

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 переробних і харчових
виробництв»

_____ Цвіркун Л.О.
«_____» _____ 2026 року

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

на здобуття ступеня вищої освіти «Бакалавр»
зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
за освітньою програмою «Обладнання переробних і харчових виробництв»

на тему: **«УДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ РОЗЛИВУ РІДКИХ
ПРОДУКТІВ В ПЛЯШКИ НА ОСНОВІ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ»**

Виконав:

здобувач вищої освіти Кульчинський Гаврило Гаврилович _____
(прізвище, ім'я, по-батькові) (підпис)

Керівник:

доцент, к.пед.н., Цвіркун Л.О. _____
(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
2026

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 бакалавр
Галузь знань Механічна інженерія
Освітня програма Обладнання переробних і харчових виробництв

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Гарант освітньої програми «Обладнання
переробних і харчових виробництв»

Цвіркун Л.О.
« » 2026 року

З А В Д А Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Кульчинському Гаврилі Гавриловичу
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Удосконалення обладнання для розливу рідких продуктів в пляшки на основі засобів автоматизації»

Керівник роботи к.пед.н., Цвіркун Л.О.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Затверджено: наказом ректора Криворізького національного університету від «31» грудня 2025 р. № 85-с.

2. Строк подання здобувачем ВО роботи « 12 » червня 2026 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 розливу сировини в пляшки.
3. Удосконалення обладнання для розливу рідких продуктів в пляшки на основі засобів автоматизації.
4. Аналіз результатів досліджень.

5. Висновки.

6. Список використаних джерел.

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

Обладнання для розливу рідини в пляшки.

Система дозування на основі засобів автоматизації.

Удосконалені підсистеми дозувальної машини для розливу рідкої сировини.

6. Дата видачі завдання «02» січня 2026 р.

7. Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи
1	Вступ	05.01.2026-15.02.2026
2	Аналіз обладнання для розливу сировини в пляшки	16.02.2026-10.03.2026
3	Удосконалення обладнання для розливу рідких продуктів в пляшки на основі засобів автоматизації	11.03.2026-15.04.2026
4	Аналіз результатів досліджень	16.04.2026-30.04.2026
5	Висновки по роботі	01.05.2026-12.05.2026
6	Оформлення роботи і подання до захисту	16.05.2026-12.06.2026

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Кульчинський Г.Г.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Цвіркун Л.О.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Обсяг і структура бакалаврської роботи. Повний обсяг бакалаврської роботи – 50 сторінок, в тому числі основного тексту – 47 сторінки. Робота містить 9 рисунків, 3 таблиці. Список використаних джерел складається з 28 найменувань.

Об'єкт роботи – поршневий наповнювач.

Предмет роботи – автоматичний розлив рідини.

Мета роботи – удосконалення обладнання для розливу рідких продуктів в пляшки на основі засобів автоматизації.

У роботі зазначено, що процес наповнення – це дуже систематична та точна операція, яка передбачає передачу рідин або напіврідин у контейнери для пакування та розподілу. Процес є критично важливим у харчовій промисловості, де точність, ефективність і цілісність продукції мають вирішальне значення.

На основі аналізу, було зазначено, що поршневі наповнювачі – це машини, які здійснюють наповнення контейнерів контрольованими кількостями, видаючи рідкі або в'язкі продукти у певних дозах за один цикл. Калібрування об'єму здійснюється за допомогою поршня, який змінює положення кінцевого датчика ходового механізму.

Запропоновано автоматичний дозатор рідин з трьома насадками, який дозволяє змінювати дозований об'єм за допомогою застосування витратоміру для розрахунку об'єму. Оптимізовано всмоктувально-інжекційну систему для дозування йогурту, що надходить із бункера та систему вертикального переміщення, ділянка якої містить датчик витрати, що направляє рідину до кінцевої насадки для дозування від 0,5 до 4 л та часом дозування менше 15 секунд на літр. Контролер приймає сигнали і надсилає сигнали керування, залежно від виконуваного завдання, що дозволяє керувати клапанами та моторами, представленими системою транспортування пляшок.

Пропонується систему наповнення розділити на дві підсистеми: вприскування та дозування. Система вприскування відповідає за збір рідини, яка подається в бункер, а потім її викид через насадки. Система дозування забезпечує переміщення та введення насадок у пляшки для безпечного та чистого дозування. Дозатор рідин оснащений трьома системами всмоктування та впорскування. Кожна система складається з чотирьох основних елементів: триходового клапана, витратоміра, дозуючого поршня та циліндрової гільзи. Дозуючий поршень дозволяє створювати необхідну силу для дозування 1 літра йогурта за 7 секунд. Разом з циліндровою гільзою вони забезпечують дію всмоктування та дозування в системі. Триходовий клапан дозволяє контролювати шлях рідини для всмоктування та подальшого дозування. Витратомір дозволяє вимірювати потік рідини, що використовується для розрахунку дозованого об'єму. Обрано пневматичний поршень, здатний створювати необхідну силу для підняття системи сопел. Системи наповнення рідин складається з трьох пневматичних виконавчих механізмів: триходового клапана, дозуючого поршня та сопла протикапельного типу.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: поршневий наповнювач, автоматизація, витратомір, система наповнення, система дозування, йогурт.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ РОЗЛИВУ СИРОВИНИ В ПЛЯШКИ	7
1.1 Методи наповнення рідин в пляшки	7
1.2 Автоматичний розлив рідин	17
РОЗДІЛ 2. УДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ РОЗЛИВУ РІДКИХ ПРОДУКТІВ В ПЛЯШКИ	22
2.1 Системи забезпечення наповнення пляшок	22
2.2 Удосконалення дозувальної машини для рідин	28
РОДІЛ 3. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	42
3.1 Система дозування на основі засобів автоматизації	42
ВИСНОВКИ	44
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	46
ДОДАТКИ	48

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Кульчинський			Удосконалення обладнання для розливу рідких продуктів в пляшки на основі засобів автоматизації	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Цвіркун					5	1
Н. Контр.		Омельченко				ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО		
Затверд.		Цвіркун						

ВСТУП

Актуальність роботи. У роботі зазначено, що процес наповнення – це дуже систематична та точна операція, яка передбачає передачу рідин або напіврідин у контейнери для пакування та розподілу. Основною метою наповнення пляшками є забезпечення стабільного рівня наповнення. Процес є критично важливим у харчовій промисловості, де точність, ефективність і цілісність продукції мають вирішальне значення.

Мета та задачі дослідження. Удосконалення обладнання для розливу рідких продуктів в пляшки на основі засобів автоматизації.

Практична та наукова новизна. На основі аналізу, було зазначено, що поршневі наповнювачі – це машини, які здійснюють наповнення контейнерів контрольованими кількостями, видаючи рідкі або в'язкі продукти у певних дозах за один цикл. Калібрування об'єму здійснюється за допомогою поршня, який змінює положення кінцевого датчика ходового механізму.

Запропоновано автоматичний дозатор рідин з трьома насадками, який дозволяє змінювати дозований об'єм за допомогою застосування витратоміру для розрахунку об'єму. Оптимізовано всмоктувально-інжекційну систему для дозування йогурту, що надходить із бункера та систему вертикального переміщення, ділянка якої містить датчик витрати, що направляє рідину до кінцевої насадки для дозування від 0,5 до 4 л та часом дозування менше 15 секунд на літр. Контролер приймає сигнали і надсилає сигнали керування, залежно від виконуваного завдання, що дозволяє керувати клапанами та моторами, представленими системою транспортування пляшок.

Пропонується систему наповнення розділити на дві підсистеми: вприскування та дозування. Система вприскування відповідає за збір рідини, яка подається в бункер, а потім її викид через насадки. Система дозування забезпечує переміщення та введення насадок у пляшки для безпечного та чистого дозування. Дозатор рідин оснащений трьома системами всмоктування та впорскування. Кожна система складається з чотирьох основних елементів: триходового клапана, витратоміра, дозуючого поршня та циліндрової гільзи. Дозуючий поршень дозволяє створювати необхідну силу для дозування 1 літра йогурта за 7 секунд. Разом з циліндровою гільзою вони забезпечують дію всмоктування та дозування в системі. Триходовий клапан дозволяє контролювати шлях рідини для всмоктування та подальшого дозування. Витратомір дозволяє вимірювати потік рідини, що використовується для розрахунку дозованого об'єму.

