

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

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

«До захисту в ЕК»
Директор інституту(декан факультету)
Сергій БЛАЖЕНКО
(ім'я та прізвище)

« » _____ 2025р.

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
Олександр ГАВВА
(ім'я та прізвище)

« » _____ 2025р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

зі спеціальності 133 "Галузеве машинобудування"
(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми Інжиніринг харчових та біотехнологічних виробництв

на тему: «Розроблення апарату для вакуумного охолодження батону з тунельною піччю 25 кв.м»

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ОХ-2-3м

Ольховець Єгор Сергійович
(прізвище, ім'я, по батькові повністю) _____ (підпис)

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

Консультанти Юрій БОЙКО
(ім'я та прізвище) _____ (підпис)

(ім'я та прізвище) _____ (підпис)

(ім'я та прізвище) _____ (підпис)

Рецензент _____
(ім'я та прізвище) _____ (підпис)

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

Здобувач _____
(підпис)

Київ - 2025р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) _____ ННІТІ ім. акад. І.С. Гулого _____

Кафедра Машин і апаратів харчових ті фармацевтичних виробництв _____

Освітній ступінь _____

Спеціальність _____ 133 Галузеве машинобудування _____

(код і назва)

Освітньо-професійна програма Інжиніринг харчових та біотехнологічних виробництв _____

(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Олександр ГАВВА

“ _____ ” _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Ольховець Єгор Сергійович _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Розроблення апарату для вакуумного охолодження батону з тунельною піччю 25 кв.м»

керівник роботи _____ Теличкун Володимир Іванович к.т.н. проф _____,

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від «17» вересня 2025 року № 712-кв

2. Строк подання здобувачем роботи 12 грудня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи: продуктивність, характеристики готового виробу технічний паспорт обладнання; креслення обладнання, спеціальна та нормативна література

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Анотація; Вступ; Аналіз сучасного рівня технічного оснащення обладнання для охолодження хліба; Експериментальне обладнання та методики проведення досліджень; Експериментальне вивчення процесу вакуумного охолодження хліба; Технології машинобудування; Охорона праці; Охорона навколишнього середовища; Висновки; Список використаної літератури.

5. Перелік графічного матеріалу; Реалізація результатів досліджень шляхом створення установки для вакуумного охолодження батона на виробничій лінії; Загальний вигляд апарату для вакуумного охолодження батону; Розріз А-А апарату для вакуумного охолодження батону; Аксинометрія апарату для вакуумного охолодження батону; Технологічний маршрут складання вузла.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технологія машинобу дування	Ю.І.Бойко		

7. Дата видачі завдання 17 вересня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Анотація, зміст; перелік умовних позначень, термінів	20.10.2025	Виконано
2	Аналіз сучасного рівня технічного оснащення обладнання для охолодження хліба	28.10.2025 - 30.10.2025	Виконано
3	Експериментальне обладнання та методики проведення досліджень	01.11.2025 - 03.11.2025	Виконано
4	Експериментальне вивчення процесу вакуумного охолодження хліба	04.11.2025 - 08.11.2025	Виконано
5	Реалізація результатів досліджень шляхом створення установки для вакуумного охолодження батона на виробничій лінії	09.11.2025 - 15.11.2025	Виконано
6	Технології машинобудування	16.11.2025 - 18.11.2025	Виконано
7	Охорона праці	19.11.2025	
8	Охорона навколишнього середовища	20.11.2025	Виконано
10	Висновки; Список використаної літератури	21.11.2025	Виконано
11	Графічна частина: 4 аркуші	20.10.2025 - 25.10.2025	Виконано
12	Подача ДП на кафедрі	12.12.2025	Виконано

Здобувач

_____ (підпис)

Ольховець Є.С.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Теличкун В.І.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

У роботі проведено дослідження впливу різної інтенсивності вакуумного охолодження на показники якості батону та оцінено роль пропускної здатності його скоринки. Встановлено, як процес вакуумного охолодження впливає на властивості готового продукту та на здатність скоринки пропускати вологу.

Проаналізовано наявне обладнання для охолодження готових хлібобулочних виробів у промисловості. Об'єктом дослідження є процес вакуумного охолодження батона та його вплив на структурні й якісні характеристики скоринки.

Запропоновано альтернативний метод охолодження готових хлібобулочних виробів — вакуумне охолодження. Представлено результати досліджень цього процесу та виконано розрахунок кількості вологи, що виділяється з батона під час охолодження в умовах пониженого тиску.

Розраховано питому пропускну здатність скоринки батону та визначено її вплив на швидкість і ефективність процесу вакуумного охолодження. Вивчено взаємозв'язок між режимами охолодження та якістю готового продукту, а також обґрунтовано оптимальну швидкість створення розрідження у вакуумній камері для забезпечення високих технологічних та органолептичних характеристик батона.

Результати досліджень оформлено у вигляді розрахункових таблиць і графіків, що ілюструють динаміку процесу вакуумного охолодження. На основі отриманих даних спроектовано технологічне обладнання для безперервного охолодження батонів масою 0,5 кг.

Ключові слова: вакуумне охолодження, хлібобулочний виріб, газова проникність, скоринка, технологія охолодження.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> <i>Теличкун В.І.</i>	<i>Вид документа</i> <i>Пояснювальна записка</i>		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Ольховець Є.С.	<i>Назва, додаткова назва</i> АНОТАЦІЯ	240273.ДП.24.000.ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> <i>Гавва О.М.</i>		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/124

ANNOTATION

The work conducted a study of the influence of different intensities of vacuum cooling on the quality indicators of the loaf and assessed the role of the permeability of its crust. It was established how the vacuum cooling process affects the properties of the finished product and the ability of the crust to pass moisture.

The available equipment for cooling finished bakery products in the industry was analyzed. The object of the study is the process of vacuum cooling of the loaf and its effect on the structural and quality characteristics of the crust.

An alternative method of cooling finished bakery products is proposed - vacuum cooling. The results of research on this process are presented and the amount of moisture released from the loaf during cooling under reduced pressure is calculated.

The specific permeability of the loaf crust is calculated and its effect on the speed and efficiency of the vacuum cooling process is determined. The relationship between cooling modes and the quality of the finished product is studied, and the optimal speed of creating a vacuum in the vacuum chamber is justified to ensure high technological and organoleptic characteristics of the loaf.

The research results are presented in the form of calculation tables and graphs illustrating the dynamics of the vacuum cooling process. Based on the obtained data, technological equipment for continuous cooling of loaves weighing 0.5 kg was designed.

Keywords: vacuum cooling, bakery product, gas permeability, crust, cooling technology.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Теличкун В.І.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Ольховець Є.С.	<i>Назва, додаткова назва</i> АНОТАЦІЯ	24.0273.ДП.24.000.ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Гавва О.М.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/124

ЗМІСТ

Вступ.....	6
РОЗДІЛ 1 Аналіз сучасного рівня технічного оснащення обладнання для охолодження хліба.....	8
1.1 Сучасні методи охолодження хліба	8
1.2 Теоретичні засади процесу вакуумного охолодження.....	12
1.3 Аналіз обладнання, що застосовується для охолодження свіжоспечених виробів у хлібопекарській галузі..	19
1.4 Огляд патентних рішень реалізації процесу вакуумного охолодження хліба	27
1.5 Підсумки до розділу та напрями досліджень.....	32
РОЗДІЛ 2 Експериментальне обладнання та методики проведення досліджень	35
2.1 Об'єкт дослідження.....	35
2.2 Експериментальне устаткування.....	37
2.3 Методика виконання експериментальних досліджень.....	41
РОЗДІЛ 3 Експериментальне вивчення процесу вакуумного охолодження хліба	45
3.1 Вивчення впливу швидкості зміни рівня вакууму на якість готових виробів	45
3.2 Вивчення впливу стану скоринки виробу на вихід вологи під час вакуумного охолодження.....	50
3.3 Теоретичні засади для вибору раціонального режиму вакуумного охолодження батона.....	56
РОЗДІЛ 4 Реалізація результатів досліджень шляхом створення установки для вакуумного охолодження батона на виробничій лінії	65

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Теличкун В.І.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка	<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Ольховець Є.С.	<i>Назва, додаткова назва</i> Зміст	24.0273.ДП.24.000.ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Гавва О.М.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркулш</i> 1/124

4.1 Параметри роботи тунельної печі на виробничій лінії для випуску батонів	65
4.2 Структурна схема апарата, призначеного для вакуумного охолодження хліба в умовах безперервної лінії	68
4.3 Встановлення оптимального кута приймальної гірки установки вакуумного охолодження хліба на потоковій лінії	70
4.4 Визначення раціональної місткості вакуумної камери щодо кількості батонів	72
4.5 Розрахунок кінетичних параметрів роботи накопичувального конвеєра	81
4.6 Будова та функціонування апарата вакуумного охолодження хліба на прикладі батона в умовах безперервної лінії	84
4.7 Послідовність дій (циклограма) апарата для вакуумного охолодження батонів у поточкових умовах	86
4.8 Структурна схема роботи пневматичних приводів з електронною системою керування апарата вакуумного охолодження батонів у безперервному виробництві	90
РОЗДІЛ 5 Технології машинобудування	94
РОЗДІЛ 6 Охорона праці	98
РОЗДІЛ 7 Охорона навколишнього середовища	107
Висновки	113
Список використаної літератури	115

ВСТУП

В останні роки на підприємствах харчової промисловості зростає увага до оптимізації технологічних процесів, підвищення енергоефективності та зниження собівартості готової продукції. Значна увага приділяється також розширенню асортименту виробів, інтенсифікації виробничих процесів та скороченню часу, необхідного для охолодження готових продуктів. Особливо актуальним це питання є для хлібобулочної промисловості, де тривалість охолодження безпосередньо впливає на якість продукції, продуктивність виробничої лінії та економічні показники підприємства [1].

На сьогоднішній день холодильна галузь активно розвивається, особливо в напрямку досліджень процесів охолодження харчових продуктів. Охолодження готової продукції на підприємствах залишається одним із найтриваліших та найтрудомісткіших етапів виробництва. Це спричиняє низку проблем: значну потребу у ручній праці, великий обсяг виробничих площ для розміщення охолоджувальних камер та обмеження потоковості виробництва. У результаті такі фактори можуть негативно впливати на ефективність технологічного процесу та економічні показники підприємства [6].

На даний час у холодильній галузі найбільш детально досліджено конвективний спосіб охолодження готових харчових виробів. Проте потоки конденсованого повітря застосовуються не завжди через обмеження щодо температури охолоджуючого середовища: вона не повинна знижуватися до від'ємних значень, щоб уникнути заморожування продукту [14]. Крім того, малий температурний градієнт при конвективному охолодженні призводить до тривалого часу охолодження, нерівномірного розподілу вологи та усихання продукту, що негативно впливає на його якість та органолептичні властивості [18].

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Теличкун В.І.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Ольховець Є.С.	<i>Назва, додаткова назва</i> Вступ	24.0273.ДП.24.000.ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Гавва О.М.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/124

Одним із перспективних напрямів інтенсифікації технологічного процесу охолодження готових харчових продуктів є застосування вакуумного способу охолодження на виробництві. Цей метод ґрунтується на охолодженні вологих продуктів за умови достатньої вакуумної та паропроникної здатності [6]. Процес відбувається за рахунок адіабатичного кипіння вологи всередині заготовки внаслідок зниження тиску у вакуумній камері, причому глибина створеного розрідження визначає кінцеву температуру продукту [5].

Встановлено, що вакуумний спосіб охолодження позитивно впливає на органолептичні та фізико-хімічні властивості готових хлібобулочних виробів. Зокрема, спостерігається підвищення пористості та об'єму продукту, а також продовження терміну його зберігання. Це досягається завдяки мінімізації контакту з мікроорганізмами під час охолодження, що знижує ризик їхнього розмноження та забруднення продукції [6].

Метою проведених досліджень є визначення оптимального режиму вакуумного охолодження батона масою 0,5 кг, за якого готовий виріб досягне необхідної температури та відповідатиме показникам якості, зокрема вологості та структурно-механічним властивостям, що забезпечує його придатність для подальшої технологічної обробки. Окрім цього, досліджено вплив пропускної здатності скоринки на ефективність та інтенсивність процесу вакуумного охолодження, що дозволяє оцінити її роль у формуванні кінцевих властивостей продукту [8].

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО РІВНЯ ТЕХНІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОХОЛОДЖЕННЯ ХЛІБА.

1.1 Сучасні методи охолодження хліба.

Охолодження є одним із ключових етапів виробництва хлібобулочних виробів, який істотно впливає на якість готової продукції та її придатність до реалізації [3]. Процес охолодження проводять для запобігання утворенню конденсату в упаковці, надання виробу необхідних структурних властивостей для нарізання, а також для покращення транспортабельності [20]. Оскільки гарячі хлібобулочні вироби є чутливими до механічного впливу, рекомендована максимальна температура для проведення операцій нарізання та пакування не повинна перевищувати 30 °С [18].

На практиці застосовують три основні способи охолодження хлібобулочних виробів: природний (конвективний), охолодження конденсованим повітрям та вакуумний метод [9]. Кожен із них має свої переваги та обмеження щодо швидкості охолодження, рівномірності розподілу вологи та збереження органолептичних властивостей продукції.

Конвективне (природне) охолодження — найдавніший та найпростіший метод охолодження, що полягає у поступовому зниженні температури продуктів під впливом навколишнього середовища [19]. Він характеризується певними плюсами та мінусами.

Переваги природного (конвективного) способу охолодження:

- **Збереження смаку та аромату.** При повільному охолодженні волога рівномірно розподіляється в об'ємі виробу, що сприяє більш насиченому смаку та збереженню характерного аромату хлібобулочних виробів [15].
- **М'яка скоринка.** Поступове зниження температури дозволяє скоринці формуватися більш м'якою та еластичною, що покращує органолептичні властивості готового продукту [10].

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> <i>Теличкун В.І.</i>	<i>Вид документа</i> <i>Пояснювальна записка</i>		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Ольховець Є.С.	<i>Назва, додаткова назва</i> <i>Аналіз сучасного рівня</i> <i>технічного оснащення</i> <i>обладнання для</i> <i>охолодження хліба</i>	240273.ДП.24.001.ПЗ				
	<i>Документ затверджено</i> <i>Гавва О.М.</i>		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/124	

– **Енергетична ефективність.** Цей метод не потребує додаткових витрат енергії, на відміну від охолодження за допомогою спеціального обладнання, що робить його економічно вигідним [9].

– **Простота виконання.** Для реалізації природного охолодження не потрібне спеціалізоване обладнання, що спрощує його застосування на підприємствах різного масштабу.

Недоліки природного способу охолодження:

– **Тривалість процесу.** Охолодження за природних умов займає значний час, що може бути неприйнятним для підприємств з великим обсягом виробництва та потоковою організацією [7].

– **Ризик утворення конденсату.** При високій вологості повітря на поверхні виробів може накопичуватися конденсат, що створює сприятливі умови для розвитку плісняви та зниження якості продукції [9].

– **Нерівномірне охолодження.** Великі батони та буханці можуть охолоджуватися неодноразово, що призводить до неоднорідного розподілу вологи та температури в продукті, а отже, до зниження його якості [13].

– **Ризик бактеріальної та пилової контамінації.** Тривале перебування виробів на відкритому повітрі сприяє осіданню пилу та мікроорганізмів, що підвищує ймовірність псування та скорочує термін зберігання [9].

Охолодження хлібобулочних виробів за допомогою конденсованого повітря є одним із найпоширеніших методів охолодження готової продукції на хлібопекарських підприємствах [15]. Цей спосіб забезпечує ефективне та швидке охолодження великих обсягів виробів, створюючи оптимальні умови для рівномірного зниження температури продукції за відносно короткий час [9]. Завдяки використанню контрольованих потоків охолоджуваного повітря забезпечується більш стабільна температура та відносна вологість у камері, що дозволяє підтримувати якість виробів та зменшувати втрати через усихання та нерівномірне охолодження [12].

Процес охолодження хлібобулочних виробів конденсованим повітрям здійснюється у спеціально обладнаних камерах, де підтримуються задані рівні температури та вологості. Гарячі вироби розміщують на стелажах або конвеєрах, після чого через камери пропускають конденсоване повітря, яке відбирає тепло від продукції та поступово знижує її температуру [12, 18].

Основні параметри охолодження хлібобулочних виробів конденсованим повітрям [9]:

- **Температура повітря.** Зазвичай підтримується в межах 15–25 °С, що забезпечує ефективне та рівномірне охолодження виробів без ризику ушкодження їхньої структури [12].
- **Вологість повітря.** Значення відносної вологості регулюється залежно від типу хлібобулочного виробу і зазвичай коливається в межах 60–80 %. Підтримання оптимальної вологості дозволяє уникнути пересихання або надмірного зволоження поверхні виробів [10].

Переваги охолодження хлібобулочних виробів конденсованим повітрям [11]:

- **Швидкість процесу.** Використання конденсованого повітря дозволяє значно скоротити час охолодження великих обсягів продукції у порівнянні з природним (конвективним) охолодженням, що робить цей метод ефективним для потокових виробничих ліній [20].
- **Рівномірність охолодження.** Конденсоване повітря забезпечує більш однорідне зниження температури по всій поверхні виробу, що зменшує ризик утворення нерівномірно охолоджених зон і зберігає якість продукції [18].
- **Контрольовані умови.** Можливість точного регулювання температури та вологості робочого повітря дозволяє адаптувати процес для різних типів хлібобулочних виробів, оптимізуючи показники якості готового продукту [12].

- **Механізація процесу.** Охолодження може бути повністю автоматизованим, що знижує трудові витрати та підвищує продуктивність виробничої лінії [12].

Недоліки охолодження хлібобулочних виробів конденсованим повітрям [13]:

- **Енергозатратність.** Метод потребує значних витрат енергії на кондиціонування повітря, роботу вентиляційних систем та обслуговування обладнання [12].
- **Ризик пересушення виробів.** При неправильно підібраних параметрах температури та вологості можливо пересушування поверхні хлібобулочних виробів, що негативно впливає на їхню органолептичну якість [10].
- **Великі виробничі площі та металоємність.** Обладнання для охолодження конденсованим повітрям займає значну площу, що підвищує металоємність та капітальні витрати на впровадження технології [9].

Вакуумне охолодження є сучасним та перспективним методом, який дедалі частіше застосовується у хлібопекарській промисловості. Суть цього способу полягає у створенні зниженого тиску в камері, де розміщені хлібобулочні вироби. Внаслідок цього відбувається інтенсивне випаровування вологи з поверхні продуктів, що забезпечує значно швидше та ефективніше охолодження порівняно з традиційними методами [16].

Переваги вакуумного охолодження хлібобулочних виробів [4]:

- бактеріального зараження, що сприяє збільшенню терміну придатності хлібобулочних виробів [20].

Недоліки вакуумного охолодження хлібобулочних виробів [45]:

- **Підвищене усихання.** У порівнянні з іншими способами охолодження, вакуумний метод може спричиняти більший відсоток втрати вологи, що потребує додаткових заходів для збереження м'якості виробу [15].

– **Обмежена реалізація у потоковому виробництві.** На сьогодні вакуумне охолодження не завжди інтегрується у безперервні виробничі лінії, що обмежує його широке застосування.

Таким чином, вакуумне охолодження є перспективним методом, який дозволяє значно покращити якість хлібобулочних виробів, зберегти їхні органолептичні властивості та збільшити термін зберігання, незважаючи на певні технічні обмеження [4].

1.2 Теоретичні засади процесу вакуумного охолодження

На практиці застосовуються як природні, так і штучні методи охолодження. У холодильній промисловості часто використовують охолодження за рахунок випаровування рідини. До природних способів належить охолодження, що відбувається завдяки випаровуванню вологи, зокрема з використанням вакуум-охолоджувачів [28, 40]. Штучне охолодження здійснюється із застосуванням повітря в охолоджувальних камерах або розсолу в трубчастих охолоджувачах [32].

Під час вакуумного охолодження зниження температури продукту відбувається через інтенсивне випаровування вологи, яка переходить у пароподібний стан [30]. При стандартному атмосферному тиску (101,325 кПа) вода кипить за температури 100 °С, переходячи з рідкого стану в газоподібний, при цьому тепло поглинається на процес випаровування, не дозволяючи температурі рідини підвищитися вище цієї межі [8]. Зменшення тиску у вакуумній камері призводить до зниження температури кипіння води, що спричиняє адіабатичне кипіння вологи всередині продукту та забезпечує його ефективне охолодження [8]. Використання вакуумного способу дозволяє скоротити час охолодження, проте супроводжується одночасним збільшенням втрат вологи приблизно на 1,5–2 % [50].

Вакуумне випаровування застосовується у вакуум-випарних апаратах, які інтегруються у виробничі лінії для переробки фруктів та овочів, зокрема при виготовленні джемів, варення, дитячого харчування, концентрованих

соків, пюре та томатної пасти. Цей метод також використовується у молочній промисловості для виробництва сухого та згущеного молока, молочних сумішей, а також для уварювання різних мас у харчовій та інших галузях промисловості. Крім того, вакуумне випаровування знаходить застосування у фармацевтичній промисловості, де дозволяє ефективно концентрувати та обробляти рідкі та напіврідкі речовини без перегріву та втрати цінних компонентів [49].

Вакуум-випарні установки застосовуються для варіння, уварювання, випарювання, охолодження та концентрації різноманітних харчових продуктів. Використання вакуумного випаровування дозволяє підвищити харчову цінність продуктів, продовжити їх термін зберігання та забезпечити зручність транспортування за рахунок зменшення об'єму та водяного вмісту [39].

Вакуум-випарний апарат — це спеціалізоване обладнання, призначене для проведення процесів концентрації, осушення та охолодження розчинів нелетких речовин шляхом часткового видалення розчинника під час кипіння рідини за умов зниженого тиску [37]. Завдяки використанню розрідженого середовища, випарювання здійснюється при нижчих температурах, що дозволяє уникнути термічного руйнування речовин, схильних до розкладу. У фармацевтичній промисловості вакуум-випарні апарати застосовуються для концентрування розчинів, які киплять при високих температурах, що дозволяє економити енергію, скорочувати час технологічного процесу та обробляти термолабільні речовини без втрати їхніх властивостей [48].

Вакуумне охолодження широко застосовується для збереження свіжої зелені та овочів і користується популярністю у США, Європі та Китаї. Завдяки випаровуванню води при низькому тиску процес дозволяє ефективно знижувати температуру продукту з приблизно 28 °С до 2 °С, при цьому витрати енергії залишаються відносно невисокими. Охолодження здійснюється порційно, при цьому час обробки однієї партії продукції

складає від 15 до 30 хвилин. Типове вакуумне обладнання здатне одночасно обробляти кілька тонн продукту, який розміщується на піддонах або спеціальних візках, що забезпечує рівномірне охолодження та збереження якості [44].

Під час вакуумного охолодження продукти розміщують у спеціальній сталевій камері, де вакуумні насоси знижують тиск до приблизно 0,6 кПа. За таких умов вода у виробі закипає при тиску від 4 до 2,6 кПа, залежно від початкової температури продукту [41]. Це спричиняє інтенсивне випаровування вологи та забезпечує швидке зниження температури виробу. Наприкінці циклу охолодження тиск у камері стабілізується на рівні близько 0,6 кПа, при якому вода закипає вже за температури 0 °С, що дозволяє максимально ефективно охолодити продукт без його пошкодження [35].

Якщо продукт протягом достатнього часу перебуває під зниженим тиском, його температура може знизитися до 0 °С. Під час вакуумного охолодження втрати маси зазвичай складають від 2 до 4 % від початкової ваги, що залежить від початкової температури продукту та його теплоємності [47]. Для зменшення втрат вологи та обмеження зменшення маси рекомендується попереднє обприскування продукту водою перед початком процесу, що сприяє збереженню його фізичних і органолептичних властивостей.

Звичайний цикл вакуумного охолодження починається із завантаження рослинної або іншої продукції у вакуумну камеру, після чого камера герметично закривається [20]. Після герметизації активується вакуумний насос, який знижує тиск до рівня, необхідного для кипіння вологи всередині продукту. Початковий етап відкачування повітря зазвичай триває близько 5–10 хвилин, залежно від об'єму вакуумної камери та продуктивності насоса [35].

Загальна тривалість охолодження визначається формою продукту, його пористістю, розмірами пор, кількістю вільної вологи в них, а також рівнем

тиску у системі [27]. Момент, коли тиск у камері досягає початкового робочого рівня, вважається точкою спалаху процесу вакуумного охолодження [38]. До цього моменту насос відкачує лише повітря, і активного охолодження продукту не відбувається, тому зниження тиску до точки спалаху рекомендується виконувати максимально швидко [37].

Після досягнення точки спалаху волога починає інтенсивно випаровуватися, і утворена пара відводиться або безпосередньо через вакуумний насос, або конденсується у спеціальному конденсаторі, якщо він передбачений у системі для підтримки розрідження [25]. Цей процес забезпечує швидке та ефективне зниження температури продукту без його пошкодження.

Після досягнення точки спалаху тиск у вакуумній камері продовжує знижуватися, що спричиняє подовження процесу випаровування вологи з продукту. Охолодження триває до тих пір, поки температура виробу не досягне необхідного рівня для подальшого зберігання або обробки [15]. Після завершення циклу охолодження відкривається вентиляційний клапан, і камера поступово заповнюється повітрям до атмосферного тиску. Після цього охолоджена продукція вивантажується з камери та транспортується на зберігання або на наступні етапи технологічного процесу при необхідній температурі [19].

Вакуумне охолодження досліджується вже кілька десятиліть. Так, у 1950 році в США цей метод почали застосовувати для охолодження плодоовочевої сировини, що дозволило ефективно вирішити проблему її швидкого псування. У 1984 році А. Томсон з Великої Британії довів, що використання вакууму для охолодження грибів і свіжого салату сприяє продовженню терміну зберігання та зменшенню мікробного забруднення [40]. У 1983 році З. Шен (Італія) успішно застосував вакуумне охолодження для обробки печених і варених продуктів, а згодом цей метод почали використовувати й у виробництві ковбасних виробів для скорочення часу технологічного процесу [32].

У 1993 році Д. Еверінгтон (Ізраїль) встановив, що охолодження італійського пирога за допомогою вакууму можна здійснити всього за 4 хвилини, тоді як традиційне повітряне охолодження займає до 24 годин [32]. У 2001 році К. Мак-Доналд (Англія) підтвердив, що швидкість охолодження є ключовим фактором, оскільки вона прямо впливає на якість продукту та залежить від умов тепловідведення, форми, розмірів виробу та його теплофізичних властивостей [36].

На сьогодні тривають активні дослідження з використання вакуумного охолодження у хлібопекарській промисловості. Зокрема, компанія Revent International AB (Данія) активно впроваджує цю технологію, встановлюючи вакуумні охолоджувачі у кондитерських, міні-пекарнях, кафе та ресторанах, що дозволяє швидко та ефективно охолоджувати готову продукцію [29].

Модульоване вакуумне охолодження хлібобулочних виробів було розроблено понад 40 років тому у Великій Британії і спочатку використовувалося переважно для охолодження пирогів та великих хлібів [42]. Проте через складність контролю технологічного процесу та необхідність підбору індивідуальних параметрів охолодження для кожного виду продукції та рецептури ця технологія не набула широкого поширення у промисловості [41].

З фізичної точки зору вакуумне охолодження базується на прямому взаємозв'язку між тиском та температурою кипіння води і застосовується для охолодження продуктів, що містять вологу [19]. У герметичній камері створюється вакуум, який знижує температуру кипіння води, завдяки чому волога всередині продукту починає випаровуватися. При цьому відбувається адіабатне відведення тепла з продукту, що забезпечує його швидке та рівномірне охолодження від внутрішніх шарів до поверхні [13].

Під час вакуумного охолодження хлібобулочних виробів у вакуумній камері створюється низький тиск, що спричиняє зниження температури кипіння води. Цей процес називають адіабатним кипінням, під час якого

волога з виробу інтенсивно випаровується, забираючи тепло з його внутрішніх і зовнішніх шарів та забезпечуючи швидке охолодження [13]. Для точного проектування та оптимізації процесу проводиться розрахунок витрат пароповітряної суміші, що дозволяє визначити об'єм і масу пари та повітря у камері залежно від встановленого тиску та температури. Це дає змогу прогнозувати ефективність охолодження та втрати вологи під час процесу.

На графіку (рис. 1.1) продемонстровано залежність температури кипіння води від тиску. Він наочно ілюструє, що зі зниженням тиску температура, при якій вода переходить у пароподібний стан, суттєво зменшується. Ця залежність є ключовим принципом вакуумного охолодження, оскільки дозволяє ефективно охолоджувати продукти за рахунок адіабатного випаровування вологи при низьких температурах, не пошкоджуючи їхніх фізико-хімічних властивостей.

