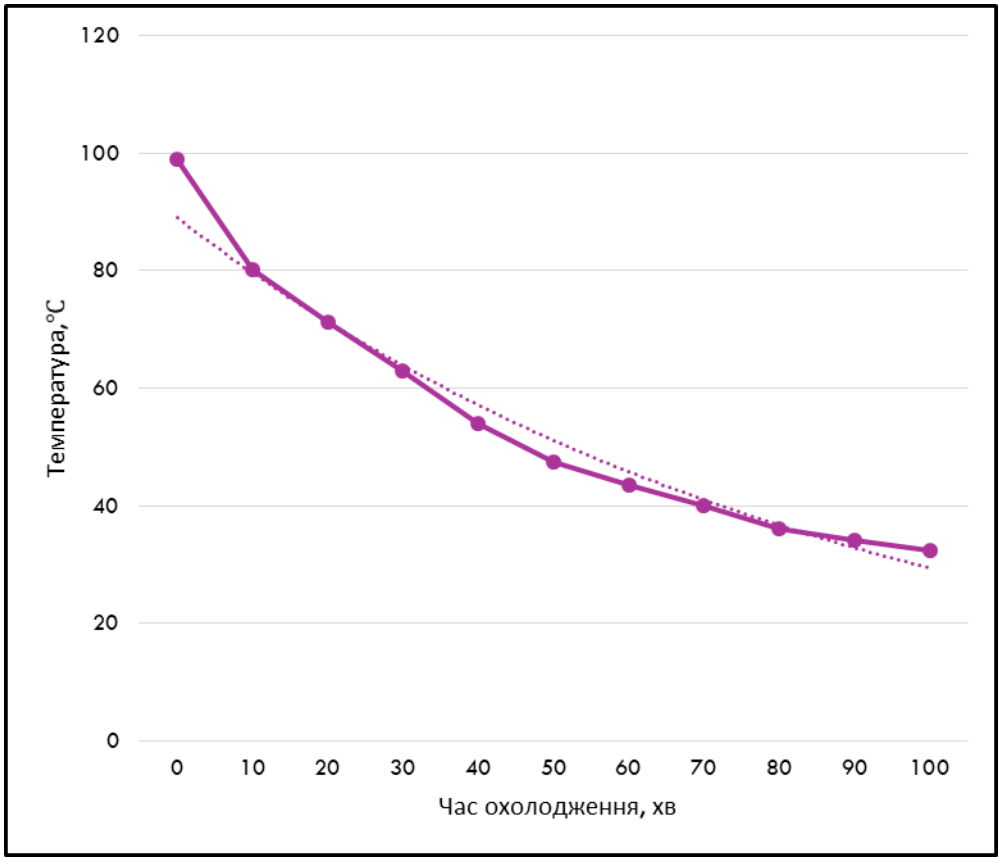


Рис. 3.3. Графік зміни температури хліба в часі, за використання кондиціованого потоку повітря

Ми провели дослідження відносно зміни маси батону під час процесу охолодження та визначили частку усихання [9]. Результати цих досліджень представлені на рис. 3.4.

Початкова маса батону після випікання становила – 522 г [1]. Зменшення маси відбувалося відповідно до температури батону [11]. Протягом перших 15 хвилин охолодження маса скоротилася на 3 г [11], після чого темп сповільнився, і до завершення процесу охолодження маса зменшилася ще на 1 г [11]. Загальна маса готового виробу після охолодження склала – 515 г [1].

$$M_{ус} = \frac{M_{гх} - M_{ох}}{M_{гх}} \cdot 100\%, \text{ де}$$

$M_{гх}$- маса свіжовипеченого хліба [9]

$M_{ох}$ – маса хліба після процнсу охолодження [9]

$$M_{ус} = \frac{523-515}{523} \cdot 100 = 1{,}52\%$$

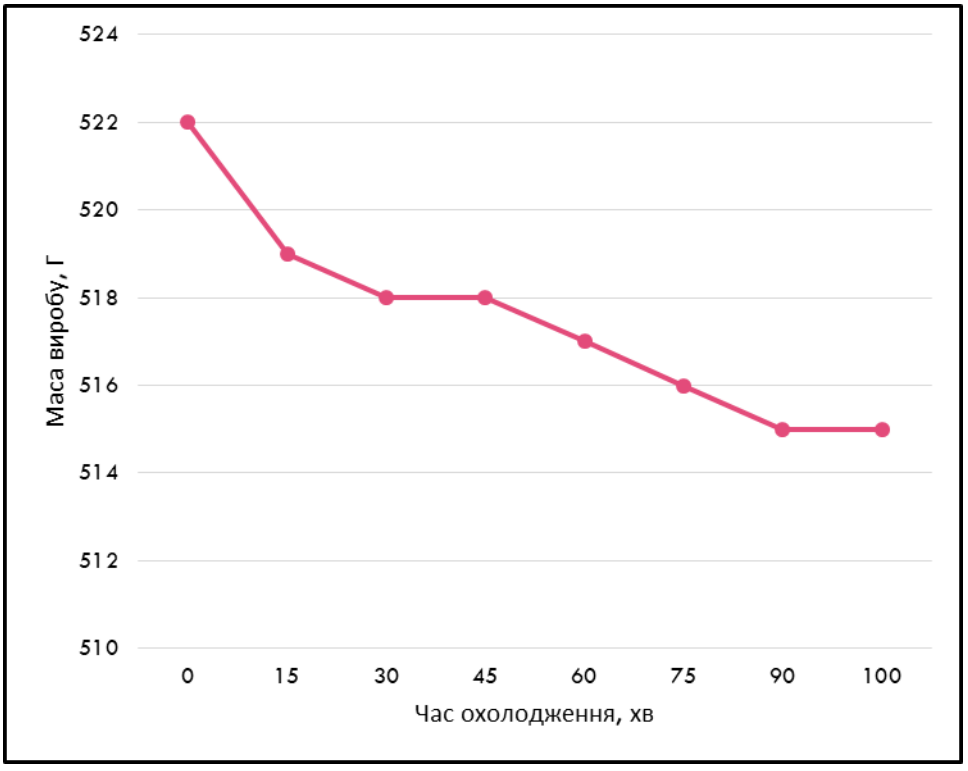


Рис. 3.4. Графік втрати маси батону від часу охолодження, при використанні кондиціованого повітря

Результати наших досліджень вказують на те, що природне охолодження є дуже тривалим і займає 2,5 години [1], при цьому частка усихання становить – 2,09% [9]. Використання кондиційованого повітря призводить до прискорення цього процесу [1], зменшуючи час охолодження до 1,5 годин, а також зменшуючи частку усихання до 1,52% [1].

На рис. 3.5. надано пошарову динаміку зміни температури свіжозавареного хліба [1], розташованого окремо від інших готових продуктів у приміщенні з температурою повітря від 24 до 26 °С [9].

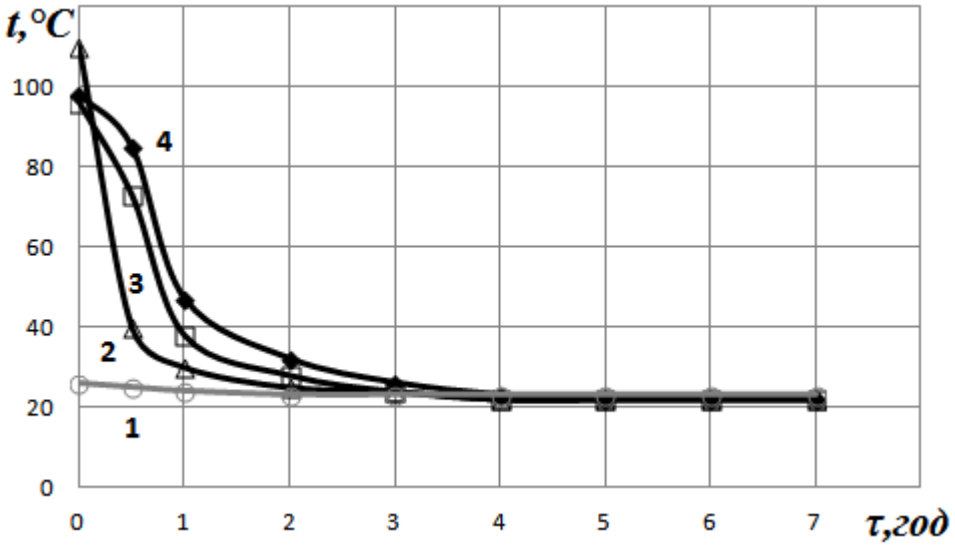


Рисунок 3.5. Динаміка зміни температури в різних шарах хліба під час процесу охолодження:1 – температура оточуючого середовища; 2 – температура зовнішнього шару (скоринки) 3 – температура підкіркового шару хліба; 4 – температура центральної частини хліба.

Температуру в різних шарах хліба ми вимірювали в трьох точках [13]: в точці № 1 - під скоринкою хліба, в точці № 2 - на відстані 3,5 мм від кірки хліба і в точці № 3 - в центрі хліба [13]. Різниця температур між поверхневими та центральними шарами м'якушки досягала максимальних значень у перші 40 хвилин охолодження [11], і з часом вирівнювалася протягом подальшого процесу охолодження хліба [9].

Внаслідок цього виникає градієнт температури, що призводить до переміщення вологи від центру м'якушки до кірки [11]. Температура м'якуша з часом стає трохи нижчою за температуру навколишнього середовища через процес випаровування вологи [13], який триває до досягнення температури приміщення, хоча із значно меншою швидкістю [13]. Тепло, яке витрачається на випаровування, вбирається з частини м'якушки, розташованої ближче до скоринки, а не з повітря [11]. Представлена на рисунку залежність ілюструє зміну температури різних шарів [13]. Використання традиційних методів охолодження призводить до значного збільшення тривалості процесу [13].

Негайно після виходу із печі відбувається втрата вологості усього хліба - усихання через випаровування [13]. Одночасно з цим відбувається перерозподіл вологи в готовому хлібі [9]. Кірка майже негайно знезводнюється після виходу хліба з печі; швидко охолоджується, і волога з м'якуша, через різницю в концентрації та температурі внутрішніх і зовнішніх шарів хліба, переходить до кірки, швидко збільшуючи її вологість [9]. Зміни температури та вологості кірки після випікання можна відслідкувати на рисунках 3.6 та 3.7 [13].

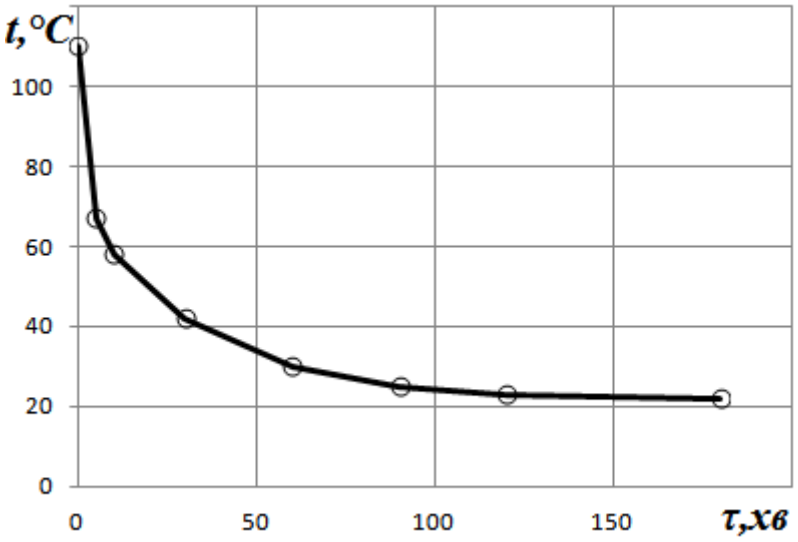


Рис. 3.6. Зміна температури хліба в процесі охолодження

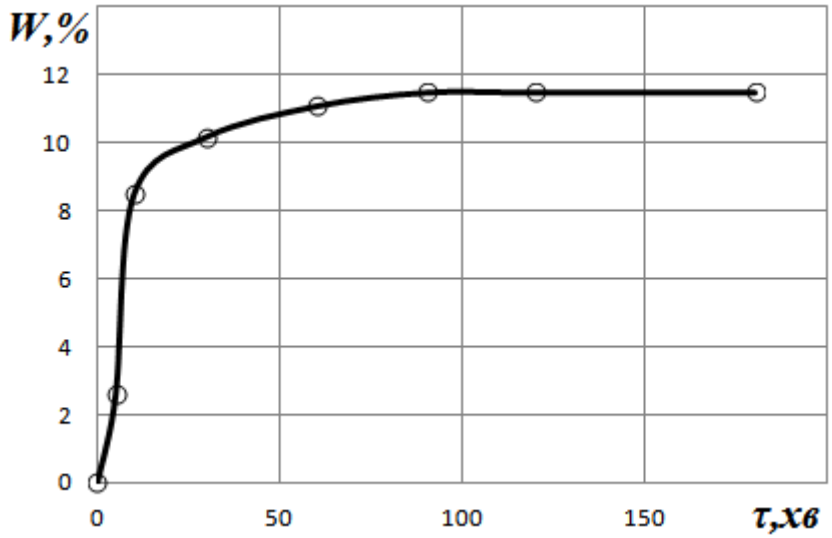


Рис. 3.7. Зміна вологості хліба в процесі охолодження

Процес охолодження скоринки та збільшення її вологості до 12% відбувається дуже швидко [9], і при такому рівні вологість скоринки залишається стабільною протягом подальшого охолодження хліба [13].

На діаграмі у рис. 3.8 наведено графік, який відтворює залежність і показує зміни вологості в центральній частині м'якуша [11], а також в шарі, який прилягає до скоринки [11].

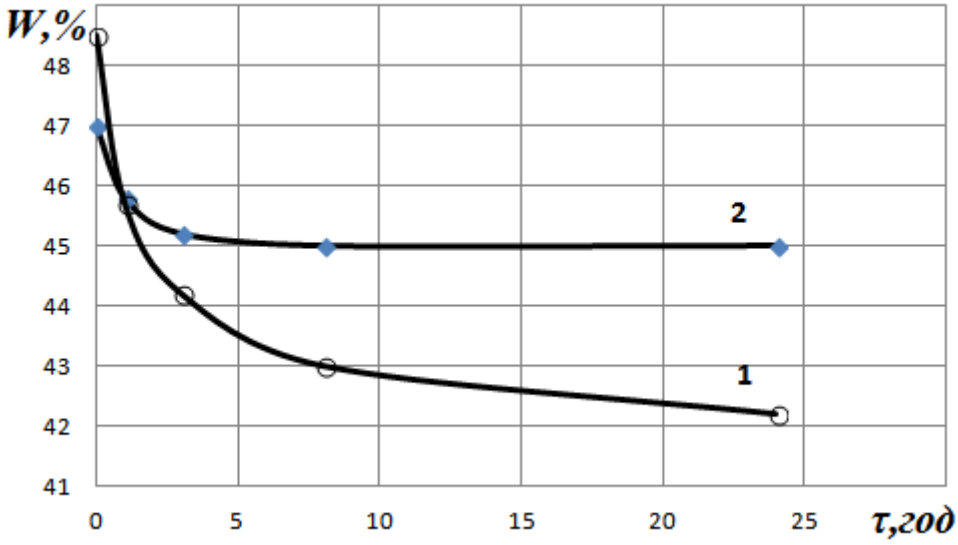


Рис. 3.8. Графік зміни вологості різних шарів м'якушки в процесі охолодження: 1 – підкірковий шар; 2 - центр м`якушки/

Отримані в ході експерименту дані свідчать, що через 5 хвилин після випікання вологість м'якуша [1], що примикає до скоринки, перевищує вологовміст центральної частини м'якуша [9]. Це явище пояснюється теплопровідністю під час процесу випікання від зони, що межує із скоринкою, до шарів м'якуша, які прилягають до кірки [13]. Протягом подальшого охолодження та зберігання хліба шар м'якуша [9], що прилягає до скоринки, втрачає вологовміст значно швидше, ніж центральна частина м'якуша [9].

Отже, процес охолодження хліба породжує утворення градієнту температури між скоринкою та м'якушем хліба [9], що виникає негайно після виходу батону з печі, має виражений характер [11], проте з часом втрачає свою виразність із збільшенням тривалості охолодження хліба [11]. Градієнт вологовмісту різко зменшується протягом перших кількох хвилин після початку охолодження за рахунок підвищення вологості скоринки [9], і водночас дуже повільно змінюється в подальшому процесі охолодження та зберігання готового виробу [9, 11].

Один з основних факторів, який визначає швидку зміну температури хліба до температури зберігання протягом першого періоду [1], є градієнт між температурою хліба та навколишнім середовищем [11]. Градієнт температури породжує перерозподіл вологи в скоринці [1, 11].

