

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Обґрунтування тривалості попередньої випічки хлібобулочних виробів при
двоетапному процесі

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи МОм-61
спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Рутковський М.Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Стадник І.Я.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Ворощук В.Я.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Вітенько Т.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)

Кафедра обладнання харчових технологій
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ОХ
Вітенько Т.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)
« 6 » жовтня 2021 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування»
(шифр і назва спеціальності)

студенту Рутковський Михайло Романович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Обґрунтування тривалості попередньої випічки хлібобулочних виробів при двоетапному процесі

Керівник роботи Стадник Ігор Ярославович, д.т.н., професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 6 » жовтня 2021 року № 4/7-844.

2. Термін подання студентом завершеної роботи 15 грудня 2021 року

3. Вихідні дані до роботи Технічний паспорт та інструкції з експлуатації, монтажу та технічного обслуговування і ремонту печі ФТЛ2-66. Існуюча технологія виробництва хлібобулочкових виробів.

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

Анотація. Вступ. 1. Аналіз сучасного стану об'єкту дослідження, вибір і обґрунтування основних напрямків дослідження. 2. Методи та методика досліджень. 3. Розроблення нових проектно-технологічних і технічних вирішень вдосконалення об'єкта дослідження.

4. Дослідження технологічних процесів вистигання хлібобулочкових виробів вакуум-випарним методом. 5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Висновки. Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Барабан хлібопекарної печі марки ФТЛ-2-66. Складальне креслення (1л.ф.А1).

2. Натяжна станція хлібопекарної печі марки ФТЛ-2-66. Складальне креслення (1л.ф.А1).

3. Хлібопекарна піч ФТЛ-2-66. Вигляд загальний. (1л.ф.А1).

4. Кінематична схема хлібопекарної печі марки ФТЛ-2-66. Складальне креслення (1л.ф.А1).

5. Вода у хлібині в процесі охолодження. (1л.ф.А1).

6. Особливості виробництва хліба за регулярного режиму II-го роду. (1л.ф.А1).

7. Вплив рівня попереднього випікання на хлібину при вакуум - випарному методі остигання. (2л.ф.А1).

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях</i>	<i>Кравець О.І. – к.т.н., доц. Клепчик В.М. – ст. викл.</i>		
<i>Нормоконтроль</i>	<i>Ворожук В.Я. – к.т.н., доц.</i>		

7. Дата видачі завдання 11 жовтня 2021 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Анотація		
2	Вступ		
3	1. Аналіз сучасного стану об'єкту дослідження, вибір і обґрунтування основних напрямків дослідження.		
4	2. Методи та методика досліджень		
5	3. Розроблення нових проектно-технологічних і технічних вирішень вдосконалення об'єкта дослідження.		
6	4. Дослідження технологічних процесів вистигання хлібобулкових виробів вакуум-випарним методом		
7	5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях		
8	Висновки		
9	Додатки		
10	Графічна частина		
11	Барабан хлібопекарної печі марки ФТЛ-2-66. Складальне креслення		
12	Натяжна станція хлібопекарної печі марки ФТЛ-2-66. Складальне креслення		
13	Хлібопекарна піч ФТЛ-2-66. Вигляд загальний.		
14	Кінематична схема хлібопекарної печі марки ФТЛ-2-66. Складальне креслення		
15	Вода у хлібині в процесі охолодження.		
16	Особливості виробництва хліба за регулярного режиму II-го роду.		
17	Вплив рівня попереднього випікання на хлібину при вакуум - випарному методі остигання.		
18			
19			
20			

Студент

(підпис)

Рутковський М.Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Стадник І.Я.

(прізвище та ініціали)

Анотація

Автор кваліфікаційної роботи освітнього рівня «магістр» – Рутковський Михайло Романович.

Тема кваліфікаційної роботи: Обґрунтування тривалості попередньої випічки хлібобулочних виробів при двоетапному процесі.

Кваліфікаційну роботу виконано в Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя в 2021 році

Кваліфікаційна робота складається з пояснювальної записки обсягом 85 сторінок (26 рисунків) та графічної частини 8 креслень формату А1.

Альтернативою традиційним способам охолодження є вакуумно - випарне. У цьому процесі вільна і розділена у структурі зразка продукту волога, у процесі випарювання, відбирає теплоту. В даний час на хлібопекарських підприємствах переважно використовують конвективний метод охолодження, який потребує великих складських приміщень.

В даній роботі проведено аналіз принципу дії вакуум-випарного обладнання, розглянуто процеси які відбуваються у камері під час вакуумування, а також проведено експеримент із визначенням зміни тиску в камері в залежності від часу відкачування повітря і визначення оптимального терміну попередньої випічки перед вакуумуванням.

Ключові слова: хліб, піч, випічка, етап, обґрунтування.

Abstract

Rutkovskyi M.R. Substantiation of bread products pre-baking duration in a two-stage process. 133 “Industrial Machinery Engineering” – Ternopil Ivan Puluj National Technical University.-Ternopil, 2021.

An alternative to the traditional methods of cooling is vacuum - evaporated. In this process free and divided in the volume of product moisture, evaporating, takes away a warmth. Presently on stovbreading enterprises mainly use the convection method of cooling, that requires large storage facilities.

The analysis of principle of action of vacuum - evaporated equipment is conducted in this work, processes are considered that take place in a chamber during vacuumizing, and also an experiment is conducted with determination of change of pressure in a chamber depending on time of pumping out of air and determination of optimal term of the previous baking before vacuumizing.

Keywords: bread, stove, baking , stage, loss, substantiation.

Зміст

Анотація	4
Abstract	5
Зміст	6
Вступ.....	8
1. Аналіз сучасного стану об'єкту дослідження, вибір і обґрунтування основних напрямків дослідження.....	11
1.1. Теплообмін у процесі випіканні хліба	11
1.2. Особливості випічки хліба і подачі теплової енергії у хлібопекарню піч	18
1.3. Вакуум-випарне охолодження у порівнянні з шоковим заморожуванням	24
1.4. Мета і завдання дослідження.....	28
2. Методи та методика досліджень.....	30
2.1. Система для оцінки потоків теплоти на зовні та у середині заготовки із тіста.....	30
2.2. Дослідження ТФХ зразків хлібобулкових виробів способом регулярного режиму II роду	30
3. Розроблення нових проектно-технологічних і технічних вирішень вдосконалення об'єкта дослідження.	33
3.1. Технологічний розрахунок печі ФТЛ2-66	33
3.1.1. Розрахунок теплового балансу пекарної камери	33
3.1.2. Розрахунок палива і продуктів згоряння	35
3.2. Кінематичний розрахунок печі ФТЛ2-66	40
3.3. Конструктивні розрахунки печі ФТЛ 2-66	42

3.3.1. Розрахунок передачі гвинт-гайка натяжного пристрою конвеєру хлібопекарської печі ФТЛ 2-66.....	42
3.3.2. Розрахунок кріплення натяжного пристрою до рами печі хлібопекарської ФТЛ 2-66.....	45
3.3.3. Розрахунок гайки шарнірної натяжного пристрою печі хлібопекарської ФТЛ 2-66.....	47
3.3.4. Розрахунок транспортера тістових заготовок.....	53
4. Дослідження технологічних процесів вистигання хлібобулкових виробів вакуум-випарним методом.....	59
4.1 Порівнювальний аналіз вакуум-випарного і конвекційного методу вистигання капілярно-пористих структур.....	59
4.2 Методики застосування вакуумного методу в умовах виробництва..	64
4.3 Дослідження впливу на допiкання, пористiсть та упiкання хлібобулкових виробів від рівня попереднього випікання із застосуванням вакуум – випарного методу остигання.....	64
5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	68
5.1 Заходи з охорони праці.....	68
5.2. Заходи з безпеки в надзвичайних ситуаціях.	75
Висновки	81
Перелік посилань.....	83
Додатки.....	Помилка! Закладку не визначено.

Вступ

Технологічні процеси остужування та нагрівання досліджують тривалий час і несправедливим є твердження, що вони є вивченими досконально та повністю.

Традиційно використовувані методи остужування продуктів харчування за допомогою конвективних потоків холодних повітряних мас не у всіх випадках доцільно застосовувати при проміжного остужуванні продуктів харчування. Це обумовлено наявністю обмежень за температурою робочого середовища, яка, маючи достатньо низькі значення, має бути позитивним та не стати причиною замороження оброблюваних зразків.

Альтернативним до традиційних методів є вакуум-випарне охолодження, коли вогкий вистужуваний продукт сам є регульованим за температурою холодоагенту. Лише одну суттєву вимогу ставлять до зразків задля досягання належного вистужування вакуум-випарним методом - це в достатній мірі значний рівень пористості, що дає змогу, сформованій всередині капілярно-пористого зразка водяній парі, вільно залишати його та виводитися одночасно із відкачуванням повітрям.

Актуальність теми роботи. Особливістю процесу гігротермічної обробки тіста-хліба є прогрівання капілярно-пористої структури. Перенос тепла і вологи в тісті-хлібі являється головним фізичним фактором в процесі випікання. Два процеси тепломасообміну впливають один на одного і визначають хід технології процесу випікання. Режим випікання встановлюється переміщенням теплоти і вологи всередині тіста-хліба. Отже, основи теорії переносу тепла і вологи при випіканні дають можливість обґрунтувати режими випікання і встановити дані при розробці нових конструкцій печей.

Основні теплофізичні властивості процесу при випіканні є заключним етапом технологічного процесу виробництва хлібобулочних виробів. Термовологопровідність при випіканні відіграє значну роль та обумовлена великим тепловим напруженням поверхні хліба, що створює температурний

градієнт. Це явище визначає специфічний характер тепломасообміну і являється особливим варіант прогріву тіста-хліба.

Мета роботи – вивчення ТФХ тіста-хліба в процесі теплової обробки і інтенсивності теплопідведення.

Для досягнення мети роботи поставлено такі завдання:

- провести аналіз конструкцій та досліджень температурних режимів в камерах печей;
- вивчення шляху інтенсифікації процесу випікання виробів в печах з масивними теплоакумуючими подами, що є актуальним і важливим, як з теоретичної так і з практичної позиції;
- визначення залежності ТФХ тіста-хліба від розрихленості, температури і інтенсивності теплопідведення;
- дослідження зміни теплового режиму і встановлення раціонального режиму для випічки хлібобулочних виробів;
- визначення оптимальних умов вакуум-випарного охолодження.

Об'єкт, методи та джерела дослідження – процес випікання тіста-хліба.

Предмет дослідження – закономірності взаємозв'язку тепломасообміну в тісті-хлібі при випіканні.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження виконано на основі теорії тепломасообміну і термодинаміки, теоремеханіки, теоремашин і механізмів, конструювання. Апробацію проведено методом комп'ютерного моделювання. Експериментальні дослідження виконано і отримано на спеціально розроблених оснащеннях та засобах вимірювань з застосуванням математичного планування експерименту. Обробка експериментальних даних проведено з використанням прикладних програм для ПЕОМ.

Наукова новизна полягає в:

- одержаних даних по розподіленні температурних потоків в тісті-хлібі при випіканні, що сприяє встановленні інтенсивності інгредієнту температурного руху на процес випікання;

- удосконалено методику визначення залежності ТФХ тіста-хліба від розрихленості, температури і інтенсивності теплопідведення;

- визначено найбільш небезпечні режими умов вакуум-випарного охолодження в робочій камері.

Практичне значення результатів полягає в: проведенні розглянутих методиках по визначенню та обґрунтуванню масообмінних процесів і технологічних параметрів при випіканні. Результати розподілення градієнта температури на ТФХ тіста-хліба підтвердили ефективність процесу випікання виробів в печах з масивними теплоакумуючими подами.

Отримано оптимальні умови вакуум-випарного охолодження.

Новизна розробок знайшла використання в навчальному процесі при підготовці фахівців за спеціальністю «133 Галузеве машинобудування» для викладання дисципліни «Технологічне обладнання хлібопекарських та бродильних виробництв».

Автором особисто: запропоновано ідею проведення визначення температурних потоків на ТФХ тіста-хліба в пекарній камері печі; побудовано модель розподілення температур та обґрунтовано; узагальнено дані фізичних досліджень та подано рекомендації щодо випікання і оптимальних умов вакуум-випарного охолодження.

Апробацію досліджень доповідалися з обговоренням на науковій конференції аспірантів та студентів (м. Тернопіль).

Публікації. За темою подано 1 теза доповідей на науковій конференції (м. Тернопіль, 2021). Науково-технічних конференціях Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя

Структура роботи. Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Розрахунково-пояснювальна записка складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку посилань та додатків. Обсяг роботи: розрахунково-пояснювальна записка арк..формату А4, графічна частина – аркушів формату А1.

1. Аналіз сучасного стану об'єкту дослідження, вибір і обґрунтування основних напрямків дослідження.

1.1. Теплообмін у процесі випіканні хліба

Печіння хліба є особливим технологічним процесом нагрівання тіста. Найсуттєвішим фізичним чинником процесу, який проходить під час печіння, є перенос тепла і вологи в тістовій заготовці (хлібі). Перенос теплової енергії у матеріалах з високим рівнем вологи тісно поєднано з переносом вологи в них, а перенос вологи у таких видах матеріалів поєднано з переносом теплоти. Ці обидва тепломасообмінні процеси, які здійснюються одночасно, здійснюють вплив один на іншого, а їхнє відношення обумовлює перебіг основного техпроцесу. Режим процесу випікання обумовлюється фізичним рухом теплоти та вологи в середині маси в тістовій заготовці (хліба), який печеться. Теорія переносу теплоти та вологи у процесі печіння дає змогу обґрунтувати найоптимальніші режими печіння та є базою при покращанні діючих та розроблення нових конструктивних рішень щодо печей.

Теоретичні основи технологічних процесів при печінні розроблено професором АС. Гінзбургом і опираються на теорію А.В. Ликова щодо тепломасообмінних процесів.

Печіння є фінальним етапом техпроцесу виготовлення хлібобулкових виробів; на його перебіг має місце великий вплив передуючих етапів процесу, які визначають властивості частин тіста, які випікаються. При печінні суттєву роль має тепловологопровідність, яка спричинена досить високим тепловим напруженням поверхні хлібобулкових заготовок; тому у ньому виникає суттєвий градієнт температур. Власне це явище обумовлює специфічний перепіг термомасообміну в процесі випікання, який є особливим варіантом прогрівання вологих тістових заготовок.

Закон переносу речовини має вигляд:

$$j = x \cdot \text{grad}\Theta, \quad (1.1)$$

де j - щільність потоку аналізованої речовини, а отже маса речовини M , яка транспортується через одиничну ізопотенціальну площу ΔS :

$$j = \frac{dM}{d\tau \cdot \Delta S}, \quad (1.2)$$

$grad\Theta$ - градієнт потенціалу;

x - коефіцієнт масопроводності.

Число x є аналогічним до коефіцієнту теплопроводності з закону Фур'є:

$$q = -\lambda \cdot gradt \quad (1.3)$$

Градієнт $grad\Theta$ є аналогічним температурному градієнту $gradt$ і такж є пропорційним до градієнту тиску водяних парів (коли має місце дифузійний перенос пари), чи до градієнту капілярного потенціалу (коли має місце молярне переміщення капілярно зв'язаної вологи), чи до градієнту осматичного тиску (коли має місце дифузійний перенос осматично поглиненої вологи).

У процесі теплообміну, який є ускладненим масообмінними процесами, закон теплопроводності записується наступним чином:

$$q = -\lambda \cdot gradt + Jj, \quad (1.4)$$

де q - густина загального потоку тепла, Bm / m^2 ;

λ - коефіцієнт теплопроводності вогкого матеріалу, $Bm / m \times K$;

$gradt$ - температурний градієнт, K / m ;

j - густина загального потоку вологи, який рухається в тілі, $kg / m^2 \times C$;

J - приведена ентальпія вологи, яка рухається в тілі, kJ / kg .

Рух вологи може здійснюватися у формі молекулярного переносу пари (j_n) та в формі переносу рідини (j_p), який спричинений різницею значень потенціалу вологи, що утворюється внаслідок виникнення у матеріалі температурного градієнта:

$$j = j_n + j_p = -a \cdot \rho_0 \cdot gradU - a \cdot \rho_0 \cdot \delta \cdot gradt \quad (1.5)$$

тоді

$$q = -\lambda \cdot gradt - J_n \cdot a \cdot \rho_0 \cdot gradU - J_p \cdot a \cdot \rho_0 \cdot \delta \cdot gradt, \quad (1.6)$$

де J_n - величина ентальпії води, яка переміщується всередині об'єму у формі пари, $\text{кДж} / \text{кг}$;

J_p - значення ентальпії рідиного середовища, $\text{кДж} / \text{кг}$;

a - значення коефіцієнту температуропроводності (потенціалопроводність) матеріалу, $\text{м}^2 / \text{с}$;

ρ_0 - значення ваги абсолютно сухого середовища у одиничному об'ємі вогкого середовища, $\text{кг} / \text{м}^3$;

δ - значення коефіцієнту термовологопроводності, $\% / \text{град}$.

чи

$$q = -(\lambda + a \cdot \rho_0 \cdot \delta \cdot J_p) \cdot \text{grad}t - a \cdot \rho_0 \cdot J_n \cdot \text{grad}U, \quad (1.7)$$

А.С. Гінзбург знацшов дифрівняння внутрішнього теплообмину в вологому матеріалові у процесі перенесення вологи в рідинній формі і сталих термо-волого-коефіцієнтах у процесі випіканя:

$$\frac{dt}{d\tau} = a\nabla^2 t + \frac{\Delta J}{C_{np}} \frac{dU}{d\tau} \quad (1.8)$$

де ΔJ - величина різниці ентальпій, значення якої обумовлює внутрішні теплообмінні процеси внаслідок перенесення вологи в рідинній форму у $\text{кДж} / \text{кг}$;

C_{np} - значення приведеної теплоємності матеріалу, $\text{кДж} / \text{кг}$;

$$C_{np} = C_{c.p.} + C_p U = C_{c.p.} + C_p \frac{W^c}{100} \quad (1.9)$$

де $C_{c.p.}$ - значення теплоємності сухої частки матеріялу, $\text{кДж} / \text{кг}$;

C_p - значення питомої теплоємності рідинної фази, $\text{кДж} / \text{кг}$;

$U = \frac{W^c}{100}$ - значення вологовмісту робочого матеріалу, $\text{кг} / \text{кг}$.

В процесі теплообміну, ускладненого наявністю масообміною складових внаслідок часткового чи повного переносу вологи в пароподібній формі, АВ. Ликов впроваджує у дифрівняння число фазного перетворення ε .

$$\frac{dt}{d\tau} = a\nabla^2 t + \varepsilon \frac{r}{C_{np}} \frac{dU}{d\tau} \quad (1.10)$$

де r - значення прихованої теплоти пароутворення, $кДж / кг$.

$$\varepsilon = \frac{j_n}{j} \quad (1.11)$$

де j_n - значення густини потоку пари, $кг / м^2с$.

j_p - значення густини потоку вологи в цілому, $кг / м^2с$.

Диференціальні (1.8) та (1.10) - це часткові випадки загального рівняння переносу теплоти в вогкому матеріалі, у якому враховано всі види теплопереносу.

Вогкий матеріал є пористим тілом, яке формується з елементів: твердий скелет, волога і повітря. Внутрішні теплообмінні процеси (теплоперенос) у такого типу матеріалу може бути реалізований за рахунок теплопроводності через жорсткий скелет тіла та повітря, яке міститься у порах, конвективного теплопереносу та випромінювання поміж стінок внутрішніх пор, і також за допомогою внутрішніх масообмінних процесів (перенос вологи в рідкому та пароподібному виді) за наявності джерел і реципієнтів теплоти.

Теплоперенос у тістовій заготовці (хлібі) на початковому етапі переважно спричинено теплопроводністю жорсткого скелету матеріалу та в певній мірі вологопереносом з зовнішніх шарів у середні шари хліба.

У процесі випікання хлібобулкових виробів на початку технологічного процесу волога рухається від верху до середини, а у другому періоді розподіл вологи м'якушки є близьким до стаціонарного та волога виходить лише зі скоринки, яка формується. У першому періоді волога рухається переважно в рідинній формі, а в другому періоді, утворена в зоні випарювання пара основному виводиться в через скоринку, спричинюючи упікання.

Рівняння теплового потоку для I періоду випікання можна записати у наступній формі:

$$q = -(\lambda + J \cdot a \cdot \rho_0 \cdot \delta) \cdot gradt = -\lambda_{екв} \cdot gradt, \quad (1.12)$$

де $\lambda_{екв}$ - еквівалентний коефіцієнт теплопроводності тіста (м'якушки), у якому враховано вплив масообмінних процесів на перебіг теплообміну, $Вт / м \times К$;

$$\lambda_{екв} = \lambda + J \cdot a \cdot \rho_0 \cdot \delta \quad (1.13)$$

По аналогії до визначення еквівалентного коефіцієнта теплопроводності тістових заготовок (хліба) запроваджується еквівалентний коефіцієнт температуропроводності. Дифрівняння тепломасообмінних процесів матиме наступний вигляд:

$$\frac{dt}{d\tau} = a_{екв} \nabla^2 t \quad (1.14)$$

Отримана залежність (1.14) випливає з загального рівняння теплообмінних і масообмінних процесів (1.8) при випіканні.

Під час руху вологи під впливом градієнта температур у I періоді:

$$\frac{dU}{d\tau} = a \cdot \delta \cdot \nabla^2 t \quad (1.15)$$

і

$$\frac{dt}{d\tau} = a \nabla^2 t + \frac{\Delta J}{C_{np}} \cdot a \cdot \delta \cdot \nabla^2 \cdot t = \left(a + \frac{\Delta J}{C_{np}} \cdot a \cdot \delta \right) \nabla^2 \cdot t = a_{екв} \nabla^2 t$$

Отже

$$a_{екв} = a + \frac{\Delta J}{C_{np}} \cdot a \cdot \delta \quad (1.16)$$

Вплив масообмінних процесів на теплові коефіцієнти можна описати запропонованими ОВ. Ликовим критеріями:

Теплопроводності:

$$K_{\lambda} = \frac{\lambda_{екв} - \lambda}{\lambda} \quad (1.17)$$

Температуропроводності:

$$K_a = \frac{a_{екв} - a}{a} \quad (1.18)$$

В даний час застосовують загальні методики встановлення коефіцієнта тепло- та масо-переносу.

