

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Криворізький національний університет
Навчально-науковий інститут економіки і торгівлі
імені Михайла Туган-Барановського
Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

ДОПУСКАЮ ДО ЗАХИСТУ
Гарант освітньої програми
«Обладнання переробної і харчової
промисловості»
Хорольський В.П.
« ____ » _____ 2025 року

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**
на здобуття ступеня вищої освіти «Магістр»
зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
за освітньою програмою «Обладнання переробної і харчової промисловості»

на тему: **«ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ
ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПАКУВАННЯ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ»**

Виконав:

здобувач вищої освіти _____ **Смарунь Ігор Євгенович** _____
(прізвище, ім'я, по-батькові) (підпис)

Керівник:

_____ **зав.каф., к.т.н., доцент, Омельченко О.В.** _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у кваліфікаційній
роботі немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Кривий Ріг
2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Криворізький національний університет
Навчально-науковий інститут економіки і торгівлі
імені Михайла Туган-Барановського
Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

Форма здобуття вищої освіти денна

Ступінь магістр

Галузь знань Механічна інженерія

Освітня програма Обладнання переробної і харчової промисловості

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Гарант освітньої програми «Обладнання
переробної і харчової промисловості»
Хорольський В.П.

« » 2025 року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Смаруню Ігорю Євгеновичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Дослідження процесу та удосконалення обладнання для пакування продуктів харчування»

Керівник роботи к.т.н., доцент, Омельченко О.В.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Затверджено: наказом ректора Криворізького національного університету від «30» травня 2025 р. № 32-с.

2. Строк подання здобувачем ВО роботи «22» листопада 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи:

1. Технічна документація до устаткування.
2. Монографії, наукові статті, автореферати дисертацій, тези доповідей на наукові конференції.
3. Навчальна і методична література, інформація мережі Інтернет.

4. Зміст пояснювальної записки:

1. Вступ.
2. Аналіз обладнання для пакування продуктів харчування.
3. Удосконалення вертикальної машини для пакування продуктів харчування.
4. Аналіз результатів досліджень.
5. Висновки.
6. Список використаних джерел.

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

Обладнання для пакування продуктів харчування.

Зварювальні механізми в упаковці продуктів харчування.

Удосконалена геометрія формувального коміра вертикальної пакувальної машини.

Дослідження процесу герметизації сипких продуктів.

6. Дата видачі завдання «10» червня 2025 р.

7. Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи
1	Вступ	4.09-20.09.2025 р.
2	Аналіз обладнання для пакування продуктів харчування	21.09-18.10.2025 р.
3	Удосконалення вертикальної машини для пакування продуктів харчування	19.10-08.11.2025 р.
4	Аналіз результатів досліджень	09.11-15.11.2025 р.
5	Висновки по роботі	16.11-22.11.2025 р.
6	Оформлення роботи і подання до захисту	23.11-26.11.2025 р.

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Смарунь І.Є.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Омельченко О.В.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Обсяг і структура магістерської роботи. Повний обсяг магістерської роботи – 50 сторінок, в тому числі основного тексту – 46 сторінок. Робота містить: 1 таблицю, 10 рисунків. Список використаних джерел складається з 36 найменувань.

Об'єкт роботи – вертикальна пакувальна машина.

Предмет роботи – процес герметизації продуктів харчування.

Мета роботи – удосконалення обладнання для пакування продуктів харчування, а саме геометрії формувального коміру вертикальної пакувальної машини.

У роботі зазначено, що упаковка для продуктів харчування відіграє важливу роль, оскільки служить бар'єром від факторів навколишнього середовища, допомагає продовжити термін придатності, полегшує транспортування та повідомляє важливу інформацію споживачам.

На основі аналізу, було зазначено, що існує два основних типи пакувальних машин: машини для горизонтального заповнення форми і машини для вертикального заповнення форм. Сконцентровано увагу на тому, що одним із ключових елементів вертикальної пакувальної машини є формувальний плечовий елемент або комір. Щоб вирішити деякі з проблем, які виникають у процесі створення та наповнення пакетів з сировиною було розглянуто геометрію формуючого коміру та здійснено його модифікацію.

Запропоновано трохи зменшити висоту плеча навколо найвищої точки кривої згину та заокруглити різку фаску на краю формуючого коміра для того щоб коли плівка проходила в формуючу трубку не відбувалося розриву та деформації пакувального матеріалу. Удосконалена геометрія формувального плеча має забезпечити направлення плівки з рулону до формувальної труби без складок, розривів чи розтягування, що уможливить правильну роботу вертикальної пакувальної машини без збоїв та браку матеріалу.

Вважається за необхідне контролювати розподіл температури по всій системі нагрівальних щелеп. Вертикальна пакувальна машина має джерело тепла лише з одного кінця, що призводить до різних температур по нагрівальним щелепам. Для покращення цього варіювання розподіл температури повинен бути постійним по всіх нагрівальних щелепах, щоб зменшити коливання між встановленою та фактичною температурою.

Досліджено процес герметизації сипкої сировини різного об'єму. Вертикальна машина була використана для виготовлення пакетів шляхом заповнення 400 г гороху через дозатор. Пакети були виготовлені з пластикового матеріалу з оптимальними параметрами запечатування при температурі 130°C та часом витримки 1 секунда. Одним з основних дефектів, що спостерігаються в отриманих наповнених пакетах є утворення складок, які формувалися на краю герметичного шва під час термозварювання через вагу мішечка. Змодельовано графік залежності температури герметизації від часу витримки.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: упаковка, вертикальна пакувальна машина, горизонтальна пакувальна машина, процес герметизації продуктів харчування, формувальний комір, моделювання.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПАКУВАННЯ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ	7
1.1 Упаковки продуктів харчування	7
1.2 Методи пакування харчової сировини	9
1.3 Класифікація первинних пакувальних машин	13
1.4 Основні відмінності між вертикальними та горизонтальними системами наповнення та пакування	19
РОЗДІЛ 2. УДОСКОНАЛЕННЯ ВЕРТИКАЛЬНОЇ МАШИНИ ДЛЯ ПАКУВАННЯ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ	21
2.1 Зварювальні рішення в упаковці продуктів харчування	21
2.2 Удосконалення конструкційно-технологічних параметрів пакувального обладнання	27
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	35
3.1 Параметри, які впливають на термозварювання	35
3.2 Дослідження процесу герметизації сипких продуктів	38
ВИСНОВКИ	43
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	45
ДОДАТКИ	47

ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Смарунь		
Перевір.		Омельченко		
Н. Контр.		Омельченко		
Затверд.		Хорольський		
Дослідження процесу та удосконалення обладнання для пакування продуктів харчування				
		Літ.	Арк.	Аркуші
		5	1	
ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО				

ВСТУП

Актуальність роботи. У роботі зазначено, що упаковка для продуктів харчування відіграє важливу роль, оскільки служить бар'єром від факторів навколишнього середовища, допомагає продовжити термін придатності, полегшує транспортування та повідомляє важливу інформацію споживачам. У сучасній різноманітній харчовій промисловості різні форми упаковки еволюціонували, щоб відповідати певним вимогам до різних видів харчових продуктів і тому вибір правильного обладнання має важливе значення для досягнення цих цілей.

Мета та задачі дослідження. Метою магістерської роботи є дослідження процесу та удосконалення обладнання для пакування продуктів харчування.

Практична та наукова новизна. На основі аналізу, було зазначено, що існує два основних типи пакувальних машин: машини для горизонтального заповнення форми і машини для вертикального заповнення форм.

Сконцентровано увагу на тому, що одним із ключових елементів вертикальної пакувальної машини є формувальний плечовий елемент або комір. Щоб вирішити деякі з проблем, які виникають у процесі створення та наповнення пакетів з сировиною було розглянуто геометрію формуючого коміру та здійснено його модифікацію.

Запропоновано зменшити висоту плеча навколо найвищої точки кривої згину та заокруглити різку фаску на краю формуючого коміра для того щоб коли плівка проходила в формуючу трубку не відбувалося розриву та деформації пакувального матеріалу. Удосконалена геометрія формувального плеча має забезпечити направлення плівки з рулону до формувальної труби без складок, розривів чи розтягування, що уможливить правильну роботу вертикальної пакувальної машини без збоїв та браку матеріалу.

Вважається за необхідне контролювати розподіл температури по всій системі нагрівальних щелеп. Вертикальна пакувальна машина має джерело тепла лише з одного кінця, що призводить до різних температур по нагрівальним щелепам. Для покращення цього варіювання розподіл температури повинен бути постійним по всіх нагрівальних щелепах, щоб зменшити коливання між встановленою та фактичною температурою.

Досліджено процес герметизації сипкої сировини різного об'єму. Вертикальна машина була використана для виготовлення пакетів шляхом заповнення 400 г гороху через дозатор. Пакети були виготовлені з пластикового матеріалу з оптимальними параметрами запечаткування при температурі 130°C та часом витримки 1 секунда. Одним з основних дефектів, що спостерігаються в отриманих наповнених пакетах є утворення складок, які формувалися на краю герметичного шва під час термозварювання через вагу мішечка. Змодельовано графік залежності температури герметизації від часу витримки.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Смарунь</i>				Дослідження процесу та удосконалення обладнання для пакування продуктів харчування	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Омельченко</i>						6	1
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>				ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО			
<i>Затверд.</i>	<i>Хорольський</i>							

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПАКУВАННЯ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ

1.1 Упаковки продуктів харчування

Упаковка для продуктів харчування відіграє важливу роль у забезпеченні того, щоб їжа, яку ми споживаємо, залишалася свіжою та привабливою. Крім того, що упаковка містить продукт, вона служить бар'єром від факторів навколишнього середовища, допомагає продовжити термін придатності, полегшує транспортування та повідомляє важливу інформацію споживачам. У сучасній різноманітній харчовій промисловості різні форми упаковки еволюціонували, щоб відповідати певним вимогам до різних видів харчових продуктів.

Промислова революція та технологічний прогрес перетворили упаковку на науку, яка поєднує хімію, матеріалознавство та харчові технології. Сучасна упаковка для харчових продуктів повинна врівноважувати численні вимоги: захист продукції, відповідність нормативним вимогам, зручність для споживачів, маркетингову привабливість і, все частіше, екологічну стійкість. Еволюція відображає наш мінливий спосіб життя та моделі споживання [1]. У міру того, як ми переходили від місцевого виробництва продуктів харчування до глобальних ланцюжків поставок, упаковка повинна була враховувати довший час транспортування, різноманітні умови зберігання та різноманітні вподобання споживачів. Це призвело до розробки спеціалізованих форм упаковки для конкретних категорій харчових продуктів, кожна з яких призначена для оптимізації захисту та презентації її вмісту.

Первинна упаковка – це упаковка, яка безпосередньо контактує з продуктом, що міститься в ній. Вона забезпечує початковий і зазвичай основний, захисний бар'єр. Прикладами первинної упаковки є металеві банки, скляні пляшки та пластикові пакети. Металеві банки являють собою одну з найдавніших форм сучасної упаковки для харчових продуктів, що з'явилася на початку 19 століття [1, 2, 11]. Зазвичай вони виготовлені з алюмінію або сталі з тонким внутрішнім покриттям, яке забезпечує винятковий захист від світла, вологи та мікроорганізмів. Металеві банки мають неперевершені бар'єрні властивості, що робить їх ідеальними для продуктів, які потребують тривалого терміну зберігання. Вони можуть витримувати високі температури обробки, які необхідні для комерційних методів стерилізації, таких як консервування. Герметичне закупорювання металевих банок забезпечує один з найнадійніших бар'єрів для кисню, який є основною причиною псування їжі. Це робить їх особливо придатними для продуктів чутливих до окислення. До поширених продуктів, які розфасовані в металеві банки, відносяться:

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Смарунь</i>			Дослідження процесу та удосконалення обладнання для пакування продуктів харчування	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушіє</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Омельченко</i>					7	14
<i>Н. Контр.</i>		<i>Омельченко</i>			ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО			
<i>Затверд.</i>		<i>Хорольський</i>						

- консервовані фрукти та овочі: помідори, кукурудза, горох і фруктові коктейлі, які зберігають свою поживну цінність протягом тривалого часу;
- готові до вживання страви: супи, рагу та готова квасоля залишаються стабільними протягом багатьох років;
- напої: газовані напої, енергетичні напої та деякі соки виграють від стійкості до тиску алюмінієвих банок;
- продукція з морепродуктів: тунець, сардини та інші рибні продукти зберігаються без охолодження.

Скляна упаковка використовується протягом століть і продовжує залишатися кращою для певних категорій продуктів харчування. Скляні пляшки та банки використовуються для напоїв (соки, алкогольні напої), а також для варення, соління, дитячого харчування та деяких молочних продуктів, таких як йогурт. До основних обмежень скла можна віднести його вагу, що збільшує витрати на транспортування і крихкість, яка може привести до дефектів у процесі обробки. Незважаючи на ці недоліки, скло залишається незамінним для певних категорій продуктів харчування, де важлива видимість продукту та преміальне позиціонування [4, 5, 6]. Гнучка упаковка являє собою один з найбільш швидкозростаючих сегментів в упаковці для харчових продуктів. Ця категорія включає широкий спектр матеріалів, таких як пластикові плівки, фольга, папір або комбінації цих матеріалів, ламіновані разом для створення пакетів, пакетиків і обгортки. Гнучка упаковка забезпечує чудове співвідношення ваги продукту та упаковки, зменшуючи витрати на транспортування та вплив на навколишнє середовище. Здатність включати різні бар'єрні властивості шляхом додавання різних шарів матеріалу робить його адаптованим до різноманітних вимог до продукту.

Функції упаковки полягають у збереженні якості та свіжості харчових продуктів, додаванні привабливості їжі, залученні споживачів, а також у полегшенні її зберігання та розповсюдження. Основні функції упаковки:

1. Для зберігання продукту. Основна функція будь-якої упаковки полягає в тому, щоб містити їжу та сприяти обробці, зберіганню та розподілу на всьому шляху від виробника до кінцевого споживача або навіть у той час, коли решта частини використовується споживачем. Однак, як правило, існують різні рівні упаковки. Первинна упаковка – це упаковка, яка безпосередньо контактує з продуктом, що міститься, наприклад, металевими банками, скляними банками та пластиковими пакетами. Подальший розвиток для полегшення обробки полягає в об'єднанні низки первинних пакетів разом, що призводить до концепції вторинних пакетів [2, 3]. Прикладом вторинної упаковки є гофроящик в який упаковані банки з яблучним соком. Вторинна упаковка, наприклад, гофрований ящик або коробка, містить кілька первинних упаковок. Вона є фізичним носієм розповсюдження і все частіше розробляється таким чином, щоб її можна було використовувати в роздрібних торгових точках для демонстрації первинної упаковки і в цьому випадку вона називається «готовою до продажу».

2. Для захисту продукту. Продукти харчування, що містяться в упаковці, можуть потребувати захисту від, зокрема, ударів, вібрацій, стиснення, температури тощо. Тому однією з найважливіших функцій будь-якої упаковки є

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

захист продукту, що міститься, від будь-якої форми втрати, пошкодження, псування або забруднення з якими можна зіткнутися протягом всього ланцюжку дистрибуції. Захист часто розглядається як основна функція упаковки – захищати її вміст від зовнішніх впливів навколишнього середовища, таких як вода, водяна пара, гази, запахи, мікроорганізми, пил, удари, вібрації та сили стиску [2, 3]. Для більшості харчових продуктів захист, що забезпечується упаковкою, є важливою частиною процесу консервування. Як тільки цілісність упаковки порушується, продукт починає псуватися. Правильна упаковка може захистити вміст упаковки від коливань температури під час транспортування охолоджених і заморожених продуктів. Упаковка також може використовуватися для контролю доступності кисню для фруктів і овочів, а також для захисту від втрати смаку або аромату та допомоги продуктам зберігати свою поживну цінність. Правильна упаковка може захистити продукт від мікробного псування бактеріями, дріжджами та пліснявою.