3.2. Створення математичної моделі для аналізу процесу нагрівання тістових заготовок циліндричної форми

Під час випікання за методом радіаційно-конвективного нагріву відбувається такий процес [21]: тістова заготовка прогрівається, супроводжуючись частковою втратою вологи [10]. Згідно з фізичною моделлю, була розроблена математична модель для прогріву заготовки [10].

Заготовку розглядають як циліндр з діаметром від 0.015 до 0.030 метрів [21], що є необмеженим тілом у формі циліндра [1]. Прогрів такого тіла має

особливості, пов'язані з його діаметром [10]. В зазначених межах діаметрів відбувається перехідна зона від тонких до масивних тіл [21]. Для заготовок з мінімальними значеннями діаметрів критерій Фур'є перевищує визначене значення для тістових заготовок дрібних виробів (Fo=0.01÷0.02) [21]. Для максимальних значень діаметру також відзначається перебільшення критерію Фур'є на початку процесу випікання [10, 21].

$$Fo = \frac{\alpha\tau}{R^2} = \frac{22 \cdot 10^{-8} \cdot 60}{0.0075^2} = 0.2347 \ .$$

Під час нестаціонарного процесу теплопередачі в необмеженому циліндрі з радіусом R та рівномірним розподілом початкової температури тепло передається на поверхню заготовки за допомогою конвекції та випромінювання [21].

Аналіз матеріалу щодо випромінювальної енергії призводить до формування об'ємного джерела тепла відповідно до закону Бугера [10], інтенсивність якого знижується вздовж поширення випромінювання [21].

$$q(r) = \mu(1-\omega)q_0 \exp(-\mu(R-r)),$$

r – радіус циліндра тіла, вимірюваний у метрах (м) [21]; q0 – густина потоку тепла, що направлено на (або сприймається) поверхню циліндра, виражена в джоулях на квадратний метр за секунду (Дж/(м²·с)) [21]; μ – коефіцієнт послаблення [21]; ω – коефіцієнт відбивання [21].

Процес прогріву виробів хлібобулочної групи описується диференціальним рівнянням теплопровідності в циліндричних координатах [10]:

$$\frac{\partial t(r,\tau)}{\partial \tau} = a\left[\frac{\partial^2 t(r,\tau)}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\cdot\frac{\partial t(r,\tau)}{\partial r}\right] + \frac{\mu}{c\rho}(1-\omega)q_0 \exp(-\mu(R-r)),$$

$$\tau > 0,$$

$$0 < r < R$$

Під час вирішення задачі з прогрівання тістової заготовки застосовується припущення про однорідність початкового розподілу температури, яку вважаємо початковою температурою [10]. Таким чином, граничні умови матимуть наступний вигляд [10]:

$$t(r,0) = const;$$

$$\frac{\partial t(0,\tau)}{\partial r} = 0; t(0,\tau) \neq \infty;$$

$$\lambda \frac{\partial t(R,\tau)}{\partial r} = \alpha(t_c(\tau) - t(R,\tau));$$

$$t(r,\tau) = f(\tau),$$

$$\tau > 0, \quad ,$$

$$0 \leq r \leq R$$

де $t(r,\tau)$ –поле температурициліндра, К; λ – коеф.теплопровідості, Вт/(м^2·К); a – коеф. температуропровідності, м^2/с; ρ – густина, кг/м^3; c – питома теплоємкість, Дж/(кг·К); α – коеф. тепловіддачі, Вт/(м^2·К).

Виходячи з попередніх умов а також вносячи наступні величини отримаємо рівняння і граничні умови для зміни температури [10]:

$$X = \frac{r}{R},\ Fo = \frac{\alpha \cdot \tau}{R^2}$$

$$\frac{\partial T(X,Fo)}{\partial Fo} = \frac{\partial^2 T(X,Fo)}{\partial X^2} + \frac{1}{X} \cdot \frac{\partial T(X,Fo)}{\partial X},$$

$$T(X,0) = 0;$$

$$\frac{\partial T(0,Fo)}{\partial X} = 0;$$

$$\frac{\partial T(1,Fo)}{\partial X} = -Bi(T(1,Fo) - \theta(Fo)),$$

де $Bi = \frac{\alpha R}{\lambda}$ – критерій Біо.

Використання рывняння Лапласа Fo' [21], L- температурне зображення T(X, Fo') визначається відношенням [10]:

$$L[T(X,Fo)] = \overline{T}(X,s) = \int_0^{\infty} T(X,Fo)\exp(-sFo)dFo.$$

При умові використавши р-ння Лапласа до р-ння маємо [10]:

$$s\overline{T}(X,s) = \frac{\partial^2 \overline{T}(X,s)}{\partial X^2} + \frac{1}{X}\cdot\frac{\partial \overline{T}(X,s)}{\partial X}.$$

Застосовуючи L-перетворення для р-нь маємо граничні умови [10]:

$$\frac{\partial \overline{T}(0,s)}{\partial X} = 0;$$

$$\frac{\partial \overline{T}(1,s)}{\partial X} = -Bi(\overline{T}(1,s) - \overline{\theta}(s)).$$

Переходимо від *s* до μ, додавши μ^2=-*s*. Рішенням стає наступна функція [10]:

$$\overline{T}(X,\mu) = AI_0(\mu X) + BK_0(\mu X),$$

де $I_0(\mu X)$, $K_0(\mu X)$ – ф-ції Бесселя першого та другого порядку [10]

Беручи до уваги обмеженість часу t на осі циліндра (r=0), а також $K_0(\mu X)=\infty$, отримаємо $B=0$ і з чого випливає [10]:

$$\overline{T}(X,\mu) = AI_0(\mu X).$$

З Рівняння знаходимо сталу *A* [10]:

$$\mu AI_1(\mu) = Bi(AI_0(\mu) - \overline{\theta}(\mu)),$$

,

де $I_1(z) = -I_0'(z)1$ – ф-я Бесселя першого роду та першого порядку. Звідки [21]:

$$A = \frac{\bar{\theta}(\mu)}{I_0(\mu) - \frac{\mu}{Bi} I_1(\mu)}.$$

Тоді

$$\bar{T}(X,\mu) = \bar{\theta}(\mu)\frac{I_0(\mu X)}{\Phi(\mu)},$$

де

$$\Phi(\mu) = I_0(\mu) - \frac{\mu}{Bi} I_1(\mu).$$

Перемножувач $\frac{I_0(\mu X)}{\Phi(\mu)} = W_\theta$ Відноситься до передавальної функції, яка описує зміну температурного поля тіла в залежності від зміни температури середовища. Оригінал передавальної функції [21].

$$G_{\theta,\tau'} = L^{-1}\left[\frac{I_0(\mu X)}{\Phi(\mu)}\right] = L^{-1}[W_\theta] = \sum_{m=1}^{\infty} B_m I_0(\mu_m X)\exp(-\mu_m{}^2 Fo),$$

де

$$B_m = \frac{2\mu_m Bi}{(1+Bi)I_1(\mu_m) + \mu_m I_1(\mu_m)} = \frac{2\mu_m{}^2 I_1(\mu_m)}{I_0(\mu_m) + I_1{}^2(\mu_m)},$$

μ_m – корні рівняння $\Phi(\mu)=0$ або $\frac{I_0(\mu_m)}{I_1(\mu_m)} = \frac{\mu_m}{Bi}$

використовуючи теорему добутку зображень [21], ми отримаємо розв'язок задачі, знаходячи оригінал [10]

$$T(X,Fo) = \int_0^{\tau} G_{\theta,\tau}(Fo - Fo')\theta(Fo')dFo';$$

$$T(X,Fo) = \int_0^{\tau}\sum_{m=1}^{\infty} B_m I_0(\mu_m X)\exp(-\mu_m{}^2(Fo - Fo'))\theta(Fo')dFo'.$$

Рівняння дозволяє розрахувати зміну температури циліндра в порівнянні з початковою та визначити температуру в будь-якій точці в будь-який момент часу [10]. Для обчислення цієї моделі ми скористаємося програмним комплексом Flowvision. Ефективні характеристики заготовок

[21], які визначено експериментально і представлено у вигляді графіків, враховують процеси масообміну під час прогрівання виробу [11].

Теплопровідність залежно від температури, Вт/(м·К) [21]:

$$\lambda(t)=\begin{cases}0.0068\cdot t+0.339 & \text{при } t=30\div 70^{\circ}C\\ \dfrac{1}{(55-0{,}533\cdot t)^{\frac{1}{2.9}}} & \text{при } t=70\div 100^{\circ}C\\ 0.055 & \text{при } t>100^{\circ}C\end{cases}$$

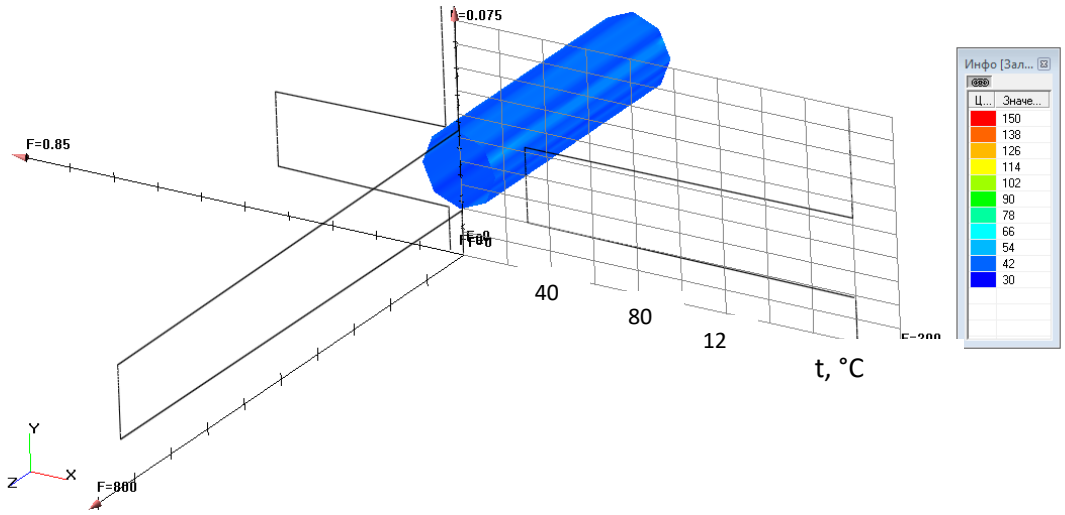
Теплоємкість тіста-хліба залежно від температури, кДж/(кг·К) [11]:

$$c(t)=\begin{cases}10^{0.1418+0.00694\,t} & \text{при } t=30\div 100^{\circ}C\\ 2.2 & \text{при } t>100^{\circ}C\end{cases}$$

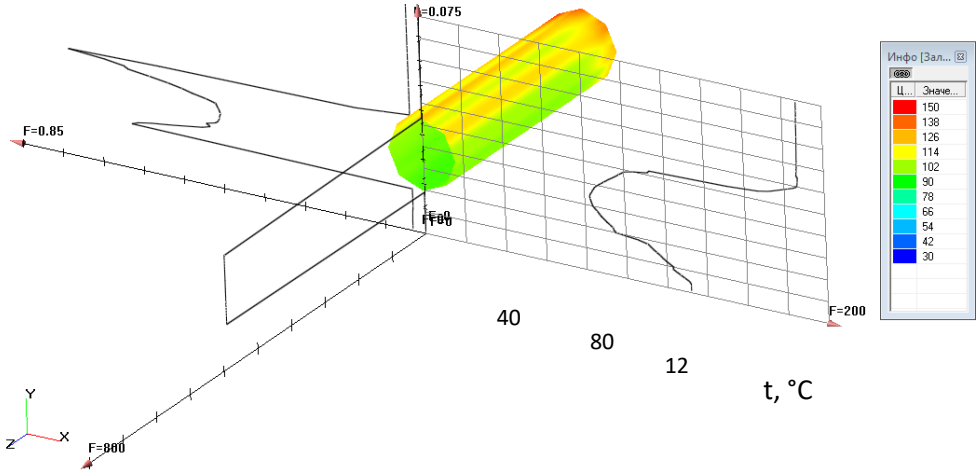
Густина зразка залежно від температури, кг/м^3 [10]:

$$\rho(t)=\begin{cases}-6.875t+952.5 & \text{при } t=30\div 70^{\circ}C\\ 470 & \text{при } t>70^{\circ}C\end{cases}$$

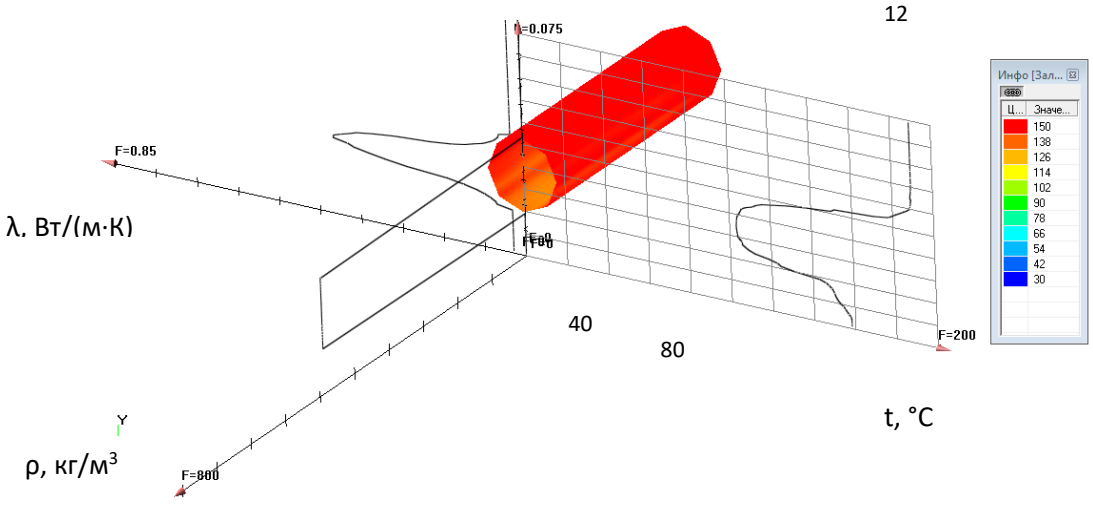
Результати числового моделювання процесу прогрівання циліндра з поперечним перерізом 24 мм при температурі робочої камери 190 ºС представлені на рис. 3.38 [11]. Геометричні параметри пекарської камери співпадають із фізичною моделлю [1]. На етапі початкового моменту експерименту (τ=0 с) (рис. 3.38 а) спостерігається однорідний (сталий) розподіл температури [10], густини і коефіцієнта теплопровідності в поперечному перерізі зразка [9]. Температура в пекарській камері становить 190 ºС [1], а характеристики середовища визначені для повітря при встановленій температурі [9]. Вплив теплового потоку викликає прогрів зразка із одночасною зміною його характеристик, які залежать від внутрішньої температури [21].


=0.075
F=0.85
40
80
12
t, °C
Инфо [Зал...
Ц...
Значе...
150
138
126
114
102
90
78
66
54
42
30
Y
X
Z
F=800

а


=0.075
F=0.85
40
80
12
t, °C
F=200
Инфо [Зал...
Ц...
Значе...
150
138
126
114
102
90
78
66
54
42
30
Y
X
Z
F=800

ρ, кг/м^3 б


12
=0.075
F=0.85
λ. Вт/(м·К)
40
80
F=200
t, °C
Инфо [Зал...
Ц...
Значе...
150
138
126
114
102
90
78
66
54
42
30
Y
ρ, кг/м3
F=800

В

Рис. 3.9. Результати обчислювального експерименту прогріву тістової заготовки в моменти часу τ, с: а – 0, б – 300, в – 600.

Температура, яку досягають прогріті шари зразка [10], відображена на рисунку 3.9 б, і це наочно відображає процес прогріву зразка протягом 300 секунд [9]. Завершення цього процесу відзначено досягненням температури 100 ºС в центрі зразка, що відбувається за умов, встановлених на 570 секундах (рисунок 3.9 в) [21].

Порівняння результатів обчислювального експерименту з експериментальними даними дозволяє зробити висновок щодо точності математичної моделі часу прогрівання зразка (рисунок 3.10) [10]. Різниця між результатами фізичних та обчислювальних досліджень не перевищує 5% [21].