На прогрівання тістової заготовки (хліба) при його печінні має місце вплив теплофізичних характеристик пекарської камери, і чинники, які обумовлені особливостями оброблюваних хлібобулкових виробів (маса, геометрія, кількість води, наявність пор тощо).

Вплив температурних режимів у робочій камері печі на процес нагріву тістової заготовки (хліба), який обробляється активно досліджувалося.

Зі зростанням температури в робочій камері, пришвидшується нагрів оброблюваної тістової заготовки. Зазвичай температура робочої камери не є постійною. Зазвичай виготовлення хліба, здійснюється при неперервному зменшенні температури робочої камери.

НВ. Беліков досліджував температуру тістової заготовки (хліба) при випічці за зменшеної температури робочої камери печі. Беліков зробив висновки, що найсильніше реагують на зменшення температури робочої камери верх скоринки та дуже несуттєво реагує м'якушка, зокрема її середина.

Те, як залежать відносна вологість суміші пари і повітря в робочій камері на процес нагріву тістової заготовки (хліба) при випічці вивчали А.С. Гінзбург, Ф.Г.Шумаєв, І.І.Маклюков та інші.

Процес парозволоження простову робочої камери печі значною мірою чинить вплив на упікання, збільшення об'єму хлібобулкових заготовок у печі, особливості зовнішньої поверхні скоринки, а також і геометрію.

Внаслідок пористості структури тістових заготовок конденсація має місце не тільки на тістовій заготовці, а і, згідно висновків А.Міхелева, у структурі тістових шарів, на певній відстані вглиб тістової заготовки. Конденсація водяних парів на тістовій заготовці та у приповерхневій зоні, буде сильнішим і довшим, зі зростанням насиченості парогазового середовища робочої камери водяною парою, та зі зменшенням температури робочої камери та зменшенням температури тістової заготовки. Конденсація водяних парів відбуватиметься доти, поки температура тістової поверхні не стане вищою, ніж температура точки роси для середовища камери печі.

Конденсація водяних парів на тістовій заготовці чинить вплив на якісні показники хлібо-булкових виробів, а також впливає на перебіг нагріву заготовки в процесі випікання. Це можна пояснити наступним: при конденсації водяних парів має місце виділення прихованої теплоти пароутворення. Зростання рівня вологості робочої камери обумовлює прискорення нагріву верхніх шарів тістової

заготовки при конденсуванні водяної пари. Також відбувається прискорений нагрів не тільки прискоринкової м'якушки, а й глибших шарів м'якушки.

Внаслідок нагрівання тіста в процесі його випікання має місце теплове розширення газів в порах, і виділення парів легкокиплячих складників та води. Наслідком є зростання початкових розмірів та пористості м'якушки та фіксування його мікроструктури, зміна густини шарів тістової заготовки (хліба).

Зміна геометрії хлібобулкових виробів взаємозалежна зі зміною їх густини внаслідок зміни пористості та вмісту вологи в окремих шарах тістової заготовки (хліба) під впливом термовологопроводності та руху випареної води.

Зміну рівня вологості м'якушки хлібобулкових виробів внаслідок дії термовологопроводності досліджував А. Гінзбург. Зафіксовано зростання вологості м'якушки наприкінці процесу випічки на 2%...3% відносно вологості тіста. Залежності вологості від висоти хлібобулкових виробів досліджували О.Т.Лісовенко та Л.Я.Ауерман.

Н.В.Беліков досліджував зміну розподілу вологи м'якушки хліба 2кг з житнього борошна. У нього також відмічено зміну вологи в м'якушці на 2%...2.5% наприкінці процесу випікання.

Помітна відмінність густини шарів м'якушки має місце у I періоді процесу випічки в ході виростання заготовки хлібобулкового виробу. Також зростання густини окремих шарів у хлібобулковій заготовці внаслідок виникнення тиску у внутрішніх шарах, при досяганні ними температури кипіння може бути у II періодові випічки. Задля дослідження густини м'якушки у хлібобулковому виробі, при випічці О.Т.Лісовенко запропонував дві методики:

- рентгенографія поперечного перерізу;
- пошарове встановлення густини та рівня вологи зрізів по висоті.

Багато методик та устроїв для дослідження теплових процесів при випіканні хлібобулкових виробів запропоновано вітчизняними та зарубіжними ученими та інженерами.

Запропоновані методики та устрої дають змогу виконувати дослідження тепломасообмінних процесів, розуміння яких є ключовим для створення засобів і систем автоматичного керування технологічними виробничими процесами.

1.2. Особливості випічки хліба і подачі теплової енергії у хлібопекарну піч

Сучасна піч для випічки хліба - це складна технічна система, при функціонуванні якої має місце поєднання енергетичних, гідравлічних, аеродинамічних, механічних, теплових, масообмінних та хіміко-біологічних процесів.

Геометрія тістових заготовок, які випікаються, має суттєву відмінність від правильних геометричних фігур (циліндричних, плоских поверхонь, кулеподібних, еліпсоїдів тощо), випікання та тривалість його перебігу є взаємозалежним від процесу теплопередачі у виробі.

Теплообмінні процеси за своєю природою є комплексними і поділяються на теплопровідні, променисті та конвективні. У виробничих умовах при випіканні хліба як правило мають місце всі названі види теплообмінних процесів.

Теплова робота пічної системи - поєднання теплообмінних процесів, які реалізують виконання певного технологічного завдання. Техпроцес роботи пічної системи зазвичай полягає у встановленні теплової дії на оброблювану тістову заготовку. Тепловий вплив полягає у змінюванні температури тістової заготовки (хліба) а, отже, і ентальпії.

Рух теплоти від більш нагрітого об'єкту до холоднішого здійснюється за залежністю (1.3).

Для того, щоб встановити фізичну суть коефіцієнта теплопровідності, представимо залежність (1.6) для випадку стаціонарного одновимірного поля температур. Тоді температура є залежною лише від одної координати, а саме від нормалі до ізоповерхонь температур; скаляр вектора потоку теплоти становитиме:

$$q = -\lambda \frac{dT}{dx} \left(\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{\partial T}{\partial z} = 0 \right) \quad (1.19)$$

Коли температурний градієнт матиме постійне значення $\frac{dT}{dx} = 0$, що вказує на зміну температури при зростанні x у лінійній формі, то:

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_2 - T_1}{X_2 - X_1} = \text{CONST} \quad (1.20)$$

Це означає, що швидкість зміни потоку теплоти $\frac{dQ}{d\tau}$ матиме постійне значення:

$$\frac{dQ}{d\tau} = \text{CONST} \quad (1.21)$$

де: Q - теплота, яка протікає за період τ .

Виходячи з (1.6-1.22-1.24):

$$\frac{Q}{S\tau} = -\lambda \frac{T_2 - T_1}{X_2 - X_1} = \lambda \frac{T_1 - T_2}{X_2 - X_1} \quad (1.22)$$

оскільки $T_1 > T_2$, а $X_2 > X_1$.

Тоді, коефіцієнт теплопровідності є рівним кількості протікаючої за одиничний часовий відрізок теплоти крізь одиничну площу, за температурної різниці на одиничній нормалі, величиною 1К. Звідси: розмірність $\text{Вт} / \text{мК}$.

Залежність $\frac{\lambda}{X_2 - X_1} = \frac{\lambda}{\Delta X}$ - теплопровідність даного сегменту, зворотня величина $\frac{\Delta X}{\lambda}$ - термоопір цього сегменту.

В твердих тілах перенесення теплоти за допомогою теплопровідності переважно обумовлюється перенесенням енергії за рахунок вільних електронів. Відмінності коефіцієнтів теплопровідності для різних структур обумовлюється наявністю пористості.

Якщо виразити об'ємне концентрування внутрішньої енергії скалярним температурним градієнтом, то закон теплопровідності Фур'є буде:

$$\frac{\partial T}{\partial n} = \left(\frac{\partial T}{\partial U_V} \right)_V \frac{\partial U_V}{\partial n} = \frac{1}{C_V} \frac{\partial U_V}{\partial n} \quad (1.23)$$

де:

$$C_V = \left(\frac{\partial U_V}{\partial T} \right)_V = C_V \rho$$

C_V - ізохорна теплоємність $\left(\text{Дж} / \text{м}^3 \times \text{К} \right)$;

$C_V \rho$ - об'ємна теплоємність $\left(\text{Дж} / \text{м}^3 \times \text{К} \right)$.

Тоді:

$$q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = -a_V \text{grad} U_V \quad (1.24)$$

де: a_V - коефіцієнт температуропроводності при $V = \text{CONST}$:

$$a_V = \frac{\lambda}{C_V \rho} \quad (1.25)$$

Для випадку стаціонарного і одновимірного теплового потоку

$\left(q = \text{CONST} = \frac{\partial U_V}{\partial n} = \text{CONST} \right)$ залежність (1.24) виглядатиме:

$$\frac{Q}{S\tau} = a_V \frac{U_{V_1} - U_{V_2}}{X_2 - X_1} \quad (1.26)$$

Таким чином для температуропроводності розмірність виглядатиме:

$$[a_V] = \frac{\text{Дж} \times \text{м}^4}{\text{м}^2 \times \text{с} \times \text{Дж}} = \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

Для $P = \text{CONST}$ температуропроводність a_P $\left(\text{м}^2 / \text{с} \right)$:

$$a_P = \frac{\lambda}{C_P \rho} = \frac{\lambda}{C_P'} \quad (1.27)$$

де: C_P - питома ізобарична теплоємність;

C_P' - об'ємна ізобарична теплоємність.

$$C_P' = C_P \rho = \left(\frac{\partial H_V}{\partial T} \right)_P \quad (1.28)$$

H_V - ентальпія $\left(\text{Дж} / \text{м}^3 \right)$.

Рівняння теплопроводності можна записати:

$$q = -\lambda \left(\frac{\partial T}{\partial H_V} \right)_P \frac{\partial H_V}{\partial n} = -a \text{grad} H_V \quad (1.29)$$

У випадку твердих структур питома ізохорична теплоємність C_V несуттєво відмінна від питомої ізобаричної теплоємності C_p , тоді є допустимим припущення $C_V = C_p = C$. Коефіцієнт температуропроводності $a = a_p = a_V = \frac{\lambda}{c\rho}$.

Скаляр вектора потоку теплоти:

$$q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial n} \quad (1.30)$$

Елементарні складові вектору q у напрямках $\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{z}$ позначимо $\mathbf{q}_x, \mathbf{q}_y, \mathbf{q}_z$ скаляри яких:

$$q_x = q \cos(n, x) = -\lambda \frac{\partial T}{\partial n} \cos(n, x) = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \quad (1.31)$$

$$q_y = -\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \quad (1.32)$$

$$q_z = -\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \quad (1.33)$$

Встановимо обсяг теплоти, яка передається елементарною площею dS_l яка є під кутом ψ до дотичної ізотермічної площини:

$$q_l = q \cos \psi = \frac{dQ}{d\tau} \frac{1}{dS_n} \quad \cos \psi = \frac{dQ}{d\tau} \frac{1}{dS_l} \quad (1.34)$$

Оскільки (рис. 1.1) $dS_n = dS_l \cos \psi$ є проекцією елементарної площі dS_l на дотичну ізотермічної площини.

З залежності (1.31):

$$dQ = q_l dS_l d\tau = q (dS_l \cos \psi) d\tau = q dS_n d\tau \quad (1.35)$$

Теплова енергія Q протікаюча протягом часу τ поверхнею S :

$$Q = -\lambda \int_0^\tau \int_{(S)} \frac{\partial T}{\partial l} dS_l d\tau \quad (1.36)$$

Таким чином, щоби встановити величину теплової енергії, яка проходить поверхнею тіла з твердою структурою, треба щоб було відоме поле температур всередині нього. Це є головним завданням аналітичної теорії теплопровідності.

Значення сумарного поглинання теплоти скоринки у нижній частині хлібобулкового виробу в часі:

$$Q = \int_0^{\tau} q d\tau \quad (1.37)$$

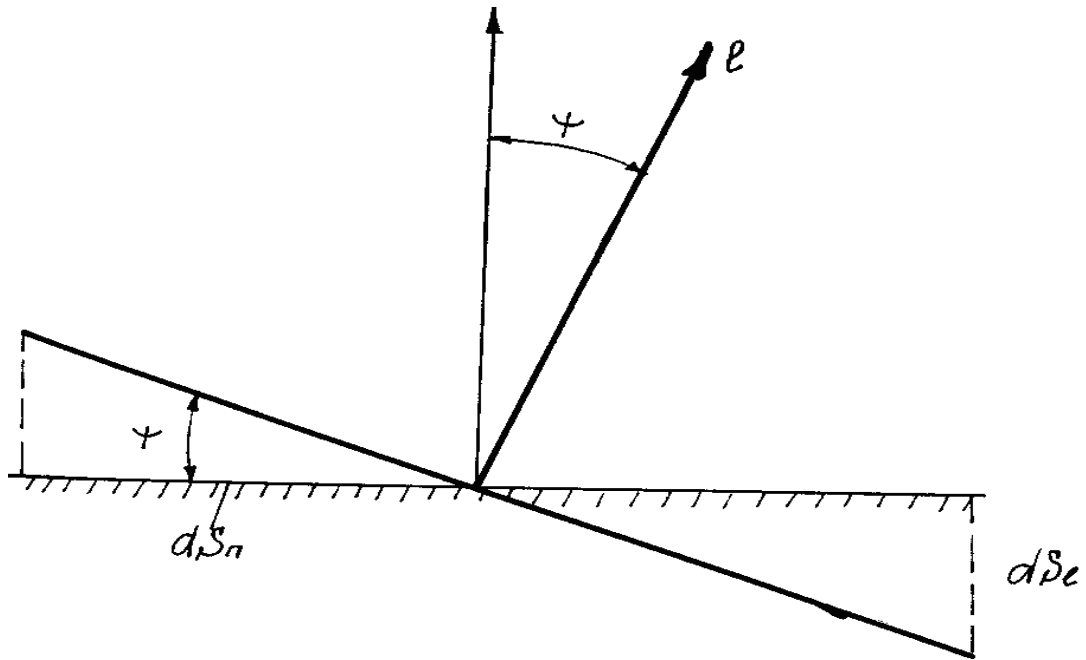


Рис.1.1 Тепловий потік через елементарну площу.

Встановлення потоків теплової енергії в пічних системах хлібопекарної промисловості є важливими і цікавими задля економії енергетичних ресурсів, покращання готової продукції, зменшення ручної праці.

Кінетику процесу подачі теплоти у хлібобулкові вироби досліджували у КТІПП. Шаруватий давач потоку теплової енергії фіксували до нижньої та горішньої частин заготовки хлібобулкового виробу, після чого він транспортувався із нею робочою камерою пічної системи. Покази давача знімали електропотенціометром ЕПП09.

Усереднена густина вхідного теплового потоку до низу тістової заготовки протягом всієї тривалості випікання виходить більш значною, ніж до верху. Густина потоків теплоти до верху та низу тістової заготовки (хліба) для випадку раціонального режиму представлена на рис. 1.2.

Величина інтенсивності передачі теплоти до тістової заготовки задається в основному пропорцією коефіцієнтів теплової активності поду та тістової заготовки.

Теплова активність тістової заготовки:

$$b = \sqrt{\lambda c \rho}; \quad \left[\frac{Bm \times c^{\frac{1}{2}}}{m^2 \times K} \right] \quad (1.61)$$

охарактеризовує відносну температуру Θ контактуючих об'єктів.

Під час розв'язування завдань теплообміну та масообміну поміж межуючих поверхонь слід визначати теплову активність об'єктів. Встановити величину теплових активностей можна, виходячи з відомих теплопроводностей, густин та питомих теплоємностей об'єктів, тому на даний момент b належить до їхніх теплофізичних характеристик.

Величину теплової активності оцінюють для двох об'єктів:

$$K = \frac{\lambda_1 \sqrt{a_2}}{\lambda_2 \sqrt{a_1}} = \sqrt{\frac{\lambda_1 c_1 \rho_1}{\lambda_2 c_2 \rho_2}} = \frac{b_1}{b_2} \quad (1.62)$$

На границі дотику тіл значення температури $\Theta(0, \tau)$ міняється від «0» (мінімум) до «1» (максимум).

Отже, значення $\Theta(0, \tau)$ вказує на зменшення відносної температури об'єкту коли він контактує зі ще одним об'єктом:

$$\Theta_1 = \frac{T_1(x, \tau)}{T_0}; \quad \Theta_2 = \frac{T_2(x, \tau)}{T_0} \quad (1.63)$$

де: T_0 – температура об'єкту коли $\tau = 0$.

Визначальний вплив на те, як росте тістова заготовка чинить підведення теплоти до її поду. Коли є можливість для вільного зростання об'єму, інкремент висоти, спричинений підведенням теплоти до поду тістової заготовки, складає біля 80 відсотків від зростання висоти в цілому.

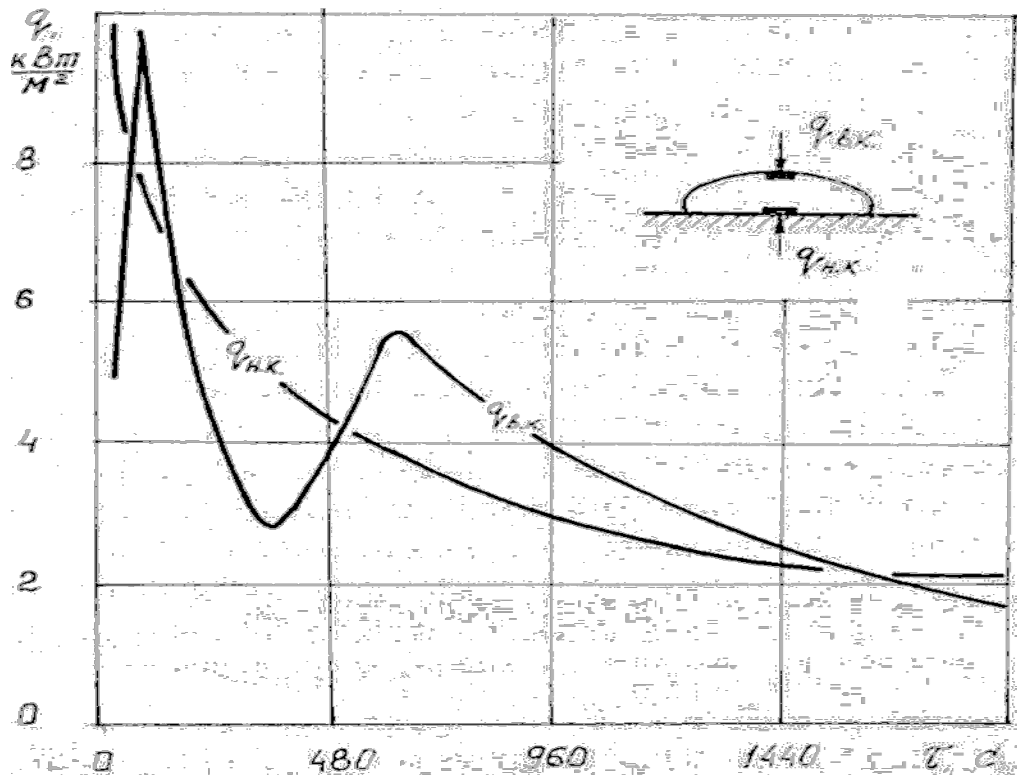


Рис.1.2 Характерні залежності густини потоків теплоти, до верху і низу тістової заготовки (хліба) для раціональних параметрів випікання.

Отже, віддача теплоти від поду пічної системи до хліба, який випікається, має бути достатньо суттєвою на початкових етапах випікання задля забезпечення належної геометричної форми випеченої хлібини.

1.3. Вакуум-випарне охолодження у порівнянні з шоким заморожуванням

Часто виникає необхідність заміни звичних виробничих методів на ефективніші та гігієнічніші процеси, які можуть спричинити у деякій мірі втрату корисних властивостей готових виробів. Але нерідко також має місце створення якіснішої та повноціннішої продукції (наприклад, при вакуумуванні в процесі охолодження готових хлібобулкових виробів).

Експлуатують два методи - швидке заморожування (шокування) та вакуумне охолодження (вакуумування). До недавнього часу вигороблялись не до кінця випечені хлібини, які швидко заморожували (шокували), відправляли до точок продажу, там розморожували і завершували процес випікання хлібин.

Проте зараз актуальною стає технологія вакуумного охолодження хлібобулкових виробів. Це давно відома технологія (понад 40 років, як мінімум), проте лише на даний момент її вдалось допрацювати до промислового рівня.

Охолодження вакуумом – це дуже інтенсивний спосіб охолодження не до кінця випечених хлібин, він створює передумови для додаткового стабілізування готової продукції та формування ефективного міжопераційного та допродажного переміщення. Великим плюсом вакуумування також є низькі витрати енергоресурсів. Порівняно зі звичними системами охолодження протягом всього комплексу виробничих технологічних операцій можна добитися економії 60% енергії. Поширені зараз технологічні системи охолодження та технологічні системи вакуумування базуються на суттєво відмінних принципах роботи. Для визначення відмінностей, спробуємо проаналізувати традиційну технологічну схему виготовлення не до кінця випечених тістових заготовок. Після завершення технологічного процесу початкового випікання спершу понижують температуру заготовок до кімнатної, після чого здійснюють заморожування у комплексах для шокowego заморожування. Першим відбувається охолодження шкоринки. Під час заморозки у тістовій заготовці знижується тиск парів та газів (наслідком може бути формування складок на поверхні хлібини). Внаслідок того, що охолодження відбувається в напрямку до центру хлібини, вільна вода рухається від м'якушки до холоднішої шкоринки (рис 1.3), де заморожується. Після завершення утримування хлібини при $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ виконується фінішне її випікання. Для того, щоби температура у шкоринці мала змогу зрости до $140\text{ }^{\circ}\text{C}$ і мало місце потемнішання (реакція меланоїдиноутворення), треба щоби відбулося випарення води зі шкоринки.

