

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) УНУХТХ ім. акад. С.С. Бірюка
Кафедра мехатроніки та накувальної механіки

«До захисту в ЕК»

Директор інституту(декан факультету)
[підпис] Сергій БЛАЖЕНКО
(підпис) (ім'я та прізвище)

«03» 12 2024р.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри
[підпис] Модестина КРИВОПАС-ВОЛОДИНА
(підпис) (ім'я та прізвище)

«03» 12 2024р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

зі спеціальності 131 Прикладна механіка
(код та назва спеціальності)
освітньо-професійної програми Прикладна механіка

на тему: Аналіз вадативності процесу накування із викоресе-
манням моделювання газопого середовища

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ПМ-2-2М

Гестерекко Олег Юрійович
(прізвище, ім'я, по батькові повністю) (підпис)

Керівник Юстин Уволодимир Борисович
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) (підпис)

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

(ім'я та прізвище) (підпис)

(ім'я та прізвище) (підпис)

Рецензент Молька Р.М.
(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]
(підпис)

Київ - 2024р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) УНУХТ Ім. акад. І.С. Курчова
Кафедра електроніки та надважливих технік
Освітній ступінь магістр
Спеціальність 131 Прикладна механіка
Освітньо-професійна програма Прикладна механіка
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри М.ПТ

М. Людина КРИВОПЯС-ВОЛОДИНА
« 01 » 10 2024 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Местерика Омега Юрійовича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Аналіз властивостей процесу пакування із використанням модифікованої лавової серцевої

керівник роботи Костин Володимир Борисович КТН доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «01» 10 2024 року № 859-КС

2. Строк подання здобувачем роботи 06.12.2024

3. Вихідні дані до роботи матеріали зібрані під час проходження переддипломної практики

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

Реферат. Вступ. Розділ 1. Розділ 2. Розділ 3. Розділ 4. Висновок. Список використаної літератури

5. Перелік графічного матеріалу

предметна на 12 сторінок

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 01.10.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

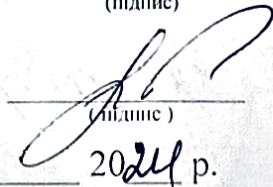
№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Реферат українського	25.10.2024	
2	Реферат російського	25.10.2024	
3	Вступ	26.10.2024	
4	Розділ 1	26.10.2024	
5	Розділ 2	02.11.2024	
6	Розділ 3	12.11.2024	
7	Розділ 4	25.11.2024	
8	Висновок	01.12.2024	
9	Список використаної літератури	02.12.2024	
10	Підготовка презентації	06.12.2024	

Здобувач освіти


(підпис)

Олег МЕСТЕРЕНКО
(ім'я та прізвище)

Керівник роботи


(підпис)

Володимир КОСТІН
(ім'я та прізвище)

«06» 10 2024 р.

Зміст

Реферат	3
Abstract.....	4
Вступ.....	5
Розділ 1. Дослідження та аналіз технології та обладнання пакування продукту в модифікованому газовому середовищі.....	6
1.1. Принципи та механізми дії модифікованого газового середовища	6
1.2. Гази, що використовуються в упаковці модифікованої атмосфери.....	7
1.3. Вплив газів, що використовуються в упаковці модифікованої атмосфери	9
1.4. Пакувальні матеріали.....	13
1.5. Бар'єрність	16
1.6. Активна упаковка для харчових виробництв	17
1.7. Обладнання для пакування в ГМС.....	19
1.7.1. Обладнання для пакування в вакуумну упаковку	19
1.7.2. Обладнання для пакування в інертному середовищі	24
1.7.3. Обладнання для пакування в MAP	27
1.8. Переваги пакування в MAP	31
Висновки до розділу1.....	32

Розділ 2. Аналітичне дослідження характерних параметрів пакування харчових продуктів в ГМС	33
2.1. Дослідження параметрів процесу пакування в MAP.	33
2.2. Аналітичне дослідження параметрів вакууматора	41
2.3. Аналітичне дослідження бар'єрних властивостей пакувальних матеріалів.....	42
Висновок до розділу 2.....	55
Розділ 3. Експериментальне дослідження	56
Висновок до розділу 3.....	59
Розділ 4. Охорона праці	60
4.1. Вимоги безпеки для пакувального обладнання	61
4.2. Безпека при роботі з термоформувальними пакувальними машинами ...	63
4.2. Безпека при роботі з вакууматорами.....	66
Загальні висновки.....	68
Список використаної літератури.....	69

Реферат

Проблема збереження якості харчових продуктів протягом тривалого періоду зберігання є однією з ключових у харчовій промисловості. Втрата свіжості продукції призводить до економічних втрат та погіршення екологічної ситуації через зростання обсягів харчових відходів. Пакування в газомодифікованому середовищі є універсальним рішенням, яке забезпечує:

- продовження терміну придатності продукції;
- збереження органолептичних властивостей (смаку, запаху, текстури);
- зменшення ризику мікробіологічного псування.

Дослідження спрямоване на вдосконалення процесу пакування – пошук оптимальних параметрів процесу пакування; вибір і адаптацію пакувального обладнання; використання екологічних і економічно вигідних пакувальних матеріалів, що сприятиме впровадженню інноваційних рішень у харчову промисловість, підвищенню конкурентоспроможності підприємств та покращенню екологічної ситуації.

Метою є пошук оптимальних параметрів технологічного процесу пакування в модифікованому газовому середовищі для забезпечення збереження якості продукції під час тривалого терміну зберігання.

Предмет дослідження - технологічні процеси пакування харчових продуктів у модифікованому газовому середовищі

Об'єкт дослідження - параметри роботи обладнання для пакування харчових продуктів у модифікованому газовому середовищі, включаючи системи контролю газового середовища, види пакувальних матеріалів та методи їх застосування.

Ключові слова: упаковка, технологія пакування, газомодифіковане середовище, вакууматор, MAP

Abstract

The challenge of preserving the quality of food products over an extended storage period is one of the key issues in the food industry. Loss of product freshness results in economic losses and worsens the environmental situation due to the increasing volume of food waste. Packaging in a modified atmosphere is a universal solution that ensures:

extension of product shelf life;

preservation of organoleptic properties (taste, aroma, texture);

reduction of microbiological spoilage risks.

The research focuses on improving the packaging process by optimizing its parameters, selecting and adapting packaging equipment, and using eco-friendly and cost-effective packaging materials. These efforts aim to promote innovative solutions in the food industry, enhance the competitiveness of enterprises, and improve the environmental situation.

The goal is to determine the optimal parameters of the technological process of packaging in a modified atmosphere to ensure product quality preservation during extended storage periods.

Research Subject: Technological processes of food packaging in a modified atmosphere.

Research Object: Equipment parameters for food packaging in a modified atmosphere, including gas environment control systems, types of packaging materials, and methods of their application.

Keywords: packaging, packaging technology, modified atmosphere, vacuum sealer, MAP

Вступ

Сучасний розвиток технологій пакування харчових продуктів спрямований на забезпечення максимальної безпеки, подовження терміну зберігання та збереження якості продукції. У цьому контексті важливу роль відіграють технології модифікованого газового середовища (МГС), які дозволяють створити оптимальні умови для зберігання продуктів шляхом регулювання складу газів у пакуванні.

Модифіковане газове середовище дозволяє уповільнити біохімічні процеси, знизити швидкість розвитку мікроорганізмів, а також уникнути негативних змін у структурі, кольорі та смакових властивостях продуктів. Такий підхід є надзвичайно актуальним у сучасних умовах, коли споживачі приділяють дедалі більше уваги безпечності та якості продуктів харчування.

Мета магістерської роботи полягає у детальному аналізі властивостей процесу пакування із використанням МГС, дослідженні впливу різних параметрів на якість збереження продуктів, а також розробці рекомендацій щодо оптимізації технології для різних типів харчових продуктів. У роботі також приділено увагу питанням екологічності та економічної доцільності використання даного підходу.

Результати даного дослідження матимуть практичне значення для підприємств харчової промисловості, що прагнуть вдосконалити свої технологічні процеси, а також для розробки нових стандартів у сфері пакування харчових продуктів.

Розділ 1. Дослідження та аналіз технології та обладнання пакування продукту в модифікованому газовому середовищі

Зародження технології пакування в модифікованому газовому середовищі (МГС) відбулося на початку 1930-х років, коли вперше було здійснено комерційне застосування цієї технології для збереження свіжості фруктів та овочів (CAS). У цей період активно використовувалися методи контрольованого газового середовища для транспортування великих обсягів продукції, зокрема, для експорту м'ясних туш з Австралії та Нової Зеландії. Паралельно проводились дослідження впливу різних газових сумішей на збереження м'яса. Зокрема, було встановлено, що зберігання м'яса в атмосфері, що складається зі 100% вуглекислого газу (CO₂), здатне суттєво продовжити термін придатності замороженої свинини та баранини, фактично подвоївши його. Аналогічні дослідження проводились і для продуктів птахівництва, також з позитивними результатами щодо подовження терміну зберігання при використанні CO₂. Експерименти показали, що навіть збільшення концентрації CO₂ до 25% вже дає помітний ефект у збереженні свіжості курятини. Впровадження МГС для роздрібної торгівлі свіжим м'ясом розпочалося на початку 1970-х років, а в 1980-х роках ця технологія набула широкого застосування в Європі, де м'ясна продукція в МГС-упаковці стала звичним явищем на полицях магазинів. З плином часу сфера застосування МГС значно розширилася, охопивши широкий спектр продуктів, від м'яса та птиці до хлібобулочних та кондитерських виробів, снєків, сирів та салатів. Статистичні дані свідчать про значне зростання популярності МГС-упаковки серед споживачів: у Великобританії обсяги продажів зросли з 2 мільярдів упаковок в середині 1990-х до 2,8 мільярдів у 1998 році, при цьому м'ясні вироби залишалися лідерами продажів у цьому сегменті (29% та 15% від загального обсягу відповідно).

1.1. Принципи та механізми дії модифікованого газового середовища

Принципи та механізми дії модифікованого газового середовища (МГС) базуються на зміні складу атмосфери навколо продукту з метою

сповільнення процесів псування, таких як ріст мікроорганізмів, ферментативні реакції та хімічні зміни.

1. в середовищі інертного газу (N₂, CO₂, Ar);
2. у регульованому газовому середовищі (РГС), коли склад газової суміші повинен змінюватися лише в заданих межах, що потребує значних капіталовкладень в обладнання та великих витрат на забезпечення оптимальних умов зберігання продукції;
3. у модифікованому газовому середовищі (МАР), коли кисень в упаковці заміщується сумішшю інертних газів, що пригнічує розмноження мікроорганізмів.

Технологія збереження продуктів за допомогою Модифікованого Газового Середовища (МГС) успішно використовується у споживчій упаковці та отримала загальноприйнятту англomовну назву МАР (Modified Atmosphere Packaging).

Це найсучасніший спосіб збереження якості та свіжості продуктів харчування, він дозволяє у кілька разів збільшити термін зберігання без заморожування, а також виключити застосування хімічних добавок та консервантів. Гази, що становлять атмосферне повітря – азот, кисень та двоокис вуглецю, у необхідних пропорціях використовуються для виробництва газової суміші, в якій чудово зберігаються свіжі продукти харчування.

Для пакування в газовому середовищі використовуються плівки та контейнери з високими бар'єрними властивостями.

1.2. Гази, що використовуються в упаковці модифікованої атмосфери

Одним із видів упаковки, що продовжують термін придатності харчових продуктів, є упаковка в модифікованому газовому середовищі (МГС). Суть упаковки у МГС – у заміщенні атмосферного повітря сумішшю

атмосферних газів, що пригнічує розмноження мікроорганізмів. Гази, що становлять атмосферне повітря – азот, кисень та двоокис вуглецю, у необхідних пропорціях використовуються для виробництва газової суміші, в якій чудово зберігаються свіжі продукти харчування^[1, 2, 3].

Продукти, що упаковують під газом:

Овочі;

Фрукти;

Хлібобулочні та кондитерські вироби;

Кулінарні вироби;

Мясні продукти.

В технології пакування в модифікованому газовому середовищі (MAP) ключову роль відіграють три основні газы: кисень (O₂), вуглекислий газ (CO₂) та азот (N₂). Їх вибір та пропорції визначаються специфікою продукту, що пакується, з метою оптимізації терміну придатності та збереження смакових якостей. Крім цих трьох, в окремих випадках, наприклад, для кави та снєків, застосовують інертні газы, такі як аргон, хоча інформації про їхню ефективність та переваги порівняно з іншими газами недостатньо. В експериментальних умовах досліджувалась можливість використання оксиду вуглецю (CO) та діоксиду сірки (SO₂).

Вуглекислий газ (CO₂) – безбарвний газ, що у високих концентраціях може мати ледь відчутний запах. Він добре розчиняється у воді, утворюючи вугільну кислоту, що зумовлює зниження рН середовища. Розчинність CO₂ збільшується зі зниженням температури, що пояснює його вищу антимікробну активність при зберіганні продуктів в холодильних умовах (нижче 10°C). Важливо враховувати, що значна розчинність CO₂ може призвести до зменшення об'єму газу в упаковці та її деформації.

Кисень (O_2) – хімічно активний газ без кольору та запаху, що підтримує горіння. Він відіграє важливу роль у процесах псування харчових продуктів, зокрема, сприяє окисленню жирів, зміні кольору та окисленню пігментів. Оскільки більшість мікроорганізмів, що викликають псування, потребують кисню для розвитку, його концентрацію в MAP-упаковці знижують. Однак, надмірне зменшення вмісту кисню може призвести до небажаних змін у якості та безпеці деяких продуктів, таких як зміна кольору червоного м'яса, прискорене дозрівання фруктів та розвиток анаеробних бактерій.

Азот (N_2) – інертний газ без запаху, смаку та кольору, з низькою розчинністю у воді та інших харчових компонентах. Він не підтримує ріст аеробних мікроорганізмів, але не впливає на анаеробні. В MAP-упаковках азот використовується для компенсації зменшення об'єму газу, спричиненого розчиненням CO_2 .