3. Бар'єрний захист – бар'єр від кисню, водяної пари, пилу тощо часто є необхідним. Деякі упаковки містять осушувачі або поглиначі кисню, які допомагають продовжити термін придатності. Упаковка з модифікованою атмосферою або контрольовано атмосферою також підтримується в деяких продуктових упаковках. Збереження вмісту чистим, свіжим і безпечним протягом передбачуваного терміну придатності є основною функцією упаковки.

4. Герметизація. Усі харчові продукти повинні бути герметизовані, перш ніж їх можна буде перемістити з одного місця в інше.

1.2 Методи пакування харчової сировини

Упаковка є дуже важливим аспектом виробництва продуктів харчування. Упаковка означає скоординовану систему підготовки товарів (в даному випадку, продуктів харчування) для відвантаження, поширення, зберігання та маркетингу за оптимальними витратами, що відповідають вимогам продукту. Вона виконує захисну роль як засіб забезпечення безпечної доставки продукції в доброму стані кінцевому споживачу. Упаковка стає ще більш важливою при роботі з продуктами харчування, оскільки велика кількість продуктів стає непридатною через псування внаслідок недостатньої упаковки. Таким чином, для того щоб захистити їжу від псування, первинна упаковка є надзвичайно важливою.

Упаковка є дуже важливою в процесі упаковки. Будь-який фізичний матеріал, який слугує покриттям, обгорткою чи запечатуванням для об'єкта або матеріалу і є пакувальним матеріалом. Вибір типу упаковки залежить від типу їжі, яку потрібно упакувати, що включає в себе визначення типу обладнання, яке буде використовуватися та відповідну етикетку для упаковки. Тому необхідно розглянути вимоги до упаковки, щоб вона була комерційно функціональною[2, 7, 8]:

– повинна містити продукт, наприклад, у випадку холодних напоїв – пляшку, яка призначена для 1 літра напою та повинна бути здатною утримувати таку кількість рідини, а також зберігати її у безпеці до моменту використання;

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- має захищати продукт, що є найважливішою функцією, наприклад, у випадку з печивом, а також забруднень під час розподілу та використання;
- вона повинна продавати продукт, наприклад, солодощі, які призначені спеціально для дітей, повинні мати привабливий вигляд;
- має бути зручною на всіх етапах виробництва, зберігання та розподілу, наприклад, фруктові соки повинні легко відкриватися та наливатися.

Упаковка – це координована система підготовки продуктів харчування до транспортування, розподілу, зберігання, роздрібної торгівлі та використання. До основних функцій упаковки належать:

Для того, щоб упаковка могла утримувати продукт вона повинна мати такі характеристики: адекватний розмір для утримання продукту, конструкційні особливості з паперу, достатню міцність для витримання ризиків та бути корисною для розподілу й продажу.

Щоб захистити продукт від фізичних пошкоджень під час транспортування, розподілу та зберігання, екологічних факторів, таких як пил, вологість і забруднюючі речовини, а також взаємодій водяної пари і кисню, світлових променів і тепла.

Допомогти в маркетингу, сприяючи у визначенні продукту та забезпечуючи його відповідність законам, нормативам і специфікаціям, а саме збільшити термін зберігання та забезпечити зручність для споживачів. Окрім згаданих вище функцій, інша функція упаковки полягає в забезпеченні легкості використання, видачі та утилізації. Різні види продуктів потребують різних пакувальних матеріалів. Аналогічно існують різні методи упаковки, які можна використовувати для різних стилів пакування. Розглянемо різні типи упаковок:

1. Вакуумна упаковка. Вакуумна упаковка – це метод пакування при якому повітря з внутрішньої частини упаковки видаляється повністю безпосередньо перед герметизацією упаковки. Це передбачає поміщення харчових продуктів в упаковку з пластикової плівки (або, можливо, плівковий пакет, виготовлений з інших полімерних матеріалів), видалення повітря зсередини упаковки за допомогою вакуумного насоса, а потім герметизацію упаковки [7, 8]. Матеріали, що використовуються для вакуумної упаковки повинні бути достатньо міцними, щоб витримати вакуум, достатньо гнучкими, щоб формуватися навколо харчового продукту і мати дуже специфічний рівень термочутливості. Що стосується термочутливості матеріалу то матеріал повинен бути герметичним під час процесу пакування, але також придатним для помірних температур під час приготування (наприклад, 75°C).

Вакуумна упаковка заснована на видаленні зовнішніх газів з контейнера. Це стосується упаковки в контейнерах (жорстких або гнучких) з яких практично все повітря було видалено перед остаточною герметизацією контейнера. Причина цього полягає в тому, щоб продовжити термін зберігання продукту, видалити кисень, що знаходиться всередині, для захисту вмісту від його небажаних ефектів таких як привабливість аромату та смаку, окислювальне прогіркнення, мікробний ріст і фізичні зміни, а також зменшити втрату вологи. Машина видаляє повітря з упаковки перед її герметизацією, що використовується в основному для консервації та зберігання харчових продуктів. Машина витягує повітря з упаковки, а потім щільно запечатує її,

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

щоб запобігти повторному попаданню повітря, що подовжує термін зберігання, запобігає пошкодженням при заморожуванні та зберігає якість продуктів харчування, пригнічуючи зростання бактерій та цвілі.

2. Упаковка з газом. Упаковка з газом може бути визначена як зміна пропорційних об'ємів газів, які складають нормальну атмосферу. Цей тип упаковки зазвичай ділиться на дві категорії [7]:

– контрольоване атмосферне пакування означає активну упаковку, яка безперервно підтримує бажану атмосферу всередині упаковки протягом терміну придатності продукту. Така упаковка використовує агент для зв'язування або «вилучення» кисню, що проникає в упаковку, або пакети для виділення газу. В основному вона відноситься до контрольованої системи в якій гази додаються або видаляються для підтримання бажаного балансу. Для свіжих фруктів, овочів та м'ясних продуктів зазвичай здійснюється всередині гнучких бар'єрних матеріалів, а об'ємний контейнер або ємність для зберігання практично непроникні;

– модифікована атмосферна упаковка означає обгортання продукту в певний тип бар'єру та модифікацію атмосфери шляхом створення вакууму або заповнення газовою сумішшю. Система в якій атмосфера упаковки продуктів харчування модифікується так, що її склад відрізняється від повітря, але атмосфера може змінюватися з часом через проникність упаковочного матеріалу або дихання їжі. Модифікована атмосферна упаковка включає будь-що з наступного: зменшення частки кисню – повна заміна кисню та – збільшення частки інших газів, таких як вуглекислий газ або азот.

Такий тип упаковки передбачає модифікацію газу в головному просторі упаковки для продовження терміну зберігання продукції, яку вона містить. Газова упаковка з використанням азоту або вуглекислого газу є кращим методом видалення кисню, оскільки немає негативного тиску та сприйнятливості до проколів. Переваги газової упаковки включають: подовжений термін зберігання за рахунок контролю окислення шляхом заміщення кисню вуглекислою та азотом, пригнічуючи бактеріальний ріст нормальних аеробних організмів, що псують; збереження вологи – запобігання висиханню продукту шляхом утримання вологи в упаковці; запобігання розтращуванню м'яких продуктів.

3. Асептична упаковка. Асептична упаковка – це сучасний метод виробництва для зберігання швидкопсувних продуктів таких як продукти харчування, напої у безпечному та вільному від забруднення середовищі. Цей процес стерилізує продукт і його упаковку окремо, гарантуючи, що товар залишається свіжим і вільним від шкідливих мікроорганізмів. Після стерилізації продукт ретельно герметизують в асептичний контейнер в контрольованому середовищі. В цілому, асептика означає, що упаковка вільна від бактерій та інших мікроорганізмів і готова до зберігання стерильних продуктів [7, 9, 12]. Цей тип упаковки широко відомий тим, що зберігає якість продукції та продовжує термін придатності без охолодження та додавання консервантів. Він зазвичай використовується для молока, соків, соусів. Асептична упаковка – це процес під час якого їжа та упаковки стерилізуються окремо і заповнюються в асептичному середовищі. Асептичний процес

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пакування гарантує, що продукти залишаються безпечними та свіжими протягом тривалого часу [9]:

– стерилізація продукту: такі продукти, як молоко або сік, нагріваються до дуже високих температур протягом короткого часу, що вбиває бактерії та інші мікроорганізми без шкоди для смаку або харчової цінності продукту;

– стерилізація пакувальних матеріалів: контейнери, пляшки, пакети проходять стерилізацію за допомогою тепла, пари або хімічних речовин таких як перекис водню, що гарантує відсутність забруднень на упаковці перед наповненням;

– наповнення в стерильне середовище: стерилізований продукт засипають у асептичні контейнери в контрольованому середовищі, використовуючи сучасне обладнання для підтримки чистоти. Цей крок запобігає повторному забрудненню в процесі наповнення;

– герметизація упаковки: після наповнення упаковка щільно закривається, щоб запобігти потраплянню повітря, світла та мікроорганізмів. Цей крок гарантує, що виріб залишається захищеним від зовнішніх впливів.

4. Термальна обробка – це обробка харчових продуктів з високим вмістом вологи на місці, у жорстких або гнучких контейнерах. Обробка в банках з двостороннього металу, алюмінієвих контейнерах, а також нещодавно в гнучких багатопарових пакетах є прикладами цього типу обробки.

5. Упаковка мінімально оброблених продуктів. Продукти, які призначені для простого приготування шляхом видалення неїстівних частин та нарізки, можуть пакуватися в підходящі упаковки для продовження терміну зберігання. Для таких продуктів використовується метод мінімальної обробки їжі. Концепція ґрунтується на застосуванні найменшого можливого оброблення, яке дає свіжий, зручний, безпечний і високоякісний продукт.

Мінімальна обробка овочів – це сучасна технологія за допомогою якої різноманітні тропічні, субтропічні та інші овочі можуть бути представлені у обрізаному та нарізаному вигляді, які попередньо упаковані з свіжими/схожими на свіжі сенсорними характеристиками. Хоча мінімальна обробка все ще покращується, вже були представлені на ринку багато нових високоякісних продуктів [7]. Наприклад, радіочастотне нагрівання використовувалося для кількох типів продуктів, зокрема для випічки печива та злаків, сушіння харчових продуктів та розморожування заморожених продуктів. Тепло створюється всередині продукту в основному за рахунок його електропровідності. Декілька прикладів методів мінімальної обробки: упаковка в модифікованій атмосфері, асептична обробка, обробка під високим тиском, швидке нагрівання при високій температурі, дуже швидкі технології передачі тепла.

6. Активна упаковка. Активну упаковку можна вважати новою технологією, яка має значний вплив на якість, безпеку та продовження терміну зберігання свіжих продуктів. Упаковка використовує пакувальний матеріал, який взаємодіє з внутрішнім газовим середовищем, щоб продовжити термін зберігання їжі. Такі нові технології постійно модифікують газове середовище (і

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

можуть взаємодіяти з поверхнею їжі), видаляючи гази або додаючи гази в простір над їжею всередині упаковки. Активна упаковка передбачає взаємодію між пакувальним матеріалом і внутрішньою атмосферою продукту харчування. Існують різні види активної упаковки в залежності від використовуваних систем. Їх можна класифікувати наступним чином [12, 13]:

– активна упаковка з температурними системами: це системи, які дозволяють нагрівати або охолоджувати їжу, а також можуть підвищувати температуру всередині упаковки;

– активна упаковка з системами абсорберів і випромінювачів: абсорбери усувають небажані речовини такі як кисень, етилен, зайву вологу і певні смаки і запахи. Випромінювачі, з іншого боку, виділяють антимікробні речовини, такі як вуглекислий газ і етанол;

– активна упаковка з системами, що змінюють склад їжі або взаємодіють з нею: додавання матеріалів до натуральних екстрактів. Додавки можуть бути антимікробними, абсорбуючими на смак і запахом, ферментативними або антиоксидантними.

Активна упаковка працює двома способами:

– розміщення активного елемента всередині упаковки – невеликий пакетик, конверт або етикетка поміщається всередину упаковки з продуктом. Це може вивільняти, наприклад, антимікробну речовину, щоб уповільнити процес псування, або може захоплювати кисень, щоб їжа не зіпсувалася;

– включення активного елемента в сам пакувальний матеріал за допомогою екструзії або ламінації. Цей механізм є більш привабливим для споживачів, так як в упаковці товару немає сторонніх предметів, які могли б їх переплутати.

1.3 Класифікація первинних пакувальних машин

Машини для первинної упаковки продуктів харчування можна поділити на три типи в залежності від напрямку просування плівки:

– горизонтальні поточні машини в яких плівка просувається горизонтально і продукт також завантажується горизонтально;

– вертикальні поточні машини в яких плівка просувається вертикально і продукт також завантажується вертикально;

– машини для пакетів в яких плівка просувається горизонтально в той час як продукт завантажується вертикально.

Промислові горизонтальні пакувальні машини є невід'ємною частиною виробництва та пакувальної промисловості. Машини відіграють вирішальну роль в автоматизації процесу пакування різних продуктів, від продуктів харчування до товарів народного споживання. Розуміння їхнього принципу роботи має важливе значення для всіх хто бере участь у виробничих та пакувальних процесах.

1. Горизонтальні поточні машини в яких плівка просувається горизонтально і продукт також завантажується горизонтально (горизонтальна машина для формування, заповнення та герметизації). Машини для горизонтального заповнення форм широко використовуються в різних галузях

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

промисловості, включаючи харчову промисловість і напої. У харчовій промисловості ці машини відіграють важливу роль у пакуванні закусок, цукерок та інших витратних матеріалів. Універсальність машин для горизонтального заповнення форми робить їх цінним активом у будь-якому виробничому середовищі [14, 16]. Машини змінили спосіб упаковки продукції, забезпечивши ефективність, точність і послідовність у виробничому процесі. Машини для горизонтального заповнення – це універсальне пакувальне рішення, яке здатне формувати упаковку з плівки рулонного матеріалу, наповнювати її продуктом, а потім герметизувати горизонтальним способом. Процес починається з того, що котушка з плівкою розмотується і проходить через низку станцій, де вона формується, заповнюється і герметизується. Машини дуже універсальні та можуть вмщати широкий спектр продуктів, від порошків і гранул до рідин і твердих речовин (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Горизонтальна пакувальна машина

Цикл завершується з наскрізними зварюваннями – ці процеси виконуються в одній операції, оскільки система зазвичай формує і розділяє з підрізуванням посередині як друге, так і перше поперечне зварювання двох наступних пакетів в одній фазі (рис. 1.2). Для поперечного зварювання також доступні різні рішення, як з механічної точки зору (обертові системи) так і з точки зору технології зварювання в залежності від використовуваного матеріалу, запиту на швидкість та конкретного продукту, що упаковується. Для продуктів, покритих морозивом та шоколадом, наприклад, можуть використовуватися системи холодного зварювання, щоб запобігти пошкодженню продуктів теплом, тому як довжина, так і поперечні зварювальні системи використовуються, як правило, на основі тиску, що застосовується на краях матеріалу, який потрібно з'єднати [2, 16]. Альтернативно, найчастіше використовуваними технологіями є провідникова та ультразвукова герметизація, остання є дуже новою технологією, яка не вимагає часу попереднього нагрівання і, отже, дозволяє машині бути готовою відразу, і це також ефективна система для багатьох різних матеріалів.