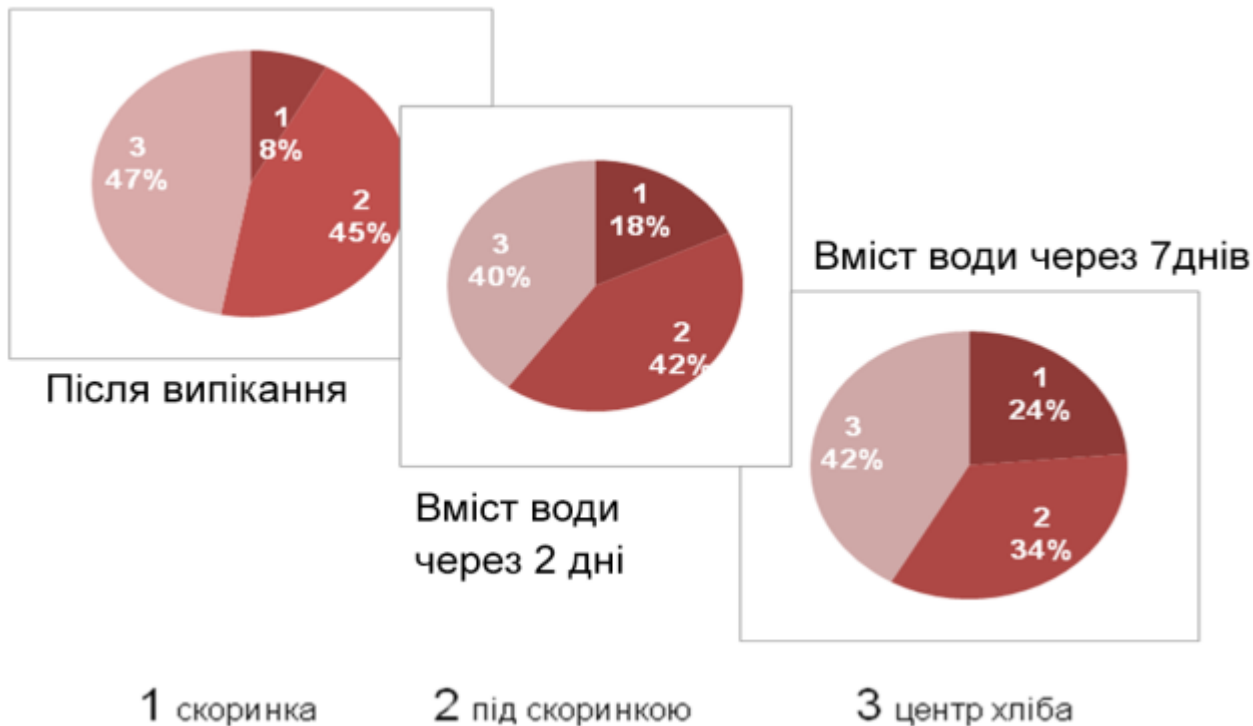


Рис.1.3 Наявність води у готових хлібобулкових виробах у різний період часу.

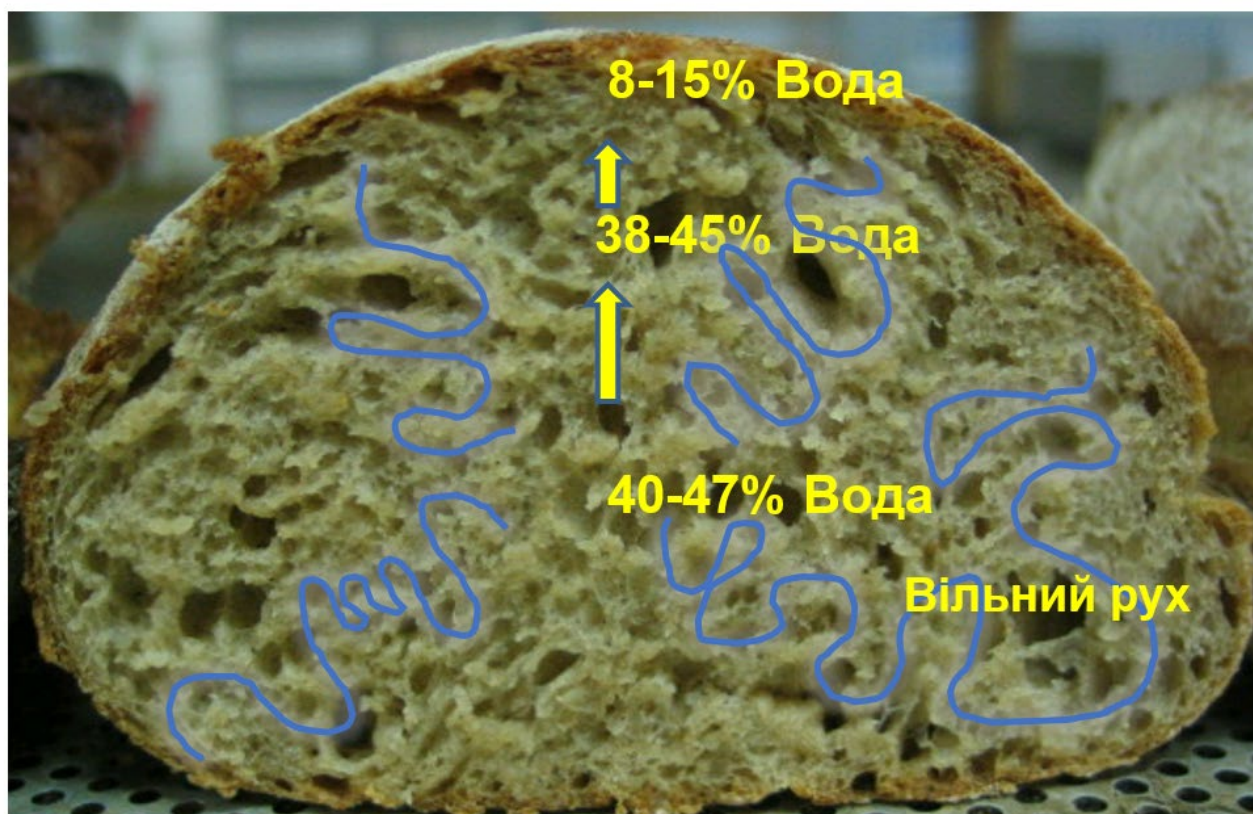


Рис.1.4 Схематичне зображення переміщення води у хлібині в процесі охолодження.

У випадку вакуумування не до кінця випечені хлібобулкові вироби поміщають у вакуумкамеру гарячими. Протягом 3 хв. тиск зменшують до значення, передбаченого технологічною інструкцією, тоді серединка заготовки охолоджується, як варіант, до 14–22 °С. Після стабілізації охолодженням форму шкоринка вдається зберегти без змінання і після того, як тиск вирівняють, забезпечуючи довгу тривалість хрусткості та стабільності. Стабілізація шкоринки забезпечує зростання стійкості чутливих структур до механічних нагрузок, і це суттєво полегшує їхнє фасування і міжопераційне переміщення. Геометричні параметри напівфабрикату є співмірними з готовим продуктом. Зростання розмірів тістової заготовки обумовлюється його властивостями та рецептурним складом. Також варто зазначити, що водомістке наповнення (джеми, повидло, творог тощо), після закипання, не осідає, а розсосереджується всередині порожнини закритого виробу.

Ще один нюанс – інтенсивний перебіг мікробіологічно важливих процесів у плані температур 60°C...30°C (рис.1.5). Після того, як виріб вистигне тиск у камері вирівнюється із застосуванням очищеного повітря, яке до того ж потрапляє і всередину виробу. Ці процеси суттєво зменшують величину мікробіологічного навантаження. Якщо провести паралелі з відомою послідовністю етапів глибокого охолодження - від шокового заморожування до переміщення і зберігання в магазині при низьких температурах – має місце простіша логістика, бо для переміщення немає потреби у рефрижераторній техніці. Охолоджена вакуумуванням та запаяна у пакети продукція може до 10 днів складуватися при позитивних значеннях температур, суттєво зменшуючи розміри потрібних холодильних відділень.

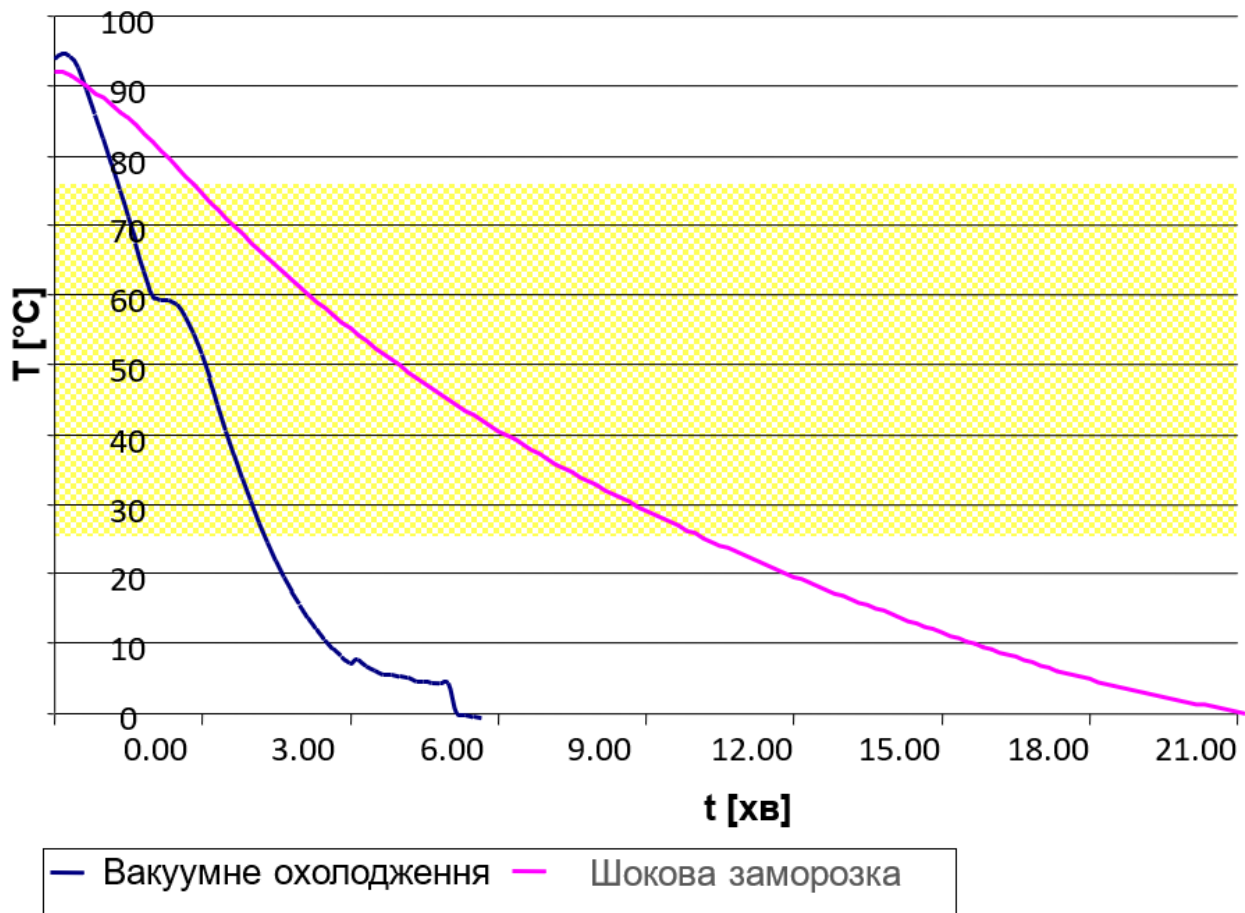


Рис. 1.5 Порівняльний аналіз вакуумування і шокування, в часі проходження охолодження.

1.4. Мета і завдання дослідження

Основні теплофізичні властивості процесу при випіканні є заключним етапом технологічного процесу виробництва хлібобулочних виробів. Термовологопровідність при випіканні відіграє значну роль та обумовлена великим тепловим напруженням поверхні хліба, що створює температурний градієнт. Це явище визначає специфічний характер тепломасообміну і являється особливим варіант прогріву тіста-хліба.

Тому важливим є вивчення ТФХ тіста-хліба в процесі теплової обробки і інтенсивності теплопідведення.

Для досягнення цієї мети роботи стеба виконати наступні такі завдання:

- провести аналіз конструкцій та досліджень температурних режимів в камерах печей;
- вивчення шляху інтенсифікації процесу випікання виробів в печах з масивними теплоакумуючими подами, що є актуальним і важливим, як з теоретичної так і з практичної позиції;
- визначення залежності ТФХ тіста-хліба від розрихленості, температури і інтенсивності теплопідведення;
- дослідження зміни теплового режиму і встановлення раціонального режиму для випічки хлібобулочних виробів;
- визначення оптимальних умов вакуум-випарного охолодження.

2. Методи та методика досліджень

2.1. Система для оцінки потоків теплоти на зовні та у середині заготовки із тіста

Задля формування ефективного температурного режиму у печі для хліба треба мати дані щодо динаміки у часі всіх її режимних показників. Суттєвою є наявність відомостей про потрібну кількість теплоти для формування шкоринки та нагріву заготовки хлібобулкового виробу.

Для досліджень застосували експериментальну систему, на базі електричної печі з можливістю керуванням температурним режимом, термодавачів (термопари типу ТМК), давачів потоку теплоти (на базі термоелектродів з пари мідь–константан), реєструючого приладу, місткості Дьюара із танучим льодом.

Давач потоку теплоти виконаний у формі пластини 1.0мм...1.5мм, до якої поміщено плоский спіральний елемент на базі дифтермопар, які підключили послідовно. На пластинці внаслідок температурної різниці утворюється термоЕРС, яка є пропорційною до щільності потоку теплоти, який проходить через неї. Тепловимірювачі застосовують щілинного типу та перфорованого типу у напрямку руху вологи та руху маси речовини.

Заготовка хлібобулкового виробу виготовлялася з плоских пластин, розміщених паралельно, поміж яких встановлювали термоелектричний тепловимірювач, до якого під'єднували до нього термопару.

Глибину поміщення тепловимірювачів встановлювали спочатку та на кінці експерименту.

2.2. Дослідження ТФХ зразків хлібобулкових виробів способом регулярного режиму II роду

Для дослідження ТФХ тістової заготовки (хліба) виготовляється заготовка діаметром 140.0мм, з товщиною $\delta = 9\text{мм} \dots 14\text{мм}$, якою зважують та встановлюють до вимірювального пристрою.

Після певного проміжку часу τ_1 теплопровідність вже не залежить від того, яким був температурний розподіл спочатку, починається етап регулярного режиму Шго роду, а саме у пластині формується розподіл густини потоку теплоти лінійного типу й температурний розподіл параболічного типу, коли швидкість температурних змін $\frac{dt}{d\tau} = U$ у всіх точках є однаковою (рис. 2.1.).

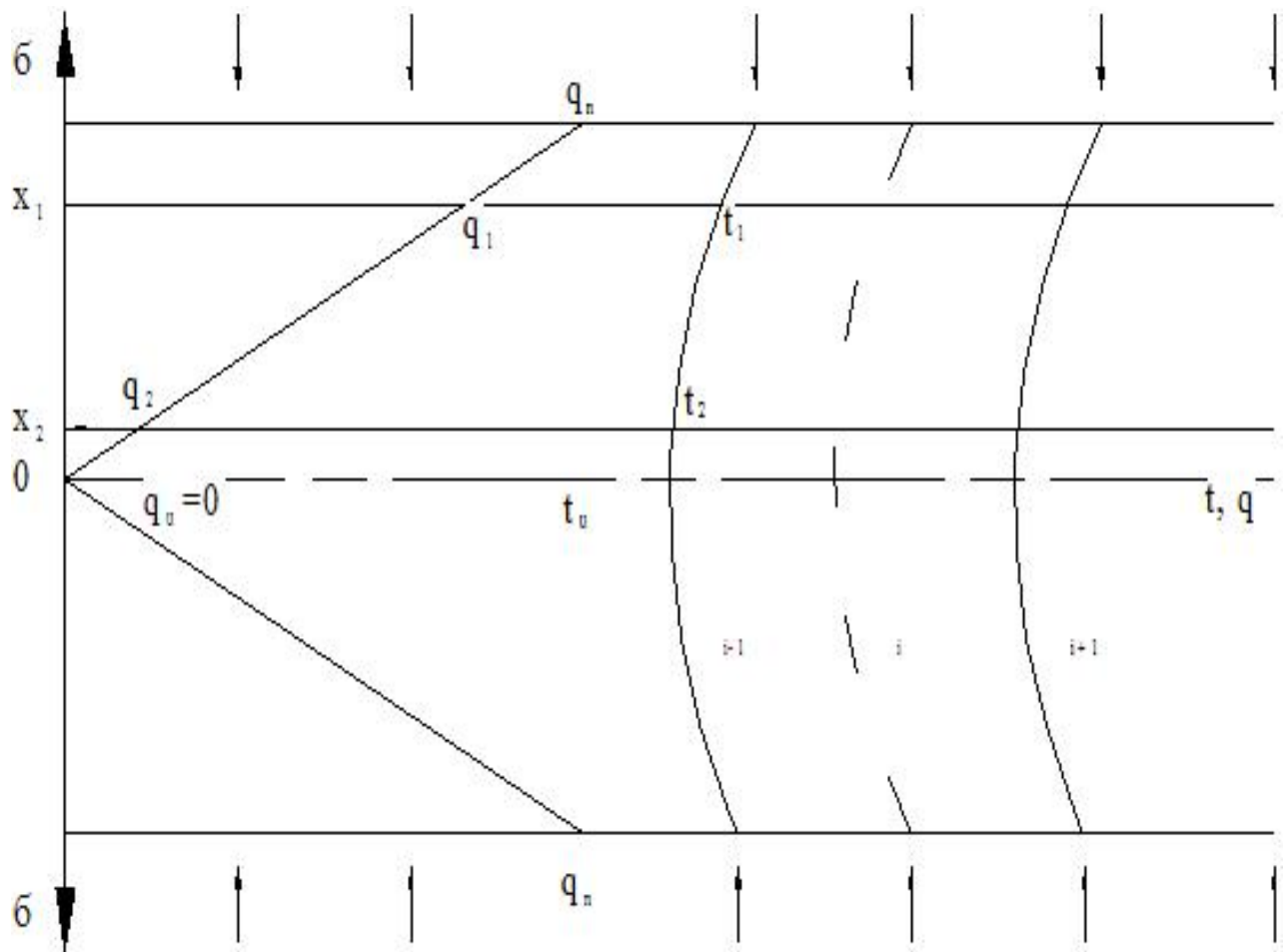


Рис. 2.1. Температурні поля та поля потоків теплоти в тістовій заготовці для регулярного режиму Шго роду.

$$t(x, \tau) = t_0 + \frac{q_n}{\lambda} \left(\frac{a \cdot \tau}{\delta} - \frac{\delta^2 - 3x^2}{6\delta} \right) \quad (2.1)$$

$$q(x, \tau) = q_n \frac{x}{\delta} \quad (2.2)$$

Залежності (2.1) та (2.2) є адекватними у стадії регулярного режиму Пго роду не лише для випадку вської пластинки затовки δ , а й для довільного шару цієї пластинки затовшкт $x_1 - x_2 = h$, коли щільність його поверхневого потоку теплоти q_1 і q_2 є постійними.

Після заміру у довільний момент етапу регулярного режиму нагріву пласкої заготовки її товщини h , щільності потоку теплоти q_1 та q_2 , температури t_1 і t_2 , швидкості змінення температури довільної її поверхні, встановимо ТФХ заготовки по залежностях, отриманих на базі формул (2.1) та (2.2):

$$\lambda = h \left(\frac{2\Delta t}{q_1 + q_2} - R_{\sigma} \right)^{-1} \quad (2.3)$$

$$c\rho = \frac{1}{h} \left(\frac{q_1 - q_2}{U} - P_{\sigma} \right) \quad (2.4)$$

$$a = \frac{h^2 \Delta t (q_1 + q_2)}{[(q_1 - q_2) \Delta \tau - P_{\sigma} \Delta t] \cdot [2\Delta t - R_{\sigma} (q_1 + q_2)]} \quad (2.5)$$

де R_{σ} - значення баластного термоопору;

P_{σ} - значення баластної теплоємності.

Баластні характеристики визначаються в градуйованих дослідах з еталонними матеріалами.

На рис. 2.5 представлено частину запису потенціометра- самописця,

де: e_{q_1}, e_{q_2} - ЕРС тепловимірювачів;

e_{t_1}, e_{t_2} - ЕРС, генерована ТМК-термопарами.

Згідно рис. 2.5 регулярний режим Пго роду починається тоді, як e_{q_1} та e_{q_2} стають постійними, а зміни e_{t_1} та e_{t_2} відбуваються із однаковою швидкістю.

Оцінка випадкових похибок вимірювань здійснювалася статично. Відносна середня квадратична похибка перебуває в діапазоні 3%...5%.

Методика регулярного режиму Пго роду, який виконується на тепловимірювальних ТФХ устроюх, дає змогу у процесі вивчення ТФХ збільшити точність замірів та помітно збільшити здатність програмування експериментів задля приближення їх до фактичних умов на виробництві.

3. Розроблення нових проектно-технологічних і технічних вирішень вдосконалення об'єкта дослідження.