Оксид вуглецю (CO) – безбарвний та легкозаймистий газ, що досліджувався для використання в MAP для м'яса та запобігання потемнінню салатів. Однак, через його токсичність та здатність утворювати вибухонебезпечні суміші з повітрям, його комерційне застосування обмежене.

Благородні гази, такі як гелій, аргон, ксенон та неон, також знаходять застосування в пакуванні харчових продуктів, зокрема, снєків. Попри це, наукові дані, що підтверджують їхню значну перевагу над азотом, наразі обмежені.

1.3. Вплив газів, що використовуються в упаковці модифікованої атмосфери

Харчові продукти можуть містити різноманітні мікроорганізми, включаючи бактерії (у вегетативній формі та у вигляді спор), дріжджі, цвіль,

найпростіші та віруси. Хоча головною метою пакування є запобігання розвитку бактерій, дріжджів та цвілі, важливо пам'ятати, що навіть якщо деякі патогенні мікроорганізми не розмножуються в харчовому продукті, вони можуть залишатися життєздатними протягом терміну придатності та викликати харчові отруєння або захворювання при споживанні. Тому, контроль за всіма видами мікроорганізмів є важливим аспектом забезпечення безпеки харчових продуктів. У цьому розділі розглянуто основні групи мікроорганізмів, ріст яких може контролюватися або на який може впливати пакування в модифікованій атмосфері (MAP).

Вплив кисню (O₂)

Мікроорганізми відрізняються за своїми потребами в кисні для дихання та метаболізму. За цією ознакою їх поділяють на кілька груп:

- **Аероби:** Це мікроорганізми, які потребують кисень для росту та розвитку. До цієї групи належать багато бактерій, що викликають псування харчових продуктів, зокрема, грамнегативні бактерії роду *Pseudomonas*, які є одними з найпоширеніших збудників псування. Також до аеробів належать деякі патогенні бактерії, такі як *Vibrio parahaemolyticus*. Важливо зазначити, що деякі інші види *Vibrio* класифікуються як факультативні анаероби.
- **Мікроаерофіли:** Ці мікроорганізми ростуть за низьких концентрацій кисню. Тому створення гіпоксичного (з низьким вмістом кисню) середовища може бути ефективним для пригнічення росту деяких важливих патогенів, таких як *Campylobacter jejuni* та *Listeria monocytogenes*. Деякі мікроаерофільні бактерії, наприклад, *Lactobacillus*, можуть потребувати підвищеного рівня вуглекислого газу (CO₂) для оптимального росту навіть за умов низького вмісту кисню.
- **Факультативні анаероби:** Ці мікроорганізми здатні рости як за наявності кисню, так і за його відсутності. Зазвичай вони найкраще

ростуть в аеробних умовах, але можуть адаптуватися до анаеробних. До цієї групи належить багато важливих родів ентеробактерій, включаючи патогенні види, такі як *Escherichia coli*, *Salmonella* та *Shigella*, а також *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*, *Brucella*, *Vibrio* та деякі види *Bacillus*. *Aeromonas hydrophila* є умовно-патогенним мікроорганізмом, що часто зустрічається в рибі та рибних продуктах. Багато штамів *Aeromonas hydrophila* є психрофільними, тобто здатними рости за низьких температур (від 3 до 5 °C).

- **Анаероби:** Ці мікроорганізми не здатні рости за наявності кисню і навіть можуть бути інгібовані або знищені ним. До цієї групи належить патогенна бактерія *Clostridium botulinum*, збудник ботулізму. Видалення кисню, наприклад, за допомогою вакуумного пакування, ефективно пригнічує ріст аеробних мікроорганізмів, як тих, що викликають псування, так і патогенних, тим самим продовжуючи термін зберігання продукту. Однак, слід пам'ятати, що в таких умовах можуть розвиватися анаеробні мікроорганізми, включаючи згаданий вище *Clostridium botulinum*, а також деякі штами *Escherichia coli* та *Aeromonas hydrophila*, які здатні рости в анаеробних умовах.

Вплив вуглекислого газу (CO₂)

Антимікробні властивості вуглекислого газу відомі вже давно. Дослідження показали, що CO₂ ефективний проти психротрофних бактерій (здатних рости за низьких температур) і може значно продовжити термін зберігання продуктів, що зберігаються в холодильнику.

Існує кілька теорій щодо механізму дії CO₂ на мікроорганізми. Загалом, CO₂ збільшує лаг-фазу (час адаптації) та час генерації (подвоєння кількості) мікроорганізмів, і цей ефект посилюється за низьких температур. Серед основних механізмів антимікробної дії CO₂ виділяють:

- Зниження рН середовища внаслідок розчинення CO₂ та утворення вугільної кислоти.
- Інгібування ферменту сукцинатдегідрогенази (сукцинатоксидази) при концентраціях CO₂ понад 10%.
- Пригнічення активності деяких декарбоксилаз.
- Зміни у структурі та функції клітинних мембран мікроорганізмів.

Чутливість різних видів бактерій до CO₂ варіюється. Загалом, грамнегативні бактерії більш чутливі до CO₂, ніж грампозитивні. Важливо пам'ятати, що ефективність CO₂ залежить від температури, тому для забезпечення безпеки продукту необхідно підтримувати належний температурний режим протягом усього ланцюжка постачання. Слід також зазначити, що CO₂ може стимулювати ріст деяких штамів *Clostridium botulinum*.

CO₂ добре розчиняється у воді та ліпідах, особливо за низьких температур. Це може призвести до зменшення об'єму газу в упаковці та її деформації, особливо у продуктах з високим вмістом вологи та жиру. Для запобігання цьому ефекту часто використовують азот як газ-наповнювач. Для ефективного контролю росту бактерій та цвілі зазвичай використовують концентрацію CO₂ не менше 20%.

Вплив азоту (N₂)

Азот є відносно інертним газом. У MAP він використовується для заміщення повітря, зокрема кисню. Видалення кисню з упаковки пригнічує або зупиняє ріст аеробних мікроорганізмів, що викликають псування. Крім того, азот створює протитиск всередині упаковки, запобігаючи її здуванню або руйнуванню, особливо для продуктів з високим вмістом вологи та жиру. Це пов'язано з тим, що CO₂ розчиняється у воді та жирах, що призводить до

зменшення об'єму газу в упаковці. Азот, будучи нерозчинним, компенсує цю втрату об'єму.

Додаткові роз'яснення та розширення:

- **Вплив комбінації газів:** Ефективність MAP часто досягається завдяки комбінованому використанню газів. Наприклад, поєднання CO₂ для пригнічення мікроорганізмів та N₂ для запобігання деформації упаковки.
- **Вплив на інші мікроорганізми:** Хоча основна увага приділяється бактеріям, дріжджі та цвіль також можуть бути проблемою. CO₂ також ефективний проти багатьох видів цвілі.
- **Важливість інших факторів:** Ефективність MAP залежить не тільки від складу газової суміші, але й від інших факторів, таких як температура зберігання, початкова мікрофлора продукту, тип пакувального матеріалу та гігієна виробництва.

Цей розширений варіант надає більш повну інформацію про вплив газів у MAP на різні групи мікроорганізмів та фактори, що впливають на ефективність цієї технології.

1.4. Пакувальні матеріали

Вибір відповідних пакувальних матеріалів є критично важливим для забезпечення якості та безпеки харчових продуктів, запакованих у модифікованому газовому середовищі (MAP). Найбільш поширеними матеріалами для MAP є гнучкі та напівжорсткі пластики, а також пластикові ламінати. Пластмаси займають значну частину ринку харчової упаковки, і прогнозується подальше зростання їх використання.

Пластикові матеріали мають ряд переваг, що роблять їх привабливими для харчової упаковки: легкість формування, невелика вага, прозорість, можливість термічного зварювання та достатня міцність. Постійно ведуться

розробки нових видів пластиків з покращеними властивостями для конкретних застосувань у харчовій промисловості.

Важливо зазначити, що жоден окремих вид пластику не має ідеальних властивостей для всіх типів харчової упаковки. Тому, більшість плівок для МАР є багатошаровими структурами, що складаються з декількох шарів різних пластиків. Завдяки технологіям ламінування та нанесення покриттів, різні види пластиків комбінуються для створення міцних плівок, листів або пакетів. Ретельний вибір кожного пластикового компонента дозволяє створити матеріал з оптимальними характеристиками, що найкраще відповідає вимогам конкретного продукту.

Пластикові контейнери для МАР використовуються у різних формах: гнучкі плівки для пакетів, мішків, подушок та верхніх покриттів, а також жорсткі та напівжорсткі конструкції для нижніх піддонів, тарілок, склянок та чашок. Найбільш поширені гнучкі пластикові ламінати виготовляються з поліетилену (PE), поліпропілену (PP), поліаміду (нейлон), поліетилентерефталату (PET), полівінілхлориду (PVC), полівініліденхлориду (PVdC) та етиленвінілового спирту (EVOH). Для напівжорстких конструкцій зазвичай використовують PP, PET, PVC-U та пінополістирол.

Основні пластики, що використовуються в МАР:

- **Етиленвініловий спирт (EVOH):** У сухому стані EVOH має відмінні бар'єрні властивості щодо газів. Однак, він чутливий до вологи, тому його завжди ламінують між гідрофобними полімерами, такими як PE або PP. EVOH забезпечує високу механічну міцність, стійкість до масел та органічних розчинників, а також термостійкість. Він є важливим компонентом у багатошарових плівках для МАР, забезпечуючи газовий бар'єр.
- **Поліетилен (PE):** PE – це група полімерів з різною щільністю (ПВД, ПНД, ЛПВД). PE має низьку газопроникність, але є відмінним бар'єром

для водяної пари. Тому, у MAP його використовують у комбінації з іншими матеріалами для забезпечення газового бар'єру. Модифіковані види PE, такі як іономери (наприклад, Surlyn) та EVA, мають покращені властивості термічного зварювання.

- **Поліаміди (РА, нейлон):** Нейлон характеризується високою міцністю на розрив, стійкістю до проколів та стирання, а також гарною герметичністю. Однак, його бар'єрні властивості погіршуються під впливом вологи. Тому, нейлон часто ламінують з PE для забезпечення герметичності та захисту від вологи.
- **Поліетилентерефталат (PET):** PET має хороші бар'єрні властивості для газів та водяної пари, високу міцність, прозорість та термостійкість. Кристалічний PET (CPET) використовується для виготовлення контейнерів, придатних для розігріву в мікрохвильовій печі.
- **Поліпропілен (PP):** PP – універсальний полімер, що використовується для гнучких, жорстких та напівжорстких конструкцій. Він має хороші бар'єрні властивості для водяної пари, але низькі для газів. PP придатний для розігріву в мікрохвильовій печі (окрім жирних продуктів).
- **Полістирол (PS):** Чистий PS є крихким матеріалом з обмеженим застосуванням у MAP. Пінополістирол (EPS) використовується для піддонів, але потребує ламінування з бар'єрними матеріалами, такими як EVOH.
- **Полівінілхлорид (PVC):** PVC має відносно низьку температуру розм'якшення та добрі технологічні властивості для термоформування. Його бар'єрні властивості є помірними, тому його часто ламінують з PE.
- **Полівініліденхлорид (PVdC):** PVdC має чудові бар'єрні властивості для газів, водяної пари та запахів, а також високу стійкість до масел,

жирів та органічних розчинників. На відміну від EVOH, його бар'єрні властивості мало залежать від вологості.

Вибір пакувального матеріалу для MAP є складним завданням, що вимагає врахування багатьох факторів, таких як тип продукту, необхідний термін зберігання, умови зберігання та транспортування, а також вартість. Оскільки жоден окремих пластик не є універсальним, для досягнення оптимальних результатів найчастіше використовують багат шарові матеріали, що поєднують різні види пластиків з метою отримання необхідних бар'єрних, механічних та термічних властивостей. Ретельний аналіз вимог до упаковки та властивостей доступних матеріалів є запорукою успішного застосування технології MAP.

1.5. Бар'єрність

Головним критерієм у виборі тари для упаковки в газомодифікованому середовищі є бар'єрність – «утримання» зміненої захисної атмосфери в середині тари, що перешкоджає проникненню факторів «агресивного» впливу (вологи, бактерієвмісного повітря, сторонніх різких запахів, тощо) в середину. Бар'єрними матеріалами є: скло, жерсть і алюміній (алюмінієві, консервні та інші жерстяні банки), численні полімерні (пластикові) вироби: судки, стакани, контейнери, корекси, багатосекційні упаковки, полікарбонатна гастрономічна тара, вакуумні пакети, тощо. Найбільш поширеною пластиковою упаковкою, що збільшує термін зберігання є контейнери (судки), стаканчики, поліетиленові пакети.

Крім бар'єрності тари, необхідно підбирати спеціальний бар'єрний покривний матеріал (плівку, фольгу, ламінований матеріал). Як правило, існує три бар'єрних полімерних матеріали, які використовуються в харчовій промисловості. Це: PA (поліамід), PET (поліетиленерефталат), EVOH (матеріал, який входить в склад упаковки в якості одного з її шарів – сополімер

етилену і вінілового спирту – спеціальна прозора смола, яка «цементує» в пакувальному матеріалі мікропори, здатні пропускати газ).

Багато виробників упаковки переконують в існування так званого «низького», «середнього» та «високого» бар'єрів. Насправді ж таке твердження є неможливим, адже бар'єр або існує, або ж він взагалі відсутній. Наприклад, для того, щоб зберегти зернистий сир 20 діб без додавання консервантів в середовищі інертного вуглекислого газу, необхідно використовувати абсолютний бар'єр – PET або EVOH. При цьому варто відмітити, що деякі не бар'єрні харчові пластики дають ефект бар'єру завдяки своїй товщині і насправді збільшують термін зберігання продукту на кілька діб.