Продукти зазвичай транспортуються в машину за допомогою конвеєрного ланцюга. Розгорнута плівка проходить разом із продуктом у формувальну коробку, яка обгортає її навколо самого продукту. На цьому етапі нижня частина або верхня частина упакованого продукту потрапляє між кількома парами рольгангів, які витягують і продовжують герметизувати плівку, зрештою механізм закриття країв виконує поперечні герметизації та

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

одночасно розділяє окремі пакунки, які залишають основну упаковочну машину на конвеєрі для вивантаження.

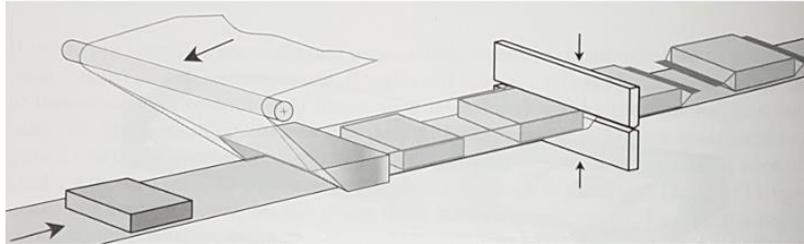


Рисунок 1.2 – Схематичний вигляд перехресної герметизації в горизонтальній пакувальній машині

Щодо позиціонування плівки то горизонтальні потокові упаковки поділяються на дві версії: рулони плівки розташовані під поверхнею ковзання продукту та плівка розташована над поверхнею ковзання продукту. Рулони плівки розташовані під поверхнею ковзання продукту: у цьому випадку продукт розміщується на плівці, яка потім обгортає його і так здійснюється поздовжнє зварювання верхньої частини упаковки. Плівка сама, просуваючись, переносить продукт всередині себе. Рулони плівки розташовані над поверхнею ковзання продукту тоді коли немає високих швидкостей і крихких продуктів. Технологія характеризується тим, що плівка розташована над поверхнею ковзання продукту: у цьому випадку продукт переміщується вперед до станції поздовжнього зварювання за допомогою ланцюга з штифтами. Плівка обгортає продукт зверху, а поздовжнє зварювання виконується на дні упаковки. Метод є найбільш використовуваним, оскільки дозволяє досягати вищих швидкостей.

Іншим елементом відмінності між різними горизонтальними упаковками є система поперечного зварювання. Існують три можливі версії: ротаційна, тривале зварювання або зварювання коробкою. Різні фактори залежать від обраної системи зварювання, серед них максимальна висота продуктів, які можна упакувати (у випадку високих продуктів, ротаційна система, як правило, не підходить, потрібно використовувати тривале зварювання або зварювання коробкою) та максимальна можлива швидкість (ротаторні зварювальні системи є найпродуктивнішими в цьому відношенні) [2]. Більше того, що стосується поперечного зварювання за допомогою систем тривалого зварювання або зварювання коробкою в деяких машинах передбачені спеціальні датчики для вимірювання розмірів вхідного продукту, а потім правильного синхронізування електричної осі зварювальної системи, щоб уникнути протискування продукту між зварювальними щелепами, що є дуже корисною опцією в разі натуральних продуктів, розміри яких не завжди однакові або для полегшення зміни формату. Додатковою опцією є можливість упаковки продуктів в модифікованій атмосфері. Система складається з труби, яка закачує газ всередину трубчастій плівки (продувка газом) і видаляється лише безпосередньо перед останнім поперечним зварюванням, яке закриває упаковку, таким чином, що всередині упаковки буде певний газ, який зазвичай використовується для збільшення терміну зберігання. Що стосується розмірів пакувальних виробів та досяжних швидкостей то ці фактори варіюються від машини до машини, що вводить додатковий елемент диференціації між моделями. Зокрема, хороші

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

горизонтальні поточні упаковки можуть досягати з довжиною продукції від 60 до 350 мм, шириною від 10 до 200 мм та максимальною висотою 100 мм, продуктивності 200 циклів/хв з системою зварювання на одному блоці.

Однією з ключових переваг машин для горизонтального заповнення форм є їх ефективність. Машини мають високу продуктивність, що дозволяє швидко пакувати продукцію без шкоди для якості. Крім того, вони зменшують потребу в ручній праці, економлячи час і витрати виробників. Обладнання для горизонтального заповнення форм забезпечують чудову гнучкість, що дозволяє легко перемикатися між різними розмірами та типами упаковки [14]. У міру розвитку технологій розвиваються і машини для горизонтального заповнення форм. Виробники постійно впроваджують інновації, щоб підвищити ефективність, зменшити кількість відходів і розширити можливості цих машин. Деякі з нових тенденцій у технології горизонтального заповнення форми включають інтеграцію інтелектуальних датчиків для контролю якості, використання екологічно чистих матеріалів для упаковки та впровадження автоматизації для підвищення продуктивності.

2. Вертикальні поточні машини в яких плівка просувається вертикально і продукт також завантажується вертикально (вертикальні пакувальні машини). Вертикальні пакувальні машини пропонують універсальне та ефективне рішення, особливо підходять для пакування продуктів, які потребують вертикального наповнення та герметизації. Вертикальна пакувальна машина – це одне з автоматизованих пакувальних рішень, яке наповнює продукцію в мішки або пакети за допомогою вертикально встановленої технології «форма-заповнювач-ущільнення» [2, 17, 33]. Машини об'єднують процеси формування, наповнення та герметизації в одному компактному пристрої, що робить їх ідеальними для харчової промисловості. Пакувальні машини з вертикальним заповненням і запечатуванням форм призначені для взяття гнучкої пакувальної плівки з рулону, формування її в пакети, наповнення продукту та запечатування упаковки – і все це у вертикальній орієнтації. Такий підхід максимізує використання площі та вміщує широкий спектр типів продукції від порошків і гранул до рідин і твердих речовин.

Машина виготовляє мішок з рулонної плівки, наповнює його продуктом і, нарешті, запаює послідовно вертикально. Завдяки такому компоюванню можлива безперервна високошвидкісна упаковка, яка легко керується вручну, що підвищує продуктивність і водночас знижує вартість упаковки. Машини для вертикальної форми, заповнення та герметизації є популярним рішенням для пакування в різних галузях промисловості. Вони автоматизують процес пакування, створюючи пакети, наповнюючи їх продуктом і запечатують. Обладнання зазвичай призначене для продуктів, що вільно пересуваються, тобто гранульованих, порошкових, у невеликих шматочках або рідких продуктах [2, 15]. Вертикальна машина для заповнення та ущільнення форм працює шляхом подачі пластикової плівки в довгу порожнисту конічну трубку, яка називається формувальною трубкою (рис. 1.3). Плоска плівка 1 пакувального матеріалу, яка намотана на котушку 2, відтягується на високій швидкості та подається до формуючої комірки 3, яка плавно формує її в циліндр 4 для заповнення продуктом. Процес формування плівки також

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

повинен зібрати зовнішні краї плівки разом і перекрити їх, щоб створити шов 5 вздовж якого плівка буде запечатана. Продукт 6 потім падає у запечатану плівку, яка потім запечатується 7 і ріжеться, щоб утворити упаковку 8. Після запечатування готовий пакет знімається і переходить до наступного етапу упаковки, який включає в себе упаковку і відправку. Деякі машини також вводять у мішок повітря або інертний газ, наприклад азот, щоб запобігти роздавлюванню або уповільнити ріст мікроорганізмів і забезпечити свіжість продукту.



Рисунок 1.3 – Вертикальна пакувальна машин

У порівнянні з горизонтальними пакувальними машинами вертикальна форма заповнення та запаювання можуть бути повільнішими, оскільки продукт, що просувається зверху вниз, падаючи, має тенденцію формувати так звану «чергу», тому важливо дочекатися закінчення цієї черги продукції, щоб мати змогу закрити кожен продукт. Обладнання даного типу можуть бути переривчастими або безперервними на відміну від горизонтальних машин, які завжди є безперервними.

Існує два способи реалізувати переривчастий цикл поперечного зварювання: можна або впустити продукт безпосередньо в новозварений висячий мішок (для легких продуктів), або зварити основу мішка, трохи відкрити зварювальні шви, щоб не спалити плівку, і, утримуючи пакувальний матеріал напівзакритим, завантажити продукт у висячий мішок.

Ще одна проблема, яка характеризує вертикальні пакувальні машини – це можливе забруднення внутрішньої частини плівки під час просування продукту. Якщо це станеться в зоні, де плівка повинна зварюватися це може вплинути на якість запечатування [2, 17, 33]. Ця проблема може виникнути з такими продуктами як чіпси, попкорн тощо, але взагалі це може статися з усіма продуктами, якщо частина самого продукту під час падіння, внаслідок ударів з іншими частинами продукту, проходить по довшій, ніж очікувалося траєкторії і тому все ще перебуває між зварювальними щілинами, коли вони закриваються. Щодо вертикальних безперервних машин, вони зазвичай реалізуються з ротаційними або коробковими зварювальними системами, але між цими двома ротаційна дозволяє досягти значно вищих швидкостей (оскільки коробкова у вертикальному положенні має інерційні проблеми). У вертикальних пакувальних машин можна виділити чотири основні характеристики процесу.

1. Шнековий дозуючий пристрій складається з завантажувального бункера в якому обертається черв'як (шнек). Конкретна кількість продукту

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ	Арк.
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дозується відповідно до кількості обертів і кроку гвинта. Це ідеально підходить для дуже дрібних продуктів.

2. Об'ємний дозувальний пристрій – завданням є дозування певної кількості продукту. Його можна регулювати і він підходить для гранульованих продуктів.

3. Потоківі лінії з вібруючими поверхнями – використовуються для гранульованих продуктів середніх та великих розмірів і включають комплект вібруючих поверхонь, які просувають продукт до вагової камери. Як тільки досягається запланована вага, вібруючі поверхні миттєво зупиняються, а вагова камера спорожняє свій вміст у пакувальний матеріал, формуючи комір на упаковочній машині.

4. Мультиголовковий ваговий агрегат (багатофункціональна система зважування) – швидке, точне, надійне та гігієнічне рішення. Доступний у різних моделях для задоволення специфічних вимог. Ідеальне рішення для зважування та досягнення високих виробничих показників з максимальною точністю.

3. Машини для пакетів в яких плівка просувається горизонтально в той час як продукт завантажується вертикально. У горизонтальних або вертикальних машинах формування і заповнення мішка є одночасними процесами, тоді як у машинах для стоячих пакетів ці два процеси відбуваються окремо: спочатку мішок формується, а потім відбувається заповнення, а отже всі етапи розділені на різні кроки. Процес починається з котушки, де плівка складається у форму мішка, робляться перші необхідні отвори, дно зварюється, виконуються бокові зварювання, прикріплюється кінець блискавки, і в кінці цих етапів, що виконуються на кількох робочих станціях, отримується порожній мішок [2]. На цьому етапі мішок відділяється за допомогою відповідної системи різання, від решти рулону (варто зазначити, що в горизонтальних та вертикальних машинах мішок відокремлюється від плівки під час завантаження продуктом, а в даному випадку він розрізається, коли ще порожній), потім переміщується спеціальною транспортною системою вздовж машини і на цьому етапі він відкривається, заповнюється дозованим продуктом за допомогою багатоголових ваг, закривається, а на завершення виконується верхнє запечатування.

Однією з цілей машини для упаковки є досягнення «ідеального» мішка: це стає можливим завдяки принципу роботи машини, тобто завдяки тому, що робота проводиться на декількох станціях. Така структура дозволяє, наприклад, використовувати до 0,5 секунд для зварювань (інтервал часу, який суттєво вищий, ніж той, що представлений у горизонтальних чи вертикальних машинах). Крім того, є багато можливостей з естетичної точки зору мішка: у вертикальних машинах, наприклад, мішки завжди мають прямі краї, у машинах для упаковки можливо зробити краї розширеними (спочатку виконуючи бічні зварювання, а потім моделюючи їх за допомогою спеціальних систем різання).

На основі вище зазначеного можна вважати, що вертикальна машина для наповнення та пакування мішків (сумок) підходить для пакування сипкої сировини. Автоматична упаковочна машина може упаковувати сировину, включає загальні вимоги: функціональні вимоги, а саме може виконувати автоматичне виготовлення пакетів, теплову герметизацію, вивантаження та

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інші функції; вимоги до продуктивності – максимальна ємність пакування, яка може бути відрегульована.

1.4 Основні відмінності між вертикальними та горизонтальними системами наповнення та пакування

Як горизонтальні так і вертикальні пакувальні машини підвищують ефективність і швидкість виробництва на підприємствах з пакування харчових продуктів. Однак вони відрізняються за такими істотними ознаками [18]:

1. Спрямованість процесу пакування. Основна відмінність між двома машинами полягає в їхній фізичній орієнтації. Машини для горизонтального обгортання потоком (або просто обмотувачі потоком) обгортають і герметизують товари горизонтально. На противагу цьому вертикальні пакувальники пакують продукти вертикально.

2. Площа та планування. Завдяки своєму горизонтальному розташуванню горизонтальні пакувальні машини займають набагато більшу площу, ніж вертикальні машини.

3. Придатність для продукції. Однією з ключових відмінностей між машинами полягає в типі продуктів з якими вони можуть працювати. У той час як горизонтальні пакувальні машини можуть обгортати все, від дрібних предметів до громіздких предметів, вони найкраще підходять для одиничних твердих товарів. Наприклад, компанії, що займаються упаковкою харчових продуктів, можуть вибрати системи для хлібобулочних виробів і злакових батончиків. З іншого боку, вертикальні пакувальні машини краще підходять для товарів різної консистенції. Прикладами в харчовій промисловості є жувальні цукерки, кава, цукор, борошно.

4. Ущільнювальні механізми. Горизонтальні та вертикальні машини для пакування створюють пакет з рулону плівки, наповнюють його продуктом і запечатують упаковку. Залежно від системи упаковки можна побачити різноманітні механізми ущільнення: термоущільнення (використання електричного опору), ультразвукові ущільнення (використання високочастотних коливань) або індукційні ущільнення (використання електромагнітного опору). Кожен тип ущільнювачів має свої плюси і мінуси. Наприклад, класичний термоущільнювач є надійним і економічно вигідним, але вимагає етапу охолодження та більшої площі машини. Ультразвукові механізми створюють герметичні ущільнення навіть для брудних продуктів, скорочуючи при цьому витрату пакувального матеріалу і час запаювання.

5. Швидкість та ефективність. Обидві машини забезпечують високу ефективність і потужну пакувальну здатність, обмотувачі з горизонтальним потоком мають явну перевагу з точки зору швидкості. Вони можуть упаковувати велику кількість продуктів за короткий час, що робить їх особливо корисними для великих обсягів застосувань. Сервоприводи, які іноді називають підсилювачами, дозволяють машинам підтримувати точний контроль на високих швидкостях.