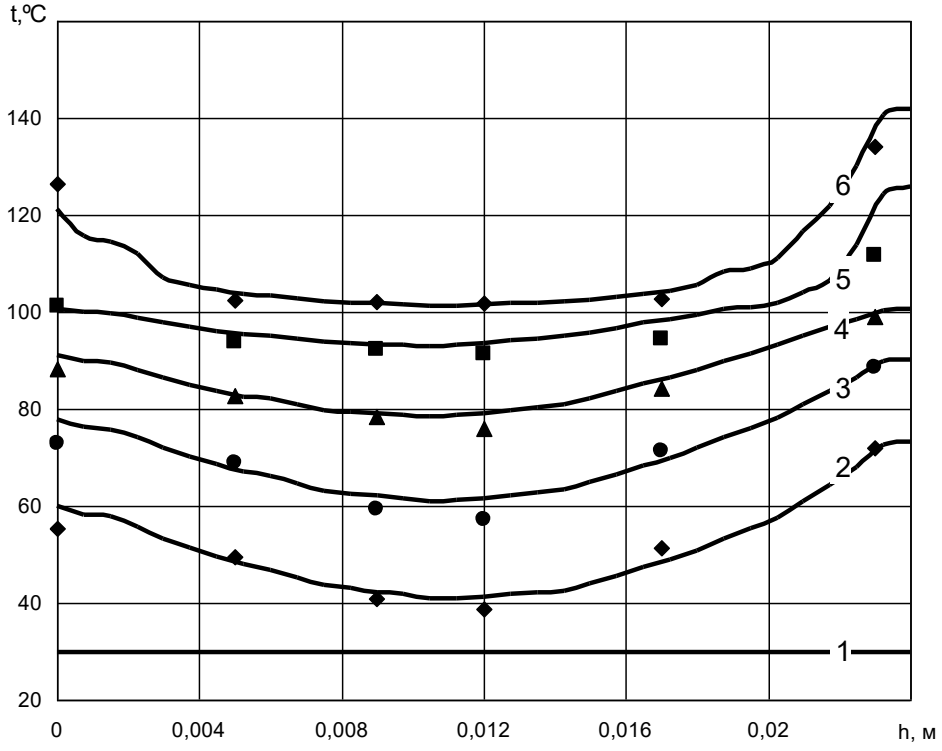


Рис. 3.10 Динаміка температурного розподілу тістової заготовки під час прогрівання циліндричної заготовки з діаметром 24 мм у лабораторній печі в моменти часу (хв): 1 - в початковий момент, 2 - 2, 3 - 4, 4 - 6, 5 - 8, 6 - 10.

Отримані результати експериментів та розрахунки математичної моделі прогріву циліндричного зразка з урахуванням швидкості ефективних теплофізичних характеристик дають можливість обґрунтувати оптимальні параметри режиму випічки [10]. З використанням розробленої математичної моделі ми провели розрахунки процесу охолодження готового хліба від 100°C до температури навколишнього повітря [9], спрощуючи процеси теплообміну для полегшення вирішення задачі [21]. Тепломасообмінна складова не враховувалася [13]. Початковий розподіл теплоти після завершення прогріву представлений на рисунку 3.11 [9].

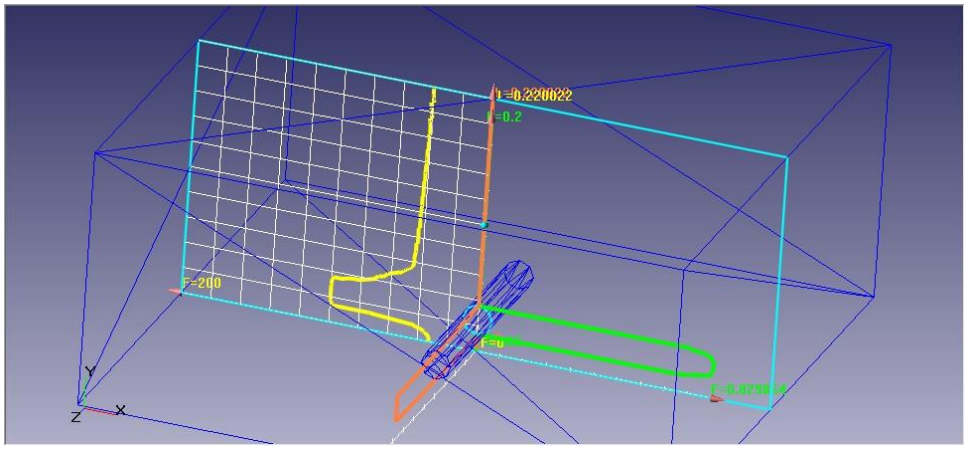


Рис.3.11. Початковий розподіл температури під час прогрівання

Рух частинок під час охолодження відображений на рис. 3.12, що демонструє втрату вологості продуктом під час процесу охолодження [13].

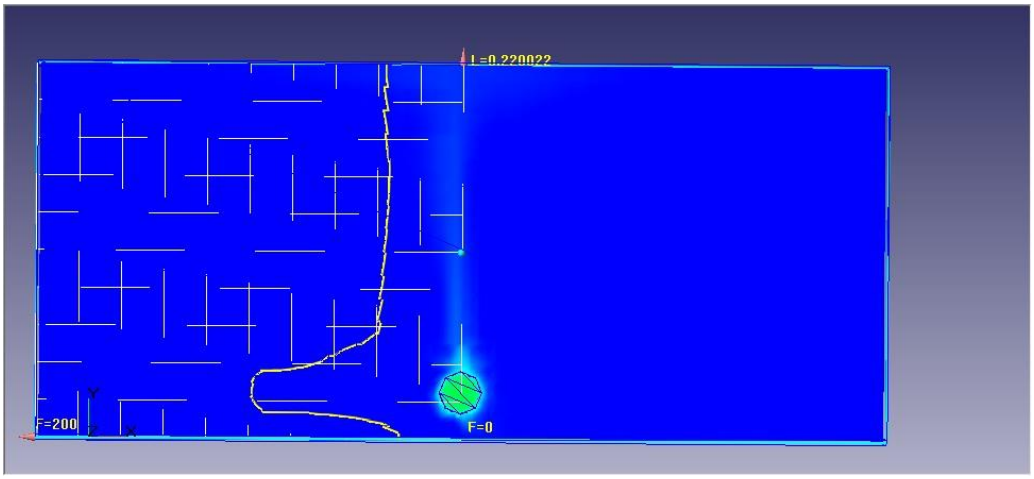
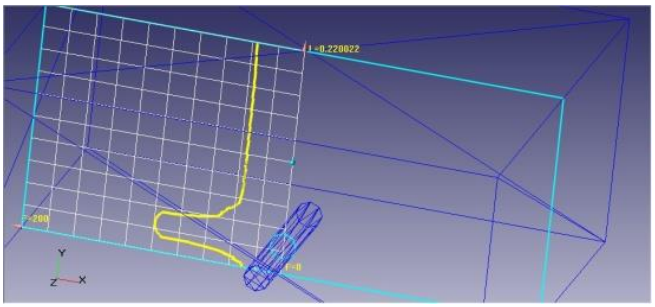
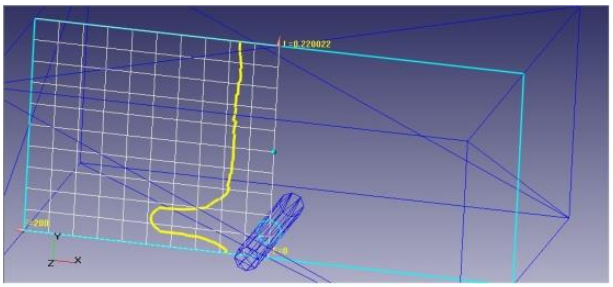


Рис. 3.12. Втрата вологи виробом в навколишнє середовище під час охолодження

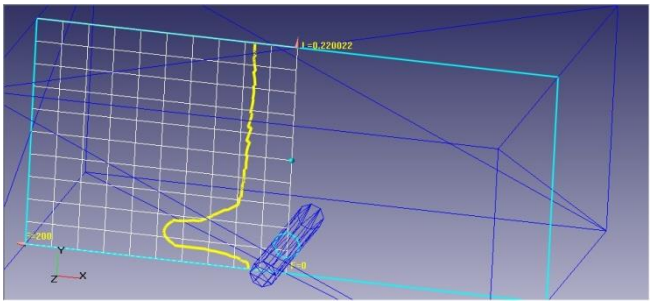
Результати обчислювального досліду охолодження хліба при різному часі охолодження (рис. 3.13) [1]



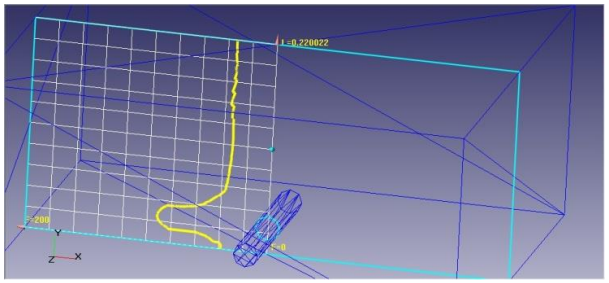
60с



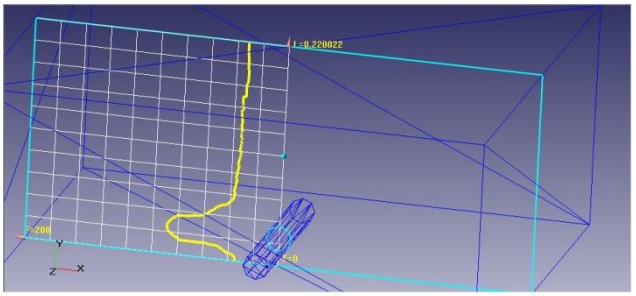
120с



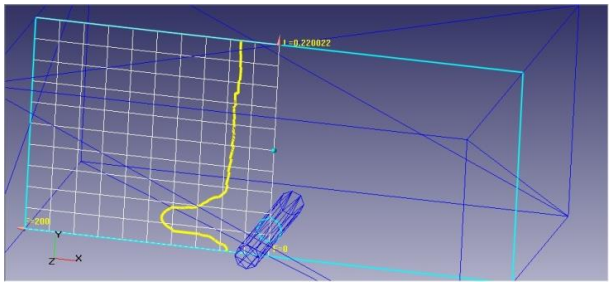
180с



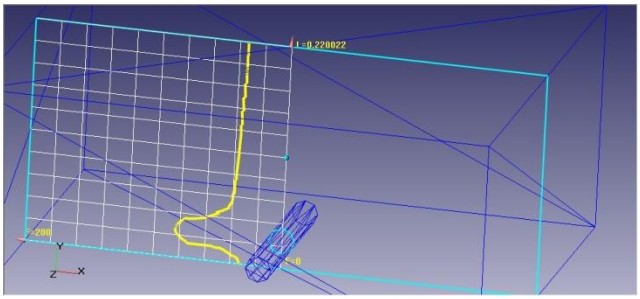
240с



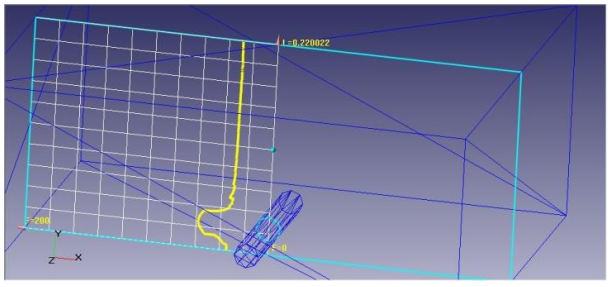
300с



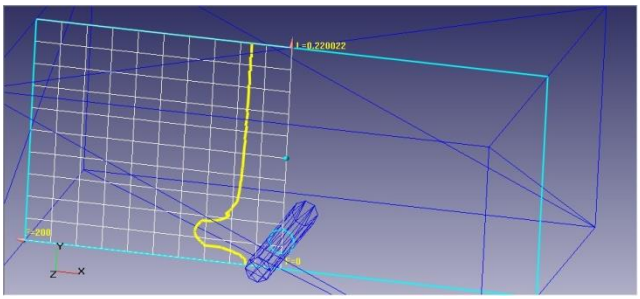
360с



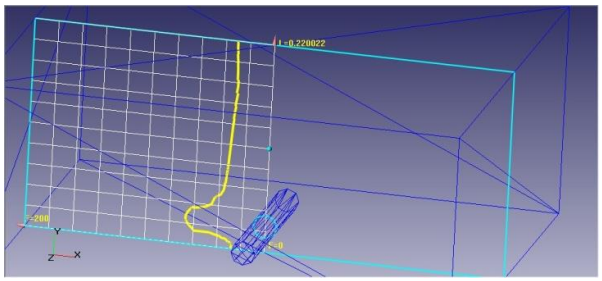
420с



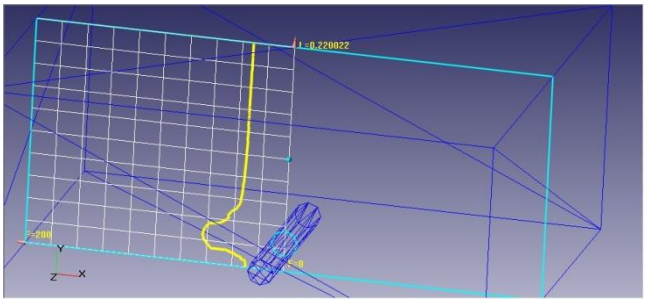
480с



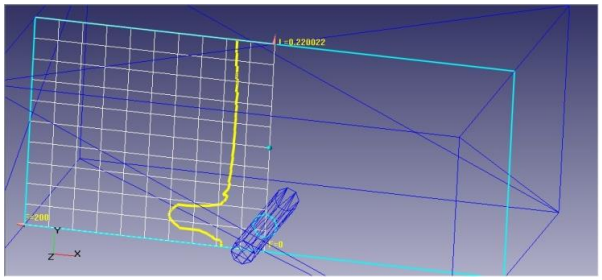
540с



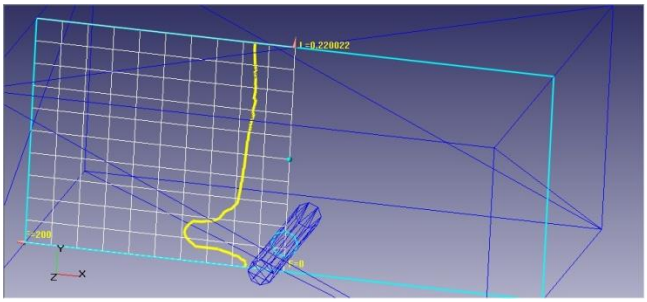
600с



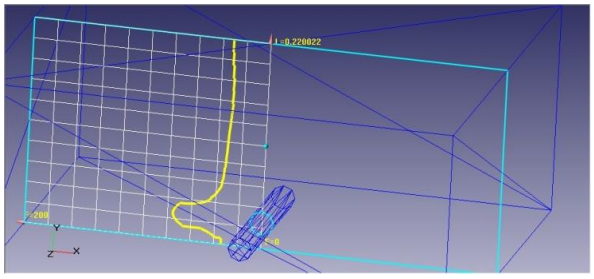
660с



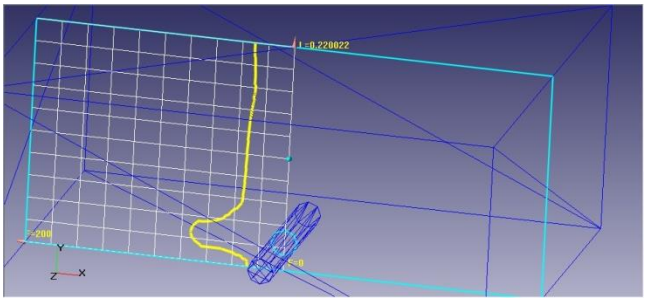
720с



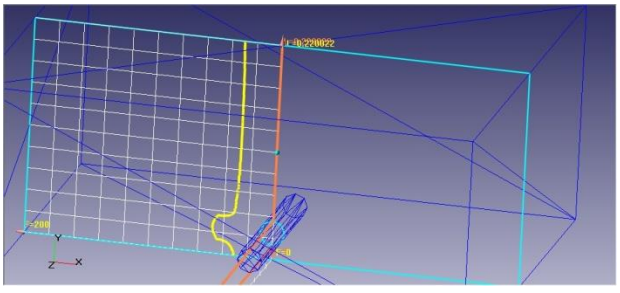
780с



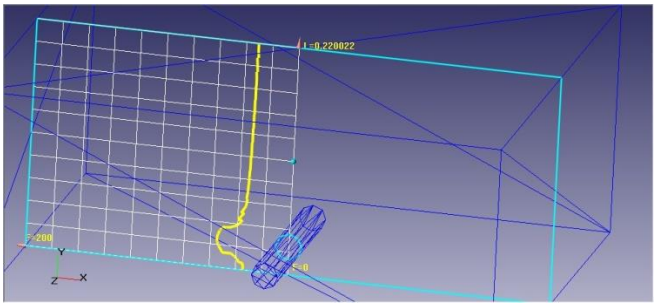
840с



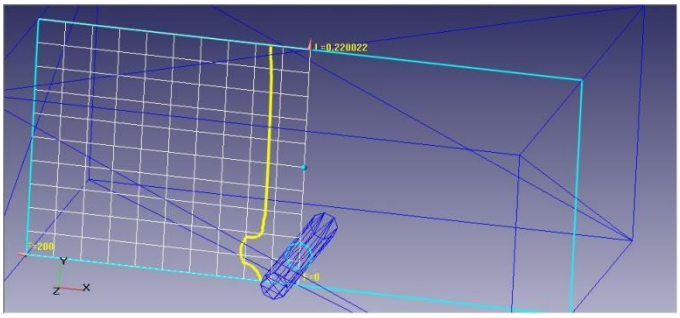
900с



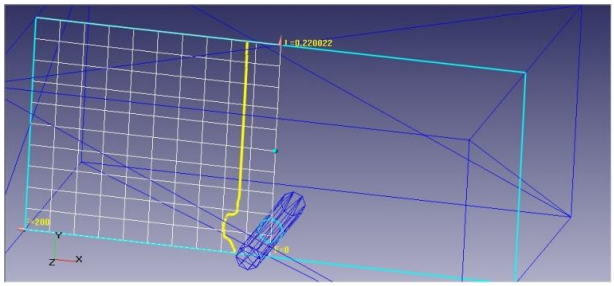
1080с



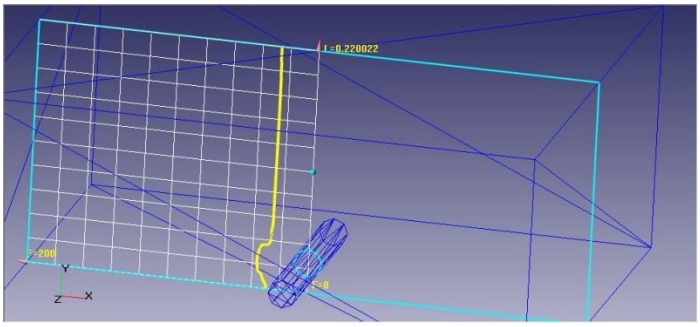
1200с



1500с



1800с



2100с

2300с

Рис.3.13. Результат обчислювального експерименту охолодження готових виробів за різної тривалості