3.1. Технологічний розрахунок печі ФТЛ2-66

Виріб: “Хліб французський бездріжджовий” масою $m = 0.4 \text{ кг}$. Число хлібин у пекарній камері: $N = 231$. Потреба у парі $180 \text{ кг} / \text{т}$. Упікання $W_1 = 6.8\%$. Час обробки $t_{\text{вип.}} = 55 \text{ хв}$.

Вид палива: газ природній.

Розрахункова продуктивність печі: $P = 6852.8 \text{ кг} / \text{добу} = 6.85 \text{ т} / \text{доб}$.

3.1.1. Розрахунок теплового балансу пекарної камери

Рівняння теплового балансу запишемо для 1.0 кг хлібобулкових виробів на виході з пічної камери.

$$q_n = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 + q_7, \text{ кДж} / \text{кг};$$

Корисна тепла енергія для випікання хлібобулкової продукції.

$$q_1 = W_1(i_1 - i_2) + g_1 C_1(t_1 - t_2) + (g_2 C_2 + W_2 C_3) * (t_3 - t_2);$$

де $i_1 = 2910 \text{ кДж} / \text{кг}$ - значення ентальпії для перегрітих водяних парів;

$i_2 = 30 \times 4.187 = 125.6 \text{ кДж} / \text{кг}$ - значення ентальпії води у рідкому стані у тісті для величини температури тіста, поступаючого у камеру печі при $t_2 = 30^\circ \text{C}$;

$g_1 = 0.2 \text{ кг} / \text{кг}$ - орбсяг шкоринки у 1.0 кг свіжоспеченої хлібини;

$C_1 = 1.47 \text{ кДж} / (\text{кг} \times \text{K})$ - значення питомої теплоємності шкоринки ;

t_1 - усереднена температура шкоринки та межуючого із м'якушкою прошарку:

$$t_1 = \frac{160 + 100}{2} = 130^\circ \text{C}.$$

$W_2 = 0.465 \text{ кг} / \text{кг}$ - вологовміст виробів при виведенні із робочої камери печі;

$g_2 = 1 - (w_2 + g_1) = 1 - (0.465 + 0.2) = 0.335 \text{ кг} / \text{кг}$ - СР у м'якушці 1.0 кг гарячих хлібобулкових виробів,

$t_3 = 98^\circ\text{C}$ – значення температури зразків після рочобої камери печі.

$$q_1 = 0.068 \cdot (2910 - 125.6) + 0.2 \cdot 1.47 \cdot (130 - 30) + (0.335 \cdot 1.47 + 0.465 \cdot 4.187) \times (98 - 30) = 384.62 \text{ кДж} / \text{кг}.$$

Кількість теплової енергії, яка використовується на перегрів зволожуючої пари:

$$q_2 = (i_{III} - i_H) \cdot D_{II},$$

де D_{II} – насичена водяна пара, яка подається до пекарної камери з розрахунку для 1.0 кг хлібобулкових виробів, $D_{II} = 0.09 \text{ кг} / \text{кг}$;

i_H – значення ентальпії насичені водяної пари до зволожуючого устрою при $p = 120 \text{ кПа}$, сухості $x = 0.9$.

$$i' = 439 \text{ кДж} / \text{кг}, r = 2244 \text{ кДж} / \text{кг};$$

$$i_H = i' + x \cdot r = 439 + 0.9 \cdot 2244 = 2458 \text{ кДж} / \text{кг}.$$

$$i_{III} = 2727 \text{ кДж} / \text{кг} \text{ – при } t = 125^\circ\text{C} \text{ та } p = 100 \text{ кПа}.$$

$$q_2 = (2727 - 2458) \cdot 0.09 = 24.2 \text{ кДж} / \text{кг}.$$

Для нагріву повітря:

$$q_3 = \frac{(W_1 + D_{II}) \cdot c_p \cdot (t_{ПК} - t_B)}{(d_{ПК} - d_B)},$$

$c_p = 1.005 \text{ кДж} / \text{кг}$ – значення масової питомої теплоємності для повітря,

$d_B = 0.0142 \text{ кг} / \text{кг}$ – значення вологовмісту коли $\varphi = 70\%$.

$$q_3 = \frac{(0.068 + 0.09) \cdot 1.005 \cdot (125 - 25)}{(0.421 - 0.0142)} = 39.03 \text{ кДж} / \text{кг}.$$

Тепловтрати на формочках:

$$q_4 = g_M \cdot c_M \cdot (t_{M2} - t_{M1}) \text{ кДж} / \text{кг}.$$

Застосуємо формочки зі сталі масою на 1кг тіста: $g_M = 0.61 \text{ кг} / \text{кг}$,

$c_M = 0.462 \text{ кДж} / \text{кг}$ – значення масової питомої теплоємності для сталі,

$t_{M1} = 30^{\circ}C$ – величина температури формочки при занесенні у пекарну камеру,

$t_{M2} = 166^{\circ}C$ – величина температури формочки після випікання.

$$q_4 = 0.61 \cdot 0.462 \cdot (166 - 30) = 38.3 \text{ кДж / кг.}$$

Сумарні втрати теплової енергії на елементах корпусу приймаємо 15% від ефективно витраченої теплової енергії при випіканні хлібобулкових виробів:

$$q_5 + q_6 + q_7 = 0.15 \times q_1 = 0.15 \times 384.62 = 57.7 \text{ кДж / кг.}$$

Сумарні затрати у пекарній камері на 1.0 кг хлібобулкових виробів:

$$q_{\Pi.} = 384.62 + 24.2 + 39.03 + 38.3 + 57.7 = 543.85 \text{ кДж / кг.}$$

Значення технологічного к. к. д. пекарної камери:

$$\eta_T = \frac{q_1}{q_{\Pi.}} \cdot 100 = \frac{384.62}{543.85} \cdot 100 = 70.72 \%$$

3.1.2. Розрахунок палива і продуктів згоряння

На хлібозаводі використовують природній газ наступного складу у об'ємних відсотках:

$$CH_4 = 92.2 ; C_4H_{10} = 0.1; C_2H_6 = 0.8; C_5H_{12} = 0; N_2 = 6.9.$$

Кількість теплоти, яка виділяється при спалюванні $Q_{HP} = 35.7 \text{ МДж / м}^3$;

щільність газу $0,759 \text{ кг / м}^3$. Теоретичний потрібно повітря на спалювання:

$$V_0 = 9.48 \text{ м}^3 / \text{м}^3;$$

продукти горіння для $a = 1$;

$$v_{rO_2} = 1.0 \text{ м}^3 / \text{м}^3; V_{n_2}^0 = 7.5 \text{ м}^3 / \text{м}^3; V_{H_2O}^0 = 2.14 \text{ м}^3 / \text{м}^3; V_r^0 = 10,64 \text{ м}^3 / \text{м}^3$$

Згідно коефіцієнтів розходу повітря:

Обсяг продуктів горіння:

$$V_z = V_{RO_2} + V_{N_2}^0 + V_{H_2O} + (a - 1) \cdot V^0, \text{ м}^3 / \text{м}^3;$$

$$V_{H_2O} = V_{H_2O}^0 + 0.0161 \cdot (a - 1) \cdot V^0, \text{ м}^3 / \text{м}^3;$$

Таблиця 3.1.

Приведені коефіцієнти витрат повітря на окремих ділянках газового тракту печі.

Назва ділянки	Позначення	Значення коефіцієнту витрати повітря
На виході із топки	a_T	1,2
На виході із нижнього каналу	$a_{н.е}$	1,4
На виході із радіаторної коробки	$a_{р.к}$	1,45
На виході із верхнього колектора	$a_{в.к.}$	1,5
На виході із середнього колектора	$a_{ср.к.}$	1,5
На виході із нижнього колектора	$a_{н.кол.}$	1,55
На виході із зони обігріву водогрійних баків	$a_{в.б.}$	1,6
Виходящі гази	$a_{ух.}$	1,65

Парціальний тиск продуктів горіння:

$$P_{RO_2} = V_{RO_2} / V_r, \text{ Па};$$

$$P_{H_2O} = V_{H_2O} / V_r, \text{ Па};$$

Отримані результати подамо у таблиці 3.2.

Значення ентальпії продуктів спалювання:

$$I = I_R^0 + (a - 1)I_{e,кДж}^0 / м^3;$$

$$\text{де } I_R^0 = V_{RO_2} + V_{N_2iN_2}^0 + V_{H_2OiH_2O}^0, \text{кДж} / м^3;$$

Отримані значення ентальпії продуктів спалювання представимо у таблиці 3.3 і побудуємо $I - t$ діаграму (рис. 2.1.)

Приймаємо значення температури газів на виході $t_{yx} = 350^\circ$ і $a_{yx.} = 1,65$.

$$\text{Тоді } I_{yx} = 7720 \text{кДж} / м^3.$$

Теплова енергія із газами на виході, %;

$$q^{yx} = I_{yx} / Q_{HP} = 7720 \times 100\% / 35700 = 21.62\%;$$

Таблиця 3.2.

Продукти спалювання по окремих сегментах тракту

Назва параметрів	$a_{\Gamma}=1,2$	$a_{H.e}=1,4$	$a_{p,k}=1,45$	$a_{в.к.}$ $a_{ср.к}=1.5$	$a_{H.кол}=$ 1,55	$a_{в.б}=$ 1,6	$a_{ух.}=$ 1,65
Об'єм водяних парів $V_{H_2O.}$; m^3 / m^3 ;	2.163	2.177	2.185	2.192	2.2	2.206	2.21
Об'єм димових газів $V_{г.}$ m^3 / m^3 ;	12.8	13.72	14.14	14.63	15.08	15.54	16
Парціальний тиск трьохатомних газів P_{RO_2} , ат/кПа	0.077 7.3	0.069 6.9	0.067 6.7	0.064 6.4	0.062 6.2	0.06 6	0.058 5.8
Парціальний тиск водяних парів P_{H_2O} , ат/кПа	0.16 16	0.153 15.3	0.147 14.7	0.142 14.2	0.139 13.9	0.135 13.5	0.131 13.1

Потреби у паливі:

$$B = \frac{q_{II}}{Q_{HP} \cdot (1 - q_{yx})} = \frac{543.85}{35700 \cdot (1 - 0.22)} = 0.0137 m^3 / c = 49.3 m^3 / год.$$

Потреби в умовному паливі:

$$B_{УМ} = \frac{B \cdot Q_{HP}}{Q_{HUM}} = \frac{49.3 \cdot 35700}{29300 \cdot (1 - 0.22)} = 60.1 m^3 / год$$

Таблиця 3.3.

Результати розрахунку ентальпій продуктів згоряння.

	$^{\circ}\text{C}$	V_{RO_2} i_{CO_2}	i_{N_2}	$V^{\circ}\text{N}_2$	$i_{\text{H}_2\text{O}}$	$V^{\circ}\text{H}_2\text{O}$ і H_2O	i_b	$(-1)I_b^{\circ}$	І лДЖ/м ³
$\alpha_{\tau}=1,3$	1800	4051	2645	18858	3460	6989	2730	7321	37219
	1700	3797	2485	17710	3230	6524	2570	6893	34924
	1600	3544	2330	16612	3010	6080	2400	6437	32673
$\alpha_{\text{H}_2\text{O}}=1,4$	1500	3299	2170	15472	2780	5615	2240	8010	32396
	1400	3045	2010	14331	2560	5171	2080	7438	29985
	1300	2801	1850	13190	2350	4747	1915	6848	27586
$\alpha_m=1,45$	1200	2557	1696	12092	2130	4302	1757	7068	26019
	1000	2072	1395	9946	1725	3484	1437	5781	21284
	900	1838	1244	8869	1525	3080	1282	5157	18944
$\alpha_m=1,5$	900	1838	1244	8869	1525	3080	1282	5730	19517
	800	1603	1093	7793	1337	2700	1132	5060	17156
	700	1375	947	6752	1146	2314	980	4380	14821
$\alpha_m=1,55$	700	1375	947	6752	1146	2314	980	4818	15259
	600	1449	805	5739	968	1955	830	4080	12923
	500	937	665	4741	795	1606	685	3368	10652
$\alpha_m=1,6$	500	937	665	4741	795	1606	685	3674	10958
	400	726,6	527	3757	627	1266	542	2907	8656
	300	525	392	2795	463	935	403	2161	6416
$\alpha_m=1,65$	400	726,6	527	3757	627	1266	542	3149	8898
	300	525	392	2795	463	935	403	2342	6597

0 C	I кДЖ/м3
1800	37219
1700	34924
1600	32673
1500	32396
1400	29985
1300	27586
1200	26019
1000	21284
900	18944
900	19517
800	17156
700	14821
700	15259
600	12923
500	10652
500	10958
400	8656
300	6416
400	8898
300	6597

I - t діаграма

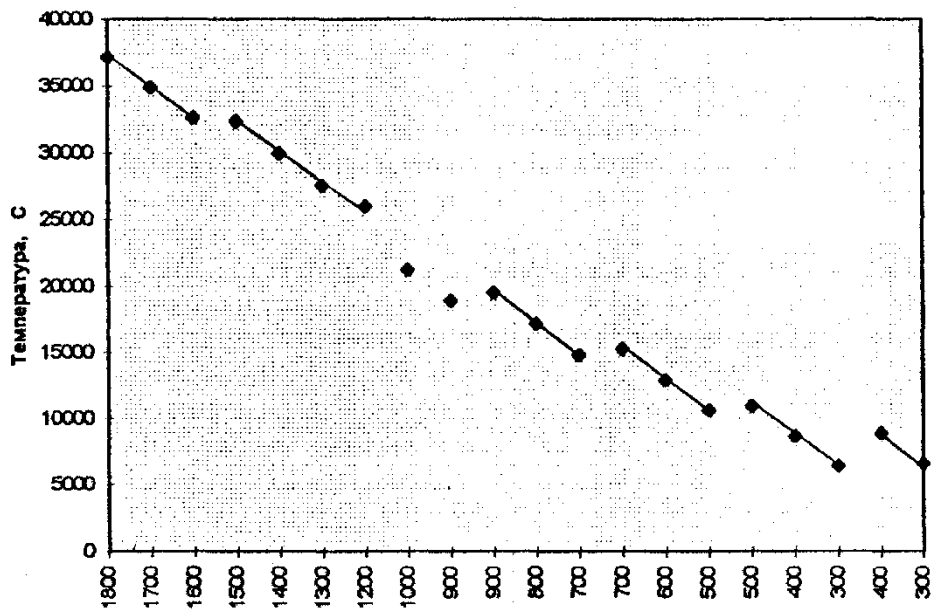


Рис. 3.1. I - t діаграма

3.2. Кінематичний розрахунок печі ФТЛ2-66

Кінематику натягувального устрою транспортера печі ФТЛ2-66 складають: гвинт натяжний із ручним обертанням знімною рукояткою. Крутний момент гвинта натяжного трансформується через передачу гвинт-гайка в рух гайки шарнірної, яка далі забезпечує рух серги та вала барабана відповідного ролика транспортера.

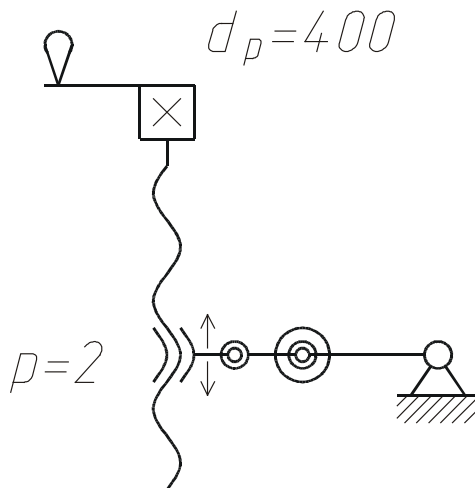


Рис.3.2. Кінематична схема натягувального устрою транспортера печі ФТЛ2-66

$$i = \frac{\pi \cdot d_p}{p_1}$$

Передаточне відношення:

де $d_p = 0,4\text{ м}$ – значення діаметра рукоятки натягувального устрою, м;

$p_1 = 0,002\text{ м}$ – значення ходу гвинта натягувального устрою, м.

$$i = \frac{3,14 \cdot 0,4}{0,002} = 628$$

Значення осьового зусилля на гайці: $F = 20500\text{ Н}$.

Щоб його розвинути, до рукоятки слід приложити зусилля:

$$F_a = \frac{F}{i \cdot \eta} = \frac{20500}{628 \cdot 0,3} = 109,68\text{ Н},$$

що становить приблизно $11,18\text{ кг}$.

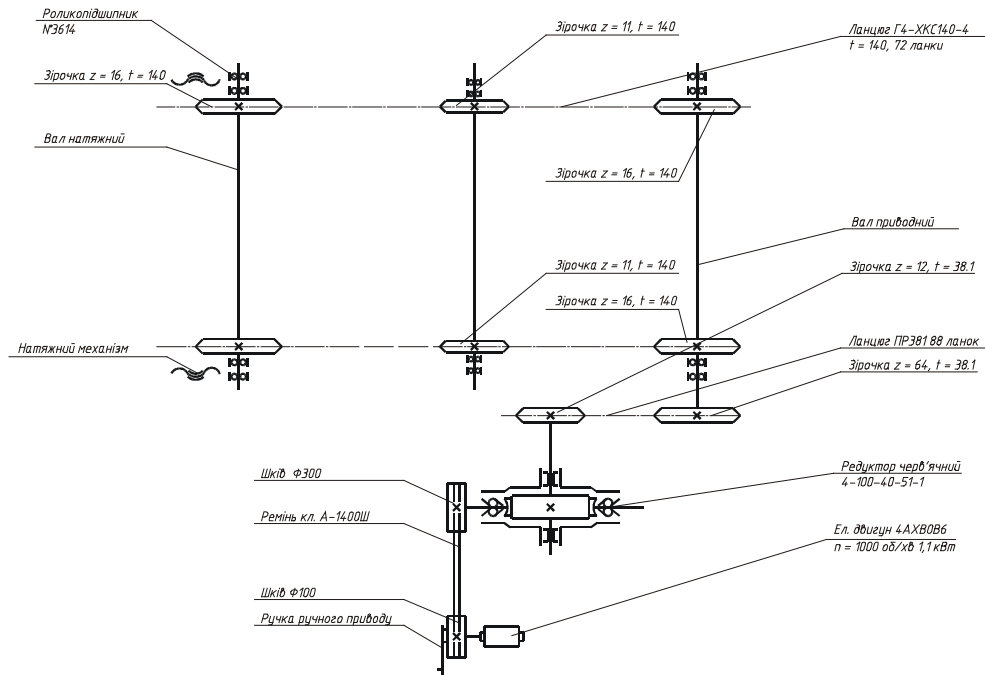


Рис. 3.3. Кінематична схема транспортера печі ФТЛ2-66.

Виконаємо розрахунок кінематичної схеми транспортера з тістовими заготовками для хлібопекарської печі марки ФТЛ 2-66.

Згідно рекомендацій НПО "УкрНДІПродмаш" лінійна швидкість транспортера тістових заготовок для печі ФТЛ 2-66, повинна відповідати:

$$V_{\text{к.}} := 3.5 \quad (\text{м/хв})$$

$$\text{Діаметр приводного барабана конвеєра:} \quad d_{\text{к.}} := 0.717616 \quad (\text{м})$$

Необхідна частота барабана конвеєра:

$$n_{\text{к.}} := \frac{V_{\text{к.}}}{\pi \cdot d_{\text{к.}}} \quad n_{\text{к.}} = 1.552 \quad (\text{об/хв})$$

Кутова частота обертання барабана конвеєра:

$$\omega_{\text{к.}} := \frac{\pi \cdot n_{\text{к.}}}{30} \quad \omega_{\text{к.}} = 0.163 \quad (\text{рад/с})$$

Приймаємо попередньо частоту обертання вала двигуна $n_{\text{дв.}} := 1000 \text{ об/хв}$

Тоді сумарне необхідне передаточне число приводу буде складати:

$$u_{\text{сум.}} := \frac{n_{\text{дв.}}}{n_{\text{к.}}} \quad u_{\text{сум.}} = 644.13$$

Для передачі крутного моменту пасову передачу, черв'ячний редуктор і ланцюгову передачу. Для ланцюгової передачі застосуємо пару зірочок із числом зубів $z_1 := 12$ і $z_2 := 64$. Тоді передаточне число передачі

$$u_{\text{л.п.}} := \frac{z_2}{z_1} \quad u_{\text{л.п.}} = 5.333$$

Черв'ячний редуктор вибираємо марки 4-100-40-51-1 з передаточним числом $u_{\text{ч.р.}} := 40$. Таким чином, необхідне передаточне число пасової передачі

$$u_{\text{п.п.}} := \frac{u_{\text{сум.}}}{u_{\text{л.п.}} \cdot u_{\text{ч.р.}}} \quad u_{\text{п.п.}} = 3.019$$

Приймаємо $u_{\text{п.п.}} := 3$

3.3. Конструктивні розрахунки печі ФТЛ 2-66

3.3.1. Розрахунок передачі гвинт-гайка натяжного пристрою конвеєру хлібопекарської печі ФТЛ 2-66

Передача гвинт гайка служить для перетворення обертового руху в поступальний. В ходових гвинтових парах нерівномірність розподілу навантаження по витках вирівнюється внаслідок припрацювання різьби.

Гайка шарнірна служить для перетворення обертового руху в поступальний. В ходових гвинтових парах нерівномірність розподілу навантаження по витках вирівнюється внаслідок припрацювання різьби.

Висота гайки шарнірної 45 мм. Різьба метрична.