Обрано пневматичний поршень, здатний створювати необхідну силу для підняття системи сопел. Системи наповнення рідин складається з трьох пневматичних виконавчих механізмів: триходового клапана, дозуючого поршня та сопла протикапельного типу.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ								
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата									
Розроб.		Кульчинський			Удосконалення обладнання для розливу рідких продуктів в пляшки на основі засобів автоматизації				Літ.	Арк.	Аркушів		
Перевір.		Цвіркун									6	1	
Н. Контр.		Омельченко							ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО				
Затверд.		Цвіркун											

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ РОЗЛИВУ СИРОВИНИ В ПЛЯШКИ

1.1 Методи наповнення рідин в пляшки

Процес наповнення пляшки – це дуже систематична та точна операція, яка передбачає передачу рідин або напіврідин у контейнери для пакування та розподілу. Процес є критично важливим у таких галузях, як харчова промисловість, де точність, ефективність і цілісність продукції мають вирішальне значення. Основні цілі наповнення пляшками – забезпечити стабільний рівень наповнення, мінімізувати відходи продукту та підтримувати якість і безпеку вмісту [1, 2]. Залежно від масштабу виробництва та конкретних вимог до продукту, наповнення пляшок може здійснюватися вручну, напіваавтоматично або повністю автоматично. Сучасні лінії наповнення пляшок розроблені для обробки широкого спектра рідинних в'язкостей – від легких, водних рідин до густих, в'язких продуктів, таких як соуси і підтримують різні типи пакування, такі як скляні пляшки, пластикові контейнери та навіть гнучкі мішечки.

Машини для наповнення рідин розроблені так, щоб наповнювати контейнери рідкими продуктами таким чином, що забезпечує стабільність, точність і гігієну. Основна мета цих машин – оптимізувати процес пакування шляхом зменшення розливів, мінімізації відходів і забезпечення того, щоб кожен контейнер був заповнений до точного та заздалегідь визначеного рівня. Такий рівень точності є надзвичайно важливим у галузях, де послідовність кількості продукції безпосередньо пов'язана з контролем якості та відповідністю нормативним вимогам. Типи машин для наповнення рідини:

За рівнем автоматизації пропонують машини для наповнення рідин, які варіюються від ручних до повністю автоматичних систем. У умовах низького обсягу можна використовувати ручну машину для наповнення рідинами, де оператор керує дуже важливо. Однак для високошвидкісного виробництва ви отримаєте користь від автоматичної машини для наповнення рідини [11]. Системи активно використовують числові елементи керування для налаштування параметрів і моніторингу процесу в реальному часі. Крім того, багато компаній застосовують гібридний підхід, де автоматична система дозволяє вручну налаштовувати їх за потреби. Відповідно, гнучкість забезпечує високу продуктивність і стабільну якість, максимально мінімізуючи простой.

Вибір машини за типом контейнера також підвищує ефективність виробництва. Наприклад, машина для наповнення пляшок з водою легко обробляє пляшки різних форм і розмірів. Так само машини для наповнення соку та інші машини для наповнення пляшок добре працюють з різними

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Удосконалення обладнання для розливу рідких продуктів в пляшки на основі засобів автоматизації	Літ.		Арк.	Аркушів		
Розроб.	Кульчинський							7	15		
Перевір.	Цвіркун										
Н. Контр.	Омельченко										
Затверд.	Цвіркун					ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО					

матеріалами та дизайнами пакування. Змінюючи тип контейнерів, обладнання швидко коригується, забезпечуючи точність і мінімізуючи розливи. Адаптивність дуже корисна для виробників, які працюють у динамічних середовищах, таких як заводи з виробництва напоїв.

Наповнення – це основний етап, коли продукт дозують у контейнери, який гарантує, що кожна пляшка містить точну кількість необхідного продукту, що відповідає очікуванням споживачів і регуляторним стандартам. Процес наповнення передбачає точне та швидке перенесення рідкого продукту у пляшки. Сучасні наповнювальні машини забезпечують точні вимірювання для мінімізації відходів і підтримки послідовності продукту. Залежно від типу продукту виробники застосовують різні методи наповнення, такі як гравітаційне наповнення для газованих рідин, наповнення під тиском для газованих напоїв і вакуумне наповнення для в'язких речовин.

1. Гравітаційний наповнювач – це тип машини для наповнення рідини, яка використовує силу тяжіння для переміщення рідини з резервуара в окремі ємності. Гравітаційне наповнення підходить для рідин з низькою в'язкістю, таких як вода та сік і залежить від сили тяжіння для точності. Це один із найпростіших і найекономічніших способів наповнення, який особливо ефективний для рідких продуктів, таких як вода, оцет, спиртові розчини. Гравітаційні наповнювачі бувають різних типів, щоб відповідати різним обсягам виробництва і операційним умовам. Кожен тип має унікальні переваги, і правильний вибір залежить від конкретних вимог ваших виробничих цілей, персоналу та можливостей підприємства.

Ручні гравітаційні наповнювачі – це тип обладнання для розливу рідин, яке використовує природну силу тяжіння для точного подачі рідин у контейнери. У цій системі продукт утримується у піднятому резервуарі або резервуарі і стікає вниз у контейнери, розташовані нижче. Метод особливо ефективний для вільно текучих рідин з низькою в'язкістю, таких як вода, соки та певні хімічні речовини. Оператори вручну розміщують кожен контейнер і відкривають клапан або натискають на важіль для дозування рідини. Напівавтоматичні системи підвищують ефективність але при цьому потребують певної ручної уваги. Гравітаційні наповнювачі зазвичай мають кілька сопел і механізм заповнення з таймером, який контролює, як довго клапан залишається відкритим (рис. 1.1). Оператори розміщують пляшки під соплами, запускають цикл за допомогою педалі або кнопки, а після наповнення знімають контейнери. Вони підходять для середньомасштабних операцій, які потребують більшої пропускної здатності, ніж можуть забезпечити ручні методи [4]. Повністю автоматичні гравітаційні наповнювачі розроблені для високошвидкісних виробничих ліній, повністю автоматичні гравітаційні наповнювачі інтегруються з конвеєрами, системами індексації пляшок та програмованими логічними контролерами для автоматизації всього циклу наповнення (рис. 1.2). Машини можуть обробляти великі кількості пляшок з мінімальним участю людини, знижуючи витрати на працю та підвищуючи стабільність. Автоматичні машини для наповнення гравітацією працюють у великих масштабах і прагнуть оптимізувати ефективність і точність ліній.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8



Рисунок 1.1 – Напіваавтоматична система наповнення



Рисунок 1.2 – Автоматична наповнювальна машина

Машина для наповнення гравітацією складається з кількох ключових компонентів, які працюють злагоджено, забезпечуючи чистий, послідовний і ефективний процес наповнення. Кожен компонент відіграє ключову роль у підтримці контролю потоку, точності та швидкості. Насадки наповнення – це точки, де рідина потрапляє в контейнери. Вони розроблені для регулювання потоку та мінімізації бризок чи крапель. Залежно від конфігурації машини, насадки можуть бути від кількох до десятка чи більше [1-3]. Деякі сопла оснащені механізмами вимкнення або можливостями для занурення, щоб зменшити піну або пристосуватися до різних форм контейнерів і рівнів наповнення. Резервуар утримує об'ємну рідину перед її поданням. Зазвичай встановлений над заправною станцією, він покладається на гравітаційну силу, щоб проштовхнути рідину вниз через трубки та насадки. Резервуар може бути під тиском або вентиляційним і може включати системи перемішування або опалення для температурно-чутливих продуктів.

Клапани та компоненти трубок гравітаційної машини служать шляхами, що з'єднують резервуар із насадками. Трубка має бути сумісною з рідиною, що видається (наприклад, стійкою до корозії або хімічних речовин). Клапани контролюють, коли і скільки рідини надходить до кожного сопла і їх можна регулювати під різну в'язкість продукту та час наповнення. Конвеєрна система автоматизує переміщення контейнерів до та з заправної станції [4]. Залежно від складності операції, це може включати датчики, індексацію пляшок або механізми синхронізації, щоб забезпечити точне вирівнювання контейнерів із головками наповнення. Панель керування слугує командним центром гравітаційного заповнювача. Оператори використовують його для програмування часу заправки, послідовностей сопел і налаштувань гучності. Розширені панелі можуть включати сенсорні інтерфейси, автоматизовану діагностику або інтеграцію з іншим пакувальним обладнанням для повнолінійної автоматизації.

Гравітаційні наповнювачі засновані на природній силі тяжіння для передачі рідини з резервуара у контейнери. Процес простий але дуже ефективний при правильній конфігурації. У центрі гравітаційного наповнювача знаходиться резервуар для утримання – це, бак, який розташований над наповнювачами, що дозволяє гравітації виконувати роботу з переміщення рідини. Резервуар заповнюється продуктом часто вручну або через підключену насосну систему, яка спроектована для підтримки стабільного рівня та тиску для забезпечення стабільного потоку під час роботи. Контейнери транспортуються на заправну станцію конвеєром або розміщуються вручну, залежно від обладнання. Датчики або направляючі забезпечують точне розташування кожної пляшки безпосередньо під соплом. Вирівнювання є критично важливим для запобігання розливу та забезпечення рівномірного рівня заповнення.