Виконані розрахунки підтверджують точність математичної моделі процесу випікання та охолодження, при цьому відхилення у отриманих даних не перевищує 5% [10]. Включення в модель тепломасообмінних процесів сприяє підвищенню точності розрахунків завдяки урахуванню ефекту фазового переходу вологи [13].

РОЗДІЛ 4. СТРУКТУРА ТА ПРИНЦИП ФУНКЦІОНУВАННЯ РОЗРОБЛЕНОГО КОНСТРУКТИВНОГО РІШЕННЯ

4. 1. Функціональний принцип роботи розробленого конструктивного рішення

В моєму дослідженні пропонується конструкція спірального конвеєрного кулера [9], яка включає ідею використання двох кулерів [6]. Ця конструкція спрямована на досягнення компактних габаритів [5], усунення складних стрічкових з'єднань та виключення необхідності ручної праці для процесу охолодження [5]. Структура розробленої конструкції представлена на рисунку 4.1.

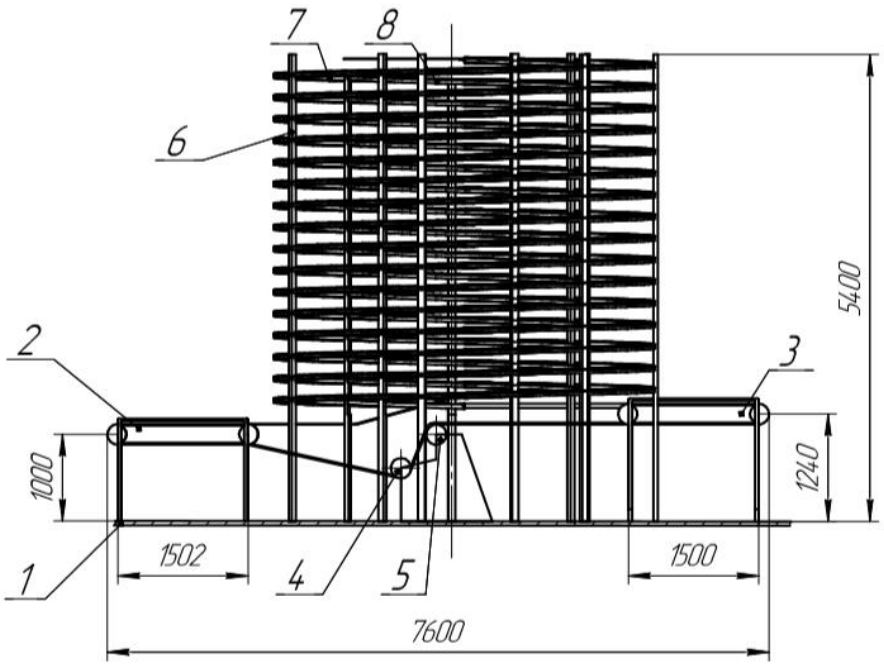


Рис. 2.1 Спіральний кулер для охолодження хліба

1 – конвеєр стрічковий; 2 – транспортер стрічковий 1; 3 – транспортер стрічковий 2; 5 – зірочка натяжна 1; 5 – зірочка натяжна 2; 6 – рама; 7 – спіраль зовнішня; 8 – спіраль внутрішня.

По транспортеру 2 хліб рухається вгору по зовнішній спіралі 7 [5], тоді як по внутрішній спіралі 8 він спускається вниз і [6], пройшовши через транспортер 3, подається на упаковку [11]. Натяг забезпечується за допомогою натяжних зірочок 4 та 5 [5]. Стрічка рухається по направляючим, які, підтримуючись опорами, формують раму 6 [6].

Для визначення габаритних розмірів обладнання необхідно провести розрахунки його продуктивності [5], яка виступає ключовим техніко-економічним показником [5]. Розрахунок продуктивності спірального кулера буде базуватися на показниках продуктивності тунельної печі марки БН 50 [9]. Продуктивність такої печі визначається кількістю виробів у кілограмах [5], яку можна виготовити протягом 1 години чи доби [6]. Важливо відзначити, що піч БН-50 призначена для випічки різноманітних хлібних виробів і входить до складу механізованих та комплексно-механізованих ліній [1, 11].

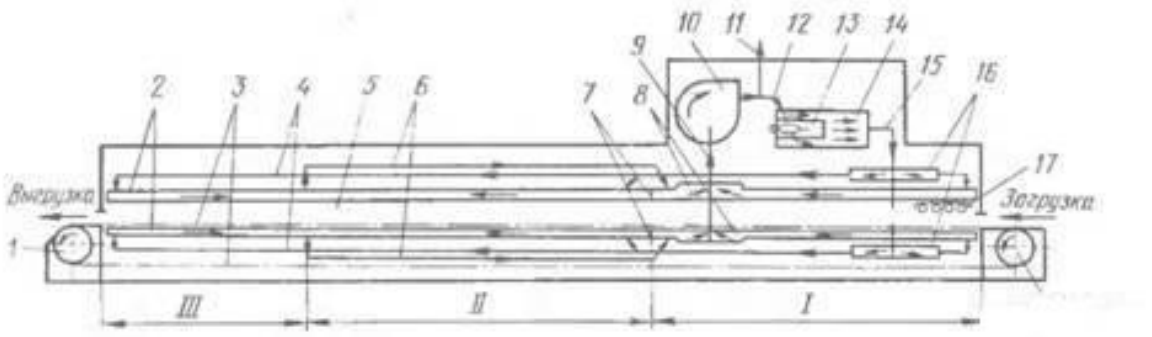


Рис.4.2. Схема печі марки БН-50:1- привідний механізм; 2, 4, 6, 8, 9, 12, 15. 16 - нагрівні та розподіляючі канали; 3 - під конвеєрного типу; 5 -робоча камера; 7 - перегородка в каналі; 10 - вентилятор; 11 – димохід; 13 - топка; 14 - камера змішування; 17 - пристрій парозволоження; 18 - натяжний механізм.

Технічна характеристика печі БН-50:

Розміри(мм):

$S_{поду}$=50 кв/м; L=24000 мм; a = 30 мм; l = 280 мм; B = 2100 мм; b = 110 мм;

a_1= 30 мм;

Для Для розрахунку розміру спірального кулера слід почати з визначення загальної довжини транспортера [5]:

$$L_k = \left(\frac{P_п \cdot b \cdot l}{g}\right) \cdot \frac{\tau_{ох}}{B_k} = \left(\frac{0{,}161 \cdot 0{,}31 \cdot 0{,}12}{0{,}513}\right) \cdot \frac{14400}{0{,}48} = 350{,}2\text{м},$$

де

P_n – розрахункова продуктивність печі, кг/с [6];
l – довжина однієї хлібини, м [6];
g – маса однієї хлібини, кг [6];
$\tau_{ох}$ – тривалість охолодження, с [6];
B_k – корисна ширина стрічки спірального кулера, м [6];

Продуктивність печі за формуллою [5]:

(4.2)

$$P_п = \frac{n \cdot g}{\tau_{вип}} = \frac{474 \cdot 0{,}510}{1500} = 0{,}161 \frac{кг}{с},$$

де

n – кількість виробів що одночасно знаходяться на поді, шт [5];
$\tau_{вип}$ - час випікання, с [5];

(4.3)

$$n = N_1 \cdot N_2 = 6 \cdot 79 = 474\text{шт},$$

де

N_1, N_2 – відповідно кількість виробів що одночасно знаходяться на поді по ширині та довжині, шт [6]

(4.4)

$$N_1 = \frac{B - a}{l + a} = \frac{2.1 - 0.03}{0{,}31 + 0.03} = 6\text{шт},$$

де

B – ширина поду, м [1];
l – довжина виробу, м [1];
a – відступ між виробами, м [1];

(4.5)

$$N_2 = \frac{L - a}{b + a} = \frac{24 - 0{,}03}{0{,}12 + 0{,}03} = 79\text{шт},$$

де

L – довжина поду печі, м [5];

b – ширина хлібини, м [5];

Продуктивність кулера розрахуємо по формулі [11]:

$$P_k = \frac{n_k \cdot N_k \cdot g}{\tau_{ox}} = \frac{4 \cdot 68 \cdot 0{,}513}{4} = 34{,}9 \frac{кг}{год},$$

де

n_k – кількість виробів по ширині стрічки кулера, шт [11];

N_k – кількість виробів по довжині стрічки кулера, шт [11];

$$n_k = \frac{B_k}{b} = \frac{0{,}48}{0{,}12} = 4шт\ ,$$

$$N_k = \frac{L_{заг}}{l} = \frac{21{,}09}{0{,}31} = 68шт\ ,$$

Вичислимо швидкість руху стрічки [9]:

(4.9)

$$\vartheta = \frac{L_k}{\tau_{ox}} = \frac{350{,}2}{14400} = 0{,}02 \frac{м}{с}\ ,$$

Розрахунковао кількість ярусів [9]:

(4.10)

$$z = \frac{L_k}{L_{заг}} = \frac{350{,}2}{21{,}09} = 16{,}6 \approx 17шт\ ,$$

де

$L_{заг}$ – довжина одного кола стрічки, м [8];

(4.11)

$$L_{заг} = L_1 + L_2 = 9{,}18 + 11{,}91 = 21{,}09м\ ,$$

де

L_1, L_2 – відповідно довжина одного кола меншого та більшого кола стрічки, м [11];

(4.12)

$$L_2 = \frac{L_{min} + L_{max}}{2} = \frac{10{,}05 + 13{,}78}{2} = 11{,}91м\ ,$$

де

L_{min}, L_{max} – відповідно мінімальна та максимальна довжина одного круга більшого кулера, м [11];

(4.13)

$$L_{min} = \pi \cdot D_1 = 3{,}14 \cdot 3{,}2 = 10{,}05\text{м} ,$$

де

D_1 – внутрішній діаметр більшого кола, м [11];

(4.14)

$$D_1 = d_2 + 0{,}2 = 3 + 0{,}2 = 3{,}2\text{м} ,$$

де

d_2 – зовнішній діаметр меншого кола, м [13];
0,2 – зазор між меншим і більшим колом, м [13];

(4.15)

$$L_{max} = \pi \cdot D_2 = 3{,}14 \cdot 4{,}39 = 13{,}78\text{м} ,$$

де

D_2 – зовнішній діаметр більшого кола, м [13];

(4.16)

$$D_2 = D_1 + c = 3{,}2 + 1{,}19 = 4{,}39\text{м} ,$$

де

c – ширина конвеєра враховуючи установчі розміри, м [13];

(4.17)

$$c = d_2 - d_1 = 3 - 1{,}81 = 1{,}19\text{м} ,$$

де

d_1 – внутрішній діаметр меншого кола, м [9];

Визначимо розрахункову висоту конструкції [6]:

(4.18)

$$h = z \cdot a = 17 \cdot 0{,}3 = 5{,}1 \approx 5\text{м} ,$$

де

a – відстань між ярусами, м [6];

4.2. Розрахунки параметрів кінематики

На рис. 2.2.1 показано кінематичну схему приводу кулера спіральноготипу [7].

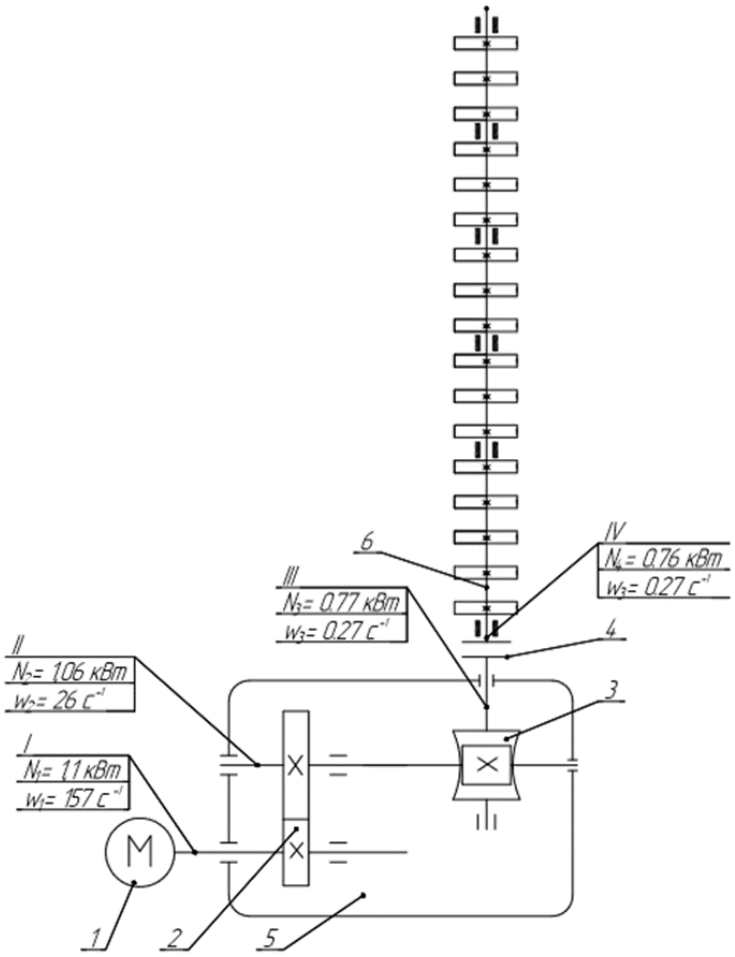


Рис. 4.1. Кінематична схема приводу кулера спіральноготипу.

1 – двигун; 2 – передача зубчата; 3 – передача черв'ячна; 4 – муфта; 5 корпус редуктора; 6 – приводний вал.

Необхідна потужність на валу приводу [5]:

(4.19)

$$P_{\text{вих}} = F \cdot \vartheta = \ 15 \cdot 0.02 = 0.3 \text{ кВт},$$

де

F – тягове зусилля що на вихідному валу [5], F = 15 кН;

v – задана швидкість стрічки транспортера [5], v = 0.02 м/с.