Матеріал гвинта - сталь 35, гайки- бронза. Натяжний гвинт жорстко закріплений з обох кінців. На гайку шарнірну діє сила ваги:

$$F_{\text{ваг.}} := 20500 \quad \text{Н}$$

Визначаємо діаметр гвинта за умовою зносостійкості

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{F}{\pi \cdot d_2 \cdot h \cdot l} \leq I \sigma_{\text{см}I}$$

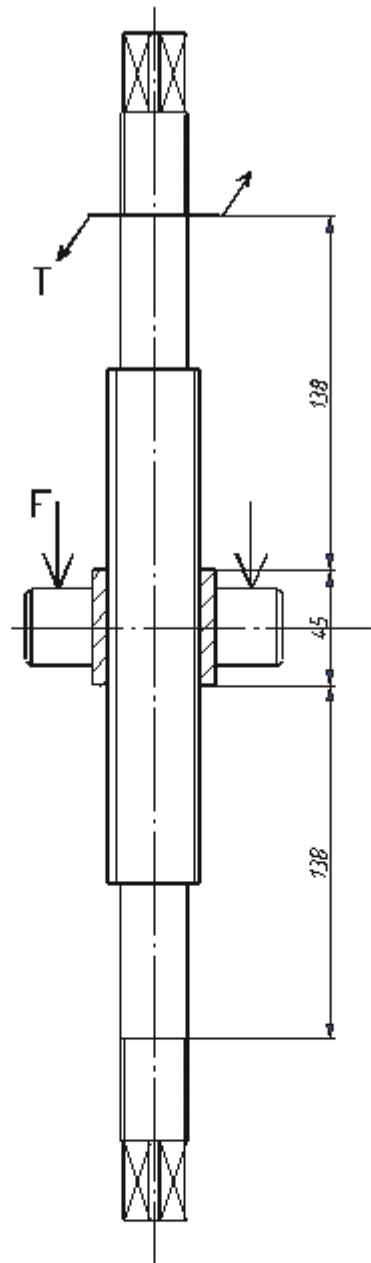


Рис. 3.4. Розрахункова схема натяжного пристрою

Коефіцієнт висоти гайки:
$$\psi_H = \frac{H}{d}$$

Коефіцієнт висоти різьби:
$$\psi_h = \frac{h}{p}$$

Тоді отримаємо:
$$d2 = \sqrt{\frac{F}{\pi \cdot \psi_H \cdot \psi_h \cdot I\sigma_{cmI}}}$$

Приймаємо допустиме напруження змінання для пари:
незакалена сталь-бронза [1]:

$$I\sigma_{cMI} := 9 \cdot 10^6 \quad \text{Па,}$$

коефіцієнт висоти гайки: $\psi_H := 1.5$

Коефіцієнт висоти різьби для метричної різьби:

$$\psi_h := 0.54$$

$$d2 := \sqrt{\frac{F}{\pi \cdot \psi_H \cdot \psi_h \cdot I\sigma_{cMI}}} \quad d2 = 0.03 \quad \text{м.}$$

За таблицями стандарту ГОСТ8724-81 вибираємо метричну різьбу М 36 х 2. Крок різьби: $p := 2$ мм.

Стандартом передбачені для даного діаметра різьби чотири кроки: 3;2;1.5; 1.

Вибір кроку різьби залежить від дотримання умови самогальмування: $\psi < \phi$. Приймаючи для змазаного гвинта

коефіцієнт тертя: $f := 0.1$

Отримаємо: $\phi := \text{atan}(f)$ $\phi = 0.1$ рад.

$$\psi := \text{atan}\left(\frac{p \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot d2}\right) \quad \psi = 0.021 \quad \text{рад.}$$

Оскільки ψ значно менше ніж ϕ , це забезпечує достатній запас самогальмування.

Визначаємо необхідну кількість витків різьби:

$$h := 2.12 \cdot 10^{-3} \quad \text{м.}$$

$$z := \frac{F}{\pi \cdot d2 \cdot h \cdot I\sigma_{cMI}} \quad z = 11.431$$

Приймаємо: $\underline{\underline{z}} := 12$

Тоді мінімальна висота гайки шарнірної дорівнює:

$$H_p := z \cdot p \quad H_p = 24 \quad \text{мм.}$$

Прийнята з конструктивних міркувань висота гайки

шарнірної $H := 45$ мм задовільняє умові забезпечення зносостійкості.

Коефіцієнт висоти гайки:

$$\psi_H := \frac{H \cdot 10^{-3}}{d_2} \quad \psi_H = 1.504$$

знаходиться в допустимих межах (1.2...2.5).

3.3.2. Розразунок кріплення натяжного пристрою до рами печі хлібопекарської ФТЛ 2-66

Виконаємо розразунок кріплення натяжного пристрою до рами печі хлібопекарської ФТЛ 2-66. Натяжний пристрій кріпиться до опорної плити рами печі чотирма болтами з кожної сторони. На натяжний болт діє навантаження

$$F := 20500 \quad \text{Н}$$

Навантаження з'єднання зсуває деталі в місці з'єднання.

Навантаження рівномірно розподіляється між болтами.

Навантаження на один болт:

$$F_R := \frac{F}{4} \quad F_R = 5.125 \times 10^3 \quad \text{Н}$$

Матеріал болтів - сталь 35Х (ГОСТ 1759-70)

границя міцності $\sigma_e := 750 \cdot 10^6 \quad \text{Па}$,

границя текучості $\sigma_m := 640 \cdot 10^6 \quad \text{Па}$.

Варіант установки болтів (з зазором або без зазора) визначаємо з розрахунку, виходячи з умови забезпечення мінімальних розмірів.

I. Установка болтів без зазора.

Навантаження сприймається безпосередньо болтами. Розміри болта визначаємо з умов міцності на зріз та зминання.

Згідно до таблиці 1.3[10] визначаємо допустимі напруження на зріз :

$$I\tau I := 0.2\sigma_m \quad I\tau I = 1.28 \times 10^8 \quad \text{Па}$$

та змінання:

$$I\sigma I_{3M} := 0.8\sigma_m \quad I\sigma I_{3M} = 5.12 \times 10^8 \quad \text{Па.}$$

Визначаємо діаметр болтів з умови міцності на зріз за формулою 1.21 [10]:

$$d := \sqrt{\frac{4 \cdot F_R}{\pi \cdot I\tau I}} \quad d = 7.14 \times 10^{-3} \quad \text{м.}$$

Приймаємо болти М16.

$$d := 0.016$$

Перевіряємо міцність болтів на змінання за формулою 1.22 [10]:

$$\sigma_{3M} = \frac{F_R}{d \cdot \delta}$$

де $\delta := 0.01$ м - товщина тоншої деталі з'єднання.

$$\sigma_{3M} := \frac{F_R}{d \cdot \delta} \quad \sigma_{3M} = 3.203 \times 10^7 \quad \text{Па} < I\sigma I_{3M}$$

Умова міцності болтів на змінання виконується.

II. Болти поставлені з зазором.

Навантаження сприймається силами тертя, для утворення яких лтам дають відповідну затяжку. Необхідна сила затяжки болтів [10]:

$$F_{зат} = \frac{K \cdot F_R}{f}$$

де $K := 2$ - коефіцієнт запаса;

$f := 0.2$ - коефіцієнт тертя в місці з'єднання

деталей (для сухих сталевих поверхонь [10]).

$$F_{зат} := \frac{K \cdot F_R}{f} \quad F_{зат} = 5.125 \times 10^4 \quad \text{Па.}$$

Визначаємо допустиме напруження.
За таблицею 1.3[10] приймаємо коефіцієнт запаса міцності для болта М16...М30:

$$s := 4$$

Допустиме напруження:

$$I\sigma I := \frac{\sigma_m}{s} \quad I\sigma I = 1.6 \times 10^8 \quad \text{Па.}$$

Визначаємо потрібний діаметр болтів [10]:

$$d_I := \sqrt{\frac{4 \cdot 1.3 \cdot F_{зам}}{\pi \cdot I\sigma I}} \quad d_I = 0.023 \quad \text{м.}$$

Цьому значенню відповідають болти М24.

З розрахунку видно, що для забезпечення умови дотримання мінімальних розмірів установку болтів слід проводити без зазору, оскільки в цьому випадку можна використати болти менших розмірів.

Для кріплення натяжного пристрою до опорної плити рами печі ФТЛ 2-66 приймаємо болти М16 з установкою без зазору.

3.3.3. Розрахунок гайки шарнірної натяжного пристрою печі хлібопекарської ФТЛ 2-66

Виконаємо проектний розрахунок гайки шарнірної натяжного пристрою печі хлібопекарської ФТЛ 2-66.

Матеріал гайки шарнірної - бронза БрО10Ф1 (ГОСТ 613-79), границя міцності $\sigma_{\text{гв}} := 750 \cdot 10^6 \quad \text{Па}$, $HB := 88.2 \quad \text{Па}$.

Строк служби - тривалий, навантаження близьке до постійного, допускається короткочасне двохкратне перевантаження

В центрі до гайки шарнірної прикладена сила:

$$F := 20500 \quad \text{Н}$$

Висота гайки шарнірної визначена в попередньому розрахунку.

$$H := 0.045 \quad \text{м.}$$

В середині гайка має отвір діаметром $d := 0.036$ м.

Розробляємо конструкцію гайки шарнірної.

Приймаємо ширину гайки: $B := 0.070$ м.

З конструктивних міркувань в місці посадки серьги приймаємо:

$$d_l := 0.07 \quad \text{м.}$$

Відстань між опорами гайки шарнірної:

$$l := 0.26 \quad \text{м,}$$

Відстані від опор до місця навантаження (навантаження приймаємо зосередженим в одній точці):

$$a := 0.13 \quad \text{м,} \quad b := 0.13 \quad \text{м.}$$

Знаходимо реакції в опорах і будуємо епюри згинальних моментів.

Оскільки на гайку шарнірну діє одна сила F , то розглянемо реакції від сили F у одній - вертикальній площині:

$$F = A_y + B_y$$

$$F \cdot b - A_y \cdot l = 0$$

$$A_y := \frac{F \cdot b}{l} \quad A_y = 1.025 \times 10^4 \quad \text{Н.}$$

$$B_y := F - A_y \quad B_y = 1.025 \times 10^4 \quad \text{Н.}$$

Визначаємо запаси опору втомі в небезпечних перерізах.

Небезпечними перерізами є переріз I-I в місці прикладення сили F , ослаблений отвором, та переріз II-II, ослаблений галтеллю.

Для перерізу I-I згинальний момент:

$$M := A_y \cdot a \quad M = 1.333 \times 10^3 \quad \text{Н*м.}$$

Визначаємо момент опору перерізу I-I відносно осі x.

Момент інерції будь-якого перерізу визначається за формулою [14]:

$$J_x = \int_F y^2 dF$$

де y - відстань від центральної осі x до будь-якої елементарної площадки;

dF - елементарна площадка.

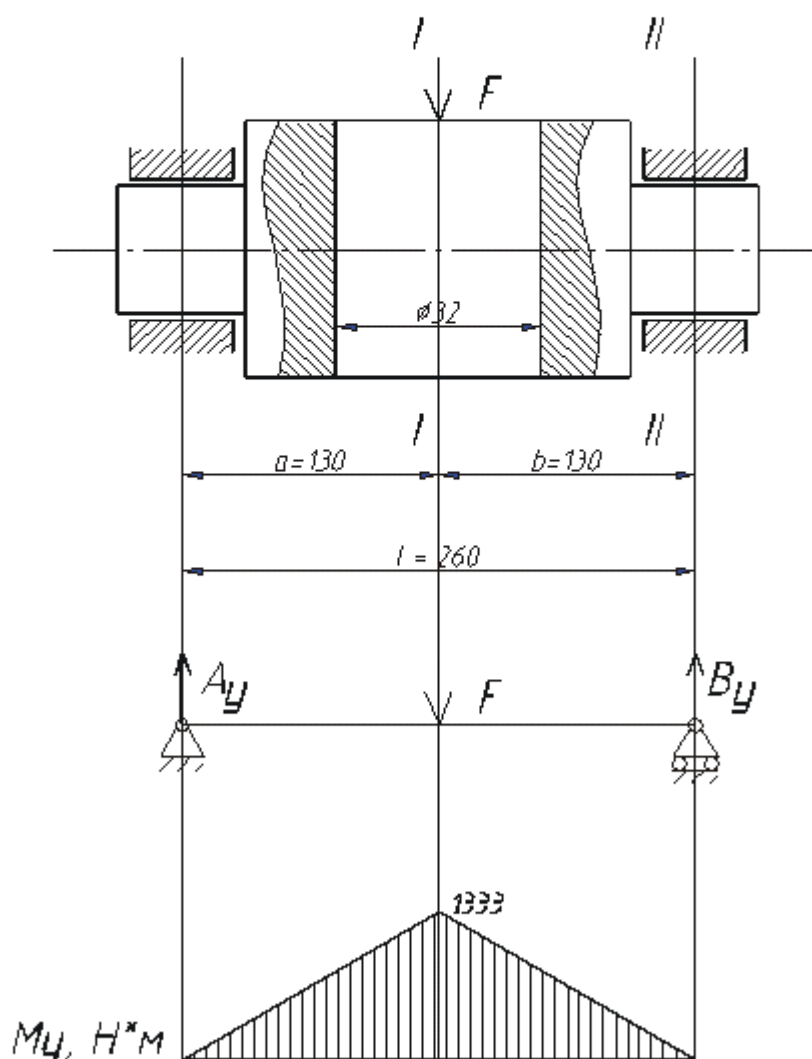


Рис. 3.5. Розрахункова схема для визначення моменту інерції та моменту опору перерізу I-I

Згідно розрахункової схеми (рисунк 3.5)

$$dF = (B - d) \cdot dy$$

Тоді момент інерції перерізу I-I відносно осі x:

$$J_x = \int_{-\frac{H}{2}}^{\frac{H}{2}} (B - d) \cdot y^2 dy = \frac{(B - d) \cdot H^3}{12}$$

$$J_x := \frac{(B - d) \cdot H^3}{12} \quad J_x = 2.582 \times 10^{-7} \quad \text{м}^4.$$

Момент опору перерізу I-I відносно осі x:

$$W_x = \frac{J_x}{y_{max}} = \frac{(B - d) \cdot H^3}{12} \cdot \frac{2}{H} = \frac{(B - d) \cdot H^2}{6}$$

$$W_x := \frac{(B - d) \cdot H^2}{6} \quad W_x = 1.148 \times 10^{-5} \quad \text{м}^3.$$

Напруження при згині:

$$\sigma_z := \frac{M}{W_x} \quad \sigma_z = 1.161 \times 10^8 \quad \text{Па.}$$

Амплітуди постійної та змінної складових циклів напруження при згині:

$$\sigma_m := 0$$

$$\sigma_a := \sigma_z \quad \sigma_a = 1.161 \times 10^8 \quad \text{Па.}$$

Границі вносливості:

$$\sigma_l := 0.4 \cdot \sigma_e \quad \sigma_l = 3 \times 10^8 \quad \text{Па,}$$

$$\tau_l := 0.2 \cdot \sigma_e \quad \tau_l = 1.5 \times 10^8 \quad \text{Па,}$$

$$\tau_b := 0.6 \cdot \sigma_e \quad \tau_b = 4.5 \times 10^8 \quad \text{Па.}$$

Згідно таблиці 15.1 [10], для отвору:

$$K_\sigma := 1.9 \quad K_\tau := 1.75$$

За графіками (рис.15.5, рис 15.6 [10]):

$$K_d := 1 \quad K_F := 1$$

Коефіцієнти [10]):

$$\psi_\sigma := 0.05 \quad \psi_\tau := 0$$

Знаходимо запас опору втоми по згину:

$$s_\sigma := \frac{\sigma_1}{\frac{K_\sigma \cdot \sigma_a}{K_d \cdot K_F} + \psi_\sigma \cdot \sigma_m} \quad s_\sigma = 1.36 \quad > |s| = 1.5$$

Для перерізу II-II згинальний момент:

$$M := F \cdot b \quad M = 2.665 \times 10^3 \quad \text{Н*м.}$$

$$W_3 := 0.1 \cdot d_1^3 \quad W_3 = 3.43 \times 10^{-5} \quad \text{м}^3.$$

Напруження при згині:

$$\sigma_3 := \frac{M}{W_3} \quad \sigma_3 = 7.77 \times 10^7 \quad \text{Па.}$$

Амплітуди постійної та змінної складових циклів

напруження при згині:

$$\sigma_m := 0$$
$$\sigma_a := \sigma_3 \quad \sigma_a = 7.77 \times 10^7 \quad \text{Па.}$$

Прийнявши радіус галтелі: $r := 0.001$ м, для:

$$\frac{r}{d_1} = 0.014$$

за таблицею 15.1 [10] знаходимо:

$$K_{\sigma a} := 2.5 \quad K_{\sigma m} := 1.8$$

За графіками (рис.15.5, рис 15.6 [10]):

$$K_d := 1 \quad K_F := 1$$

Коефіцієнти [10]):

$$\psi_{\sigma_{\text{max}}} := 0.05 \quad \psi_{\sigma_{\text{min}}} := 0$$

Знаходимо запас опору втомі по згину:

$$s_{\sigma_{\text{max}}} := \frac{\sigma_1}{\frac{K_{\sigma} \cdot \sigma_a}{K_d \cdot K_F} + \psi_{\sigma} \cdot \sigma_m} \quad s_{\sigma} = 1.544 \quad > |s| = 1.5$$

Оскільки більше навантажений переріз II-II подальший розрухунок проводимо для нього.

Перевіряємо статичну міцність при перевантаженнях.

При перевантаженнях навантаження подвоюються:

$$\sigma_{3n} := 2 \cdot \sigma_3 \quad \sigma_{3n} = 1.554 \times 10^8 \quad \text{Па,}$$

$$I\sigma I := \frac{\sigma_6}{2} \quad I\sigma I = 3.75 \times 10^8 \quad \text{Па.}$$

$$\sigma_{3n} < I\sigma I$$

Перевіряємо жорсткість вала.

По умовам роботи небезпечним є переріз в місці прикладення навантаження.

Момент інерції перерізу I-I відносно осі x:

$$J_{x_{\text{max}}} := \frac{(B - d) \cdot H^3}{12} \quad J_x = 2.582 \times 10^{-7} \quad \text{м}^4.$$

$$E := 2.1 \cdot 10^8$$

Прогин у вертикальній площині від сили F дорівнює:

$$y := \frac{F \cdot a^2 \cdot b^2}{3 \cdot E \cdot J_x \cdot l} \quad y = 0.138 \quad \text{мм.}$$

Допустимий прогин для вала загального призначення:

$$IyI := 0.0003 \cdot l \cdot 1000 \quad IyI = 0.078 \quad \text{мм.} \quad y < IyI$$

Оскільки умови міцності і жорсткості виконуються, то прийняті діаметри вала залишаємо без змін.

3.3.4. Розрахунок транспортера тістових заготовок

Основними складовими одиницями конвеєра є: рама, привідний і натяжний вал, напрямляючі ланцюга і привід. На валах встановлені зірочки, які зеднані між собою замкнутими ланцюговими контурами; між ланцюговими контурами розташовані упори, які в свою чергу шарнірно зеднані з контурами ланцюгів. Тяговим елементом являється роликівий ланцюг. Для проведення розрахунку попередньовибираємо ланцюг ПР-140-1820-2 з кроком $t=140$ з конструктивних міркувань. Також з конструктивних міркувань приймаємо кількість зубців зірочки рівна $z=16$, тоді діаметр ведучої зірочки визначиться за формулою:

$$d_3 := \frac{140}{\sin\left(\frac{\pi}{16}\right)} \quad d_3 = 717.616 \quad (\text{мм})$$

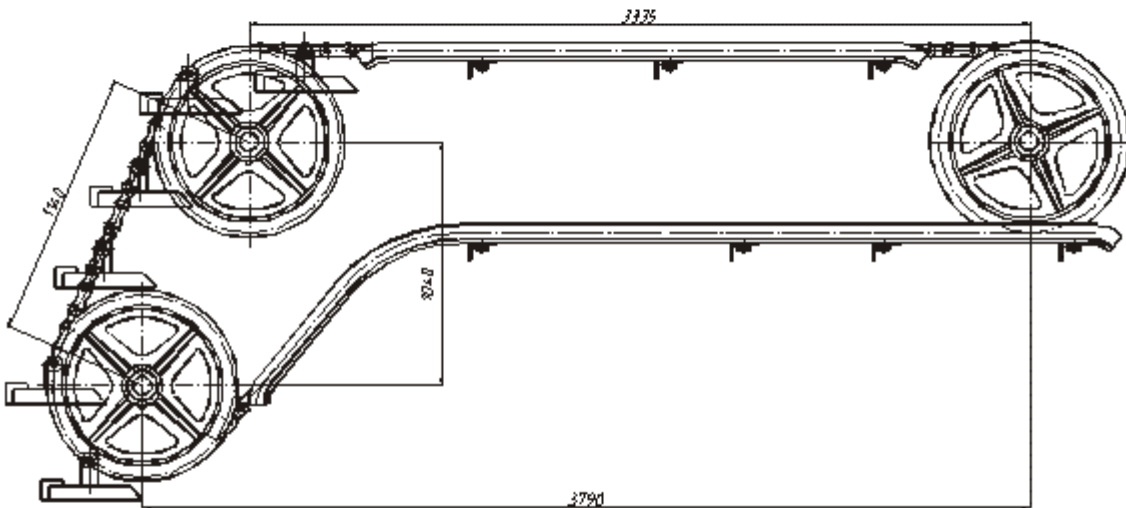


Рис. 3.6. Розрахункова схема люлькового конвеєра.

Частота обертання привідної зірочки:

$$n_3 := \omega_k \cdot \frac{30}{\pi} \quad n_3 = 1.552 \quad (\text{об/хв})$$

Швидкість руху стрічки конвеєра:

$$V_k = 3.5 \quad (\text{м/хв})$$

Визначаємо лінійні навантаження:

1) погонне навантаження від ланцюгів:

$$\text{-від одного ланцюга} \quad q_l := 70.35 \quad (\text{Н/м})$$

-від двох ланцюгів $q_{2л} := 2 \cdot 70.35 \quad q_{2л} = 140.7 \quad (\text{Н/м})$
Вага упора $m_2 := 5 \quad (\text{Н})$, тоді погонне навантаження від маси

$$q_0 := q_{2л} + m_2 \quad q_0 = 145.7 \quad (\text{Н/м})$$

2) погонне навантаження від роликоопор

крок: $t_p := 0.75 \quad (\text{м})$

вага ролика: $G_p := 12 \quad (\text{Н})$

$$q_p := \frac{G_p}{t_p} \quad q_p = 16 \quad (\text{Н/м})$$

Погонне навантаження q_v на робочій ділянці складається із ваги продукту і ваги лотка.