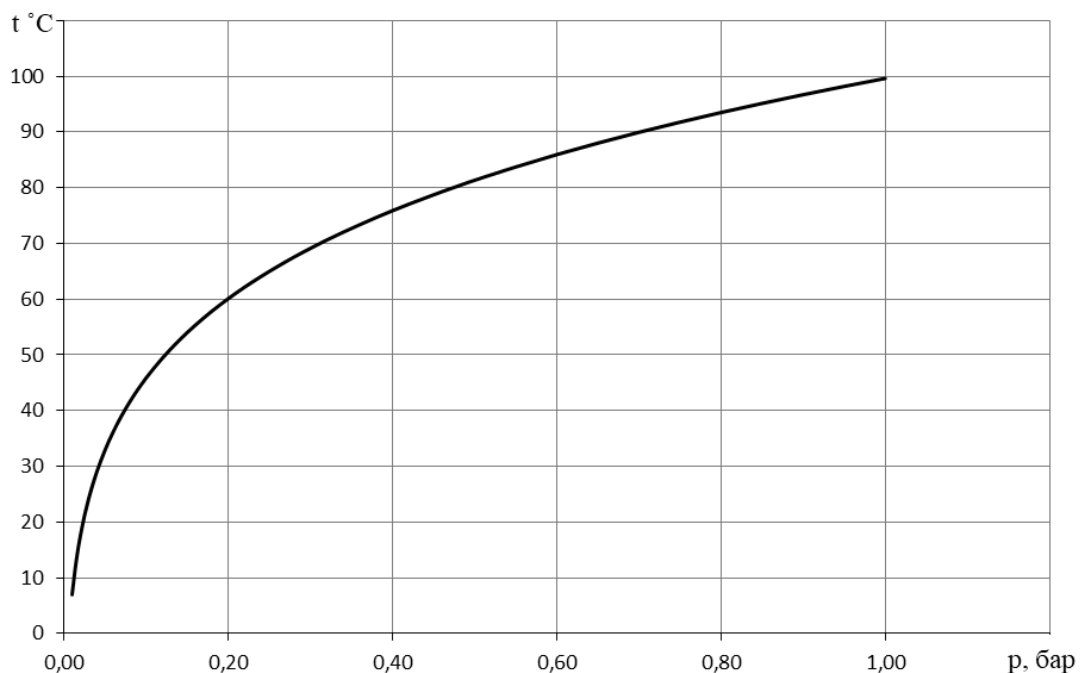


Рис. 1.1. Залежність температури кипіння води від тиску.

Оцінка кількості води, що випаровується з готової продукції, кг:

$$w = \frac{q}{r}$$

Кількість теплоти, що витрачається на фазовий перехід води в пару (адіабатне кипіння) під час охолодження заготовки з 100 до 30 °С, кДж/кг:

$$q = (c_{cp}g_{cp} + c_v g_{в.х.})(t_m - t_{хол.хліба}) + c_{cp}g_{ск}(t_{ск} - t_m)$$

де:

q – кількість теплоти, необхідна для охолодження одиниці маси хліба кДж/кг;

c_{cp} – теплоємність на одиницю маси сухої речовини хліба, кДж/(кг · °С).

g_{cp} – масова частка сухої речовини в хлібі (тісті), яка обчислюється за наведеною формулою:

$$g_{cp} = \frac{100 - W_x}{100}$$

W_x – вологість свіжовипеченого хліба;

c_v – питома теплоємність води, кДж/(кг · °С);

$g_{в.х.}$ – вологовміст хліба (тіста) на момент завантаження у піч,

$$g_{в.х.} = \frac{W_x}{100}$$

$g_{ск}$ – маса скоринки:

$$g_{ск} = \frac{g_{уп} \cdot g_{cp}}{g_{в.х}}$$

$g_{уп}$ – кількість вологи, що випаровується з хліба під час його випікання. кг;

t_m – температура м'якушки хліба, °С;

$t_{хол.хліба}$ – температура готового до споживання хліба, °С;

$t_{ск}$ – середня температура скоринки, яка визначається як арифметичне середнє температури різних шарів скоринки, °С:

$$t_{ск.} = \frac{t_{ск} + 100}{2}$$

\bar{r} – усереднена теплота фазового переходу, яка змінюється залежно від тиску (або температури):

$$\bar{r} = \frac{r_{100} + r_{30}}{2}$$

При 100⁰C r = 2257,2 кДж/кг

При 30⁰C r = 2430,2 кДж/кг

Розрахунок витрат пароповітряної суміші, тобто визначення маси пари, що випаровується, та об'єму, який вона займає залежно від тиску та температури, дозволяє детально аналізувати процес вакуумного охолодження хліба. Цей підхід дає змогу враховувати ключові параметри процесу, такі як швидкість охолодження, інтенсивність випаровування вологи та зміни внутрішньої структури виробу, що є необхідним для оптимізації технологічного режиму.

1.3 Аналіз обладнання, що застосовується для охолодження свіжоспечених виробів у хлібопекарській галузі

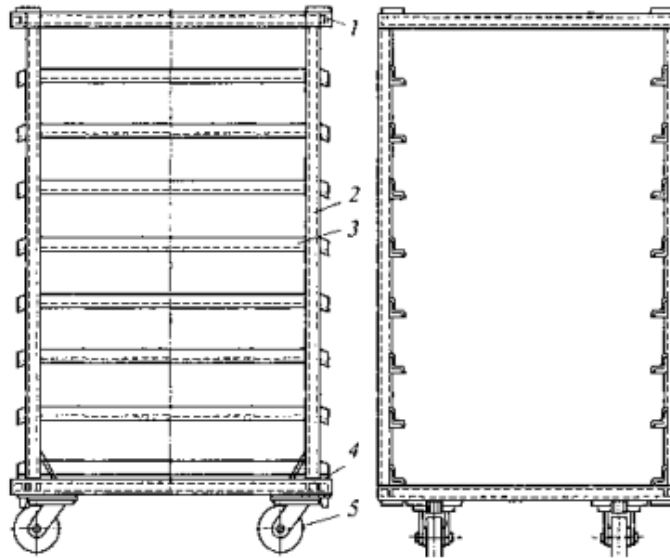
Охолодження конвективним (природним) способом

На багатьох хлібопекарських підприємствах досі застосовується природне (конвективне) охолодження хлібобулочних виробів, при якому теплообмін відбувається безпосередньо з навколишнім середовищем. Цей метод не потребує значних витрат енергії, що робить його економічно вигідним. Однак кінцева температура виробів та тривалість процесу залежать від умов зовнішнього середовища, зокрема температури та вологості повітря, що може впливати на однорідність охолодження та якість готового продукту [33].

Природне охолодження хлібобулочних виробів реалізується із застосуванням вагонеток та спіральних охолоджувачів.

Вагонетка (рис. 1.2) призначена для одночасного охолодження, зберігання та транспортування готових виробів, які розміщують на дерев'яних або пластикових лотках. Використання вагонеток дозволяє організувати

зручний рух продукції в цеху та підтримувати умови охолодження без додаткових енергозатрат [36].



**Рис. 1.1. Вагонетка для природного охолодження хлібобулочних виробів:
1 – верхня напрямна; 2 – вертикальні стійки; 3 – напрямні; 4 – нижня рама; 5 – колесо**

Недоліки природного (конвективного) охолодження хлібобулочних виробів за допомогою вагонеток [19]:

- тривалість процесу охолодження, що може коливатися від 2,5 до 6 годин;
- значне використання виробничої площі, оскільки вагонетки потребують простору для переміщення та розміщення;
- високий ризик бактеріального забруднення та раннє черствіння продукту через тривалий контакт із навколишнім середовищем;
- необхідність підтримувати оптимальні параметри температури та вологості у приміщенні, особливо в літній період;
- потреба у значних трудових витратах, оскільки часто залучається ручна праця для переміщення та розміщення виробів.

Для підвищення ефективності та механізації процесу охолодження хлібобулочних виробів на підприємствах широко застосовують спіральні

охолоджувачі (рис. 1.2) [25]. Вони дозволяють організувати безперервний рух продукції по спіралі, забезпечуючи рівномірне охолодження та економію виробничої площі порівняно з традиційними вагонетками.



Рис. 1.2. Спіральний охолоджувач для хлібобулочних виробів, що забезпечує безперервне та рівномірне охолодження продукції під час руху по спіралі.

Впровадження спіральних охолоджувачів у технологічну схему виробництва забезпечує рівномірне охолодження хлібобулочних виробів перед нарізанням та пакуванням. Це дозволяє знизити ризик порушень санітарно-гігієнічних норм, оптимізувати використання виробничих площ, механізувати заключні етапи виробничого процесу та підвищити загальний рівень організації виробництва [13]. Одним із ефективних рішень для автоматизації тривалого процесу охолодження є застосування спірального конвеєра (спірального охолоджувача). Завдяки спіральній геометрії розташування стрічки у просторі, вдається розмістити велику довжину транспортної стрічки в мінімальному об'ємі, що істотно економить виробничі площі [29]. Крім того, на стрічці спірального охолоджувача продукція

транспортується максимально делікатно, зберігаючи своє початкове положення відносно стрічки, що запобігає деформації виробів.

Охолодження конденціонованим повітрям

На хлібопекарських підприємствах для механізації та прискорення процесу охолодження хлібобулочних виробів дедалі частіше застосовують **охолодження за допомогою кондиціонованого повітря** [19]. Використання цього способу дозволяє значно скоротити тривалість процесу охолодження порівняно з традиційним конвективним методом.

Повітря подається за **рециркуляційною схемою**: гаряче повітря відбирається з верхньої зони охолоджувача, зволожується та охолоджується в кондиціонері, після чого повертається до камери охолодження. Повітря може проходити через зону з продуктом найнижчої температури або рухатися двома потоками — один до зони з гарячими виробами, інший — до зони з більш низькою температурою [30].

Застосування двопотокової подачі повітря підвищує ефективність охолодження та зменшує втрати вологи у виробі. Для хлібобулочних виробів оптимальними параметрами повітря є температура **15...25 °C** та відносна вологість **60...80 %** [31].

Охолодження конденціонованим повітрям здійснюється за допомогою **охолоджувальних конвеєрів, колискових та спіральних кулерів**, що забезпечує рівномірне охолодження продукції та збереження її органолептичних властивостей.

Застосування охолоджувальних конвеєрів із кулерами, які подають кондиціоноване повітря (рис. 1.3), у технологічній схемі виробництва хлібобулочних виробів забезпечує рівномірне та швидке охолодження продукції перед нарізанням та пакуванням. Це дозволяє знизити ризик порушення санітарно-гігієнічних норм, оптимально використовувати виробничі площі, механізувати завершальні етапи технологічного процесу та підвищити загальну культуру виробництва [28].



Рис. 1.3. Охолоджувальний конвеєр КОХ-2 для хлібобулочних виробів із застосуванням кондиціонованого повітря, що забезпечує рівномірне та ефективне охолодження продукції під час транспортування по конвеєру.

Колисковий кулер (рис. 1.4) марки КЛ-1 призначений для охолодження хлібобулочних виробів масою 0,5 кг протягом 55–60 хвилин у кількості до 2400 штук, що випікаються в тунельній печі. Крім того, кулер забезпечує подачу охолоджених виробів на нарізання та упаковку [9].

Пристрій працює за принципом вистійної шафи: гарячі вироби розташовуються у спеціальних колисках гребінчасто-гратчастого типу, що дозволяє забезпечити рівномірне охолодження продукції по всій її масі та поверхні.

Спиральний кулер (рис. 1.5) застосовується для швидкого охолодження хлібобулочних виробів, відзначається компактними розмірами та високою енергоефективністю [16].

Конструктивно спіральний кулер включає подвійний спіральний конвеєр, охолоджувальну камеру, холодильний агрегат та додаткові транспортери. Привід конвеєра обладнаний частотним перетворювачем, що дозволяє безступінчато регулювати швидкість руху стрічки, забезпечуючи високу точність контролю продуктивності та рівня охолодження [16].

Система допоміжних транспортерів може складатися з прямих, поворотних, підйомних або опускних конвеєрів. Кількість і конфігурація транспортерів визначаються плануванням цеху та організацією виробничих процесів, що дозволяє максимально ефективно інтегрувати кулер у технологічну лінію [16].

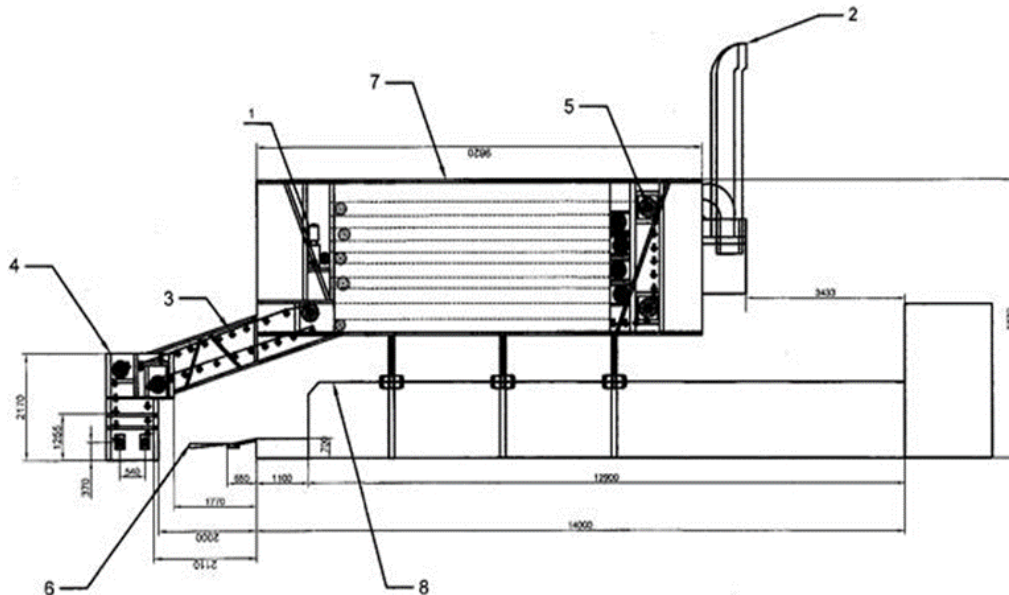


Рис. 1.4. Колисковий кулер КЛ-1 для охолодження хлібобулочних виробів із застосуванням кондиціонованого повітря, що забезпечує рівномірне охолодження продукції перед нарізанням та упаковкою.

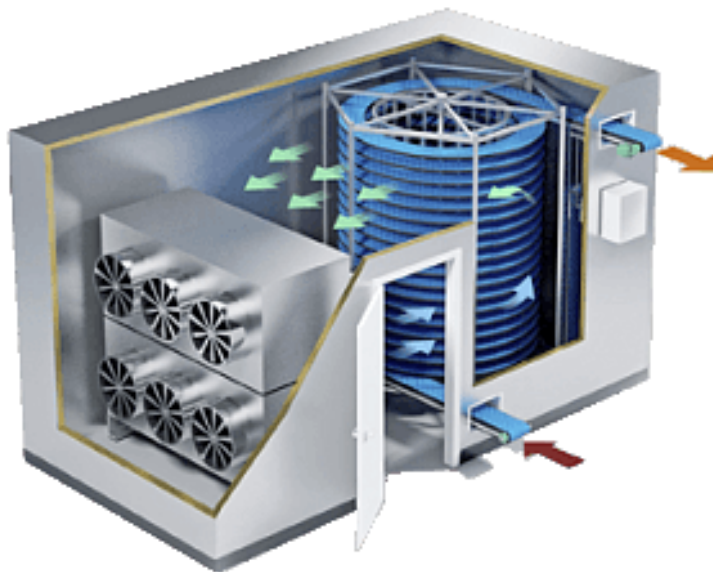


Рис. 1.5. Спіральний кулер для охолодження хлібобулочних виробів із застосуванням конденційованого повітря

В охолоджувальній камері відносна вологість повітря повинна підтримуватися на рівні приблизно 60–80 %. Для охолодження 1 кг хліба за годину витрачається близько 1 кг повітря при температурі 15–18 °С. Для зволоження повітря в кондиціонері на кожний кілограм повітря використовується від 0,9–1,4 до 1,8–2,7 кг води [27].

Охолодження вакуумним способом

В останні роки вакуумне охолодження хлібобулочних виробів набуло широкого застосування у харчовій промисловості. Цей метод базується на зниженні тиску у вакуумній камері, що призводить до зменшення температури кипіння води і, як наслідок, до ефективного охолодження продукту [29].

Вакуумне охолодження є інноваційним та високоефективним способом зниження температури харчових виробів. Процес відбувається через адіабатне кипіння вологи, що міститься у продукті, при якому тепло випаровування вологи забирається з продукту, забезпечуючи його швидке охолодження [42].

До основних вимог для виробів, що охолоджуються цим способом, належать достатня вологість, яка забезпечує інтенсивне випаровування, та пористість (газова проникність), що дозволяє парі вільно виходити з продукту, підвищуючи ефективність процесу [41].

Вакуумний охолоджувач хлібобулочних виробів — це спеціалізована установка, яка дозволяє швидко охолоджувати хліб, скорочуючи час процесу до 3–5 хвилин. Основними складовими апарату є герметична робоча вакуумна камера та вакуумний насос, який створює розрідження всередині камери. Це розрідження знижує температуру кипіння води в продукті, що призводить до інтенсивного випаровування вологи і, відповідно, до ефективного охолодження хліба за рахунок адіабатного кипіння [69].

У результаті протягом приблизно 3 хвилин температура виробу знижується з 98–100 °С до 30–35 °С. Під час цього процесу одночасно видаляються надлишки вільної вологи, що сприяє подовженню терміну зберігання продукції [79]. Хліб, охолоджений вакуумним способом,

характеризується рівномірною хрусткою скоринкою без тріщин, що часто з'являються при традиційному охолодженні, а також збільшеним об'ємом і пористістю. Після вакуумного охолодження готовий виріб можна відразу пакувати, нарізати, реалізовувати або споживати [18].

Якщо бажаєте, я можу зробити ще більш академічний варіант для включення у наукову роботу або дисертацію, із більшою увагою до технічних деталей і процесних параметрів.

Відомим прикладом сучасного обладнання для вакуумного охолодження хлібобулочних виробів є вакуум-охолоджувач Revent VC200W (рис. 1.6).



Рис. 1.6. Вакуумна камера для охолодження хлібобулочних виробів, модель Revent VC200W.

Вакуумний метод охолодження хлібобулочних виробів на сьогодні не застосовується в умовах потокового виробництва. Це створює потребу у проведенні наукових досліджень та розробці спеціалізованого обладнання для вакуумного охолодження хлібобулочних виробів із урахуванням особливостей безперервного технологічного процесу [46].

1.4 Огляд патентних рішень реалізації процесу вакуумного охолодження хліба

Аналіз існуючих патентних конструктивних рішень дає змогу виділити ключові структурні елементи обладнання для вакуумного охолодження хлібобулочних виробів у режимі потокового виробництва. Отримані висновки стануть основою для проектування раціональної конструкції власного апарата, що забезпечуватиме ефективне та стабільне охолодження продукції.

Апарат для вакуумного охолодження свіжовипеченого хліба (Патент на корисну модель №146333) складається з наступних елементів (рис. 1.7):

- **Вакуумні камери**, підключені до вакуумної системи, що забезпечує відведення пари та повітря і підтримання необхідного рівня вакууму.
- **Ротор**, на якому встановлені вакуумні камери та який обертається для забезпечення безперервного циклу охолодження.
- **Рухомі кришки** камер, що дозволяють завантаження та розвантаження продукції.
- **Пристрої для завантаження і розвантаження**, інтегровані в ротор, які забезпечують автоматизовану подачу і вивантаження хлібобулочних виробів із камер.

Ця конструкція дозволяє ефективно організувати процес вакуумного охолодження у потоковому режимі, забезпечуючи рівномірне охолодження та зручність експлуатації.

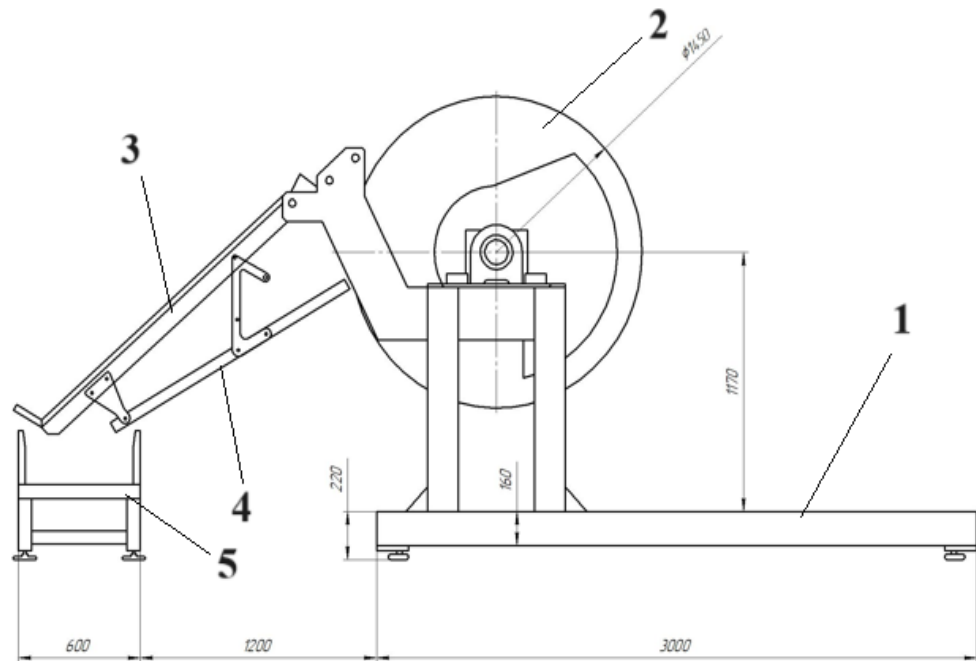


Рис. 1.7. Апарат для вакуумного охолодження свіжовипеченого хліба:

- 1 – рама; 2 – ротор з вакуумними камерами;**
3 – конвеєр для завантаження гарячих виробів; 4 – вивантажувальна гірка; 5 – конвеєр для охолодженої продукції

Переваги апарата для вакуумного охолодження хліба (Патент №146333):

- **Механізація процесу** – значно зменшує потребу у ручній праці та підвищує продуктивність.
- **Можливість одночасної обробки декількох порцій продукції** – підвищує ефективність охолодження великих обсягів виробів.

Недоліки:

- **Висока металоємність** – конструкція потребує значної кількості металу, що збільшує витрати на виробництво та обслуговування.
- **Складна система ущільнень** – ускладнює експлуатацію та обслуговування, потребує регулярного контролю герметичності для підтримки вакууму.

Апарат для вакуумного охолодження хлібобулочних та кондитерських борошняних виробів з рухомим столиком (Патент №156000)

Конструктивні елементи (рис. 1.8):

- **Вакуумна камера** – герметична камера для розміщення виробів під час охолодження.
- **Система створення розрідження** – забезпечує видалення пари і повітря та підтримку необхідного рівня вакууму.
- **Роз’ємна вакуумна камера** – складається з нерухомої кришки та рухомого столу, що спрощує завантаження та розвантаження продукції.
- **Напрямні** – використовуються для легкого переміщення виробів під час завантаження і вивантаження.

Ця конструкція дозволяє поєднувати ефективно вакуумне охолодження із зручністю обслуговування та оперативною обробкою продукції.

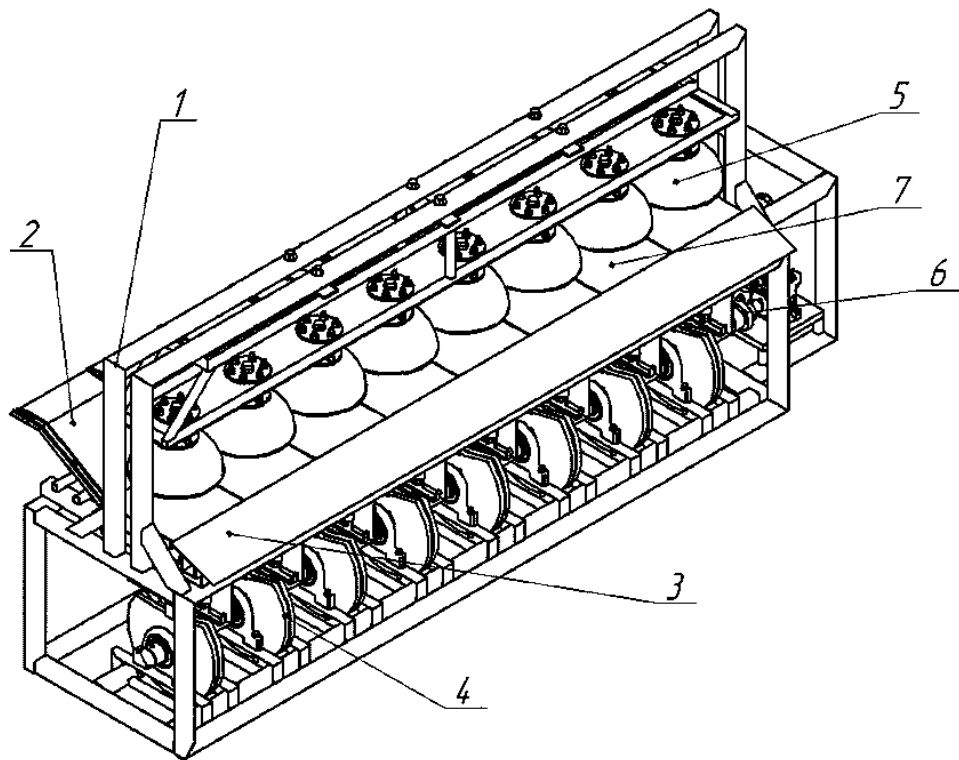


Рис. 1.8. Апарат для вакуумного охолодження хлібобулочних та кондитерських борошняних виробів з рухомим столиком:

- 1 – рама; 2 – приймальна похила з направляючими;
 3 – вивантажувальна похила; 4 – кулачковий механізм; 5 – вакуумні камери; 6 – електропривод; 7 – підйомні столики.

Переваги та недоліки апарата з рухомим столиком (Патент №156000):

Переваги:

- Механізація процесу охолодження, що знижує потребу в ручній праці.
- Компактність конструкції, що економить виробничу площу.
- Відсутність складних систем ущільнень, що спрощує експлуатацію та обслуговування.
- Простота конструкції, що полегшує монтаж та ремонт.

Недоліки:

- Жорсткі режимні параметри охолодження без можливості їх регулювання, що обмежує гнучкість виробництва.
- Обмеження щодо асортименту виробів, які можна ефективно охолоджувати у цьому апараті.

Апарат для вакуумного охолодження хлібобулочних та кондитерських виробів з завантажувальним пристроєм (Патент №156905) включає (рис. 1.9) вакуумні камери, підключені до системи створення розрідження для видалення пари та повітря, що забезпечує необхідний рівень вакууму. Камери роз'ємного типу оснащені рухомими кришками та столиком, який виконує функцію розвантажувального механізму. Конструкція апарата додатково передбачає завантажувальний пристрій для автоматизованої подачі продукції.

Переваги: забезпечує механізацію процесу, точне позиціонування виробів та зменшує потребу в ручній праці.

Недоліки: подібно до попередньої моделі, має обмежені можливості регулювання параметрів охолодження.

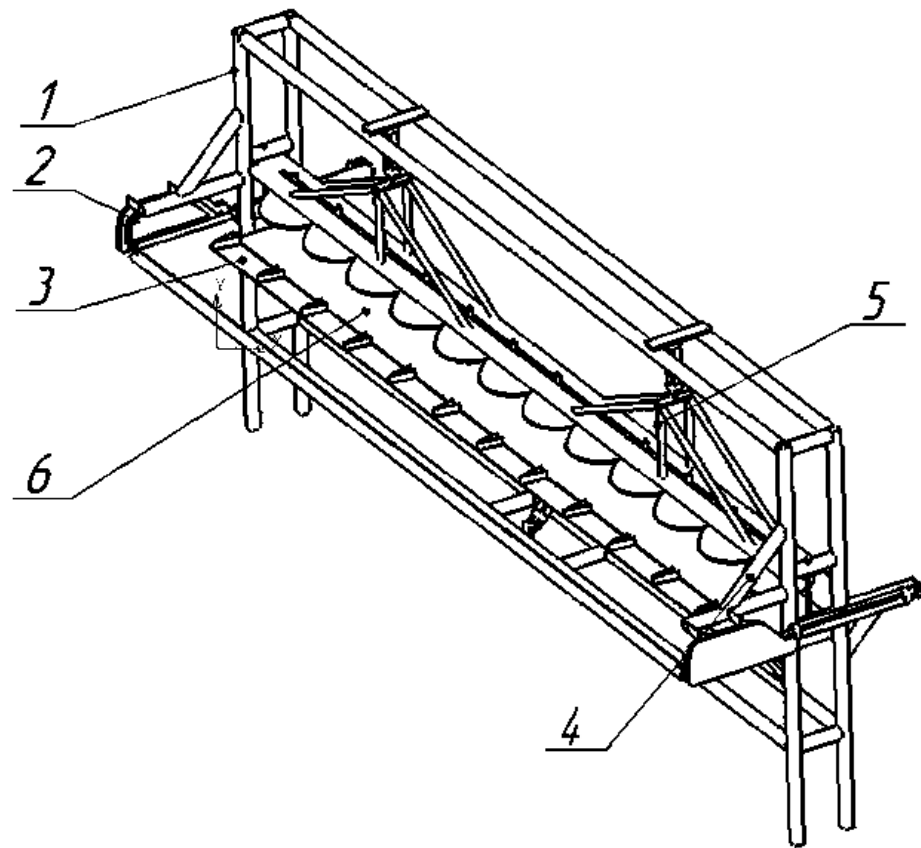


Рис. 1.9. Апарат для вакуумного охолодження хлібобулочних та кондитерських борошняних виробів з завантажувальним пристроєм:
1 – рама; 2 – захватний пристрій; 3 – напрямні; 4 – вакуумні камери; 5 – підємно-опускний механізм; 6 – вивантажувальний пристрій.