розрахункова потужність електродвигуна [7]:

(4.20)

$$P_e = \frac{P_{\text{вих}}}{\eta_{\text{заг}}} = \frac{0{,}3}{0{,}7} = 0{,}4 \text{ кВт},$$

де

$\eta_{заг}$ –ККД приводу [7];

(4.21)

$$\eta_{\text{заг}} = \eta_{\text{п}}^4 \cdot \eta_{\text{з.п}} \cdot \eta_{\text{ч.п}} \cdot \eta_{\text{м}} = 0{,}99^4 \cdot 0{,}98 \cdot 0{,}75 \cdot 0{,}99 = 0{,}7$$

де

$\eta_{п}$ – ККД підшипників [7], $\eta_{п}$ = 0,99;

$\eta_{з.п}$ – ККД зубчастої передачі [7]? $\eta_{з.п}$ = 0,98;

$\eta_{ч.п}$ – ККД черв'ячної передачі [7], $\eta_{ч.п}$ = 0,75;

$\eta_{м}$ - ККД муфти [7], $\eta_{м}$ = 0,99.

Частота обертання електродвигуна [9]:

(4.22)

$$\eta_{\text{заг}} = \eta_{\text{п}}^4 \cdot \eta_{\text{з.п}} \cdot \eta_{\text{ч.п}} \cdot \eta_{\text{м}} = 0{,}99^4 \cdot 0{,}98 \cdot 0{,}75 \cdot 0{,}99 = 0{,}7$$

де

$\eta_{п}$ – ККД підшипників, $\eta_{п}$ = 0,99;

$\eta_{з.п}$ – ККД зубчастої передачі $\eta_{з.п}$ = 0,98;

$\eta_{ч.п}$ – ККД черв'ячної передачі, $\eta_{ч.п}$ = 0,75;

$\eta_{м}$ - ККД муфти, $\eta_{м}$ = 0,99.

Швидкість на вихідному валу [6]:

(4.23)

$$n_4 = \frac{60000 \cdot \vartheta}{\pi \cdot D} = \frac{60000 \cdot 0.02}{3.14 \cdot 150} = 2.6 \text{ хв}^{-1},$$

де

D – діаметр зірочки [11], D = 150 мм.

беремо двигун 4А80А4У3 [18], n = 1500 хв$^{-1}$, N = 1.1 кВт.

Вираховуємо частоту обертання, потужність, крутний момент на всіх валах [18].

Вал № I

Частота обертання [9]:

(4.24)

$$n_1 = \frac{n_{дв} \cdot 2\pi}{60} = \frac{1500 \cdot 2 \cdot 3{,}14}{60} = 157 \text{ с}^{-1}.$$

Потужність:

(4.25)

$$N_1 = N_д = 1.1 \text{ кВт}.$$

Крутний момент:

(4.26)

$$M_1 = \frac{N_1}{n_1} = \frac{1100}{157} = 7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Вал № II

Частота обертання [6]:

(4.27)

$$n_2 = \frac{n_1}{u_{з.п}} = \frac{157}{6} = 26 \text{ с}^{-1}.$$

Потужність [5]:

$$N_2 = N_1 \cdot \eta_п \cdot \eta_{з.п} = 1.1 \cdot 0{,}99 \cdot 0{,}98 = 1{,}06 \text{ кВт}.$$

Крутний момент [5]:

(4.29)

$$M_2 = \frac{N_2}{n_2} = \frac{1060}{26} = 40.7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Вал № III

Частота обертання [19]:

(4.30)

$$n_3 = \frac{n_2}{u_{\text{ч.п}}} = \frac{26}{96} = 0{,}27 \text{ с}^{-1}.$$

Потужність [[20]:

(4.31)

$$N_3 = N_2 \cdot \eta_{\text{п}}^3 \cdot \eta_{\text{з.п}} = 1{,}06 \cdot 0{,}99^3 \cdot 0{,}75 = 0{,}77 \text{ кВт}.$$

Крутний момент:

(4.32)

$$M_3 = \frac{N_3}{n_3} = \frac{770}{0{,}27} = 2851{,}8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Вал № IV

Частота обертання [20]:

(4.33)

$$n_4 = \frac{n_3}{u_{\text{м}}} = \frac{0{,}27}{1} = 0{,}27 \text{ с}^{-1}.$$

Потужність [20]:

(4.34)

$$N_4 = N_3 \cdot \eta_{\text{м}} = 0{,}77 \cdot 0{,}99 = 0{,}76 \text{ кВт}.$$

Крутний момент [20]:

(4.35)

$$M_4 = \frac{N_4}{n_4} = \frac{760}{0{,}27} = 2814{,}8\ \text{Н} \cdot \text{м}.$$

Таблиця 2.1

Зведена таблиця навантаження що діє на вали [19, 20].

№ валу.	Потужність N, кВт.	Крутний момент М, Н·м.	Частота обертання n, $с^{-1}$
I	1,1	7	157
II	1,06	40,7	26
III	0,77	2851,8	0,27
IV	0,76	2814,8	0,27

4.3.Розрахунок валу

З кінематичного розрахунку нам стало відомо про те,що крутний момент на привідному валу становить [20]:

$$\text{М}_{\text{кр}} = 2814{,}8\text{Н} \cdot \text{м}$$

Враховуючи конструкцію привідного валу, розподіляємо загальний крутний момент між усіма зубчастими колесами на валу [21]. Звідси:

M_1 = 849,96 Н·м; M_2 = 590,73 Н·м; M_3 = 413,5 Н·м; M_4 = 289,4 Н·м; M_5 = 202,641 Н·м; M_6 = 141,84 Н·м; M_7 = 99,26 Н·м; M_8 = 69,51 Н·м; M_9 = 48,66 Н·м; M_{10} = 34,06 Н·м; M_{11} = 23,84 Н·м; M_{12} = 16,69 Н·м; M_{13} = 11,69 Н·м; M_{14} = 8,1 Н·м; M_{15} = 5,75 Н·м; M_{16} = 4,02 Н·м; M_{17} = 2,8 Н·м.

обчислюємо сили, які діють на вал [18]. Ці сили виникають при контакті зубчастих коліс привідного валу зі стрічкою спірального кулера [21]:

$$F_{t_1} = \frac{2 \cdot M_1}{d_\omega} = \frac{2 \cdot 849.96}{0.144} = 11805\ \text{Н},$$

де

F_{t1} – колова сила у зчеплені, Н [21];

d_w – діаметр колеса, м [21].

(2)

$$F_{r_1} = F_{t_1} \cdot \tan(\alpha) = 11805 \cdot \tan(20°) = 4296 \text{ Н},$$

де

F_{r1} – радіальна сила у зчеплені, Н [22];

α – кут зчеплення [22],

$$F_{t2} = \frac{2 \cdot M_2}{d_\omega} = \frac{2 \cdot 590{,}73}{0.144} = 8204{,}58 \text{ Н},$$

$$F_{r_2} = F_{t_2} \cdot \tan(\alpha) = 8204{,}58 \cdot \tan(20°) = 4296 \text{ Н},$$

$$F_{t_3} = \frac{2 \cdot M_3}{d_\omega} = \frac{2 \cdot 413{,}5}{0.144} = 5743 \text{ Н},$$

$$F_{r_3} = F_{t_3} \cdot \tan(\alpha) = 5743 \cdot \tan(20°) = 4296 \text{ Н},$$

$$F_{t_4} = \frac{2 \cdot M_4}{d_\omega} = \frac{2 \cdot 289{,}4}{0.144} = 4019 \text{ Н},$$

$$F_{r_4} = F_{t_4} \cdot \tan(\alpha) = 4019 \cdot \tan(20°) = 1446{,}8 \text{ Н},$$

$$F_{t_5} = \frac{2 \cdot M_5}{d_\omega} = \frac{2 \cdot 202{,}641}{0.144} = 2814{,}45 \text{ Н},$$

$$F_{r_5} = F_{t_5} \cdot \tan(\alpha) = 2814{,}45 \cdot \tan(20°) = 1013{,}202 \text{ Н},$$

$$F_{t_6} = \frac{2 \cdot M_6}{d_\omega} = \frac{2 \cdot 141.84}{0.144} = 1970 \text{ Н},$$

$$F_{r_6} = F_{t_6} \cdot \tan(\alpha) = 1970 \cdot \tan(20°) = 709.2 \text{ Н},$$

$$F_{t_7} = \frac{2 \cdot M_7}{d_\omega} = \frac{2 \cdot 99.26}{0.144} = 1378.61 \text{ Н},$$

$$F_{r_7} = F_{t_7} \cdot \tan(\alpha) = 1378 \cdot \tan(20°) = 496.3 \text{ Н},$$

$$F_{t_8} = \frac{2 \cdot M_8}{d_\omega} = \frac{2 \cdot 69.51}{0.144} = 965.42 \text{ Н},$$

$$F_{r_8} = F_{t_8} \cdot \tan(\alpha) = 965.42 \cdot \tan(20°) = 347.55 \text{ Н},$$

$$F_{t_9} = \frac{2 \cdot M_9}{d_\omega} = \frac{2 \cdot 48.66}{0.144} = 675.83 \text{ Н},$$

$$F_{r_9} = F_{t_9} \cdot \tan(\alpha) = 675.83 \cdot \tan(20°) = 243.3 \text{ Н},$$

$$F_{t_{10}} = \frac{2 \cdot M_{10}}{d_\omega} = \frac{2 \cdot 34.06}{0.144} = 473.06 \text{ Н},$$

$$F_{r_{10}} = F_{10} \cdot \tan(\alpha) = 473.06 \cdot \tan(20°) = 170.3 \text{ Н},$$

$$F_{t_{11}} = \frac{2 \cdot M_{11}}{d_\omega} = \frac{2 \cdot 23.84}{0.144} = 331.11 \text{ Н},$$

$$F_{r_{11}} = F_{t_{11}} \cdot \tan(\alpha) = 331.11 \cdot \tan(20°) = 119.2 \text{ Н},$$

$$F_{t_{12}} = \frac{2 \cdot M_{12}}{d_\omega} = \frac{2 \cdot 16.69}{0.144} = 231.81 \text{ Н},$$

$$F_{r_{12}} = F_{t_{12}} \cdot \tan(\alpha) = 231.81 \cdot \tan(20°) = 83.45 \text{ Н},$$

$$F_{t_{13}} = \frac{2 \cdot M_{13}}{d_\omega} = \frac{2 \cdot 11.69}{0.144} = 162.36 \text{ Н},$$

$$F_{r_{13}} = F_{t_{13}} \cdot \tan(\alpha) = 162.36 \cdot \tan(20°) = 58.45 \text{ Н},$$

$$F_{t_{14}} = \frac{2 \cdot M_{14}}{d_\omega} = \frac{2 \cdot 8.1}{0.144} = 112.5 \text{ Н},$$

$$F_{r_{14}} = F_{t_{14}} \cdot \tan(\alpha) = 112.5 \cdot \tan(20°) = 40.5 \text{ Н},$$

$$F_{t_{15}} = \frac{2 \cdot M_{15}}{d_\omega} = \frac{2 \cdot 5.75}{0.144} = 79.86 \text{ Н},$$

$$F_{r_{15}} = F_{t_{15}} \cdot \tan(\alpha) = 79.86 \cdot \tan(20°) = 28.75 \text{ Н},$$

$$F_{t_{16}} = \frac{2 \cdot M_{16}}{d_\omega} = \frac{2 \cdot 4.02}{0.144} = 55.83 \text{ Н},$$

$$F_{r_{16}} = F_{t_{16}} \cdot \tan(\alpha) = 55.83 \cdot \tan(20°) = 20.1 \text{ Н},$$

$$F_{t_{17}} = \frac{2 \cdot M_{17}}{d_\omega} = \frac{2 \cdot 2.8}{0.144} = 38.89 \text{ Н},$$

$$F_{r_{17}} = F_{t_{17}} \cdot \tan(\alpha) = 38.89 \cdot \tan(20°) = 17 \text{ Н},$$

4.4. Розрахунок підшипників

Вибір радіально-упорного роликового підшипника здійснюється за такими даними[21]: радіальна нагрузка на підшипник $F_r = 1963{,}6\ H$ [22]; осьова нагрузка що діє на валу та сприймається підшипником [9] $F_{ab} = 3512\ H$; швидкість обертання валу $n = 12$ об/хв[21]; діаметр посадки валу для підшипника $d = 25$ мм [5]; коеф. обертання кільця $V = 1$ [5]; коеф. безпеки $K_б = 1{,}2$ [21]; температурний коеф. $K_T = 1{,}05$ [22]; потрібна довговічність $L_h \geq 25000\ год.$ [22]/

1. Попередньо беремо підшипник серії 205 за ГОСТ 8338-75 [20], в якого динамічна навантаженість $C = 11000H$ [20]; статична навантаженість $C_0 = 7090\,H$ [20]; кут контакту $\alpha = 12^0$ [20].
2. Поосьова складова радіальних напруг для підшипника [18]:

$$F_s = 0{,}83 \cdot e \cdot F_r = 0{,}83 \cdot 0{,}32 \cdot 1963{,}6 = 521{,}53H \text{ де } e = 1{,}5 \cdot tg\alpha = 1{,}5 \cdot tg12^0 = 0{,}32$$

3.Розрахункове поосьове навантаження $F_a = F_s + F_{ab} = 521{,}53 + 3512 = 4033\,H$ [20]:

4. Розраховуємо співвідношення [5]:

$$\frac{F_a}{V \cdot F_r} = \frac{4033{,}53}{1 \cdot 1963{,}6} = 2{,}05 > e = 0{,}32$$

Беремо коеф. радіальних а також осьових навантажень: $X = 0{,}46$ і $Y = 1$ [5].

5. Співставне динамічне навантаження [18]

$$P = (X \cdot F_r + Y \cdot F_a)K_\sigma K_\tau = (0{,}46 \cdot 1963{,}6 + 1 \cdot 4033{,}53) \cdot 1{,}2 \cdot 1{,}05 = 6220H$$

6. По табл. $\frac{C}{P} = 1{,}6$ [20], потрібна динамічна навантаженість [18]: $C = 3{,}42 \cdot P = 1{,}6 \cdot 6220{,}35 = 9952{,}56\,H$. Вибраний підшипник серії 205 з динамічною навантаженістю $C = 11000\,H$ [20]? що більша за розрахункової [20]. Тож цей вибір підшипника є вірним.

4.5. Підбір належного мотора-редуктора та виконання розрахунків для кінематичних параметрів системи приводу

Визначаємо чатоту обертання [18]:

$$n_б = \frac{120}{t_{перем} \cdot \pi \cdot \alpha} = \frac{120}{16 \cdot 3{,}14 \cdot 1{,}7} = 78{,}82 об/хв$$

$$t_{перем} = 16 \text{ с}, \operatorname{tg}\alpha = 1{,}7$$

Після знаходимо потужність приводу [20]:

$$N = V \cdot \rho \cdot tg\varphi \cdot R \cdot 2 \cdot \pi \cdot n \qquad N = 0{,}024 \cdot 350 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}1 \cdot 2 \cdot 3{,}14 \cdot 1{,}4 = 4{,}3кВт$$

Отже, для приводу ми використовуємо двигун-редуктор із частотою обертання вихідного валу [18]: $n_б = 78{,}82 об/хв$.

Тоді передаточні числа будуть рівні [5]:

$$i = \frac{955}{78{,}82} = 12{,}12$$

Розрахунок потужності привода виконується за допомогою функції [6]:

$$N_{пр.} = \frac{N}{\eta_{привода}} = \frac{4{,}3}{0{,}677} = 2{,}91кВт$$

де $\eta_{привода} = \eta_{редуктора} \cdot \eta_{лан.} \cdot \eta_{п.} \cdot \eta_{п} = 0{,}95 \cdot 0{,}97 \cdot 0{,}75 \cdot 0{,}99 \cdot 0{,}99 = 0{,}677$;

$\eta_{редуктора.}$ – ККД мотор-редуктора (0,95)

$\eta_{лан.}$ – ККД ланцюгової передачі (0,97) ;

$\eta_{п.}$ – ККД пари підшипників (0,99) ;

$$M_{кр.} = \frac{30 \cdot N_{пр}}{\pi \cdot n} = \frac{30 \cdot 2{,}91 \cdot 100}{3{,}14 \cdot 78{,}82} = 35{,}27$$

В якості приводу обираємо мотор-редуктор [5], конкретно двигун марки 112МА6 з номінальною потужністю N=3кВт та частотою обертання n=955 об/хв [20].

$$M_{кр.} = 40 Н \cdot м$$

Розраховуємо потужності на окремих валах машини [6]:

$N_1 = N_{двигуна} = 3$ кВт;

$N_2 = N_1 \cdot \eta_{редуктора.} = 3 \cdot 0{,}95 = 2{,}85$ кВт;

$N_3 = N_2 \cdot \eta_{лан.} = 2{,}85 \cdot 0{,}97 = 2{,}76$ кВт;

Розраховуємо частоту обертів для окремих валів на машині [5]:

$$n_1 = n_{дв} = 78,82\,об/хв; \qquad n_2 = \frac{n_1}{i_{лан}} = \frac{78,82}{1,03} = 81,24 об/хв;$$

$$n_3 = n_2 = 81,24 об/хв;$$

Визначаємо кутову швидкість на окремих валів машини [5].

$$\omega_1 = \frac{П \cdot n_1}{30} = \frac{3.14 \cdot 4,4}{30} = 0,46\,(рад/с) \qquad \omega_2 = \frac{\omega_1}{i_{лан}} = \frac{8,25}{1,03} = 8 рад/с$$

$$\omega_3 = \omega_2 = 8\,рад/с$$

Знаходимо крутний момент на окремих валах привода [18]:

$$T_4 = \frac{T}{\eta_{черв} \cdot \eta_{під} \cdot i} = \frac{90}{0,75 \cdot 0,99 \cdot 0,33} = 21,6(Н \cdot м) \quad T_3 = \frac{T_4}{\eta_{під}} = \frac{21,6}{0,99} = 21,8(Н \cdot м)$$

$$T_2 = \frac{T_3}{\eta_{лан} \cdot i_{лан.}} = \frac{21,8}{0,95 \cdot 1,03} = 22,3(Н \cdot м) \quad T_1 = T_2 = 22,3(Н \cdot м)$$

Визначаємо час роботи приводу [5]:

$$\sum t = 8 \cdot c \cdot 365 \cdot L \cdot k_{річ} \cdot k_{доб},$$

де с=12 - кількість годин у зміні [1].

$$\sum t = 8 \cdot 12 \cdot 330 \cdot 4 \cdot 0,75 \cdot 0,88 = 83635 \text{ годин}$$

$$t_{екв} = t_{\sum} \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{T_i}{T_H} \right)^3 \frac{t_i}{t_H}$$

$$t_{екв} = 83635 \left(1^3 \cdot 0.4 + 0,7^3 \cdot 0,4 + 0,47^3 \cdot 0,2\right) = 46665 \text{ год.}$$

4.6. Виконання розрахунків для черв'ячної передачі

Вибір матеріалу основних елементів черв’ятного редуктора [8].