6. Формат упаковки. Обидві системи забезпечують гнучкість у форматах упаковки, але обгортки з горизонтальним потоком дозволяють більшу різноманітність типів і закупорювальних засобів. У той час як вертикальні

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

машини можуть здійснювати пакування в пакети різних розмірів і стилів, горизонтальні машини можуть пакувати не лише в пакети, а й коробки, пакетики та більш важкі сумки з насадками або блискавками.

7. Механізми та принципи роботи. Горизонтальні і вертикальні пакувальні машини мають численні подібності. Обидві виготовлені з нержавіючої сталі, обидві підходять для харчової промисловості та формують, заповнюють і запечатують упаковки за одну операцію. Однак, їх фізична спрямованість і режим роботи відрізняються. Принципова відмінність від горизонтальних машин полягає в тому, що вертикальні машини покладаються на силу тяжіння для заповнення упаковки, опускаючи продукт у мішок зверху.

8. Тип продукції, що упаковується. Наприклад, для пакування кексів, тістечок або цукерок підходять горизонтальні пакувальні системи. Однак, якщо виробляються макарони, спеції або чіпси краще застосовувати вертикальні пакувальні системи. Вертикальні мішки зазвичай краще підходять для всього, що важко обробляти вручну, включаючи рідини, сипучі, липкі або тістоподібні продукти.

На основі вище зазначеного можна вважати, що упаковка для продуктів харчування відіграє важливу роль у забезпеченні того, щоб їжа, яку ми споживаємо, залишалася свіжою та привабливою. Крім того, що упаковка містить продукт, вона служить бар'єром від факторів навколишнього середовища, допомагає продовжити термін придатності, полегшує транспортування та повідомляє важливу інформацію споживачам. У сучасній різноманітній харчовій промисловості різні форми упаковки еволюціонували, щоб відповідати певним вимогам до різних видів харчових продуктів.

Зазначено, що вибір правильного обладнання має важливе значення для досягнення цих цілей. Існує два основних типи пакувальних машин: машини для горизонтального заповнення форми і машини для вертикального заповнення форм. Горизонтальні системи пакування переміщують продукцію горизонтальною конвеєрною стрічкою. Щоб виготовити мішечок, машина розмотує рулон пакувальної плівки, герметизує його на дні, а потім запечатує вздовж бортів у правильній формі. Далі вона заповнює мішечок через верхній отвір. Цей етап може включати гарячі заливки для термічно оброблених продуктів, чисті заливки для нетермічно оброблених товарів і надчисті заливки для розподілу холодого ланцюга. Машина герметизує виріб за допомогою належної застібки, такої як блискавки, насадки або гвинтові ковпачки.

Вертикальні машини для пакування працюють протягуючи рулон плівки через трубку, герметизуючи трубку внизу, щоб сформувати мішок, наповнюючи пакет продуктом і запечатуючи пакет зверху, який утворює дно наступного пакета. Машина розрізає нижній ущільнювач посередині, щоб розділити пакети на окремі пакети. Принципова відмінність від горизонтальних машин полягає в тому, що вертикальні машини покладаються на силу тяжіння для заповнення упаковки, опускаючи продукт у мішок зверху. Наприклад, для пакування кексів, тістечок або цукерок підходять горизонтальні пакувальні системи. Однак, якщо виробляються макарони, спеції або чіпси краще застосовувати вертикальні пакувальні системи. Вертикальні мішки зазвичай краще підходять для всього, що важко обробляти вручну, включаючи рідини, сипучі, липкі або тістоподібні продукти.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2 УДОСКОНАЛЕННЯ ВЕРТИКАЛЬНОЇ МАШИНИ ДЛЯ ПАКУВАННЯ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ

2.1 Зварювальні рішення в упаковці продуктів харчування

Найважливішою функцією упаковки є забезпечення захисту та цілісності продукту, що означає, що упаковка повинна бути надійно запечатана. З пластиковою упаковкою цього можна досягти шляхом термічного герметизування або за допомогою якоїсь форми клейової системи. Тому важливим елементом в упаковці є механізм ущільнення, а саме набір компонентів, які відповідають за поперечні зварювання упаковок і є надзвичайно важливими. Горизонтальні та вертикальні машини для пакування створюють пакет з рулону плівки, наповнюють його продуктом і запечатують упаковку. Залежно від системи упаковки можна побачити різноманітні механізми ущільнення: термоущільнення (електричний опір), ультразвукові ущільнення (високочастотні коливання) або індукційні ущільнення (електромагнітний опір). Кожен тип ущільнювачів має свої плюси і мінуси. Наприклад, класичний термоущільнювач є надійним і економічно вигідним, але вимагає етапу охолодження та більшої площі машини. Ультразвукові механізми створюють герметичні ущільнення навіть для брудних продуктів, скорочуючи при цьому витрату пакувального матеріалу і час запаювання.

1. Теплове зварювання продуктів і, отже, ефективний термін придатності є функцією якості герметизації упаковки. Сила зварювання залежить від товщини плівки. При однаковому покритті подвоєння товщини базової плівки майже вдвічі збільшує міцність зварювання [39]. Проте, чим товще матеріал, тим вузьчий діапазон температури зварювання за звичайних умов герметизації. Товста плівка не дозволяє теплу так легко проходити, щоб розплавити герметизуюче покриття або полімер і при нагріванні плівка утримує тепло, що дозволяє герметику залишатися рідким, що негативно впливає на міцність гарячого зварювання.

Термічне зварювання є життєво важливим процесом у пакувальній промисловості, який використовується для склеювання пластикових плівок за допомогою тепла та тиску. Різні методи термозварювання мають чіткі переваги залежно від типу матеріалу та конкретних потреб упаковки. Вибір правильного методу термозварювання може забезпечити міцні, довговічні ущільнення, які зберігають цілісність продукту. Термічне зварювання передбачає з'єднання поверхонь термопластичних полімерів з метою отримання з'єднань достатньої міцності, щоб витримувати навантаження в розподільчому та споживчому середовищі [2]. Реалізація з'єднань є критично важливим кроком у пакуванні продуктів харчування, головним чином з двох причин.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Смарунь			Дослідження процесу та удосконалення обладнання для пакування продуктів харчування	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Омельченко					21	14
Н. Контр.		Омельченко			ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО			
Затверд.		Хорольський						

По-перше, це час, необхідний для зварювання, оскільки він впливає на продуктивність. У машинах для пакування, як вертикальних, так і горизонтальних, які використовуються в харчовій промисловості, можна відрізнити два види зварювань у кожному пакеті: поперечне та поздовжнє. Інтервали часу в яких вони виконуються, залежать від характеристик упаковочного матеріалу та специфічної технології зварювання. По-друге, можливість впливати на термін придатності продукту, тобто на тривалість часу, протягом якого продукт може зберігатися без того, щоб стати непридатним для споживання: погано зварена упаковка або навіть упаковка з неперервним зварюванням може призвести до попадання повітря або у випадку упаковки з модифікованою атмосферою до втрати певних захисних атмосфер.

Системи герметизації з термоуцільненням є найбільш використовуваними в харчовій упаковці та зазвичай складаються з двох металевих пластин, одна з яких електрично нагрівається. Температура контролюється термостатом через електричний опір. Друга або опорна пластина часто покрита еластичним матеріалом, таким як гума, для рівномірного розподілу тиску та допомоги в згладжуванні плівки в ущільнюючій зоні. Часто невідігріта пластина охолоджується водою, хоча в деяких випадках її можна підігріти до тієї ж температури, що й перша, щоб зменшити час зварювання та здійснити ущільнення через листи плівки точно так само. Краї пластин часто закруглені, щоб уникнути проколювання пакувального матеріалу. Відповідно до різних методів нагрівання та створення тиску методи термозварювання термозварювальних машин можна розділити на такі типи [19]:

Термозварювання пластин є найпоширенішим методом термозварювання. Він використовує нагрівальну пластину для періодичного нагрівання та тиску для досягнення герметизації пластикової плівки. Два шари плівки, що підлягають герметизації, транспортуються між нагрівальною плитою і верстаком, а потім щільно притискаються до антиприлипаючого матеріалу. Нагрівальна плита і нагрітий до певної температури верстак (постійний контроль температури) нагріваються і надходять під тиск, а потім охолоджуються для досягнення герметичного ущільнення. Температура нагріву зазвичай визначається резистивним елементом вимірювання температури та відображається приладом відображення температури. Температура регулюється регулятором напруги або резисторним пристроєм. Для забезпечення якісної герметизації швів термозварювальна поверхня нагрівальної плити повинна бути рівною, а опорна площина – пласкою. Цей термоплавкий ущільнювальний пристрій має просту структуру та принцип, а також швидку швидкість герметизації. Він широко використовується в автоматичних пакувальних машинах періодичного типу.

Рулонне термозварювання полягає в ущільненні пластикової плівки шляхом застосування тиску за допомогою безперервно обертового ролика та нагрівання одним або двома роликками в парі роликів. Коли два шари плівки, що підлягають герметизації, протягуються через пару нагрівальних роликів (або тільки один нагрівальний ролик) вони нагріваються і надходять під тиском, а

потім охолоджуються для досягнення щільного ущільнення. Нагрівач опіру встановлюється в нагрівальному ролику і струм передається на нагрівальний провід через ізольований від машини електроустановочний пристрій (наприклад, щітки, контактні кільця і дроти). Пристрій для регулювання температури і прилад для визначення і відображення температури термозварювального ролика встановлені зовні.

Умови ущільнення є компромісом між часом витримки та температурою і тиском ущільнення. Вимога полягає в тому, щоб застосувати достатню енергію для того, щоб ущільнювач з'єднався і став одним середовищем. Проведення тепла в поєднанні з характеристиками теплового потоку потрібно ретельно збалансувати, щоб створити ідеально сформоване ущільнення без спотворення температури та з рівномірною міцністю ущільнення протягом всієї ущільненої області. Вхідна енергія є функцією часу та температури. Для термочутливих плівок ідеально підходить низька температура, що застосовується протягом тривалого часу, з високим тиском для видалення повітря між поверхнями плівки. Для плівок з широким діапазоном температури ущільнення толерантність щодо часу витримки, температури та тиску ущільнення значно ширша. Якщо можливо, слід нагрівати обидві сторони, щоб досягти максимально швидкого плавлення полімеру [21-23, 39]. Ущільнюючі поверхні повинні мати хороші властивості для розділення, щоб запобігти прилипанню розплавленого полімеру до нагрівальних поверхонь і розриву новоствореного ущільнення. Альтернативою є використання однієї нагрівальної поверхні у вигляді металевої планки з постійною температурою. Вдале формулювання плівки з балансом ковзання в покритті повинно мінімізувати або уникати проблем із прилипанням, водночас не впливаючи на герметизаційні властивості. Точний контроль температури зварювання важливий, особливо коли температура герметизації низька і близька до температури плавлення орієнтованої плівки. Точний контроль температури щелеп є надзвичайно важливим, щоб гарантувати, що кінцеві складки у формі конверта плівки не усаджуються під час запаювання і, таким чином, не стають зморшкуватими та непривабливими.

Обертальна зварювальна система складається з пари обертових роликів і одного або кількох герметизуючих брусків, які закріплені на їх периметрі. Плівка, що містить продукт, проходить між двома роликами, які обертаються відповідно до закону руху, таким чином, щоб забезпечити, що дотична швидкість герметизуючих брусків дорівнює лінійній швидкості плівки, коли бруски одного ролика зустрічаються з відповідними брусками іншого ролика з метою зварювання двох країв плівки, а потім герметизації пакета (рис. 2.1).

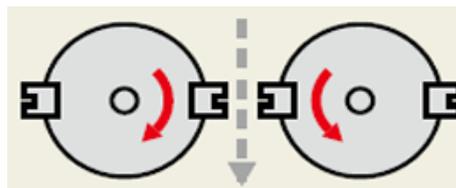


Рисунок 2.1 – Обертальна зварювальна система

Система складається з однієї електричної осі і зазвичай використовується для високих швидкостей або економічних машин. Також важливо використовувати плівки з високою зварювальністю або плівки холодного зварювання (тобто плівки, яка герметизується механічним стисненням) через скорочений час зварювання ротаційної системи порівняно з іншими рішеннями. Характерною рисою рулонного термозварювання є безперервне ущільнення, яке підходить для термозварювання композитних плівок, що складаються з основної плівки (целофан) і термозварювальної плівки (поліетилен) [21-23]. У деяких безперервних автоматичних пакувальних машинах з кількома функціями, такими як виготовлення мішків, наповнення та запечаткування, термозварювальний ролик може не тільки завершити поздовжнє термозварювання матеріалу пакувальної плівки для виготовлення пакета, але й відігравати роль витягування та транспортування стрічки пакувального плівкового матеріалу. Що стосується одиночної плівки то вона легко деформується через нагрівання, що позначиться на якості герметизації, тому вона не підходить для використання.

Система з тривалим дотиком дозволяє зварювальним планкам виконувати таку траєкторію де прямолінійна частина розміщена паралельно напрямку руху плівки (рис. 2.3). Система порівняно з традиційною ротаційною системою (за тієї ж швидкістю плівки) дозволяє досягати більший час герметизації, оскільки зварювальні щелепи можуть «слідувати» за пакетом на всій довжині їхньої прямолінійної траєкторії. Цей аспект гарантує, що навіть товсті плівки щільно герметизуються. Крім того, в горизонтальних машинах з високою швидкістю герметичні з'єднання можливі до 200 циклів/хв у випадку однієї зварювальної планки і до 400 циклів/хв у випадку двох зварювальних планок [2, 27]. У вертикальних машинах можливо досягти максимальної продуктивності приблизно 125 циклів/хв у випадку однієї зварювальної планки і 200 циклів/хв у випадку двох зварювальних планок через інші обмеження вертикальної конфігурації.

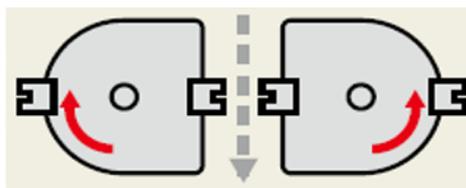


Рисунок 2.2 – Система з тривалим дотиком

Система зварювання (система бокового руху) складається з системи з двома ступенями вільності: одна для переміщення уздовж напрямку просування плівки, інша для переміщення в напрямку перпендикулярному до плівки. Обидва переміщення виконуються на електричній осі. Щодо руху в напрямку просування плівки неможливо використовувати механізм шток-кривошип, оскільки він має фіксований хід, а це означає, що з урахуванням конкретного значення швидкості плівки неможливо змінити час зварювання. Протягом циклу цієї осі, яка безперервно рухається вперед і назад, повернення очевидно є втраченим часом, тому важливо зробити його якомога швидшим. Для цього деякі виробники використовують лінійні синхронні двигуни.

Ультразвукове термозварювання складається з високочастотного генератора, магнітострикційного вібратора, який перетворює високочастотну електричну енергію в поздовжню вібрацію і підсилювача амплітуди експоненціальної кривої, який передає поздовжню вібрацію на плівку. Під час термічного зварювання ультразвукова вібрація, що передається підсилювачем амплітуди експоненціальної кривої, змушує поверхню плівки, що перекивається, нагріватися, плавитися і з'єднуватися [39]. Цей метод герметизації характеризується виділенням тепла в центрі плівкового покриття, що підходить для безперервного герметизування плівок, які легко стискаються під дією тепла, таких як двовісно натягнуті плівки. Він може термічно герметизувати різноманітні матеріали з пластикової плівки і може бути добре герметичним, навіть якщо пакувальний матеріал випадково забруднений водою, маслом тощо під час наповнення матеріалу. Він також має високу герметичність для пластмас, які схильні до термоусадки, деформації або термічного розкладання. Він особливо підходить для термозварювання в упаковці харчових продуктів, ліків, радіо та електронних компонентів, які чутливі до теплового випромінювання, і широко використовується в машинах для виготовлення пакетів або автоматичних пакувальних машинах.