В таблиці 1.1 наведено структурне порівняння патентних рішень.

Огляд патентних рішень демонструє, що існуючі апарати для вакуумного охолодження хлібобулочних виробів різняться типом вакуумних камер, системами завантаження та розвантаження, а також рівнем механізації. Основні переваги сучасних конструкцій включають механізацію процесу, компактність та точне позиціонування виробів. Водночас усі розглянуті моделі мають певні обмеження: складність систем підведення вакууму, жорсткі режимні параметри охолодження та обмежену можливість коригування процесу, що зменшує асортимент продукції. Аналіз цих патентних рішень дозволяє виділити ключові структурні елементи та

функціональні вузли апаратів, що стане основою для розробки оптимальної конструкції власного апарата для вакуумного охолодження хліба в умовах потокового виробництва.

Таблиця 1.1

Структурна порівняльна таблиця патентних рішень

Критерій	Патент №146333	Патент №156000	Патент №156905
Тип вакуумної камери	На роторі, рухомі кришки	Роз'ємна: нерухома кришка, рухомий столик	Роз'ємна: рухома кришка, рухомий столик
Система завантаження	Приймальна гірка з напрямними → завантажувальний конвеєр → захватний пристрій	Приймальна гірка з напрямними	Автоматичний захватний пристрій
Система розвантаження	Розвантажувальний механізм на роторі → виванта-жувальна гірка	Столик виконує функцію розвантаження	Вивантажувальний пристрій
Рівень механізації	Високий, але складний в реалізації	Середній, обмежена адаптивність	Середній, обмежена адаптивність
Переваги	Багатокамерність, компактність	Компактність, простота, дешевизна	Компактність, точність позиціонування, дешевизна
Недоліки	Складність реалізації системи підведення вакууму	Жорсткі параметри охолодження, обмежений асортимент	Жорсткі параметри охолодження, обмежений асортимент

1.5 Підсумки до розділу та напрями досліджень

Традиційні методи охолодження харчових продуктів не завжди ефективні для проміжного охолодження, оскільки температура охолоджуваного середовища повинна залишатися позитивною, щоб уникнути заморожування продукту. Це створює проблеми на заключному етапі охолодження через

нерівномірний перепад температур, що призводить до значної усушки продукту та нерівномірного розподілу вологи у масі. Як наслідок, погіршуються умови зберігання та відбувається відхилення від стандартів якості з точки зору фізико-хімічних та органолептичних показників.

Вакуумне охолодження є ефективною альтернативою традиційним методам і базується на принципі використання вологого продукту як самостійного регульованого холодоносія. Єдина вимога до продукту – достатня пористість, яка дозволяє парам, що утворюються всередині капілярно-пористого тіла, відокремлюватися разом із видаляємим повітрям.

Під час вакуумного охолодження частина води з продукту видаляється, що скорочує час випікання. Відокремлення надлишкової вологи знижує енерговитрати, які зазвичай витрачаються на випікання, і дозволяє скоротити час випікання на 20–30 %, залежно від типу продукції. Водночас необхідно забезпечити повне завершення клейстеризації крохмалю, щоб м'якуш був повністю сформований.

Процес вакуумного охолодження також сприяє збільшенню терміну зберігання хліба. Завдяки зниженню вологості скоринки, вона швидко усухає під час вакуумування, утворюючи захисну оболонку, яка утримує вологу в м'якуші. Як результат, м'якуш залишається свіжим і соковитим, а скоринка набуває хрусткої текстури та приємного аромату. Такий підхід покращує якість та продовжує термін зберігання хліба без упаковки.

При традиційному охолодженні продукція перебуває в діапазоні температур, сприятливому для росту мікроорганізмів, протягом 60–90 хвилин, залежно від маси заготовок і температури оточуючого середовища. Якщо виробы залишаються на гарячих деках, процес охолодження сповільнюється через неефективну теплопередачу.

Впровадження вакуумного охолодження вимагає перегляду існуючих технологічних процесів, починаючи з етапу замішування тіста. Однією з ключових змін є обмеження вмісту води в тісті через обмежену здатність

машин переробляти м'яке та вологе тісто. Разом із скороченням часу випікання, це дозволяє підвищити продуктивність печі на 30–42 %, що позитивно впливає на економічні показники виробництва.

Після вакуумного охолодження хліб можна нарізати, заморозити та пакувати. Метод дозволяє ефективно використовувати виробничі площі, оскільки продукція зберігається у вакуумі і безпечно транспортується.

Водночас використання вакуумного охолодження потребує додаткових досліджень для визначення оптимальних параметрів процесу, оскільки інтенсивне зниження тиску створює градієнт між паром всередині продукту та навколишнім середовищем, що може пошкодити структуру виробу. Мета таких досліджень – встановити параметри охолодження, що забезпечать оптимальні характеристики хліба (вологість, температуру, структурно-механічні властивості) для подальшої обробки, підтримання високої якості та безпеки продукту.

Особливу увагу слід приділити вивченню газової проникності скоринки, щоб зрозуміти взаємодію газів із продуктом під час охолодження та зберігання. Це дозволить оптимізувати процес вакуумного охолодження і досягти найкращих результатів якості та збереження продукції.

РОЗДІЛ 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ОБЛАДНАННЯ ТА МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Об'єкт дослідження.

Продукція з пшеничного борошна виготовляється відповідно до вимог ДСТУ–П 4587:2006 «Батони, булки, булочки, калачі, плетеники».

Нижче наведено основні якісні характеристики готових виробів із пшеничного борошна.

Опис готового виробу

1 Продукт: Вироби з пшеничного борошна.

Основні характеристики продукту:

- **Вологість м'якушки:** 35–40 %, що забезпечує оптимальну м'якість та свіжість виробу.
- **Кислотність м'якушки:** близько 3,5 градусів, що впливає на смакові якості та зберігання.
- **Пористість м'якушки:** 68 %, яка визначає структуру та об'єм виробу, що важливо для текстури і приємного відчуття під час споживання.
- **Масова частка цукру та жиру:** відповідно до рецептури з допустимим відхиленням $\pm 1,0\%$ для цукру та $\pm 0,5\%$ для жиру, що забезпечує стабільність смакових властивостей та калорійності продукту.

Застосування: Вироби призначені для безпосереднього споживання протягом терміну придатності, зазначеного на упаковці, та можуть використовуватися в закладах громадського харчування або для роздрібного продажу.

Упаковка: Харчова поліетиленова плівка, що забезпечує захист від пилу, вологи та сторонніх запахів, зберігаючи свіжість продукту.

Умови зберігання: Рекомендується зберігати в сухому та прохолодному місці, уникаючи прямих сонячних променів та підвищеної вологості.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Теличкун В.І.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Ольховець Є.С.	<i>Назва, додаткова назва</i> Експериментальне обладнання та методики проведення досліджень	24.0273.ДП.24.002.ПЗ				
	<i>Документ затверджено</i> Гавва О.М.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/124	

Зона розповсюдження: Використовується як у закладах громадського харчування, так і в роздрібній торгівлі, що забезпечує широку доступність продукції для споживача.

Таблиця 2.2

Загальні органолептичні вимоги до продукту

Показник	Значення
Зовнішній вигляд	Відповідає формі, в якій проводили випікання, без бокових впливів. Дозволено форму у вигляді виробу або частини його, нарізаного скибками
Поверхня (скоринка)	Від світло-жовтого до коричневого, без підгорілості. Для упакованих виробів дозволено незначна зморшкуватість; для нарізаних виробів зі слідами розрізів.
Стан м'якушки	Пропечена, еластична, не волога на дотик, без слідів непромісу; для рогаликових виробів — шарувата на зламі; для виробів з ядрами насіння, висівками, зерновими та круп'яними продуктами тощо — з відповідними добавками
Смак	Властивий даному виду виробів, без стороннього присмаку

Інструкції з маркування: На упаковці повинні бути зазначені:

- найменування та адреса виробника;
- повна назва продукту;
- маса виробу;
- склад;
- харчова та енергетична цінність;
- термін придатності та кінцевий термін реалізації;

- умови зберігання.

Органолептичні показники: Служать ключовими критеріями оцінки якості хлібобулочних виробів. Вони включають:

- **Зовнішній вигляд:** рівномірна форма, відсутність дефектів;
- **Структура м'якушки при розрізанні:** однорідна, без великої кількості порожнин;
- **Консистенція:** пружна, еластична;
- **Колір:** відповідний сорту та рецептурі;
- **Аромат і смак:** приємний, характерний для свіжого хліба.

Вимоги до цих показників систематизовані у таблиці 2.2 для зручності контролю якості на виробництві та під час лабораторних досліджень.

2.2 Експериментальне устаткування.

Для проведення досліджень процесу вакуумного охолодження продукції хлібопекарських підприємств була розроблена та використана експериментальна установка з вакуумно-випарним пристроєм, яка зображена на рисунку 2.1. У ході експериментів нами визначався вплив рівня розрідження у вакуумній камері на динаміку зниження температури та тривалість охолодження свіжевипеченого батону масою 0,5 кг. Окрім того, проводилося дослідження залежності втрат маси батону від величини створеного вакууму. Додатково нами аналізувався вплив швидкості встановлення розрідження на зміни геометричних параметрів батону, що дозволило оцінити взаємозв'язок між режимами вакуумного охолодження та фізико-механічними характеристиками продукту.

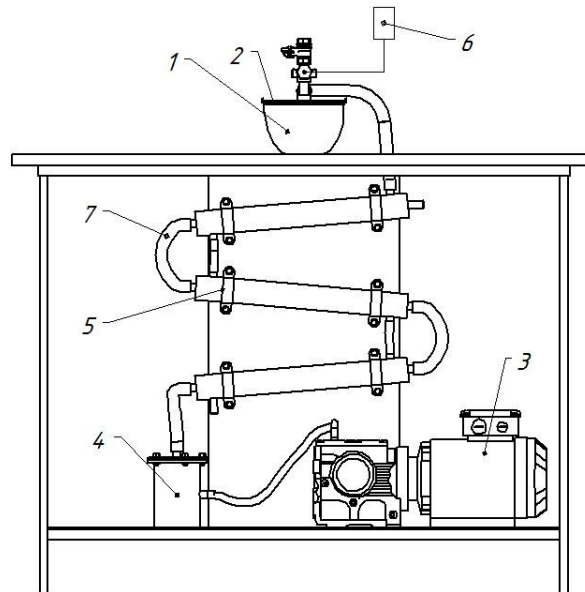


Рис. 2. 1 Вакуумна експериментальна установка: 1 – вакуум камера; 2 – кришка вакуум камери; 3 – вакуумний насос; 4 – конденсатозбірник; 5 – конденсатор; 6 – манометр; 7 – трубопровід.

Принцип роботи вакуумної експериментальної установки. Щойно випечений батон із температурою 98–100 °С, після вимірювання маси, температури в центрі та геометричних параметрів, поміщається у вакуумну камеру 1, яка герметично закривається кришкою 2. Після цього вмикається вакуумний насос 3, і за допомогою відеозйомки фіксуються зміни тиску та часу у вакуумній камері 1.

Пароповітряна суміш, що відкачується з камери, спрямовується до конденсатора 5, де холодна вода подається у протиток. У конденсаторі більша частина пари конденсується, а конденсат стікає до конденсатозбірника 4.

Після досягнення необхідного рівня розрідження вакуумний насос 3 вимикається, і через кран на кришці вакуумної камери 2 тиск у камері вирівнюється з атмосферним. Охолоджений батон виймається, після чого проводяться повторні вимірювання температури, маси та геометричних параметрів. Отримані дані використовуються для подальшого аналізу процесу вакуумного охолодження.

На основі експериментів на вакуумно-випарній установці (рис. 2.1, 2.2) були побудовані графіки, що відображають режим створення необхідного рівня розрідження для охолодження батонів до 30 °С, при якому забезпечуються потрібні показники вологості, температури та структурно-механічних властивостей для подальшої переробки. Крім того, побудовано графік зміни температури парового потоку на виході з вакуумної камери за допомогою тимчасово встановленої термопари.

Проте отримані дані потребують додаткового уточнення, оскільки необхідно дослідити вплив режимів вистоювання та випікання на властивості готового продукту. У цьому контексті проводилися експерименти з визначення газопроникності скоринки та внутрішніх шарів хліба.

Для вимірювання газопроникності хлібопродуктів була розроблена спеціальна експериментальна установка (рис. 2.2). Вона дозволяє визначати зміну витрати повітря, яку можуть пропускати скоринка та внутрішні шари батону за певний проміжок часу, а також оцінювати зміни опору, що створюють ці шари, залежно від часу.

Отримані дані щодо газопроникності є важливими для оцінки якості хлібопродуктів та прогнозування тривалості їхнього зберігання, а також для оптимізації процесу вакуумного охолодження.

Принцип роботи установки для визначення газової проникності скоринки та внутрішніх шарів хліба. З щойно випеченого або охолодженого до температури 30 °С батону вирізають сегмент скоринки або м'якушки діаметром близько 25 мм і товщиною близько 5 мм. Після зважування сегмент встановлюється у спеціальний затискач, і вмикається вакуумний насос.

За допомогою відеозйомки та відповідних приладів фіксуються зміни витрат повітря в часі на лічильнику витрат газу, а також зміни опору зразка в часі на диференційному цифровому манометрі. Після завершення

експерименту вакуумний насос вимикається, сегмент виймається з затискача і повторно зважується для контролю масових змін.

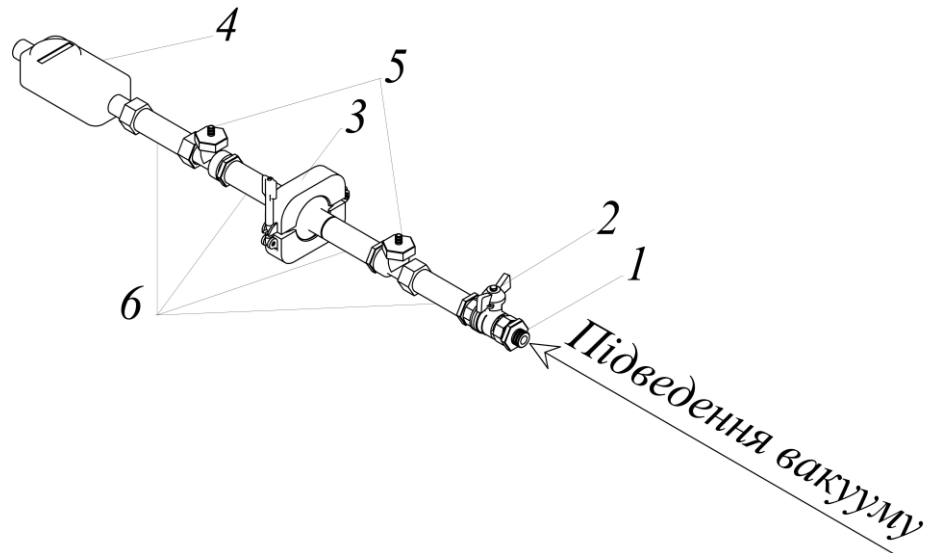


Рис. 2.2 Установка для визначення газової проникності скоринки та м'якушки батона: 1 – штуцер для приєднання вакуумного насосу; 2 – кран для регулювання швидкості створення вакууму; 3 – затискач; 4 – лічильник витрат газу; 5 – трійники з штуцерами для диференційного під'єднання манометра; 6 – трубопровід

Результати дослідження показують, що максимальні витрати повітря спостерігаються у центральному шарі м'якушки, тоді як мінімальні – у центральній частині поверхні скоринки. Встановлено, що центральна частина верхньої скоринки характеризується найвищим опором – 70–80 кПа, а центральна частина м'якушки має найнижчий опір – 10–12 кПа.

Для всіх зразків спостерігається поступове зростання витрат повітря до кінця процесу та одночасне зниження опору. Це явище, ймовірно, пов'язане зі зменшенням вологості зразка в процесі продування повітрям, що полегшує проходження газу через структуру скоринки та м'якушки.

2.3 Методика виконання експериментальних досліджень

Методика проведення досліджень на вакуум-випарній експериментальній установці.

Дослідження проводилися на вакуумній експериментальній установці, схема якої представлена на рисунку 2.1. Перед початком експериментів необхідно було перевірити правильність підключення всіх електронних приладів та герметичність з'єднань усіх патрубків, включаючи підведення холодної води до конденсатора та вакуумні патрубки від насоса до вакуумної камери.

Для перевірки працездатності установки виконувалися кілька пробних запусків у порожньому режимі. Це дозволяло впевнитися у досягненні необхідного рівня розрідження у вакуумній камері та виявити можливі підсоси. У разі їх виявлення проводилося усунення витоків і повторний запуск. На рисунку 2.3 наведено графік зміни тиску у вакуумній камері в процесі пробного запуску.

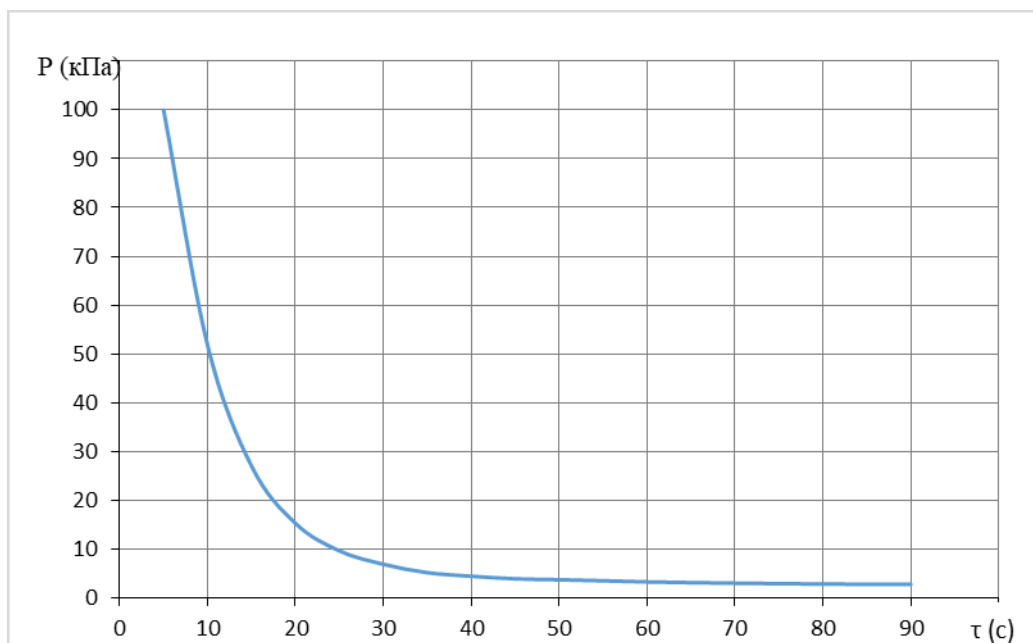


Рис 2.3. Графік зміни тиску в часі при пробному запуску вакуумної експериментальної установки в холостому режимі.

Після підтвердження коректності роботи системи можна було розпочати основні експерименти. Об'єктом дослідження був щойно випечений батон масою 0,5 кг із вологістю 44%, виготовлений із пшеничного борошна. Під час експерименту контролювалися наступні параметри:

1. Початкова та кінцева маса батону, виміряні електронними вагами.
2. Початкові та кінцеві геометричні параметри (довжина, ширина, висота) за допомогою штангенциркуля.
3. Початкова та кінцева температура батону, зафіксована мультиметром із термопарою.
4. Час проведення дослідів, зафіксований секундоміром.
5. Глибина розрідження у вакуумній камері, виміряна цифровим манометром.

Процедура проведення дослідження включала такі етапи:

1. Відбір щойно випеченого батону для дослідів.
2. Визначення початкової маси зразка за допомогою електронних ваг.
3. Замір геометричних параметрів батону (довжина, ширина, висота) штангенциркулем.
4. Прокол скоринки голкою для введення термопари.
5. Встановлення термопари у прокол та зчитування температури мультиметром.
6. Поміщення батону до вакуумної камери та закриття кришки.
7. Одночасний запуск секундоміра та вакуумного насоса, фіксація показників цифрового манометра та відеозйомка процесу.
8. Досягнення заданого рівня розрідження (4,3 кПа), вимкнення вакуумного насоса та вирівнювання тиску з атмосферним.
9. Виймання дослідного зразка з камери.

10. Вимірювання кінцевих значень температури, маси та геометричних параметрів батону.

Після завершення всіх експериментів отримані дані підлягали аналізу для визначення впливу вакуумного охолодження на фізико-хімічні та структурно-механічні властивості батону, а також для побудови графіків динаміки зміни температури, маси та геометричних параметрів під час процесу.

Методика проведення досліджень на установці для визначення газової проникності скоринки та внутрішніх шарів хліба.

Перед початком досліджень на установці для визначення газової проникності скоринки та внутрішніх шарів хліба необхідно впевнитися у правильності підключення всіх електронних пристроїв і патрубків. Обов'язково проводиться пробний запуск установки, який дозволяє перевірити коректність роботи приладів та виявити можливі підсоси повітря. У разі їх виявлення, підсоси усуваються, після чого повторюється перевірка. Лише після підтвердження правильності підключення та роботи всіх елементів установки можна розпочинати експериментальні дослідження.

Об'єктом дослідження був овальний подовий батон масою 0,5 кг і вологості 44%, виготовлений із пшеничного борошна. Під час експериментів контролювалися такі параметри:

1. Початкова та кінцева маса сегментів хліба, визначена за допомогою електронних ваг.
2. Час проведення досліду, зафіксований секундоміром.
3. Перепад тиску у системі, виміряний диференціальним цифровим манометром.
4. Зміна витрат газу у часі, зафіксована газовим лічильником.

Процедура дослідження включала такі етапи:

1. Відбір щойно випеченого батону.

2. Вирізання сегмента скоринки або внутрішніх шарів хліба діаметром приблизно 25 мм та товщиною близько 5 мм.

3. Встановлення сегмента у затискач максимально щільно для запобігання витокам повітря.

4. Вимірювання геометричних параметрів сегмента штангенциркулем.

5. Зважування сегмента на електронних вагах.

6. Затиск сегмента в установці та одночасне включення вакуумного насоса, фіксація показників секундоміра та манометра за допомогою відеозйомки.

7. Після завершення дослідження вакуумний насос вимикався, а сегмент акуратно виймався з затискача.

8. Повторне зважування сегмента для визначення змін маси після проходження газопроникності.

Отримані дані були оброблені та проаналізовані для оцінки газопроникності скоринки та внутрішніх шарів хліба, що є важливим показником для оптимізації процесу вакуумного охолодження та покращення якості продукції.

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСУ ВАКУУМНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ ХЛІБА.

3.1 Вивчення впливу швидкості зміни рівня вакууму на якість готових виробів.

Для визначення оптимальних режимних параметрів охолодження хлібобулочних виробів необхідно провести додаткові експериментальні дослідження. З цією метою була розроблена схема та конструкція спеціальної експериментальної установки, яка дозволяє досліджувати ключові параметри процесу вакуумно-випарного охолодження. Використання такої установки дає змогу детально вивчити вплив рівня розрідження, температури, часу охолодження та швидкості відкачування пари на фізико-хімічні та структурно-механічні властивості виробів, включаючи втрату маси, зміну геометричних розмірів та вологості батону.

Отримані дані дозволяють обґрунтувати оптимальні режими роботи вакуумного охолоджувача, що забезпечують високу якість хлібобулочних виробів і скорочують час технологічного циклу, підвищуючи ефективність виробництва.

Дослідження проводилися на вакуумно-випарній експериментальній установці. Для визначення втрат вологи дослідних зразків використовувалися електронні ваги, що забезпечували точне вимірювання початкової та кінцевої маси батону. Початкову та кінцеву температуру зразків фіксували за допомогою мультиметра з термопарою, що дозволяло відстежувати динаміку охолодження в реальному часі та оцінювати ефективність процесу вакуумного охолодження.

Під час проведення досліджень процесу вакуумного охолодження хліба здійснювався контроль за наступними параметрами:

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> <i>Теличкун В.І.</i>	<i>Вид документа</i> <i>Пояснювальна записка</i>		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Ольховець Є.С.	<i>Назва, додаткова назва</i> Експериментальне вивчення процесу вакуумного охолодження хліба	240273.ДП.24.003.ПЗ				
	<i>Документ затверджено</i> <i>Гавва О.М.</i>		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/124	

1. **Початкова та кінцева маса хліба** – вимірювалася в грамах за допомогою електронних ваг для визначення втрат вологи під час охолодження.

2. **Початкова та кінцева температура** – фіксувалася в градусах Цельсія з використанням мультиметра з термопарою для оцінки динаміки охолодження продукту.

3. **Час проведення дослідю** – відображався у секундах і контролювався секундоміром для встановлення тривалості процесу.

4. **Глибина розрідження у вакуумній камері** – вимірювалася в кілопаскалях за допомогою цифрового манометра для визначення впливу тиску на інтенсивність охолодження та випаровування вологи.

Охолодження хліба є ключовим етапом технологічного процесу, оскільки від цього етапу значною мірою залежать структурно-механічні та фізичні властивості виробів, необхідні для подальших операцій, таких як різання та пакування. Рекомендована температура хліба для проведення цих операцій становить близько 30 °С.

Дослідження впливу кінцевого тиску у вакуум-випарному апараті на втрату вологи хлібних виробів показали, що створення розрідження у вакуумній камері до -97 кПа призводить до зниження вологості виробів на 5–6%, що відповідає вимогам рецептури — $24,0 \pm 1\%$. Для досягнення аналогічного результату за традиційного конвективного охолодження необхідно витратити 2,5–3 години, що підкреслює високу ефективність вакуумного способу.

Досягнення розрідження у вакуумній камері більшого ніж -97 кПа є недоцільним, оскільки це може спричинити переохолодження виробів та надмірну втрату вологи, що негативно впливає на якість продукту. Дані графіка зміни температури парового потоку на виході з вакуумної камери в процесі вакуум-випарного охолодження підтверджують ці спостереження.

Таким чином, оптимальним режимом вакуум-випарного охолодження хлібобулочних виробів є створення розрідження до -97 кПа. Такий режим забезпечує досягнення необхідної вологості та температури готового продукту, відповідає вимогам рецептури та дозволяє реалізувати ефективну технологію охолодження, що підтримує високу якість виробів.

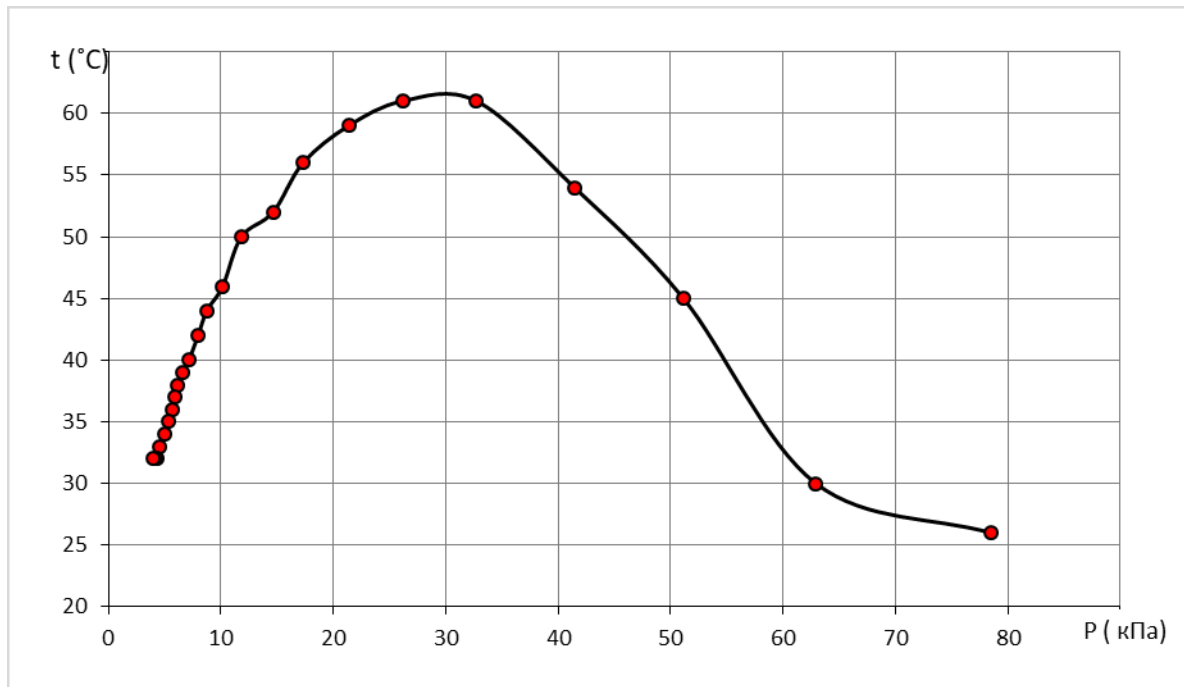


Рис. 3.1 Графік зміни температури потоку пари на виході з вакуумної камери

Лінія демонструє максимум на початку процесу вакуумування через наявність холодного повітря у вакуумній камері.