З таблиці 3.30 [3] вибираємо матеріал для черв'яка та оправки черв'ячного колеса[8]. Для черв'яка обираємо сталь марки 45 [15], загартовану до твердості 45...50 HRC [8], з подальшим шліфуванням витків [15]. Матеріал для оправки колеса - Бр.АЖ9-4 [8] (виготовлена методом

виливання в пісок) з механічними властивостями σт = 200 МПа та σв = 400 МПа [8].

Беремо кількість заходів черв'яка z_1 =2 [15].

Крутний момент на валу з черв'ячним колесом [15]:

$$T_3 = 9550 \cdot 10^3 \cdot \frac{N_2 \cdot U_{чп} \cdot \eta_{чп} \cdot \eta_{пп}}{n_2},$$

$$T_3 = 9550 \cdot 10^3 \cdot \frac{2{,}91 \cdot 19 \cdot 0{,}75 \cdot 0{,}99}{1183} = 331{,}53\ Н \cdot м.$$

Приблизна швидкість ковзання [8]:

$$V_c = 0{,}0004 \cdot n_2 \cdot \sqrt[3]{\frac{T_3}{1000}},$$

$$V_c = 0{,}0004 \cdot 1183 \cdot \sqrt[3]{\frac{331{,}53 \cdot 10^3}{1000}} = 3{,}27\ м/с.$$

На зазначеній швидкості [8], згідно з табличними даними [3], рекомендується використовувати редуктор із ступенем точності 8-ма [15].

Допустиме контактне напруження [3]:

$$[\sigma_H] = 300 - 25 \cdot V_C,$$

$$[\sigma_H] = 300 - 25 \cdot 3{,}27 = 218{,}25\ МПа.$$

Максимальні напруження при контакті [3], визначені розрахунками за дії максимального навантаження [15], повинні відповідати заданим стандартам і вимогам безпеки [15]:

$$[\sigma_{НМ}] = 2 \cdot \sigma_T,$$

$$[\sigma_{НМ}] = 2 \cdot 200 = 400\ МПа.$$

Граничне напруження на згин при застосуванні базового числа зміни напружень Nfo=10^6 [15], для незворотнього навантаження може бути визначене згідно з розрахунковими формулами та врахуванням відповідних факторів безпеки та матеріальних властивостей конструкційних матеріалів [5]:

$$\left[\sigma_F\right]_0^0 = 102\,МПа.$$

Сумарне число циклів навантажень [3]:

$$N_\Sigma = 60 \cdot n_3 \cdot t_{год},$$

$$N_\Sigma = 60 \cdot \frac{1183}{19} \cdot 10000 = 37{,}4 \cdot 10^6.$$

Коеф.довговічності [15]:

$$K_{FL} = \sqrt[9]{\frac{N_{FO}}{N_\Sigma}},$$

$$K_{FL} = \sqrt[9]{\frac{10^6}{37{,}4 \cdot 10^6}} = 0{,}67.$$

Допустимемаксимальне напруження на згин [8]:

$$\left[\sigma_F\right] = \left[\sigma_F\right]_0^0 \cdot K_{FL},$$

$$\left[\sigma_F\right] = 102 \cdot 0{,}67 = 68{,}34\ МПа.$$

Максимальні напруження при згині під час розрахунку на вплив максимальних навантажень [8]:

$$\left[\sigma_{FM}\right] = 0{,}8 \cdot \sigma_T,$$

$$\left[\sigma_{FM}\right] = 0{,}8 \cdot 200 = 160\ МПа$$

Число зубців колеса черв’яка [3]:

$$z_2 = z_1 \cdot U ,$$

$$z_2 = 2 \cdot 19 = 38 .$$

$28 \le Z_2 \le 80$ – умова виконується [3}.

Діаметральний коефіцієнт черв'яка розраховуємо за визначеною формулою [15]:

$$q = 0{,}25 \cdot z_2 ,$$

$$q = 0{,}25 \cdot 38 = 9{,}5 .$$

беремо стандартне значення q=10 [3].

Коефіцієнт, який враховує розподіл навантаження по ширині вінця [15]:

$$K_{H\beta} = K_{\beta} = 1 .$$

Коефіцієнт, котрий враховує динамічні навантаження [8]:

$$K_{HV} = 0{,}3 + 0{,}1 \cdot n + 0{,}02 \cdot V_C ,$$

$$K_{HV} = 0{,}3 + 0{,}1 \cdot 8 + 0{,}02 \cdot 3{,}27 = 1{,}165 .$$

Знаходимо міжосьову відстань передач із умови контактних витривалостей [15]:

$$a_{\omega} = \left(\frac{z_2}{q} + 1 \right) \sqrt[3]{\left(\frac{170}{[\sigma_H] \frac{z_2}{q}} \right)^2 \cdot T_3 \cdot K_{H\beta} \cdot K_{HV}} ,$$

,

$$a_{\omega} = \left(\frac{38}{10} + 1 \right) \sqrt[3]{\left(\frac{170}{242{,}25 \cdot \frac{38}{10}} \right)^2 \cdot 116{,}53 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 1{,}165} = 97{,}4 \; мм .$$

.

Модуль зачеплення [8]:

$$m = \frac{2 \cdot a_\omega}{z_2 + q},$$

$$m = \frac{2 \cdot 97{,}4}{38 + 10} = 4{,}1 \text{ мм}.$$

Беремо стандартне значення m = 5 мм [3].

За стандартного модуля міжосьова відстань беде [15]:

$$a_\omega = \frac{m \cdot (z_2 + q)}{2},$$

$$a_\omega = \frac{5 \cdot (38 + 10)}{2} = 120 \text{ мм}.$$

Обираємо кут підйому черв'яка γ =11°18`36` [3].

Ділильні діаметри [15]:

черв'яка: $d_{\omega 1} = q \cdot m,$

$$d_{\omega 1} = 10 \cdot 5 = 50 \text{ мм}.$$

колеса: $d_{\omega 2} = z_2 \cdot m, \qquad (3.37)$

$$d_{\omega 2} = 38 \cdot 5 = 190 \text{ мм}.$$

Розрахункова швидкість ковзання [8]:

$$V_C = \frac{\pi \cdot d_{\omega 1} \cdot n_3}{60000 \cdot \cos\gamma},$$

$$V_C = \frac{3{,}14 \cdot 50 \cdot 1183}{60000 \cdot 0{,}9806} = 3{,}16 \text{ м/с}.$$

яке перевищує раніше прийняту швидкість Vc=2,31 м/с [5], тому необхідно уточнити параметри передачі [3].

При швидкості vc=3,16 м/с може виникнути контактне напруження [15]:

$$[\sigma_H]' = 223\ МПа.$$

Коефіцієнт рухомого навантаження при швидкості Vc = 3,16 м/с і точності 8-го ступеня розраховується за формулою [8]^

$$K_{HV} = 0{,}3 + 0{,}1 \cdot 8 + 0{,}02 \cdot 3{,}16 = 1{,}163.$$

Кут тертя під час роботи бронзового колеса у парі тертя зі сталевим черв'яком при [3]: Vc = 3,16 м/с - φ’ = 1˚38`.

ККД передачі [15]:

$$\eta = (0{,}9...0{,}96) \cdot \frac{tg\gamma}{tg(\gamma + \varphi)},$$

$$\eta = 0{,}9 \cdot \frac{0{,}200}{0{,}230} = 0{,}78.$$

Дійсний крутний момент на валі черв’ячного колеса [15]:

$$T_3^I = 9550 \cdot 10^3 \cdot \frac{N_2 \cdot U_{чп} \cdot \eta_{чп}^I \cdot \eta_{пп}}{n_2},$$

$$T_3 = 9550 \cdot 10^3 \cdot \frac{1{,}024 \cdot 19 \cdot 0{,}78 \cdot 0{,}99}{1183} = 121{,}28\ Н \cdot м.$$

За переглянутими параметрами перевіряємо контактне напруження [8]:

$$\sigma_H = \frac{170}{\frac{z_2}{q}} \cdot \sqrt{\left(\frac{\frac{z_2}{q} + 1}{a_\omega}\right)^3 \cdot T_3^I \cdot K_{H\beta} \cdot K_{HV}},$$

,

$$\sigma_H = \frac{170}{\frac{38}{10}} \cdot \sqrt{\left(\frac{\frac{38}{10} + 1}{120}\right)^3} \cdot 121{,}28 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 1{,}163 = 134{,}4\ МПа \le [\sigma_H] = 223\ МПа.$$

переглядаємо міцність зубів черв'ячного колеса на згин [8]:

$$z_e = \frac{z_2}{\cos^3 \gamma},$$

$$z_e = \frac{38}{0{,}9806^3} = 40.$$

Коефіцієнт форми зуба колеса приймаємо [3]: $Y_F = 1{,}55$

Напруження при згині розраховуємо з використанням формули [8]:

$$\sigma_F = \frac{2 \cdot T_3^I \cdot \cos\gamma}{1{,}2 \cdot d_{\omega 1} \cdot d_{\omega 2} \cdot m} \cdot Y_F \cdot K_{F\beta} \cdot K_{FV},$$

$$\sigma_F = \frac{2 \cdot 121{,}28 \cdot 10^3 \cdot 0{,}9806}{1{,}2 \cdot 50 \cdot 190 \cdot 5} \cdot 1{,}55 \cdot 1 \cdot 1{,}2 = 7{,}76\ МПа \le [\sigma_F] = 68{,}34\ МПа.$$

,

Остаточно беремо параметри передачі [8]:

$$z_1 = 2; z_2 = 38; d_{\omega 1} = 50 мм; d_{\omega 2} = 190 мм; a_\omega = 120 мм.$$

Основні розміри черв'ячної передачі [15]:

- діаметр верхніх витків черв'яка [15]:

$$d_{a1} = d_1 + 2m,$$

$$d_{a1} = 50 + 2 \cdot 5 = 60\ мм;$$

- діаметр впадин черв'яка [15]:

$$d_{f1} = d_1 - 2{,}4m,$$

$$d_{f1} = 50 - 2{,}4 \cdot 5 = 38\ мм;$$

- діаметр вершин зубців черв'ячного колеса [15]:

$$d_{a2} = d_2 + 2m,$$

$$d_{a2} = 190 + 2 \cdot 5 = 200\ мм;$$

- діаметр впадин зубців черв'ячного колеса [15]:

$$d_{f2} = d_2 - 2{,}4m,$$

$$d_{f2} = 190 - 2{,}4 \cdot 5 = 178\ мм;$$

- ширина вінця черв’ячного колеса [15]:

$$b_2 = 0{,}355a_\omega,$$

$$b_2 = 0{,}355 \cdot 120 = 42{,}6\ мм.$$

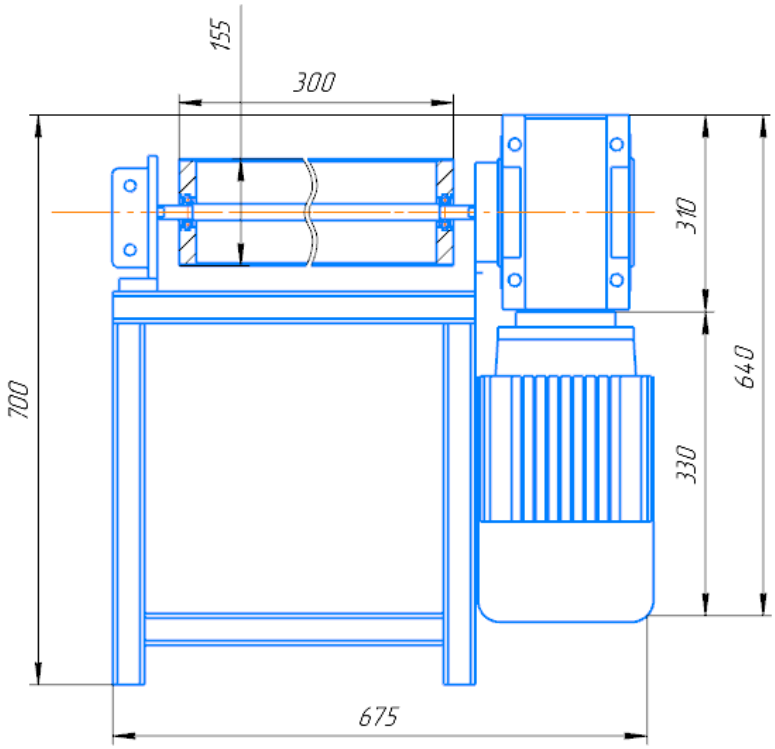


Рис.4.3. Ескіз привода

РОЗДІЛ 5. Технологія машинобудування

5.1. Теорія

Монтаж машин - це технологічний процес формування з'єднань між складовими частинами виробу [18], що включає поєднання, координацію та кріплення деталей у вузли, а вузлів у машину [20].

В результаті монтажу досягається необхідне взаємне розташування з'єднаних деталей [21], забезпечується рухливість або нерухомість елементів, що з'єднуються, а також забезпечується міцність конструкції [18].

Будь-яка машина складається з окремих деталей [17], базовою складовою яких є деталь (елемент) без з'єднань [20]. Об'єднання декількох деталей, які з'єднані та скріплені між собою [16], та представляють собою самостійну частину машини, називається вузлом [20]. В залежності від конструкції та кількості деталей у вузлах, вони можуть мати різну складність [18].

Деталь або вузол, з якого починається складання [20], визначається як базова деталь чи базова група [18]. Базова деталь визначає положення всіх інших деталей [17]. Технологічні схеми складання застосовуються для полегшення процесу монтажу та визначення послідовності операцій [16].

5.2. Створення вузла та оцінка його властивостей.

В рамках цього проекту була проведена модернізація печі БН-50 з особливим акцентом на привідний вал [21]. Цей вузол відіграє ключову роль у конструкції [18], оскільки відповідає за передачу крутного моменту від привідної станції до піддону печі [20]. У цьому розділі буде розглянути процес збирання привідного валу [16], включаючи підшипники, напівмуфту, привідний барабан та монтаж вузла на каркасі печі [20, 21].