Термозварювальна машина – це машина, яка запечатує пакувальні контейнери шляхом термічного зварювання. Вона широко використовується для термозварювання різних пластикових пакетів. Розуміння різноманіття методів термозварювання – від простоти термозварювання пластин до розширених можливостей ультразвукового зварювання – дозволяє виробникам вибрати найбільш ефективне та відповідне рішення для своїх потреб в упаковці. Кожен метод герметизації має певні переваги залежно від матеріалів, швидкості виробництва та необхідної якості. Вибираючи правильну техніку можна підвищити ефективність упаковки, зменшити кількість відходів і забезпечити високоякісні ущільнення, які відповідають галузевим стандартам.

2. В останні роки метод ультразвукової герметизації все частіше використовується для гнучкої упаковки. Наразі існує безліч застосувань у формі заповнення і герметизації мішків. Цей метод зварювання пластикових частин має короткий час зварювання в порівнянні з кондуктивним зварюванням. Під час ультразвукового зварювання полімерні частини або плівки стиснуті та осцильовані вертикальними вібраціями за допомогою спеціального інструменту. Високочастотне електричне поле перетворюється на механічну осциляцію в так званому перетворювачі, який зазвичай складається з п'єзоелектричних перетворювачів [20, 28]. Типові частоти для ультразвукового зварювання коливаються від 20 до 40 кГц. Амплітуда перетворювача трансформується механічним підсилювачем. Нарешті, як згадувалося раніше, осциляція перетворюється та передається до деталей або плівки зварювання.

Ультразвукова герметизація є інноваційним і високоефективним методом склеювання матеріалів, яка зазвичай використовується в упаковці. Ця техніка покладається на високочастотні звукові хвилі для вироблення тепла через тертя, що створює ущільнення між матеріалами, як правило, пластиком. На відміну від традиційних методів герметизації, які використовують тепло від зовнішнього джерела, ультразвукове ущільнення використовує енергію, що

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

генерується механічними вібраціями, пропонуючи швидший, чистіший і точніший процес герметизації.

Суть процесу ультразвукового герметизування полягає в застосуванні ультразвукових коливань. Генератор перетворює електричну енергію у високочастотні звукові хвилі, які потім передаються через перетворювач. Перетворювач перетворює ці звукові хвилі в механічні коливання. Вібрації спрямовуються в матеріали, що герметизуються за допомогою ультразвукового коливання, яке безпосередньо контактує з матеріалами [20, 27, 28]. Коли ультразвук вібрує об матеріали він створює швидке тертя на молекулярному рівні. Тертя викликає локалізоване тепло, яке розм'якшує або розплавляє матеріали в зоні ущільнення. Ключова особливість ультразвукового герметизування полягає в тому, що тепло генерується лише в точці контакту між матеріалами, а це означає, що навколишні ділянки залишаються незачепленими теплом. Як тільки матеріал у зоні ущільнення розм'якшується теплом, що виділяється від ультразвукових коливань, вібрації припиняються, а затиснутий тиск допомагає матеріалам зливатися разом, охолоджуючись. Розплавлений матеріал утворює зв'язок, який застигає в міцне, довговічне ущільнення.

Переваги ультразвукової герметизації:

– чиста і точна герметизація, бо ультразвукова герметизація створює високоточні ущільнення без використання клеїв, джерел тепла або розчинників, що робить його ідеальним для застосувань, де важлива чистота, таких як упаковка медичних пристроїв або харчових продуктів;

– швидкий процес, бо весь процес ультразвукового герметизування зазвичай займає всього кілька секунд. Такий швидкий час циклу робить його придатним для високошвидкісних виробничих ліній, підвищуючи загальну ефективність і пропускну здатність;

– мінімальний тепловий вплив, оскільки ультразвукова герметизація виділяє тепло тільки в місці контакту, решта матеріалу залишається неушкодженою, що мінімізує ризик пошкодження чутливих до тепла матеріалів і гарантує, що навколишні ділянки залишаться недоторканими;

– енергоефективність – ультразвукове ущільнення є більш енергоефективним, ніж традиційні методи термозварювання, оскільки воно не покладається на зовнішні нагрівальні елементи. Процес використовує механічні коливання для локального вироблення тепла, зменшуючи загальне споживання енергії;

– екологічність – на відміну від термічного зварювання для якого можуть знадобитися клеї або склеювальні агенти, ультразвукова герметизація не використовує жодних додаткових хімічних речовин, що робить процес більш екологічним з меншою кількістю відходів і шкідливих викидів.

3. Імпульсне з'єднання. За допомогою імпульсного зварювання щелепи розігріваються до температури плавлення за допомогою короткого потужного електричного імпульсу. Зона зварювання залишається затиснутою та охолоджується під тиском. Імпульсні зварювання зазвичай вужчі, ніж гарячі бари, але можуть бути подвоєні. Коли присутня незначна забрудненість, метод імпульсного зварювання може дати кращий зварний шов. Напряга та тривалість

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

варіюються в залежності від матеріалу. Плівки можуть бути зварені імпульсно нагрітими дротами або смугами для виготовлення зварних швів.

На основі вище зазначеного можна вважати, що найважливішою функцією упаковки є забезпечення захисту та цілісності продукту, що передбачає, що упаковка має бути надійно закрита. З пластиковою упаковкою це можна досягти шляхом термозварювання або використанням якоїсь форми клейової системи. Теплове зварювання продуктів і, отже, ефективний термін придатності є функцією якості герметизації упаковки. Сила зварювання залежить від товщини плівки. При однаковому покритті подвоєння товщини базової плівки майже вдвічі збільшує міцність зварювання. Проте, чим товщий матеріал, тим вужчий діапазон температури зварювання за звичайних умов герметизації. Товста плівка не дозволяє теплу так легко проходити, щоб розплавити герметизуюче покриття або полімер і при нагріванні плівка утримує тепло, що дозволяє герметику залишатися рідким, що негативно впливає на міцність гарячого зварювання.

Розуміння різноманіття методів термозварювання – від простоти термозварювання пластин до розширених можливостей ультразвукового зварювання – дозволяє виробникам вибрати найбільш ефективно та відповідне рішення для своїх потреб в упаковці. Кожен метод герметизації має певні переваги залежно від матеріалів, швидкості виробництва та необхідної якості. Вибираючи правильну техніку можна підвищити ефективність упаковки, зменшити кількість відходів і забезпечити високоякісні ущільнення, які відповідають галузевим стандартам.

2.2 Удосконалення конструкційно-технологічних параметрів пакувального обладнання

Машини для наповнення та пакування широко використовуються в харчовій промисловості. Машини для вертикального формування, наповнення та ущільнення зазвичай використовуються в пакувальній промисловості для створення пакетів з пласкої плівки або паперових рулонів та пакування різних продуктів включаючи закуски, свіжі та заморожені продукти, печиво та кавові зерна. За напрямком виготовлення мішків і наповнювачів його прийнято ділити на вертикальні і горизонтальні форми. Вертикальна машина для наповнення та пакування мішків (сумок) підходить для пакування сипкої сировини. Горизонтальні застосовуються для твердих або гранульованих матеріалів різної форми, таких як снеки, хліб, спеції тощо. Автоматична упаковочна машина може упаковувати сировину, включаючи такі загальні вимоги:

- функціональні вимоги, а саме може виконувати автоматичне виготовлення пакетів, теплову герметизацію, вивантаження та інші функції;
- вимоги до продуктивності – максимальна ємність пакування, яка може бути відрегульована;
- вимоги до структури, яка має бути спрощеною й покращеною тоді як витрати на обслуговування мають бути зниженими;
- процесні вимоги: здійснювати пакування швидко та якісно.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вертикальні поточні машини в яких плівка просувається вертикально і продукт також завантажується вертикально. Пакувальні машини пропонують універсальне та ефективне рішення, особливо підходять для пакування продуктів, які потребують вертикального наповнення та герметизації. Вертикальна пакувальна машина – це одне з автоматизованих пакувальних рішень, яке наповнює продукцію в мішки або пакети за допомогою вертикально встановленої технології «форма-заповнювач-ущільнення» [33]. Машини об'єднують процеси формування, наповнення та герметизації в одному компактному пристрої, що робить їх ідеальними для харчової промисловості. Пакувальні машини з вертикальним заповненням і запечатуванням форм призначені для взяття гнучкої пакувальної плівки з рулону, формування її в пакети, наповнення продукту та запечатування упаковки – і все це у вертикальній орієнтації. Такий підхід максимізує використання площі та вміщує широкий спектр типів продукції від порошків і гранул до рідин і твердих речовин.

1. Механізм подачі сировини.

Сипка сировина зберігається в бункері протягом тривалого часу, що може призвести до осідання важких часток у рідині та блокування подальшого потоку рідини. Тому бункер обладнаний мішалкою. Вона складається з лопатевої мішалки та мотора.

Здійснено розрахунок кількості подачі механізму за одиницю часу [35]:

$$Q = 3600 S \nu \gamma$$

де Q – кількість подачі сировини за одиницю часу;

γ – щільність сировини.

$$S = (\pi D^2 / 4) \psi \beta K$$

де S – площа бункера подачі;

D – діаметр леза у спіральному валу приводу;

ψ – фактор заповнення бункера подачі.

β – фактор корекції.

K – коефіцієнт впливу різних форм лопатей на вал у процесі подачі сировини.

$$S = \left(3.14 \times \frac{0.1^2}{4} \right) \times 0.3 \times 1.0 \times 1.0 \text{ m}^2 = 0.0024 \text{ m}^2$$

Швидкість транспортування [35]:

$$V = \frac{3 \text{ t/h}}{3600 \times 0.0024 \times 0.85 \text{ t/m}^3} = 0.41 \text{ m/s}$$

Швидкість валу передачі гвинтової лопаті в механізмі подачі становить $n = 167$ об/хв.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Механізм доставки пакетів для пакування (формування плеча і трубки). Матеріал подається пласким шаром і натягується до заливної трубки, однак форму пакета необхідно надати упаковці матеріалу для того, щоб можна було виконати наповнення. Вона здійснюється завдяки певній частині формуючої труби, яка називається формуючим плечем. Матеріал скручується навколо формоутворюючої трубки і натягується по всій довжині трубки, яка дає можливість переходити на наступні етапи процесу наповнення. Матеріал з рулону проходить через натягувальні стержні до формуючого плеча. Формуюче плече допомагає перетворити прямокутний пластиковий аркуш у циліндричну форму. Плівка проходить з зовнішньої сторони формоутворюючої трубки, а сировина надходить із заповнюючої трубки з внутрішньої сторони формоутворюючої трубки. Сировина безпосередньо з формуючої трубки виливається в мішечок [31]. Коли плівка розмотується вона натягується транспортним ременем і переміщується через серію роликів, утворюючи плівкове полотно, яке керується системою обробки з пневматичним регулюючим клапаном з натягом полотна. Потім воно протікає через формувальне плече, через формувальну трубку для створення мішечків і наповнення їх продуктом. Продукт падає з дозатора під дією сили тяжіння до тих пір поки плівка не буде запечатана як по горизонталі так і по вертикалі. Розмір залежить від ширини плеча і діаметра трубки, що формується. Краї плівки вирівнюються для створення перекриття з протилежними сторонами плівки для створення ущільнення внахлест або всередині для формування ущільнення плавників.

Крива вигину є критичним конструктивним параметром, який впливає на геометрію формуючого плеча і навіть незначні помилки при конструюванні та виготовленні можуть зіпсувати матеріал упаковки. Крива згинання перетворює плаский лист в трубчасту форму для формування пакета для подальшого наповнення та герметизації. Наприклад, якщо розмір сумки становить 252 мм × 402 м, діаметр валу ролика становить 32 мм для подачі пакета з сировиною то потрібен рулон плівки шириною 402 мм, механізм подачі плівки забезпечує подачу 402 мм за 4 с, швидкість подачі плівки механізму становить 100 мм/с, а швидкість двигуна становить [35]:

$$n = \frac{100 \text{ mm/s}}{\pi \times 32 \text{ mm}} \approx 60 \text{ r/min}$$

Оскільки плівка має певну в'язкість то сила, яка необхідна двигуну для обертання котушки з плівкою становить близько 50 Ньютон, тому потужність двигуна буде становити:

$$P = Fv = 50\text{N} \times 0.2 \text{ m/s} \times 2 = 20 \text{ w}$$

Формуюча частина плеча є критично важливим елементом у вертикальній пакувальній машині. Вона має форму крила, яка відповідає за проведення плівки через плече в формуючу трубку. Проте на цьому етапі виникають певні проблеми:

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Можливі зморшки виникають через ріжучу фаску на краю формуючого плеча, коли плівка проходила у формуючу трубку. Чим крутіший кут вхідної зони формуючого плеча, тим краща можливість проходу плівки [36]. Однак, гостріший кут вхідної зони вимагає вужчого закруглення біля формуючої труби та більшої сили натягу з боку машини, бо це може призвести до розриву пакувального матеріалу.

2. Плівка має проходити через формуюче плече не відхиляючись та не коливаючись. Поганий натяг призведе до деформованих мішків, а в крайніх випадках – до зажиму плівки в машині. Зазвичай вважається, що підвищення напруги в полотні матеріалу покращує здатність до правильного натягу. Однак надмірна напруга призводить до ще однієї проблеми – розтягування чи навіть розриву матеріалу. Третя проблема – зморшки або інші спотворення полотна під час проходження через плече.

3. Плече традиційно виготовляються шляхом вигинання гнучкого металевого листа вздовж формування, де один з листів формує комірець, а інший – трубку. Однак, цей метод виготовлення розвиває гострий край філета. Таким чином, він створює спотворення по вигинній кривій, що, в свою чергу, робить плівку непридатною для плавного проходження через плече [36]. Успішне формування плеча має забезпечити направлення матеріалу з рулону плівки до формувальної труби без складок, розривів чи розтягування.

Аналіз окреслених проблем потребує удосконалення ключового елемента пакувальної вертикальної машини, а саме геометрії формувального плеча. Як зазначалося раніше, функція формувального плеча полягає в тому, щоб направляти матеріал з плоского рулону у трубчасту форму. Краї плівки зводяться разом і ущільнюються, щоб утворити трубу в яку продукт може бути внесений у виміряних кількостях [34, 36]. Труба упаковочного матеріалу потім поперечно ущільнюється, щоб утворити закритий пакет. Остаточне ущільнення також формує базове ущільнення наступного пакета. Успішне створення упаковки в значній мірі залежить від роботи формувального плеча, яке, в свою чергу, сильно залежить від поверхневої геометрії плеча. Вертикальна пакувальна машина для заповнення та герметизації з конструктивним елементом, який підлягає удосконаленню наведена на рисунку 2.3.