1.6. Активна упаковка для харчових виробництв

Термін «активна упаковка» з'явився в науково-технічній літературі на початку 90-х рр. «Активна упаковка» містить спеціальні добавки (поглиначі газів і вологи, ароматизатори, антимікробні та ферментні препарати), що сприяють поліпшенню товарного вигляду і збереженню органолептичних властивостей харчової продукції, тобто ознак, які впливають на органи чуття. З розвитком техніки і технології отримання пакувальних матеріалів розширюються функції упаковки. З інертного, індиферентного бар'єру між харчовим продуктом і навколишнім середовищем упаковка в даний час все більше перетворюється на фактор виробництва, оскільки за її допомогою можна:

- цілеспрямовано змінювати склад продукту. У цьому випадку для виготовлення упаковки застосовуються біологічно активні матеріали з іммобілізованими ферментами (добавка щільно утримується в матриці полімерного матеріалу);
- захищати продукти харчування від мікробного псування, продовжуючи тим самим час їх «життя». Наприклад, термін зберігання ковбасної продукції в «активній»* оболонці збільшується в 2–3 рази;
- створювати оптимальне газове середовище всередині оболонки, що

широко використовується під час зберігання продуктів харчування в модифікованому і регульованому середовищі. Застосування такої упаковки для роздрібної торгівлі недоцільно через досить високі ціни, однак на заході широко використовується метод складського зберігання овочів і фруктів у великих мішках з віконечком з селективно-проникного матеріалу. Фрукти, збережені таким чином, набагато довше 96 залишаються свіжими, упаковка окупається за рахунок усунення причин псування і всихання товару; • регулювати температуру обробки продуктів харчування в умовах мікрохвильового нагрівання (наприклад, використовуючи металізовані полімерні матеріали). Продукт в металізованій упаковці в СВЧ-печі може розігріватися до 200 °С і вище. У цьому випадку велика частина тепла генерується в покритті, і продукт підсмажується як на сковороді, що недосяжно під час мікрохвильового нагрівання. Такі упаковки по праву носять назву «активних». Цей напрямок представляє безперечний інтерес, оскільки введення добавки не в їжу, а в матрицю полімерної оболонки дозволяє пролонгувати дію добавки, регулюючи швидкість її масопереносу в харчовий продукт. При цьому забезпечується необхідний градієнт концентрації добавки на поверхні захисної оболонки, що безпосередньо контактує з харчовим продуктом. Важливою перевагою «активних» упаковок є те, що завдяки іммобілізації добавок міграція їх у харчовий продукт зведена до мінімуму (або оптимально регулюється), оскільки за останніми даними багато харчових добавок приховують у собі певну загрозу здоров'ю. Наприклад, відома всім лимонна кислота, часто вводиться в склад продуктів, незважаючи на свою уявну «необразливість», може виявитися шкідливою за надмірного споживання. Звичайно, за нормального харчування такий вплив буде непомітним, проте для певної групи людей, в раціоні яких консерви і напівфабрикати складають значну частину, такі харчові добавки можуть бути дійсно шкідливими.

1.7. Обладнання для пакування в ГМС

1.7.1. Обладнання для пакування в вакуумну упаковку

Вакуумна упаковка – це спосіб упаковки, який видаляє повітря з упаковки перед запечатуванням. Цей метод полягає в тому, що предмети поміщають в пакет із поліетиленової плівки, видаляють повітря зсередини та запечатають пакет. [4] Термозбіжна плівка іноді використовується для щільного прилягання до вмісту. Метою вакуумного пакування зазвичай є видалення кисню з контейнера, щоб подовжити термін придатності харчових продуктів і, за допомогою гнучких форм упаковки, зменшити об'єм вмісту та упаковки. [5, 6]

Вакуумна упаковка зменшує вміст кисню в атмосфері, обмежуючи ріст аеробних бактерій або грибків і запобігаючи випаровуванню летючих компонентів. Його також зазвичай використовують для тривалого зберігання сухих харчових продуктів, таких як крупи, горіхи, в'ялене м'ясо, сир, копчена риба, кава та картопляні чіпси. На більш короткочасній основі вакуумне пакування також можна використовувати для зберігання свіжих продуктів, таких як овочі, м'ясо та рідини, оскільки воно пригнічує ріст бактерій. [7]

Продукти для вакуумного пакування з використанням поліетиленових пакетів, каністр, пляшок або банок доступні для домашнього використання.

Для делікатних харчових продуктів, які можуть бути подрібнені під час процесу вакуумного пакування (наприклад, картопляних чіпсів), альтернативою є заміна внутрішнього газу на азот. Це має такий самий ефект, як пригнічення псування через видалення кисню.

Безкамерні та камерні вакуумні пакувальники (рис.1.1.) - це два основних типи обладнання, які використовуються для вакуумного пакування продуктів. Кожен з них має свої переваги та особливості, що важливо враховувати при виборі відповідного обладнання для ваших потреб.

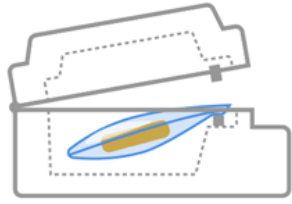

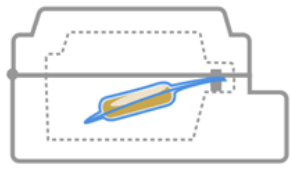
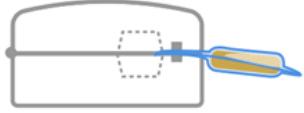
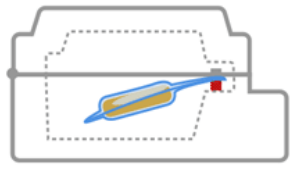
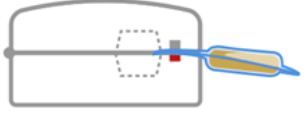
Sealing Process	Chamber Vacuum Sealer	External Vacuum Sealer
1 Align the bag with the seal bar		
2 Air is drawn out of the bag		
3 The seal bar fuses the bag together for a tight seal		

Рис.1.1. Схема технологічного процесу вакуумного пакування і в обладнанні камерного та безкамерного типу.

Безкамерні вакуумні пакувальники, як правило, компактніші та зручніші для домашнього використання. Вони підходять для пакування невеликих порцій продуктів, таких як окремі порції м'яса чи риби, фруктів та овочів. Основною перевагою безкамерних пакувальників є їхня доступність та простота використання.

Передбачають кріплення пакета до вакуумного запаювального пристрою зовні. Далі пакувальник видалить повітря та запечатає пакет. Для запечатування пакету часто використовують термозварювач. Зазвичай у цьому обладнанні використовується сухий поршневий вакуумний насос, який часто вважається насосом, який не потребує технічного обслуговування. Лише для запечатування сухих товарів, це кращий метод. Відомо, що вологі продукти викликають внутрішню корозію цих сухих поршневих насосів.

Камерний пакувальник - це професійне обладнання, у якому повітря відкачується зі спеціального відсіку - камери, та призначене для пакування великих обсягів продукції.

Поділяються на: однокамерні (оис.1.2) та двокамерні (рис.1.4) моделі.

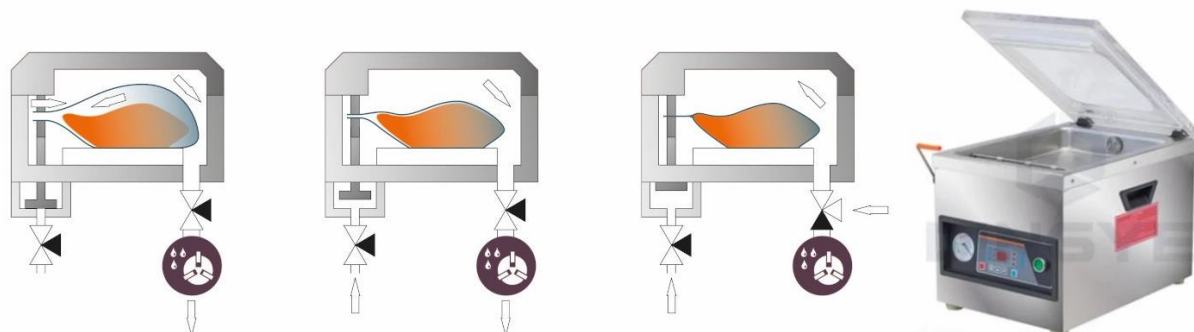


Рис. 1.2. Три етапи процесу в камерній пакувальній машині: 1. Відкачування, 2. Герметизація, 3. Аерація.

Однокамерні вакууматори (рис1.2) мають відносно не великі розміри, можуть бути настільного або підлогового типу установки та, зазвичай, обладнані однією або двома запаювальними рейками. Вакуумні пакувальники є популярним і серед великих виробників, і у ресторанному бізнесі, оскільки мають широку розмірну лінійку та різноманіття комплектацій. Таким чином, кожен може знайти модель, яка відповідатиме виробничим потужностям та умовам підприємства.

Наприклад. Видалення повітря з камери пакувальної машини знижує тиск і вміст кисню зменшується. При цьому створюється градієнт тиску від внутрішньої частини м'яса до його поверхні. Це може призвести до розширення газових порожнин у м'ясі та виходу газів. Якщо м'ясо дуже вологе, вода з його поверхні може випаруватися, коли тиск падає нижче тиску пари і кількість газу швидко зростає (рис. 1.3). Тиск у пакувальній камері тепер падає дуже повільно, тому що вакуумний насос має відкачати додаткову водяну пару. Таким чином, кількість води на поверхні м'яса, яка може випаруватися, і температура м'яса мають значний вплив на досяжний тиск у

камері вакуумної машини. Завдяки вентиляції пакувальної камери мішок притискається до поверхні м'яса, а атмосфера, що залишилася в мішку, стискається. Залежно від характеристик продукту (газові кишені та вміст води) тиск у пакувальному пакеті може знову зрости після процесу пакування, оскільки газ із м'яса може вийти. Це означає, що кінцевий тиск, за допомогою якого досягається найкращий результат упаковки, залежить від стану м'яса. [8]

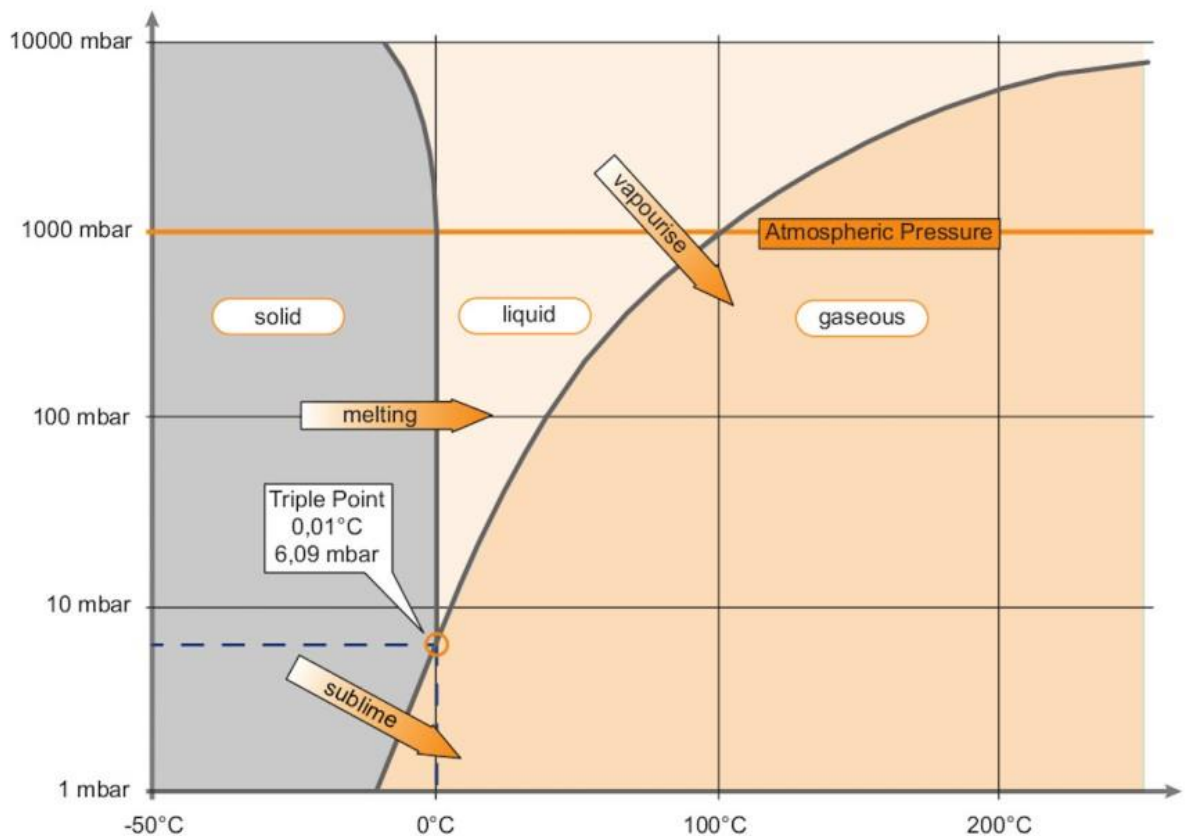


Рис. 1.3. Крива тиску водяної пари вказує на залежність сукупних умов температури та тиску.

Двокамерний вакууматор (рис. 1.4). У таких моделях вакуумування відбувається по черзі. Поки в одній із камер проходить процес вакуумування, в іншу завантажується продукція. Завдяки цьому продуктивність зростає удвічі. Така машина для вакуумного пакування має тільки підлоговий тип установки, обладнана чотирма зварювальними рейками та потужним насосом, який здатний відкачати повітря з камери за 15-20 секунд. Двокамерні

пакувальники вакуумні є найкращим вибором для масштабних виробників, оскільки можуть запакувати величезні обсяги продукції.

При виборі між безкамерним та камерним вакуумним пакувальником важливо враховувати обсяги упаковки, регулярність використання та особливості продуктів, які ви збираєтеся пакувати. Обидва типи обладнання мають свої переваги та можуть бути корисними для збереження свіжості та якості продуктів .



Рис.1.4. Двокамерний вакууматор

Вакууматор ротаційного стрічкового типу

Вакууматор з роторною стрічкою або вакуумний запаювач виконує ту саму функцію, що й двокамерний, як «вакуумний запаювач пакетів». Але ротаційний стрічковий зручніший, оскільки стрічка обертається автоматично, поки пакети поміщаються на запаювальну планку та завершується процес вакуумного запаювання. Вакуумовані та запечатані мішки автоматично розвантажуються, що, очевидно, зручніше. Пакувальна плита вакууматора регулюється на 4 градуси, що дозволяє здійснювати вакуумну упаковку їжі з супом і рідиною.