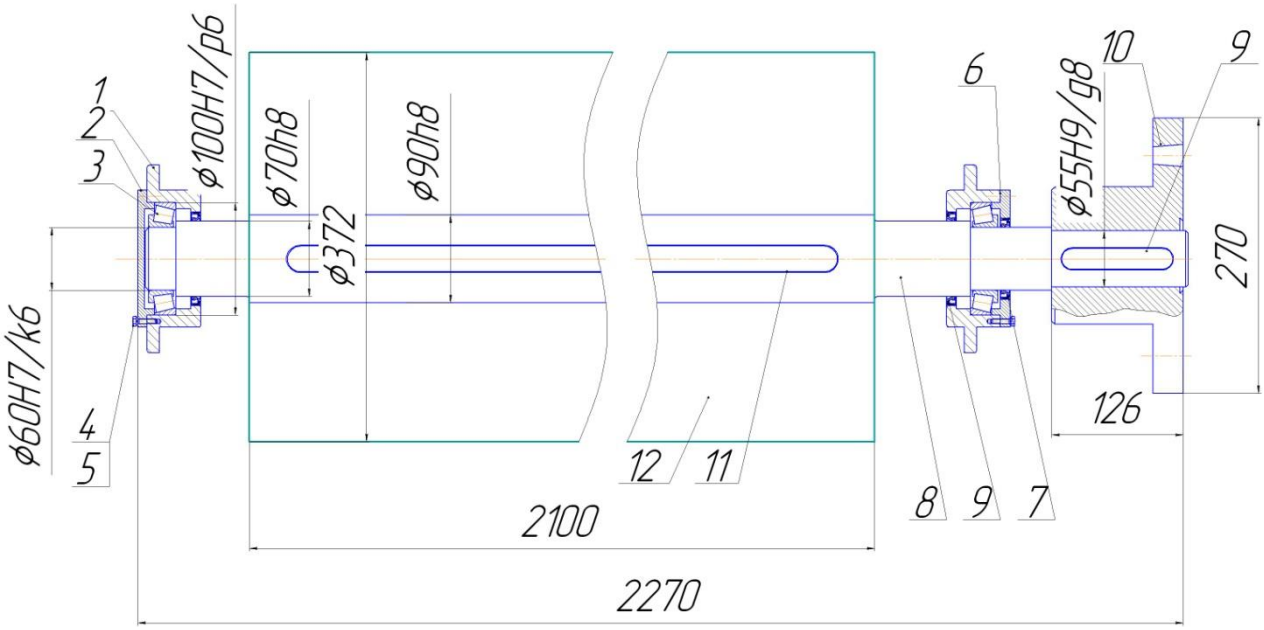


Рис.5.1. Ескіз вузла приводного валу печі БН-50

Табл.5 .1. Подетальний склад вузла

Номер позиції деталі	**Назва деталі**	**Кількість деталей**
1.	Корпуси підшибника	1
2.	Кришки підшитника	1
3.	Підшипники	1
4.	Болт маркування - М6х24	36
5.	Шайби	36
6.	Прокладки в з'єднаннях	6
7.	Ущільнювач	2
8.	Вал приводу	1
9.	Шпонка напів-муфти	1
10.	Напів-муфта	1
11.	Шпонка барабану	1
12.	Барабан	1

Табл.5 .2.

Номер переходу	Зміст переходу
10. Монтуванняц барабану СК1	
10.1.	Встановити шпонку на валу
10.2.	Одягнути барабан на вал
10.3.	Загвинтити стопорні болти
20. Збирання першого підшипникового вузла СК3	
20.1.	Встановлюємо корпус підшипника на каркасі та закріплюємо його
20.2.	Встановлюємо підшипник
20.4.	Встановлюємо ущільнювач до кришки підшипника
20.4.	Встановлюємо прокладку
20.5.	Встановлюємо кришку підшипника
20.6.	Встановлюємо 6 шайб
20.7.	Встановлюємо 6 болтів
30. Збирання другого підшипникового вузла СК4	
30.1.	Встановлюємо корпус підшипника на каркасі та закріплюємо його
30.2.	Встановлюємо підшипник
30.4.	Встановлюємо ущільнювач до кришки підшипника
30.4.	Встановлюємо прокладку
30.5.	Встановлюємо кришку підшипника
30.6.	Встановлюємо 6 шайб
30.7.	Встановлюємо 6 болтів
40. Монтаж привідного валу	
40.1.	Встановлюємо привідний вал у підшипниках
50. Встановлення напівмуфти СК5	
50.1.	Встановлюємо шпонку на валу
50.2.	Встановлюємо напівмуфту
60. Контрольна	
60.1.	Переглянутивірність встановлення елементів вузла

РОЗДІЛ 6. ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКІВ З ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОГО АСПЕКТУ ДЛЯ ЗАПРОПОНОВАНОГО КОНСТРУКТИВНОГО РІШЕННЯ

Таблиця 6.1. Вхідні дані для розрахунків

№	Показники	Одиниця виміру	Величина
1	Продуктивність	т/добу	22
2	Кількість робочих лнів на рік	діб	330
3	Кількість робочих змін	зміна	2
4	Кількість робочих на зміні	чоловік	2
5	Ціна за сировину:		
	борошно вищ. гат.	грн/т	4400
	Олія	грн/кг	13,5
	Цукор	грн/кг	9,5
	Дріжджі	грн/кг	5,3
	Маргарин	грн/кг	12,6
	Вода	грн/м^3	2,25
	Сіль	грн/кг	1,7
6	Загальна потужність електрообладнання лінії	кВт	35
7	Вартість 1 кВт/год	грн.	0,60

Обрахунок обсягу загальних витрат (інвестицій)

Витрати на капітальні інвестиції для впровадження обладнання визначаються шляхом кошторисно-фінансових розрахунків і включають в себе наступне [24]:

- Розроблення, геологорозвідувальні та проектні роботи, які становлять 4-5% від сумарної кошторисної вартост [26]і.

- Затрати на об'єкти основного виробництва розраховуються враховуючи кубатуру основного корпусу та вартості 1 м3 будівель [24].

- Затрати на обладнання, які включають ціни на ринку, транспортні витрати (5% вартості обладнання) [25], заготівельно-складські витрати (1,0-1,25% вартості обладнання), монтаж (8-10%), роботи по проекту (3-4%) від ціни обладнання, а також засоби автоматизації [26].

Ціни інших робіт та витрат складають: підготовка території — 0,5-1,0% [26]; затрати на виробничий, господарський інвентар та інструменти -1,5-4% від вартості готового обладнання [26].

Розрахунок витрат на матеріали [22], закуплені вироби та напівфабрикати проводимо відповідно до формули [26]:

$$B_M = П_M \cdot M_M / K_B$$

де $П_м$ - вартість 1кг матеріалу беручи до уваги транспортно-заготівельних затрати [26];

$М_м$ - вага матеріалів, кг [26];

$К_в$ – коеф. застосування матеріалів (0,6-0,8) [26].

У даному контексті, вартість нового обладнання формується на основі витрат на матеріали та комплектуючі [22]:

$$B_M = B_{метала} + B_{стрічки} + B_{двигуна.} + B_{автоматики}$$

Таблиця 6.2.

Одиниця матеріалу	Одиниця виміру	Ціна одиниці, грн	Кількість	Коефіцієнт використання	Загальна Вартість, грн..
Квадрат сталевий	м	400	40	0,6	26666
Стрічка	м	120	300	0,7	51428
Двигун	шт	6000	1	-	10000
Автоматика	-	-	-	-	40000
Сталь AISI 304	т	10000	1	-	10000
Сума					138,094

Вартість виготовленого обладнання обчислюється за допомогою вказаної формули [26]:

$$C_П = B_M + B_i = 138094 + 138094 \cdot \frac{65}{100} = 138094 + 89761 = 227855 \text{ грн.}$$

Де Вм - вартість матеріалів, покупних виробів та напівфабрикатів, в гривнях [26];

Ві - витрати на зарплату, утримання та використання обладнання, витрати цеху, загально-заводські та інші витрати (приймаємо 65% від Вм) [26].

Оптову ціну нововиготовленої машини визначаємо, враховуючи можливий прибуток у розмірі 15%, а саме [22]:

$$Ц = C_П \cdot 1{,}15 = 227855 \cdot 1.15 \approx 262033 \text{грн.}$$

Обчислимо загальну вартість лінії [26], яка включає ціну нового обладнання [22], і визначимо суміжні додаткові капітальні витрати (початкові інвестиції) за допомогою формули [26]:

Таблиця 6.3.

Обладнання	кулер	конвеєр	піч
Ціна, грн.	262033	100000	180000
Транспортні витрати (5%)	13101	5000	9000
Заготівельно-складські витрати(1%)	2620	1000	1800
Витрати на монтаж (8%)	20962	8000	14400
Витрати на проектні роботи (3%)	7860	3000	5400
Витрати на інструмент (2%)	5240	2000	3600
Сума, грн.	311816	119000	214200
Загальна сума, грн.	645016		

Розрахунок обсягу виробництва і реалізації продукції

Для розрахунку обсягу виробництва у розрізі асортименту товарів [20], який виготовляється на підприємстві, використовуються наступні показники [26]:

На підставі цього обсягу виробництва розраховуємо за формулою [22]:

$$A = N_T \cdot F_{\max} \cdot K_{викор} = 2{,}3 \cdot 330 \cdot 1 = 760 \text{ т/рік}$$

де $N_т$=2,3 - норма продуктивності підприємства [22];

$Р_{мах}$=330 діб – максимальна кількість робочого часу підприємства [22];

$К_{вик}$ =1 – коеф. застосування потужності [22].

Розрахунок кількості працюючих у фонді заробітної плати

Під час проектування будівництва підприємства (цеху) важливо розрахувати кількість працівників та їхню заробітну плату в різних категоріях [22]. Кількість фахівців, адміністративного персоналу, стажерів, робітників та працівників охорони визначається з урахуванням робочих норм та структури управління [18], враховуючи аналогічні проекти [26]. Однак у умовах ринку та різних форм власності кожне підприємство може самостійно встановлювати кількість та структуру персоналу залежно від умов виробництва [26]. В конкретному випадку для лінії розглядається 2 працівники [22, 26].

Розрахунок кількості заробітної плати

Таблиця 6.4.

Річний фонд заробітної плати, всього		27488	30924
Фонд додаткової Заробітної плати, грн	Вислуга років	480	540
	Умови праці	480	540
	За роботу у вихідні 50 % та	4000	4500
	За роботу у вечірні та нічні години 31,6 %	8000	9000
	Премії 50%	2528	2844
		4000	4500
Кількість днів роботи підприємства на рік		330	330
Тривалість робочої зміни,		12	12
Годинна тарифна ставка, грн		44,	50
Тарифний розряд			IV
Явочна кількість робітників.			
Професії		Наладчи	Оператор

Розрахунок кількості заробітної плати [22]

Вираховуємо загальну заробітну плату на нашій лінії [22]:

$$ЗП_{заг} = 27488 + 30924 = 58412 \text{ грн.}$$

Розрахунок собівартості продукції.

Витрати на утримання та експлуатацію обладнання становлять 6% від вартості обладнання [26], при цьому норма амортизації складає 21,9% на рік, що в сумі дорівнює 27,9% [26].

За вартості лінії 646016 тис грн ; 646016 · 27,9 / 100 = 180059,4 грн/рік

Витрати на тону обладнання складатимуть [22]:

179959,4 / 760 = 236,7 грн/тону

Витрати на підготовку та освоєння виробництва

Витрати на підготовку та освоєння виробництва братимуть 16.6% від ціни обладнання [18], тобто 665016·16.6 /100 = 108072,6 грн.

На 1 тону продукту ці:

108072,6/760=140,8 грн/т

Витрати на охорону праці

Витрати на охорону праці беруть 5 % вартості обладнання [15]:

655016·5/100=32250,8 грн.

Таблиця.6.5.

Сировина	Ціна за 1 кг, грн.	Норма витрат	Витрати на 1 т борошна, кг	Сума, грн
Борошно	4,4	100	735,29	3235,28
Сіль	1,7	1	10	17
Цукор	9,5	15	150	1425
Дріжджі	5,3	3	30	160
Маргарин	12,6	6	60	756
Вода (ціна в грн/м^3)	2,248	42	420	944
Всього			1405	6537
Транспортно-заготівельні витрати				
на борошно	0,723		735,29	531
на сировину	0,952		250	238
Всього				7306

Зворотні відходи

У даній статті проводиться розрахунок відходів виробництва від сировини та напівфабрикатів [18], які виникають під час виготовлення продукції і можуть бути використані на власному підприємстві або реалізовані іншим споживачам [26].

Таблиця 6.6.

№	Статті витрат	Витрати, грн/т
1	Сировина (в тому числі транспортні витрати)	7306
2	Зворотні відходи	– 16,2
3	Електроенергія	345,5
4	Основна заробітна плата	113,26
5	Відрахування на соціальне страхування	43,38
6	Витрати на утримання і експлуатацію обладнання	203,5
7	Витрати на підготовку і освоєння виробництва	121,2
8	Витрати на охорону праці	36,5
Виробнича собівартість		8153,7
9	Витрати на збут (11,5 %)	927,6
10	Адміністративні витрати (6,7%)	546,3
собі вар-тість		9627,6

Обрахунок основних показників ефективності

Беремо рентабельність продукції R=15% [22], тоді прибуток на тону продукту буде становити [22]:

$Пр^1 = R \cdot C$,

де С – загальна собівартість тони продукту [18].

$Пр^1 = 0.15 \cdot 9627,6 = 1444,14$ грн.

Прибуток за 1 рік $Пр^1 = 760 \cdot 1946,8 = 1098546,4$ грн.

З врахуванням податків на прибуток [18]:

$Пр = 0.75 \cdot Пр^1 = 0.75 \cdot 1946,8 = 1452,6$грн.

За рік цей показникстановитиме [26]:

$1452,6 \cdot 760 = 823159,8$ грн.

Оптові ціни продукту вираховуємо по формулі [26]:

Ц=С+(R+ПДВ)·С = 9627,6+(0,15+0,2) · 9627,6= 12997,3 грн./т

Розрахунок рентабельності інвестиційного капіталу, з урахуванням відзначення вартості проекту протягом його призначеного терміну.

За основу беремо минулі розрахунки [18]:

1). Капітало-витрати К=645016 грн.

2). Балансовий прибуток Бприб = 1097546,4 грн.

3). Додатковий прибуток за відрахуванням податку Пр = 823159,8 грн.

4). Амортизація Ам = 645016 · 0.219 = 141258,5 грн.

5). Життєвий цикл заходу Т=100 / 21.9 = 4.56 року ≈ 5 років.

6). Ставка дисконту р = 20 %.

Розрахуємо чистий грошовий потік [22]:

ЧГП = (Пр + Ам)/ПДВ = (823159,8+121393,9)/1,2 = 787128,1 грн

Чистий приведений дохід (ЧПД):

$$ЧПД = \sum_{i=1}^{n} \frac{ЧГП_t}{(1+p)^T} - 1,$$

де $\frac{1}{(1+p)^T} = \alpha_t$ - коефіцієнт дисконтування;

$$ЧПД = \sum_{i=1}^{n} ЧГП_t x \alpha_t - I.$$

Розрахунки зводимо в табл.4.7

Таблиця 6.7.

Показники	Роки						
	0	1	2	3	4	5	Всього, грн
1. Інвестиції (І)	645016	-	-	-	-	-	645016
2.Чистий грошовий потік (ЧГП)	-	787128	787128	787128	787128	787128	3935640
3. $\alpha_t = 1/(1+p)^T$ при р = 0,2 (20%)	1,0	0,833	0,694	0,578	0,482	0,402	
4. ТВ	-	655677,6	546266,8	464959	379395,7	316425,5	2362723,4
Кумулятивний потік	-554310	101367,6	647633	1112592	1491987	1808413	

Розрахунок правильності капітальних вкладень [26]^

ЧТВ =1808413 грн. ЧТВ більший від 0 - проект можна рекомендувати до реалізації [26].

Індекс прибутковості [22]:

$$ІП = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{ТВ_t}{(1+i)^t}}{I} = \frac{2362723\ ,4}{645016} = 3,66$$

За вкладення 1 гривні в проект можна очікувати отримання прибутку у розмірі 3,66 гривні протягом всього періоду його реалізації [26]. Показник рентабельності (ІП) перевищує одиницю [18], що свідчить про доцільність інвестування [26].

$$ІД = ЧТВ / I = 1808413 / 645016 = 2,8$$

Розрахуємо період окупності:

а) недисконтований:

$$ПО_{недиск} = \frac{I}{ЧГП} = \frac{645016}{787128} = 0,81\ року.$$

б) дисконтований:

$$ПО_{недиск} = \frac{I}{\sum_{t=1}^{n} \frac{ЧГП_t}{(1+p)^T \cdot n}} = \frac{645016}{2362723 \cdot 5 років} = 1,36 року.$$

Результати розрахунків зводимо у таблицю 5.8:

Таблиця 6.8.

Показники:	Одиниця виміру	Проект
1.Виробнича потужність	т/добу	1
2. Явочна кількість робітників	Чол.	2
3.Додаткові капітальні витрати	тис.грн	645016
4. Додатковий дохід	тис.грн	823,1598
5. Термін окупності: -недисконтований -дисконтований	Роки	 0,81 1,36
6.Індекс прибутковості		3,66
7. Індекс доходності		2,8

Це свідчить про економічну обгрунтованість реалізації проекту [18]. Основні показники, такі як чистий дохід, період окупності впровадження обладнання, індекс доходності та індекс прибутковості, підтверджують, що інвестиції повернуться у короткий термін, а проект буде прибутковим протягом свого життєвого циклу [26]. Таким чином, його реалізація рекомендується [26].