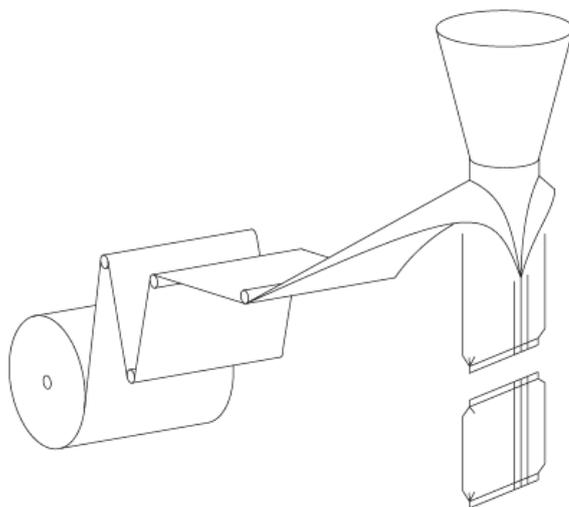
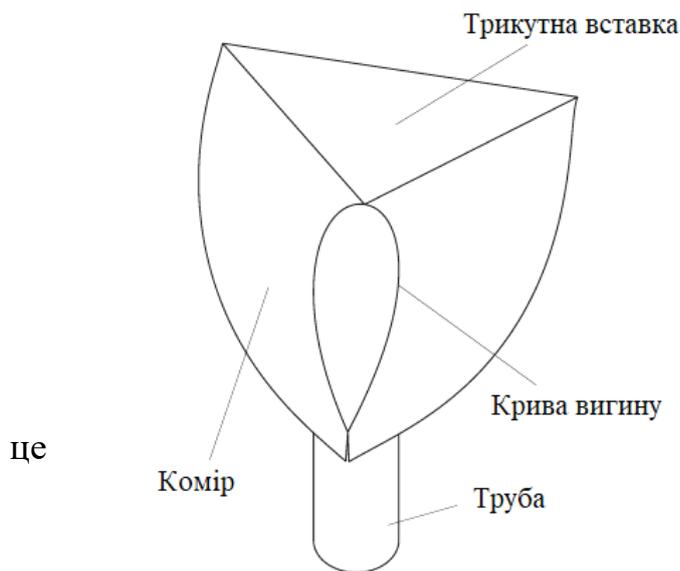


Рисунок 2.3 – Вертикальна пакувальна машина

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Геометрія визначається, частково, формою мішка, який потрібно виготовити. Наприклад, труба формуючого плеча повинна мати окружність, що дорівнює подвоєній ширині мішка. Вертикальну трубу можна уявити як таку, що утворена обгортанням частини під кривою в круглий циліндр та утворить поверхню коміра. З вертикальною формою, заповнювальною та герметизуючою машиною матеріал подається з рулону, що означає, що він починає як плоска поверхня. Тому потрібен плавний перехід між плоскою поверхнею та вигнутим комірцем. Для того, щоб досягти цього, звичайно, в поверхню комірця вставляється трикутна площинна поверхня у найвищій точці. Очевидно, що важливо, щоб матеріал не м'явся, не розтягувався і не рвався під час проходження через плече. Поверхня коміра повинна бути ізометричною до площини і тому повинен бути розгортною поверхнею (рис. 2.4).



Геометрія плеча сильно залежить від форми вигнутої кривої та натягу. Лише невеликі відхилення в кривій через виробничі помилки або знос можуть легко призвести до порушення цієї умови. Якщо натяг занадто великий може статися пошкодження матеріалу та самого плеча. Інша важлива проблема – здатність матеріалу не відхилитися вбік та не коливатися.

Рисунок 2.4 – Геометрія плеча [34]

Геометрія формуючого плеча має забезпечувати умови при яких матеріал міг проходити без зморшок або розтягування. Тому вважається доцільним модифікувати формувальне плече, що полягає в наступному:

- по-перше, трохи зменшити висоту плеча навколо найвищої точки кривої згину;
- по-друге, заокруглити ріжучу фаску на краю формуючого коміра для того, щоб коли плівка проходила в формуючу трубку не відбувалося розриву та деформації пакувального матеріалу.

Зокрема, це надасть матеріалу можливість самостійно центруватися, тож якщо він почне рухатися асиметрично то сили нерівноваги сприятимуть поверненню до центру (рис. 2.5). Удосконалена геометрія формувального плеча має забезпечити направлення матеріалу з рулону плівки до формувальної труби без складок, розривів чи розтягування, що уможливити правильну роботу вертикальної пакувальної машини без збоїв та браку матеріалу під час пакування.

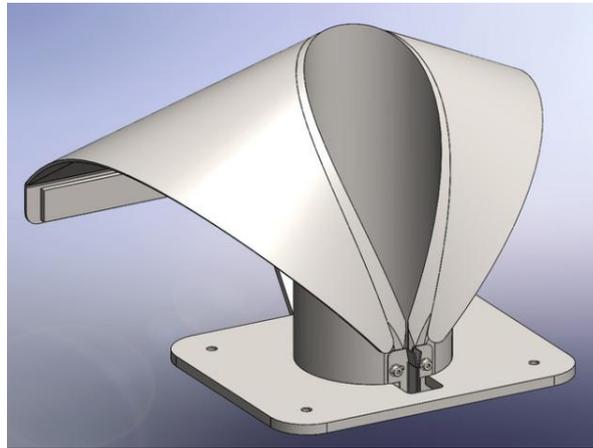


Рисунок 2.5 – Удосконалена геометрія формуючого коміра

3. Механізм ущільнення.

Після того, як плівка розмотана її розтягують і розрізають відповідно до заданої довжини мішка, а потім формують пакети за допомогою різних формувальних комірних пристроїв. Оператори можуть змінювати ширину пакувальних пакетів, замінюючи різні формувальні пристрої. Краї плівки накладаються один на одного по вертикалі і термозварюються один до одного, утворюючи заднє ущільнення пакувального пакета. Різні форми заднього ущільнення доступні для вибору через налаштування машин вертикальної пакувальної машини. Дозуюча система подачі транспортує матеріали в зону формування пакувального мішка. Після того, як мішок наповнений, затискний затискач герметизує верхню частину мішка, створюючи верхнє ущільнення для одного пакета та нижнє ущільнення для наступного пакета. Ріжучий пристрій машини розділяє герметичні безперервні пакувальні мішки, які транспортуються конвеєрною стрічкою до наступного обладнання, такого як піддони, контрольні ваги, металодетектор тощо.

Вертикальне ущільнення досягається за допомогою вертикальних ущільнювачів, які містять циліндричні блоки та нагрівальні елементи. Висота блоків розроблена так, щоб бути рівною або більшою за довжину пакета, гарантуючи повне ущільнення та запобігання будь-яким витокам. Ущільнення здійснюється шляхом опускання пластикової плівки і після цього відбуваються процеси ущільнення та різання. Механізми ущільнення інтегрують двигуни, кулачкові системи та пружини натягу для забезпечення ефективного та точного ущільнення [27, 29, 30-32]. Сипка сировина направляє з живильника в бункер над пакувальною машиною. Швидкість введення регулюється фотоелектричним позиціонуючим пристроєм, а рулон ущільнювального паперу (або іншого пакувального матеріалу) вводиться направляючим роликом у формувальний лацкан. Після згинання поздовжній ущільнювач з'єднується внахлест, утворюючи циліндричну форму і матеріал автоматично дозується та засипається в готовий мішок, а поперечний ущільнювач періодично тягне циліндр мішка вниз, виконуючи термозварювання та різання. Нарешті, формується плаский мішок з трьома сторонами поздовжнього з'єднання для завершення герметизації одного мішка.

Вертикальна машина для пакування має вбудований механізм нагрівання для запаювання. Існують різні типи конструкцій з'єднувального механізму (щелеп) і кожен дизайн має великий вплив на якість і міцність з'єднання. Щелепи вибираються в залежності від застосування та вимог. Зубчасті, зазвичай, використовуються для надання додаткової міцності, покращення зовнішнього вигляду з'єднання та компенсації варіацій у товщині плівки на машинах для заповнення та запаювання [25, 27, 29]. Коли розігрітими щелепами зжимається матеріал для заповнення без жодної затримки скидається в дозатор. Це критична властивість у вертикальних пакувальних машинах, оскільки вага скинутого продукту чинить великий тиск на нижній шов. При гарячому зчепленні шар клею повинен швидко твердіти, щоб обмежити будь-яку можливість спотворення ущільнення та витoku матеріалу для заповнення. Матеріали, які використані в цьому експерименті термопластичні і мають достатню силу гарячого зчеплення, що призводить до хорошого ущільнення.

Механізм запечатування може автоматично завершувати процес формування, вимірювання, друку дати, наповнення, запечатування, розрізання та виведення пакувального пакета на тому ж обладнанні та в тому ж вертикальному напрямку. В якості пакувальних матеріалів використовується в основному термозварювальна пластикова одинарна плівка. Різні композитні мембрани (такі як паперово-пластиковий композит, пластик-пластиковий композит, алюмінієво-пластиковий композит тощо).

Швидкість переміщення циліндра становить [35]:

$$v = \frac{s}{2t} = \frac{50 \text{ mm}}{2 \times 0.5 \text{ s}} = 50 \text{ mm/s}$$

Силове зусилля, яке необхідне циліндрові в цьому робочому середовищі становить 20 Н, теоретична вихідна сила циліндра дорівнює [35]:

$$F_0 = \frac{F}{\beta} = \frac{20}{0.65} \text{ N} = 31 \text{ N}$$

Відповідно до результатів розрахунків, циліндр серії SMC використовується як циліндр горизонтальної ущільнюючої форми, а його модель – CG1RN16-50, циліндр має діаметр поршня 16 мм і хід 50 мм.

Вважається за необхідне контролювати розподіл температури по всій системі нагрівальних щелеп. Вертикальна пакувальна машина має джерело тепла лише з одного кінця, що призводить до різних температур по нагрівальним щелепам. Для покращення цього варіювання розподіл температури повинен бути постійним по всіх нагрівальних щелепах, джерело тепла має бути розташоване поруч з інструментами, щоб зменшити коливання між встановленою та фактичною температурою. Бажано мати одне джерело тепла посередині або два джерела тепла на кінцях для точної теплопередачі через ущільнювальні щелепи.

На основі вище зазначеного можна вважати, що залежно від системи упаковки є різноманітні механізми ущільнення: термоущільнення

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(використання електричного опіру), ультразвукові ущільнення (використання високочастотних коливань) або індукційні ущільнення (використання електромагнітного опіру).

Зазначено, що один із ключових елементів вертикальної пакувальної машини є формувальний плечовий елемент. Щоб вирішити деякі з проблем, які виникають у процесі створення та наповнення пакетів з сировиною було розглянуто геометрію формуючого плеча, що починається з визначення кривої вигину і веде до побудови поверхні коміра, що включає в себе пласку трикутну область, яка дозволяє знімати плівку з циліндричного рулону. Формуюча частина плеча є критично важливим елементом у вертикальній пакувальній машині. Вона має форму крила, яка відповідає за проведення плівки через плече в формуючу трубку. Проте на цьому етапі виникають певні проблеми:

1. Можливі зморшки виникають через ріжучу фаску на краю формуючого плеча, коли плівка проходить в формуючу трубку. Чим крутіший кут вхідної зони формуючого плеча, тим краща можливість проходження плівки. Однак, гостріший кут вхідної зони вимагає вужчого закруглення біля формуючої труби та більшої сили натягу з боку машини, бо це може призвести до розриву пакувального матеріалу.

2. Плівка має проходити через формуюче плече не відхиляючись та не коливаючись. Поганий натяг призведе до деформованих мішків, а в крайніх випадках – до зажиму плівки в машині. Підвищення напруги в полотні матеріалу покращує здатність до правильного натягу. Однак надмірна напруга призводить до ще однієї проблеми – розтягування чи навіть розриву матеріалу.

3. Плече традиційно виготовляються шляхом вигинання гнучкого металевого листа вздовж формування, де один з листів формує комірець, а інший – трубку. Однак, цей метод виготовлення розвиває гострий край філета. Таким чином, він створює спотворення по вигнутій кривій, що, в свою чергу, робить плівку непридатною для плавного проходження через плече. Виникають зморшки або інші спотворення полотна під час проходження через плече.

Здійснено модифікацію формувального плеча, що полягає в тому, щоб трохи зменшити висоту плеча навколо найвищої точки кривої згину, а також заокруглити ріжучу фаску на краю формуючого плеча, для того щоб коли плівка проходила в формуючу трубку не відбувалося розриву та деформації пакувального матеріалу. Зокрема, це надасть матеріалу можливість самостійно центруватися, тож якщо він почне рухатися асиметрично то сили нерівноваги сприятимуть поверненню до центру

Вважається за необхідне контролювати розподіл температури по всій системі нагрівних щелеп. Вертикальна пакувальна машина має джерело тепла лише з одного кінця, що призводить до різних температур по нагрівним щелепам. Для покращення цього варіювання розподіл температури повинен бути постійним по всіх нагрівальних щелепах, щоб зменшити коливання між встановленою та фактичною температурою. Бажано мати одне джерело тепла посередині або два джерела тепла на кінцях для точної теплопередачі через ущільнювальні щелепи.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Параметри, які впливають на термозварювання

1. Пакувальний матеріал. Упаковка відіграє важливу роль у збереженні фізичної якості, продажу, захисті від забруднення та полегшенні транспортування продукції. Упаковка може бути виготовлена з багатьох матеріалів, але більшість походить з чотирьох груп матеріалів: скло, метал, пластик та папір/картон. Пластикові матеріали широко використовуються в упаковці продуктів харчування, оскільки вони служать компонентами ламінованих упаковочних плівок. Деякі причини швидкого розширення використання пластиків в упаковці – це їх відносно низька ціна, легкість обробки, можливість модифікації їх властивостей, хороше співвідношення ваги до міцності, можливість термозварювання та можливість використання в комбінації з іншими упаковочними матеріалами (алюміній, наприклад). Пластики можуть використовуватися в їхньому первісному вигляді або в модифікаціях, але дуже часто їх використовують у комбінації з іншими пластиками чи іншими матеріалами, щоб покращити їхні властивості або надати їм нові властивості.

Пластики часто ділять на жорсткі, такі як ті, що використовуються для кришок, чашок та підносів, та гнучкі пластики для кришок і пакувальних плівок. Гнучка упаковка – це матеріал, який можна загорнути і до основної групи пакувальних матеріалів відносяться термопластичні полімери, целюлозні матеріали, тканини, рослинні волокна. Гнучкі пластики є однією з найбільш широко використовуваних форм упаковки для їжі завдяки їх конкурентоспроможній ціні. Однак гнучка упаковка повинна бути надійно запечатана. Гарне ущільнення запобігає витоку вмісту та його легких складових, що усуває ризик мікробного забруднення та також мінімізує зміни в газах простору та вологості [2, 10, 25, 26]. Існують різні види матеріалів, що використовуються для вертикальних пакувальних машин, серед яких є термопластичні полімери. До них входять прості поліетиленові плівки, які використовуються для упаковки картоплі та багатошарові полімерні плівки для більш складних потреб упаковки. Інші типові плівки включають орієнтований поліпропілен та орієнтований поліестер, які зазвичай використовуються для закусок, таких як цукерки, печиво та кондитерські вироби.

У зв'язку з екологічними проблемами сталу упаковку, яка базується на целюлозі, розглядають як область, що залишається в центрі активних досліджень з метою зменшення глобальних викидів, відходів упаковки та споживання енергії. Все більш важливо використовувати біорозкладні матеріали для упаковки продуктів харчування та інших товарів для зменшення

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Смарунь</i>				Дослідження процесу та удосконалення обладнання для пакування продуктів харчування	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Омельченко</i>						35	8
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>				ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО			
<i>Затверд.</i>	<i>Хорольський</i>							

відходів.