Вакууматор стрічковий камерний (рис.1.5.).

Принцип роботи. Продукт рухається по конвеєрній стрічці, він автоматично розміщується в машині на ущільнювальній планці, кришка закривається і повітря видаляється. Потім ущільнювальна планка всередині камери запечатує продукт у мішку. Після запечатування мішка камера знову наповнюється повітрям шляхом автоматичного відкриття вентиляційного отвору назовні. Цей зустрічний тиск стискає все повітря, що залишилося в мішку. Потім кришку відкривають і виймають продукт. Машини з автоматичною стрічковою вакуумною камерою зазвичай використовуються для високошвидкісного пакування великих предметів, а також мають можливість вакуумного запаювання рідин. Кришка зазвичай рухається прямо вгору та вниз.



Рис. 1.5. Вакууматор стрічковий камерний

1.7.2. Обладнання для пакування в інертному середовищі

Найчастіше використовується такий інертний газ, як **азот (N₂)**.

Основна функція інертного газу (азоту) в MAP полягає в наступному:

- **Заміщення повітря:** Інертний газ витісняє повітря з упаковки, зокрема кисень (O₂), який сприяє окисленню продуктів та розвитку аеробних мікроорганізмів.
- **Створення об'єму:** Інертний газ забезпечує необхідний об'єм в упаковці, запобігаючи її здуванню або деформації, особливо при розчиненні вуглекислого газу (CO₂) в продукті.
- **Запобігання окисленню:** Інертний газ не вступає в хімічні реакції з продуктом, запобігаючи окисленню жирів, вітамінів та інших компонентів.

Використання **тільки** інертного газу (азоту) в МГС зустрічається рідко і, як правило, застосовується для продуктів, які не потребують захисту від розвитку мікроорганізмів, але чутливі до окислення або механічного пошкодження. Наприклад:

- **Картопляні чипси та інші снеки:** Азот запобігає окисленню жирів та згіркненню продукту, а також створює "подушку", що захищає крихкі снеки від пошкодження під час транспортування.
- **Сухі продукти:** Для сухих продуктів, таких як кава або горіхи, азот використовується для запобігання окисленню та збереження аромату.

Для більшості харчових продуктів в МГС використовується **суміш газів**, де інертний газ (азот) комбінується з вуглекислим газом (CO₂) для пригнічення розвитку мікроорганізмів.

Вибір оптимальної газової суміші залежить від типу продукту, його властивостей та вимог до зберігання.

Використання тільки інертного газу є окремим випадком і застосовується для певних видів продуктів. У більшості випадків інертний газ є одним з компонентів газової суміші, що забезпечує комплексний захист продукту від псування.

Щоб зробити це економічно, процеси газообміну повинні відбуватися швидко, що ставить під сумнів продуктивність традиційних компонентів і систем обробки газу. При швидких змінах швидкості потоку традиційне керування вакуумом може не встигати за попитом, і в цьому випадку впорскування інертних газів має бути відкладено, щоб компенсувати невизначене застосування вакууму. Це не тільки сповільнює процес, але й надає мінливості загальному складу газу в продукті.

Щоб уникнути проблем з процесом, важливо, щоб вакуум був постійним від упаковки до упаковки та не відхилявся від заданого значення.

Для цього використовуються вакуумні регулятори (рис.1.6.).

Забезпечуючи стабільний вакуумний тиск при швидкій зміні швидкості потоку, регулятор вакууму значно зменшує атмосферні коливання від упаковки до упаковки, тим самим покращуючи якість продукту та продуктивність процесу. [9]

Унікальна технологія EVR контролює вакуумний тиск незалежно від джерела тиску подачі вакууму. Це дозволяє регулювати кілька рівнів вакууму незалежно від інших, забезпечуючи їх загальною домашньою системою подачі вакууму. EVR здатний забезпечувати високу швидкість потоку і доступний у портах розміром від 1/4 дюйма до 4 дюймів. Легка гнучка діафрагма є єдиною рухомою частиною, яка дозволяє EVR реагувати на зміни швидкості потоку за мілісекунди. Крім того, рух діафрагми майже без тертя дозволяє дуже точно контролювати вакуумний тиск. З легкими пластиковими корпусами з ПВХ, доступними для більшості застосувань, така ж конструкція також доступна з нержавіючої сталі 316L для роботи в умовах високотемпературного вакууму або хімічної промивки.

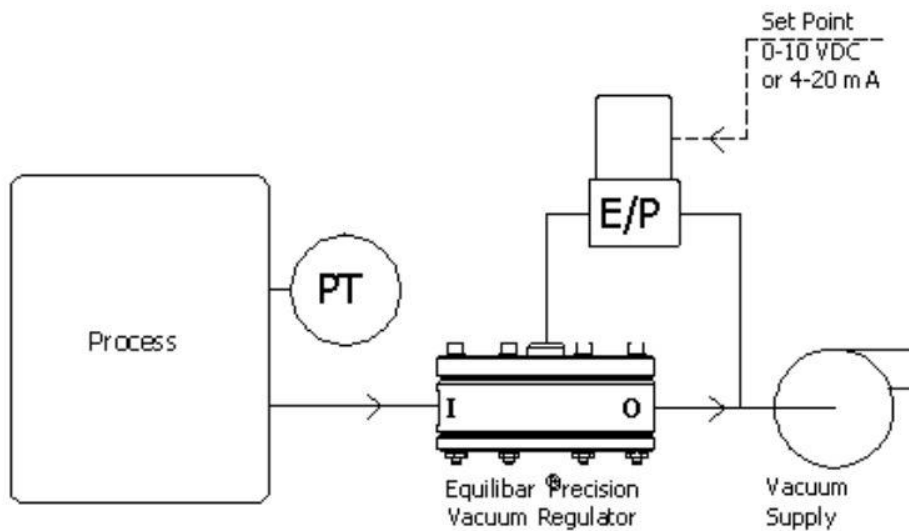


Рис.1.6. Схема вакуумного регулятора Equilibar EVR

1.7.3. Обладнання для пакування в MAP

Основними газами, що застосовуються для упаковки в MAP є кисень, вуглекислий газ азот, співвідношення яких, особливо O₂, залежить від типу пакованого продукту.

Існує два типи MAP: пасивна та активна

Активна MAP - це заміна повітря в упаковці необхідною сумішшю газів.

Пасивна MAP - це середовище, яке утворюється природним шляхом після пакування продукту в обрану плівку (рис.1.7).

Для упаковки з модифікованою пасивною атмосферою використовуються «дихаючі» або проникні плівки (бар'єрні плівки), які з часом створюють бажану атмосферу.

Поліетиленові пакети виготовлені з напівпроникної плівки, яка може контролювати газообмін. Напівпроникний характер плівки базується на діяльності кількох молекул, розташованих усередині плівки. Ці молекули дозволяють O₂ проникати в упаковку зі швидкістю, що компенсує споживання

O₂ яблуками. Аналогічно, надлишковий CO₂ повинен бути випущений з пакета, щоб компенсувати його виділення яблуками.



Рис. 1.7. Пасивна MAP із застосуванням плівкових матеріалів із вибірковою проникністю

Активна MAP - це заміна повітря в упаковці необхідною сумішшю газів. Технологічні схеми обладнання яке працює за цим принципом зображено на рис. 1.8 - рис. 1.11.

У термоформи з MAP подається жорсткий полімерний лист для формування лотків для упаковки та плівка для їх запечаткування. Машини складаються із зони формування, зони наповнення, зони запечаткування (для вакуумування та/або продування газом), системи друку та різання. Система натягу та конвеєрна стрічка переносять плівку та пакети через ці етапи (рис. 1.8.).

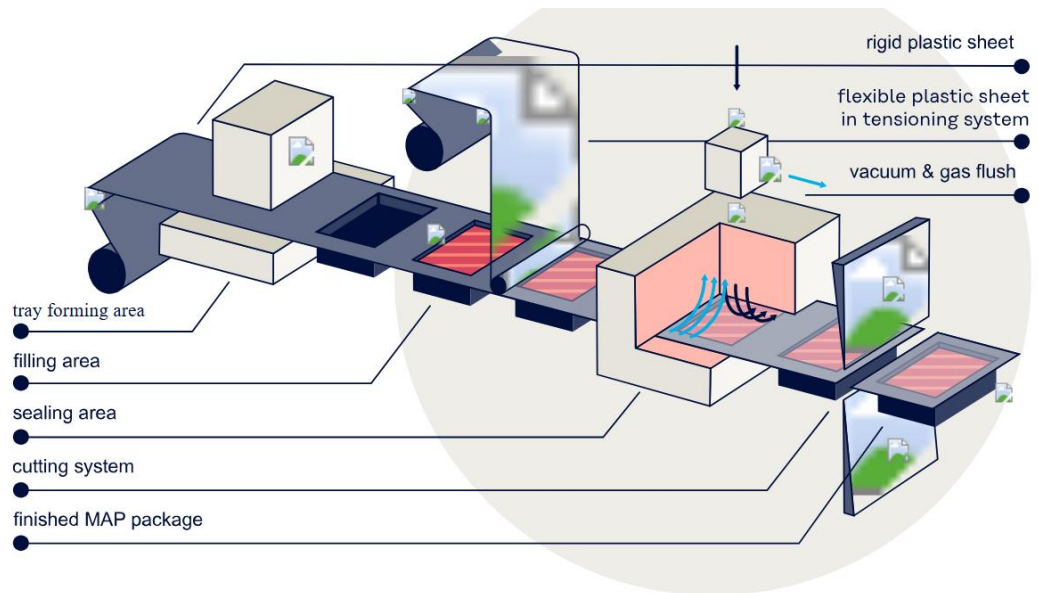


Рис. 1.8. Технологічна схема термоформу для пакування продуктів в MAP

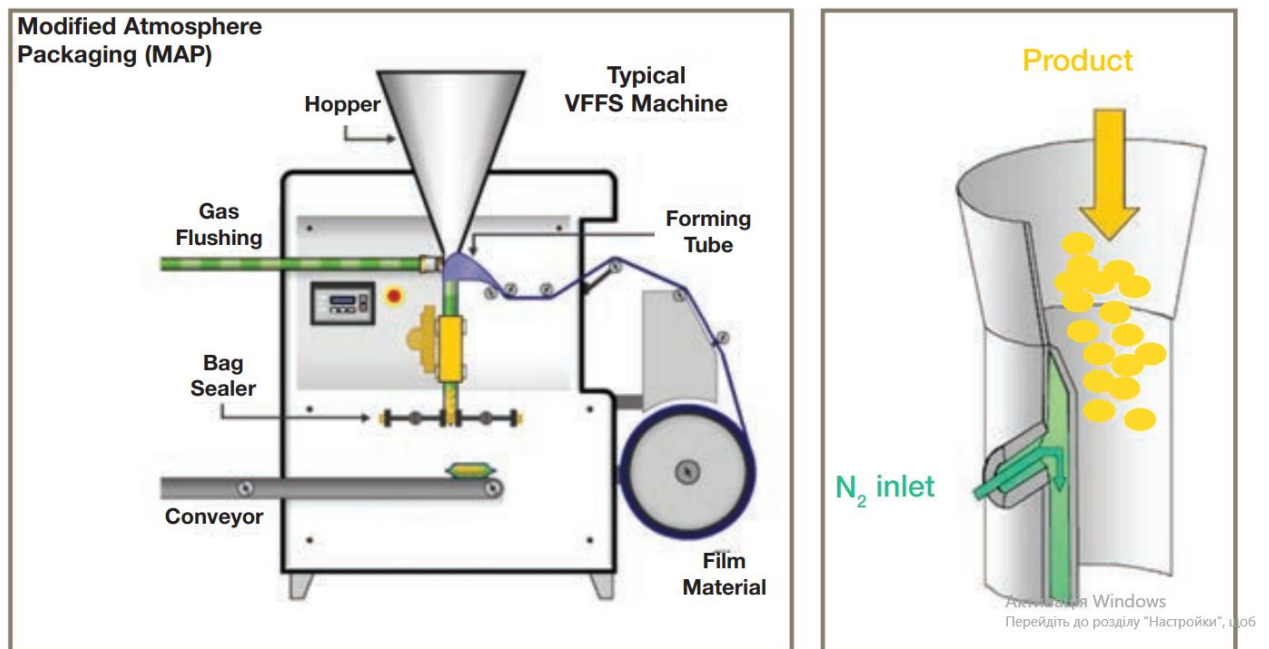


Рис. 1.9. Технологічна схема машини-автомату для пакування продуктів в MAP



Рис. 1.10. Напівавтоматичний запаювач лотківв MAP



Рис. 1.11. Автоматичний запаювач лотків в MAP

Таблиця 1.1. Типові терміни зберігання харчових продуктів (за даними компанії Dr Air Gas)

Продукт	На повітрі	Упаковка з модифікованим газовим середовищем
Свіже м'ясо	2–4 дні	5–8 тижнів
Свіже м'ясо птиці	3–7 днів	7–21 день
Сосиски	2–4 дні	4–5 тижнів
Оброблене м'ясо, нарізка	2–4 дні	4–5 тижнів
Свіжа риба	2–3 дні	5–9 днів
Оброблена риба	2–4 дні	3–4 тижні
Твердий сир	2–3 тижні	4–10 тижнів
М'який сир	4–14 днів	1–3 тижні
Печиво	декілька тижнів	до 1 року
Хліб	декілька днів	до 20 днів
Готовий салат	2–5 днів	5–10 днів
Піца	7–10 днів	2–4 тижні
Пироги	3–5 днів	2–3 тижні
Готові блюда	2–5 днів	7–20 днів
Горіхи, чіпси	4–8 місяців	1–2 роки

1.8. Переваги пакування в MAP

Переваги упаковки MAP: збереження поживних властивостей, завдяки обмеженню розвитку певних мікроорганізмів і загальмування розвитку небажаних процесів; значне продовження стабільності продукту. В основі даної технології пакування лежить принцип заміщення стандартного атмосферного повітря в упаковці газовою сумішшю, яка містить азот (N₂, нейтральний наповнювач), вуглекислий газ (CO₂, пригнічує аеробні бактерії і цвіль) і кисень (O₂, підтримує свіжість продукту за рахунок процесів «дихання» в продукті). Застосування газової суміші на основі цих газів пригнічує ріст мікроорганізмів на поверхні харчового продукту, підтримуючи його мікрофлору на необхідному рівні, зберігає початкові харчосмакові,

ароматичні та інші властивості протягом певного часу, значно збільшує терміни зберігання продукту без зміни його якості.