Після встановлення контейнерів клапани відкриваються, щоб рідина проходила через трубку і потрапляла в кожен контейнер. Тривалість, протягом якої клапан залишається відкритою, ретельно розраховується і часто регулюється через панель керування. Цей етап гарантує, що кожен контейнер отримує стабільну кількість рідини, що особливо важливо для контролю якості та відповідності нормативним вимогам. Після досягнення бажаного рівня заправки клапани закриваються автоматично [4]. Це допомагає запобігти переповненню або недоповненню та мінімізує відходи. Деякі системи також використовують датчики для виявлення рівнів заповнення, щоб забезпечити додатковий рівень точності. На наступному етапі наповнені контейнери вивозяться з автозаправної станції автоматично конвеєром або вручну. Звідти вони зазвичай переходять до станцій накладання та маркування, завершуючи процес пакування.

Вибір правильної наповнювальної машини може суттєво вплинути на продуктивність і якість продукції, а гравітаційні наповнювачі мають низку ключових переваг, які роблять їх придатними для певних рідких продуктів і виробничих умов. Переваги гравітаційних наповнювачів [1-4]:

- простота – гравітаційні наповнювачі працюють за базовим принципом і потребують меншої кількості механічних деталей порівняно з іншими типами наповнювачів. Простота означає простіше налаштування, швидше навчання персоналу та менше потенційних поломок, що призводить до мінімальних простоїв і простого усунення несправностей;

- економічна експлуатація полягає в тому, що без потреби в насосах чи складних пневматичних системах, гравітаційні наповнювачі мають менші початкові інвестиції та знизили поточні витрати на обслуговування;

- універсальність у різних продуктах і контейнерах – гравітаційні наповнювачі можуть витримувати широкий спектр вільно текучих рідин і легко регулюються для різних форм і розмірів контейнерів: від наповнення маленьких пляшок до великих балонів – гравітаційні наповнювачі забезпечують гнучкість, необхідну для масштабування операцій або роботи з різноманітними продуктовими лініями;

- точність і послідовність – за допомогою правильно каліброваних

клапанів і часу заправки, гравітаційні наповнювачі можуть досягати дуже стабільних рівнів заповнення. Додаткова точність і послідовність не лише покращують візуальну однорідність вашого продукту на полиці, а й забезпечують точне дозування, що є життєво важливим для дотримання вимог і задоволення клієнтів.

2. Наповнення під тиском використовується в газованих напоях для підтримки шипіння, збалансовуючи тиск під час дозування. Наповнення під тиском – техніка, що використовується для густіших рідин або тих, що потрібно наповнювати під тиском. На відміну від атмосферного (гравітаційного) наповнення, наповнення під тиском прикладає позитивний тиск, щоб змусити продукт потрапити в контейнер [1, 2]. Процес ідеально підходить для таких продуктів, як сиропи, густі соуси та інші напівв'язкі рідини. Наповнення під тиском може використовуватися, коли лише сили тяжіння недостатні для ефективного переміщення продукту. Підтримуючи контрольоване середовище тиску, цей метод забезпечує однорідність у кожному контейнері та допомагає запобігти утворенню повітряних кишень.

Метод ізобарного наповнення – це техніка, що використовується в системах наповнення газованих напоїв при якій підтримується постійний тиск між напоєм і ємністю, запобігаючи втраті CO₂ і зменшуючи піну або наповнення пляшки з протитиском. Ізобарне наповнення, також відоме як наповнення пляшками під контртіском – це спеціалізована техніка, що використовується в індустрії напоїв для розливу газованих напоїв без втрати їхнього шипіння [5]. Метод є необхідним для підтримки якості та консистенції продуктів, таких як пиво, ігристе вино та газувана вода. У своїй основі ізобарне наповнення зосереджене на підтримці однакового тиску між баком для напою та пляшкою протягом усього процесу наповнення. Цього досягають, вводячи CO₂ у балон перед наповненням, створюючи протитиск, що відповідає тиску в баку, що запобігає виходу розчиненого CO₂ у напої у вигляді піни, зберігаючи карбонізацію.

Під час ізобарного наповнення пляшку спочатку герметизують за допомогою прокладки клапана наповнення. Залежно від типу продукту для розливу, всередині пляшки спочатку створюється вакуум шляхом всмоктування повітря. Повітря містить переважно кисень і азот, але необхідно видалити кисень для забезпечення значно довшого терміну зберігання – це називається попередньою евакуацією повітря, часто повторюється двічі, щоб усунути залишковий відсоток кисню перед фактичним заповненням [1, 5]. На цьому етапі пляшка насичена переважно CO₂ під тиском, приблизно 2,2–3,0 бар. Клапан у верхній частині заправного бака відкривається, щоб кисень вийшов (рис. 1.3). Потім відкривається клапан заповнення, дозволяючи газованій сировині потрапляти в контейнер. Тиск поступово падає через вентиляційний клапан, дозволяючи CO₂ виходити, а пиво заповнює простір, який раніше займав газ. Під час цього процесу безперервне натискання мінімізує пінування. Коли пляшка заповнена, клапан подачі рідини герметично закривається. Будь-який залишковий тиск випускається через вентиляційний клапан, після чого пляшка закривається. Після закриття пляшки зазвичай промивають зовні

легким струменем води, щоб видалити будь-які солодкі або липкі залишки, які могли осідати на зовнішній стороні.



Рисунок 1.3 – Ізобарична наповнювальна машина

Ізобарне наповнення – техніка для розливу газованої сировини, яка враховує точність, ефективності та якості. Усуваючи пінування та зберігаючи характеристики напою, ізобарне наповнення забезпечує максимально близький кінцевий продукт до оригінального в резервуарі. Чи то пиво, ігристе вино чи безалкогольні напої, ізобарне наповнення є надійним рішенням для підтримки карбонізації, смаку та загальної якості продукції.

3. Поршневі наповнювачі підходить для густих, в'язких продуктів таких як вершки та соуси. Вони використовують поршковий механізм для точного вимірювання. Поршковий наповнювач – це обладнання, яке використовує механізм поршня та циліндра для точного заповнення певного об'єму. Він підходить для застосувань, які потребують точного наповнення в'язких рідин або продуктів, що містять частинки та забезпечує якість і продуктивність продукту і ідеально підходить для в'язких рідин або продуктів, що містять частинки [9]. Поршневі наповнювальні машини відомі своєю міцною конструкцією, точним дозуванням доз і надійною роботою протягом кількох змін. Машини пропонують гнучкі варіанти наповнення, дозволяючи регулювати різні розміри контейнерів і об'єми заповнення залежно від змін у виробничих вимогах. Поршковий механізм не лише підтримує високу точність, а й обробляє широкий спектр в'язкості продукції, що робить його універсальним рішенням для харчової промисловості. Їхня надійна конструкція забезпечує стабільну роботу, підтримуючи як високу пропускну здатність, так і вимогливі виробничі умови.

Поршневі наповнювачі – це тип рідинної машини, яка працює за принципом об'ємного наповнення. На відміну від гравітаційних наповнювачів, які покладаються на силу тяжіння для переміщення продукту в контейнери, поршневі наповнювачі використовують механічний поршень для витягування та розпуску продукту з високою точністю. Оскільки продукт фізично

проштовхується через систему, а не залежить від пасивного потоку, поршневі наповнювачі також можуть вміщувати продукти з частинками, наприклад, фруктове варення не засмічуючи і не порушуючи цикл наповнення [9]. Поширені застосування поршневих наповнювачів включають такі продукти, як мед, арахісове масло та заправки для салатів. Об'ємна природа поршневих наповнювачів гарантує, що кожен контейнер отримує точну кількість продукту, що особливо важливо в галузях із суворими вимогами до пакування. Їхня стабільна точність і здатність працювати з широким спектром типів контейнерів роблять поршневі наповнювачі одними з найуніверсальніших і найнадійніших рішень для наповнення.

Кожен компонент відіграє критично важливу роль у забезпеченні точності та надійності машини. Поршень є рушійною силою циклу заповнення. Під час фази впуску він втягується, створюючи вакуум, який затягує продукт у циліндр. На етапі дозування продукт рухається вперед, щоб випустити продукт через сопло і потрапляти в контейнер. Діаметр і довжина ходу поршня визначають об'єм продукту, який він може витримати, і високоякісні поршні створюються так, щоб підтримувати стабільну продуктивність навіть при безперервному використанні. Циліндр містить поршень і слугує камерою для вимірювання об'єму наповнення [1-4]. Він має бути точно оброблений для забезпечення герметичності та плавного руху. Бункер виконує роль резервуара, подаючи продукт у циліндр. Він вміщує великі обсяги продукту і часто включає такі функції, як перемішувальні лопатки або нагрівальні елементи для підтримки послідовності та потоку продукту. Наприклад, нагрітий бункер може використовуватися при роботі з в'язкими матеріалами, такими як віск або олія, які тверднуть при кімнатній температурі.