Вага продукту: $q_{прод} := 1200 \quad (\text{Н})$

Вага люльок $G_л := 560 \quad (\text{Н})$

Довжина конвеєра: $L_к := 3.79 \quad (\text{м})$

$$q_v := q_{прод} + \frac{G_л}{L_к} \quad q_v = 1.348 \times 10^3 \quad (\text{Н/м})$$

Довжину ланцюгового конвеєра вибираємо

$$l_{1...2} := 3.335 + 1.140 \quad l_{1...2} = 4.475 \quad \text{м.}$$

Визначаємо опір руху і натяг стрічки. Методом обходу по контуру проводимо тяговий розрахунок. Для цього коефіцієнт опору на прямолінійних ділянках роликоопорами $\omega := 0.022$

Натяг в точці збігання з приводного барабану приймаємо:

$$S_1 := 50 \quad (\text{Н})$$

Натяг в точці холостої ділянки:

$$S_2 := S_1 + (q_{2л} + q_p) \cdot \omega \cdot l_{1...2} \quad S_2 = 65.427 \quad (\text{Н})$$

Натяг при огинанні ведучої зірочки:

$$S_3 = K \cdot S_2$$

де $K := 1.07$ коефіцієнт, який враховує опір при огинанні ланцюгом зірочки

$$S_3 = K \cdot S_2 \quad S_3 = 70.007 \quad (\text{H})$$

Натяг для робочої вітки:

$$S_4 := S_3 + (q_{2л} + q_p + q_e) \cdot \omega \cdot l_{1...2} \quad S_4 = 218.121 \quad (\text{H})$$

Тягове зусилля конвеєра:

$$W := S_4 - S_1 \quad W = 168.121 \quad (\text{H})$$

Потужність електродвигуна при коефіцієнті корисної дії η і коефіцієнті запасу: K_3

$$\eta := 0.9 \quad K_3 := 1.1$$

$$N_K := \frac{W \cdot V_K \cdot K_3}{1120 \cdot \eta} \quad N_K = 0.642 \quad (\text{кВт})$$

Крутний момент на вихідному валу конвеєра:

$$M_K := 9550 \cdot \frac{N_K}{n_3} \quad M_K = 3.95 \times 10^3 \quad (\text{H*м})$$

Номінальне корисне навантаження однієї відки конвеєра:

$$F_{тк} := 2 \cdot \frac{M_K}{d_K} \quad F_{тк} = 5504.36 \quad (\text{H})$$

Максимальне навантаження ланцюга при пуску передачі:

$$F_{ткmax} := 2.2 \cdot F_{тк} \quad F_{ткmax} = 12109.59 \quad (\text{H})$$

Максимальна сила, яка діє на вали:

$$R_{kmax} := 1.15 \cdot F_{tkmax} \quad R_{kmax} = 13926.03 \quad (\text{H})$$

За споживаною потужністю виберемо електродвигун.

Необхідна потужність:

$$N_{\partial\epsilon} := N_k \quad N_{\partial\epsilon} = 0.642 \quad (\text{кВт})$$

Попередньо вибираємо двигун з потужністю: $N_{\partial\epsilon} := 1.1 \quad (\text{кВт})$

Виконанаємо розрахунок транспортера люльок з тістовими заготовками.

Кутова швидкість вала двигуна:

$$\omega_{\partial\epsilon} := \frac{\pi \cdot n_{\partial\epsilon}}{30} \quad \omega_{\partial\epsilon} = 104.72 \quad (\text{с}^{-1})$$

Крутний момент на ведучому шківі

$$T_{\partial\epsilon} := \frac{N_{\partial\epsilon} \cdot 1000}{\omega_{\partial\epsilon}} \quad T_{\partial\epsilon} = 10.504 \quad (\text{Н*м})$$

Частота обертання веденого вала пасової передачі:

$$n_{n.n.} := \frac{n_{\partial\epsilon}}{u_{n.n.}} \quad n_{n.n.} = 333.333$$

Кутова швидкість веденого вала пасової передачі:

$$\omega_{n.n.} := \frac{\pi \cdot n_{n.n.}}{30} \quad \omega_{n.n.} = 34.907 \quad (\text{с}^{-1})$$

Для розрахунку затраченої потужності приймем наступні значення коефіцієнтів корисної дії.

Розрахуємо необхідну потужність двигуна з умови:

$$\text{к.к.д. підшипника кочення:} \quad \eta_{\text{підш.}} := 0.99$$

$$\text{к.к.д. пасової передачі:} \quad \eta_{n.n.} := 0.82$$

$$\text{к.к.д. червячного редуктора:} \quad \eta_{\text{ч.р.}} := 0.95$$

к.к.д. ланцюгової передачі: $\eta_{л.п.} := 0.75$

Потужність на веденому валу пасової передачі:

$$N_{n.n.} := N_{\partial в.} \cdot \eta_{n.n.} \quad N_{n.n.} = 0.902 \quad \text{кВт}$$

Крутний момент на веденому шківі

$$T_{n.n.} := \frac{N_{n.n.} \cdot 1000}{\omega_{n.n.}} \quad T_{n.n.} = 25.84 \quad (\text{Н*м})$$

Частота обертання веденого вала черв'ячного редуктора:

$$n_{ч.р.} := \frac{n_{n.n.}}{u_{ч.р.}} \quad n_{ч.р.} = 8.333$$

Кутова швидкість веденого вала черв'ячного редуктора:

$$\omega_{ч.р.} := \frac{\pi \cdot n_{ч.р.}}{30} \quad \omega_{ч.р.} = 0.873 \quad (\text{с}^{-1})$$

Потужність на веденому валу черв'ячного редуктора:

$$N_{ч.р.} := N_{n.n.} \cdot \eta_{ч.р.} \quad N_{ч.р.} = 0.857 \quad \text{кВт}$$

Крутний момент на веденому шківі черв'ячного редуктора:

$$T_{ч.р.} := \frac{N_{ч.р.} \cdot 1000}{\omega_{ч.р.}} \quad T_{ч.р.} = 981.935 \quad (\text{Н*м})$$

Частота обертання веденого вала ланцюгової передачі:

$$n_{л.п.} := \frac{n_{ч.р.}}{u_{л.п.}} \quad n_{л.п.} = 1.562$$

Кутова швидкість веденого вала ланцюгової передачі:

$$\omega_{л.н.} := \frac{\pi \cdot n_{л.н.}}{30} \quad \omega_{л.н.} = 0.164 \quad (\text{с}^{-1})$$

Потужність на веденому валу ланцюгової передачі:

$$N_{л.н.} := N_{ч.р.} \cdot \eta_{л.н.} \quad N_{л.н.} = 0.643 \quad \text{кВт}$$

Крутний момент на веденому шківі ланцюгової передачі:

$$T_{л.н.} := \frac{N_{л.н.} \cdot 1000}{\omega_{л.н.}} \quad T_{л.н.} = 3927.74 \quad (\text{Н*м})$$

4. Дослідження технологічних процесів вистигання хлібобулкових виробів

вакуум-випарним методом

4.1 Порівнювальний аналіз вакуум-випарного і конвекційного методу

вистигання капілярно-пористих структур

Технологічний процес виготовлення хліба є трудозатратним та займає досить відчутний часовий проміжок. Оскільки він містить чимало технологічних операцій, скорочення чи подовження затрат часу на які спричиняє зменшення якості готових виробів, традиційний виробничий техпроцес дуже довго не змінювався. Наслідком такого стану справ виявився досить вузька номенклатура хлібобулкових виробів; відсутність у торгівців свіжоспеченого хліба вранці; необхідність формування нічних змін та зростання навантаження нічних хлібопекарів. Вказані труднощі і недоліки, спричинені неперервністю і значною тривалістю виготовлення хлібобулкових виробів, слід було врегулювати поділом випікання готових виробів на етапи, подовженням чи скороченням затрат часу на проміжні процеси.

«Двоетапне» випікання при застосування проміжного вакуумування може бути хорошим технічним вирішенням цих труднощів. Воно передбачає:

- підготовку тіста;
- тістоподіл та тістоформування;
- розстоювання;
- попереднє випікання;
- швидке зниження температури напівфабрикату у вакуумкамері;
- зберігання наполовину готової заготовки у холодильнику;
- допікання попередньо не до кінця спеченого та охолодженого хліба.

Впровадження цієї технології у виробництво передбачає задіявання вже наявного обладнання та підключення механізованого технологічного комплексу для вакуумування.

«Двохетапний» технологічний процес виготовлення хлібобулкових виробів передбачає: попереднє випікання, що забирає біля 80.0% загальної тривалості

$t = 0^{\circ}\text{C} \dots + 2^{\circ}\text{C}$; фасування та зберігання не до кінця спеченого та охолодженого хліба у холодильнику з $t = 0^{\circ}\text{C} \dots + 2^{\circ}\text{C}$, допикання попередньо не до кінця спеченого та охолодженого хліба при $t = 180^{\circ}\text{C} \dots 210^{\circ}\text{C}$.

Заміною поширеним методам охолодження є вакуум-випарне. Тоді вільна та розділена у зразках волога, випаровується і при цьому поглинає теплову енергію. Базуючись на представлення щодо фізичних процесів, під час вакуум-випарного охолодження зразків, фізична модель складалася, виходячи з наступних уявлень та припущень: пористість зразка складає 70%...80% і поєдується з хорошою паровою проникністю; під час вакуум-випарного охолодження може мати місце переміщення вологи у структурі зразка, а вологість оброблюваного зразка є достатньою для вакуум-випарного остигання без формування сухих ділянок та неперервних границь фазових переходів; переходи «рідина-пара» виконуються в цілому об'єму зразка водночас; фазовий перехід виконується при відсутньому внесенні теплової енергії зовні за допомогою скорочення внутрішньої енергії вибору та, внаслідок, має місце зменшення температури вибору.

Опираючись на запропоновану фізичну модель технологічного процесу було запропоновано математичну, яка б дала змогу оцінити різні нюанси технологічного процесу. Дуже цікавим є характер температурного розподілу при вакуум-випарному та конвективному способах охолодження. Відомо, що поміж двох однакових зразків охолодження вакуум-випарним методом є у 100 разів швидшим, ніж при застосуванні конвективного методу. Тому при охолодженні значний вплив має вологість оброблюваного зразка.

В розрізі відведення теплової енергії (охолодження) досі ретельно оцінювали лише поверхневий метод. Віднедавна мають місце випадки застосування при об'ємному охолодженні вакуум-випарне охолодження, що виявилось ефективним при охолодженні плодоовочевої та фруктової сировини, правда тоді воно застосовувалося як варіант швидкого поверхневого

охолодження. Такий метод охолодження потребує для оброблення зразків вакуумної камери, залишковий тиск якої відповідає температурі насиченої водяної пари біля 2°C. Тоді волога зразка швидко випарюється, охолоджуючи при цьому сам зразок. Швидкість процесу виведення водяної пари і швидкість охолодження обумовлюються можливостями вакуумуючого обладнання.

Поширені виробничі методики охолодження за допомогою конвективного руху охолодженого повітря часто є малоефективними при проміжному охолодженні продуктів харчування. Причиною цього може бути температурні обмеження для охолоджувального потоку, що, за низьких значень температури, має бути плюсовим і не стати причиною замерзання зразка. Внаслідок невисокої різниці температур ($T_{\text{прод}} - T_{\text{камери}}$) часові затрати на процес зростають, має місце значне усохання та недостатня рівномірність розподілення вологи у оброблюваних зразках. Наслідком є гірші умови зберігання та недотримання стандартів якості продукту.

Вартою уваги альтернативою є вакуум-випарне охолодження, коли оброблюваний зразок сам собою є регульованим за температурою холодильного агенту. Визначальним чинником для якісного охолодження вакуум-випарним методом є належний рівень пористості, при якому виділена в капілярно-пористому зразку пара не затримується і виводиться в процесі відкачування повітря.

Вакуум-випарне охолодження виконується при відборі теплової енергії зразка під час випаровування із нього вологи. Випарення води спричинюється за рахунок зменшення тиску (формування вакууму). Оскільки вільна волога у зразках є досить рівномірно розподілена, охолодження також відбувається достатньо рівномірно для всього зразка. Вартою уваги особливістю вакуум-випарного охолодження є те, що регулювати швидкість перебігу процесу не складно. У випадку вакуум-випарного охолодження руйнування кристаликами льоду пористого скелету зразків не відбувається внаслідок плюсових температурних режимів протягом всього періоду охолодження. Такі можливості вакуум-випарного охолодження харчової сировини застосовують при

охолодженні сировини рослинного походження з достатньою вологістю: ягоди, кісточкові, зелень тощо. Суттєвим чинником є значна швидкість охолодження, а зневоднювання продукту корелюється з обсягами випареної води та рівня його охолодження.

Охолодження під дією вакууму може пришвидшити охолодження хлібобулкових заготовок. Зокрема, італійський пиріг panetoni можна охлудити протягом 4хв у вакуумі, тоді як для конвективного охолодження потрібна доба. В результаті, чимало його виробників застосовують вакуумне охолодження. Але внаслідок можливих змін структури, від суттєвої різниці тисків парів ділянці малої газопроникаючої здатності (шкоринка), потрібна спеціальна метода створення вакууму. Застосування модульованого вакуумоохолоджувача (MVC) дає змогу добитися швидкого і якісного охолодження хлібобулкових виробів. Значення тиску робочого середовища в робочій камері міняється згідно певного закону на протязі всього періоду охолодження. Вакуум-випарне охолодження хлібобулкових продуктів реалізують у діапазоні температур 96°C...30°C, при цьому має місце зменшення маси зразка приблизно до 1% на кожні 10°C зменшення температури, чи на 6.8% для зменшення температури від 96°C до 30°C. При цьому конвективне охолодження дає зменшення маси на 3%...5%. Розбіжність цих видів втрат є у межах похибки вимірювання для зразка.

Вакуум-випарне охолодження є кращим за якісними показниками та виглядом зразка, а також і внаслідок зменшення тривалості охолодження і більшої енергоефективності. Також вироби можуть довго зберігатися без заморожування. Підвищений термін зберігання продукції внаслідок мінімізації зараження мікроорганізмами в процесі охолодження є значною перевагою вакуум-випарного методу охолодження. Виконані експерименти, були сфокусовані на розкриття кінетичних залежностей та розроблення фізичної моделі теплообмінних та і масообмінних процесів у пов'язаних обезводнювальних процесах, охолодження, перенос вологи під час вакуум-випарному охолодженні. Метод вакуум-випарного охолодження базується на технологічному процесі коли вільна та розпроділена у

зразку вода при випарюванні виводить теплову енергію. Фізичну модель будували, виходячи з наступного:

- хлібобулковий зразок після I етапу випікання вважається капілярно-пористим тілом із рівнем пористості 70%...80% та зі значною паропроникністю;

- при вакуум-випарному охолодженні може мати місце перерозподілення вологи по об'ємові тістового зразка, а рівень його вологості є на достатньому для вакуум-випарного охолодження рівневі без формування висушених ділянок та неперервних границь фазних переходів;

- фазні переходи типу «рідина-пара» реалізуються по всій структурі тістового зразка разом залежно від місцевих рівнів температури та тиску;

- фазний перехід реалізується без підводу теплової енергії зовні внаслідок зменшення рівня енергії всередині зразка та поєднується зі зниженням його температури.

За підсумками виконаних експериментів встановлено, що вакуум-випарне охолодження є суттєво інтенсивнішим від конвективного і виконує охолодження зразка від 82°C до 0°C...2°C за 3.0...6.0 хв.

Також слід зазначити, що при вакуум-випарному охолодженні рівень температур зовні і в середині тістової заготовки (хліба) є однаковими у всьому об'ємі, чого немає при конвективному охолодженні. Коли швидкість вакуумування зростає, необхідний для охолодження час різко скорочується. Більша вага охолоджуваних зразків є причиною зростання трималості охолодження. Суттєвим є рівень вологості охолоджуваних зразків. Розрахунково встановлено, що за охолодження зразків від температури 90°C до температури 2°C обсяг незв'язаної вологи у зразку має бути не меншим від 12.0% від його ваги. Вплив габаритів робочої камери на перебіг процесу вакуум-випарного охолодження може проявлятися двояко: через зростання обсягів викачуваного парогазового середовища та зростання площ теплообміну самої камери у оточуюче середовище. Отже, для всіх варіантів габарити порожнини камери повинні якнайменш відрізнятися від габаритів охолоджуваних зразків.

4.2 Методики застосування вакуумного методу в умовах виробництва

У випадку варіанту 1 застосовують вакуумкамеру та насос. Таке просте поєднання може надійно забезпечувати до чотирьох печей. Якщо возик зразу після завершення процесу випікання закотити до камери, приблизно чотирьох хвилин зазвичай достатньо для зменшення температури виробу до температури 12°C...17°C.

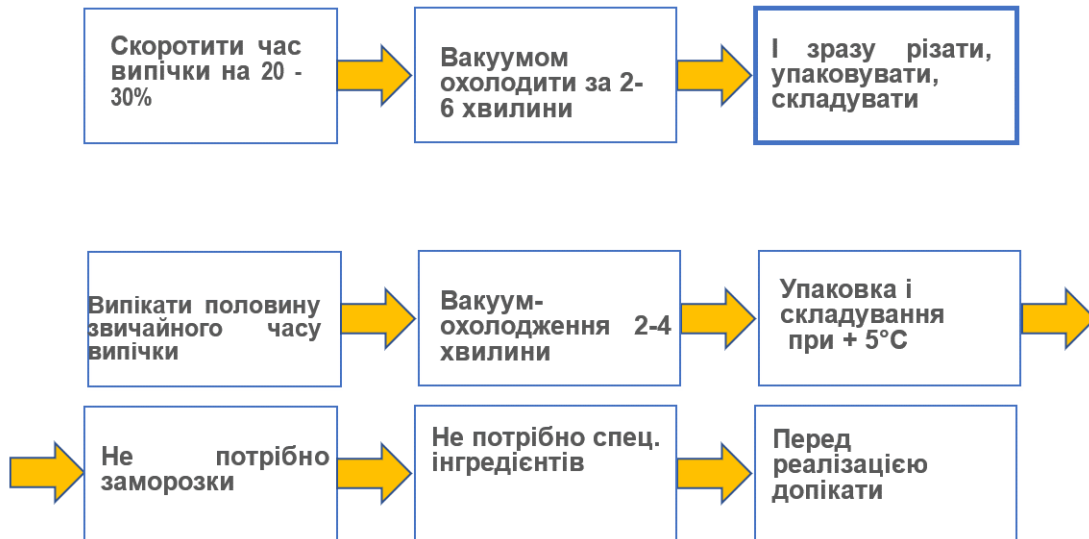


Рис.4.1 Технологія застосування вакуумоохолодження в умовах виробництва

4.3 Дослідження впливу на допикання, пористість та упікання хлібобулкових виробів від рівня попереднього випікання із застосуванням вакуум – випарного методу остигання.

На рис. 4.2-3.12 представлено результати експериментів для випікання зразка високого рівня готовності «Хліб французький бездріжджовий» з різною тривалістю попереднього випікання, за результатами аналізу яких можна запропонувати наступне:

1. Метод двоетапної випічки хлібобулочної продукції шляхом попереднього випікання, швидкого остигання зразків у вакуум-випарній камері відрізняється тим, що попереднє випікання має бути на рівні 80% загальної тривалості випікання хлібобулочної продукції.

2. Метод з п.1 вирізняється тим, що кінцеве випікання хлібобулочної продукції (допікання) слід виконувати за постійної температури на рівні 190°C...210°C.