Висновки до розділу1.

Упаковка в модифікованому газовому середовищі (МАР) має ряд значних переваг порівняно з традиційними методами пакування. Однією з найважливіших переваг є значне продовження терміну зберігання харчових продуктів. Завдяки створенню спеціального газового середовища, розвиток мікроорганізмів, що викликають псування, значно уповільнюється. Крім того, МАР дозволяє зберегти свіжість, смак, аромат та харчову цінність продукту, що є дуже важливим для споживачів. Також слід зазначити, що використання МАР дозволяє зменшити або навіть повністю відмовитись від використання консервантів, що робить продукти більш натуральними та безпечними.

Розділ 2. Аналітичне дослідження характерних параметрів пакування харчових продуктів в ГМС

2.1. Дослідження параметрів процесу пакування в MAP.

Логічний процес вибору параметрів MAP-упаковки, починаючи від вибору продукту та закінчуючи визначенням типу та розміру упаковки, а також необхідності перфорації.

1. Вибір продукту

- Визначити тип продукту (свіжі фрукти, овочі, м'ясо, риба, випічка тощо).
- Проаналізувати фізико-хімічні властивості продукту (вміст вологи, жирів, білків, кислотність).
- Оцінити схильність продукту до псування (окислення, мікробіологічний ріст, втрати аромату чи текстури).

2. Аналіз потреб продукту щодо зберігання

- Визначити критичні чинники, що впливають на зберігання (наприклад, чутливість до кисню, вологості, температури).
- Визначити бажаний термін зберігання продукту.
- Проаналізувати цільові ринки та логістичні умови.

3. Вибір газового складу

- Визначити оптимальний склад газової суміші для продукту:
 - Кисень (O_2): підтримка кольору або зниження анаеробного псування.
 - Вуглекислий газ (CO_2): уповільнення росту мікроорганізмів.
 - Азот (N_2): інертний газ для витіснення кисню та зменшення окислення.
- Врахувати специфічні вимоги до газової суміші (наприклад, низький рівень кисню для швидкопсувних продуктів).

4. Визначення типу упаковки

- Обрати матеріал упаковки:
 - Бар'єрна (з високим рівнем захисту від проникнення газів).
 - Напівбар'єрна (для продуктів, які потребують газообміну).
- Визначити рівень прозорості упаковки (для демонстрації продукту або захисту від світла).
- Оцінити міцність упаковки (для захисту продукту під час транспортування).

5. Вибір розміру упаковки

- Визначити обсяг продукту, який буде пакуватись.
- Вибрати тип упаковки (індивідуальна, групова чи велика тара).
- Забезпечити достатню кількість вільного простору для введення газової суміші.

6. Аналіз необхідності перфорації

- Визначити, чи потрібен газообмін між продуктом та зовнішнім середовищем:
 - Продукти з високою дихальною активністю (свіжі фрукти й овочі) можуть потребувати перфорації.
 - Продукти з низькою активністю (м'ясо, випічка) зазвичай не потребують перфорації.
- Розрахувати кількість та розмір перфорацій відповідно до рівня дихання продукту.

7. Оцінка екологічності та вартості

- Оцінити вплив упаковки на навколишнє середовище (можливість використання біорозкладних матеріалів).
- Аналізувати вартість упаковки відносно очікуваного терміну зберігання та вартості продукту.

8. Тестування та оптимізація

- Провести тестування упаковки для оцінки її ефективності (зберігання, зовнішній вигляд, смакові властивості).
- За потреби адаптувати параметри газового складу або тип упаковки.

9. Впровадження та моніторинг

- Впровадити обрані параметри на виробництві.
- Регулярно моніторити якість продукту та упаковки в реальних умовах зберігання.

При проектуванні систем MAP для свіжих продуктів необхідно розуміти динаміку взаємодій, що встановлюються між продуктом, атмосферою, що утворюється в просторі упаковки, і самою системою пакування. Кожна конструкція MAP повинна бути оптимізована для конкретного продукту, оскільки сільськогосподарські продукти мають різний метаболізм один до одного, і, як зазначалося вище, система MAP повинна збалансувати процеси дихання, транспірації та проникнення газів через упаковку, які відбуватимуться одночасно. Фактори, які впливають як на метаболізм упакованого продукту, так і на проникнення газу через упаковку, слід враховувати при проектуванні системи MAP. Серед цих факторів – тип продукції та стадія дозрівання, характеристики системи пакування та умови зберігання. Стосовно упакованого продукту також необхідно заздалегідь знати його транспірацію, споживання кисню та швидкість утворення CO₂ і етилену в умовах упаковки та оптимальні концентрації цих газів і відносну вологість, які сприяють збільшенню терміну зберігання.

Математичне представлення системи MAP

Зміна складу кожного газу в вільному просторі упаковки залежатиме від метаболічних процесів упакованого продукту та переміщення газу через систему пакування.

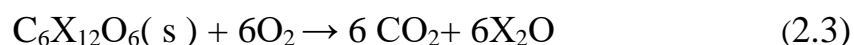
$$\left[\begin{array}{c} \text{Швидкість} \\ \text{накопичення або} \\ \text{зменшення} \\ \text{швидкості газу} \\ \text{в просторі над} \\ \text{упаковкою} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{Швидкість передачі} \\ \text{газу через систему} \\ \text{упаковки} \end{array} \right] + \left[\begin{array}{c} \text{Швидкість утворення} \\ \text{або споживання газу} \\ \text{з продукту} \end{array} \right] \quad (2.1)$$

Для належного проектування системи МАР були розроблені різні математичні моделі для представлення процесів дихання, транспірації та виробництва етилену для різноманітних продуктів садівництва. У цих моделях передбачено відображення швидкості споживання O_2 і утворення CO_2 , етилену та водяної пари з продукту як функцію температури зберігання, концентрації цих газів у вільному просторі упаковки та ваги упакованого продукту. У деяких дослідженнях ці метаболічні процеси, що розвиваються у свіжих продуктах, описуються за допомогою рівнянь ферментативної кінетики, тоді як в інших дослідженнях для їх представлення використовуються емпіричні або напівемпіричні рівняння. Що стосується переміщення газів через упаковку та перфорації, які вона може мати, то, як правило, були розроблені моделі, виведені з закону Фіка, вказуючи масовий баланс для кожного газу в системі та враховуючи вплив температури на швидкість проникнення газу.

Коли продукт упакований, він почне споживати O_2 із вільного простору упаковки та генерувати CO_2 через дихання, водяну пару через транспірацію та етилен. Це створить різницю концентрації між внутрішньою та зовнішньою сторонами упаковки, що призведе до входу O_2 та виходу інших газів у зовнішню атмосферу. Склад різних газів змінюватиметься, доки не буде досягнуто балансу між метаболічними процесами в продукті та передачею газів через упаковку. На цьому етапі система МАР перетворюється на упаковку з рівноважною модифікованою атмосферою (ЕМАР), яка є свого роду самопідтримуваною системою з контрольованою атмосферою, яка підтримуватиметься, доки не буде використано субстрати продукту або поки не зміняться умови зберігання, наприклад температура.

$$\left[\begin{array}{l} \text{Швидкість утворення} \\ \text{або споживання} \\ \text{газу з продукту} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{Швидкість передачі} \\ \text{газу через систему} \\ \text{упаковки} \end{array} \right] \quad (2.2)$$

Термін зберігання свіжого продукту залежить від швидкості його дихання. Такі фрукти, як манго та банан, які мають високу швидкість дихання, швидко псуються. Енергія, що виділяється під час дихання, пов'язана з енергією, необхідною для повного окислення моля субстрату до CO_2 і H_2O . У випадку моля гексози, яка є найпоширенішим вуглеводом, виділяється приблизно 2880 кДж. Кожна молекула гексози окислюється до 6 молекул CO_2 за допомогою 32 молекул аденозиндифосфату (АДФ) і шести молекул O_2 для утворення 12 молекул води. У нормальних фізіологічних умовах від 50 до 60% цієї енергії хімічно захоплюється для утворення 32 молекул аденозинтрифосфату, які необхідні для подальших метаболічних процесів клітини. Оскільки дихання є серією реакцій окислення, швидкість, з якою воно здійснюється, буде пов'язана з концентрацією O_2 у середовищі, і коли ця концентрація зменшується, вивільнена енергія також буде зменшена.



Швидкість транспірації можна визначити як втрату або випаровування води в продукті за одиницю часу. Транспірацію та втрату води можна розглядати як наслідок передачі тепла до та від продукту та різниці тиску пари між продуктом і навколишньою атмосферою. Коли тиск пари в атмосфері менший за тиск пари в продукті, можна вважати, що обидва процеси сприятимуть транспірації. Коли тиск пари стає рівним, транспірація буде розглядатися як наслідок теплообміну до продукту та від нього. Це тепло буде передано для випаровування вологи продукту головним чином із частки розсіяної енергії в процесі дихання (що не використовується в метаболізмі продукту), а також від різниці температур між продуктом і навколишньою атмосферою в процесі охолодження. Частина цієї переданої енергії

змінюватиме температуру продукту у вигляді відчутного тепла, тоді як інша частина перетворюватиметься на приховане тепло через випаровування вологи. Якщо система перебуває в тепловій рівновазі, як у камері з контрольованою температурою, єдиним теплом, яке сприяє випаровуванню вологи в продукті, буде розсіявана частка його дихального тепла. Таким чином, враховуючи вищевикладене, швидкість транспірації у свіжому продукті можна виразити наступним чином:

$$r_{X_{2O}} = \frac{q}{\lambda} \left(\frac{RT}{PM_{X_{2O}}} \right) + k(a_{wp} - a_{wat}), \quad (2.3)$$

де $r_{X_{2O}}$ – швидкість транспірації ($\text{cm}^3 \text{kg}^{-1} \text{d}^{-1}$), q – загальна теплота, передана продукту (kJ d^{-1}), λ – прихована теплота випаровування вологи (kJ kg^{-1}), R — газова стала, T — температура, P — тиск, M_{H_2O} — молярна маса води. Крім того, k — загальний коефіцієнт масопередачі через диференціал водяної пари ($\text{cm}^3 \text{kg}^{-1} \text{d}^{-1}$), a_{wp} — активність води в продукті, a_{wat} — активність води в навколишній атмосфері. Коефіцієнт k буде залежати від температури. Якщо ущільнювальна система не перебуває в тепловій рівновазі, можна припустити, що ефективне тепло, яке сприяє випаровуванню води, окрім градієнта активності води, є розсіяною часткою дихального тепла, щоб спростити розрахунки в рівнянні. У цьому випадку необхідно написати енергетичний баланс пакувальної системи, щоб оцінити зміну температури в продукті.

Рівень дихання (RO): кількість спожитого кисню (O_2) та виділеного вуглекислого газу (CO_2) за одиницю часу

$$RO = \frac{\Delta O_2}{t} \quad \text{або} \quad RO = \frac{\Delta CO_2}{t} \quad (2.4)$$

де ΔO_2 і ΔCO_2 — зміна концентрації газів у пакуванні, t — час.

Дихальний коефіцієнт (RQ): співвідношення між виділеним CO_2 і спожитим O_2 .

$$RQ = \frac{\Delta CO_2}{\Delta O_2} \quad (2.5)$$

Температурна залежність (Q_{10}): зміна швидкості дихання при підвищенні температури на 10°C .

$$Q_{10} = \frac{RO_{T+10}}{RO_T} \quad (2.6)$$

де RO_T — швидкість дихання за температури T .

Частка газів визначає середовище для дихання продукту.

Для фруктів: високий CO_2 (до 20%) і низький O_2 (1-5%).

Для м'яса: низький O_2 (до 0.5%) та високий N_2 (95-99%).

Об'єм газу до об'єму продукту (GPR):

$$GPR = \frac{V_{gas}}{V_{product}} \quad (2.7)$$

де V_{gas} — об'єм газової суміші, $V_{product}$ — об'єм продукту.

Кількість газу для підтримання концентрації:

$$m_{gas} = V_{headspace} \cdot C_{gas} \quad (2.8)$$

де $V_{headspace}$ — об'єм вільного простору в упаковці, C_{gas} — концентрація газу.

Залишковий тиск під час створення розрідження (P):

$$P = \frac{nRT}{V} \quad (2.9)$$

де n — кількість залишкових молекул газу, R — газова стала, T — температура, V — об'єм упаковки.

Швидкість дихання при низькому тиску.

У вакуумі швидкість дихання суттєво знижується через нестачу O_2 . Формула корекції:

$$RO_{vacuum} = RO_{atm} \cdot (P_{vac}/P_{atm}) \quad (2.10)$$

де P_{vac} — тиск у вакуумі, P_{atm} — атмосферний тиск.

Швидкість виділення CO_2 продуктом (R_{CO_2}):

$$R_{CO_2} = k \cdot RO \cdot M \quad (2.11)$$

де k — коефіцієнт проникності упаковки, M — маса продукту.

Розрахунок періоду стабілізації. Час стабілізації газового середовища (t) залежить від проникності матеріалу упаковки (k):

$$t = \frac{V_{headspace} \cdot \Delta C}{k \cdot A \cdot \Delta P} \quad (2.12)$$

де A — площа упаковки, ΔP — перепад тиску, ΔC — зміна концентрації газу.