Вертикальні пакувальні машини працюють з високою швидкістю виробництва і тому важливо використовувати матеріал з хорошою міцністю; матеріал повинен мати низький коефіцієнт тертя, щоб він міг легко переміщатися по формуючому плечу; температура герметизації і діапазони гарячого зчеплення залежить від властивостей матеріалу плівки. Тому цілісність ущільнювальної області має бути врахована у гнучкій упаковці продуктів харчування, щоб запобігти змінам якості та забезпечити безпеку харчових продуктів.

2. Методи з'єднання гнучкої упаковки. Герметизація гнучкої упаковки може бути досягнута кількома методами. Методи можуть базуватися на плавленні та з'єднанні герметичних шарів за допомогою теплового запечатування або на застосуванні холодного клейового покриття на внутрішній поверхні упаковки. Шар ущільнення зазвичай відомий як клейовий шар. Цей шар буде прикріплений до іншого шару плівки для завершення упаковки. Термозварювання залежить від трьох основних параметрів, які впливають на якість зварювання. До них належать температура зварювання, тиск зварювання та час витримки. Ці параметри вимагають точного контролю та правильного регулювання для досягнення відповідної міцності зварювання, ідеальної герметичності та з'єднання матеріалів. Багато факторів можуть впливати на якість теплового зварювання. Параметри зварювання можуть змінюватися в залежності від типу та товщини матеріалу, характеристик, таких як щільність, добавки плівки, тип клею тощо, а також стану плівки після зварювання. Дизайн машини також може впливати на зварювання шляхом нерівномірного розподілу теплового потоку до плівок або нерівномірного тиску, прикладеного до плівки.

Температура герметизації. Необхідно точно контролювати температуру запечатування на межі між плівками, щоб розплавити клейкий шар. Як правило, у термопластичних плівках відношення між міцністю запечатування та температурою запечатування є відносно пропорційною. Однак може змінюватися в залежності від температури запечатування, яка необхідна для різних типів матеріалів та товщини. У процесі теплової герметизації необхідно досягти адекватного балансу між тривалістю безпосереднього контакту, температурою герметизації та тиском герметизації для досягнення бажаної та відповідної міцності герметика [25]. Як правило, для того щоб молекулярні ланцюги в шарі герметика змішалися між собою, температура має бути достатньо високою для активації молекулярних процесів. Підвищена температура викликає теплове розширення шару та зменшує щільність через додаткові пори. З плином часу та під тиском поверхня розплавляє кристалічний полімер і створює взаємодію ланцюгів, що поступово призводить до рекристалізації молекул. Висока температура закріплення вимагатиме менше часу для герметизації упаковки і навпаки. Однак слід вживати заходів обережності, щоб не перегрівати матеріал. В пакувальних галузях використовуються профілі інструментів для покращення та оптимізації споживання енергії, яка виробляється машиною.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Час витримки. Час витримки є другим контрольованим фактором для нагрівання клейового шару пакувальних плівок. Це час, який необхідний для теплового зварювання матеріалу, щоб створити молекулярне переплетення між клейовим шаром і інтерфейсною зоною. У комерційних застосуваннях, коли тепло застосовується до матеріалу, процес зварювання зазвичай триває 1 секунду або менше [25, 26]. Час витримки точно регулюється для контролю часу, необхідного для застосування тепла і тиску. У рамках оптимізації виробництва та економіки важливо швидко герметизувати матеріал на пакувальних лініях. Збільшення часу контакту покращує міцність ущільнення. Це пов'язано з тим, що дифузія в будь-якій системі є процесом, що залежить від часу. Більше часу для того, щоб ланцюгові молекули перетворилися з кристалічної форми в розплавлену плівку і до того, як вони рекристалізуються після ущільнення.

3. Тиск герметизації. Тиск герметизації використовується для з'єднання або зведення плівок разом і утримання матеріалу для утворення герметика. З усіх трьох параметрів термозварювання тиск є найменш значущим фактором, що впливає на міцність герметика. Міцність герметика прямо пропорційна тиску герметизації. Чим вищий тиск герметизації, тим вища міцність герметика. При дуже високому тиску герметичність матеріалів з термопластів відносно однакова. Однак є певні матеріали з низьким модулем пружності, які поведуться по-іншому. Ці матеріали вимагають високого тиску. Порівнюючи час витримки та вплив тиску, варіація в часі витримки мала більший вплив, ніж тиск на температуру ініціації герметизації та ширину температурного плацдарму.

Термоусадка з використанням контактного обладнання досягається за рахунок поєднання температури, тиску та часу. Ці параметри мають ключове значення для розплавлення шару герметизуючої плівки та злиття розплавлених поверхонь. Якість з'єднання визначається вимогами чутливості продукту, дизайну та простоти використання [26]. Погане з'єднання пов'язане з тим, що шари не зливаються і це є основною проблемою з якою стикаються сучасні технології термоусадки, що використовуються в гнучкій упаковці для продуктів харчування. Навіть невеликі витоки можуть знизити термін зберігання продуктів через зміни в складі газів у головному просторі та вмісті вологи. У цьому відношенні розробка кращих герметичних технік для підтримання якості продукту стала дуже важливою метою для харчової промисловості.

Теплове з'єднання – це найпоширеніший метод, який використовувався десятиліттями для формування та закривання пластикових упаковок в харчовій промисловості. Звичайні методи генерації тепла включають такі типи з'єднань: індукційне запечатування, гарячим повітрям, пневматичне, ультразвукове. Методи засновані на проведенні тепла, нагрівання може надаватися постійним джерелом або імпульсами. При постійному обігріві в корпус контактної обладнання інтегровано трубки або дроти опалення та датчики температури. При імпульсному обігріві на поверхні контактної обладнання розміщується ущільнювальна стрічка на основі опіру, яка також зазвичай покрита тонким шаром тефлону для отримання однорідного розподілу тепла.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У дизайні упаковки є три різні аспекти, які пов'язані з герметизацією. Аспекти включають зменшення споживання матеріалів у виробництві упаковок, які легко відкривати та зменшення часу герметизації. Наприклад, в першому аспекті кількість матеріалу витрачається на формування герметиків і це можна зменшити двома способами: зменшенням ширини герметика і зменшенням товщини плівки. Ширина стандартних бар'єрних герметиків становить близько 10 мм, що можна зменшити до 1 мм за допомогою імпульсної герметизації. Проте зменшення ширини герметика може призвести до проблеми витоків. Також зменшення товщини плівки для мінімізації споживання матеріалів може підвищити ризик утворення мікротріщин і поломок у зоні ущільнення [26]. Щодо другого аспекту виробництва упаковок, які легко відкриваються, може бути досягнуто шляхом контролю за параметрами процесу або модифікації складу ущільнювача для збільшення здатності до відкриття в зоні ущільнення. Проте підвищена здатність до відкриття часто асоціюється з труднощами в отриманні герметичних ущільнень. Щодо останнього аспекту, зменшення часу витримки збільшує вихід продукції під час виробництва, збільшуючи кількість вироблених мішків за хвилину. Однак забезпечення достатнього часу для адекватної дифузії молекулярних сегментів через ущільнювальний інтерфейс є критично важливим під час процесу ущільнення.

3.2 Дослідження процесу герметизації сипких продуктів

Вертикальні машини заповнення та герметизації широко використовуються для виготовлення пакунків для упаковки сухих продуктів, таких як горох, сіль, закуски або навіть для заморожених приготуваних овочів. Даний тип обладнання складається з п'яти основних частин, включаючи систему обробки плівки, формування плеча, поздовжнє герметизування, процес наповнення та верхнє/нижнє герметизування. Процес починається з розташування пакувального матеріалу навколо котушки. Система обробки плівки протягує рулон через низку роликів, які розташовані для контролю натягу та спрямування плівки відповідно [2, 33, 25, 26]. Далі плівка переходить до формуючої труби за допомогою механізму транспортування на конвеєрі (рис. 3.1). Механізм транспортування на конвеєрі створює тертя між конвеєром і плівкою, щоб створити дію потягування. Формуюча труба плівки формує форму пакету для підготовки до заповнення матеріалами. Процес заповнення полягає в доставці продуктів за допомогою падіння під дією сили тяжіння у новостворений пакет. Час заповнення точно регулюється, щоб гарантувати, що пакет герметично запечатаний зверху, утворюючи повний пакет.

Пакети, які виготовлені з плівки або паперу є звичним видом захисної упаковки. Папір або плівка для упаковки виготовляється у вигляді плаского аркуша рівної ширини та зберігається на рулоні. Для сухих вільно текучих матеріалів найпоширенішою є машина для упаковки у вертикальному форматі, яка перетворює плаский аркуш на мішки. Один аркуш плівки або паперу подається через формуючу опору, яка направляє матеріал з плаского рулону в трубчасту форму навколо трубки для подачі продукту. Краї плівки

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

накладаються один на одного та термічно зварюються або склеюються, щоб утворити трубку в яку можна закидати продукт у виміряних кількостях. Трубка упаковочного матеріалу потім перетинається, щоб утворити закритий мішок. Остаточний шов також формує нижній шов наступного мішка. Цей базовий підхід був адаптований для виробництва різних упаковок. Основною частиною вертикальної машини для формування, заповнення та запечатування є формувальна труба, яка забезпечує надання форми плівці, яка може бути гладко сформована на високій швидкості в циліндричну форму. Основна концепція форми поверхні формувального плеча полягає в тому, що його можна сплющити без спотворень (тобто розтягування або стиснення) на площину.

Система формування плеча має кілька функцій, які точно спроектовані. Вона відіграє важливу роль у направленні та подачі плівки у формуючу трубу. Однак, її шорсткість і конструкція можуть вплинути на продуктивність пакетів, що проходять через формуючу трубу. Формуюча труба розроблена для регулювання ширини упаковки. Воно спрямовує зовнішні краї плівки до з'єднання та накладання країв, сформованих у формуючій трубці. Операція зшивання складається з трьох швів: поздовжнього, верхнього та нижнього. Поздовжня герметизуюча система нагріває та зварює накладені краї, які сформовані у формуючій трубці. Плівка проходить до кінця заповнюючої труби, де пари зварювальних щелеп формують нижнє з'єднання пакету для підготовки до заповнювального процесу. Верхнє з'єднання спочатку формується зварювальними щелепами. Потім формується нижнє з'єднання для наступного мішка за допомогою зварювальних щелеп і продукт знову заповнюється з труби.

Рух плівки відповідає регулюванню натягу плівки з пневматичного блоку управління. Цей блок відповідає за налаштування тиску для компонентів машини включаючи зварювальні щелепи. Натяг плівки має величезний вплив на працездатність матеріалів. Спочатку, під час виробництва випробувань подушкових мішків, було визнано, що плівка на формуючій планці має тенденцію зсуватися або блукати вправо чи вліво. Це явище спостерігалось у термопластичних матеріалах. Нижчий натяг плівки призводить до руху плівки по плечу вправо і навпаки. Натяг плівки необхідно регулювати і контролювати дуже точно, інакше це може призвести до розриву матеріалу навколо фаски плеча або поблизу конвеєрної стрічки [2, 25, 26]. Кожен матеріал поводить себе по-різному через свої матеріальні властивості. Еластичність матеріалу, товщина та тертя суттєво впливають на працездатність плівки. Для кожного матеріалу необхідно відповідним чином налаштувати тиск і калібрування, щоб забезпечити накладення плівки в формуючій трубці. Система натягування плівки працює за допомогою контрольних клапанів. Ці налаштування є необхідними для покращення працездатності різних використовуваних матеріалів. Кожен матеріал потребує відповідних регулювань тиску через різні властивості плівок. Пневматичний блок складається з різних налаштувань контролю тиску для різних частин системи. Щоб поліпшити плавність роботи матеріалу, для конвеєрного транспорту та натягу плівки потрібна постійна калібровка тиску в залежності від матеріалу.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Формуюча частина плеча є критично важливою характеристикою у вертикальній пакувальній машині. Вона має форму крила, яка відповідає за проведення плівки через плече у формуючу трубку. Чим крутіший кут вхідної зони формуючого плеча, тим більша ймовірність успішного слідкування за плівкою. Однак більш гострий кут вхідної зони вимагає вужчої фаски до формуючої труби та більшої тяги від машини, що призведе до зносу, зморшок або розриву упаковочного матеріалу. Для успішної роботи існують два критичних елементи в формуванні плеча, а саме геометрія плеча та шорсткість поверхні матеріалу [25]. Плечі традиційно виготовляються шляхом вигинання гнучкого металевого листа вздовж формування плечей де один з листів формує комірць, а інший – трубку. Однак, цей метод виробництва розвиває гострий край філета. Таким чином, він створює спотворення по вигнутій кривій, що, в свою чергу, робить плівку непридатною для плавного проходження через плече. Успішне формування плеча має забезпечити направлення матеріалу з рулону плівки до формувальної труби без складок, розривів чи розтягування. Різні типи формування плечей наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Різні типи формування плечей

Мале плече		плечова частина не має аксесуарів для виготовлення сумок з плоским дном, матеріал формується без жодних проблем.
Середнє плече		волокнистий матеріал гладко формує плечову частину без видимих уламків матеріалу
Велике плече		плечова частина не має аксесуарів для виготовлення сумок з плоским дном, матеріал формується без жодних проблем.

Вертикальна машина для пакування має вбудований механізм нагрівання для запаювання. Існують різні типи конструкцій з'єднувального механізму (щелеп) і кожен дизайн має великий вплив на якість і міцність з'єднання. Щелепи вибираються в залежності від застосування та вимог. Зубчасті зазвичай

використовуються для надання додаткової міцності, покращення зовнішнього вигляду з'єднання та компенсації варіацій у товщині плівки на машинах для заповнення та запаювання. Коли розігрітими щелепами зжимається матеріал для заповнення (400 г гороху) без жодної затримки скидається в дозатор, щоб змодельовати реальну виробничу лінію. Це дозволить перевірити поведінку гарячого зчеплення термопластичних матеріалів. Це критична властивість у вертикальних пакувальних машинах, оскільки вага скинутого продукту чинить великий тиск на нижній шов. Щоб уникнути поведінки гарячого зчеплення шар клею повинен швидко затвердіти, щоб обмежити будь-яку можливість спотворення ущільнення та виток матеріалу для заповнення. Матеріали, які використані в цьому експерименті термопластичні і мають достатню силу гарячого зчеплення, що призводить до хорошого ущільнення.

Вертикальна машина була використана для виготовлення пакетів шляхом заповнення 400 г гороху через дозатор. Основною вимогою до вертикальної пакувальної машини є швидка упаковка продукції та забезпечення герметичності упаковки. Пакети були виготовлені з оптимальними параметрами запечатування при температурі 130°C та часом витримки 1 секунда. Пакети наповнені горохом були виготовлені з гнучкої упаковки за допомогою вертикальної машини. Одним з основних дефектів, що спостерігаються в отриманих наповнених пакетах є утворення складок. Загалом, складки формуються на краю герметичного шва під час термозварювання через вагу мішка (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Герметизація сипкої сировини різного об'єму (вигляд спереду та задній вигляд)

Заповнена форма має зморшки на нижньому шві, що могло бути викликане надмірною вагою та/або об'ємом вмісту сумки. У той час як пластикова сумка меншого розміру не мала зморшок. Зморшки на подушкових сумках позначені штриховими колами на рисунку 3.1.