Сопло спрямовує потік продукту з циліндра в контейнер. Вибір сопла суттєво впливає на чистоту та швидкість наповнення. Встановлюються спеціалізовані сопла для зменшення крапель, контролю піни або обробки продуктів із частинками. Деякі сопла розроблені так, щоб занурюватися в контейнери під час наповнення, щоб мінімізувати бризки або затримку повітря. Ефективна конструкція бункера забезпечує стабільне, безперервне постачання продукції до поршневої камери. Добре калібрований циліндр дозволяє точно наповнювати об'єм, забезпечуючи однакову кількість продукту в кожен контейнер. Циліндр також має бути виготовлений із матеріалів, сумісних із заповнюваним продуктом, наприклад, нержавіючої сталі для харчових або корозійних речовин.

Клапанна система регулює напрямок потоку продукту, перемикаючись між фазами впуску та дозування. Зазвичай він включає односторонні впускні та вихідні клапани, які автоматично відкриваються і закриваються синхронно з рухом поршня. Цей механізм забезпечує ефективне переміщення продукту від бункера до контейнера без зворотного потоку чи витоків. Надійність цих клапанів є ключовою для підтримки гігієни та запобігання перехресному забрудненню в багатопродуктових лінійках [9]. У напівавтоматичних та автоматичних поршневих наповнювачах панель керування слугує інтерфейсом користувача для налаштування машини. Оператори можуть встановлювати

параметри, такі як об'єм заповнення, швидкість і час перебування, відповідно до конкретних вимог кожного продукту. Просунуті моделі можуть включати програмовані логічні контролери та сенсорні екрани для більшої автоматизації та гнучкості. Такий рівень контролю не лише підвищує продуктивність, а й знижує ймовірність помилок оператора.

Поршневі наповнювачі працюють за простим але точним механічним процесом, який забезпечує послідовне та точне заповнення. Цикл складається з координованих рухів поршня та клапанної системи, які разом затягують і випускають продукт. Весь процес можна розділити на три основні етапи. Трифазна операція робить поршневі наповнювачі ідеальними для застосувань, що потребують високої точності та чистого дозування, навіть при роботі з щільними або багатими на частинки речовини.

На першій фазі циклу заправки поршень вбирається всередину циліндра. Рух назад створює вакуум, який затягує продукт з бункера в циліндр. Впускний клапан відкривається, а випускний клапан залишається закритим, щоб забезпечити надходження продукту лише в камеру. Розмір вакууму та довжина ходу поршня визначають об'єм засвоєного продукту. Ця фаза особливо важлива для забезпечення послідовності кожного заповнення. Після заповнення циліндра продуктом поршень рухається вперед у фазі дозування [9]. Цей рух вперед змушує продукт виходити з циліндра, через відкритий клапан розряду і потрапляти в сопло. Впускний клапан одночасно закривається, щоб запобігти зворотному потоку. Залежно від конструкції сопла, продукт може вводитися у контейнер зверху або занурюватися рухом, щоб мінімізувати бризки чи пінування, що гарантує, що точна кількість продукту видається щоразу. Останній етап передбачає скидання клапанів і поршня для підготовки до наступного циклу. Випускний клапан закривається і впускний клапан відкривається знову, готуючись до нової фази впуску. В автоматизованих системах цей цикл може відбуватися швидко і повторювано, з мінімальними варіаціями між заповненнями.

Поршневі наповнювачі бувають різних конфігурацій, щоб відповідати різним експлуатаційним потребам. Кожен тип пропонує різний рівень контролю, ефективності та вихідних даних залежно від застосування [1, 5, 9]. Ручні поршневі наповнювачі – це машини з ручним керуванням, що робить їх ідеальними для малосерійного виробництва або випробувань. Вони економічно вигідні, прості в експлуатації та потребують мінімального налаштування та обслуговування. Хоча ручні поршневі наповнювачі не підходять для великих обсягів, вони забезпечують відмінне керування та точність для низькопродуктивних операцій.

Напівавтоматичні поршневі наповнювачі автоматизують цикл наповнення але вимагають оператора для розміщення та зняття контейнерів. Вони знаходять баланс між контролем і ефективністю, тому найкраще працюють для середнього виробництва. Напівавтоматичний характер цього типу наповнювача забезпечує підвищену продуктивність порівняно з ручними моделями без повної вартості автоматизації (рис. 1.4). Повністю автоматизовані поршневі наповнювачі інтегруються з конвеєрними системами та механізмами

обробки контейнерів для безперервного, високошвидкісного виробництва. Машини потребують мінімального людського втручання і можуть бути запрограмовані для різних розмірів контейнерів і об'ємів заповнення. Вони ідеально підходять для великих виробничих середовищ, які потребують високої пропускної здатності та стабільності.



Рисунок 1.4 – Поршнева наповнювальна машина

Переваги поршневих наповнювачів [9]:

- гнучкість – поршневі наповнювачі чудово справляються з широким спектром в'язкості продукту від рідких рідин до надзвичайно густих речовин, таких як арахісове масло чи жирні вершки – ця гнучкість робить їх ідеальними для операцій, де на одній лінії обробляються кілька типів продуктів;

- універсальність полягає в тому, що окрім врахування різних консистенцій продукції, поршневі наповнювачі сумісні з широким спектром форм і розмірів контейнерів. Машини легко налаштовуються під різні формати, такі як банки, трубки, пляшки або ванни. Їхня універсальність робить їх улюбленим вибором для контрактних пакувальників і виробників, які виробляють кілька продуктів;

- точність, оскільки поршневі наповнювачі використовують вимірний об'єм у циліндрі для контролю кількості наповнення вони дають стабільні, повторювані результати щоразу. Точне наповнення також зменшує відходи продукту та підвищує задоволеність клієнтів, підтримуючи рівномірний рівень наповнення у всіх контейнерах. З правильними аксесуарами один поршневий наповнювач може задовольнити різноманітні потреби упаковки без шкоди для якості наповнення;

- надійність – механічна простота поршневих наповнювачів сприяє їх довготривалій довговічності та простоті обслуговування. Завдяки меншій кількості рухомих частин, ніж у складніших системах наповнення, машини менш схильні до поломок і зазвичай потребують менше простоїв для ремонту. Це робить їх особливо цінними в середовищах, де виробничий час роботи критично важливий, наприклад, у виробництві харчових продуктів або

промисловому хімічному пакуванні.

4. Вакуумне наповнення. Вакуумні наповнювальні машини відіграють важливу роль у пакуванні рідких речовин. Вакуумне наповнення – це процес, який використовує вакуум для затягування рідин або газів у контейнери. Вакуум створює середовище низького тиску, що дозволяє рідині або газу швидко та рівномірно втягуватися в контейнер. Контейнер потім закривають і вакуум звільняється. Процес можна застосовувати з різними рідинами та газами, включно з водою, спиртом і вуглекислим газом. Вакуумна машина для наповнення використовує вакуум для наповнення рідких речовин у контейнерах. Цей пристрій працює з вакуумом, тиск вакууму засмоктує рідину всередину порожньої ємності. На відміну від наповнювачів під тиском, які використовують силу для наповнення рідини, вакуумні наповнювачі втягують рідину, створюючи вакуум у контейнері.

Вакуумні наповнювальні машини не використовують насоси чи гравітацію для наповнення рідини, а створюють вакуум у контейнері, який необхідно наповнити. Він працює шляхом використання атмосферного тиску для передачі рідини в ємність та застосовується для рідин без піни, низької в'язкості. Вакуумна машина для наповнення вирізняється тим, що автоматично зупиняється, щойно рідина потрапляє до отвору сопла. На цьому етапі зовнішній і внутрішній тиск однакові. Коли рідина досягає рівня наповнення, машина миттєво зупиняє потік рідини, що дозволяє кожній пляшці наповнюватися на однаковому рівні, незалежно від різниці об'єму між вашими контейнерами [10]. Завдяки цьому механізму можна підтримувати стабільність і зменшувати відходи продукту. Традиційні механізми наповнення використовують об'ємні регулятори для наповнення рідини. Вакуумна машина для наповнення забезпечує візуальну послідовність, коли кожна пляшка наповнюється на одному рівні. Крім того, вакуумне заповнення запобігає недоповненню та переповненню, що допомагає дотримуватися регуляторних заходів.