Втрата вакууму через проникність упаковки

Якщо матеріал упаковки має деяку проникність (k), втрата вакууму через певний час t може бути розрахована так:

$$\Delta P = k \cdot A \cdot t \quad (2.13)$$

де ΔP — приріст тиску, Па; k — коефіцієнт проникності упаковки, Па/м²/с;

A — площа упаковки, м²; t — час, с.[¹⁰]

2.2. Аналітичне дослідження параметрів вакууматора

Основні параметри вакууматора

1. **Потужність вакууматора (P):** визначає, наскільки швидко пристрій створює вакуум.
 - Одиниця виміру: Ватт (Вт).
2. **Максимальна глибина вакууму (Pv):** мінімальний тиск, який може бути досягнутий всередині упаковки.
 - Одиниця виміру: Паскалі (Па) або міліметри ртутного стовпа (мм рт. ст.).
3. **Швидкість відкачування (Q):** кількість повітря, яке пристрій може відкачати за одиницю часу.
 - Одиниця виміру: літри за хвилину (л/хв).
4. **Об'єм камери або упаковки (V):** визначає, який об'єм повітря потрібно видалити для створення вакууму.
 - Одиниця виміру: літри (л).

Відкачування повітря з упаковки описується рівнянням:

$$Pv = P_{atm} \cdot e^{-\frac{Q}{V} \cdot t} \quad (2.14)$$

де Pv — тиск у вакуумі після часу t, Па; P_{atm} — атмосферний тиск (~101325 Па); Q — швидкість відкачування, л/хв; V — об'єм упаковки або камери, л; t — час роботи вакууматора, хвилини.

Час досягнення заданого вакууму

$$t = -\frac{V}{Q} \cdot \ln \left(\frac{P_{target}}{P_{atm}} \right) \quad (2.15)$$

де P_{target} — необхідний залишковий тиск у упаковці, Па.

Розрахунок об'єму видаленого повітря

$$n_{air} = \frac{P_{atm} \cdot V}{RT} \quad (2.16)$$

де n_{air} — кількість молекул повітря, моль; R — універсальна газова стала (8.314 Дж/моль·К); T — температура, К (наприклад, 298 К для 25°C).

2.3. Аналітичне дослідження бар'єрних властивостей пакувальних матеріалів

Ідеальним пакувальним матеріалом для багатьох продуктів вважається той, що не тільки захищає від фізичних пошкоджень, але й ізолює продукт від зовнішнього середовища, будучи повністю інертним та непроникним для будь-яких молекул (кисню, азоту, вуглекислого газу, води, іонів тощо). Однак, в реальності таких матеріалів не існує. Навіть матеріали, що вважаються майже інертними, як скло та метал, мають певні обмеження: скло може виділяти іони, метал може розчинятися, а обидва матеріали пропускають водень. Тому, актуальним завданням є дослідження процесів проникнення газів та парів крізь пакувальні матеріали та їхньої взаємодії з продуктами, щоб покращити термін зберігання та якість пакованої продукції. [9]

Досліджується проникнення вологи та інших речовин у полімерну плівкову упаковку та їх поглинання продуктом. Теоретично аналізуються основні фактори проникнення вологи в герметизовану (зварюванням) упаковку, враховуючи різницю концентрацій вологи з обох боків плівки та її взаємодію з продуктом.

Метою роботи є аналіз бар'єрних властивостей різних полімерних плівкових пакувальних матеріалів, призначених для довготривалого зберігання продуктів.

Після створення модифікованої газової атмосфери (MAP) в упаковці її склад постійно змінюється через біохімічні процеси в продукті та прагнення газів всередині та ззовні упаковки до рівноваги шляхом проникнення крізь плівку, нещільності та мікроотвори швів. Швидкість цих процесів залежить від різниці концентрацій газів. Для збереження MAP пакувальний матеріал повинен мати відповідні бар'єрні властивості протягом усього терміну зберігання. Бар'єрність упаковки означає протидію проникненню кисню, водяної пари, ароматичних речовин, світла та виходу інертних газів. Загалом, плівка повинна бути максимально непроникною для вологи, кисню та інертних газів, світла та ароматичних речовин. Важливо, щоб висока бар'єрність була економічно обґрунтованою та відповідала типу продукту та умовам зберігання. Проникність полімерної упаковки визначається здатністю пропускати рідини, пари та гази. Проникнення газів через непористі плівки описується механізмом «розчинення — дифузія», що передбачає послідовні перескоки молекул дифундуючої речовини. Існуючі моделі цього механізму враховують вільний об'єм полімеру, термодинаміку та інші параметри, але ускладнюються відмінностями в газоперенесенні для різних полімерів (наприклад, каучуків та склоподібних полімерів) та пластифікацією полімеру. Полімери займають проміжне положення між рідинами та неорганічними матеріалами за проникністю. Описано два основних механізми проникності: фазове перенесення (проходження через пори та нещільності без зміни фазового стану) та активована дифузія. Фазове перенесення можливе у ВОРР, високонаповненому ПЕ, перфорованих плівках та негерметичних упаковках.

Для виявлення негерметичності полімерної плівкової упаковки при дослідженні фазового переносу (проходження речовини через пори та дефекти) використовують різні методи.

- **Прості методи (якісні):**

- **Занурення у воду під вакуумом:** Найпростіший та найпоширеніший метод. Упаковку занурюють у воду в вакуумній камері. Наявність бульбашок повітря, що виходять з упаковки, свідчить про негерметичність. Цей метод дозволяє виявити лише відносно великі дефекти.
- **Візуальний огляд:** Перевірка цілісності швів, наявність тріщин, проколів або інших видимих пошкоджень. Цей метод суб'єктивний та не дозволяє виявити мікрodefекти.
- **Надування упаковки:** Упаковку надувають повітрям та спостерігають за зміною її об'єму. Зменшення об'єму свідчить про витік.

- **Складні методи (кількісні):**

- **Течешукачі:** Використовують різні фізичні принципи, такі як:
 - **Перепад тиску:** Вимірюють зміну тиску всередині упаковки з часом. Швидке падіння тиску свідчить про значну негерметичність.
 - **Використання індикаторних газів (гелій-течешукачі):** Упаковку заповнюють індикаторним газом (наприклад, гелієм), який має високу проникність. За допомогою спеціального датчика вимірюють концентрацію газу ззовні упаковки. Цей метод є дуже чутливим та дозволяє виявити навіть мікроскопічні дефекти.
 - **Акустичні методи:** Виявляють витік газу за допомогою ультразвукових датчиків, які реєструють шум, що виникає при проходженні газу через отвір.

- **Газоаналізатори:** Вимірюють концентрацію газів (O_2 , CO_2 , N_2 та ін.) всередині упаковки з MAP або вакуумної упаковки. Зміна складу газової суміші з часом свідчить про проникнення газів ззовні або вихід газів з упаковки, що є ознакою негерметичності.
- **Метод забарвленої рідини:** Зразок поміщають в розчин барвника, після чого розрізають та досліджують на наявність проникнення барвника всередину.

Причини виникнення негерметичності:

Негерметичність полімерної плівкової упаковки може бути викликана різними факторами:

- **Дефекти зварного шва:** Неякісне зварювання (недостатня температура, тиск або час зварювання) може призвести до утворення слабких місць, мікротріщин або каналів у шві.
- **Механічні пошкодження:** Проколи, порізи, тріщини або інші пошкодження плівки, що виникли під час транспортування, зберігання або пакування.
- **Дефекти матеріалу плівки:** Неоднорідність товщини плівки, наявність сторонніх включень або дефектів структури можуть призвести до зниження її бар'єрних властивостей та утворення мікропор.
- **Вплив зовнішніх факторів:** Зміна температури, вологості або тиску може призвести до деформації упаковки та порушення її герметичності.
- **Взаємодія з продуктом:** Деякі продукти можуть хімічно взаємодіяти з матеріалом упаковки, що призводить до його руйнування та втрати герметичності.

Наслідки негерметичності:

Негерметичність упаковки може мати серйозні наслідки для якості та безпеки продукту:

- **Зміна складу газової суміші в MAP:** Проникнення кисню всередину упаковки може призвести до окислення продукту, втрати його свіжості та скорочення терміну зберігання. Витік CO₂ може призвести до втрати бактерицидних властивостей модифікованої атмосфери.
- **Втрата вакууму:** У вакуумній упаковці порушення герметичності призводить до втрати вакууму та контакту продукту з киснем, що також призводить до його псування.
- **Проникнення мікроорганізмів та забруднень:** Через негерметичну упаковку всередину можуть потрапляти мікроорганізми, пил, бруд та інші забруднення, що може призвести до псування продукту та становити загрозу для здоров'я споживачів.
- **Втрата аромату та вологи:** Негерметичність може призвести до втрати ароматичних речовин та вологи з продукту, що негативно впливає на його смакові якості та консистенцію.

Розуміння причин та наслідків негерметичності є критично важливим для забезпечення якості та безпеки упакованої продукції. Ретельний контроль герметичності на всіх етапах виробництва, транспортування та зберігання дозволяє мінімізувати ризики та забезпечити збереження споживчих властивостей продукту протягом всього терміну придатності.

Активована дифузія відіграє ключову роль у підтримці ефективності МГС.

Активована дифузія – це процес проникнення молекул газу або пари через полімерний матеріал упаковки. Цей процес відбувається в три етапи:

1. сорбція: Молекули газу або пари поглинаються поверхнею полімеру.
2. дифузія: Молекули переміщуються через товщу полімеру під дією градієнта концентрації.
3. десорбція: Молекули вивільняються з протилежного боку полімеру.

На активовану дифузію впливають:

1. властивості полімеру: Хімічний склад, кристалічність, температура склування, полярність.
2. властивості дифундуючої речовини: Розмір молекул, полярність.
3. зовнішні умови: Температура, тиск, вологість.

Пакувальний матеріал для МГС повинен мати низьку проникність для газів, щоб запобігти:

1. проникненню кисню ззовні: Це призведе до окислення продукту та розвитку аеробних мікроорганізмів.
2. виходу CO₂ з упаковки: Це зменшить бактерицидний ефект та сприятиме розвитку мікроорганізмів.
3. втраті вологи або проникненню водяної пари: Це може змінити консистенцію та смакові якості продукту.

Тому, при виборі пакувального матеріалу для МГС необхідно враховувати його бар'єрні властивості, тобто здатність протистояти активованій дифузії різних газів та парів.

При активованій дифузії молекули газів, парів та інших низькомолекулярних речовин (пенетрантів) можуть розчинятися в полімерній плівці, дифундувати через неї та потрапляти в упакований продукт. Інтенсивність цих процесів залежить від багатьох факторів, зокрема:

Хімічний склад полімеру визначає його спорідненість до різних пенетрантів. Полярні полімери краще взаємодіють з полярними молекулами (наприклад, водою), тоді як неполярні полімери – з неполярними (наприклад, вуглеводнями). Наявність функціональних груп (наприклад, гідроксильних, карбоксильних) також впливає на взаємодію.

Фізична структура полімеру:

Кристалічність: Кристалічні ділянки полімеру є щільнішими та менш проникними, ніж аморфні. Ступінь кристалічності залежить від типу полімеру та умов його обробки.

Орієнтація: Орієнтація полімерних ланцюгів (наприклад, при розтягуванні плівки) змінює її структуру та проникність. Орієнтовані плівки зазвичай мають вищу міцність та нижчу проникність в напрямку орієнтації.

Вільний об'єм: Вільний об'єм – це простір між молекулами або сегментами полімерних молекул. Чим більший вільний об'єм, тим легше пенетранту переміщатися всередині полімеру, і тим вища проникність. Фізична структура та температура полімеру є ключовими факторами, що визначають вільний об'єм.

Температура склування ($T_{ст}$): Це температура, при якій полімер переходить зі склоподібного (твердого та крихкого) стану у високоеластичний (м'який та гнучкий) або в'язкотекучий стан. Нижче $T_{ст}$ полімер знаходиться у склоподібному стані та має значно нижчу проникність, оскільки рухливість молекул обмежена. Вище $T_{ст}$ проникність значно зростає.

Природа дифундуючих молекул (пенетранту): Розмір, форма, полярність та хімічна активність молекул пенетранту впливають на їх здатність розчинятися в полімері та дифундувати через нього. Малі та неполярні молекули, як правило, проникають легше.

Рушійною силою дифузії є прагнення системи до рівноваги. Молекули пенетранту переміщуються з області з високою концентрацією в область з низькою концентрацією, поки не буде досягнуто рівноважного розподілу.

Взаємодія між полімерною упаковкою та продуктом починається з моменту їх контакту та триває протягом всього терміну зберігання. Ця взаємодія включає процеси масопереносу, які відбуваються в пакувальному матеріалі та впливають на властивості продукту. Основні типи взаємодії:

Проникність: Перенесення речовин (газів, парів, ароматичних сполук) через плівку ззовні всередину або зсередини назовні. Це може призвести до зміни складу газового середовища всередині упаковки, втрати аромату продукту, проникнення кисню або вологи.

Сорбція: Поглинання речовин з продукту полімерною плівкою. Це може призвести до зміни властивостей плівки (наприклад, пластифікації) або втрати продуктом певних компонентів (наприклад, ароматичних сполук).

Міграція: Перехід речовин з полімерної плівки в продукт. Це може призвести до забруднення продукту мономерами, добавками або іншими компонентами плівки.

Важливість вільного об'єму:

Як вже згадувалось, вільний об'єм полімеру відіграє важливу роль у процесі дифузії. Чим більший вільний об'єм, тим легше молекулам пенетранту переміщатися всередині полімеру. На вільний об'єм впливають такі фактори, як температура та фізична структура полімеру (кристалічність, орієнтація).

Температура склування ($T_{ст}$) є критичним параметром для визначення проникності полімеру. Нижче $T_{ст}$ полімер знаходиться у склоподібному стані та має низьку проникність. Вище $T_{ст}$ рухливість молекул зростає, що призводить до значного збільшення проникності. Тому, при виборі пакувального матеріалу необхідно враховувати $T_{ст}$ полімеру та умови зберігання продукту.