Під час досліджень впливу режимних параметрів вакуумного охолодження на батон масою 0,5 кг було встановлено, що сформована під час випікання скоринка чинить значний опір дифузії водяної пари з середини виробу. Це обмежує інтенсивність охолодження, оскільки пропускна здатність скоринки та механічна міцність структури хліба визначають швидкість виходу пари.

У разі різкого або значного зниження тиску в вакуумній камері, коли внутрішній тиск заготовки перевищує тиск зовнішнього середовища, виникає

напруження всередині батону. Це може призвести до деформації або навіть руйнування виробу. Як видно на прикладі зразків №2 і №3 (рис. 3.3), надмірно інтенсивне зниження тиску створює великий градієнт тиску між парою всередині заготовки та вакуумним середовищем, що викликає відрив м'якушки від нижньої скоринки та порушення цілісності батону.



Рис 3.2 Руйнування подового хліба (розтріскування скоринки)



Рис 3.3 Руйнування подового хліба (відрив м'якушки зразки №2 і №3)

В ході науково-дослідної роботи було визначено оптимальний режим вакуумного охолодження овального подового хліба з пшеничного борошна, при якому температура виробу знижується до 30 °С. Динаміка цього процесу

представлена на графіку (рис. 3.4, крива №1), що дозволяє візуально оцінити зміну температури батону в часі під час вакуумного охолодження.

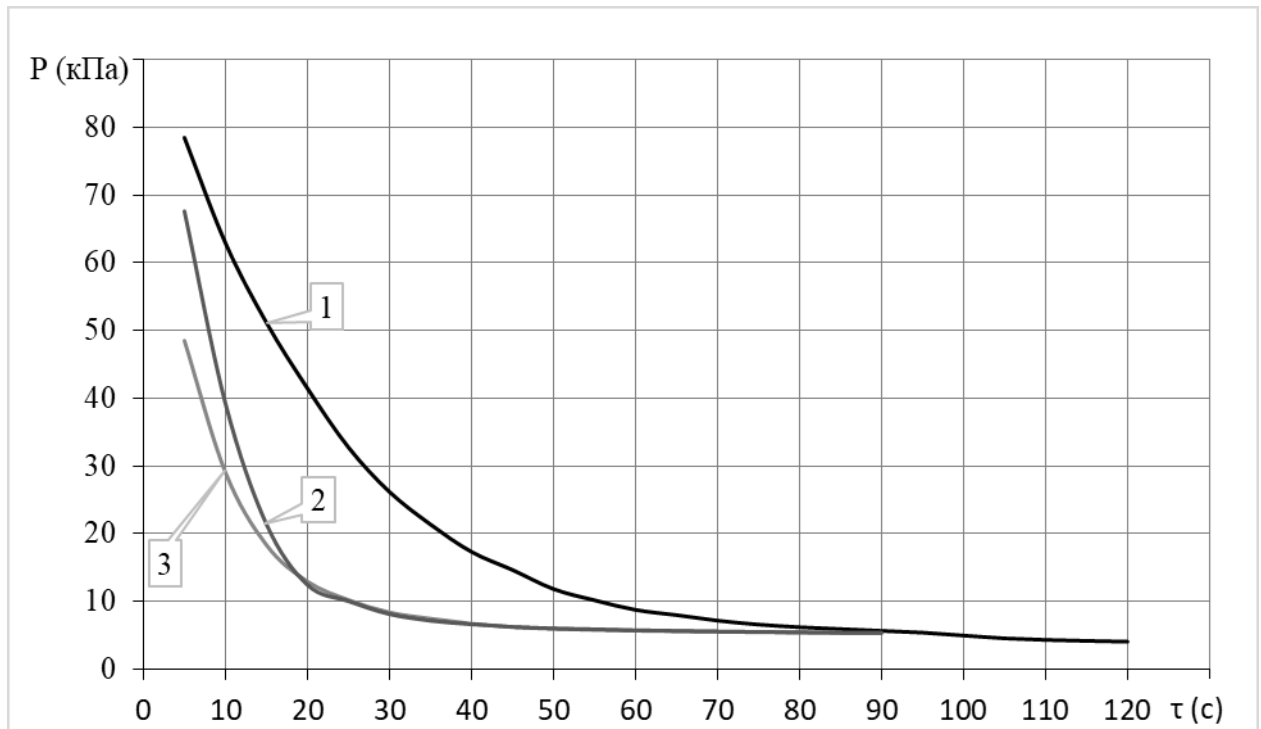


Рис 3.4 Криві створення розрідження у вакуум камері

Криві №2 і №3 на рисунку 3.4 відповідають дослідним зразкам №2 і №3 (рис. 3.3), де режими створення розрідження були занадто інтенсивними, що призвело до відриву м'якушки від скоринки та порушення цілісності виробу, що не відповідає вимогам якості.

Натомість режим, представлений кривою №1 (рис. 3.4), забезпечує безпечне вакуум-випарне охолодження хліба масою 0,5 кг: час охолодження становить 2 хвилини, а максимальна швидкість створення розрідження не перевищує 4,5 кПа/с.

Запропонований режим дозволяє охолодити овальний подовий хліб від температури 98 °С до 30 °С за 120 секунд, замість 1,5–2 годин природного охолодження, при цьому зберігається цілісність та структура виробу. Використання цього режиму забезпечує всі переваги вакуум-випарного охолодження, включно зі скороченням часу технологічного процесу та

покращенням якісних показників готових хлібобулочних виробів, що особливо важливо для масового виробництва.

3.2 Вивчення впливу стану скоринки виробу на вихід вологи під час вакуумного охолодження

Для уточнення оптимального режиму вакуумного охолодження хліба виникла потреба у вивченні властивостей скоринки та внутрішніх шарів батону. З цією метою була розроблена схема та конструкція експериментальної установки (див. рис. 2.2), яка дозволяє досліджувати основні параметри газової проникності скоринки та м'якшки хліба.

Під час експериментів контролювалися такі параметри:

- початкова та кінцева маса дослідних сегментів (г);
- тривалість проведення дослідів (с);
- зміна перепаду тиску у часі (кПа);
- зміна витрати газу у часі (м³).

Охолодження хліба є важливим етапом технологічного процесу, оскільки воно забезпечує необхідні структурно-механічні та фізичні характеристики виробу, які впливають на подальші операції, такі як нарізання та пакування. Для цих процесів рекомендована температура хліба становить близько 30 °С.

При вакуум-випарному охолодженні тепло відводиться через випаровування води з продукту, тому мінімальна температура охолодження без шкоди для структури батону залежить від кількості вільної вологи в ньому. Оскільки надмірно швидке зниження тиску може призвести до деформації або руйнування виробу, проведення досліджень газової проникності скоринки та внутрішніх шарів хліба є необхідним для визначення безпечних та ефективних режимів вакуумного охолодження.

Зразки для досліджень були підготовлені з випеченого хліба, охолодженого протягом різного часу. Для оцінки опору різних ділянок

поверхні заготовки була складена «карта поверхні» (див. рис. 3.5), яка слугувала основою для відбору сегментів хліба для проведення експериментів.

Результати вимірювання змін об'єму повітря, що проходить через сегменти, відібрані зі скоринки та внутрішніх шарів хлібобулочних виробів, показали, що найбільші витрати повітря спостерігаються у центральному шарі м'якушки, тоді як найменші — у центральній частині поверхні скоринки (див. рис. 3.6). Це свідчить про те, що скоринка є основним обмежуючим фактором для дифузії газів і випаровування вологи під час охолодження.



Рис. 3.5 (1 - 6 покрокова підготовка сегментів) Вибрані сегменти для дослідження

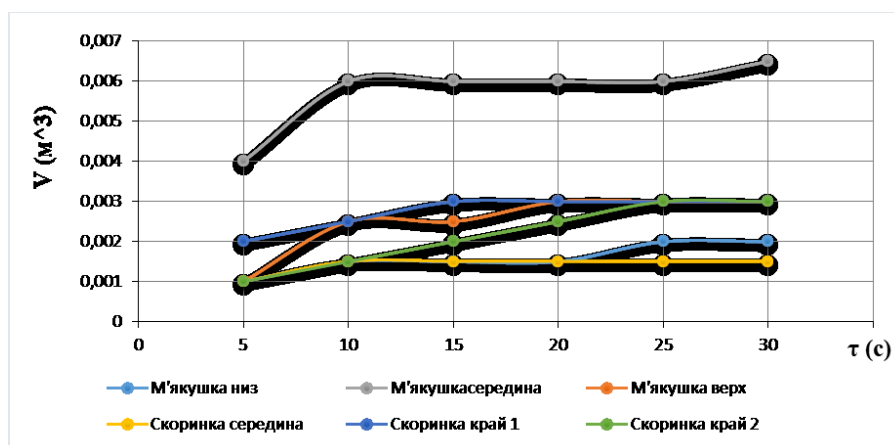


Рис 3.6 Зміни втрат повітря в часі для сегментів, взятих із скоринки та внутрішніх шарів хлібобулочних виробів(уточнити звідки)

Було встановлено, що центральна частина верхньої скоринки демонструє найвищий опір повітря, який коливається в межах 70–80 кПа, тоді як мінімальний опір, від 10 до 12 кПа, характерний для центральної частини м'якушки (див. рис. 3.7). Ці дані підтверджують, що скоринка є основним бар'єром для дифузії газів і обмежує інтенсивність випаровування вологи з внутрішніх шарів хліба під час процесу вакуумного охолодження.

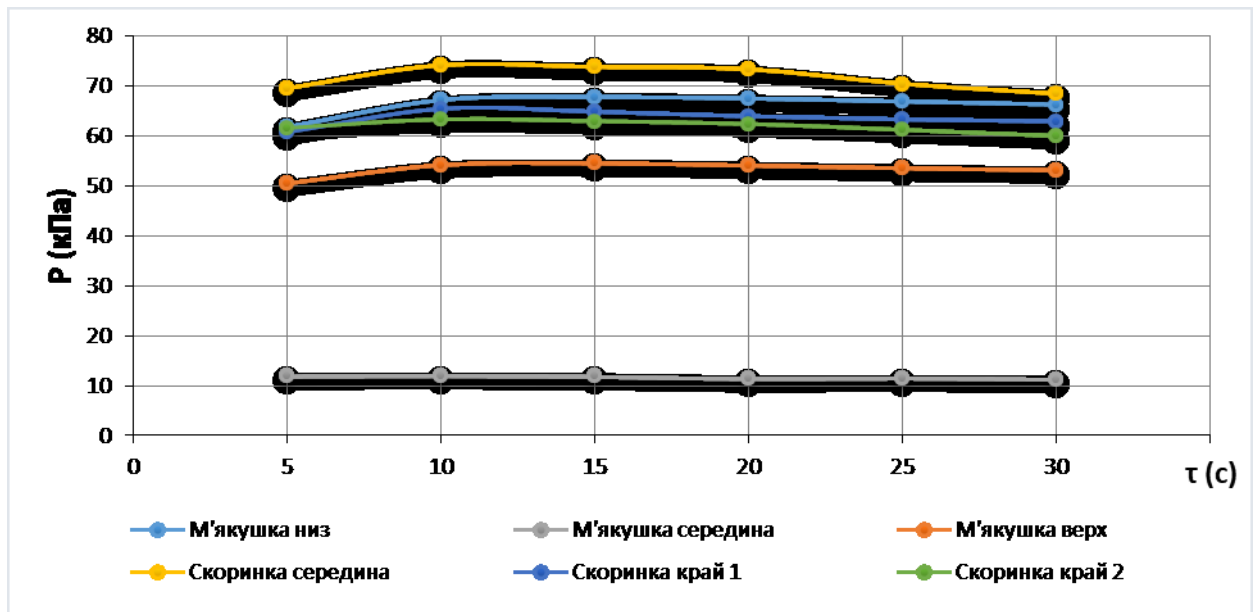


Рис 3.7 Зміна опору з часом для сегментів, взятих з кори та внутрішніх шарів хлібобулочних виробів.

У всіх досліджених зразках спостерігалось поступове збільшення витрат повітря протягом часу проведення дослідження, а також одночасне зниження опору матеріалу. На нашу думку, ці зміни пов'язані зі зменшенням вологості зразка під час процесу продування.

Було визначено кількість випареної вологи з досліджених сегментів хліба, результати наведено у таблиці 3.1. Найбільші втрати вологи зафіксовані у центральних шарах м'якушки — близько 20%, тоді як сегменти, взяті зі скоринки, демонструють значно менші втрати, становлячи 3–5%. Ці дані підтверджують, що внутрішні шари хліба є основним джерелом випаровування вологи під час вакуумного охолодження, тоді як скоринка,

завдяки високому опору, обмежує втрату вологи і відіграє захисну роль для підтримання якості виробу.

Таблиця 3.1

Назва сегменту	Маса сегменту до проведення дослідів (г)	Маса сегменту після проведення дослідів (г)	Втрата маси (г)	Втрата маси %
М'якушка низ	1,58	1,26	0,32	20,3
М'якушка середина	1,92	1,62	0,3	15,6
М'якушка верх	1,14	0,98	0,16	14,03
Скоринка середина	2,54	2,39	0,15	5,9
Скоринка край 1	2,49	2,41	0,08	3,2
Скоринка край 2	2,56	2,43	0,13	5,07

Отримані значення опору скоринки хліба під час проходження газу були виміряні на різних зонах поверхні заготовки та використані для створення "карт" опору скоринки хлібних заготовок (Рис. 3.8). Перша карта відображає значення опору після випікання, тоді як друга карта відображає опір після повного охолодження заготовки природнім шляхом.

Отримані значення опору скоринки хліба під час проходження газу були визначені для різних зон поверхні заготовки. На їх основі були створені «карти опору» скоринки хлібних заготовок (рис. 3.8). Перша карта демонструє розподіл опору скоринки одразу після випікання, тоді як друга карта відображає зміни опору після повного охолодження заготовки природнім шляхом. Аналіз цих карт дозволяє виявити області зі значним опором, які обмежують дифузію водяної пари, та ділянки з низьким опором, через які відбувається інтенсивне випаровування вологи. Ці дані є ключовими для оптимізації режимів вакуумного охолодження, оскільки дозволяють враховувати неоднорідність скоринки при встановленні безпечного градієнта тиску і запобіганні деформації хлібних виробів.

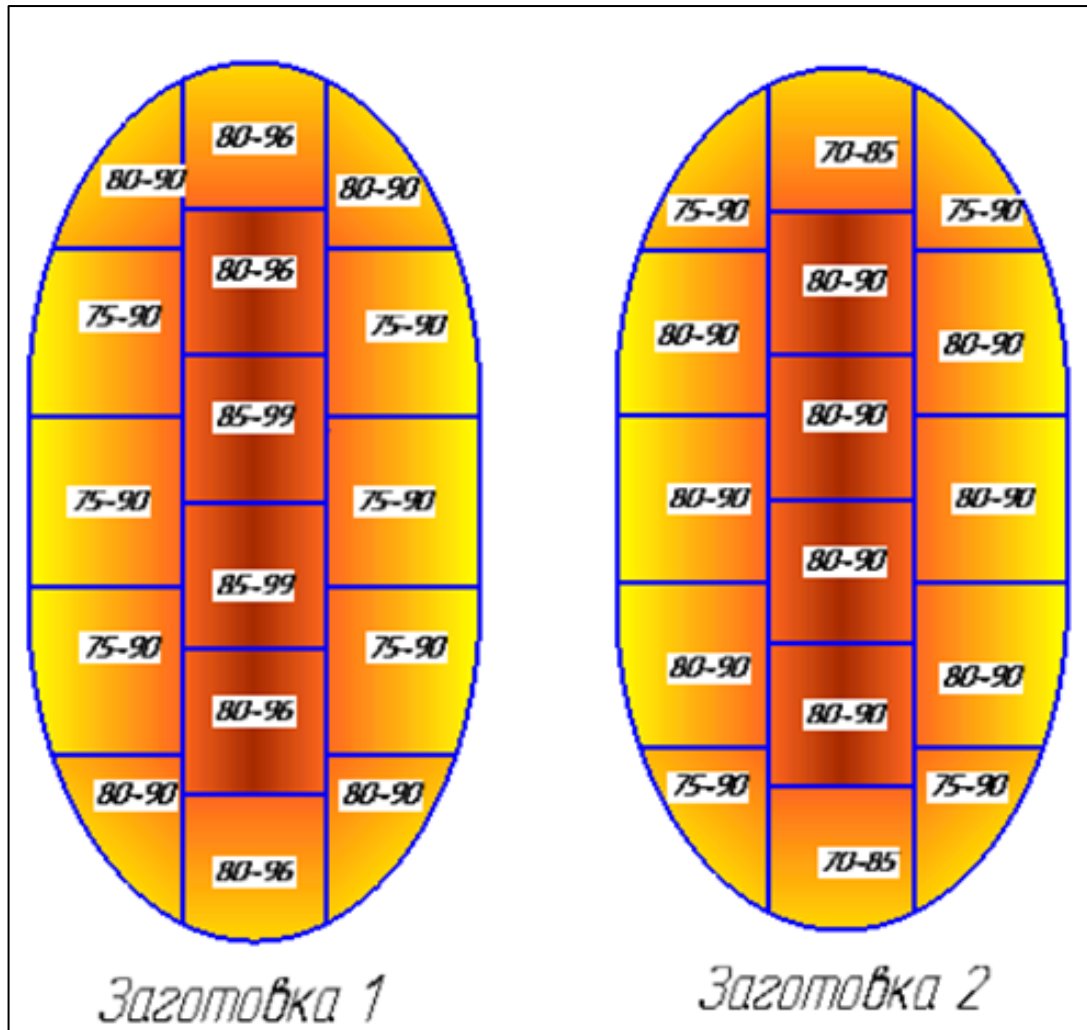


Рис 3.8 Карти опору скоринки заготовок, кПа

Аналіз отриманих «карт опору» показав, що центральна частина скоринки характеризується більшим опором (на 10–15 кПа) у порівнянні з сегментами, розташованими ближче до бічної поверхні заготовки. Додатково було встановлено, що скоринка охолодженої заготовки має вищий опір (на 15–20 кПа) порівняно з неохолодженою, що свідчить про вплив процесу охолодження на структурну щільність скоринки. Візуально простежується залежність між кольором скоринки та її опором: чим темніше та більш засмажене покриття, тим вищий його опір.

На основі цих даних також була створена «карта опору» внутрішніх шарів заготовки в поперечному розрізі (рис. 3.9), що дозволяє оцінити диференціацію опору від скоринки до центральної частини м'якушки. Такі

карти є важливим інструментом для оптимізації режимів вакуумного охолодження, оскільки враховують неоднорідність структури хлібної заготовки та допомагають уникнути деформації чи надмірної втрати вологи.

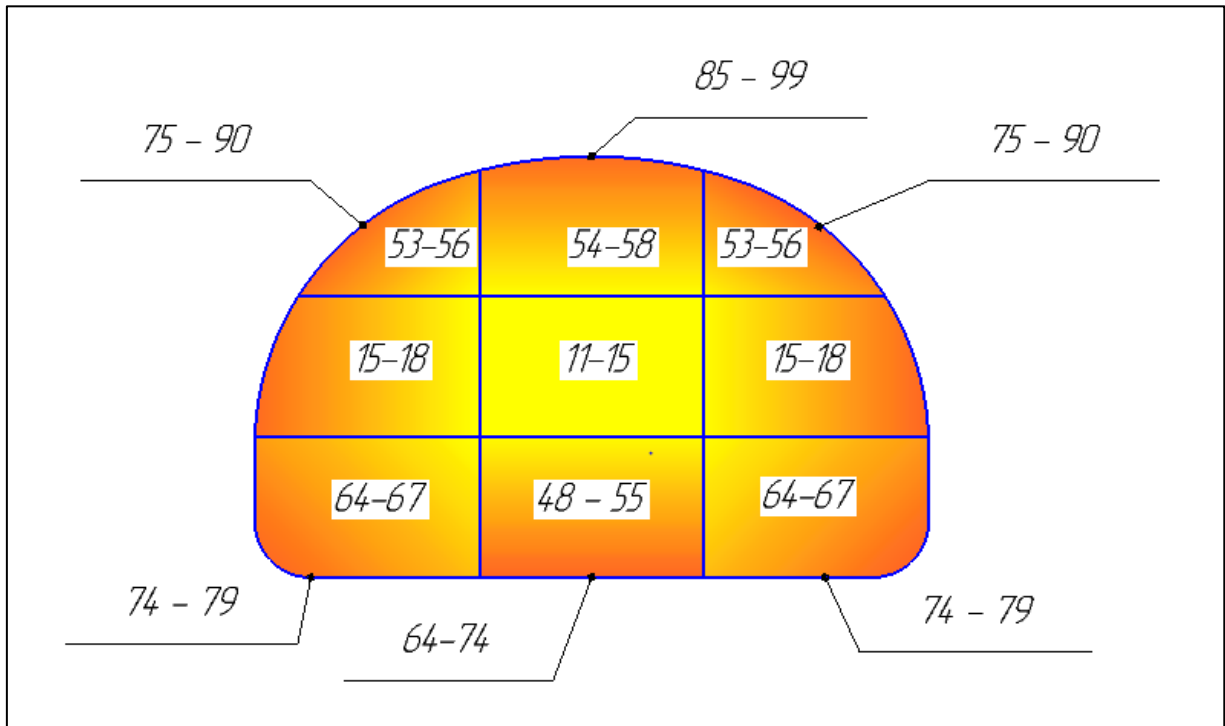


Рис 3.9 Карта пошарового опору заготовки хлібобулочних виробів (кПа).

Аналіз «карти опору» внутрішніх шарів хлібної заготовки в поперечному розрізі показав значну неоднорідність розподілу опору. Найменший опір спостерігається в центральній частині м'якушки і складає 11–15 кПа, що свідчить про високу газопроникність цього шару. Натомість верхні та нижні шари м'якушки характеризуються значно більшим опором — 53–58 кПа у верхніх шарах та 64–67 кПа у нижніх. Така нерівномірність обумовлена як структурними особливостями хліба після випікання, так і впливом скоринки та гравітаційним ущільненням нижніх шарів.

Ці дані дозволяють більш точно визначати режим вакуумного охолодження, оскільки враховують різну пропускну здатність шарів заготовки, допомагають уникнути деформацій м'якушки та забезпечують рівномірне зниження вологості без порушення структури продукту.

3.3 Теоретичні засади для вибору раціонального режиму вакуумного охолодження батона.

Оцінка витрат паро-повітряної суміші, що передбачає розрахунок випареної маси та об'єму утвореної пари при заданих режимах тиску й температури.

1. Обсяг вологи, що переходить у парову фазу з 1 кг випеченого виробу, кг:

$$w = \frac{q}{r}$$

де:

w – обсяг сформованої вологи

r – теплова енергія, що витрачається на фазовий перехід

q - Теплова енергія, необхідна для випаровування вологи (адіабатного кипіння) під час охолодження батону з 100 до 30 °С, кДж/кг:

$$q = (c_{cp}g_{cp} + c_v g_{в.х.})(t_m - t_{хол.хліба}) + c_{cp}g_{ск}(t_{ск} - t_m) =$$

$$= (1,67 \cdot 0,58 + 4,187 \cdot 0,42)(98 - 30) + 0,08 \cdot 1,67(130 - 100) = 190 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

де:

q – Теплова кількість, потрібна для зниження температури певної маси хліба, кДж/кг;

c_{cp} – Питома теплоємність сухих компонентів батона, кДж/(кг · °С).

g_{cp} – Кількість сухої речовини в батоні обчислюється за формулою:

$$g_{cp} = \frac{100 - W_x}{100} = \frac{100 - 42}{100} = 0,58$$

W_x – вологовміст гарячого батону приймається рівним 42%

c_v – значення питомої теплоємності вологи в м'якуші батону, кДж/(кг · °С);

$g_{в.х.}$ – початковий вміст вологи в батоні перед випіканням,

$$g_{в.х.} = \frac{W_x}{100} = \frac{42}{100} = 0,42$$

$g_{ск}$ – маса поверхневого шару хліба:

$$g_{ск} = \frac{g_{уп} \cdot g_{cp}}{g_{в.х.}} = \frac{0,06 \cdot 0,58}{0,42} = 0,08 \text{ кг}$$

$g_{уп}$ – Кількість вологи, що випаровується з батона під час випікання, кг;

t_m – температура м'якушки щойно випеченого батону, °С;

$t_{хол.хліба}$ – температура встиглого батонів, °С;

$t_{ск}$ – середня температура оболонки, °С:

$$\bar{t}_{ск} = \frac{t_{ск} + 100}{2} = \frac{160 + 100}{2} = 130 \text{ °С}$$

\bar{r} - середнє значення теплоти фазового переходу:

$$\bar{r} = \frac{r_{100} + r_{30}}{2} = \frac{2257,2 + 2430,2}{2} = 2343,7 \text{ кДЖ/кг}$$

При 100°С $r = 2257,2$ кДЖ/кг

При 30°С $r = 2430,2$ кДЖ/кг

Отже обсяг сформованої вологи, що випаровується із 1 кг готової продукції, кг:

$$w = \frac{q}{r} = \frac{190}{2343,7} = 0,081 \text{ кг пари / кг гот. хліба}$$

2. Розрахунок кількості води, що випаровуватиметься з одного ряду випеченої продукції, визначається в кілограмах:

$$W = w \cdot n \cdot m = 0,081 \cdot 6 \cdot 0,5 = 0,243 \text{ кг}$$

де n – кількість виробів в одному ряді, шт. 6;

m – маса 1-го виробу, 0,5 кг.

3. Розрахунок кількості вологи, що випаровуватиметься з одного ряду випеченої продукції, виконується у кубічних метрах, оскільки підбір вакуумного насоса та подальші розрахунки вакуумної системи базуються на об'ємній продуктивності. Зниження абсолютного тиску в навколишньому середовищі призводить до зниження температури пари, збільшення її об'єму під час випаровування з заготовки, а також змінює кількість прихованої теплоти пароутворення.

Кількість енергії, яка витрачається на зниження температури 1 кг продукту на 1 °С:

$$Q = \frac{q}{\Delta t} = \frac{190}{71} = 2,676 \text{ кДЖ/кгС}$$

де:

q - Кількість теплоти, необхідна для перетворення води на пару (фазовий перехід). (кДЖ/кг)

Δt – відмінність між початковою та кінцевою температурою. (°C)

Отже, при зниженні або підвищенні температури 1 кг батонів на 1 °C розраховується обсяг води, що випаровується:

$$m = \frac{Q}{r} \text{ кг,}$$

де:

m - кількість утвореної води (кг)

r - теплота зміни агрегатного стану (фазового переходу) (кДЖ/кг)

Об'єм пари, що утворюється при випаровуванні води з 1 кг продукту.:

$$V = m \cdot V_1 \text{ м}^3,$$

V - Об'єм, який займає пара, що випарувалася з 1 кг продукту, (м³).

V_1 – Об'єм, який займає 1 кг пари за заданого тиску, (м³).

Сумарний об'єм вологи, що утворилася з ряду виробів внаслідок охолодження

$$V_n = V \cdot n \cdot m \text{ м}^3,$$

V_n - об'єм вологи, що утворилася з ряду виробів внаслідок охолодження, (м³).

n – сума батонів в 1 ряді.

m – маса одної заготовки, (кг).

На рисунку 3.10 представлені залежності, які використовувалися як основа для проведення розрахунків

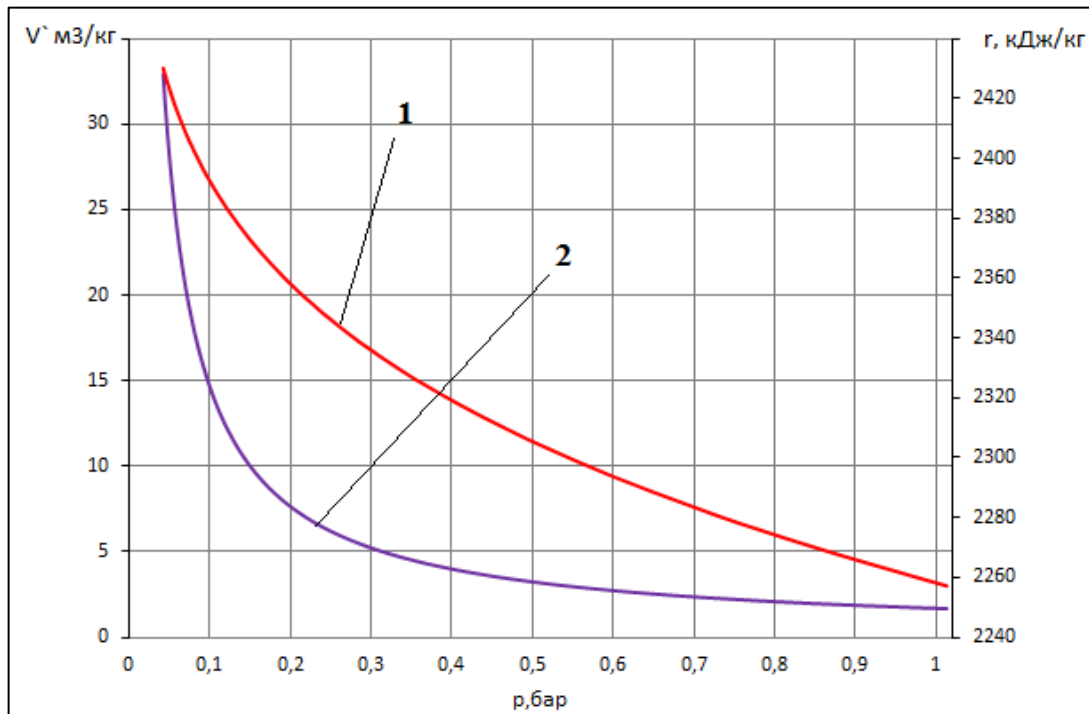


Рис. 3.10. 1 – залежність об'єму, який займає 1 кг пари, від тиску;
2 – залежність середньої теплоти фазового переходу води з рідкого стану в газоподібний від тиску.