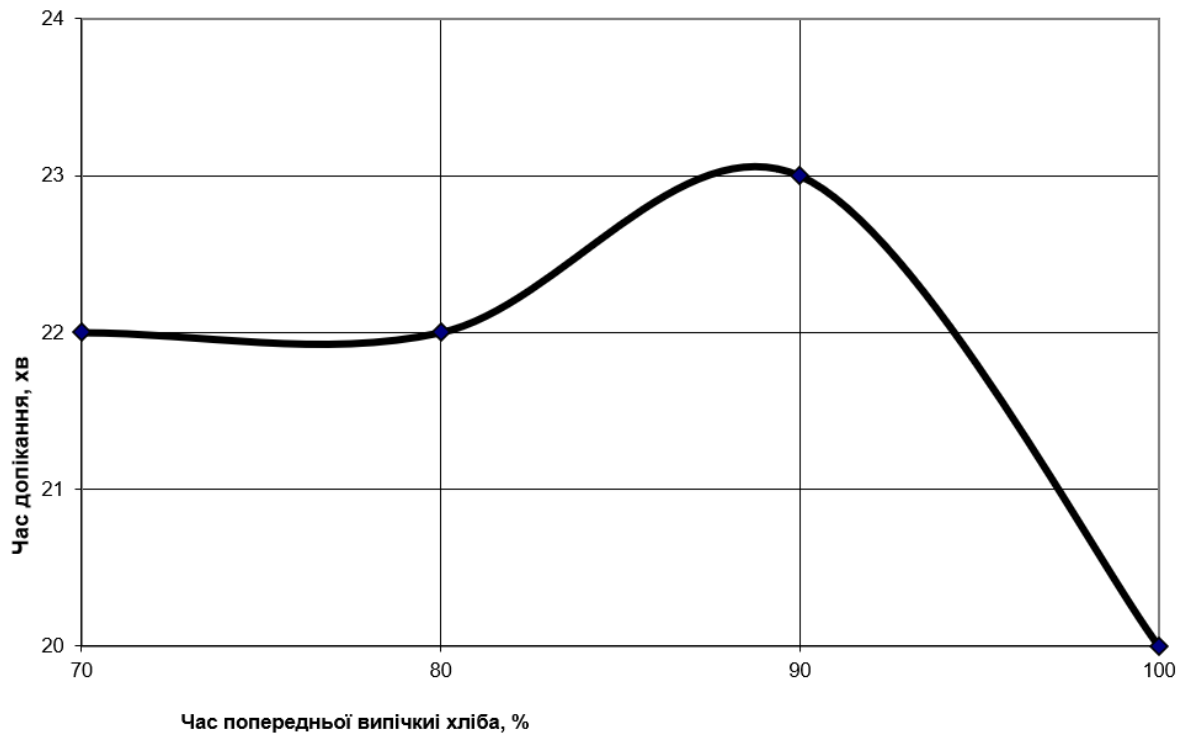


Рис.4.2 Тривалість допікання зразка високого рівня готовності "Хліб французький бездріжджовий" від тривалості попереднього випікання

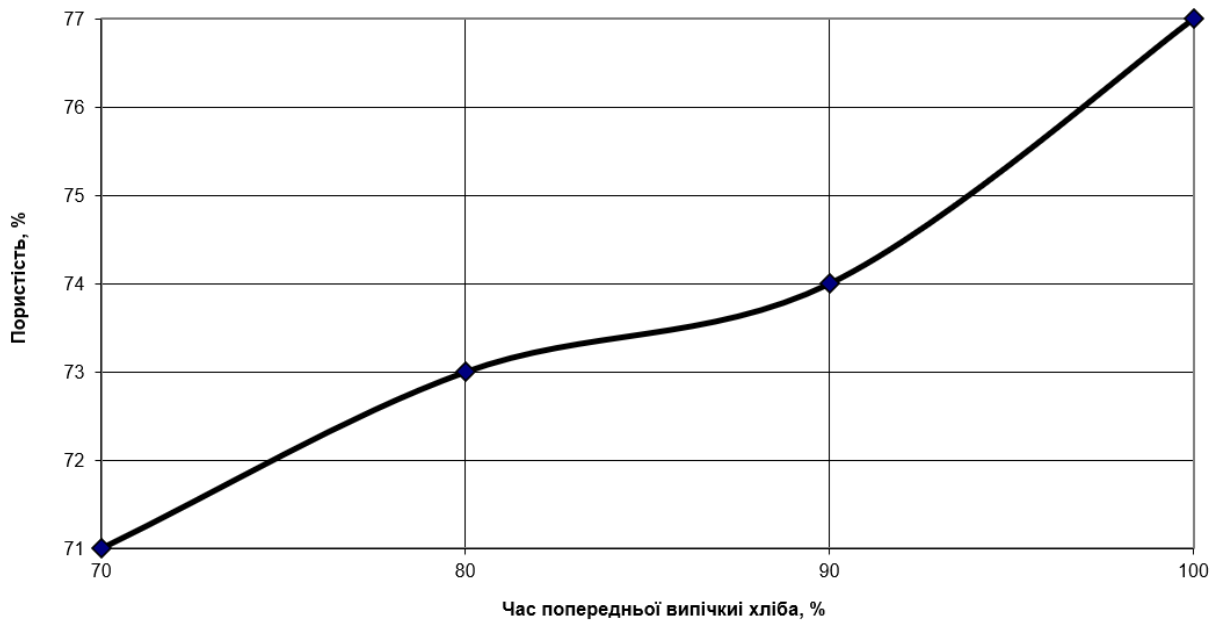


Рис.4.3 Рівень пористості зразка високого рівня готовності "Хліб французький бездріжджовий" від тривалості попереднього випікання

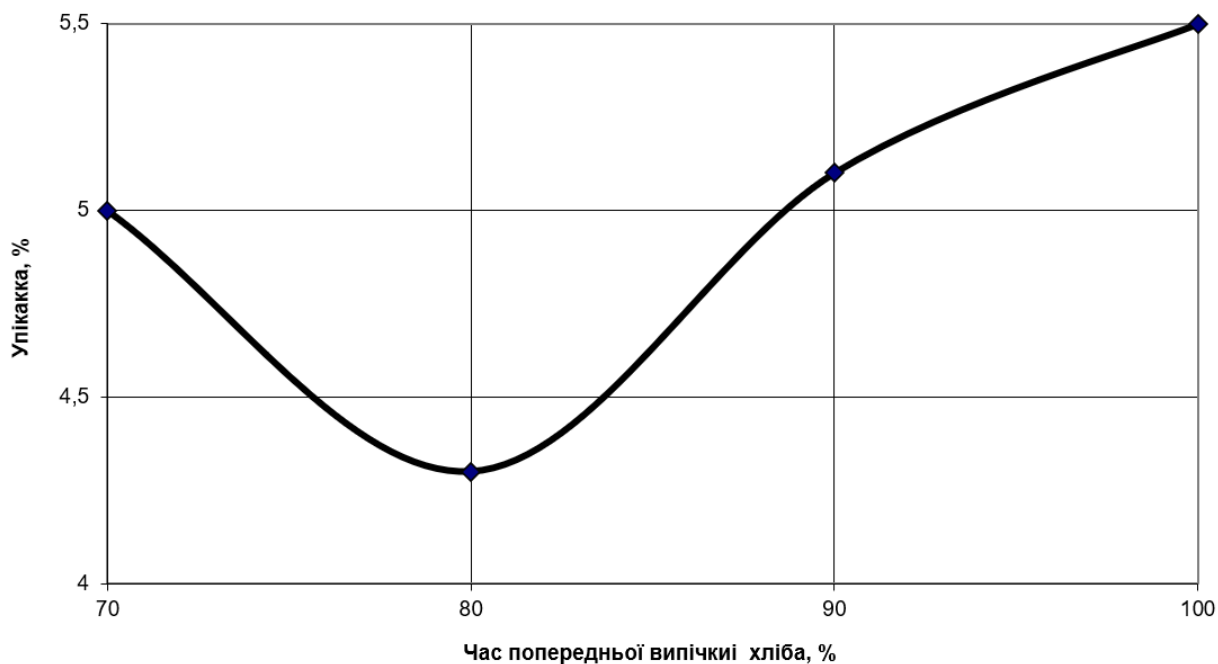


Рис.4.4 Значення упікання зразка високого рівня готовності "Хліб французький бездріжджовий" від тривалості попереднього випікання

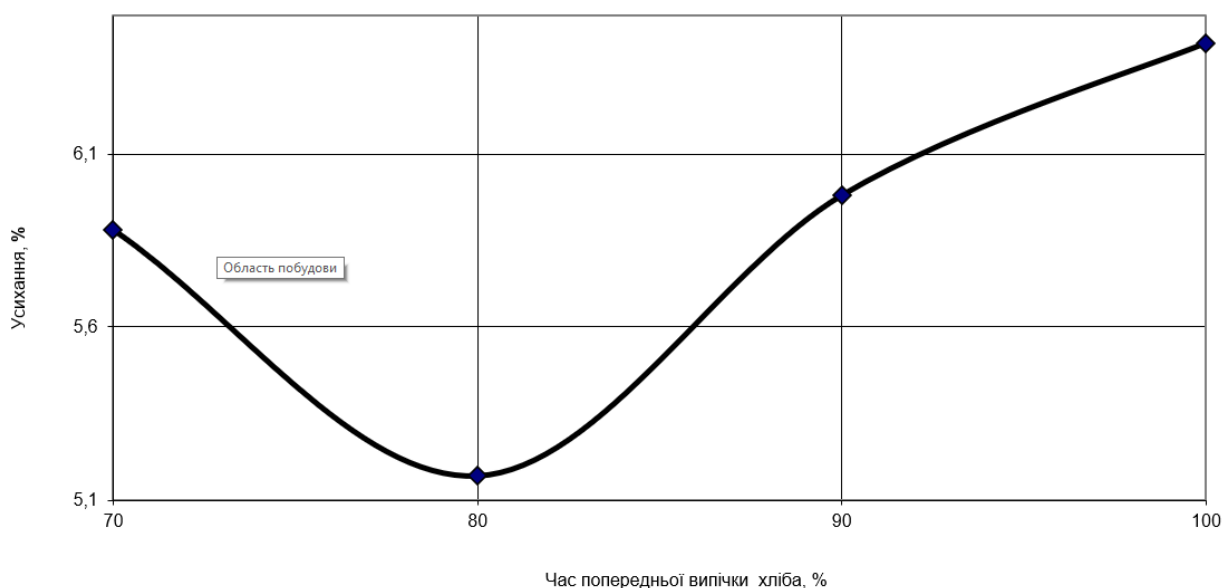


Рис.4.5 Рівень усихання зразка високого рівня готовності "Хліб французький бездріжджовий" від тривалості попереднього випікання

За результатами експериментів можна зробити висновки, що попереднє випікання мує бути в околі 80% від повної тривалості випікання. У випадку попереднього випікання, в околі 80%, упікання складає 4,3%, усихання 5,16%,

рівень пористості -73%, тривалість допікання – 22 хв. У допечених виробів спостерігається рівномірна пористість та належного рівня органолептики.

Таблиця 4.1

Хліб "Французький бездріжджовий", зразок високого рівня готовності ГОСТ 28806-90

Номер заготовки	Ступень попередньої випічки, %	Маса недопеченого хліба М н.х. гр	Маса хліба Мх, гр	Упікання		Час допікання хв.	Усихання %	Пористість %
				g , гр	g , %			
1	100	545	515	30	5,5	20	6,42	77
2	80	580	555	25	4,3	22	5,16	73
3	80	585	555	30	5,1	23	5,98	74
4	70	595	565	30	5,0	22	5,88	71

5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

5.1 Заходи з охорони праці

На здоров'я та працездатність робітників заводу впливають такі фактори:

- несприятливі умови, що створюються в цеху при значному виділенні тепла, підвищеній вологості;
- виникнення запиленості, що може привести до професійних захворювань, а перевищення концентрацій пилу за наявності джерела іскри – до вибуху;
- виділення в оточуюче середовище діоксиду вуглецю в результаті проходження технологічних процесів, пов'язаних з бродінням. Перевищення допустимої концентрації може несприятливо відбитися на здоров'ї робітників.

Гранично допустима концентрації пилу борошняного, яка встановлена у цехах заводу:

Пил борошняний – ГДК = $0,6 \text{ мг/м}^3$ – клас небезпеки 4 – аерозоль.

Для забезпечення нормальних умов необхідно дотримуватись діючих правил герметизації технологічного обладнання, безперебійної роботи вентиляційного обладнання, необхідно ретельно прибирати від пилу все обладнання, яке також повинно огорожуватись та прикриватись кожухами.

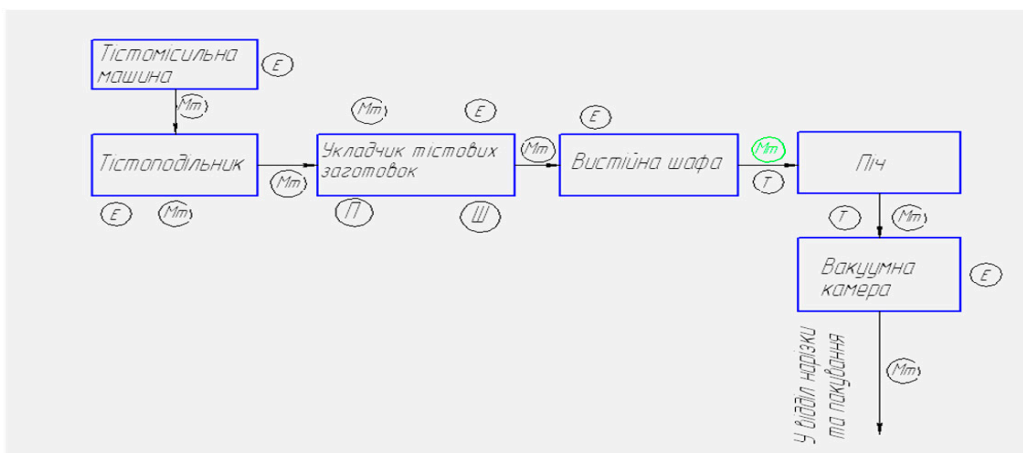


Рис. 5.1. Небезпечні чинники на лінії випікання хліба

Для зручності наявним у цеху шкідливим і небезпечним чинникам присвоїли символи: **Ш** – шум, **В** – вібрація, **Мт** – механічні травми, **Е** – електробезпека, **П** – пил, **Т** – виділення тепла.

Мікроклімат. Основними факторами, які визначають мікроклімат в закритих приміщеннях заводу є температура, відносна вологість та швидкість руху повітря. Цей комплекс фізичних факторів чинить істотний вплив на теплообмін організму людини з навколишнім середовищем. Крім впливу на організм мікроклімат чинить прямий вплив на хід технологічного процесу.

Більшість робіт на хлібозаводі відносяться до категорії робіт середньої важкості **Па** та **Пб** в залежності від енергозатрат. Оптимальні показники мікроклімату розповсюджуються на всю зону роботи.

Для холодної пори року параметри мікроклімату у вакуум-випарному відділенні становлять: температура 17...19°C, відносна вологість 45 ...60°C, швидкість повітря 0,2 м/с.

Для теплої пори року: температура: $t = (24...28)^\circ\text{C}$; $\varphi = (50...60)\%$; $U = 0,1$ м/с.

Вказані параметри не відповідають гігієнічному нормуванню виробничого мікроклімату.

Крім вказаних вище параметрів повітряного середовища виробничих приміщень для здоров'я та працездатності людини велике значення має газовий склад повітря та вміст у ньому шкідливих домішок.

Шум та вібрація. Гігієнічне нормування шуму на заводі пропонується здійснювати по загальному рівню звуку (в дБА).

Тому обладнання що створює шум, по можливості потрібно розташовувати в окремому приміщенні, в якому звукопроникні стіни. Обладнання слід встановлювати на віброізолюючий фундамент, маса якого підбирається так, щоб амплітуда коливань не перевищувала 0,2 мм.

Тривалий вплив шуму знижує гостроту слуху та розладжує периферійну та центральну нервові системи, порушує діяльність серцево-судинної системи. Аналогічні функціональні розлади викликає вібрація.

Зменшення вібрації та шуму у вакуум випарному відділенні пропонується досягти рядом заходів: послаблення шуму та вібрації конструктивними, технологічними та експлуатаційними рішеннями, використанням вібропоглинаючих опор (використання у з'єднаннях прокладочних матеріалів, які перешкоджають передачі коливань від одних деталей до інших) та інше.

Основним заходом боротьби з аеродинамічним шумом може бути зниження швидкостей руху, ліквідація утворювачів завихрень та ін.

Освітлення. До освітлення вакуум - випарного відділення пропонується пред'явити наступні основні вимоги: освітленість має бути достатньою і відповідати характеру зорової роботи: освітленість має бути рівномірною, без різких тіней, між об'єктом розглядання та фоном має бути контрастність; джерело світла не повинно створювати відбликів, осліпити працюючого. Рівень освітленості має бути постійним у часі,

електроосвітлювальні установки штучного освітлення повинні бути безпечними при обслуговуванні.

Згідно СН освітленість в вакуум - випарному відділенні складає 200 лк. Для освітлення ділянки замісу пропонується використовувати суміщене освітлення: комбінація, при якій у світлу пору доби одночасно використовується природне та штучне освітлення, при цьому недостатнє за умовами зорової роботи природне освітлення постійно замінювати штучним освітленням. Штучне освітлення являє собою світильники з люмінесцентними лампами, які встановлені поблизу робочих місць

Також на підприємстві передбачається аварійне освітлення на випадок непередбачених аварійних ситуацій.

Електробезпека. Електробезпека у виробничих умовах забезпечується відповідною конструкцією електроустаткування, технічними способами та засобами захисту, організаційними та технічними заходами.

За ступенем небезпечності ураження людини електричним струмом приміщення поділяються на три класи: особливо небезпечні, з підвищеною небезпекою .

Більшість інших відноситься до приміщень без підвищеної небезпеки (приміщення лабораторій, адміністративні, санітарно-побутові та ін.).

Для захисту від дотику до металевих не струмоведучих частин електроустановок використовується захисне заземлення, занулення, відключення, ізоляція струмоведучих частин, контроль ізоляції, засоби захисту та допоміжні пристосування.

Засоби захисту діляться на колективні та індивідуальні.

Колективні засоби захисту:

- **недоступність основних струмоведучих частин;**
- **ізоляція;**
- **заземлення всіх неструмоведучих елементів електрообладнання;**
- **швидкодіюче автоматично-захисне відключення у разі замикання на корпус електродвигунів приводу машини, або їх перевантаження;**
- **захисне розділення мережі;**
- **блокувально-попереджувальна сигналізація з написами і плакатами;**
- **проведення ППР та профілактичних випробувань електричного обладнання;**
- **проведення організаційних міроприємств (навчання, інструктажі, атестація);**

Індивідуальні засоби захисту:

- **використання захисних засобів і пристроїв;**
- **ремонт та профілактика машини здійснюється тільки за відімкненого електричного живлення.**
- **використання спеціального одягу да інструменту при роботі із машинами.**

Надійність та безпечність роботи електрообладнання залежить перш за все від стану ізоляції струмоведучих частин. Ізоляція забезпечує безпеку завдяки великому опору, який має бути не менше 0,5 МОм.

Опір ізоляції зменшується з підвищенням температури, напруження, та в результаті старіння. Контроль ізоляції проводиться мегаомметром М1101.

Особливу небезпеку в зв'язку із накопиченням статичної електрики являє собою обладнання хлібозаводу. Заряди накопичуються на обладнанні та матеріалах, а супроводжуючі електричні розряди можуть бути причиною пожеж, вибухів, та порушень технологічного процесу, точності електроприладів та засобів автоматики.

Основним способом попередження виникнення електричного заряду є постійне відведення статичної напруги за допомогою заземлення, а у деяких випадках занулення.

Техніка безпеки при обслуговуванні вакуумної камери. При обслуговуванні вакуумної камери може виникнути небезпека ушкодження обслуговуючого персоналу обертовими частинами механізму. Тому щоб уникнути нещасних випадків потрібно всі обертові елементи закривати захисними кожухами.

Для боротьби з вібрацією застосовують міцне кріплення обладнання до основи, а також віброізолюючі прокладки. Температура поверхні машин не повинна перевищувати 45°C. Для запобігання ураження електричним струмом все обладнання заземлюється.

Забезпечення санітарно-побутовими приміщеннями. Побутові приміщення на підприємстві відповідають СНиП 2.09.04-87, СНиП II-М3-68. На підприємстві для забезпечення санітарно-гігієнічних норм передбачені такі побутові приміщення: роздягальні, душові, санвузли, кімната відпочинку, приміщення для прання спецодягу. Побутові приміщення розміщуються в одній будівлі з виробничим і забезпечуються припливно-витяжною вентиляцією. В адміністративному приміщенні заводу розміщені медпункт та пункт громадського харчування.

Виходячи з нормативних даних для дільниці цеху по виробництву батонів, де працює в одну зміну шість осіб, потрібно передбачити: окремі чоловічі й жіночі гардеробні з індивідуальними шафами (на два відділення кожна) з числом шаф: 8- для жінок, 4-для чоловіків (виходячи з двохзмінної роботи цеху). До гардеробних мають примикати душові з двома душовими відділеннями кожна. У гардеробних мають бути встановлені по одному умивальнику. Вбиральня може бути одна для чоловіків і жінок, але з тамбуром, що закривається, та умивальником.

Пожежна безпека. Цех по виробництву хліба по вибухо-пожежній безпеці відноситься до категорії “Г” згідно з нормами технологічного проектування ОНТП 24-86.

Ступінь вогнестійкості будівлі для основних цехів не повинен бути нижче III згідно зі СНиП 2.01.02-85.

Згідно з ПУЕ клас приміщення та зони вибухопожежної небезпеки - В-Па.

Для своєчасного оповіщення про пожежу в цеху передбачена автоматична пожежна сигналізація. В якості автоматичних оповіщувачів прийняті теплові пожежні оповіщувачі ДСП-038. Для ліквідації пожежі в цеху є первинні засоби пожежогасіння. Це пожежні стволи разом з пожежними рукавами, внутрішні пожежні трубопроводи, вогнегасники, лопати, відра, сухий пісок, азбестові ковдри, а також інструменти для розбирання будівельних конструкцій.

Розрахунок необхідної кількості води для трьох часового пожежогасіння.

$$Q = \frac{3 \cdot 3600 \cdot (n_1 + n_2)}{1000}, \left[\text{м}^3 \right]$$

де: 3600 та 1000 – перевідні коефіцієнти відповідно години в секунди і літрів в м³.

n₁– витрата води на внутрішнє пожежогасіння, (n₁=5 л/с);

n₂– витрата води на зовнішнє пожежогасіння (n₂=30 л/с)

об'єм приміщення рівний :

V_{пр}=LxSxH де L- довжина; S- ширина; H- висота цеху;

V_{пр}=102x54x6=33048 м³, то n₂=20л/с.

$$Q = \frac{3 \cdot 3600 \cdot (5 + 20)}{1000} = 270 \left[\text{м}^3 \right]$$

Приймаємо об'єм резервуара з водою 300 м³.

У разі пожежі або інших нестандартних ситуацій у цеху має бути не менше двох шляхів евакуації людей. Розташовують виходи з протилежних сторін будівлі

або розосереджено. У разі потреби одним з шляхів евакуації може бут вікно з пожежною драбиною або східцями, що ведуть на зовнішнє подвір'я.

Для підвищення пожежної безпеки необхідно:

- дотримуватись режиму роботи обладнання;
- надійна герметизація з'єднань;
- теплоізоляція нагрітих поверхонь;
- попередження надходження зарядів статичної електрики;

використання системи автоматизації, блокування, попереджувальної і аварійної сигналізації;

своєчасне проведення оглядів, профілактичних випробувань, планових попереджувальних ремонтів обладнання.