Процес вакуумного наповнення видаляє повітря з контейнера, створюючи вакуум і дозволяючи продукту заповнити контейнер без жодної філософії. Метод вакуумного наповнення часто використовується у харчовій промисловості та інших галузях, де продукт має бути вакуумно упакований і запечатаний. Процес вакуумного наповнення передбачає видалення повітря з контейнера для створення вакууму [5, 6, 10]. Цей вакуум створюється за допомогою вакуумного насоса, підключеного до трубки, вставленої в контейнер. Потім насос висмоктує повітря з контейнера, створюючи вакуум (рис. 1.5). Після утворення порожнечі продукт можна налити в контейнер і запечатати. Вакуумне наповнення також може допомогти продовжити термін зберігання продуктів, оскільки запобігає потраплянню повітря в контейнер і, відповідно, запобігає псуванню.

Типи вакуумів, що використовуються: механічні або гібридні системи. Вакуумні наповнювальні машини працюють за допомогою трьох різних типів вакуумних систем. Механічні вакуумні насоси – це насоси, які створюють потужніший вакуум за допомогою двигунів і фізичних компонентів. Гібридні

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

системи – це системи інтегрують механічні та інші системи, забезпечуючи ефективність і продуктивність. Їх можна знайти у великих або середніх операціях, де швидкість і гнучкість мають велике значення.



Рисунок 1.5 – Вакуумна наповнювальна машина

Однією з основних переваг вакуумного наповнення є збільшення терміну зберігання продуктів, що дозволяє зберігати їх тривалий час. Це особливо важливо в харчовій промисловості, де свіжість продукту є життєво важливою. Крім того, вакуумне наповнення допомагає зменшити відходи, забезпечуючи, що продукт не піддається впливу кисню, який може спричинити псування. Ще одна перевага вакуумного наповнення – наповнення контейнерів точними обсягами продукту, що особливо корисно в харчовій промисловості, де точні вимірювання є критично важливими. Вакуумне наповнення також допомагає зменшити забруднення продукту, оскільки процес закритий від зовнішнього середовища, що гарантує, що продукт не забруднений пилом чи іншими зовнішніми джерелами.

1.2 Автоматичний розлив рідин

Сучасні машини розливу оснащені датчиками та автоматизованим керуванням для забезпечення точного вимірювання об'єму, зменшуючи відходи та підтримуючи стабільність сировини. Існує безліч методів для точного розміщення потрібної кількості продукту в контейнері в кінці процесу. Окремі товари сортуються, сипучі продукти дозуються, а рідини розливаються в пляшки. У всіх цих процесах завдання завжди однакове: контейнер повинен містити заявлену кількість продукту. Наприклад, якщо пляшки недоповнені, це порушує стандарти, які визначають, наскільки виробнича партія може відхилятися від зазначеного мінімального рівня заповнення.

Для вимірювання кількості рідини було розроблено різні методи. Не всі методи підходять для кожної рідини і вони також суттєво відрізняються за точністю. Однак усі виробничі процеси мають деякі спільні риси: рідини ніколи не течуть під рівномірним тиском через труби до машини для розливу. Густина може коливатися через наявність бульбашок повітря в рідині та зміни температури або рецептури. Тому правильну кількість рідини не можна

визначити виключно на основі часу відкриття клапана. Існує чотири поширені методи вимірювання кількості рідини, які відрізняються вартістю, точністю, швидкістю та гігієною [3, 7, 8]:

- гравіметричне вимірювання за допомогою тензодатчика;
- вимірювання за допомогою датчика рівня;
- вимірювання об'єму;
- вимірювання масової витрати.

1. Гравіметричне наповнення за допомогою тензодатчика. У гравіметричному методі вимірювання – або ваговому наповненні цифровий або аналоговий тензодатчик вимірює вагу порожнього контейнера та продукту, що наповнюється. Тензодатчик використовує датчики, які точно визначають зміни ваги під час процесу наповнення. Перевагою цифрових тензодатчиків є легкість їх зв'язку з контролером через цифрові входи та виходи. Щоб наповнити пляшку, машина для наповнення спочатку розміщує її на платформі або підвішує її вертикально. Потім машина зважує порожню пляшку, а коли машина наповнює пляшку, тензодатчик вимірює загальну зміну ваги. Коли досягнуто попередньо визначеної загальної ваги, процес наповнення автоматично зупиняється і пляшку направляють до станції закупорювання. На роторному наповнювачі з 20-80 головками для наповнення цей процес займає від 5 до 8 секунд для типової пляшки об'ємом 1 літр. Окрім високої точності, вагове заповнення пропонує інші суттєві переваги. Переваги розливу на основі ваги [3, 7, 8]:

- тензодатчик зважує кожну пляшку перед початком розливу;
- розбиті пляшки важать менше за мінімально допустиму вагу, тому їх можна легко виявити та негайно видалити;
- якщо пляшка перевищує допустиму вагу це може бути пов'язано з наявністю залишків мийного засобу або дезінфікуючого засобу. розливна машина також негайно видаляє ці пляшки, запобігаючи будь-яким ризикам для здоров'я.
- якщо загальна вага пляшки не збільшується з заданою швидкістю під час наповнення, причиною може бути витік. У такому випадку машина зупиняє процес наповнення, щоб запобігти забрудненню продукту, а датчик навантаження допомагає підтримувати високу експлуатаційну готовність системи.

Вагове наповнення – це високоточний процес, що дозволяє наповнювати з точністю до одного грама від заявленого вмісту. Тензодатчики дуже легко калібрувати за допомогою противаг, подібно до використання кухонних ваг. Це гарантує, що пляшка дійсно містить 1000 грамів, зазначених на етикетці. Цифрові технології не тільки вигідні виробникам, але й пропонують переваги виробникам машин, оскільки програмування алгоритму наповнення в систему керування машиною є досить складним завданням [3, 7, 8]. Знаходження правильного балансу між швидкістю та точністю – це надзвичайно складна операція, що включає фільтри, технологію керування, час коливань та час реакції. Цифрові тензодатчики значно спрощують процес налаштування, оскільки вони включають інтегрований алгоритм наповнення, результат

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

багаторічного досвіду гравіметричного наповнення. Тензодатчики можуть працювати як повністю автономні пристрої, зв'язуючись із системою керування машиною через входи, виходи або польову шину. Вони також можуть безперервно подавати відфільтровані виміряні значення до системи керування, якщо компанія бажає використовувати власні алгоритми наповнення.

Вагове розфасовування особливо добре відповідає вимогам харчової промисловості, оскільки датчик не контактує з продуктом. Усі тензодатчики доступні з найвищим класом захисту і можуть витримувати тривале занурення та миття під тиском. Контактні поверхні цих тензодатчиків повністю закруглені та електрополіровані, що повністю запобігає розмноженню бактерій, таких як ті, що містяться на білках або цукрі. Тому їх можна застосовувати в новітній тенденції упаковки: асептичному холодному розфасовуванні без пастеризації або додавання консервантів.

2. Вимірювання за допомогою датчика рівня. Метод датчика рівня базується на рівні рідини в пляшці. У цьому випадку датчик рівня вставляється через отвір пляшки і пляшка наповнюється, доки рідина не досягне датчика. Цей процес застосовується лише до електропровідних продуктів, тобто рідин з мінімальним вмістом солі. Рослинні та мінеральні олії, наприклад, містять дуже мало солі. Метод датчика рівня є найменш точним методом вимірювання та має найбільший розкид результатів при визначенні кількості заповнення [3]. Основна причина цього полягає в тому, що існують значні коливання об'єму ємностей, особливо у випадку скляних пляшок. Отже, датчики рівня використовуються майже виключно з недорогими, провідними продуктами. Ще одним важливим недоліком є те, що датчик контактує з продуктом. Тому він переносить невелику кількість продукту з однієї пляшки в іншу, що робить його непридатним для гігієнічного пакування.

Метод датчика рівня ідеально підходить для ізобарного розливу, тобто коли в трубах та в пляшці підтримуються однакові умови тиску. Газовані рідини потребують такого середовища, оскільки інакше вони втрачали б вуглекислий газ. Крім того, цей метод дозволяє візуально досягати однакових рівнів наповнення під час розливу напоїв, що є критерієм покупки, який споживачі враховують, особливо у випадку пива чи мінеральної води.

3. Вимірювання об'єму. Вимірювання об'єму визначає кількість рідини, що протікає через наповнювальний клапан. У цьому випадку об'єм рідини, що використовується для наповнення пляшки, вимірюється за допомогою магнітно-індуктивного методу. Магнітне поле призводить до розділення іонів, присутніх у рідині, індукуючи електричну напругу [3, 7, 8]. Напруга вимірюється за допомогою електродів, і об'ємну швидкість потоку можна розрахувати за показаннями. Ця процедура дійсна лише для рідин, що проводять струм. Крім того, розливна машина повинна бути індивідуально калібрована для кожної рідини, оскільки кожен продукт має характерний іонний склад.