Загальний об'єм вологи, що випаровується з одного ряду з 6 заготовок масою 0,5 кг при охолодженні від 100 °С до 30 °С та зниженні тиску від 100 кПа до 4,2 кПа: $V_p = 2,3 \text{ м}^3$.

Розрахунок площі поверхні (батону) о масою 0,5 кг.

Щоб визначити об'єм газу, що проходить через скоринку батону, спочатку розраховують площу його поверхні. Найпоширеніші форми хлібобулочних виробів такі: паралелепіпед — для формових виробів; циліндр — для багетів;

тіла обертання — для подового хліба та булочок [13].

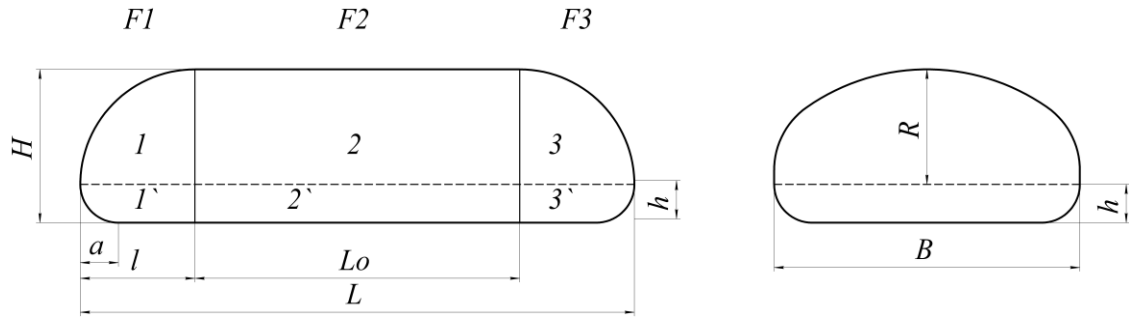


Рис. 3.11. Схема поділу батону на окремі частини: F1, F2 – сегменти у формі тіл обертання; F3 – циліндрична частина батону; H – висота батону; B – ширина батону; L – загальна довжина батону; L0 – довжина циліндричної частини; l – радіус сегментів тіл обертання; R – висота, що відокремлює верхню скоринку від нижньої; a, h – розміри скруглення нижньої кромки, що розділяє верхню і нижню скоринки

Для розрахунку площі поверхні батону масою 0,5 кг його умовно поділяють на частини (схему поділу наведено на рис. 3). Спершу виділяють верхню скоринку висотою

$$R = \frac{B}{2}$$

та нижню частину висотою

$$h = H - R$$

По довжині верхню скоринку поділяємо на три сегменти

$$l_{1,3} = R$$

Довжина циліндричної частини батону визначається як

$$L_0 = L - 2R$$

Площа поверхні половини циліндра

$$F_2 = \pi R L_0$$

Поверхня F₁ і F₃ – поверхні тіл обертання навколо осі батону $l = R$

При порівнянні розрахованої площі поверхні круглого подового батону за отриманою формулою з площею поверхні кулі того ж об'єму, був

визначений коефіцієнт, який враховує співвідношення діаметра виробу d до його висоти h .

$$d=H; h=R.$$

$$n = 0.15 \frac{d}{h} + 0.76$$

Де: n - коефіцієнт, який враховує відношення висоти виробу до діаметра;
 d - діаметр виробу;
 h - висота виробу.

Таким чином, наближена формула для обчислення площі поверхні тіла обертання круглого подового хліба матиме вигляд::

$$F_{1,3} = \frac{4\pi R^2}{2}$$

Де $R=l$

Площа F_2'

$$F_2' = (H - R) \cdot L_0$$

Поверхні F_1' і F_3'

$$F_{1,3}' = \pi R(H - R) \text{ разом } F = 2\pi R(H - R) \quad (10)$$

Поверхня скоринки котра торкалась поду печі (центральна)

$$F_{\text{под.}}^2 = L_0 \cdot (B - 2a)$$

Нижні поверхні $F_{\text{под.}}^{1,3}$

$$F_{\text{под.}}^{1,3} = F_{\text{под.}}' = 0.5\pi \left(\frac{B-2a}{2}\right) \text{ разом } F_{\text{под.}}^1 + F_{\text{под.}}^2 = 2F_{\text{под.}}'$$

$$F_{\text{под.}}^{1,3} = \pi \left(\frac{B - 2a}{2}\right)^2$$

Площа верхньої скоринки батону

$$F_{\text{верх}} = F_2 + F_1 + F_3 + F_2' + F_1' + F_3'$$

Поверхня скоринки котра торкалась поду скоринки

$$F_{\text{под.}} = F_{\text{под.}}^2 + F_{\text{под.}}^1 + F_{\text{под.}}^3$$

Сумарна (загальна) площа скоринки батону

$$F_{\text{Заг}} = F_{\text{верх}} + F_{\text{под.}}$$

Після виконання розрахунків встановлено, що загальна площа скоринки батона становить 0,091 м²

Розрахунок газової проникності поверхні скоринки овального батону масою 0,5 кг, виготовленого з пшеничного борошна.

Газова проникність (питома пропускну здатність) характеризує об'єм газу, який проходить через одиницю поверхні за одиницю часу.

Визначення газової проникності скоринки та м'якушки батона проводиться шляхом розрахунку об'єму газу, що проходить через одиницю площі скоринки або м'якушки за одиницю часу:

$$\Pi = V/(\tau F), \quad (\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})).$$

Де V – об'єм повітря, що проникнув крізь оболонку, м³;

τ – час, с;

F – площа оболонки, м²

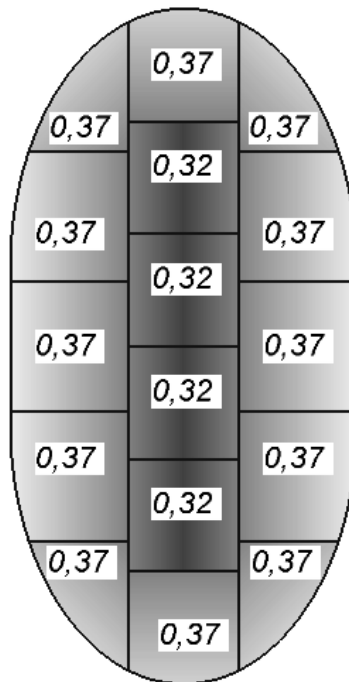


Рис.3.12. Розподіл величини газової пропускну здатності верхньої скоринки батона

За результатами проведених досліджень встановлено, що центральна частина скоринки батону має помітно меншу газову проникність у порівнянні

з бічними ділянками поверхні скоринки (рис. 3.12). Це свідчить про те, що інтенсивність проходження газу через скоринку неоднорідна і залежить від локальної структури та щільності. Крім того, візуальні спостереження підтвердили залежність газової пропускнуої здатності від кольору скоринки: чим темніша або більш засмажена скоринка, тим нижча її проникність. Така закономірність пояснюється підвищеною щільністю та меншим вмістом вологи в темніших ділянках скоринки, що істотно впливає на процес випаровування та охолодження хлібобулочних виробів.

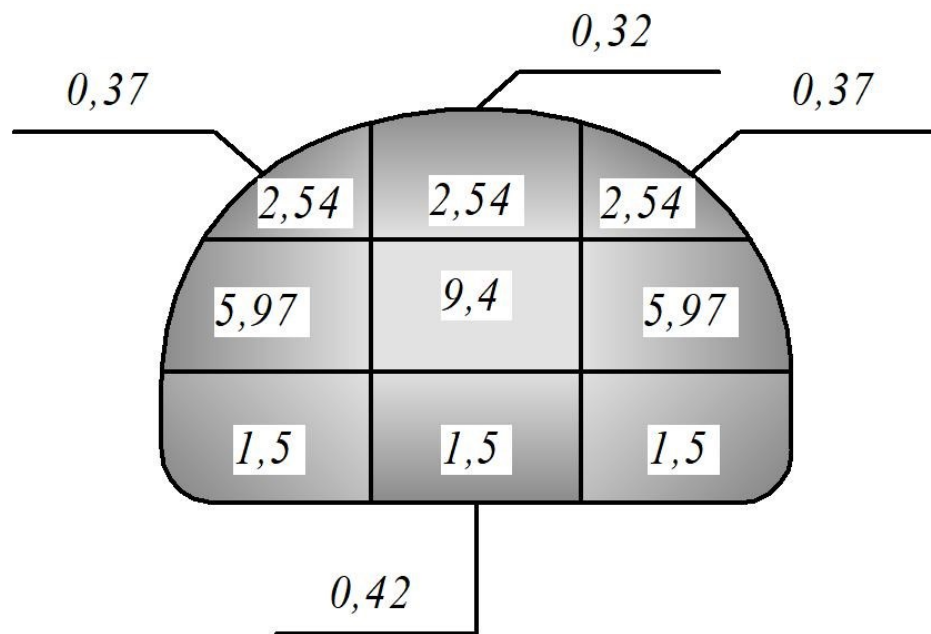


Рис.3.13 Розподіл газової пропускнуої здатності м'якушки в поперечному розрізі батону

Було встановлено, що газова проникність м'якушки в поперечному розрізі батону (рис. 3.13) значно перевищує проникність скоринки, тому її вплив на процес вакуумного охолодження батону можна вважати незначним.

За результатами проведених досліджень та розрахунків визначено, що загальний об'єм пари, яка утворюється під час охолодження батону масою 0,5 кг від 100 °С до 30 °С при зниженні тиску від 100 кПа до 4,6 кПа, становить $V = 0,444 \text{ м}^3$.

Оскільки газова проникність скоринки бетону змінюється по площині, для підвищення точності розрахунку площу поверхні було розділено на верхню та нижню частини.

- **Нижня скоринка:** площа $F_{(ск.н.)} = 0,036 \text{ м}^2$, пропускна здатність $\Pi_{(ск.н.)} = 0,42 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$.
- **Центральна частина верхньої скоринки:** площа $F_{(ск.в.ц.)} = 0,0088 \text{ м}^2$, пропускна здатність $\Pi_{(ск.в.ц.)} = 0,32 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$.
- **Бічна частина верхньої скоринки:** площа $F_{(ск.в.б.)} = 0,0462 \text{ м}^2$, пропускна здатність $\Pi_{(ск.в.б.)} = 0,37 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$.

Загальна площа поверхні бетону $F = 0,091 \text{ м}^2$, середнє значення пропускної здатності скоринки $\Pi_{(ср.)} = 0,37 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. При такому середньому значенні пропускної здатності час, за який утворена в процесі вакуумного охолодження пара проходить через скоринку бетону, становить 21 с.

Отримані результати були використані для розробки конструкції та налагодження обладнання вакуумного охолодження батонів у умовах потокового виробництва.

РОЗДІЛ 4. РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ ШЛЯХОМ СТВОРЕННЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ ВАКУУМНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ БАТОНА НА ВИРОБНИЧІЙ ЛІНІЇ.

4.1 Параметри роботи тунельної печі на виробничій лінії для випуску батонів

Апарат для вакуумного охолодження хлібобулочних виробів у режимі потокового виробництва призначений для інтеграції безпосередньо на конвеєрну лінію випікання батонів, де використовується тунельна піч із площею поду 25 м². Призначення апарату полягає у швидкому та ефективному зниженні температури виробів після випікання до оптимальної для подальшої обробки та пакування, що дозволяє зберегти їх якість та структурно-механічні властивості[8].

Продуктивність вакуумного охолоджувача безпосередньо залежить від продуктивності печі, оскільки апарат повинен обробляти всі батони, що надходять з тунельної печі, без утворення «вузьких місць» на виробничій лінії [12].

Годинна продуктивність печі визначається як $P_{\text{ГОД}}$, кг/год, і слугує базовим показником для розрахунку пропускну здатності апарату вакуумного охолодження[3]:

$$P_{\text{ГОД}} = \frac{N \cdot n \cdot g \cdot 60}{\tau_{\text{вип}}}$$

де:

g - маса одного виробу, кг;

N — кількість рядів виробів, що одночасно розміщені на поду печі, шт.;

$\tau_{\text{вип}}$ — час випікання, хв;

n — кількість виробів в одному ряду.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> <i>Теличкун В.І.</i>	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Ольховець Є.С.	<i>Назва, додаткова назва</i> Реалізація результатів досліджень шляхом створення установки для вакуумного охолодження батона на виробничій лінії		24.0273.ДП.24.004.ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> <i>Гавва О.М.</i>			<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/124

Кількість виробів, що розміщуються в одному ряду на поду печі, визначається з урахуванням ширини поду, габаритних розмірів хлібобулочних виробів, обраного способу їх укладання та рекомендованої відстані між виробами, яка забезпечує рівномірне пропікання та оптимальні умови теплообміну. Для розрахунку цієї величини використовується формула [3]:

$$n = \frac{B-a}{b+a}$$

де:

a — відстань (проміжок) між виробами, мм.

B – ширина поду печі тунельного типу, мм;

b – ширина одного виробу, мм;

Для хлібобулочних виробів, які за нормативними вимогами не допускають контакту між собою, відстань між виробами a приймається в межах 20–40 мм. Для виробів, що допускають певне притискання один до одного (наприклад, арнаут київський), відстань a зменшується і складає 5–10 мм.

Кількість рядів виробів, які одночасно можуть розташовуватися на поду тунельної печі, позначена як N (шт.), і розраховується за наступною формулою:

$$N = \frac{L-a}{l+a}$$

де:

L – довжина поду печі тунельного типу, мм;

l – ширина або довжина батона, мм

Розміри сітчастого поду тунельної печі встановлюються відповідно до технічних характеристик конкретної печі або на підставі довідкових даних з профільної літератури. Для тунельної печі з площею поду 25 м² (довжина поду 23 800 мм, ширина 2 100 мм) продуктивність при випіканні батонів масою 0,5 кг, розмірами 300 × 120 мм та з проміжком між виробами 30 мм розраховується з урахуванням тривалості випікання 25 хвилин. Такий розрахунок дозволяє

визначити кількість виробів, які одночасно можуть перебувати на поду, та забезпечує планування ефективної роботи апарату для вакуумного охолодження у потоці виробництва.

Кількість виробів, що розташовуються в одному ряду печі, визначається з урахуванням ширини поду, ширини виробу та встановленого проміжку між ними. Це дозволяє забезпечити рівномірне розміщення батонів і уникнути злипання або деформації під час випікання. Формула для розрахунку:

$$n = \frac{2100-30}{300+30} = 6,27$$

Приймаємо 6 шт.

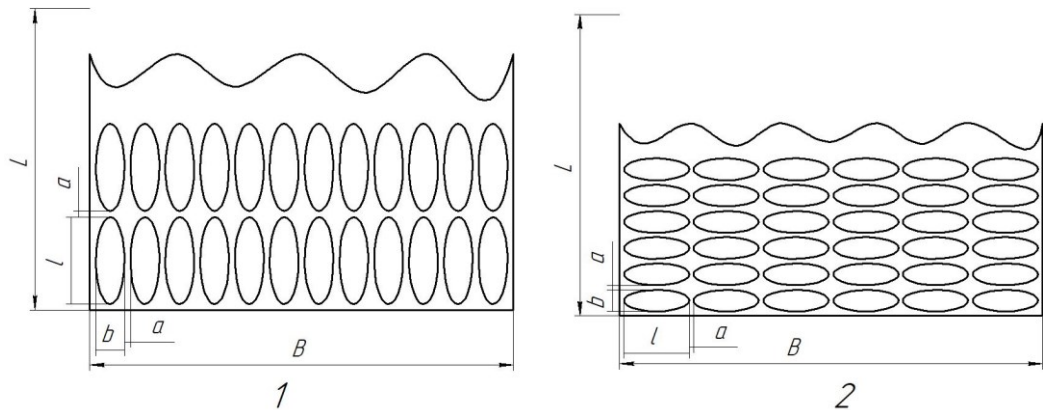


Рис. 4.1. Схеми розташування батоноподібних подових виробів на поду тунельної печі: 1 – ручне укладання на листах; 2 – механізоване укладання.

Кількість рядів виробів, що одночасно розміщуються на поду тунельної печі, визначається за розмірами поду та розмірами батонів і становить:

$$N = \frac{12000-30}{120+30} = 79,8$$

Приймаємо 79 шт.

Тоді годинна продуктивність печі $P_{\text{год}}$, кг/год, визначається за формулою:

$$P_{\text{год}} = \frac{79 \cdot 6 \cdot 0,5 \cdot 60}{25} = 568 \text{ кг/год}$$

Годинна штучна продуктивність визначається як кількість виробів, що випікаються в печі за одну годину, і розраховується за формулою:

$$P_{\text{год. шт.}} = \frac{N \cdot n \cdot 60}{\tau_{\text{вип}}} = \frac{79 \cdot 6 \cdot 60}{25} = 1137,6 \text{ шт/год}$$

Приймаємо 1138 шт/год.

Таким чином, за умови встановлення апарату для вакуумного охолодження хлібобулочних виробів на потоковій лінії, продуктивність виробництва батонів масою 0,5 кг досягне 568 кг за годину, що відповідає приблизно 1138 одиницям виробів на годину. Це забезпечує ефективну інтеграцію вакуумного охолодження у технологічний процес та дозволяє підтримувати високий темп випікання та охолодження без зниження якості продукції.

4.2 Структурна схема апарату для вакуумного охолодження хлібобулочних виробів в умовах потокового виробництва

На підставі аналізу існуючих патентних рішень та з урахуванням параметрів тунельної печі було визначено оптимальні конструктивні елементи апарату для вакуумного охолодження хліба, що забезпечують його ефективність та адаптивність до умов потокового виробництва:

Тип вакуумної камери: обрано роз'ємну конструкцію з рухомою кришкою та нерухомим столом (за аналогією з Патентами №156000 та №156905). Така конструкція дозволяє мінімізувати складні ущільнення, забезпечує герметичність і спрощує обслуговування за рахунок мінімальної кількості рухомих з'єднань.

Механізація завантаження та розвантаження: для підтримки безперервного потоку виробів використовується конвеєрна система, яка дозволяє накопичувати порції батонів і подавати їх у вакуумну камеру. Передбачено поєднання функцій завантаження і розвантаження в єдиний механізм, що зменшує кількість приводів і оптимізує розміщення елементів апарату. Основні рішення запозичено з Патентів №146333 та №156905.

Потоковість: реалізовано принцип порційної роботи — після охолодження однієї порції вона автоматично замінюється наступною, що дозволяє організувати безперервний цикл з мінімальними паузами.

На основі цих рішень була створена структурна схема апарата для вакуумного охолодження хліба в умовах потокового виробництва (рис. 4.2), яка відображає взаємне розташування основних конструктивних елементів і логіку роботи установки.

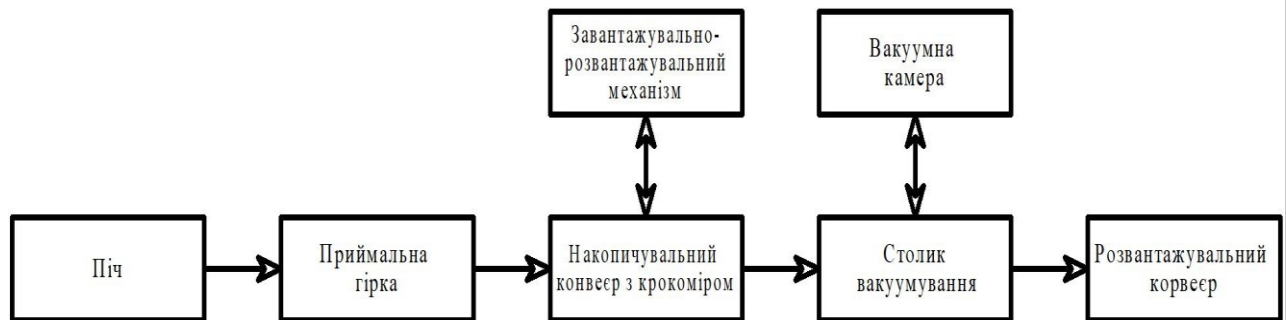


Рис. 4.2. Структурна схема апарата для вакуумного охолодження хліба в умовах потокового виробництва

Апарат для вакуумного охолодження хлібобулочних виробів у потоковому режимі працює наступним чином: щойно випечені батони з поду печі спочатку потрапляють на гірку з направляючими та крокоміром, а звідти переміщуються на накопичувальний конвеєр із крокомірами. Коли на конвеєрі накопичується порція з чотирьох виробів, захватний механізм переміщає її на вакуумний столик. Після цього порція накривається вакуумною камерою і проходить процес охолодження. Після завершення охолодження наступна порція батонів, що надходить на столик, автоматично виштовхує охолоджені вироби на розвантажувальні конвеєри з направляючими, які транспортують їх до наступних операцій — нарізання та пакування.

Таким чином, апарат забезпечує безперервний поточковий процес охолодження з чітким чергуванням порцій та автоматизованим транспортуванням готової продукції.

4.3 Визначення кута приймальної гірки апарату для вакуумного охолодження хліба в умовах потокового виробництва

У конструкції апарату для вакуумного охолодження хлібобулочних виробів особливу увагу слід приділити організації ефективного, швидкого та надійного транспортування батонів до зони завантаження на вакуумний столик. Ключовим етапом цього процесу є подача виробів на накопичувальний конвеєр із крокоміром, який одночасно виконує функцію транспортування та точного позиціонування батонів для подальшого переміщення їх завантажувальним механізмом на столик для вакуумування.

Для підвищення надійності апарату, зменшення енерговитрат і скорочення кількості приводів доцільно використовувати самопливне переміщення виробів під дією сили тяжіння, тобто без застосування додаткових механічних пристроїв [1, 3]. У зв'язку з цим виникає потреба визначити оптимальний кут нахилу приймальної гірки, який забезпечить плавний і контрольований рух батонів без додаткового прискорення. Надмірне прискорення може призвести до пошкодження виробів або зміни їх орієнтації, що негативно впливає на якість продукції та ефективність подальшого процесу вакуумного охолодження [3].

Виходячи з відомих початкових параметрів, можна визначити раціональний кут нахилу приймальної гірки, який забезпечить самопливне переміщення батона під дією сили тяжіння до накопичувального конвеєра. Схема руху батона по приймальній гірці наведена на рис. 4.2 [1, 3], що дозволяє наочно уявити траєкторію руху виробу та врахувати фактори, що впливають на його швидкість і положення під час переміщення.

Складемо рівняння проєкцій всіх сил на осі Декартової системи координат (рис. 4.2) [3]:

$$Ox: m \cdot g \cdot \sin\alpha - F_{\text{тр}} = m \cdot a; \Leftrightarrow a = \frac{m \cdot g \cdot \sin\alpha - F_{\text{тр}}}{m} \quad (49)$$

де:

m – маса виробу;

g – прискорення вільного падіння;

α – кут нахилу приймальної гірки;

$F_{\text{тр}}$ – сила тертя пшеничних сортів хліба об метал;

a – прискорення;

$$Oy: N - m \cdot g \cdot \cos\alpha = 0; \Rightarrow N = m \cdot g \cdot \cos\alpha \quad (50)$$

де:

N – реакція опори;

$$F_{\text{тр}} = \mu \cdot N = \mu \cdot m \cdot g \cdot \cos\alpha \quad (51)$$

де:

μ – коефіцієнт тертя пшеничних сортів хліба об метал $\mu=0,3\dots0,7$. У розрахунках приймаємо середнє значення: $\mu=0,5$;

$$a = \frac{m \cdot g \cdot \sin\alpha - \mu \cdot m \cdot g \cdot \cos\alpha}{m} \quad (52)$$

Та час необхідний для проходження батоном приймальної гірки при рівноприскореному русі без початкової швидкості [1]:

$$l = \frac{a \cdot t^2}{2} \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2 \cdot l}{a}} \quad (53)$$

де:

l – довжина гірки;

t – час необхідний для проходження батоном приймальної гірки;

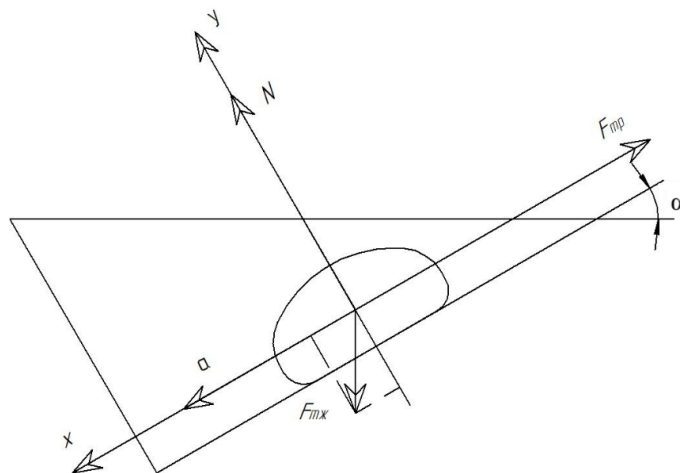


Рис. 4.3. Схема руху батону по приймальній гірці

Для визначення оптимального кута нахилу приймальної гірки проведено серію розрахунків при різних значеннях кута: 10°, 15°, 20°, 25°, 30°, 35° та 40°. Отримані результати систематизовано у таблиці 4.1, що дозволяє оцінити вплив кута нахилу на швидкість та безпечність руху батона до накопичувального конвеєра.

Таблиця 4.1.

**Результати розрахунків визначення раціонального кута нахилу
приймальної гірки**

Кут нахилу приймальної гірки (α)	Прискорення (a)	Час необхідний для проходження батонам приймальної гірки (t)
10°	-3,12699	Не відбувається руху
15°	-2,19885	Не відбувається руху
20°	-1,25397	Не відбувається руху
25°	-0,29955	Не відбувається руху
30°	0,657145	1,103352
35°	1,608844	0,705161
40°	2,548298	0,560299

Аналіз показав, що оптимальним для забезпечення самопливного руху батона масою 0,5 кг до накопичувального конвеєра є кут нахилу приймальної гірки 30°. Збільшення кута понад це значення виявилось недоцільним, оскільки батон і так рухається з необхідною швидкістю. При куті 30° батон долає гірку приблизно за 1 секунду, що повністю відповідає технологічним вимогам роботи апарата.

**4.4 Визначення раціональної місткості вакуумної камери щодо
кількості батонів**

Під час проектування апарата для вакуумного охолодження хлібобулочних виробів одним із ключових питань є вибір способу організації процесу охолодження: чи слід передбачити індивідуальні камери для кожного батона, об'єднувати вироби у пари, або здійснювати групове охолодження всіх

батонів одночасно в одній камері. Це рішення безпосередньо впливає на конструктивну складність апарата, металоємність, енергоспоживання, надійність роботи та інтеграцію системи з іншими елементами лінії.

Індивідуальне або зоноване охолодження дає змогу точніше контролювати параметри процесу для кожного виробу, проте воно значно ускладнює конструкцію, підвищує витрати на виготовлення та експлуатацію і є малоефективним для умов потокового виробництва.

На підставі проведених досліджень та розрахунків процесу вакуумного охолодження батона масою 0,5 кг із пшеничного борошна вищого ґатунку визначено оптимальні режимні параметри зниження тиску в часі у вакуумній камері. За цих умов час охолодження одного батона становить 66 с.

Враховуючи, що батони виходять із тунельної печі з інтервалом 22 с, для забезпечення безперервності та узгодженості між ланками технологічного процесу виникає необхідність накопичення виробів перед завантаженням у вакуумну камеру. Тому охолодження реалізується партіями (порціями) по 4 батони. У результаті загальний цикл роботи апарата складає 88 с: 66 с припадає на власне охолодження, а 22 с — на допоміжні операції, такі як завантаження, вирівнювання тиску у камері до атмосферного та розвантаження батонів.

Вибір матеріалу вакуумної камери

Матеріали, з яких виготовляється вакуумна камера, повинні витримувати значні механічні навантаження, що виникають під час створення низького тиску в процесі вакуумного охолодження. Для цього зазвичай застосовують нержавіючу сталь або спеціальні алюмінієві сплави, які поєднують високу міцність і стійкість до корозії. Особливо критичною є герметичність камери, оскільки від її якості залежить стабільність і ефективність роботи вакуумної системи [1].

У даному випадку обрана сталь марки AISI 316L (X2CrNiMo17-12-2), яка демонструє відмінну корозійну стійкість, навіть у вологому або

агресивному середовищі, та повністю відповідає вимогам харчової безпеки. Низький вміст вуглецю забезпечує легке зварювання без втрати міцності та антикорозійних властивостей у зварних швах. Завдяки цим характеристикам AISI 316L є оптимальним вибором для виготовлення вакуумних систем у харчовій промисловості [3].