Графік залежності температури герметизації в порівнянні з часом витримки для досягнення оптимальної міцності запечатування наведений на рисунку 3.2.

Існує кілька ключових факторів для досягнення відповідного ущільнення. Коли два шаруваті шари контактують, потрібна висока температура, щоб

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

розплавити молекулярні ланцюги в кристалічній формі і забезпечити їх дифузію через межу. З часом при охолодженні ці молекули формують заплутаність і повторно кристалізуються після ущільнення. Час витримки є ще одним розумним фактором для збільшення коефіцієнта дифузії. Це явище може досягнуто в діапазоні температур, що перевищують 120°C для пластикових матеріалів з витримкою 1 секунда. Отже, рекомендований оптимальний параметр обробки – використовувати температуру ущільнення 130°C з витримкою 1 секунда для виробництва.

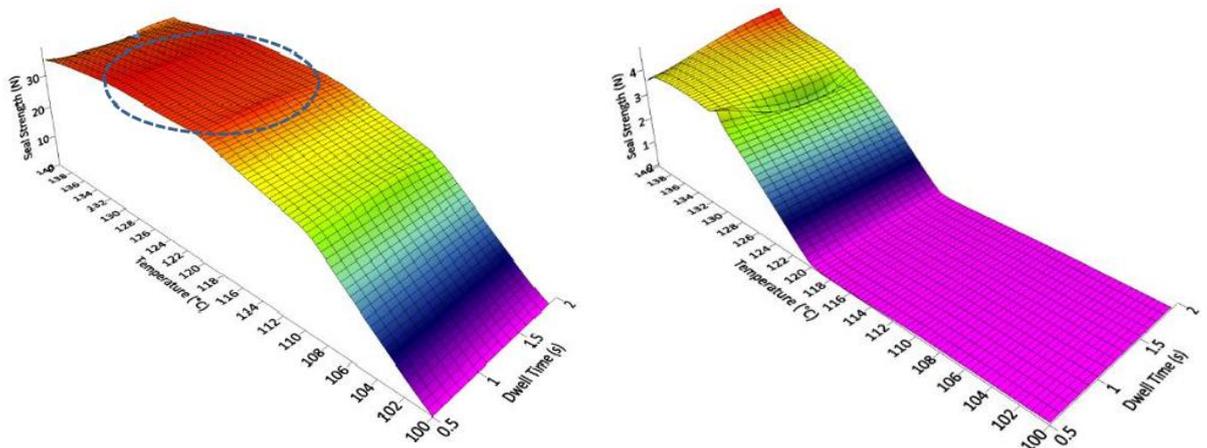


Рисунок 3.2 – Графік залежності температури герметизації від часу витримки

На основі вище зазначеного можна вважати, що упаковка відіграє важливу роль у збереженні фізичної якості, продажу, захисті від забруднення та полегшенні транспортування продукції. Упаковка може бути виготовлена з багатьох матеріалів, але більшість походить з чотирьох груп матеріалів: скло, метал, пластик та папір/картон. Пластикові матеріали широко використовуються в упаковці продуктів харчування, оскільки вони служать компонентами ламінованих упаковочних плівок.

Параметри, які впливають на термозварювання: температура герметизації, яку необхідно точно контролювати для з'єднання на межі між плівками, щоб розплавити клейкий шар; час витримки необхідно контролювати для теплового зварювання матеріалу; тиск герметизації для з'єднання або зведення плівок разом і утримання матеріалу для утворення герметика.

Досліджено процес герметизації сипкої сировини різного об'єму. Вертикальна машина була використана для виготовлення пакетів шляхом заповнення 400 г гороху через дозатор. Основною вимогою до вертикальної пакувальної машини є швидка упаковка продукції та забезпечення герметичності упаковки. Пакети були виготовлені з оптимальними параметрами запечатування при температурі 130°C та часом витримки 1 секунда. Одним з основних дефектів, що спостерігаються в отриманих наповнених пакетах є утворення складок. Загалом, складки формуються на краю герметичного шва під час термозварювання через вагу мішка. Змодельовано графік залежності температури герметизації від часу витримки.

ВИСНОВКИ

Магістерська робота присвячена дослідженню процесу та удосконалення обладнання для пакування продуктів. У роботі зазначено, що упаковка для продуктів харчування відіграє важливу роль, оскільки служить бар'єром від факторів навколишнього середовища, допомагає продовжити термін придатності, полегшує транспортування та повідомляє важливу інформацію споживачам. У сучасній різноманітній харчовій промисловості різні форми упаковки еволюціонували, щоб відповідати певним вимогам до різних видів харчових продуктів, тому вибір правильного обладнання має важливе значення для досягнення цих цілей.

У першому розділі здійснено аналіз обладнання для пакування продуктів харчування. Зазначено, що існує два основних типи пакувальних машин: машини для горизонтального заповнення форми і машини для вертикального заповнення форм. Горизонтальні системи пакування переміщують продукцію горизонтальною конвеєрною стрічкою. Щоб виготовити мішечок, машина розмотує рулон пакувальної плівки, герметизує його на дні, а потім запечатує вздовж бортів у правильній формі. Далі вона заповнює мішечок через верхній отвір. Цей етап може включати гарячі заливки для термічно оброблених продуктів, чисті заливки для нетермічно оброблених товарів і надчисті заливки для розподілу холодого ланцюга. Машина герметизує виріб за допомогою належної застібки, такої як блискавки, насадки або гвинтові ковпачки.

Вертикальні машини для пакування працюють протягуючи рулон плівки через трубку, герметизуючи трубку внизу, щоб сформувати мішок, наповнюючи пакет продуктом і запечатуючи пакет зверху, який утворює дно наступного пакета. Машина розрізає нижній ущільнювач посередині, щоб розділити пакети на окремі пакети. Принципова відмінність від горизонтальних машин полягає в тому, що вертикальні машини покладаються на силу тяжіння для заповнення упаковки, опускаючи продукт у мішок зверху. Наприклад, для пакування кексів, тістечок або цукерок підходять горизонтальні пакувальні системи. Однак, якщо виробляються макарони, спеції або чіпси краще застосовувати вертикальні пакувальні системи.

Другий розділ присвячено удосконаленню вертикальної машини для пакування продуктів харчування. Вертикальна машина для пакування має вбудований механізм нагрівання для запаювання. Зазначено, що залежно від системи упаковки є різноманітні механізми ущільнення: термоущільнення (електричний опір), ультразвукові ущільнення (високочастотні коливання) або індукційні ущільнення (електромагний опір).

Сконцентровано увагу на тому, що одним із ключових елементів вертикальної пакувальної машини є формувальний плечовий елемент або комір, який традиційно виготовляються шляхом вигинання гнучкого

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Смарунь				Дослідження процесу та удосконалення обладнання для пакування продуктів харчування	Лім.	Арк.	Аркуші
Перевір.	Омельченко						43	2
Н. Контр.	Омельченко				ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО			
Затверд.	Хорольський							

металевого листа вздовж формування, де один з листів формує комірець, а інший – трубку. Він має форму крила, що відповідає за проведення плівки в формуючу трубку. Щоб вирішити деякі з проблем, які виникають у процесі створення та наповнення пакетів з сировиною було розглянуто геометрію формуючого коміру. Аналіз дав змогу виявити низку проблем, які вимагають удосконалення плечового елемента:

1. Можливі зморшки виникають через ріжучу фаску на краю формуючого коміру, коли плівка проходила в формуючу трубку. Чим крутіший кут вхідної зони формуючого плеча, тим краща можливість проходу плівки. Однак, гостріший кут вхідної зони вимагає вужчого закруглення біля формуючої труби та більшої сили натягу з боку машини, бо це може призвести до розриву пакувального матеріалу.

2. Плівка має проходити через формуюче плече не відхиляючись та не коливаючись. Надмірна напруга може призвести до ще однієї проблеми – розтягування чи навіть розриву матеріалу.

Здійснено модифікацію формуючого коміру, що полягає в тому, щоб зменшити висоту плеча навколо найвищої точки кривої згину та заокруглити ріжучу фаску на краю формуючого коміра для того, щоб коли плівка проходила в формуючу трубку не відбувалося розриву та деформації пакувального матеріалу. Зокрема, це надасть матеріалу можливість самостійно центруватися, тож якщо він почне рухатися асиметрично то сили нерівноваги сприятимуть поверненню до центру. Удосконалена геометрія формувального плеча має забезпечити направлення плівки з рулону до формувальної труби без складок, розривів чи розтягування, що уможливить правильну роботу вертикальної пакувальної машини без збоїв та браку матеріалу.

Вважається за необхідне контролювати розподіл температури по всій системі нагрівальних щелеп. Вертикальна пакувальна машина має джерело тепла лише з одного кінця, що призводить до різних температур по нагрівальним щелепам. Для покращення цього варіювання розподіл температури повинен бути постійним по всіх нагрівальних щелепах, щоб зменшити коливання між встановленою та фактичною температурою. Бажано мати одне джерело тепла посередині або два джерела тепла на кінцях для точної теплопередачі через ущільнювальні щелепи.

У третьому розділі досліджено процес герметизації сипкої сировини різного об'єму. Вертикальна машина була використана для виготовлення пакетів шляхом заповнення 400 г гороху через дозатор. Основною вимогою до вертикальної пакувальної машини є швидка упаковка продукції та забезпечення герметичності упаковки. Пакети були виготовлені з пластикового матеріалу, який широко використовуються в упаковці продуктів харчування з оптимальними параметрами запечатування при температурі 130°C та часом витримки 1 секунда. Одним з основних дефектів, що спостерігаються в отриманих наповнених пакетах є утворення складок, які формувалися на краю герметичного шва під час термозварювання через вагу мішечка.

Змодельовано графік залежності температури герметизації від часу витримки.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Understanding various forms of food packaging. URL: <https://foodsafety.institute/food-fundamentals-chemistry/understanding-food-packaging-types/>.
2. Technology and innovation in food packaging. URL: https://thesis.unipd.it/bitstream/20.500.12608/24726/1/Conselvan_Alberto_1106211.pdf.
3. Introduction to food packaging. URL: <https://ebooks.inflibnet.ac.in/ftp08/chapter/introduction-to-food-packaging/>.
4. Види упаковок для харчових продуктів. Режим доступу: <https://optipak.com.ua/uk/yak-vibrati-upakovku-dlya-harchovih-produktiv-klyuchovi-momenti/>.
5. Харчова упаковка. Режим доступу: <https://packfood.com.ua>.
6. Особливості пакування продуктів харчування. Режим доступу: <https://packon.com.ua/osoblyvosti-pakuvannya-produktiv-harchuvannya/>.
7. Food packaging. URL: <https://egyankosh.ac.in/handle/123456789/33279>.
8. Vacuum packaging. URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/um-packaging>.
9. What is aseptic packaging? A comprehensive guide covering all aspects. URL: <https://ibexpackaging.com/what-is-aseptic-packaging>.
10. Осика В.А. Пакувальні матеріали і тара: підручник. К.: Київ. нац. торг.-екон. ун-т. 2006. 372 с.
11. Завгородня В.М., Сирохман І.В., Демкевич Л.І. Тара і пакування продовольчих товарів. Львів: Видавництво ЛКА, 2001. 256 с.
12. Методи пакування харчових продуктів. Режим доступу: <https://ua.cnpozi.com/info/what-are-the-5-methods-of-food-packaging--90354444.html>.
13. What is active packaging? Types and functions. URL: <https://www.spg-pack.com/en/blog/what-is-active-packaging-types-and-functions/>.
14. Revolutionizing packaging: horizontal form fill seal machine explained. URL: <https://www.baopackmachinery.com/tag/detail/revolutionizing-packaging-horizontal-form-fill-seal-machine-explained.html>.
15. A Comprehensive overview of vertical packing machine. URL: <https://www.kenweigh.com/blog-comprehensive-overview-of-vertical-packing-machine.html>.
16. Горизонтальні пакувальні машини. Режим доступу: <https://rps.com.ua/product-category/horizontalni-pakuvalni-mashyny/>.
17. Вертикальні пакувальні машини. Режим доступу: <https://clm.ua/category/vertikalnye-upakovochnye-mashiny/>.
18. Main differences between vertical and horizontal form fill seal systems. URL: <https://www.tdipacksys.com/blog/vertical-vs-horizontal-form-fill-system/>.
19. Comprehensive guide to heat sealing machines: methods and types. URL: <https://thepackagingmachine.com/comprehensive-guide-to-heat-sealing-machines-methods-types-and-applications/>.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

20. How does ultrasonic sealing work. URL: <https://weldingproperty.com/how-does-ultrasonic-sealing-work>.
21. Герметична упаковка. Режим доступу: <https://balenko.com/sho-take-germetichna-upakovka/>.
22. Дослідження температурних явищ під час зварювання упаковки з полімерних матеріалів. Режим доступу: <https://repository.lnau.edu.ua/xmlui/handle/123456789/1989>.
23. Фактори, що впливають на якість термозварювання упаковки в реторт-пакет. Режим доступу: <http://uk.mfirstpack.com/news/factors-affecting-the-heat-sealing-quality-of-retort-pouch-packaging/>.
24. Understanding the factors affecting the seal integrity in heat sealed flexible food packages: a review. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/=29d1ac94265абабе05babf7527316be4>.
25. Evaluation and optimization of a vertical form-fill-seal production machine for flexible packaging papers. URL: <https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle>.
26. Understanding the factors affecting the seal integrity in heat sealed flexible food packages: a review. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/7527316be4>.
27. Модернізація зварювальних пристроїв пакувальної машини. Режим доступу: <https://upakjour.com.ua/equipment/modernization-of-welding-devices-of-the-packaging-machine>.
28. Сучасна автоматизація пакувальних рішень – автоматичні роликові зварювачі пакетів. Режим доступу: <https://trademaster.ua/articles/313690>.
29. Intelligent design of sealing mechanism for vertical bag filling and filling machine. URL: <http://www.nascequipment.com/article-intelligent-design-of-sealing-mechanism-5559.html>.
30. Зварювач пакетів – надійний спосіб герметизації упаковок. Режим доступу: <https://m-cg.com.ua/zvaryuvach-paketiv-nadijnyj-sposib-germetyzacziyi-upakovok/>.
31. Novel forming shoulder for coated paper-based materials with improved convertibility and minimum wrinkles for use in vertical form, fill and seal machines. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/9d1ac94265абабе05babf7527316be4>.
32. Герасименко Ю.Ю. Обладнання та процес з'єднання елементів гнучкої упаковки термопластичним клейовим матеріалом : дис. ... д-ра філософії : 131 Прикладна механіка / Герасименко Юлія Юріївна. Київ, 2023. 157 с.
33. Принцип роботи вертикальної пакувальної машини. Режим доступу: <https://www.pack-machinery.com/uk/news/working-principle-of-vertical-packaging-machine/>.
34. Design of forming shoulders with complex cross-sections. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/pts.691?msocid=29d1ac94265абабе05babf7527316be4>.
35. Design of automatic feed packaging machine with robotic arm. URL: <https://www.researchgate.net/publication/388283964>.
36. Constraints influencing the design of forming shoulders and the use of exact geometry. URL: <https://www.sv-jme.eu/article/constraints-influencing-the-design-of-forming-shoulders-and-the-use-of-exact-geometry/>.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-24м.2025.ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