4. Вимірювання масової витрати. Вимірювання масової витрати базується на принципі сили Коріоліса. У цьому випадку рідина надходить у пляшку через два вібруючі канали. Сила Коріоліса, що діє на пару каналів, генерує фазовий

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

зсув між коливаннями, за яким можна розрахувати масу рідини, що протікає через канали. Цей метод застосовується до непровідних рідин. Однак він надзвичайно дорогий, оскільки вимагає трудомісткого процесу калібрування під час виробництва датчиків.

Найбільш підходящий метод у кожному випадку залежить від вартості та властивостей продукту, що упаковується. Однак різні методи значно відрізняються за точністю та швидкістю наповнення. Гравіметричне наповнення на основі технології зважування є набагато точнішим, ніж будь-який інший метод вимірювання та наповнення. Метод датчика рівня має типові відхилення 2-5% від ваги заповнення (для скляних пляшок), тоді як у об'ємному методі відхилення становить 0,5-1%. При методі масової витрати максимально досягне відхилення становить 0,2% [3]. Наповнення за допомогою технології зважування допускає типові відхилення близько 0,1% від ваги заповнення. Різні методи вимірювання також пропонують різні швидкості наповнення. З датчиком рівня наповнення пляшки займає від 2 до 4 секунд. При технології зважування та вимірюванні масової витрати наповнення пляшки займає близько 5 секунд. Об'ємний метод має найбільші коливання швидкості наповнення, зі змінним часом від 2 до 5 секунд.

Багато властивостей продукту роблять гравіметрію ідеальним методом розливу. Ваговий розлив сумісний з переважною більшістю рідин, незалежно від їхньої провідності, вмісту твердих речовин або швидкості потоку. Він також дозволяє надзвичайно точно наповнювати контейнери, що мінімізує дорогі переливи для безпеки, що призводить до значної економії, особливо для високоякісних або цінних продуктів, таких як косметика або олії. Для продуктів, які важко розливати по пляшках, таких як продукти з високою в'язкістю або високим вмістом твердих речовин, гравіметричне вимірювання за допомогою датчика навантаження забезпечує результати з набагато більшою точністю, ніж будь-який інший метод вимірювання [3, 7, 8]. Виробники, які прагнуть задовольнити зростаючий попит на асептичне розлив, мають лише два варіанти: вимірювання масової витрати або гравіметричний ваговий розлив. Пряме порівняння цих двох методів виявляє вирішальні переваги: його чудова гігієна робить його найпростішим способом досягнення холодного асептичного розливу без пастеризації. І не тільки це, він також набагато дешевший і точніший, ніж вимірювання масової витрати. З усіх цих причин гравіметричний ваговий розлив є ідеальним методом для виробників розливних заводів для розробки конкурентоспроможних систем розливу.

На основі вище зазначеного можна вважати, що процес наповнення – це дуже систематична та точна операція, яка передбачає передачу рідин або напіврідин у контейнери для пакування та розподілу. Процес є критично важливим у таких галузях, як харчова промисловість, де точність, ефективність і цілісність продукції мають вирішальне значення. Основні цілі наповнення пляшками – забезпечити стабільний рівень наповнення, мінімізувати відходи продукту та підтримувати якість і безпеку вмісту. Залежно від масштабу виробництва та конкретних вимог до продукту, наповнення пляшок може здійснюватися вручну, напівавтоматично або повністю автоматично.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Наповнення – це основний етап, коли продукт дозують у контейнери, який гарантує, що кожна пляшка містить точну кількість необхідного продукту, що відповідає очікуванням споживачів і регуляторним стандартам. Процес наповнення передбачає точне та швидке перенесення рідкого продукту у пляшки. Сучасні наповнювальні машини забезпечують точні вимірювання для мінімізації відходів і підтримки послідовності продукту. Залежно від типу продукту виробники застосовують різні методи наповнення, такі як гравітаційне наповнення для газованих рідин, наповнення під тиском для газованих напоїв і вакуумне наповнення для в'язких речовин.

Машини для наповнення рідин розроблені так, щоб наповнювати контейнери рідкими продуктами таким чином, що забезпечує стабільність, точність і гігієну. Основна мета цих машин – оптимізувати процес пакування шляхом зменшення розливів, мінімізації відходів і забезпечення того, щоб кожен контейнер був заповнений до точного та заздалегідь визначеного рівня. Такий рівень точності є надзвичайно важливим у галузях, де послідовність кількості продукції безпосередньо пов'язана з контролем якості та відповідністю нормативним вимогам.

Гравітаційний наповнювач – це тип машини для наповнення рідини, яка використовує силу тяжіння для переміщення рідини з резервуара в окремі ємності. Гравітаційне наповнення підходить для рідин з низькою в'язкістю, таких як вода та сік і залежить від сили тяжіння для точності. Це один із найпростіших і найекономічніших способів наповнення, який особливо ефективний для рідких продуктів, таких як вода, оцет, спиртові розчини.

Метод ізобарного наповнення – це техніка, що використовується в системах наповнення газованих напоїв при якій підтримується постійний тиск між напоєм і ємністю, запобігаючи втраті CO₂ і зменшуючи піну або наповнення пляшки з протитиском. Ізобарне наповнення, також відоме як наповнення пляшками під контртиском – це спеціалізована техніка, що використовується в індустрії напоїв для розливу газованих напоїв без втрати їхнього шипіння. Поршневий наповнювач – це обладнання, яке використовує механізм поршня та циліндра для точного заповнення певного об'єму. Він підходить для застосувань, які потребують точного наповнення в'язких рідин або продуктів, що містять частинки та забезпечує якість і продуктивність продукту і ідеально підходить для в'язких рідин або продуктів, що містять частинки. Вакуумне наповнення – це процес, який використовує вакуум для затягування рідин або газів у контейнери. Вакуум створює середовище низького тиску, що дозволяє рідині або газу швидко та рівномірно втягуватися в контейнер.

Зазначено, що сучасні машини розливу оснащені датчиками та автоматизованим керуванням для забезпечення точного вимірювання об'єму, зменшуючи відходи та підтримуючи стабільність сировини. Існує чотири поширені методи вимірювання кількості рідини, які відрізняються точністю, швидкістю та гігієною: гравіметричне вимірювання за допомогою тензодатчика, вимірювання за допомогою датчика рівня, вимірювання об'єму, вимірювання масової витрати.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

РОЗДІЛ 2

УДОСКОНАЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ РОЗЛИВУ РІДКИХ ПРОДУКТІВ В ПЛЯШКИ

2.1 Системи забезпечення наповнення пляшок

Призначення машин для наповнення полягає у введенні готового продукту або рідини в ємності різних форм для зберігання при цьому машина повинна забезпечувати подачу правильної кількості рідини відповідно до розмірів упаковки. Етап наповнення упаковок є однією з основних операцій пакування рідких продуктів у виробництві напоїв. Процеси наповнення упаковок можуть виконуватися вручну, напівавтоматично або повністю автоматично [22, 23]. Ручні методи безпосередньо контролюються оператором. Машина надає силу та енергію, але оператор забезпечує контроль. У напівавтоматичних методах програма на машині виконує частину циклу, а оператор займається деякими частинами процесу. У автоматичних методах машини працюють протягом тривалого часу без втручання оператора. Потрібне його спостереження для виявлення несправностей процесу, які система керування не виявляє.

Розливні машини для контейнерів поділяються на дуже загальні категорії, спеціальні випадки, категорії залежно від їхньої структури, залежно від способу роботи, залежно від бажаного обсягу виробництва, залежно від продукту для розливу. Для етапу розливу найвизначальнішим критерієм для вибору типу розливної машини є бажаний обсяг виробництва, серед яких виділяють [1, 2]:

- розливні машини малої потужності їхня продуктивність на годину невеликий через наявність ручного керування. Цей тип машин широко використовується малими підприємствами, які мають невеликі виробничі партії і прагнуть покращити свої процеси за допомогою простого, економного і компактного обладнання;

- ротаційні розливні машини: цей тип розливної машини призначений для наповнення великих партій з дуже високою швидкістю виробництва. Це дуже складна система під час зміни типу упаковки, через велику кількість деталей, які необхідно замінити залежно від розміру тари; основним елементом для заміни є обертальний стіл, який потрібно замінювати відповідно до потреби. У цьому типі обладнання немає часу простою, поки порожні пляшки заміщуються наповненими;

- лінійні розливні машини: цей тип розливної машини призначений для досягнення помірної швидкості виробництва, відрізняється легкою збіркою та заміною для розливу продуктів у різні види упаковок, а також має можливість регулювати висоту сопел відповідно до різних типів упаковок.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>	<i>Кульчинський</i>				Удосконалення обладнання для розливу рідких продуктів в пляшки на основі засобів автоматизації	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Цвіркун</i>						<i>Аркушів</i>
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>						22
<i>Затверд.</i>	<i>Цвіркун</i>						20
					ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО		