Мінімальна товщина стінки вакуумної камери визначається кількома факторами. Ключовим параметром є глибина розрідження: зі зниженням робочого тиску зростає навантаження на стінки камери, що може призвести до їх деформації та порушення герметичності. Крім того, розміри труб і камер впливають на стійкість: у великих конструкціях тонкі стінки легше піддаються деформації під впливом зовнішнього тиску, тому потребують додаткового посилення [3].

Висока міцність та стійкість AISI 316L дозволяють оптимізувати товщину стінок без зниження надійності системи. Для труб і камер із цієї сталі, що працюють під розрідженням, рекомендована мінімальна товщина стінки становить 2,5–3 мм. У проєкті прийнято товщину стінки 3 мм, що забезпечує необхідну механічну стійкість і надійність вакуумної камери [3].

Визначення раціональної кількості батонів у вакуумній камері

При розробці конфігурації вакуумної камери з урахуванням кількості батонів, що одночасно охолоджуються, можна виділити три основні варіанти. Перший із них — це використання індивідуальних камер для кожного батона.

Такий підхід забезпечує максимальну точність і контроль процесу охолодження, оскільки параметри (тиск, температура, час) можна регулювати окремо для кожного виробу. Однак реалізація цього варіанту потребує оснащення кожної камери окремими клапанами, вакуумними підведеннями та іншими допоміжними елементами, що ускладнює конструкцію і підвищує металоємність.

На рисунку 4.4 наведено креслення вакуумних камер для індивідуального охолодження батонів у складі порції. Кожен виріб

розташовується в окремому герметичному об'ємі, що дозволяє незалежно регулювати параметри охолодження, але ускладнює конструкцію. Моделювання виконувалося у середовищі SolidWorks, і за результатами аналізу загальна маса такої компоновки становить 15,8 кг.

На наступному етапі визначають об'єм вакуумних камер і розраховують необхідну продуктивність вакуумного насоса для роботи з такою конфігурацією, що є критично важливим для забезпечення ефективності та стабільності процесу охолодження.

Об'єм одної вакуумної камери буде складатись з об'єму паралелепіпеда та об'єму циліндра:

$$V_i = V_{\Pi} + V_{\text{ц}} = 0.004455 + 0,000104 = 0,004559 \text{ м}^3 \quad (66)$$

де:

V_{Π} – об'єм паралелепіпеда;

$$V_{\Pi} = a \cdot b \cdot h = 0,15 \cdot 0,33 \cdot 0,09 = 0.004455 \text{ м}^3 \quad (67)$$

де:

a – ширина паралелепіпеда;

b – довжина паралелепіпеда;

h – висота паралелепіпеда;

$V_{\text{ц}}$ – об'єм циліндра;

$$V_{\text{ц}} = \pi \cdot r^2 \cdot h_{\text{ц}} = \pi \cdot 0,025^2 \cdot 0,053 = 0,000104 \text{ м}^3 \quad (68)$$

r – радіус циліндра;

$h_{\text{ц}}$ – висота циліндра;

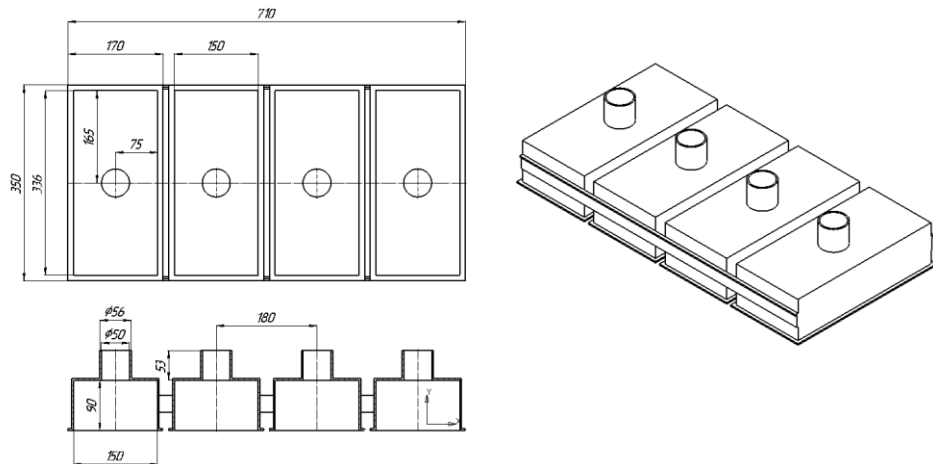


Рис. 4.4. Креслення вакуумних камер призначених для індивідуального охолодження кожного батона в складі порції

Необхідна продуктивність вакуумного насосу при використанні вакуумних камер призначених для індивідуального охолодження кожного батона в складі порції [1]:

$$S = \frac{V_{\text{заг}}}{t} \cdot \ln \frac{P_a}{P_k} \cdot F \quad (69)$$

$$S = \frac{4,909}{66} \cdot \ln \frac{101325}{4000} \cdot 2.5 = 0,6007 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$S_{\text{год}} = S \cdot 3600 = 0,6007 \cdot 3600 = 2162 \text{ м}^3/\text{Год} \quad (70)$$

де: $V_{\text{заг}}$ – об'єм який необхідно відкачувати за 1 цикл, м^3 ;

$$V_{\text{заг}} = (V_i \cdot n_k) + (V_{\text{пар}} \cdot n_b) \quad (71)$$

$$V_{\text{заг}} = (0,004559 \cdot 24) + (0,2 \cdot 24) = 4,909 \text{ м}^3$$

V_i – об'єм вакуумної камери, м^3 ;

$V_{\text{пар}}$ – об'єм пари, що утворюється при охолодженні одного батону масою 0,5 кг з 100 до 30 °С., м^3 (0,2 м^3 з виробу);

n_k – кількість вакуумних камер;

n_b – кількість виробів що охолоджуються;

t – тривалість циклу, с;

P_a – початковий тиск, Па;

P_k – кінцевий тиск, Па;

F – коефіцієнт кривої відкачування;

2. Парне охолодження батонів.

Другий варіант організації вакуумного охолодження — парне охолодження батонів.

Цей підхід дозволяє дещо спростити конструкцію порівняно з індивідуальним охолодженням, однак все ще вимагає наявності кількох камер або розділення основного об'єму вакуумної камери на незалежні секції. Кожна така секція повинна бути обладнана відповідними елементами: клапанами, системою підведення вакууму та іншими допоміжними пристроями для забезпечення ефективного процесу охолодження.

На рисунку 4.5 показано креслення вакуумних камер для парного охолодження батонів у складі порції. Кожен герметичний об'єм розрахований на два вироби, що дозволяє більш точно контролювати параметри охолодження, одночасно трохи знижуючи складність конструкції порівняно з індивідуальним варіантом.

Моделювання виконувалося у середовищі SolidWorks, і за результатами аналізу маса такої компоновки складає 11,6 кг. На наступному етапі визначають об'єм вакуумних камер і розраховують необхідну продуктивність вакуумного насоса для роботи з такою конфігурацією.

Об'єм одної вакуумної камери буде складатись з об'єму паралелепіпеда та об'єму циліндра (формула 66):

$$V_{п.б} = 0.008316 + 0,000104 = 0,00842 \text{ м}^3$$

де:

$V_{п}$ – об'єм паралелепіпеда (формула 67);

$$V_{п} = 0,28 \cdot 0,33 \cdot 0,09 = 0.008316 \text{ м}^3$$

$V_{ц}$ – об'єм циліндра (формула 68);

$$V_{ц} = \pi \cdot r^2 \cdot h_{ц} = \pi \cdot 0,025^2 \cdot 0,053 = 0,000104 \text{ м}^3$$

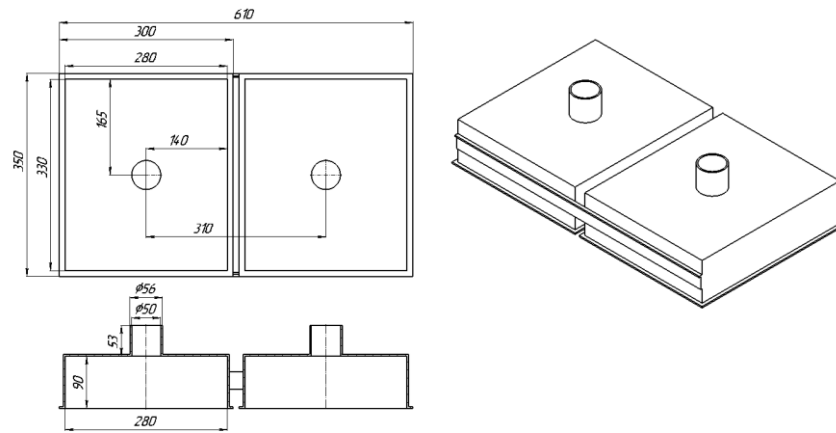


Рис. 4.5. Креслення вакуумних камер призначених для парного охолодження кожного батона в складі порції

Необхідна продуктивність вакуумного насосу при використанні вакуумних камер призначених для парного охолодження кожного батона в складі порції [1]:

$$V_{\text{заг}} = (0,00842 \cdot 12) + (0,2 \cdot 24) = 4,901 \text{ м}^3$$

$$S = \frac{4,901}{66} \cdot \ln \frac{101325}{4000} \cdot 2,5 = 0,6007 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$S_{\text{год}} = 0,6007 \cdot 3600 = 2162 \text{ м}^3/\text{год}$$

3. Групове охолодження.

Цей підхід є конструктивно найпростішим і найкраще відповідає умовам потокового виробництва. Завантаження порції батонів в одну вакуумну камеру забезпечує стабільну тривалість циклу охолодження, ефективне використання об'єму камери та значне спрощення конструкції апарата.

На рисунку 4.6 наведено креслення вакуумної камери, призначеної для групового охолодження порції батонів. Моделювання виконувалося у середовищі SolidWorks, і за результатами аналізу маса такої компоновки складає 8,27 кг.

Наступним кроком є визначення об'єму вакуумної камери та розрахунок необхідної продуктивності вакуумного насоса для роботи з цією груповою конфігурацією.

Об'єм одної вакуумної камери буде складатись з об'єму паралелепіпеда та об'єму циліндра (формула 66)::

$$V_k = 0.0151 + 0,000149 = 0,0152 \text{ м}^3$$

де:

$V_{\text{п}}$ – об'єм паралелепіпеда (формула 67)::

$$V_{\text{п}} = 0,51 \cdot 0,33 \cdot 0,09 = 0.0151 \text{ м}^3$$

$V_{\text{ц}}$ – об'єм циліндра (формула 68)::

$$V_{\text{ц}} = \pi \cdot 0,03^2 \cdot 0,053 = 0,000149 \text{ м}^3$$

Необхідна продуктивність вакуумного насосу при використанні вакуумних камер призначених для парного охолодження кожного батона в складі порції [1] (формула 69...71)::

$$V_{\text{заг}} = (0,0152 \cdot 6) + (0,2 \cdot 24) = 4,89 \text{ м}^3$$

$$S = \frac{4,89}{66} \cdot \ln \frac{101325}{4000} \cdot 2.5 = 0,59 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$S_{\text{год}} = 0,59 \cdot 3600 = 2124 \text{ м}^3/\text{год}$$

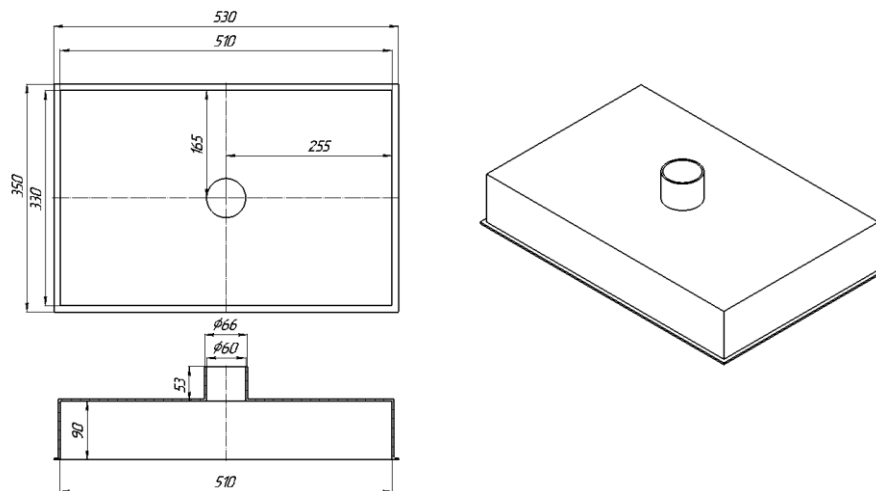


Рис. 4.6. Креслення вакуумної камери призначеної для групового охолодження порції бетонів

У таблиці 4.2 представлено порівняльну характеристику трьох варіантів компоновки вакуумних камер: індивідуальної, парної та групової. Оцінювання виконувалося за ключовими критеріями: металоємність конструкції, внутрішній об'єм камери та необхідна продуктивність вакуумного насоса для забезпечення ефективного охолодження хлібобулочних виробів.

Таблиця 4.2

Порівняльну характеристику запропонованих компоновок вакуумних камер

Характеристика	Індивідуальні камери для кожного батона	Парне охолодження батонів	Групове охолодження
Загальна маса (кг)	94,8	69,6	49,62
Загальний об'єм (м ³)	0,109	0,101	0,0912
Необхідна продуктивність вакуумного насоса (м ³ /год)	2162	2162	2124

Аналіз трьох розглянутих варіантів конфігурації вакуумних камер — індивідуальної, парної та групової — показав, що з конструктивної, технологічної та енергетичної точки зору найбільш доцільним для умов потокового виробництва є групове охолодження.

Хоча індивідуальні та парні камери дозволяють більш точно контролювати процес охолодження кожного батона, вони мають значні недоліки: збільшену масу конструкції, складну систему підключення до вакууму, підвищену металоємність та складність технічного обслуговування. Розрахунки показали, що групова компоновка забезпечує мінімальну масу вакуумних камер, найменший загальний об'єм та трохи меншу необхідну

продуктивність вакуумного насоса, що свідчить про її економічну та технологічну ефективність.

Отже, організація групового охолодження порції з 4 батонів у єдиній вакуумній камері дозволяє оптимально поєднати енергоефективність, простоту конструкції, узгодженість із ритмом технологічного процесу та достатню точність контролю температури. Такий підхід рекомендується як раціональний варіант компоновки вакуумної камери апарата для потокового охолодження хлібобулочних виробів.

4.5 Розрахунок кінетичних параметрів роботи накопичувального конвеєра

Кінетичні розрахунки машин і апаратів є невід'ємною частиною процесу їх проектування та експлуатації. Вони дозволяють оцінювати та оптимізувати різні параметри, наприклад рух механізмів, що передбачає визначення швидкостей, прискорень і сил, що діють на рухомі елементи машини чи пристрою, що необхідно для забезпечення безперебійної роботи та довговічності конструкції; динамічні навантаження, включаючи розрахунок сил інерції, вібрації та ударів, які можуть виникнути під час роботи машини, забезпечення міцності та стійкості конструкції; енергетичні характеристики, які передбачають оцінку енергоспоживання, ККД та інших енергетичних показників для оптимізації роботи машини та зниження витрат енергії; а також оптимізація процесів, спрямована на визначення оптимальних режимів роботи машини або пристрою для досягнення максимальної продуктивності та якості продукції [7].

Накопичувальний конвеєр апарату для вакуумного охолодження хлібобулочних виробів є одним з важливих вузлів, який працює в складних умовах, чим викликається необхідність проведення його кінетичного розрахунку [9].

Накопичувальний конвеєр апарату є дворядним ланцюговим конвеєром який переміщує батони загальною масою 2 кг. Працюючи в циклі 22 с з паузою 20 с. і активною фазою 2 с.

Вихідні дані: довжина ланцюга $L = 1,25$ м.; Швидкість руху ланцюга $v = 0,062$ м/с; маса вантажу $m_b = 12$ кг; маса ланцюга на 1 м $m_l = 4$ кг/м (для 1 модуля); коефіцієнт тертя між ланцюгом і напрямними $f = 0,2$; коефіцієнт тертя ковзання вантажу $f_k = 0,2$; кількість рядів $n = 2$ (для 1 модуля); ККД приводу враховуючи періодичність роботи та витрати на запуск та зупинку $\eta = 0,5$; радіус приводної зірочки $r = 0,15$ м. Враховуючи періодичність ввімкнення конвеєра та час роботи електродвигун буде працювати в режимі роботи S3 під час розрахунків коефіцієнт запасу міцності беремо $k = 5$.

Розрахунок сил

а) Сила тертя в напрямних:

$$F_t = f \cdot m_l \cdot g \cdot L \cdot n = 0.2 \cdot 4 \cdot 9.81 \cdot 1.25 \cdot 2 = 117,72(\text{Н})$$

б) Сила тертя вантажу:

$$F_k = f_k \cdot m_b \cdot g = 0.2 \cdot 12 \cdot 9.81 = 23,544(\text{Н})$$

в) Загальна рушійна сила:

$$F_{\text{заг}} = F_t + F_k = 117,72 + 23,544 = 141,264(\text{Н})$$

Розрахунок потужності:

а) Потужність для стабільного руху:

$$P = F_{\text{заг}} \cdot v = 141,264 \cdot 0.062 = 8,758(\text{Вт})$$

б) Потужність двигуна з врахуванням ККД:

$$P_{\text{дв}} = \frac{P \cdot k}{\eta} = \frac{8,758 \cdot 5}{0.5} = 87,58(\text{Вт})$$

Розрахунок динаміки розгону:

а) Еквівалентна маса системи:

$$m_{\text{екв}} = n \cdot m_l \cdot L + m_b = 2 \cdot 4 \cdot 1.25 + 12 = 16 + 12 = 28(\text{кг})$$

б) Час розгону:

Прискорення а:

$$a = \frac{F_{\text{заг}}}{m_{\text{екв}}} = \frac{153,036}{72} = 2.12 \text{ (м/с}^2\text{)}$$

Час розгону:

$$t_r = \frac{\vartheta}{a} = \frac{0.062}{2.12} = 0.029 \text{ (с)}$$

в) Енергія розгону:

$$E_r = \frac{1}{2} m_{\text{екв}} \vartheta^2 = \frac{1}{2} \cdot 72 \cdot 0.062^2 = 0.138 \text{ (Дж)}$$

Періодичне ввімкнення:

а) Частота ввімкнення:

$$f_{\text{в}} = \frac{1}{T} = \frac{1}{22} = 0.045 \text{ (Гц)}$$

б) Середня потужність за цикл:

Сумарна енергія на цикл:

$$E_{\text{цикл}} = E_r + P \cdot T_{\text{роб}} = 0.138 + 9,488 \cdot 2 = 19.114 \text{ (Дж)}$$

Середня потужність:

$$P_{\text{ср}} = \frac{E_{\text{цикл}}}{T} = \frac{19.114}{22} = 0.868 \text{ (Вт)}$$

Перевірка системи:

а) Крутний момент на валу:

$$M = F_{\text{заг}} \cdot r = 153,036 \cdot 0.15 = 22.95 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

б) Запас потужності двигуна:

$$P_{\text{дв}}^{\text{зап}} = P_{\text{дв}} \cdot k = 94.88 \cdot 5 = 474.4 \text{ (Вт)}$$

Для роботи накопичувального ланцюгового конвеєра з довжиною ланцюга одного ряду 1,125 м, що переміщує батони загальною масою 12 кг зі швидкістю 0,062 м/с і працює в циклі (активна фаза 2 с, пауза 20 с), рекомендована потужність двигуна 0,5 кВт з запасом на перевантаження. Крутний момент на ведучій зірочці становить 22,95 Н·м, що відповідає вимогам забезпечення стійкого руху конвеєра. Час розгону системи становить 0,029 с, що значно менше тривалості активної фази (2 с) і гарантує швидкий

початок руху без втрати ефективності. Середня потужність двигуна за цикл конвеєра становить 0,868 Вт, що свідчить про його ефективність.

4.6 Будова та функціонування апарата вакуумного охолодження хліба на прикладі батона в умовах безперервної лінії

Охолодження готових хлібобулочних виробів традиційно є найтривалішим етапом у хлібопекарській промисловості, що обумовлює особливу увагу до його оптимізації в технологічному процесі [20].

Впровадження вакуумного охолодження в умовах потокового виробництва дозволяє досягти низки переваг:

- значне зменшення необхідних виробничих площ;
- скорочення загального часу виготовлення хлібобулочних виробів;
- оптимізацію машино-апаратурної схеми виробництва;
- зниження потреби в ручній праці.

Завдяки цим перевагам зменшується кількість технологічних операцій, інтенсифікується процес охолодження, а також знижуються витрати на виробництво одиниці продукції, що призводить до зменшення собівартості хлібобулочних виробів.

Апарат для вакуумного охолодження хлібобулочних виробів, інтегрований у потокову лінію з тунельною піччю площею поду 25 м² для виробництва батонів масою 0,5 кг, функціонує за наступним принципом: щойно випечений батон переміщується з поду печі на приймальну гірку з направляючими та крокоміром, після чого потрапляє на накопичувальний конвеєр. Коли накопичується порція з 4 батонів, захватний механізм переміщує їх на вакуумний столик. Порція накривається вакуумною камерою та охолоджується. Після завершення процесу охолодження нова порція автоматично виштовхує охолоджені батони на розвантажувальні конвеєри, які транспортують готову продукцію на наступні операції, такі як нарізання та пакування.

Конструкція апарата для вакуумного охолодження (рис. 4.7) є модульною, а кількість модулів визначається числом рядів виробів на поду печі — у нашому випадку це 6 рядів.

Далі буде детально розглянуто будову та принцип роботи одного модуля апарата для вакуумного охолодження батонів масою 0,5 кг у потоковому виробництві.

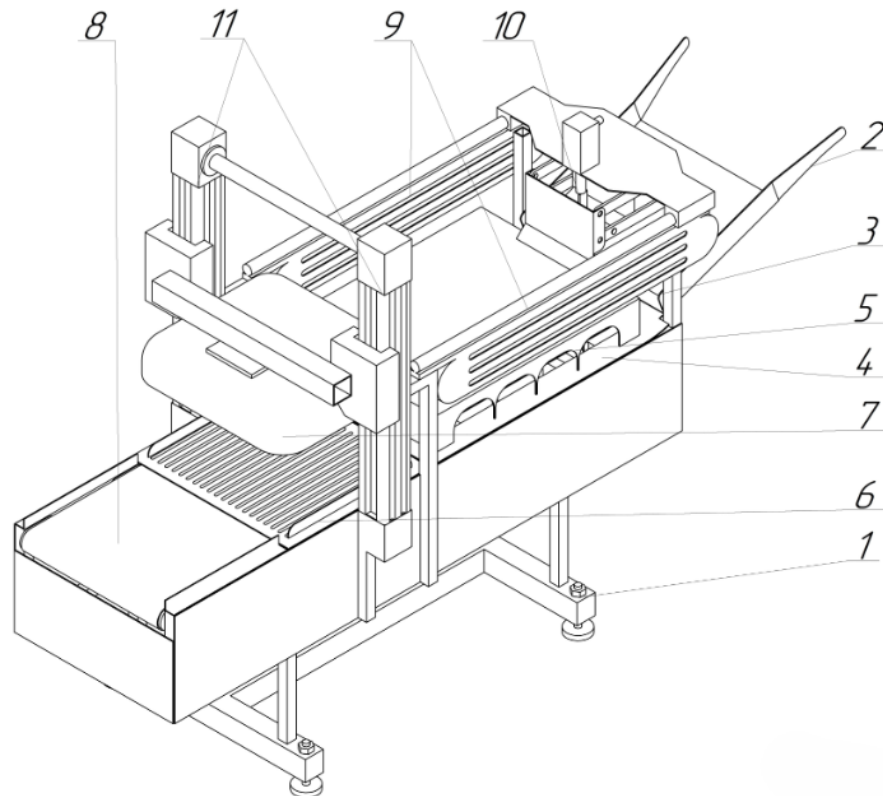


Рис. 4.7. Апарат для вакуумного охолодження хлібобулочних виробів в умовах потокового виробництва:

**1 – рама; 2 – гірка з направляючими; 3 – крокомір;
4 – накопичувальний конвеєр з крокоміром; 5 – завантажувальний механізм; 6 – столик для вакуумування з направляючими; 7 – вакуумна камера; 8 – розвантажувальні конвеєри. 9, 10 – пневмоциліндри завантажуючого механізму; 11 – пневмоциліндри для опускання та підняття вакуумної камери**

Щойно випечений батон надходить на приймальну гірку з направляючими 2, де його положення фіксується крокоміром 3. Далі батон переміщується на накопичувальний конвеєр з крокоміром 4. Коли накопичується необхідна порція з 4 батонів, пневмоциліндри 9 і 10 активують завантажувальний механізм 5, який переміщує батони на столик для вакуумного охолодження з направляючими 6.

Після цього вакуумна камера 7 опускається за допомогою пневмоциліндрів 11, і відкривається клапан для створення вакууму. Процес вакуумного охолодження триває 66 секунд. По його завершенні нова порція гарячих батонів надходить на столик 6, а охолоджені вироби під дією завантаження нової порції зіштовхуються на розвантажувальні конвеєри 8, які транспортують їх до наступних етапів обробки, таких як нарізання та пакування.

Запроектований апарат для вакуумного охолодження батонів масою 0,5 кг дозволяє скоротити час охолодження до 66 секунд та безпосередньо направляти готову продукцію на подальші операції. Він зменшує потребу в ручній праці та прискорює процес охолодження.

Головною перевагою апарата є забезпечення безперервного охолодження батонів, що дозволяє підтримувати потоковий режим виробництва та підвищує ефективність технологічного процесу.

4.7 Послідовність дій (циклограма) апарата для вакуумного охолодження батонів у потокових умовах

Циклограма роботи апарата забезпечує синхронність технологічного процесу, безперебійну роботу обладнання та оптимальну взаємодію між усіма його компонентами. Вона регламентує послідовність дій, тривалість операцій та контроль ключових параметрів, таких як температура, тиск і час, що сприяє підтриманню високої якості продукції, запобіганню поломок і ефективному використанню ресурсів [3].

У ході вакуумного охолодження батони після випікання спочатку подаються на гірку з направляючими, потім переміщуються на накопичувальний конвеєр для формування порції з 4 виробів. Завантажувальний механізм переміщує порцію на вакуумний стіл, після чого опускається вакуумна камера та відкривається клапан підведення вакууму. Протягом 66 секунд у камері створюється розрідження, що забезпечує охолодження батонів. По завершенні циклу камеру розгерметизують і піднімають, а охолоджені батони завдяки подачі наступної порції переміщуються на розвантажувальні конвеєри, забезпечуючи безперервний та злагоджений процес виробництва [3].

Для побудови детальної циклограми роботи апарата для вакуумного охолодження хлібобулочних виробів апарат умовно розділено на робочі органи (Р.О.), для кожного з яких визначено послідовність спрацювань та час дії. Це дозволяє відтворити роботу системи та забезпечити синхронність усіх процесів.

Р.О.1 – Вакуумний насос

Працює постійно, підтримуючи необхідний рівень розрідження у вакуумній системі без перерв.

Р.О.2 – Накопичувальний конвеєр з крокоміром

Працює релейно, тобто лише в увімкненому або вимкненому стані, без холостого ходу. Під час запуску перше спрацювання відбувається через 22 с і триває 2 с. Наступні три увімкнення відбуваються кожні 20 с для накопичення першої порції з 4 батонів. Час запуску апарата – 90 с. У робочому режимі конвеєр включається на 4 с після 1 с простою для завантаження порції, далі перший простій триває 15 с, а наступні спрацювання повторюються через кожні 20 с. Час одного робочого циклу – 88 с.

Р.О.3 – Пневмоциліндр вертикального переміщення завантажувального механізму

Має робочий і холостий хід, час витримки та простою. Під час запуску час простою перед першим ходом – 90 с, робочий хід – 1 с, час витримки – 4 с, холостий хід – 1 с. У робочому режимі час простою в циклі – 82 с, робочий хід – 1 с, час витримки – 4 с, холостий хід – 1 с. Цикл повторюється, час одного робочого циклу – 88 с.