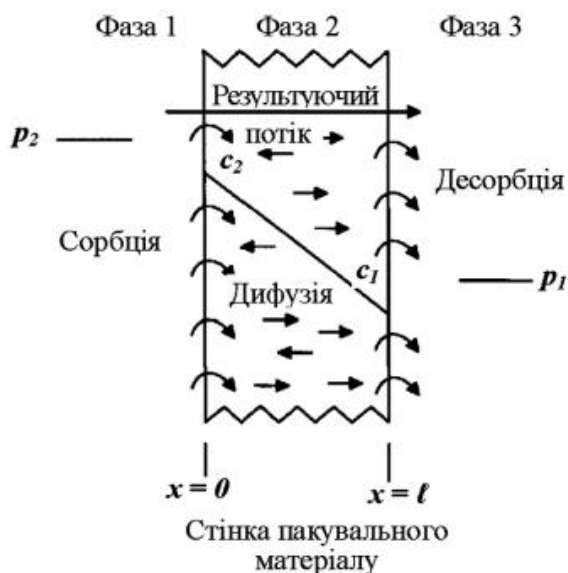


Рис. 1. Процеси сорбції, десорбції і дифузії крізь полімерний плівковий пакувальний матеріал: p — парціальний тиск газу (парів); c — концентрація проникаючої речовини в полімерному плівковому пакувальному матеріалі

Процеси масопереносу в полімерних пакувальних системах, такі як проникність, міграція та сорбція, відіграють ключову роль у збереженні якості та терміну придатності упакованих продуктів. Основними параметрами, що регулюють ці процеси, вважаються коефіцієнти дифузії (D) та розчинності (K_p). Часто лімітуючим фактором дифузії є саме сорбція та розчинення газу або пари в прикордонному шарі полімерного матеріалу.

Проникність – це здатність полімерної упаковки пропускати речовини у вигляді газів, парів (пермеатів) або рідин (пенетратів) через цілісний

(гомогенний або гетерогенний) матеріал. Важливо підкреслити, що проникність відрізняється від фазового перенесення, яке відбувається через дефекти упаковки, такі як отвори, тріщини або нещільності.

Проникність істотно впливає на термін придатності продукту, оскільки він може як поглинати, так і втрачати певні компоненти, а також вступати в небажані хімічні реакції з проникаючими речовинами. Зокрема, процеси виділення або поглинання вологи та CO₂, а також окислення продуктів, чутливих до кисню, кумулятивно впливають на термін зберігання.

Міграція – це перехід речовин з матеріалу полімерної упаковки в упакований продукт. Типовими мігрантами є залишкові мономери, розчинники, каталізатори та добавки до полімерів. Міграція може негативно впливати на органолептичні (смак, запах, вигляд) та токсикологічні (безпека для здоров'я) характеристики продукту через поглинання небажаних компонентів з пакувального матеріалу.

Сорбція в контексті пакування – це поглинання полімерним матеріалом компонентів продукту, що відповідають за запах або колір (сорбатів). Цей процес іноді називають «зникненням запаху».

Термодинамічна рівновага та хімічний потенціал:

В основі процесів масопереносу лежить прагнення системи до термодинамічної рівноваги. Рухливою силою переміщення молекул всередині полімеру або між полімером та навколишнім середовищем є хімічний

потенціал. Аналогічно до того, як електричний потенціал викликає рух електронів у провіднику, хімічний потенціал є рушійною силою фізичних та хімічних процесів в полімерних системах. Він відображає здатність речовини до хімічних перетворень або переходу з однієї фази в іншу. Різниця хімічних потенціалів між різними частинами системи створює градієнт, який і зумовлює переміщення молекул до досягнення рівноваги, коли хімічний потенціал у всій системі стане однаковим.

Бар'єрні властивості плівок можуть бути описані законом Фіка^[11]:

Перший закон Фіка: описує стаціонарну дифузію, тобто коли концентрація дифундуючої речовини в кожній точці плівки не змінюється з часом.

$$J = -D * (dC/dx) \quad (2.17)$$

де:

- J – потік речовини (кількість речовини, що проходить через одиницю площі за одиницю часу);
- D – коефіцієнт дифузії (характеризує швидкість дифузії речовини в матеріалі);
- dC/dx – градієнт концентрації (зміна концентрації речовини вздовж напрямку дифузії).

Другий закон Фіка: описує нестаціонарну дифузію, тобто коли концентрація дифундуючої речовини змінюється з часом.

$$\partial C / \partial t = D * (\partial^2 C / \partial x^2) \quad (2.18)$$

де:

- $\partial C / \partial t$ – зміна концентрації з часом;

- $\partial^2 C / \partial x^2$ – друга похідна концентрації за координатою (характеризує зміну градієнта концентрації).
- Для практичних розрахунків проникності використовують рівняння проникності, що пов'язує потік речовини з різницею парціальних тисків (або концентрацій) з обох боків плівки:

$$P = (J * l) / \Delta p \quad (2.19)$$

де:

- P – коефіцієнт проникності;
- J – потік речовини;
- l – товщина плівки;
- Δp – різниця парціальних тисків (або концентрацій) проникаючої речовини з обох боків плівки.

Коефіцієнт проникності (P) часто представляють як добуток коефіцієнта дифузії (D) та коефіцієнта розчинності (S):

$$P = D * S \quad (2.20)$$

де:

- S – коефіцієнт розчинності (характеризує здатність речовини розчинятися в матеріалі плівки).

Рівняння для багат шарових плівок:

Для багат шарових плівок загальна проникність визначається з урахуванням проникності кожного шару:

$$1/P_{\text{заг}} = (l_1/P_1) + (l_2/P_2) + \dots + (l_n/P_n) \quad (2.21)$$

де:

- $R_{заг}$ – загальна проникність багатошарової плівки;
- l_i – товщина i -го шару;
- R_i – проникність i -го шару.

Це рівняння показує, що загальна бар'єрність багатошарової плівки визначається шаром з найнижчою проникністю.

Фактори, що впливають на проникність та описуються в рівняннях:

- Коефіцієнт дифузії (D): Залежить від розміру та форми молекул пенетранту, рухливості полімерних ланцюгів, температури та вільного об'єму полімеру.
- Коефіцієнт розчинності (S): Залежить від спорідненості між пенетрантом та полімером (наприклад, полярність).
- Товщина плівки (l): Чим товща плівка, тим нижча проникність.
- Температура (T): З підвищенням температури коефіцієнти дифузії та розчинності, а отже, і проникність, зростають. Залежність часто описується рівнянням Арреніуса.
- Вологість: Вологість може впливати на проникність деяких полімерів, особливо гідрофільних.

Висновок до розділу 2

У розділі проаналізовано параметри пакування харчових продуктів у модифікованому газовому середовищі (МГС/MAP) та вакуумній упаковці, а також бар'єрні властивості пакувальних матеріалів. Розглянуто процес вибору параметрів MAP-упаковки, з акцентом на врахування властивостей продукту та потреб у зберіганні. Особливу увагу приділено взаємодії між продуктом, атмосферою та пакувальною системою, а також математичним моделям для опису цих процесів. Проаналізовано параметри вакууматорів та наведено відповідні рівняння. Детально розглянуто бар'єрні властивості матеріалів, механізми проникнення та фактори, що на них впливають, включаючи активовану дифузію. Описано методи виявлення негерметичності та її наслідки. Для кількісного опису проникності наведено закони Фіка та рівняння проникності, дифузії та розчинності. Дослідження підкреслює важливість комплексного підходу до вибору параметрів пакування та матеріалів для забезпечення оптимальних умов зберігання та якості продукції.

Розділ 3. Експериментальне дослідження

Основна фундаментальна роль харчової упаковки полягає у збереженні якості та безпеки харчових продуктів, зменшенні харчових відходів та харчових отруєнь, а також у зменшенні непотрібного негативного впливу, який виробництво та розповсюдження залишків харчових продуктів має на наше довкілля та економіку. Це означає, що функціональні властивості упаковки повинні відповідати вимогам до їжі, особливо її властивостям бар'єрності.

Масоперенос через пакувальний матеріал (передача газів, водяної пари, ароматичних сполук тощо) відіграє важливу роль у контролі реакцій розкладання їжі, визначаючи навколо продукту атмосферу, склад якої сприяє уповільненню реакцій, тим самим продовжуючи термін придатності їжі. Наприклад, контроль концентрації O_2 у вільному просторі обмежує реакції окислення та ріст аеробних мікроорганізмів, двох основних причин псування харчових продуктів під час зберігання. Ця технологія (MAP), базується на модифікації внутрішньої атмосфери самим продуктом (пасивний MAP) або шляхом продування газом або використання газових емітерів або поглиначів (активний MAP). В обох випадках оптимальна атмосфера досягається завдяки властивостям масопереносу пакувального матеріалу, особливо його проникності до газів та парів, тобто його здатності пропускати мігранти із зовнішньої атмосфери до внутрішньої.

Властивості проникності харчової упаковки, які також називають бар'єрними властивостями, рідко повністю відповідають вимогам до харчових продуктів. Ці бар'єрні властивості є або занадто низькими (випадок харчових продуктів, чутливих до O₂, для яких потрібні матеріали з високим бар'єром), або занадто високими. Можна навести, наприклад, випадок дихаючих продуктів, таких як свіжі фрукти та овочі, де пластикова плівка перфорована, щоб компенсувати занадто високі бар'єрні властивості упаковки.

В результаті, сучасна упаковка зазвичай є надмірно або погано спроектованою та недобре адаптованою до потреб їжі. Упаковка не ефективно та достатньо сприяє підтримці якості харчових продуктів, хоча значно більших переваг у плані зменшення втрат харчових продуктів можна було б досягти, використовуючи добре підібраний пакувальний матеріал.

Мета дослідження - вивчити вплив модифікованої атмосфери (MAP) на тривалість зберігання полуниці.

Предмет дослідження – процес зберігання полуниці в нормальних умовах та в модифікованій атмосфері.

Об'єкт дослідження: зміни характерних властивостей полуниці під час зберігання в нормальних умовах та в модифікованій атмосфері

Інструменти дослідження: газоаналізатор для вимірювання складу атмосфери в пакуванні, система для підтримки умов зберігання полуниці

(температура 22°C, атмосферний тиск: 101,3 кПа вологість повітря 55%),
таймер.

Опис експериментальної установки: Контейнер з полуницею запакованою в виробничих умовах.

Газовий обмін: Контейнер забезпечує обмін киснем (O₂) та вуглекислим газом (CO₂) між полуницею та навколишнім середовищем.

Варіанти експерименту:

NO MAP: Полуниця зберігається в звичайних умовах, тобто без контролю за газовим складом.

MAP: Газовий склад всередині контейнера штучно змінюють, створюючи оптимальні умови для зберігання полуниці. Це може включати зниження рівня кисню та підвищення рівня вуглекислого газу.

Склад MAP для полуниці:

- CO₂: 15%
- O₂: 5%
- N₂: 80%

Параметри, що вимірюються:

Час зберігання (відгук): Експеримент проводиться протягом певного періоду часу (в даному випадку 4.1 дні).

Показник псування (вхідний фактор): Вимірюється відсоток псування ягід протягом експерименту.

Величина показника псування оцінювалась комплексним показником, який враховував візуальні зміни та втрату ваги полуниці.

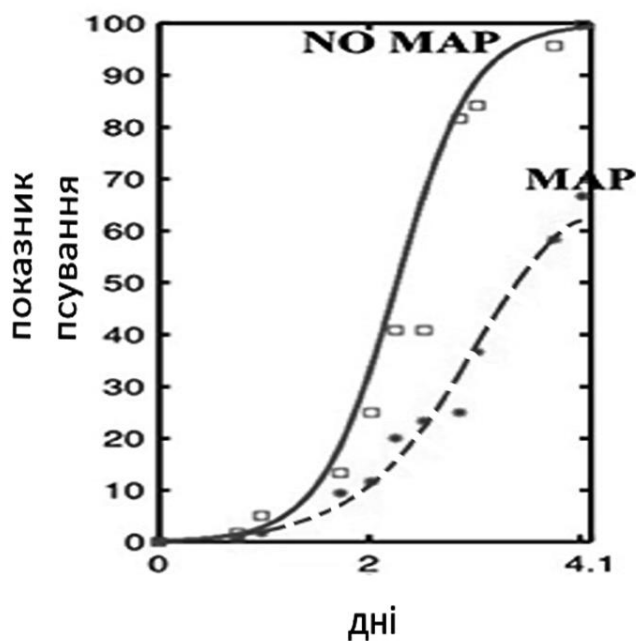


рис. 3.1. Результати експерименту.

Висновок до розділу 3.

Результати підтвердили ефективність MAP для продовження терміну зберігання. Подальші дослідження можуть оптимізувати склад MAP та вивчити вплив інших факторів. Результати можна використовувати для покращення зберігання та зменшення втрат харчових продуктів.

Розділ 4. Охорона праці

Безпека на виробництві харчових продуктів є першочерговим завданням, адже від її дотримання залежить здоров'я та життя працівників. Сучасні технології пакування, такі як пакування в модифікованому газовому середовищі (МГС) та вакуумне пакування, дозволяють значно збільшити термін зберігання продуктів, зберігаючи їх якість та свіжість. Проте, використання складного обладнання, такого як термоформи та вакууматори, а також робота з різними газами, вимагає суворого дотримання правил техніки безпеки.

Нормативна база з охорони праці та техніки безпеки в Україні базується на таких основних документах:

- **Закон України "Про охорону праці"**: визначає основні положення щодо безпеки та гігієни праці на підприємствах.
- **ДНАОП (Державні нормативні акти з охорони праці)**: збірник нормативно-правових актів, що встановлюють вимоги з охорони праці в різних галузях. Наразі замінено на НПАОП.
- **НПАОП (Нормативно-правові акти з охорони праці)**: чинні нормативно-правові акти, що регламентують безпечні умови праці.
- **Міждержавні стандарти (ISO)**: стандарти, що встановлюють вимоги до обладнання, матеріалів та процесів, зокрема в галузі безпеки.

Відповідно до законодавства, відповідальність за створення безпечних умов праці покладається на роботодавця. Він зобов'язаний забезпечити працівників необхідними засобами захисту, провести навчання та інструктажі з техніки безпеки, а також контролювати дотримання встановлених правил. Працівники, у свою чергу, несуть відповідальність за виконання вимог інструкцій з охорони праці та використання наданих засобів захисту.