Машини для наповнення можуть бути спроектовані та виготовлені з використанням різних способів наповнення, залежно від вимог, яких бажають досягти в процесі наповнення. Форми заповнення – це методи, які використовуються для примусового проходження рідини через трубу та приведення її до бажаних умов на виході через насадки, деякі з основних форм заповнення [1, 2]:

- заповнення гравітаційним способом: це один із найтрадиційніших методів, оскільки він не вимагає допомоги будь-яких зовнішніх елементів для здійснення заповнення; рідина спускається з піднятого резервуара, щоб заповнити ємності просто під дією гравітації;

- наповнення за допомогою насоса: цей метод використовує зовнішню допомогу, яка забезпечує потік рідини від резервуара до виходу на розподільних соплах; цей метод застосовується переважно для густих продуктів;

- заповнення поршнями: цей метод, як і попередній метод заповнення за допомогою насоса, працює з зовнішніми елементами для примусового переміщення рідини до виходу в насадках. Рух рідини здійснюється за рахунок рівномірного наповнення та вивільнення;

- заповнення вакуумом: цей метод дозволяє добре контролювати рівень наповнення, рідина засмоктується в контейнер завдяки різниці тисків, яка створюється між посудиною, що містить рідину та всередині контейнера. При цьому типі заповнення рідина не контактує з будь-яким насосом.

1. Електромеханічна система. Електромеханічний механізм просування відповідає за переміщення контейнерів за допомогою конвеєрної стрічки, яку приводить у рух двигун, що підключається до стрічки через систему передачі. Механізм просування забезпечує транспортування упаковок від однієї точки до наступної, здійснюючи зупинку в потрібному місці та в потрібний час для проведення наповнення. Швидкість цього механізму має бути помірною, щоб уникнути неправильного переміщення упаковок. Двигун, який приводить у рух систему просування, повинен мати достатній крутний момент для подолання опорних та інерційних навантажень, що виникають.

Основні типи механізмів подачі, що використовуються в харчовій промисловості, такі [22, 23]:

- стрічковий конвеєр – конвеєрна стрічка приводиться в рух силою тертя між стрічкою та барабанами, які приводяться в дію двигуном. Тертість є результатом прикладання напруження до конвеєрної стрічки. Стрічкові конвеєри використовуються головним чином для транспортування сипких, сільськогосподарських та промислових матеріалів, таких як зернові, консервні банки, пластикові або скляні пакування, залежно від експлуатаційних параметрів всієї лінії.

- роликовий конвеєр – роликовий конвеєр використовує ролики для формування рівної поверхні, що полегшує обробку та переміщення різноманітних предметів, таких як коробки, пакети, великі контейнери, а також для застосувань з накопиченням продукції. Деякі типи роликових конвеєрів наведені нижче.

Гравітаційний роликовий конвеєр: використовує силу тяжіння об'єкта, щоб рухатися по роликах. Роликовий конвеєр з приводом за допомогою ремня: ролики приводяться в рух за допомогою ремня, який забезпечує їх рух і приводиться в дію мотором. Роликовий конвеєр з приводом за допомогою ланцюга: ролики приводяться в рух за допомогою ланцюга, що передає рух кожному роликові. Цей тип ідеально підходить для транспортування важких об'єктів.

– транспортер з шарнірними плитами – конвеєри з шарнірними плитами надзвичайно міцні та зносостійкі, крім того, вони мають рівну поверхню, що дозволяє переміщувати різні продукти, і використовуються багатьма галузями, головним чином для транспортування скляної та пластикової тари. Плити можуть бути пластиковими або сталевими, зазвичай вони використовуються на лінії розливу середньої або високої продуктивності, а їх основна функція – переміщення продукту з однієї станції на іншу. Такий тип конвеєра дозволяє використання на поворотах. Завдяки високій ефективності цей тип транспорту в основному застосовується в харчовій промисловості.

2. Гідравлічна система. Гідравлічна система для розливної машини зосереджена на транспортуванні рідини від резервуару для зберігання до виходу форсунок для здійснення наповнення контейнерів згідно з необхідними умовами. Рідина може переміщуватися по трубах завдяки енергії, яку їй надає зовнішній агент, або завдяки потенційній енергії, що з'являється в рідині через різницю висот. Гідравлічна система розливних машин дозволяє працювати з широким спектром рідин, найбільш використовуваною з яких є вода. Розливні машини проектується на основі однієї рідини або рідин із схожими в'язкостями, щоб усі елементи відповідали очікуваним вимогам. В'язкість рідини визначає легкість її руху по трубопроводу; із збільшенням в'язкості потрібно більше енергії для встановлення необхідного режиму потоку. Геометрія насадок полегшує внесення рідини всередину тари і має механізм відкриття та закриття, що дозволяє рідині проходити лише під час наповнення. Гідравлічна система машин для наповнення контейнерів включає наступні елементи [22, 23]:

Трубопроводи відповідають за транспортування рідини від резервуара для зберігання до виходу сопел.

Клапани відповідають за дозвіл або обмеження проходження рідини і встановлюються на певних ділянках трубопроводу.

Резервуар – це елемент, який зберігає робочу рідину, яка надалі подається для заповнення контейнерів.

Типи резервуарів:

– підвищений резервуар для зберігання, призначений для зберігання певного об'єму рідини, щоб потім передати її до системи. Ці резервуари компенсують втрати тиску за рахунок потенційної енергії, яку має рідина залежно від своєї висоти;

– гідропневматичні резервуари виконують ту саму функцію зберігання певного об'єму рідини та дозволяють надати рідині тиск для компенсації втрат

тиску на шляху та забезпечують бажані параметри на виході у насадках.

Лічильники відповідають за здійснення відповідних вимірювань, таких як тиск і витрата, що дозволяє забезпечити кращий контроль у системі.

Сопла – це пристрої, які безпосередньо контактують із контейнерами, дозволяють пропускати або перекривати робочу рідину і забезпечують отримання певних параметрів наповнення. Найбільш поширені типи сопел для розливу рідких продуктів:

- поршневі насадки – цей тип складається з одного або кількох герметичних контейнерів, де знаходиться рідина і за допомогою одного або кількох поршнів продукт виганяється з контейнера і переноситься у трубку, розташовану всередині упаковки. Цей дозатор ідеально підходить для густих або в'язких рідин, таких як шампунь, йогурт, жир, подрібнені помідори, желе, айва, тощо. Також його можна використовувати для рідин, таких як вода, соки;

- сопла, керовані електромагнітними клапанами – складаються з електромагнітних клапанів, розташованих у соплах, які дозволяють пропускати або перекривати потік рідини, і мають автоматичне керування, оскільки відкриття або закриття контролюється соленоїдом. Вони дозволяють наповнювати рідкі продукти, такі як вода, молоко, соки, вина тощо. Мають певні переваги щодо регулювання витрати або тиску, але не дуже використовуються у високоточних застосуваннях. Високоточні електромагнітні клапани мають високі витрати;

- механічні насадки для переливу використовуються для наповнення під тиском через невеликі отвори на виході рідини, ці насадки дозволяють рециркуляцію надлишкової рідини, запобігаючи втратам під час процесу наповнення. Вони називаються механічними, оскільки потребують зовнішньої сили для деформації пружини, яка контролює відкривання такого типу насадок.

Насос – це один із основних елементів у гідравлічних системах, він відповідає за надання рідині необхідної енергії для її руху через трубопровідну систему. Класифікація типів насосів [22, 23]:

- насоси об'ємного або позитивного переміщення – цей тип насосів передає енергію тиску рідині через обмежені об'єми. Відбувається періодичне заповнення та випорожнення серії камер, забезпечуючи переміщення дискретних обсягів рідини від всмоктування до нагнітання.

- турбонасос – тип насоса передає енергію рідині шляхом зміни кінетичного моменту, що виникає в робочому колесі або крильчатці. Залежно від напрямку потоку на виході з крильчатки їх можна класифікувати так: Центробіжні, коли потік на виході з крильчатки має напрямок, перпендикулярний до осі (радіальний потік). Осьові, коли напрямок потоку на виході паралельний до осі (осьовий потік).

3. Пневматична система. Пневматична система зосереджена на приведенні в дію пневматичних виконавчих механізмів, серед яких є пневматичні циліндри, пневматичні клапани, що дозволяють виконувати певні операції за допомогою повітря при цьому повітря є основною робочою речовиною, яка складає пневматичну систему.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Пневматична система дозволяє здійснювати автоматизування роботи. Система розливу контейнерів є частиною харчової промисловості, де процеси автоматизуються за допомогою використання виконавчих механізмів, якими є пневматичні циліндри, відповідальні за виконання певних операцій у процесі роботи машини, а також використовуються пневматичні клапани для напрямку потоку повітря до пневматичних виконавчих механізмів. Пневматична система машин для наповнення упаковок містить наступні елементи:

Резервуар накопичує повітря під високим тиском, яке виробляє компресор, охолоджує його, запобігає надлишковому тиску та полегшує робочий цикл компресора.