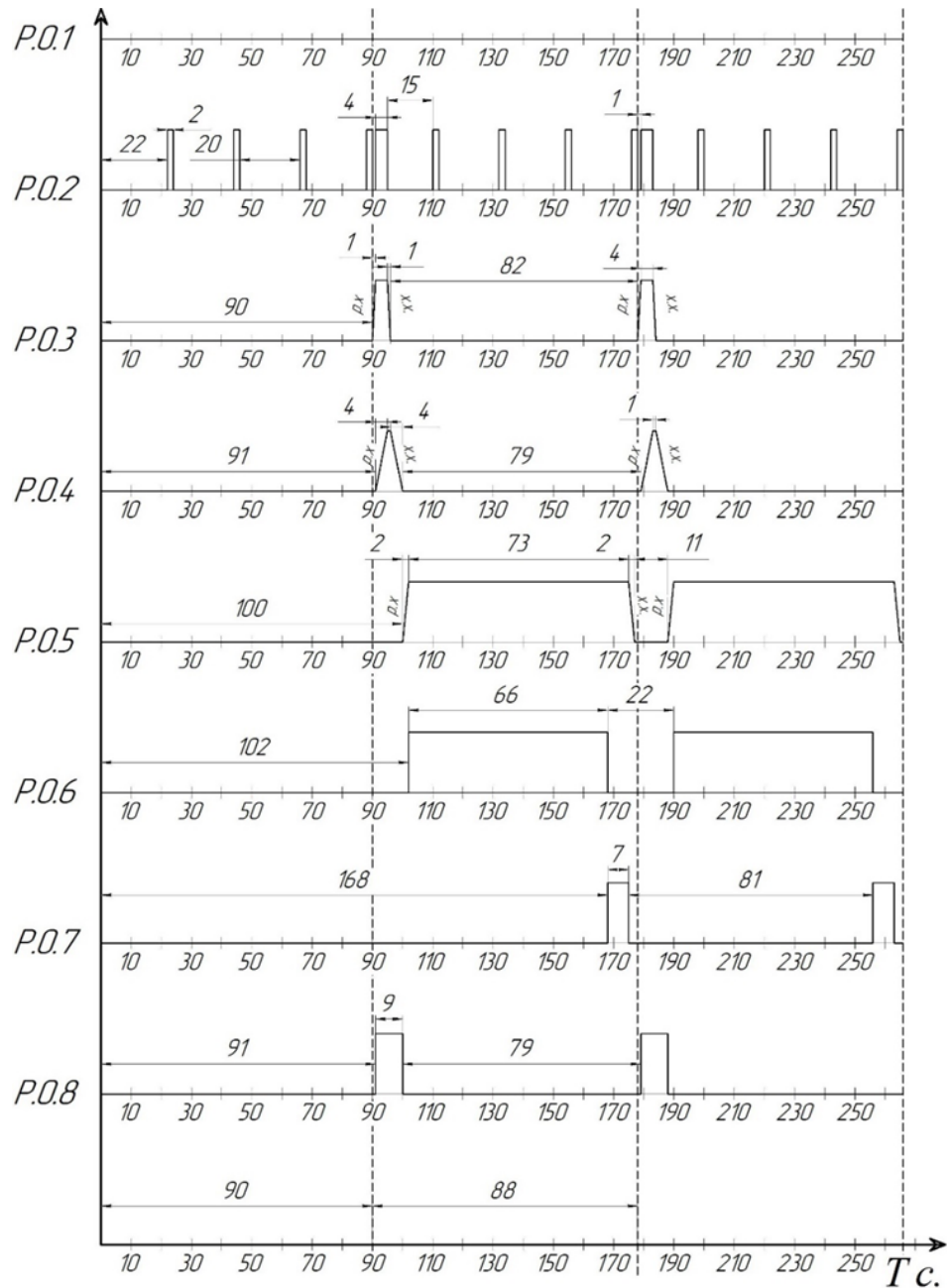


Рис. 4.8 Циклограма роботи апарату для вакуумного охолодження хлібобулочних виробів на прикладі батону в умовах потокового виробництва

Р.О.4 – Пневмоциліндр горизонтального переміщення завантажувального механізму

Працює аналогічно вертикальному пневмоциліндру. Час простою під час запуску – 91 с, робочий хід – 4 с, час витримки – 1 с, холостий хід – 4 с. У робочому режимі час простою – 79 с, робочий хід – 4 с, час витримки – 1 с, холостий хід – 4 с. Час одного циклу – 88 с.

Р.О.5 – Пневмоциліндри для опускання та підняття вакуумної камери

Мають робочий та холостий хід, час витримки та простою. Під час запуску час простою перед першим робочим ходом – 100 с, робочий хід – 2 с, час витримки – 73 с, холостий хід – 2 с. У робочому режимі час простою – 11 с, робочий хід – 2 с, час витримки – 73 с, холостий хід – 2 с. Цикл повторюється, тривалість одного циклу – 88 с.

Р.О.6 – Клапан вакуумування Працює релейно, без холостого ходу. Під час запуску час простою – 102 с, час увімкнення – 66 с. У робочому режимі подальші включення відбуваються кожні 22 с, час увімкнення – 66 с. Час одного робочого циклу – 88 с.

Р.О.7 – Клапан розгерметизації Релейний режим роботи. Під час запуску час простою – 168 с, час увімкнення – 7 с. У робочому режимі включення відбуваються кожні 81 с, час увімкнення – 7 с. Цикл повторюється, час одного робочого циклу – 88 с.

Р.О.8 – Розвантажувальний конвеєр Працює релейно, без холостого ходу. Під час запуску час простою – 91 с, час увімкнення – 9 с. У робочому режимі включення відбуваються кожні 79 с, час увімкнення – 9 с. Час одного циклу – 88 с.

Таким чином, циклограма враховує синхронність роботи всіх робочих органів апарата, регламентує час простоїв, робочих ходів і витримок, що дозволяє забезпечити безперервну роботу системи та оптимізувати процес вакуумного охолодження батонів.

Розроблена циклограма забезпечує злагоджену та синхронізовану роботу всіх робочих органів апарата, підтримуючи безперервний виробничий цикл тривалістю 88 секунд. Вакуумний насос працює безперервно, гарантуючи стабільний рівень розрідження у системі. Накопичувальний конвеєр зі спеціальними направляючими формує порції батонів по 4 штуки, забезпечуючи їх подачу на вакуумний столик кожні 88 секунд.

Пневмоциліндри керують вертикальним і горизонтальним переміщенням завантажувального механізму, а також опусканням та підйомом вакуумної камери, при цьому чітко дотримуються визначені фази робочого ходу, простою та витримки. Клапани вакуумування та розгерметизації працюють релейно, синхронізуючи створення вакууму, процес охолодження та подальшу розгерметизацію камери.

Розвантажувальний конвеєр після завершення циклу ефективно транспортує охолоджені батони до наступних операцій, починаючи кожні 79 секунд після старту циклу. Така комплексна координація робочих органів забезпечує раціональне використання енергетичних та матеріальних ресурсів, стабільну роботу апарата та безперервність технологічного процесу, що гарантує високу продуктивність та якість охолодження [3].

4.8 Структурна схема роботи пневматичних приводів з електронною системою керування апарата вакуумного охолодження батонів у безперервному виробництві

В апараті для вакуумного охолодження хлібобулочних виробів у потоковому виробництві застосовуються пневмоприводи Р.О.3, Р.О.4 та Р.О.5. Для забезпечення ефективного і компактного переміщення вузлів використано два типи пневмоциліндрів подвійної дії: штокові (Р.О.3), що забезпечують точне і контрольоване переміщення, та безштокові (Р.О.4 і Р.О.5), які дозволяють реалізувати плавний хід у обмеженому просторі конструкції [2].

Для координації роботи всіх робочих органів розроблено спеціальну пневматичну схему, яка враховує режими перемикання пневмоциліндрів, синхронізацію їх рухів та швидкість робочого і холостого ходу. Це забезпечує узгоджену роботу завантажувального механізму, опускання та підйому вакуумної камери, а також горизонтальне переміщення батонів.

Крім того, апарат оснащено електричною схемою управління, що включає контролери, датчики положення штока, електромагнітні клапани та комунікаційні модулі. Така система автоматизації дозволяє задавати оптимальні робочі параметри, забезпечує точність синхронізації всіх операцій, знижує енергоспоживання та підвищує ефективність процесу вакуумного охолодження [2]. На рис. 4.9 представлено принципову схему пневматичного підключення всіх елементів апарату.

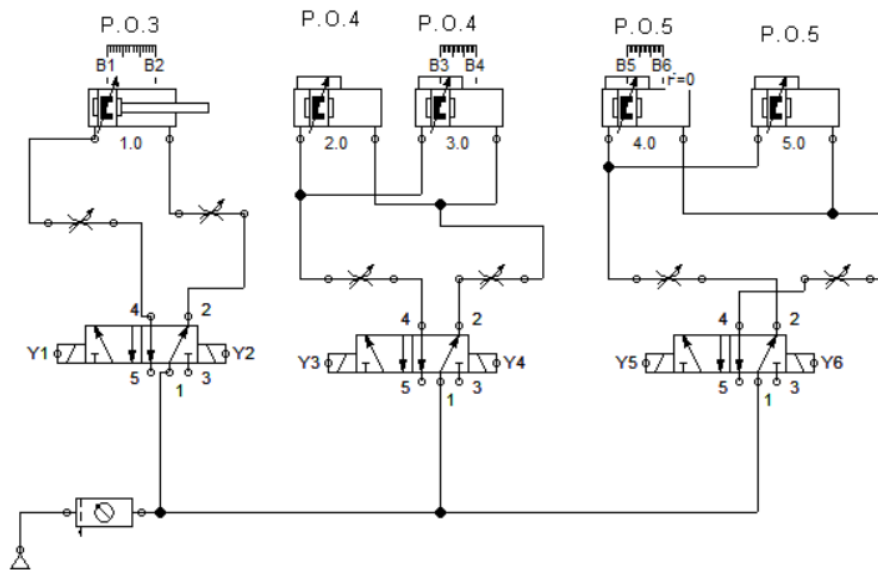


Рис. 4.9. Принципова пневматична схема підключення апарату для вакуумного охолодження хлібобулочних виробів

На рис. 4.10 зображено електричну схему керування елементами пневматичної схеми.

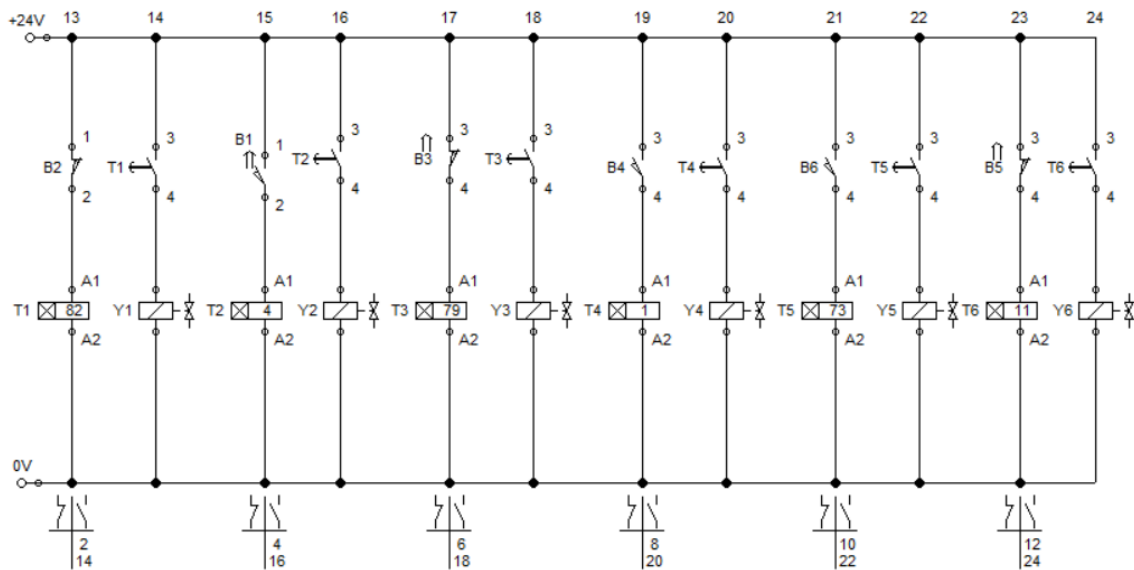


Рис. 4.10. Електрична схема керування елементами пневматичної схеми.

На рис. 4.11 представлено циклограму роботи окремих елементів пневмоприводів. Порівняння цієї циклограми з раніше наведеною циклограмою роботи апарату дозволяє зробити висновок, що пневматична та електрична схеми керування пневмоприводами складені коректно. Це підтверджує правильність синхронізації рухів пневмоциліндрів, відповідність режимів роботи та часу спрацювання всіх робочих органів апарату, що забезпечує безперервний і надійний процес вакуумного охолодження хлібобулочних виробів [2].

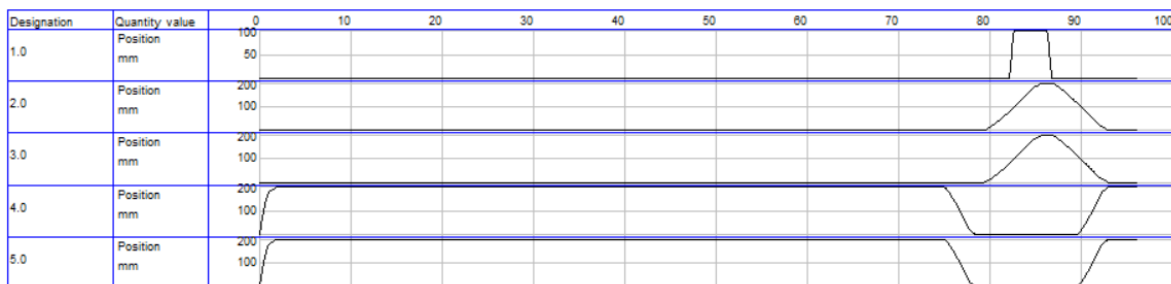


Рис. 4.11 Циклограма роботи елементів пневмоприводів.

Розроблені пневматична та електрична схеми забезпечують скоординовану роботу всіх пневмоприводів (Р.О.) апарату, гарантують

синхронну взаємодію елементів пневмосистеми та безперервне повторення робочих циклів у повністю автоматичному режимі. Це дозволяє підтримувати стабільний потік виробів, оптимізувати використання ресурсів та підвищити ефективність процесу вакуумного охолодження хлібобулочних виробів.

РОЗДІЛ 5. ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ

5.1. Загальна інформація

Збірка машин являє собою комплексний технологічний процес, під час якого окремі компоненти виробу поєднуються в єдину конструкцію. Цей процес забезпечує точне розташування деталей, визначає рухомість або нерухомість окремих елементів та гарантує необхідну міцність і надійність всієї машини.

У конструкції будь-якої машини можна виділити окремі елементи. Найпростішою формою є деталь, яка не має жодних з'єднань з іншими компонентами. Коли декілька деталей взаємодіють та з'єднуються між собою, вони утворюють самостійну функціональну одиницю машини — вузол. Ступінь складності вузла залежить від його конструкції та кількості деталей, що входять до складу.

Особливу роль у процесі збірки відіграє елемент, який визначає розташування всіх інших деталей — його називають «деталь базування» або «базова група». Саме ця деталь задає орієнтири для правильного розміщення решти компонентів машини. Для спрощення і прискорення процесу збірки часто застосовують технологічні схеми, які умовно відображають послідовність операцій, що виконуються під час складання вузлів і всієї машини в цілому.

5.2. Вибір вузла та аналіз характеристик виробу

У рамках виконаного проекту було впроваджено установку для вакуумного охолодження батонів на виробничій лінії з тунельною піччю БН-25. Одним із ключових конструктивних елементів цієї установки є привідний вузол стрічкового конвеєра, який забезпечує передачу крутного моменту від привідної станції до стрічки конвеєра та відповідає за безперебійну і стабільну роботу транспортного процесу.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> <i>Теличкун В.І.</i>	<i>Вид документа</i> <i>Пояснювальна записка</i>		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Ольховець Є.С.	<i>Назва, додаткова назва</i> Технології машинобудування	240273.ДП.24.005.ПЗ				
	<i>Документ затверджено</i> <i>Гавва О.М.</i>		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/124	

У цьому розділі проведено детальний аналіз технології збірки приводного валу, який включає встановлення підшипників, монтаж напівмуфти та приводного барабана, а також фіксацію цього вузла на рамі установки. Розглянуто послідовність операцій, контроль точності розташування компонентів, а також забезпечення належної жорсткості та надійності вузла в процесі експлуатації. Такий підхід дозволяє гарантувати ефективну передачу крутного моменту та довговічність роботи стрічкового конвеєра вакуумної установки.

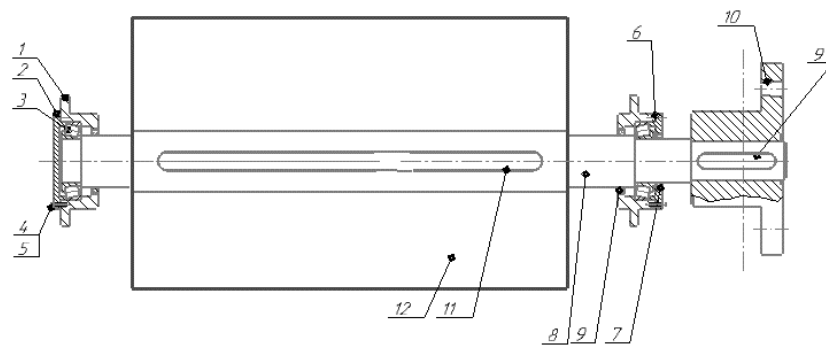


Рис.5.1. Ескіз вузла

Номер позиції деталі	Назва деталі	Кількість деталей
1.	Корпус підшипника	1
2.	Кришка підшипника	1
3.	Підшипник	1
4.	Болт М6х24	36
5.	Шайба 6	36
6.	Прокладка	6
7.	Ущільнювач	2
8.	Вал	1
9.	Шпонка напівмуфти	1
10.	Напівмуфта	1
11.	Шпонка барабана	1
12.	Барабан	1

Табл.2 Технічний маршрут складання вузла	
Номер переходу	Зміст переходу
10. Встановлення барабану СК1	
10.1.	Встановити шпонку на вал
10.2.	Змонтувати барабан
10.3.	Закрутити стопорні болти
20. Збирання підшипникового вузла СК3	
20.1.	Встановити корпус підшипника на каркас і закріпити його
20.2.	Встановити підшипник
20.4.	Встановити ущільнювач в кришку підшипника
20.4.	Встановити прокладку
20.5.	Встановити кришку підшипника
20.6.	Встановити 6 шайб
20.7.	Закрутити 6 болтів
30. Збирання підшипникового вузла СК4	
30.1.	Встановити корпус підшипника на каркас і закріпити його
30.2.	Встановити підшипник
30.4.	Встановити ущільнювач в кришку підшипника
30.4.	Встановити прокладку
30.5.	Встановити кришку підшипника
30.6.	Встановити 6 шайб
30.7.	Закрутити 6 болтів

40. Встановлення приводного валу	
40.1.	Встановити приводний вал в підшипниках
50. Встановлення напівмуфти СК5	
50.1.	Встановити шпонку на вал
50.2.	Змонтувати напівмуфту
60. Контрольна	
60.1.	Проконтролювати складання вузлу

РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці — це комплексна система організаційних, правових, технічних та соціально-економічних заходів, спрямованих на створення безпечних і здорових умов праці для працівників. Вона охоплює широкий спектр аспектів: від нормативно-правового регулювання і розроблення інструкцій безпеки до впровадження сучасних технічних засобів захисту, санітарно-гігієнічного контролю робочого середовища та профілактики професійних захворювань.

Метою цієї системи є не лише збереження життя та здоров'я працівників, а й підтримання їхньої працездатності, попередження виробничого травматизму та мінімізація ризиків, пов'язаних з виконанням професійних обов'язків. Окреме місце в структурі охорони праці займають питання регулювання діяльності з підвищеним рівнем небезпеки. Для виконання таких робіт підприємства зобов'язані отримати спеціальні дозволи, які підтверджують відповідність обладнання, інфраструктури та кваліфікації персоналу встановленим нормам безпеки. Це забезпечує належний рівень контролю та попереджає можливі аварійні ситуації, створюючи умови для безпечного та ефективного функціонування виробництва.

Організація проведення інструктажу з охорони праці на хлібозаводі

На кожному підприємстві система охорони праці передбачає проведення різних видів інструктажів, спрямованих на забезпечення безпеки працівників та підвищення їхньої обізнаності щодо ризиків, характерних для виробничого середовища. Інструктажі виконують не лише навчальну функцію — вони також є засобом контролю за дотриманням правил безпечної роботи, запобігання аварійним ситуаціям та підтримання належного рівня дисципліни

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Теличкун В.І.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Ольховець Є.С.	<i>Назва, додаткова назва</i> Охорона праці	24.0273.ДП.24.006.ПЗ				
	<i>Документ затверджено</i> Гавва О.М.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/124	

у сфері безпеки праці.

Організація та проведення інструктажів покладається на керівників структурних підрозділів, майстрів чи начальників змін, тоді як відділ охорони праці здійснює нагляд за відповідністю цих заходів чинним вимогам та нормативам. Кожен тип інструктажу має своє призначення, час проведення та коло осіб, яких він стосується.

Види інструктажів з охорони праці включають:

– **Вступний інструктаж** — проводиться для всіх новоприйнятих працівників, незалежно від їхньої професії, стажу чи форми зайнятості. Він знайомить із загальними вимогами безпеки, внутрішніми правилами підприємства, порядком дій у разі надзвичайних ситуацій.

– **Первинний інструктаж** — проводиться безпосередньо на робочому місці перед початком виконання трудових обов'язків. Під час нього працівник отримує інформацію про конкретні ризики, вимоги до безпечної експлуатації обладнання та правила поведінки в умовах виробництва.

– **Повторний (періодичний) інструктаж** — організовується через визначені інтервали для всіх працівників, щоб підтримати належний рівень знань та нагадати про ключові правила безпеки.

– **Позаплановий інструктаж** — проводиться у випадках змін у технологічному процесі, модернізації обладнання, аварій, порушення прав працівниками або іншої непередбаченої ситуації, що потребує додаткового інформування та корекції дій персоналу.

– **Цільовий інструктаж** — призначений для виконання одноразових, особливо небезпечних або специфічних робіт, а також у разі проведення заходів, що потребують підвищеного рівня уваги та координації.

Сукупність цих інструктажів формує багаторівневу систему навчання та контролю, що сприяє зменшенню виробничих ризиків, забезпечує стабільну та безпечну роботу працівників і підтверджує відповідність підприємства сучасним вимогам охорони праці.

Головною метою проведення інструктажів є формування у працівників стійких навичок безпечного та грамотного виконання своїх професійних обов'язків. Завдяки систематичному навчанню персонал отримує необхідні знання про потенційні небезпеки, правила експлуатації обладнання, а також порядок дій у нестандартних чи аварійних ситуаціях.

Такі інструктажі не лише підвищують рівень безпеки на робочих місцях, а й сприяють збереженню здоров'я та життя працівників. Крім того, вони забезпечують правильне реагування у випадку нещасних випадків, пожеж, технічних збоїв чи інших надзвичайних ситуацій. Завдяки цьому досягається мінімізація ризиків, підвищення відповідальності персоналу та створення на підприємстві безпечного виробничого середовища.

Обов'язки працівника, на його робочому місці

Забезпечення безпеки на робочому місці та дотримання внутрішніх правил є ключовими умовами для стабільної та ефективної роботи підприємства. Усі працівники, незалежно від посади чи досвіду, повинні виконувати встановлені вимоги, адже саме вони формують безпечне виробниче середовище та зменшують ризики виникнення нещасних випадків.

До основних обов'язків персоналу належать:

- **Дотримання інструкцій з охорони праці та правил експлуатації обладнання**, що забезпечує правильне виконання операцій і запобігає аваріям.
- **Опанування знань про сировину та технологічний процес**, зокрема про види борошна, додаткові компоненти, стандарти якості та рецептури продукції.
- **Регулярне навчання та атестація з питань охорони праці** (не рідше ніж раз на три роки), що дозволяє підтримувати належний рівень кваліфікації та обізнаності.
- **Використання засобів індивідуального та колективного захисту**, які мінімізують ризики травмування та впливу шкідливих факторів.

- **Підтримання чистоти та порядку** на робочих місцях і у виробничих приміщеннях для забезпечення належних санітарних умов та безперебійної роботи обладнання.

- **Абсолютна заборона роботи у стані алкогольного чи наркотичного сп'яніння**, що гарантує безпеку як самого працівника, так і його колег.

- **Вживання їжі тільки у спеціально відведених місцях**, що відповідає санітарним нормам і сприяє дотриманню гігієни.

- **Виконання протипожежних вимог**, включно з уникненням використання відкритого вогню у невстановлених місцях та дотриманням режиму пожежної безпеки.

Сукупність цих правил дозволяє створити безпечну, дисципліновану та ефективну робочу атмосферу, яка позитивно впливає на продуктивність підприємства та зберігає здоров'я працівників.

*Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів у цеху
виробництва хліба*

На робочому місці в цеху, де працює обслуговуючий персонал, присутні численні ризики, пов'язані з дією рухомих механізмів, фізичних факторів та небезпечних виробничих процесів. До основних небезпек належать:

1. **Обертові та рухомі частини устаткування.** До цієї групи належать з'єднувальні муфти, шківни, шестерні, ланцюгові передачі та інші елементи механізмів, із якими можливий безпосередній контакт. Потрапляння одягу, інструментів чи частин тіла у зону дії цих елементів може призвести до тяжких травм, включно з переломами, розривами тканин та ампутаціями.

2. **Вуглекислий газ (CO₂).** В процесі бродіння тіста відбувається активне виділення CO₂, який накопичується в низинних ділянках ємностей або камер. Оскільки газ є важчим за повітря, він може витіснити кисень, створюючи зону підвищеної небезпеки. Потрапляння працівника у таку зону

здатне спричинити кисневе голодування, втрату свідомості і навіть летальні наслідки при відсутності оперативної допомоги.

3. **Підвищена напруга електроструму.** Вона може виникати у випадках пошкодження ізоляції проводів, електродвигунів або інших частин електрообладнання. Дотик до таких ділянок загрожує ураженням електричним струмом, що може мати як легкі наслідки (опіки), так і критичні (фібриляція серця, зупинка дихання).

4. **Ризики падіння на підлогу та ремонтні майданчики.** Слизькі поверхні, спричинені витоками олії, тіста, води чи технічних рідин, а також зношене або несправне взуття значно підвищують імовірність падіння та травмування працівників. Особливо небезпечні такі ситуації поблизу працюючого обладнання.

5. **Падіння з висоти.** Може виникати при обслуговуванні обладнання, розташованого на підвищених платформах, або при використанні інструментів та матеріалів над рівнем підлоги.

Усі зазначені фактори становлять потенційну загрозу для життя та здоров'я персоналу, тому потребують систематичного контролю, впровадження інженерних та організаційних заходів безпеки, а також дотримання працівниками інструкцій з охорони праці.

Окрім небезпечних факторів, у цеху діють і **шкідливі виробничі чинники**, що можуть негативно впливати на здоров'я працівників у довгостроковій перспективі:

1. **Підвищений вміст борошняного пилу.** Пил при роботі з борошном може викликати алергічні реакції, подразнення слизових оболонок та захворювання органів дихання, у тому числі професійну астму.

2. **Підвищений рівень оксиду та діоксиду вуглецю.** Перевищення допустимих концентрацій цих газів призводить до головного болю, запаморочення, порушення дихання та загального отруєння організму.

3. **Підвищений рівень шуму.** Тривала дія шуму негативно впливає на нервову систему, викликає втому, знижує концентрацію уваги, а також сприяє розвитку порушень слуху.

4. **Підвищена температура повітря.** У теплий період року або в умовах роботи з тепловим обладнанням температура в цеху може перевищувати допустимі норми, спричиняючи тепловий стрес, втому та зневоднення.

5. **Недостатнє освітлення.** Погане освітлення ускладнює виконання операцій, сприяє зоровому перенапруженню та підвищує ризик травматизму.

Для мінімізації впливу цих факторів застосовують комплекс профілактичних і технічних заходів:

- встановлення шумопоглинаючих екранів та використання малошумного обладнання;
- впровадження інструментів і механізмів із допустимими параметрами вібрації;
- забезпечення якісного та достатнього освітлення робочих зон;
- організація вентиляції та регулярне провітрювання приміщень;
- використання засобів індивідуального захисту (респіратори, навушники, спеціальне взуття);
- проведення регулярних інструктажів та перевірок знань з охорони праці.

Ці заходи мають на меті створення безпечних та комфортних умов праці, зниження ризиків травматизму та професійних захворювань, а також забезпечення стабільної та ефективної роботи персоналу.

Заходи з електробезпеки передбачають:

Для забезпечення електробезпеки на виробництві впроваджуються такі технічні заходи:

Заземлення металевих частин електроустановок. Усі металеві елементи обладнання, що не перебувають під напругою, але можуть

опинитися під нею внаслідок пошкодження ізоляції, обов'язково заземлюються. Це здійснюється шляхом під'єднання таких частин до нульових робочих провідників та до магістралі заземлення. Заземлення забезпечує швидке відведення струму у випадку аварійної ситуації та мінімізує ризик ураження електричним струмом.

Використання нульових захисних провідників. Кабельні лотки електропроводок, металеві конструкції будівлі та інші елементи можуть виконувати функцію нульових захисних провідників, якщо вони відповідають нормам електробезпеки. Це дозволяє створити надійний контур захисту та зменшує ймовірність виникнення небезпечних потенціалів на поверхнях металевих конструкцій.

Заходи з пожежної безпеки включають комплекс рішень, спрямованих на запобігання займанням, обмеження поширення вогню та забезпечення безпечної евакуації працівників:

Відповідність будівлі вимогам вогнестійкості. Виробниче приміщення цеху належить до II ступеня вогнестійкості, що означає використання конструктивних елементів і матеріалів з підвищеною стійкістю до високих температур. Це дозволяє локалізувати можливу пожежу та забезпечити додатковий час для евакуації та гасіння.

Організація протипожежного захисту в приміщенні. Внутрішнє планування будівлі виконано так, щоб забезпечити швидке та безпечне переміщення працівників до евакуаційних виходів. Двері на шляхах евакуації встановлюються з відкриванням у напрямку виходу, що попереджає затори під час руху людей. У цеху розміщуються первинні засоби пожежогасіння: порошкові або вуглекислотні вогнегасники, а також пожежний щит, обладнаний необхідним інвентарем (лопатою, багром, відром, пожежною сокирою).