4.1. Вимоги безпеки для пакувального обладнання

Безпечна експлуатація пакувального обладнання досягається завдяки комплексу організаційних та технічних заходів.

- **Організаційні заходи:**

- До роботи з пакувальним обладнанням допускаються лише особи, які пройшли відповідне навчання, стажування на робочому місці та перевірку знань з питань охорони праці. Результати перевірки фіксуються у відповідних документах.
- Для кожного виду пакувального обладнання розробляються та затверджуються інструкції з охорони праці, які містять конкретні вимоги безпеки для даного обладнання.
- Інструктажі з питань охорони праці проводяться з працівниками згідно з встановленим порядком: первинний – перед початком роботи, повторний – періодично (не рідше одного разу на три місяці), позаплановий – при зміні технологічного процесу або обладнання, цільовий – перед виконанням разових робіт.
- Проведення інструктажів реєструється в журналі реєстрації інструктажів з питань охорони праці.

- **Вимоги до виробничих приміщень:**

- Виробничі приміщення повинні бути обладнані ефективною системою вентиляції (природною та/або примусовою), що забезпечує достатній повітрообмін для видалення шкідливих речовин та підтримання нормального мікроклімату. Кратність повітрообміну розраховується відповідно до санітарних норм.
- Робочі місця повинні бути достатньо освітлені. Норми освітленості встановлюються відповідно до характеру виконуваних робіт. Світильники повинні бути захищені від механічних пошкоджень та забезпечувати рівномірне освітлення без відблисків.

- У виробничих приміщеннях повинні підтримуватися оптимальні параметри мікроклімату: температура повітря, відносна вологість та швидкість руху повітря.
- Приміщення повинні утримуватися в чистоті та порядку. Регулярно проводиться вологе прибирання та дезінфекція.
- Підлога в приміщеннях повинна бути рівною, неслизькою та стійкою до дії миючих та дезінфікуючих засобів.
- Проходи між обладнанням та стінами повинні бути достатньої ширини для безпечного пересування працівників та транспортування матеріалів. Евакуаційні виходи повинні бути вільними та позначені відповідними знаками.
- **Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ):**
 - Працівники повинні бути забезпечені спецодягом та спецвзуттям, що відповідають вимогам безпеки та гігієни. Спецодяг повинен бути чистим, справним та відповідати розміру працівника.
 - Для захисту рук від термічних опіків, порізів та забруднень необхідно використовувати захисні рукавиці. Вибір типу рукавиць залежить від характеру виконуваних робіт (термостійкі, стійкі до порізів, хімічно стійкі).
 - Для захисту очей від механічних пошкоджень та бризок необхідно використовувати захисні окуляри або щитки.
 - При роботі з газами, що використовуються в МГС, необхідно використовувати засоби захисту органів дихання (респіратори або протигази) відповідно до типу газу та його концентрації в повітрі.
 - При роботі з шумним обладнанням необхідно використовувати засоби захисту слуху (беруші або навушники).
- **Електробезпека:**
 - Електропроводка, електрообладнання та заземлення повинні відповідати вимогам Правил улаштування електроустановок

(ПУЕ) та Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів (ПТЕ).

- Усі електроприлади повинні бути заземлені або занулені.
- Для захисту від ураження електричним струмом повинні використовуватися захисні пристрої, такі як автоматичні вимикачі та пристрої захисного відключення (ПЗВ).
- Забороняється використовувати саморобні електроприлади та подовжувачі з пошкодженою ізоляцією. Ремонт електрообладнання повинен проводитися тільки кваліфікованим персоналом при вимкненому та знеструмленому обладнанні.

4.2. Безпека при роботі з термоформувальними пакувальними машинами

Небезпечні фактори при роботі з термоформами:

Нагрівальні елементи термоформ працюють при високих температурах, що може призвести до опіків.

Рухомі частини (прес-форми, транспортери, механізми подачі плівки) створюють небезпеку защемлення.

Обрізані краї плівки можуть бути гострими та призвести до порізів.

Несправність електрообладнання може призвести до ураження електричним струмом.

Продовжуємо розширений текст про техніку безпеки, зосередившись на вимогах безпеки перед початком роботи з термоформувальними та вакуумними пакувальними машинами.

Безпека при роботі з термоформувальними машинами (термоформами) (продовження)

Вимоги безпеки перед початком роботи:

Візуальний огляд: Перед початком роботи оператор повинен візуально оглянути термоформувальну машину на предмет видимих пошкоджень, тріщин, від'єднаних деталей, зношених елементів тощо. Особливу увагу слід звернути на стан електропроводки, з'єднань, шлангів (гідравлічних та пневматичних, якщо є), нагрівальних елементів та захисних огорожень.

Перевірка справності обладнання:

Перевірити наявність та надійність кріплення всіх захисних огорожень та блокувальних пристроїв. Переконайтеся, що жоден з елементів не заважає нормальній роботі обладнання.

Перевірити стан та надійність кріплення прес-форм. Переконайтеся у відсутності тріщин, сколів та інших дефектів на поверхні форм.

Перевірити справність системи нагріву: візуально оцінити стан нагрівальних елементів (відсутність пошкоджень, рівномірність нагріву), перевірити роботу терморегулятора та датчиків температури.

Перевірити роботу системи подачі плівки: переконайтеся у відсутності заклинювань, перекосів та інших дефектів, що можуть призвести до обриву або заклинювання плівки.

Перевірити роботу системи вакууму або тиску (залежно від типу формування): переконатися у герметичності системи, справності вакуумного насоса або компресора, регуляторів тиску та клапанів.

Перевірити роботу системи запаювання: переконатися у справності нагрівальних елементів, регуляторів температури та тиску, механізму зварювання.

Перевірити роботу системи обрізки: переконатися у гостроті ріжучих елементів та справності механізму обрізки.

Перевірити роботу системи керування: переконатися у справності кнопок, перемикачів, індикаторів та інших елементів керування.

Перевірка наявності та справності контрольно-вимірювальних приладів (КВП): Переконатися у наявності та справності термометрів, манометрів, вакуумметрів та інших КВП, необхідних для контролю технологічного процесу.

Перевірка наявності необхідної документації: Переконатися у наявності на робочому місці інструкцій з експлуатації та охорони праці для даного обладнання.

Організація робочого місця: Переконатися, що робоче місце є чистим та впорядкованим, проходи не зашаржені, наявні необхідні інструменти та матеріали.

Перевірка ЗІЗ: Переконайтеся у наявності та справності необхідних засобів індивідуального захисту (термостійкі рукавиці, захисні окуляри, спецодяг тощо).

4.2. Безпека при роботі з вакууматорами

Вимоги безпеки перед початком роботи:

Візуальний огляд: Перед початком роботи оператор повинен візуально оглянути вакуумну пакувальну машину на предмет видимих пошкоджень, тріщин, від'єднаних деталей, зношених елементів тощо. Особливу увагу слід звернути на стан електропроводки, з'єднань, шлангів, зварювальних елементів, ущільнень та захисних огорожень.

Перевірка справності обладнання:

Перевірити наявність та надійність кріплення всіх захисних огорожень та блокувальних пристроїв.

Перевірити стан та надійність ущільнень вакуумної камери. Переконайтеся у відсутності пошкоджень, тріщин та деформацій.

Перевірити роботу вакуумного насоса: переконайтеся у створенні необхідного рівня вакууму та відсутності сторонніх шумів та вібрацій.

Перевірити роботу зварювальних елементів: переконайтеся у справності нагрівальних елементів, регуляторів температури та тиску, механізму зварювання.

Перевірити роботу системи керування: переконатися у справності кнопок, перемикачів, індикаторів та інших елементів керування.

Перевірка герметичності вакуумної системи: Запустити вакуумний насос та перевірити герметичність системи за допомогою манометра або вакуумметра.

Переконатися у відсутності витоків повітря.

Перевірка наявності необхідної документації: Переконатися у наявності на робочому місці інструкцій з експлуатації та охорони праці для даного обладнання.

Організація робочого місця: Переконатися, що робоче місце є чистим та впорядкованим, проходи не загорожені, наявні необхідні інструменти та матеріали (пакети, етикетки тощо).

Перевірка ЗІЗ: Переконатися у наявності та справності необхідних засобів індивідуального захисту (термостійкі рукавиці, спецодяг тощо).

Загальні висновки

У ході виконання роботи були досліджені, проаналізовані та експериментально перевірені аспекти пакування харчових продуктів у газо модифікованому середовищі. Модифіковане газове середовище є ефективним способом подовження терміну зберігання харчових продуктів завдяки зниженню швидкості мікробіологічного псування та уповільненню хімічних і біохімічних процесів. Гази, що найчастіше використовуються (CO_2 , N_2 , O_2), забезпечують різні механізми дії: від пригнічення росту мікроорганізмів до збереження кольору й текстури продукту. Важливу роль у забезпеченні ефективності MAP відіграють пакувальні матеріали. Матеріали з високими бар'єрними властивостями дозволяють підтримувати стабільність газового середовища протягом усього терміну зберігання продукту. Результати експериментів підтвердили ефективність використання для зберігання харчових продуктів. Встановлено, що оптимальні параметри газового середовища (певне співвідношення CO_2 та O_2) дозволяють суттєво знизити втрати маси продукту та запобігти зміні його кольору протягом усього періоду зберігання.

Модифіковане газове середовище є ефективним рішенням для збереження якості харчових продуктів. Використання сучасних пакувальних матеріалів та обладнання, дозволяє забезпечити конкурентоспроможність продукції на ринку та знизити втрати у процесі зберігання та транспортування.

Список використаної літератури

1 MAP Modified Atmosphere Packaging Basic Knowledges. URL: https://uk.kbtfoodpack.com/knowledge-base/map-modified-atmosphere-packaging-basic-knowledges/#Development_history_of_modified_atmosphere_packaging

2 Конспект лекцій з дисципліни «Пакування харчових продуктів» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 181 «Харчові технології» / В.М.Федорів -Кам'янець-Подільський: ПДАТУ, 2021. – 136с.

3 Упаковка в газомодифікованому середовищі MAP. URL: <http://meat-service.com/news/novosti-zhurnala/190-upakovka-v-gazomodifkovanomu-seredovisch-map.html>

4 Perdue, R (2009), "Vacuum Packaging", in Yam, KL (ed.), Encyclopedia of Packaging Technology , Wiley (опубліковано 2010), ISBN 978-0-470-08704-6

5 Soroka, W. Illustrated Glossary of Packaging Terminology (Second ed.). Інститут фахівців з упаковки.

6 Міллс, Джон; Доннісон, Андреа; Брайтвелл, Гейл (2014). «Фактори, що впливають на мікробне псування та термін придатності охолодженої ягнятини у вакуумній упаковці, що транспортується на віддалені ринки: огляд». Наука про м'ясо.98(1): 71–80.doi:10.1016/j.meatsci.2014.05.002.PMID24875594

7 Вакуумне пакувальне обладнання. URL: <https://nikas.ua/category/obladnannya/vakuumne-pakuvalne-obladnannya/>

8 Vacuum Packaging of Fresh Meat. URL: <https://www.buschvacuum.com/il/en/news-media/vacuum-packaging-of-fresh-meat.html>

<https://www.equilibar.com/application/food-packaging/>

10 Колосов О. Є. Дослідження бар'єрних властивостей пакувальних полімерних плівкових матеріалів / О. Є. Колосов, О. Л. Сокольський, С. В. Малецький // Технологический аудит и резервы производства. - 2016. - № 6(3). - С. 9-16. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Tatrv_2016_6%283%29__3

11 Дифузія. URL:

https://ukrayinska.libretexts.org/%D0%A5%D1%96%D0%BC%D1%96%D1%8F/%D0%9D%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B3%D0%B0%D0%BD%D1%96%D1%87%D0%BD%D0%B0_%D1%85%D1%96%D0%BC%D1%96%D1%8F/%D0%92%D1%81%D1%82%D1%83%D0%BF_%D0%B4%D0%BE_%D1%85%D1%96%D0%BC%D1%96%D1%97_%D1%82%D0%B2%D0%B5%D1%80%D0%B4%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D1%82%D1%96%D0%BB%D0%B0/01%3A_%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%97/1.09%3A_%D0%94%D0%B8%D1%84%D1%83%D0%B7%D1%96%D1%8F

12. Пасічний В. М. Використання модифікованого газового середовища та вакуумування при пакуванні і зберіганні охолодженого м'яса та напівфабрикатів з нього / В. М. Пасічний, О. В. Храпачов, А. І. Маринін // Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. Серія : Харчові технології. - 2016. - Т. 18, № 2. - С. 68-72. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvlnuftech_2016_18_2_15

13. Modified atmosphere // Wikipedia: The Free Encyclopedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Modified_atmosphere

14. Шредер В.Л., Кривошей В.М., Кулик Н.В. Полімерна упаковка. Київ: Принт Медіа, 2021. 579 с.

15. Khan Y., Mittal A. Modified Atmosphere Packaging Technique: An Overview // Mohd. International Conference on Recent Advances in Engineering and Science (ICRAES-2020) held on 11th – 12th Jan., 2020. Aligarh : AMU, 2020.

16. Djenane D., Roncal s P. Carbon Monoxide in Meat and Fish Packaging: Advantages and Limits // Foods. 2018 Feb; 7(2). P. 12. URL: 10.3390/foods7020012

17. ТЮТЮННИКОВ, Сергій Валентинович; ПАШКО, Владислав Миколайович. Подовження терміну зберігання м'яса та м'ясних продуктів з допомогою вуглекислого газу та окису вуглецю. 2017.

18. ZHANG, Min, et al. Recent application of modified atmosphere packaging (MAP) in fresh and fresh-cut foods. Food Reviews International, 2015, 31.2: 172-193.

19. CZERWIŃSKI, Krzysztof, et al. Towards impact of modified atmosphere packaging (MAP) on shelf-life of polymer-film-packed food products: Challenges and sustainable developments. Coatings, 2021, 11.12: 1504.

20. BADILLO, Guillermo M.; SEGURA-PONCE, Luis A. Classic and reaction-diffusion models used in modified atmosphere packaging (MAP) of fruit and vegetables. Food Engineering Reviews, 2020, 12.2: 209-228.