РОЗДІЛ 7. БЕЗПЕКА ПРАЦІ ТА ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА В ПІДПРИЄМСТВАХ, ЩО ЗАЙМАЮТЬСЯ ВИРОБНИЦТВОМ ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ

Закон України “Про охорону праці”

14 жовтня 1992 року в Україні було ухвалено Закон "Про охорону праці" [15]. Цей закон, а також "Кодекс законів про працю в Україні", є основним законодавчим фундаментом у сфері охорони праці [15]. Його доповнюють різні державні, галузеві та міжгалузеві нормативні акти з охорони праці, такі як правила, стандарти, норми, положення, статути, інструкції та інші документи [16]. Ці нормативні акти надають чинність правовим нормам і обов'язково виконуються всіма установами і працівниками України [15].

Щодо інструктажів, вони можуть бути введені у різні періоди та мати різний характер [2]. Серед них слід виділити вступні, первинні, повторні, позапланові та цільові інструктажі [15].

Вступний інструктаж є обов'язковим для всіх нових працівників [15], незалежно від їх досвіду [16]. Його мета - демонстрація правил поведінки на території виробництва та ознайомлення зі специфічними особливостями підприємства [15].

Первинні інструктажі проводять начальник цеху чи майстер на робочому місці для нових працівників або тих, хто переводиться на нове робоче місце [2]. Повторні інструктажі необхідні для всіх працівників для підтримання та оновлення їх знань [15].

Позапланові інструктажі призначені при зміні правил охорони праці [2], технологічних процесах, заміні чи модернізації обладнання [16]. Також вони є обов'язковими у випадках порушення працівниками правил безпеки праці, що може призвести до нещасних випадків [15].

Цільові інструктажі проводяться з робочими в процесі виконання одноразових робіт за умовами трудового договору [16], ліквідації аварій, наслідків стихійних лихварів, а також при виконанні робіт, для яких вимагаються наряд-допуски, розпорядження чи інші документи [15].

Організація служб охорони праці на виробництві

На виробництві діє служба охорони праці [15], яка забезпечує виконання різноманітних заходів, включаючи правові, організаційно-технічні, санітарно-гігієнічні, соціально-економічні і лікувально-профілактичні [15].

Метою цих заходів є запобігання нещасних випадків, професійних захворювань та аварій під час виробничої діяльності [2]. Управління охороною праці на рівні виробництва [2], в цілому, спадає на керівника підприємства, а в окремих цехах цю відповідальність несуть їхні керівники чи головні фахівці [15].

Санітарні умови в цеху

На хлібопекарних виробництвах основними факторами, які можуть створювати негативний вплив на здоров'я працівників, є висока температура повітря та пил, який утворюється при роботі з борошном [16]. Потенційно велика концентрація борошняного пилу у цеху для просіювання (6 мг/м³) може виникати через неефективну вентиляцію та систему аспірації [15]. Основним джерелом утворення пилу є обладнання для просіювання [2]. Збільшена температура повітря спричинюється печами, використовуваними для випічки у цеху [20].

Ефективна боротьба з високою температурою повітря включає належно організовані системи вентиляції [18], які можуть забезпечити ефективне виведення гарячого повітря та забруднень з робочого середовища [15]. Такі системи повинні бути ретельно розроблені та належно утримувані для забезпечення оптимальних умов праці для персоналу хлібопекарні [15].

Вентиляція

В робочій зоні передбачено застосування системи припливно-витяжної вентиляції для цехових приміщень [2], яка автоматично регулює переміщення повітря з дотриманням максимальної швидкості руху повітря не більше 0,3 м/с [20]. Вентиляційні отвори для подавання та відведення повітря розташовані на висоті 3,0 м від підлоги [20]. Додатково, у непосредній близькості до печі на робочому місці передбачено використання системи повітряного душування [26].

У приміщеннях для домогосподарств передбачено використання природної вентиляції [15]. З метою оперативної зміни повітря у випадку аварійної ситуації передбачено застосування системи аварійної вентиляції [2], яка автоматично активується при досягненні концентраційної межі шкідливих чи небезпечних викидів [15].

Шум та вібрація

На виробництві хліба поширені шуми [2], які можна класифікувати як механічний та аеродинамічний характер [20]. Механічний шум виникає внаслідок коливань в пружинних середовищах або тілах [18], частота яких знаходиться в діапазоні 16...20 000 Гц, що може бути сприйнято людським вухом [15]. Джерелами цього шуму є різне технічне обладнання [2], таке як тістоміс, просіювач, подільник тіста, шафа для первинного вистою, тістозакатувальник та піч [2]. Шум аеродинамічного характеру виникає внаслідок стаціонарних або нестаціонарних процесів в газах [18], що виникають під час роботи вентиляційних систем та повітродувок [20].

Для зменшення шумового впливу обладнання використовують методи, такі як модернізація конструкції та використання шумоізоляційних матеріалів та звукопоглиблювачів [15]. З метою особистого захисту працівників використовують індивідуальні засоби захисту [15]. Крім того, обертаючіся деталі обладнання можуть викликати вібрацію, яка передається працівникам через фундамент та підлогу [2]. Аналіз параметрів на робочих

місцях свідчить про те, що рівень вібрації не перевищує гігієнічних норм [15].

Освітлення: природне та штучне

Освітлення в побутових і виробничих приміщеннях, а також на території виробництва повинно відповідати вимогам СНіП 2-4-79 [15]. Забезпечення нормального освітлення в цеху сприяє зменшенню зорової втоми та ризику травматизму [15].

Освітлення в цеху зазвичай є комбінованим [18], з часткою світла, яке проникає через вікна, і часткою, яка використовується як в денний, так і в нічний час [20]. Для побутових приміщень використовуються лампи розжарювання, в той час як для цехів використовуються світильники типу ЛСП-2-40-У4 з лампами типу ЛБ-40 [26].

Норми для освітлення виробничих приміщень встановлені на рівні 15]:

- 1,5% для природного освітлення [15];
- 300 лк для штучного освітлення [15].

Крім того, передбачається наявність аварійного освітлення [20], світильники якого повинні бути увімкнені протягом усього періоду горіння освітлення в робочому приміщенні та мати чіткі відмітні знаки [2]. Аварійне освітлення призначене для забезпечення продовження роботи і має забезпечувати не менше 5% освітленості від встановленої норми для системи загального освітлення на робочому місці [2]. Для евакуації людей аварійне освітлення повинно забезпечувати освітленість не менше 5 лк на підлозі проходів і сходових променів приміщень [15].

Техніка безпеки при обслуговуванні обладнання

Під час експлуатації печей необхідно дотримуватися наступних правил техніки безпеки [3]:

1. Персонал повинен мати знання про будову печі [3].
2. Заборонено працювати на печі без заземлення [3].
3. Забороняється залишати увімкнену піч без нагляду [3].

4. При завантаженні та вивантаженні матеріалів з печі слід використовувати рукавиці з теплоізоляцією [3].

5. Перед зачисткою печі, проведенням ремонтних робіт або зупинкою для обслуговування електроживлення необхідно відключити [3].

6. Перше включення печі слід проводити після ретельного огляду всіх електричних з'єднань [3].

Екологічні заходи на хлібозаводах

Останнім часом увесь світ активно звертає увагу на розробку та впровадження заходів з охорони навколишнього середовища [15], включаючи зменшення викидів в атмосферу [2]. У зв'язку з цим всі підприємства України повинні вести облік можливих джерел викидів і забруднюючих речовин [26]. Слід зазначити, що виробництво хліба не віднесено до галузей харчової промисловості, які високо забруднюють середовище [24].

На хлібопекарських підприємствах викиди до атмосфери включають такі компоненти [2]:

- речовини з органічного походження, які виділяються основним виробництвом під час технологічних процесів [2];

- речовини з неорганічного походження, що викидаються основним виробництвом при згорянні палива у топці хлібопекарських печей та парових котлах [2].

В процесі виробництва хлібних виробів виконуються такі операції [18]:

- прийом, зберігання та підготовка сировини до виробництва [18];

- заміс та бродіння тіста [18];

- розстійка тістових заготовок [18];

- випікання хліба [18];

- охолодження [18];

- збереження готових продуктів та відправлення їх у торговельну мережу [18].

Оскільки основною сировиною для випічки хліба є борошно [20], головним джерелом забруднення повітря є пил з борошна [15]. Максимально допустима концентрація пилу становить 0,06 мг/м³ [15], а обсяг викидів на виробництві складає не більше 0,05 тонн на рік [2]. У хлібній галузі для очищення повітря від пилу застосовують циклони чи рукавні фільтри [18]. Після використання циклонів захоплений пил може бути повторно використаний у виробництві [19], а після використання рукавних фільтрів пил використовується для виготовлення корму [15].

Інші операції мають невеликий відсоток викидів і можуть бути вважені незначущими з точки зору забруднення повітря [26].

Висновки

Рекомендації та заходи з охорони навколишнього середовища становлять складну задачу [1], що потребує уваги вчених різних галузей [26]. Ефективною стратегією у боротьбі із шкідливими викидами промисловості є повний перехід до безвідходного і маловідходного виробництва [18]. Це вимагає вирішення комплексу завдань у галузях технологій [2], конструкцій та організації, ґрунтованих на застосуванні передових науково-технічних досягнень [26].

Основними напрямками екологізації промисловості слід вважати [2]:

1. Модернізацію технологічних процесів і розроблення новітнього обладнання з меншими номінальними викидами, домішками та відходами до навколишнього середовища [2].

2. Проведення екологічної експертизи у всіх сферах виробництва та виробів [2].

3. Широке впровадження додаткових методів та засобів для захисту довкілля [2].

Ці заходи націлені на поліпшення екологічної ситуації та зменшення впливу промисловості на навколишнє середовище [15], і їх впровадження вимагає спільних зусиль у наукових, технічних і організаційних аспектах [26].

ВИСНОВКИ

В результаті аналізу процесів та обладнання, яке використовується для охолодження хлібних виробів, визначена необхідність проведення досліджень та розробки спеціалізованого обладнання для завершальної стадії технологічного процесу виробництва хлібних виробів.

Проведено аналіз процесу охолодження хліба на механізованих потокових лініях. Виявлено закономірності впливу навколишнього середовища на швидкість процесу охолодження хліба, а також розроблено графіки зміни маси і температури хліба за природним способом охолодження.

Здійснено огляд різних методів охолодження, визначено переваги і недоліки відомих підходів, а також встановлено взаємозв'язок між зміною температури і маси хліба при використанні кондиційованого повітря.

На основі розробленої математичної моделі процесу прогріву тістових заготовок, які мають циліндричну форму, враховано їх теплофізичні властивості, та проведено обчислювальний експеримент щодо охолодження готового виробу від 100°С до 30°С при температурі навколишнього середовища 25°С.

На основі отриманих результатів розроблено конструкцію спірального кулера. Впровадження розробленого обладнання у виробництво дозволить скоротити тривалість процесу охолодження, зменшити використання ручної праці та виробничі площі. Економічний розрахунок підтверджує доцільність впровадження розробленого обладнання у виробництво.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Технологічні комплекси харчових виробництв: Навчальний посібник / В. І. Теличкун, О. М. Гавва, Ю. С. Теличкун, О.О. Губеня, М. Г. Десик, О. М. Чепелюк. – Київ: Видавництво «Сталь», 2017. -456 с.
2. Мирончук В.Г., Гулий І.С., Пушанко М.М. Обладнання підприємств переробної та харчової промисловості/ В.Г. Мирончук, І.С. Гулий, М.М. Пушанко; за ред. В.Г. Мирончука. Підручник. – Вінниця: Нова книга, 2007. – 648 с.
3. Мирончук В.Г., Люлька Д.М., Єщенко О.А., Свідерська О.І. Монтаж та технічний сервіс обладнання/ В.Г. Мирончук, Д.М. Люлька, О.А. Єщенко, О.І. Свідерська. Практикум: навч.посіб. / За ред. В.Г.Мирончука. – К.: НУХТ, 2017. – 162 с.
4. Монтаж, ремонт, наладка обладнання харчових виробництв // П.В. Гурський, Ф.В. Перцевий, І.С. Гулий. Практикум. Навч.посібник. – Харків: 2001. – 230 с.
5. Технологічне обладнання харчових виробництв: Метод. вказівки до викон. курсового проекту галузі знань 0505 «Машинобудування та матеріалообробка» напряму підготовки 6.050502 «Інженерна механіка» (спеціальності «Обладнання переробних і харчових виробництв») денної та заочної форм навчання / Уклад.: В.Л. Яровий, Р.Л. Якобчук, Д.М. Люлька – К.: НУХТ, 2010. – 28 с.
6. Технологічне обладнання харчових виробництв. Механічне обладнання: Навчальний посібник для студентів механічних фахів. – Одеса:Астропринт, 2001. – 320с.
7. Казаков, Н. Ф. Технология пищевого машиностроения: Учебник

для ВУЗов по специальности ”Машины и аппараты пищевых производств“ [Текст] / Н. Ф. Казаков, Г. А. Мартынов. — М. : Машиностроение, 1982. — 296 с.

8. Трегуб, В. Г. Проектирование, монтаж и эксплуатация систем автоматизации пищевых производств [Текст] / В. Г. Трегуб, А. П. Ладанюк. — М. : Легкая и пищевая промышленность, 1981. — 362 с.

9. Гатилин Н. Ф. Проектирование хлебзаводов. – М. : Агропромиздат, 1975. – 376 с.

10. Горошко М. К. Основи теории и расчета машин-автоматов и автоматических линий хлебопекарной пром-сти. – М. : Пищ. Пром-сть, 1977. – 312 с.

11. Технологическое оборудование хлебопекарних предприятий / Ю. П. Головань и др. — М. : Агропромиздат, 1988. – 382 с.

12. Російсько-український словник технічних термінів у хлібопекарному, кондитерському та макаронному виробництвах / Уклад. О. А. Руденко-Грицюк. – К. : Наук, думка 2000. – 282 с.

13. Расчет и проектирование печей хлебопекарного и кондитерського произвоств / А. А. Михелев, Н. М. Ицкович, М. Н. Сигал и др. А. В. Володарський. — М. : Пищ. Пром-сть, 1979. – 326 с.

14. Маклюков И. И., Маклюков В. И. Промишление печи хлебопекарного и кондитерского произвоства. — М. : Лег. и пищ. пром-сть, 1983. – 272 с.

15. Середа Д.Г., Домашевский В.И. Охрана труда в пищевой промышленности – М., Пищевая промышленность 1993 – 344 с.

16. Справочник механика пищевой промышленности. / А.И. Соколенко, А.И. Украинец, В.Л Яровой и др. Под ред. А.И. Соколенко – К.: Арт Эк. 2004 – 304 с.

17. Супрунчук, В. К. Конструкционные материалы и покрытия в продовольственном машиностроении: Справочник [Текст] /

В. К. Супрунчук, З. В. Островский. — М. : Машиностроение, 1984. — 328 с.

18. Павлище, В. Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин [Текст] / В. Т. Павлище. — К. : Вища школа, 1993. — 556 с.

19. Киркач, Н. Ф. Расчет й проектирование деталей машин [Текст] / Н. Ф. Киркач, Р. А. Баласанян. — Х. : Основа, 1981. — 276 с.

20. Соколов, А. А. Основы расчета й конструирования машин й аппаратов пищевых производств [Текст] / А. А. Соколов. — М. : Пишепромиздат, 1960. — 431 с.

21. Отраслевой каталог «Обборудование технологическое для хлебопекарной промисленості». – М: Пищ. пром-сть, 1982. - 353 с.

22. Поточно-механизированние и автоматизование линии в хлебопекарной промишленості / М. Н. Сигал и др. – К. : Урожай, 1988. – 176 с.

23. Мето дичні вказівки до виконання курсового проекту з обладнання хлібопекарського, макаронного та кондитерського виробництва ля студентів спец. 7.06 всіх форм навчань / Уклад. І. М. Литовченко / - К. : КТ1ХН, 1992. – 27с.

24. Долінський, А. А. Енергозбереження та екологічні проблеми енергетики / А. А. Долінський // Наука та інновації. – 2006. – № 2. – С. 19–29. – Бібліогр.: с. 29

25. Эффективное использование электроэнергии /Пер. С анг.под ред. Д.Б.Вольфберга – М.:Энергоиздат, 1981. – 400с.

26. Лисовенко А.Т. Технологическое оборудование хлебозаводов и пути его совершенства.- М.: Легкая промышленность. 1982-208с.