Зазначені електротехнічні та протипожежні заходи формують комплексну систему безпеки, що спрямована на захист працівників,

мінімізацію ризику аварійних ситуацій, запобігання пожежам та забезпечення стабільної й безпечної роботи виробничого обладнання.

Техніка безпеки при експлуатації обладнання

Для забезпечення пожежної безпеки під час експлуатації установки необхідно суворо дотримуватись комплексу технічних та організаційних вимог:

Дотримання режимів роботи обладнання. Установка повинна експлуатуватися виключно в межах параметрів, зазначених у паспорті та технологічному регламенті. Відхилення від установлених режимів може спричинити перегрів окремих вузлів та підвищити ризик займання.

Запобігання накопиченню статичної електрики. На елементах установки мають бути встановлені спеціальні пристрої або заземлювальні елементи, що перешкоджають утворенню та накопиченню статичного заряду, оскільки він може стати джерелом іскріння та підпалювання.

Регулярне змащування рухомих вузлів. Необхідно дотримуватися встановлених інтервалів технічного обслуговування, зокрема періодичності змащування підшипників та інших вузлів тертя. Це запобігає їх перегріву та знижує імовірність виникнення аварійних ситуацій, пов'язаних із підвищенням температури.

Своєчасні огляди та ремонти. Важливо виконувати профілактичні випробування, технічні огляди та планово-попереджувальні ремонти згідно із затвердженими графіками, що дозволяє виявити та усунути несправності ще до того, як вони можуть спричинити пожежу або іншу небезпечну ситуацію.

Для безпечної роботи з установкою персонал має виконувати такі вимоги:

Професійна підготовка персоналу. До роботи допускаються лише працівники, які пройшли відповідне навчання, інструктажі та ознайомлені з правилами експлуатації устаткування.

Огляд перед запуском. Перед увімкненням обладнання необхідно провести перевірку правильності складання конструктивних елементів, відсутності пошкоджень та сторонніх предметів. Також слід переконатися, що поблизу установки не перебувають сторонні особи.

Вимоги до робочого приміщення. Приміщення повинно підтримуватися у чистоті, бути добре освітленим, без слизьких ділянок, накопичень бруду чи перешкод, які можуть спричинити травмування персоналу та негативно вплинути на безпечну експлуатацію обладнання.

Для покращення умов праці та підвищення рівня безпеки доцільно впровадити такі заходи:

Забезпечення технічною документацією. Працівники повинні мати доступ до технічних описів, інструкцій та схем, що дозволяє краще розуміти принципи роботи обладнання та правила безпеки.

Контроль відповідності нормативним вимогам. Систематично перевіряти відповідність технологічних процесів, механізмів та машин чинним нормам з охорони праці та пожежної безпеки.

Забезпечення засобами індивідуального захисту. Працівники мають бути забезпечені спецодягом, захисними окулярами, рукавицями та іншими засобами індивідуального та колективного захисту залежно від умов роботи та виробничих ризиків.

Запровадження цих заходів сприятиме створенню безпечних умов праці, зниженню ризику аварій та підвищенню загального рівня надійності роботи виробничої установки.

8. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Сучасний розвиток харчової промисловості тісно пов'язаний із питаннями раціонального виробництва, підвищення якості продукції та формування екологічно безпечних технологій. У цих умовах особливої актуальності набувають поняття «екологізація виробництва» та «екологізація технологій», які визначають стратегічні напрями модернізації та оптимізації промислових процесів.

Екологізація виробництва передбачає впровадження комплексу організаційних, економічних і технічних рішень, спрямованих на більш раціональне використання природних ресурсів, зменшення антропогенного навантаження та створення безпечних умов праці. Це включає оптимізацію споживання енергії та води, удосконалення технологічних операцій, застосування сучасного обладнання з підвищеною енергоефективністю, повторне використання вторинних ресурсів та мінімізацію негативного впливу на екосистеми.

Екологізація технологій означає модернізацію або розроблення нових виробничих процесів, які максимально знижують рівень утворення відходів і викидів, зберігають природну рівновагу та забезпечують безпечний цикл виробництва. Це охоплює впровадження маловідходних та безвідходних технологій, застосування енергоощадних рішень, а також установок для очищення газоподібних, рідких та твердих відходів.

Хлібопекарська промисловість, будучи однією з найбільш матеріало- та енергоємних у харчовій сфері, суттєво впливає на стан довкілля. Значні обсяги споживання води, газу, електроенергії та сировини супроводжуються потенційним утворенням викидів в атмосферу (зокрема продуктів горіння), стічних вод і виробничих відходів. Для зменшення негативного впливу необхідно проводити ідентифікацію джерел забруднення, контролювати їх

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> <i>Теличкун В.І.</i>	<i>Вид документа</i> <i>Пояснювальна записка</i>		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Ольховець Є.С.	<i>Назва, додаткова назва</i> Охорона навколишнього середовища	240273.ДП.35.007.ПЗ				
	<i>Документ затверджено</i> <i>Гавва О.М.</i>		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/124	

інтенсивність та застосовувати сучасні методи утилізації й очищення.

Крім того, підприємства хлібопекарської галузі повинні враховувати можливі шляхи забруднення атмосфери та водних об'єктів і впроваджувати систему превентивних заходів, спрямованих на зниження екологічних ризиків. Сюди належать модернізація вентиляційних систем, фільтрація відходів газів, очищення води, утилізація органічних залишків та впровадження безпечних методів зберігання технічних матеріалів.

Комплексний підхід до екологізації виробництва в хлібопекарській промисловості є важливою умовою стабільного розвитку підприємств, підвищення конкурентоспроможності продукції та забезпечення екологічної безпеки на всіх етапах технологічного процесу.

Характеристики викидів підприємства

Викиди, що утворюються у промислових процесах, традиційно поділяються на організовані та неорганізовані, залежно від способу їхнього відведення та контролю.

Неорганізовані викиди — це гази, пари, пил та стічні води, що утворюються безпосередньо під час виконання технологічних операцій і виходять у навколишнє середовище без спеціально облаштованих каналів відведення. Вони можуть потрапляти до робочої зони через нещільності конструкцій, відкриті двері, вікна, вентиляційні отвори та технологічні прорізи, особливо під час операцій завантаження та розвантаження сировини або готової продукції. Особливо небезпечними є неорганізовані газоподібні та пароподібні викиди, що часто виникають унаслідок порушення режимів роботи обладнання або аварійних ситуацій.

Організовані викиди відводяться через спеціальні комунікаційні елементи — системи вентиляції, димові труби, повітропроводи, локальні відсоси й інше обладнання, яке дозволяє контролювати об'єм та склад викидів. Такі системи забезпечують очищення повітря та зменшують навантаження на довкілля та зону перебування персоналу.

У харчовій промисловості викиди прийнято поділяти на кілька груп, відповідно до їх походження:

Тепло- та енергетичні викиди, пов'язані з роботою теплового, сушильного або печного обладнання.

Викиди вторинної переробки, що виникають у процесах обробки відходів, повторного використання ресурсів або очищення сировини.

Викиди основних технологічних процесів, які є безпосереднім результатом виробництва продукції.

У хлібопекарській галузі характерними забруднювачами повітря є борошняний пил, а також відпрацьовані гази та продукти згоряння палива, що утворюються під час роботи печей, котлів та іншого термічного обладнання.

Речовина	Клас небезпеки	Гранично – допустимі концентрації, мг/м ³	
		ГДК мР	ГДК сд
NO	2	0,085	0,04
CO	4	5,0	3
SO	3	0,5	0,05
Хлор	2	0,1	0,03
Озон	1	0,16	0,003
Аміак	4	0,2	0,04
Спирт:			
Метилловий	3	1	0,5
Етиловий	4	5	5
Пил:			
Борошняний	4	0,5	0,150
Цукровий	4	0,5	0,5
Бенз – (а) – пірен	1	-	1*10 ⁻⁶

Для зменшення шкідливого впливу цих речовин застосовуються спеціалізовані системи очищення та контролю, серед яких:

- компресорно-повітряні установки,
- пиловловлювачі різних типів,
- фільтрувальні та газоочисні пристрої,

– локальні аспіраційні системи.

Моніторинг якості повітря здійснюється відповідно до санітарно-гігієнічних норм, які встановлюють максимально допустимі концентрації небезпечних речовин у робочій зоні. Дотримання цих вимог є важливою умовою забезпечення безпеки персоналу, підтримання нормального мікроклімату та зменшення негативного впливу виробництва на навколишнє середовище.

Характеристика скидів

Стічні води, що утворюються на хлібозаводі, являють собою складну фізико-хімічну суміш. Вони містять не лише розчинені речовини, а й тверді частки різної дисперсності — від 10^{-3} до 10^{-2} метра. Окрім цього, стічні води характеризуються значним вмістом органічних та неорганічних забруднень.

Такі стоки створюють сприятливе середовище для розвитку активних мікроорганізмів. До їх характерних показників належать: концентрація зважених часток близько 150 мг/л, кислотність у межах рН 6,0–7,0, повне біологічне споживання кисню (БСК) на рівні 500–700 мг O_2 /л та хімічне споживання кисню (ХСК) — 600–800 мг O_2 /л.

Виробничі стоки хлібозаводу повинні відповідати нормативним вимогам, щоб не порушувати роботу каналізаційних мереж та очисних споруд, а також уникати корозії або утворення осадів у трубопроводах. Зокрема, концентрація зважених часток не повинна перевищувати 500 мг/л, а показник рН має знаходитись у діапазоні 6,5–8,5.

Системи міської каналізації, які приймають стічні води хлібозаводу, зазвичай забезпечують механічну очистку за допомогою сіток, а також подальшу біологічну обробку. При цьому періодично виникає потреба у видаленні жирів та інших осадових накопичень, що можуть утворюватися у процесі експлуатації. У таблиці 8.2 наведено дані щодо обсягів стічних вод, що формуються на одиницю продукції, що дозволяє оцінити навантаження на очисні споруди та планувати заходи щодо їх ефективної очистки.

Неповна, несвоєчасна або недостатньо якісна обробка вторинних матеріальних ресурсів та утворених відходів може призвести до їхнього псування, забруднення навколишнього середовища та підвищення екологічних ризиків. Наслідком цього є збільшення забруднення стічних вод, погіршення роботи каналізаційних мереж та додаткові витрати на виробництво через необхідність додаткових заходів очищення та утилізації відходів. Тому системний контроль за обробкою відходів і вторинних ресурсів є важливою складовою екологічної безпеки підприємства.

Таблиця 8.2

Підприємство	Одиниця продукції	Система водопостачання	Середньорічна кількість <u>стічних</u> вод, що спускаються у водойми на од. продукції.		
			Підлягають очищенню		Всього
			виробничі	побутові	
Х/З продуктивністю 126 т/доб.	1 тonna виробів	прямоточна	0,83	0,35	1,18
ЗО	1 тonna вир.	прямоточна	1,89	0,98	2,87
Х/З з кондитерським цехом 46 т/доб.	1 тonna виробів	прямоточна	1,7	0,79	2,49
40	1 тonna вир.	прямоточна	1,93	1,21	3,14

Хлібопекарські та кондитерські підприємства загалом мають обмежений вплив на навколишнє середовище, проте деякі процеси виробництва можуть створювати потенційні джерела забруднення. Основними серед них є енергетичні системи підприємства, силосні установки для просіювання борошна, а також викиди, що виникають під час бродіння тіста та випікання продукції. Водночас усі викиди контролюються та відповідають чинним

екологічним нормам і стандартам України, що забезпечує мінімальний негативний вплив на атмосферу.

Стічні води, що утворюються під час виробництва, проходять попередню очистку перед відведенням у міську каналізаційну мережу. Їхній склад та фізико-хімічні характеристики відповідають вимогам, встановленим для безпечного відведення в міську систему, що запобігає забрудненню навколишнього середовища та сприяє підтриманню санітарно-гігієнічних норм.

Розроблена конструкція вакуумної машини для охолодження хлібобулочних виробів дозволяє реалізувати низку заходів з екологізації виробництва. Зокрема, вона сприяє зменшенню споживання електроенергії, обмеженню шкідливих викидів у повітря, раціональному використанню природних ресурсів та зниженню техногенного впливу на навколишнє середовище. Впровадження таких технологічних рішень не лише підвищує енергоефективність підприємства, але й сприяє поліпшенню екологічної ситуації в регіоні, зменшуючи навантаження на природні ресурси та покращуючи умови життя населення.

ВИСНОВКИ

1. У результаті проведеного огляду традиційних методів охолодження готових хлібобулочних виробів було визначено, що природне охолодження на повітрі та використання стандартних холодильних камер мають суттєві недоліки. Серед них — тривалість процесу, великі виробничі площі та обмежена автоматизація, що знижує ефективність потокового виробництва. Ці проблеми можуть бути вирішені шляхом впровадження вакуумного охолодження.

2. Для дослідження процесу вакуумного охолодження було створено експериментальну вакуумну установку та розроблено методику проведення дослідів, що дозволяє систематично вивчати вплив різних параметрів на ефективність охолодження та якість продукту.

3. Встановлено вплив інтенсивності вакуумного охолодження на якість батону. Проведені дослідження дозволили визначити оптимальний режим охолодження, при якому батон зберігає всі споживчі властивості та якість при інтенсивності охолодження кПа/с.

4. Було розроблено установку та методику для проведення експериментів з визначення газопроникності скоринки та внутрішніх шарів батону. Це дозволило оцінити, як гази проходять через різні шари продукту та врахувати ці дані при моделюванні процесу вакуумного охолодження.

5. На основі отриманих експериментальних даних побудовано карти опору газопроникності: для скоринки батону вздовж площини та для внутрішніх шарів у поперечному перерізі. Ці карти дозволяють більш точно прогнозувати тепломасообмінні процеси під час охолодження.

6. Розроблено методику розрахунків газопроникності скоринки батону та визначено її питому проникну здатність, яка становить $\Pi = 0,37$

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Теличкун В.І.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>			
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Ольховець Є.С.	<i>Назва, додаткова назва</i> Висновки	240273.ДП.24.000.ПЗ				
	<i>Документ затверджено</i> Гавва О.М.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркуш</i> 1/124	

$\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. Цей показник є ключовим для проектування вакуумних камер та вибору режимів охолодження.

7. На основі проведених досліджень була розроблена та запропонована установка для вакуумного охолодження батону масою 0,5 кг у потоці. Використання цієї установки дозволяє скоротити тривалість охолодження з декількох годин до приблизно однієї хвилини, значно зменшити потребу в ручній праці та скоротити виробничі площі для охолодження продукції. Вона забезпечує безперервний потік виробництва, що є ключовим для підвищення ефективності хлібопекарського виробництва та оптимізації технологічного процесу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лісовенко О.Т., та ін.. Технологічне обладнання хлібопекарських і макаронних виробництв. / О.Т. Лісовенко, О.А. Руденко-Грицюк, І.М. Литовченко // - К.: «Наукова думка», 2000. – 281 с.
2. Технологічні комплекси харчових виробництв: Навчальний посібник / В. І. Теличкун, О. М. Гавва, Ю. С. Теличкун, О.О. Губеня, М. Г. Десик, О. М. Чепелюк. – Київ: Видавництво «Сталь», 2017. -456 с.
3. Мирончук В.Г., Гулий І.С., Пушанко М.М. Обладнання підприємств переробної та харчової промисловості/ В.Г. Мирончук, І.С. Гулий, М.М. Пушанко; за ред. В.Г. Мирончука. Підручник. – Вінниця: Нова книга, 2007. – 648 с.
4. Мирончук В.Г., Люлька Д.М., Єщенко О.А., Свідерська О.І. Монтаж та технічний сервіс обладнання/ В.Г. Мирончук, Д.М. Люлька, О.А. Єщенко, О.І. Свідерська. Практикум: навч.посіб. / За ред. В.Г.Мирончука. – К.: НУХТ, 2017. – 162 с.
5. Монтаж, ремонт, наладка обладнання харчових виробництв // П.В. Гурський, Ф.В. Перцевий, І.С. Гулий. Практикум. Навч.посібник. – Харків: 2001. – 230 с.
6. Технологічне обладнання харчових виробництв. Механічне обладнання: Навчальний посібник для студентів механічних фахів. – Одеса:Астропринт, 2001. – 320с.
7. Козак О.С., Теличкун В.І. (2023), Визначення газової проникності скоринки та м'якушки батона в процесі вакуумного охолодження, Харчова промисловість, № 33-34, С. 62-70. <https://doi.org/10.24263/2225-2916-2023-33-34-9>
8. Bradshaw, W. Modulated vacuum cooling for bakery products / W. Bradshaw // Bakers Digest. – 1998. – № 5 – Р. 26–31.

<i>Відповідальна організація</i> НУХТ	<i>Технічне узгодження</i> Теличкун В.І.	<i>Вид документа</i> Пояснювальна записка		<i>Статус документа</i>		
<i>Власник документа</i> НУХТ	<i>Розробник документа</i> Ольховець Є.С.	<i>Назва, додаткова назва</i> Список Використаної літератури	24.0273.ДП.24.000.ПЗ			
	<i>Документ затверджено</i> Гавва О.М.		<i>Інд. змін.</i>	<i>Дата видання</i>	<i>Мова</i> UA	<i>Аркулш</i> 1/124

9. Гавва О.М., Теличкун В.І., Губеня О.О., Десик М.Г., Чепелюк М.Г. (2017), Технологічні комплекси харчових виробництв: Навчальний посібник, Видавництво «Сталь», Київ
10. Козак О.С., Теличкун Ю.С., Теличкун В.І. (2024), Визначення реологічних характеристик м'якушки батона для розрахунку параметрів процесу вакуумного охолодження. Наукові праці НУХТ, 30(4), 90—99. <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2024-30-4-9>
11. Козак О. С., Десик М. Г., Теличкун В. І. (2025). Аналіз способів і обладнання для охолодження хлібобулочної продукції на сучасних хлібопекарських підприємствах. Наукові праці НУХТ, 31(2), 139—155. <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2025-31-2-13>
12. Максим Клапатюк, Олександр Ковальов (2014), Zeovac вакуумне охолодження - технологія майбутнього. 80 міжнародна наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів “Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті” Частина 2, pp. 28-30
13. Yu. Telichkun, V. Telichkun, M. Desik, O. Kravchenko, A. Marchenko, A. Birsa, S. Stefanov. (2013), Perspective direction of complex improvement of rusk wares, Journal of food and packaging Science, Technique and Technologies, 2(2), pp 67-70.
14. Kozak, O., Telychkun, I., Desyk, M., & Telychkun, V. (2020). Research of the process of vacuum cooling of bread. Proceedings of University of Ruse “Angel Kanchev”, 59(10.3), 13–17. <https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/e0110468-608b-4f8e-bb53-11fe2fad6c9d/content>
15. Kozak, O., Nazarenko, I., Desyk M., & Telychkun, V. (2020). Gas permeability of bread. Proceedings of University of Ruse “Angel Kanchev”, 59(10.2), 20–25. <https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/db59e61d-2eeb-4a19-b021-97c3c6137337/content>

16. Kozak, O., Nazarenko, I., Desyk, M., Telychkun, Y., & Telychkun, V. (2021). Influence of vacuum cooling method on quality indices of bread. *Proceedings of University of Ruse*, 60(10.2), 20–23. <https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/a026bfa5-aeef-4908-a9fa-e5eda798a032/content>
17. Kozak, O., & Telychkun, V. (2024), Mathematical model of vacuum cooling process for wheat bread. *Ukrainian Food Journal*, 13(4), 780–793. <https://doi.org/10.24263/2304-974X-2024-13-4-11>.
18. Патент на корисну модель № 156000, МПК А21D15/02, А21D17/00. Апарат для вакуумного охолодження хлібобулочних та кондитерських борошняних виробів з рухомим столиком [Електронний ресурс] / Десик М. Г., Теличкун В. І., Теличкун Ю. С., Козак О. С. ; заявник Національний університет харчових технологій. – № и 2023 05202 ; заявл.02.11.2023 ; опубл. 24.04.2024, Бюл.№ 17. – Режим доступу: <https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/652d8756-b25c-4981-83b1-ea5a4f3e020d/content>
19. Патент на корисну модель № 156905, МПК А21D15/00, А21D17/00. Апарат для вакуумного охолодження хлібобулочних та кондитерських борошняних виробів з завантажувальним пристроєм [Електронний ресурс] / Десик М. Г., Теличкун В. І., Теличкун Ю. С., Козак О. С. ; заявник Національний університет харчових технологій. – № и 2023 05199 ; заявл. 02.11.2023 ; опубл. 21.08.2024, Бюл.№ 34. – Режим доступу: <https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/aff13eed-ce8c-47f3-8527-ed7c437d3c2/content>
20. Zhu Z., Li Y., Sun D. W., Wang H. W. Developments of mathematical models for simulating vacuum cooling process for food products – a review // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. – 2018. – Vol. 59, No. 5. – P. 715–727. – DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1490696>.

21. Zhu Z., Wu X., Geng Y., Sun D. W., Chen H., Zhao Y., Pan H. Effects of modified atmosphere vacuum cooling (MAVC) on the quality of three different leafy cabbages // *LWT*. – 2018. – Vol. 94. – P. 190–197. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.04.002>.

22. Zhao C. J., Han J. W., Yang X. T., Qian J. P., Fan B. L. A review of computational fluid dynamics for forced-air cooling process // *Applied Energy*. – 2016. – Vol. 168. – P. 314–331. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.01.101>.

23. Zhang L., Sun D. W. Vacuum cooling for the food industry—a review of recent research advances // *Trends in Food Science & Technology*. – 2004. – Vol. 15, No. 12. – P. 555–568. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2004.09.002>.

24. Yan J., Hu Z., Wu P., Xie H., Wei H., Xu H., Gao J. Optimization of hot-plate and microwave combined vacuum freeze drying process of water-oat // *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. – 2017. – Vol. 33, No. 1. – P. 262–270. – DOI: <https://dx.doi.org/10.11975/j.issn.1002-6819.2017.01.036>.

25. Zhang Z., Gao J., Zhang S., Xie Y., Zhao L. Heat and mass transfer modeling of vacuum cooling for porous food material // *Bulgarian Chem Commun*. – 2015. – Vol. 47, No. 4. – P. 1089–1094.

26. Wang L., Sun D. W. Rapid cooling of porous and moisture foods by using vacuum cooling technology // *Trends in Food Science & Technology*. – 2001. – Vol. 12, Nos. 5–6. – P. 174–184. – DOI: [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(01\)00077-2](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(01)00077-2).

27. Wang L., Sun D. W. Modelling vacuum cooling process of cooked meat—part 1: analysis of vacuum cooling system // *International Journal of Refrigeration*. – 2002. – Vol. 25, No. 7. – P. 854–861. – DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-7007\(01\)00094-9](https://doi.org/10.1016/S0140-7007(01)00094-9).

28. Tambunan A. H., Seo Y., Sagara Y., Marishima H., Kawagoe Y. Measurement of evaporation coefficient of water during vacuum cooling of lettuce

// In: *Developments in Food Engineering: Processing of the 6th International Congress on Engineering and Food*. – Springer US, 1994. – P. 328–330. – DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4615-2674-2_102.

29. Tian D., Fen L., Jiangang L., Mengli K., Jingfen Y., Xingqian Y., Donghong L. Comparison of different cooling methods for extending shelf life of postharvest broccoli // *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. – 2016. – Vol. 9, No. 6. – P. 178–185. – DOI: <https://doi.org/10.3965/j.ijabe.20160906.2107>.

30. Song X. Y., Liu B. L. The optimization of volumetric displacement can uniformize the temperature distribution of heated ham during a vacuum cooling process // *Food Science and Technology Research*. – 2014. – Vol. 20, No. 1. – P. 43–49. – DOI: <https://doi.org/10.3136/fstr.20.43>.

31. Song X. Y., Guo Z. Y., Liu B. L., Jaganathan G. K. Evaluation of bubbling vacuum cooling for the small-size cooked pork // *Food and Bioprocess Technology*. – 2018. – Vol. 11. – P. 845–852. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2058-9>.

32. Primo-Martin C., De Beukelaer H., Hamer R. J., Van Vliet T. Fracture behaviour of bread crust: Effect of bread cooling conditions // *Journal of Food Engineering*. – 2008. – Vol. 89, No. 3. – P. 285–290. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.05.005>.

33. Pu Y. Y., Sun D. W. Combined hot-air and microwave-vacuum drying for improving drying uniformity of mango slices based on hyperspectral imaging visualisation of moisture content distribution // *Biosystems Engineering*. – 2017. – Vol. 156. – P. 108–119. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2017.01.006>.

34. Mutlu Ozturk H., Ozturk H. K., Kocar G. Comparison of vacuum cooling with conventional cooling for purslane // *International Journal of Food Engineering*. – 2011. – Vol. 7, No. 6. – Article 2442. – DOI: <https://doi.org/10.2202/1556-3758.2442>.

35. Novotni D., Spoljaric I. V., Drakula S., Cukelj N., Voucko B., Scetar M., Galic K., Curic D. Influence of barley sourdough and vacuum cooling on shelf life quality of partially baked bread // *Food Technology and Biotechnology*. – 2017. – Vol. 55, No. 4. – P. 464–474. – DOI: <https://doi.org/10.17113/ftb.55.04.17.5344>.
36. Liu L., Bi Q. C., Wang G. X. Dynamics of evaporation and cooling of a water droplet during the early stage of depressurization // In: *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition*. – 2009. – Vol. 43826. – P. 1777–1785. – DOI: <https://doi.org/10.1115/IMECE2009-12154>.
37. McDonald K., Sun D. W. Pore size distribution and structure of a cooked beef product as affected by vacuum cooling // *Journal of Food Process Engineering*. – 2001. – Vol. 24, No. 6. – P. 381–403. – DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2001.tb00550.x>.
38. Kan A., Han H. Mathematical heat and mass transfer model and experiment of column vegetable vacuum cooling before reefer container transportation // *Journal of Shanghai Maritime University (Natural Science Edition)*. – 2010. – Vol. 31, No. 3. – P. 58–62.
39. Kinner M., Rüegg R., Weber C. A. et al. Impact of selected baking and vacuum cooling parameters on the quality of toast bread // *Journal of Food Science and Technology*. – 2021. – Vol. 58. – P. 4578–4586. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04945-x>.
40. Huber E., Soares L. P., Carcipfi B. A. M., Hense H., Laurindj J. B. Vacuum cooling of cooked mussels (*Perna perna*) // *Food Science and Technology International*. – 2006. – Vol. 12, No. 1. – P. 19–25. – DOI: <https://doi.org/10.1177/1082013206062387>.
41. Jin T. X., Xu L. Development and validation of moisture movement model for vacuum cooling of cooked meat // *Journal of Food Engineering*. – 2006. – Vol. 75, No. 3. – P. 333–339. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.04.022>.

42. Houska M., Sun D. W., Landifeld A., Zhang Z. Experimental study of vacuum cooling of cooked beef in soup // *Journal of Food Engineering*. – 2003. – Vol. 59, No. 2–3. – P. 105–110. – DOI: [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00435-1](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00435-1).

43. He Z., Qian J., Qu L., Wang Z., Yi S. Simulation of moisture transfer during wood vacuum drying // *Results in Physics*. – 2019. – Vol. 12. – P. 1299–1303. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2019.01.017>.

44. Hibberd G. E., Parker N. S. Measurements of the compression properties of bread crumb // *Journal of Texture Studies*. – 1985. – Vol. 16, No. 1. – P. 97–110. – DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1985.tb00682.x>.

45. Feng C. H., Sun D. W. Optimisation of immersion vacuum cooling operation and quality of Irish cooked sausage by using response surface methodology // *International Journal of Food Science and Technology*. – 2014. – Vol. 49, No. 8. – P. 1850–1858. – DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.12494>.

46. Falcone P. M., Baiano A., Zanini F., Mancini L., Tromba G., Dreossi D., Del Nobile M. A. Three-dimensional quantitative analysis of bread crumb by X-ray microtomography // *Journal of Food Science*. – 2005. – Vol. 70, No. 4. – P. E265–E272. – DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb07182.x>.

47. Drummond L., Sun D. W. Temperature evolution and mass losses during immersion vacuum cooling of cooked beef joints – A finite difference model // *Meat Science*. – 2008. – Vol. 80, No. 3. – P. 885–891. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.04.012>.

48. Dijksterhuis G., Luyten H., de Wijk R., Mojet J. A new sensory vocabulary for crisp and crunchy dry model foods // *Food Quality and Preference*. – 2007. – Vol. 18, No. 1. – P. 37–50. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2005.07.012>.

49. Chuntranuluk S., Wells C. M., Cleland A. C. Prediction of chilling times of foods in situations where evaporative cooling is significant—Part 3.

Applications // *Journal of Food Engineering*. – 1998. – Vol. 37, No. 2. – P. 143–157. – DOI: [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(98\)00089-2](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(98)00089-2).

50. Chuntranuluk S., Wells C. M., Cleland A. C. Prediction of chilling times of foods in situations where evaporative cooling is significant—Part 1. Method development // *Journal of Food Engineering*. – 1998. – Vol. 37, No. 2. – P. 111–125. – DOI: [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(98\)00087-9](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(98)00087-9).