Висновки. Для покращення умов праці обслуговуючого персоналу запроваджено наступні кроки: за рахунок конструктивних рішень знижено рівень шуму та вібрацій, що його створює спроектоване обладнання; зменшено кількість рутинних операцій, які виконують робітники; за допомогою високого рівня механізації та автоматизації полегшено виконання операцій з обслуговування шафи; передбачено усі можливі заходи проти виникнення нещасного випадку на виробництві.

5.2. Заходи з безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Особливістю надзвичайних ситуацій з виливом хімічних речовин є висока швидкість формування дії факторів ураження, що викликає необхідність прийняття цілого ряду оперативних і попереджувальних заходів, які спрямовані на захист персоналу підприємства та населення під час ліквідації їх наслідків.

У зв'язку з цим захист персоналу та населення, що проживає на забрудненій території організується при можливості завчасно, а у разі виникнення хімічної надзвичайної ситуації проводиться в мінімально можливі строки. Захист виробничого персоналу та населення від аварій з виливом хімічно небезпечних речовин – це комплекс організаційних, оперативних, попереджувальних і захисних заходів, що здійснюються з метою виключення або максимального послаблення дії ураження хімічно небезпечними речовинами персоналу та населення, збереження їх здоров'я та працездатності.

Комплекс заходів щодо захисту виробничого персоналу та населення від наслідків хімічних надзвичайних ситуацій включає: забезпечення виробничого персоналу засобами індивідуального і колективного захисту; забезпечення безпеки населення і використання засобів індивідуального і колективного захисту; щоденний хімічний контроль; проведення попереджувальних і профілактичних заходів на хімічно небезпечних об'єктах; прогнозування можливих наслідків хімічної надзвичайної ситуації і т.д.

Оповіщення та інформування працюючих та населення є одним із основних завдань захисту в надзвичайних ситуаціях. На території України створена автоматизована система централізованого оповіщення. Для оповіщення на підприємствах використовують систему зв'язку, радіопровідного, телевізійного оповіщення, радіотрансляційні мережі, сирени, гудки та інші технічні засоби передачі інформації. Оповіщення населення забезпечують органи управління в надзвичайних ситуаціях та цивільного захисту на всіх адміністративно - територіальних рівнях.

Оповіщення – це доведення до органів виконавчої влади, підприємств, установ, організацій та населення сигналів і повідомлень про загрозу та виникнення НС.

Система оповіщення має бути своєчасно створена на загальнодержавному, регіональному, місцевому та об'єктовому рівнях, підтримуватися в постійній готовності до оповіщення населення про НС та постійного інформування його про наявну обстановку.

Система оповіщення – це комплекс організаційно-технічних заходів, апаратури та технічних засобів (зв'язку, мережі радіомовлення та телебачення).

Система централізованого оповіщення у сфері ЦЗ забезпечує можливість циркулярного та вибіркового оповіщення посадових осіб центральних та місцевих органів виконавчої влади, керівників підприємств, установ та організацій, а також населення.

На потенційно небезпечних підприємствах створюються локальні або об'єктові системи оповіщення працівників та населення прилеглих територій, а також інших підприємств, організацій, установ, які можуть опинитися в зоні ураження в разі виникнення на них НС.

Локальні системи сполучені з регіональними системами централізованого оповіщення.

Для прийому повідомлень ЦЗ на підприємствах, в установах і організаціях встановлюють гучномовці, які підключаються до міської (районної) радіотрансляційної мережі. У будинках та квартирах репродуктор слід тримати постійно увімкненим.

Оповіщення керівного складу об'єкта може здійснюватися за допомогою телефону за списком, або ж за допомогою розсильних як транспортом, так і пішки.

Оповіщення населення покладається на оперативних чергових відповідних територіальних органів управління ЦЗ, а також можуть залучатися сили і засоби МВС.

Оповіщення населення у разі будь-якої НС здійснюється за єдиним сигналом: «УВАГА ВСІМ!» Сигнал доводиться до населення уривчастим звучанням електросирен, гудками підприємств, транспорту тощо.

За цим сигналом населення повинно ввімкнути радіо- і телемовлення та уважно слухати інформацію (повідомлення), що передаються територіальними органами ЦЗ, потенційно небезпечними підприємствами.

На пунктах управління, звідки здійснюється оповіщення, заздалегідь розроблено і закладено в систему варіанти текстів для передавання повідомлення в різних можливих ситуаціях у мирний час та на період війни.

Встановлено такі сигнали оповіщення населення в мирний час у разі НС:

- «Аварія на атомній електростанції»;
- «Аварія на хімічно небезпечному об'єкті»;
- «Землетрус»;
- «Затоплення»;
- «Штормове попередження».

Сигнали оповіщення населення у воєнний час такі:

– «Повітряна тривога». Цим сигналом населення попереджають про небезпеку ураження від застосування противником зброї. По радіо передається текст: «Увага! Увага! Повітряна тривога! Повітряна тривога!» За сигналом об'єкти припиняють роботу, транспорт зупиняється і все населення укривається в захисних спорудах;

– «Відбій повітряної тривоги». За цим сигналом населення залишає захисні споруди і повертається на свої робочі місця і в житлові приміщення;

– «Радіаційна небезпека» – подається в населених пунктах і в районах, в напрямку яких переміщується радіоактивна хмара, що утворилась від вибуху ядерного боєприпасу;

– «Хімічна тривога» – подається у разі загрози або безпосереднього виявлення хімічного чи/або бактеріального нападу (зараження).

Формалізований зміст тексту повідомлення органу ЦЗ про надзвичайну ситуацію в разі аварії на хімічно небезпечному об'єкті може бути такий:

УВАГА! Говорить штаб цивільного захисту міста _____

Громадяни! Сталася аварія на _____ із викидом небезпечної хімічної речовини _____. Хмара зараженого повітря поширюється в напрямку _____

Населенню, що проживає на вулицях _____, необхідно перебувати у приміщеннях, провести герметизацію квартир (будинків). Населенню, що проживає на вулицях _____, негайно залишити житлові будинки, приміщення підприємств, установ, організацій та вийти в район _____.

Отриману інформацію сповістити сусідам. Надалі діяти відповідно до вказівок органу цивільного захисту».

На потенційно небезпечних об'єктах і в безпосередній близькості від них, оповіщення покладається на начальників цивільного захисту цих об'єктів через локальні системи оповіщення. Ними оповіщається і населення, яке проживає поблизу цих об'єктів. Оповіщення слід здійснювати згідно із затвердженою схемою оповіщення (табл.) за допомогою наявних засобів зв'язку: сирени, гучномовного зв'язку, прямого зв'язку з головним управлінням з НС міста, телефонного внутрішнього зв'язку, мобільних телефонів, радіотелефонного зв'язку. Схема узгоджується начальником цивільного захисту підприємства, начальником відділу з питань надзвичайних ситуацій та цивільного захисту міста, начальником відділу внутрішніх справ міста.

На підприємствах харчової промисловості для захисту у разі виникнення хімічних аварійних ситуацій проводиться:

- оцінка можливої обстановки на підприємстві у випадку виникнення хімічної надзвичайної ситуації;

- організація виявлення і контролю хімічної обстановки при виникненні надзвичайних ситуацій;
- організація оповіщення персоналу підприємства і населення, що мешкає поблизу підприємства;
- організація евакуації (відселення) персоналу у разі необхідності;
- використання сил цивільного захисту для ліквідації наслідків хімічної аварійної ситуації;
- організація охорони осередку ураження, порядок надання медичної допомоги;
- організація забезпечення персоналу підприємства засобами індивідуального захисту;
- організація транспортного, енергетичного, матеріального і технічного забезпечення робіт з ліквідації наслідків хімічної аварійної ситуації.

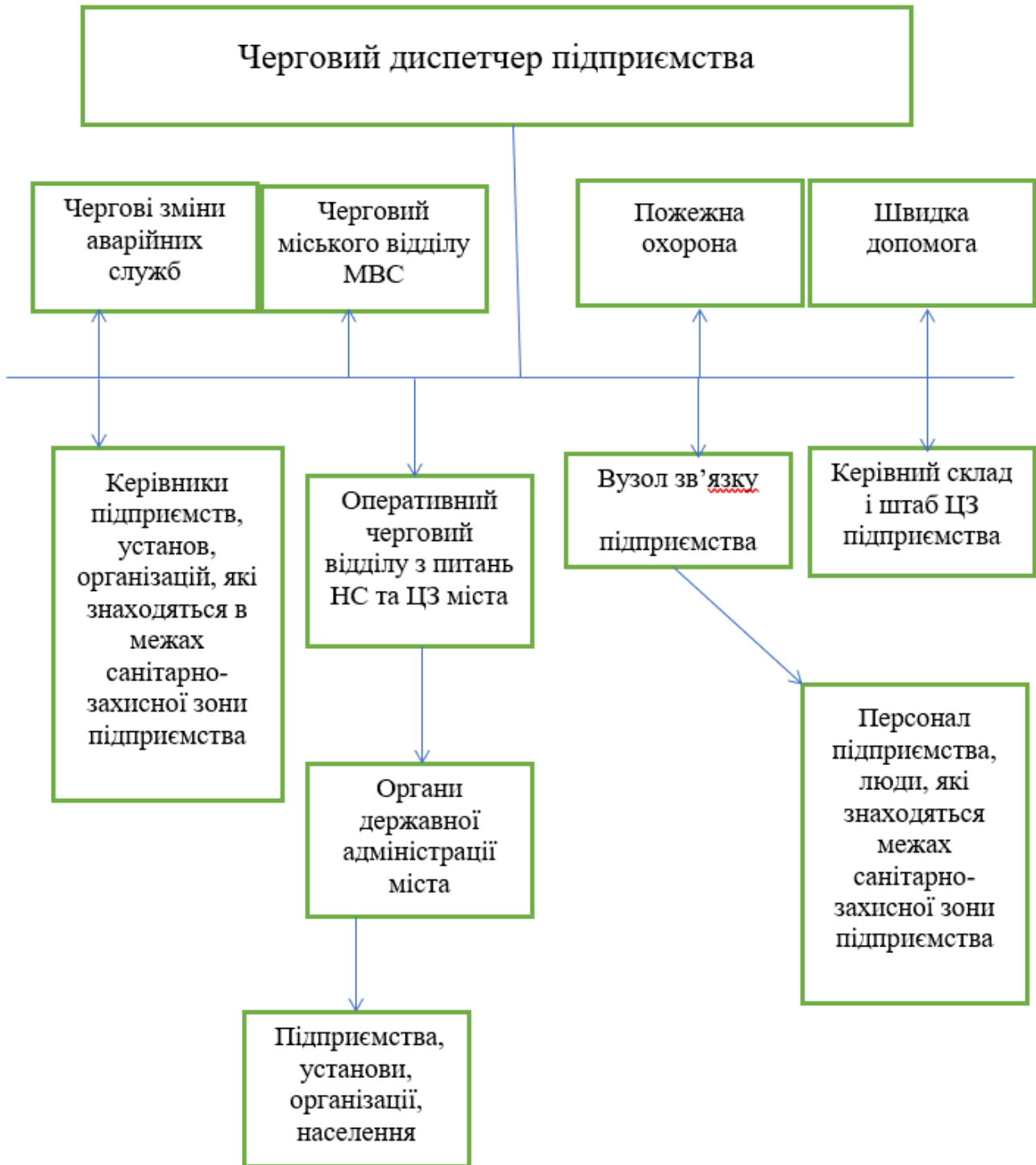


Рис.5.1. Схема оповіщення персоналу підприємства, керівників підприємств, установ, організацій і населення, які потрапляють в зону хімічного зараження.

Висновки

Відповідно до завдань перед харчовою промисловістю по вдосконаленню технологічного обладнання і покращенню якісних показників продукції, а також виходячи із аналізу сучасних способів підведення теплоти в хлібопекарських печах і теорії процесів тепломасопереносу в тісті-хлібі, в роботі проаналізовано параметри оптимізації процесів та їх інтенсифікація при випіканні подового хліба високої якості, а саме:

1. Поведено літературний аналіз щодо кінетики процесу тепломасопереносу при зміні ТФХ тіста-хліба, та фізико-хімічних й біологічних процесів, що відбуваються при прогріванні тіста-хліба. Відзначено, що істотний вплив на процес створює теплопідведення масивного теплоакумуючого черену печі, що дозволяє вивчення шляху інтенсифікації випікання виробів.

2. Розглянуто процес тепломасообміну при випіканні і уточнено розрахунок печі про характер зміни ТФХ. Проведено експеримент для уточнення розходження ТФХ математичними виразами на основі двох змінних функцій. Отримано фізичні уявлення про якісні відомості теплових властивостей реальних тіл методом прогнозування і розрахунку.

3. Проаналізовано, що Існуючі методи розрахунку ТФХ в своїй основі залишаються емпіричними, носять локальний характер і засновані на великому масиві експериментальних даних та доповнюють експериментальні дослідження ТФХ, а не замінюють їх.

4. Визначено ТФХ тіста-хліба в процесі теплової обробки та встановлено залежності ТФХ тіста-хліба від розрихленості, температури і інтенсивності теплопідведення.

5. Досліджено тепловий стан черена конвеєрної хлібопекарської печі із різноманітних матеріалів й різної товщини з використанням ЕОМ для обґрунтування матеріалу і розмірів поду при випіканні виробів. Запропоновано раціональний режим для випічки хлібобулочних виробів.

6. Встановлено оптимальні умови вакуумно-випарного охолодження та подано отримані результати у вигляді математичних залежностей.

У результаті проведених досліджень можна обґрунтувати висновок, що вакуум-випарне охолодження має значну перевагу над конвективним і заморозкою в морозильній камері. Таким чином даний метод охолодження є найбільш економічним і швидким, що відповідає задачам, які поставлені перед харчовим виробництвом.

Перелік посилань

1. Обладнання підприємств переробної та харчової промисловості. /За ред. І.С.Гулого – Вінниця: Нова книга, 2001р. –576с.
2. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. Программированное введение в планирование эксперимента. – М.: «Наука», 1971. – 283 с.
3. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. – 279 с.
4. Ауэрман Л.Я. Технология хлебопекарного производства. – М.: Пищевая промышленность, 1972. – 512 с.
5. Igor Stadnyk, Volodymyr Piddubnyy, Olena Eremeeva, Halyna Karpyk Features of heat transfer in the environment when it is sprayed with rotary rollers //Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences vol. 12, 2018, no. 1, p. 824-835 (скопус) doi: <https://doi.org/10.5219/977> CC BY 3.0 ISSN 1337-0960 (online)
6. Буравой С.Е., Курепин В.В., Платунов Е.С. О теплофизических измерениях в монотонном режиме. – ИФЖ, т. 21, 1971, №4, с. 750-760.
7. Бурцев Ю.Н. и др. Приборы для измерения коэффициента теплопроводности полимеров в интервале – 40 до 250 °С. – Заводская лаборатория, 1972, №8, с. 1014-1015.
8. Гинзбург А.С., Громов М.А., Красовская Г.И., Теплофизические характеристики пищевых продуктов: справочник. – М.: Агропромиздат, 1990. – 287 с.
9. Гинзбург А.С., Громов М.А., Красовская Г.И. Теплофизические характеристики пищевых продуктов. – М.: Пищевая промышленность, 1980. – 288 с.
10. Гинзбург А.С., Громов М.А., Красовская Г.И., Уколов В.С. Теплофизические характеристики пищевых продуктов и материалов. – М.: пищевая промышленность, 1975. – 224 с.

11. Горбатов В.М., Масюков В.Н., Еремин В.И. Исследование теплофизических параметров теста. – Тр. ВНИИМП, вып. 25. – 1971. – 4.2. – с. 85-104.
12. Грищенко Т.Г. Теплофизический эксперемент-метод и прибор для определения коэффициента теплопроводности неметаллических материалов. Автореферат дисс. канд. техн. наук. – Киев: 1977. – 21 с.
13. Дворцин М.М, Михелев А.А. Подвод тепла в начальной зоне выпечки. – Хлебопекарная и кондитерская промышленность, 1972, № 10, с. 9-11.
14. Дворцин М.М. Выпечка подового хлеба в печах ПХС. – Хлебопекарная и кондитерская промышленность, 1978, №8, с. 18-20.
15. Дульнев Г.Н., Заричняк Ю.П. Теплопроводность смесей и композиционных материалов. – Л.: Энергия, 1971. – 145 с.
16. Дворцин М.М, Михелев А.А. Подвод тепла в начальной зоне выпечки. – Хлебопекарная и кондитерская промышленность, 1972, № 10, с. 9-11.
17. Дворцин М.М. Выпечка подового хлеба в печах ПХС. – Хлебопекарная и кондитерская промышленность, 1978, №8, с. 18-20.
18. Дульнев Г.Н., Заричняк Ю.П. Теплопроводность смесей и композиционных материалов. – Л.: Энергия, 1971. – 145 с.
19. Igor Stadnyk, Tetiana Hushtan, Ganna Sabadosh, Yana Yevchuk Formation of microbial biofilms on stainless steel with different surface roughness//Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences vol. 13, 2019, no. 1, p. 915-924.
20. Сигал М.М. Поточно-механизированные и автоматизированные линии в хлебопекарной промышленности / Сигал М.М. — К.: Урожай, 1988.— 175с.
21. Оборудование и комплексно-механизированные линии для разделки теста.— М.: Пищевая промышленность, 1978.— 159с.
22. Михелев А.А. Справочник по хлебопекарскому производству. Т.1. – М.: Пищевая промышленность, 1977. – 368с.
23. Лисовенко А.Т. Технологическое оборудование и пути его совершенствования. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. -208с.
24. Г.С. Писаренко. Справочник по сопромату / Г.С. Писаренко.— К.: Наукова думка, 1988.— 734с.

25. Мирончук В.Г. Розрахунки обладнання підприємств переробної і харчової промисловості; навчальний посібник / Мирончук В.Г., Орлов Р.О., Українець А.І. та ін..-Вінниця: Нова книга, 2004.-288с.
26. Практикум по расчётам оборудования хлебопекарного и макаронного производств /Под ред. Ю.А.Калошина.— М.: Агропромиздат, 1981.— 158с.
27. Демезюк Э.С. Технологическое оборудование предприятий хлебопекарной и кондитерской промышленности / Демезюк Э.С., Емельянов Н.А..— М.: Пищепромиздат, 1963.— 342с.
28. Михелев А.А. Расчет и проектирование печей хлебопекарного и кондитерского производств [Текст] : учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности "Машины и аппараты пищевых производств" / А. А. Михелев [и др.]. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Пищевая промышленность, 1979. – 325
29. Володарский А.В. Современные тоннельные печи в хлебопекарной промышленности [Текст] / А. В. Володарский, А. А. Михелев, М. Н. Сигал ; под ред. А. А. Михелева. - М. : Пищевая промышленность, 1976. – 134.
30. Рутковський М.Р. Особливості забезпечення надійності та довговічності обладнання харчових виробництв/ М.Р. Рутковський, О.А.Федорук // Актуальні задачі сучасних технологій : зб. тез доповідей X міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 24–25 листоп. 2021.) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін.]. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2021. – Т. 2. – 152. С. 58.
31. Смирнов М.С., Лысенко В.И. Тепломасообменные явления в тесте-хлебе при выпечке. – Хлебопекарная и кондитерская промышленность. 1986, №4, с. 35-36.
32. Смирнов М.В., Лысенко В.И. Инвариантное решение задачи теплопроводности при выпечке хлеба. – Изв. вузов Пищ. технология. 1986, №5 – с. 74-77.

33. Теплофизические характеристики пищевых продуктов и материалов/ А.С. Гинзбург, М.А. Громов, Г.И. Красовская, В.С. Уколов. – М.: Пищевая промышленность, 1975. – 223 с.
34. Федоров В.Г., Шубенко Б.И. Определение основных теплофизических характеристик жидкостей из одного опыта. – В кн. Теплофизика и техника, К.: Наукова думка, вып. 25, 1973, с. 66-69.
35. Федоров В.Г. Основы тепломассометрии. – Киев: Вища школа, 1987. – 184 с.
36. Федоров В.Г., Декуша Л.В., Скарвийчук А.М. Новые тепломассообменные характеристики пищевых продуктов. – Известия вузов. Пищевая технология, 1984, №2, - с. 72-75.
37. Федоров В.Г., Декуша Л.В., Шубенко В.П. Датчик тепломассообмена.– Энергетика и электрификация, 1973, №5 (62), - с.41-42.
38. Федоров В.Г. Применение методов тепломассометрии при холодильной обработке пищевых продуктов. – Холодильная техника, 1979, №3 – с. 33-36.
39. Федоров В.Г. Об измерении потоков энергии и массы теплотехническими средствами. – Теплофизика и теплотехники, 1975, вып. 29, с. 73-76.
40. Федоров В.Г. Теплотрия в пищевой промышленности. – М.: Пищевая промышленность, 1974. – 176 с.
41. Федоров В.Г., Плесконос А.К. Планирование и реализация экспериментов в пищевой промышленности. – М.: Пищевая промышленность, 1980. – 240 с.
42. Хлебопекарная печь для выпечки национальных изделий/ В.И. Теличкун, Н.М. Сигал, С.Д. Дудко, А.В. Ковалев. Информационный листок о НТД № 90-034. Киев, УкрНИИНТИ, 1990.
43. Шашко А.Г., Волохов Г.М., Абраменко Т.Н. Методы определения теплопроводности. – М.: Энергия, 1973. – 336 с.
44. Донин Л.С. Справочник по вентиляции в пищевой промышленности / Донин Л.С.— М.: Пищевая промышленность, 1977.— 352с.
45. Никитин В.С. Охрана труда на предприятиях пищевой промышленности / В.С. Никитин, Ю.М. Бурашников. –М.: Агропромиздат, 1991.– 349с.