Пневматичні клапани – пристрої, які спрямовують та регулюють потік стисненого повітря до різних пневматичних виконавчих механізмів.

Залежно від функції клапани поділяються на такі групи [22, 23]:

- клапани шляхів або розподільні клапани – ці клапани є компонентами, які визначають шлях, яким повинен слідувати повітря в кожен момент, контролюючи напрямки переміщення виконавчих механізмів;

- блокувальні клапани призначені для запобігання, обмеження або ускладнення проходження потоку в тому чи іншому напрямку. До них належатиме зворотний клапан, який повністю перешкоджає проходженню в одному напрямку, тоді як у протилежному напрямку повітря рухається з мінімальною втратою тиску.

- клапани тиску головним чином впливають на тиск або залежать від його значення. Серед них варто виділити наступні: регулюючі клапани тиску (їхнє завдання полягає у підтриманні постійного тиску на виході, незалежно від тиску на вході). Основна мета забезпечити незмінний тиск у робочих елементах, незважаючи на коливання тиску, які зазвичай виникають у розподільчій мережі;

- клапан обмеження тиску відкриває і пропускає повітря в момент досягнення встановленого тиску. Вони розташовані паралельно і використовуються, головним чином, як запобіжні клапани, не дозволяючи тиску в системі перевищувати максимально допустиме значення. Коли на вході клапана досягається певний тиск, він відкривається на виході, і повітря виходить в атмосферу. Клапан залишається відкритим до тих пір, поки пружина, після досягнення встановленого тиску, не знову закрий прохід. Деякі клапани мають блокування, яке вимагає зовнішнього втручання для повторного закриття;

- запірні клапани призначені для регулювання потоку, який через них проходить, і таким чином контролювати швидкість штоків циліндрів. Це досягається шляхом звуження перетину проходу, подібно до простої звужувальної системи, описаної для інших клапанів.

Компресор відповідає за стиснення повітря та підвищення його тиску, щоб потім передати його в пневматичну систему (іноді також може використовуватися для створення вакууму). Компресор забирає повітря ззовні при атмосферному тиску та стискає його, підвищуючи його тиск. Типи компресорів:

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– компресори об'ємного типу: принцип їхньої роботи базується на зменшенні об'єму повітря в камері стиснення, де воно обмежене, що призводить до збільшення внутрішнього тиску до запроектованого значення, після чого повітря вивільняється в систему;

– динамічні компресори: принцип роботи базується на молекулярному прискоренні. Повітря всмоктується робочим колесом через його вхідний кожух і розганяється до великої швидкості. Після цього воно безпосередньо подається до кількох дифузорів, розташованих поруч із робочим колесом, де вся кінетична енергія повітря перетворюється на статичний тиск.

4. Система контролю. Система контролю складається з набору компонентів, які можуть впливати на власну роботу або на роботу інших компонентів, що не входять до системи контролю з метою досягнення передбаченої роботи, щоб зменшити ймовірність відмов і отримати очікувані результати. Система керування дозволяє керувати широким спектром обладнання або пристроїв з великою точністю, так що втручання оператора не потрібне. Мета системи управління полягає в досягненні контролю над вихідними змінними шляхом маніпулювання вхідними змінними, які надаються деякими компонентами системи управління, так, щоб ці змінні досягли заданих значень. Системи управління можуть бути двох типів [22, 23]:

– системи з відкритим контуром: у цих системах вихід не впливає на управління, оскільки вихід не вимірюється і не повертається для порівняння з входом;

– системи з замкнутим контуром: у цих системах контролер отримує сигнал помилки дії, який є різницею між вхідним сигналом і сигналом зворотного зв'язку, щоб зменшити помилку та привести вихід системи до зручного значення.

Характеристики системи керування:

– забезпечення стабільності системи, вона стійка до перешкод та помилок у моделях;

– бути максимально ефективною відповідно до заздалегідь визначеного критерію. зазвичай цей критерій полягає в тому, щоб дії керування щодо вхідних змінних були здійсненими, уникаючи різких та нереалістичних поведінок;

– може бути легко реалізована та зручною в експлуатації в реальному часі за допомогою комп'ютера.

Основні елементи системи керування:

Контролер має кілька типів таких як мікропроцесори, програмовані логічні контролери та інші, але в автоматизації процесів для харчової промисловості найчастіше використовується програмований логічний контролер, спеціально розроблений для керування промисловими завданнями, який дозволяє замінювати схеми, виконані з реле. Також відомий як PLC або програмований автомат, це все електронне обладнання, що дозволяє в реальному часі контролювати різні промислові процеси, такі як послідовні процеси та безперервні процеси.

Датчики положення використовуються для виявлення об'єктів, як статичних, так і рухомих. Існують різні типи датчиків залежно від необхідного застосування [22, 23]:

- індуктивні датчики здатні розпізнавати металеві об'єкти;
- ємнісні датчики використовуються для розпізнавання об'єктів, незалежно від їх властивостей. Для визначення положення не оцінюється магнітне поле, а зміна ємності в електричному полі;
- ультразвукові датчики використовуються у застосуваннях, де потрібні великі області виявлення;
- датчики прямого відбиття або фотоелектричні бар'єри використовуються для виявлення рухомих об'єктів;
- лазерні датчики використовуються для дуже точного виявлення найменших об'єктів.

2.2 Удосконалення дозувальної машини для рідин

Велика частина технологічних процесів в харчовій промисловості характеризується наявністю операцій для яких впровадження автоматичної подачі на об'єкт контролю має встановлюватися технологічними регламентами у вигляді доз або витрат рідких компонентів. При цьому при проектуванні обладнання необхідно враховувати різноманітність властивостей дозувальної сировини, забезпечивши досить високу точність і широкий діапазон дозування. Поршневі наповнювачі (дозатори) – це машини, які полегшують наповнення контейнерів контрольованими кількостями, видаючи рідкі або в'язкі продукти у певних дозах за один цикл. У цих системах калібрування об'єму здійснюється за допомогою поршня, який змінює положення кінцевого датчика ходового механізму. Таким чином визначається хід штока пневматичного циліндра, що відповідає за проштовхування рідини, встановлюючи об'єм, який потрібно видавати в кожен тару на виробничій лінії. Тобто об'єм налаштовується шляхом зміни довжини ходу поршня за допомогою ручки, а скорочення ходу поршня призведе до меншого видавання продукту.

Метод ручного калібрування є повільним, особливо на машинах, які мають кілька дозувальних ліній, оскільки кожна лінія має свій резервуар і систему калібрування об'єму. Остання складається з пневматичного циліндрового двигуна, направляючого механізму для кінцевого положення і регулювальної ручки об'єму. Тому калібрування проводиться по одній лінії за раз [12, 22, 23]. На невеликих підприємствах, де немає кількох дозувальних машин, калібрування обсягу сировини має проводитися щоразу, коли потрібно почати роботу лінії упаковки продукту у різному розмірі, що призводить до великих витрат часу на налаштування, що збільшує загальний час виробництва та витрати на цей процес. Ручне калібрування, крім того, впливає на точність фасованих об'ємів, збільшуючи похибку у кількості заповненої рідини. Внаслідок цього також погіршується якість продукту і можуть виникати економічні втрати, якщо машина належним чином не відкалібрована і дозований об'єм перевищує необхідний, що робить систему дуже чутливою до

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

людських помилок. Пневматичні циліндри, які потрібно калібрувати по одному при зміні об'єму для дозування. Кожен із цих циліндрів регулює обсяг кожної з ліній дозування, тому вони оснащені незалежними регулювальними ручками. Крім того, ці механічні системи калібрування з часом втрачають точність через знос деталей, що потребує все частішого технічного обслуговування та збільшує час їх підготовки.

Тому необхідно оптимізувати дозуючий апарат із системою автоматичного калібрування, щоб скоротити час налаштування машин під час зміни обсягу розливу на виробничій лінії. Основними змінними є обсяг на дозування та витрата, за допомогою якої можна контролювати обсяг для забезпечення більш простого налаштування, що дозволяє швидко змінювати обсяг наповнення та забезпечує більш точне дозування, надаючи гнучкість виробничій лінії.

Дозувальна машина для рідин – це пристрій, призначений для наповнення рідкими продуктами різної густини з метою точного розподілу об'ємів у різні типи упаковки. Пневматичні дозатори рідин використовують системи з клапанами, які активуються стисненням повітрям для виконання точної функції дозування. Цей тип дозаторів потребує поршнів і циліндрів, щоб імітувати шприц, який всмоктує рідину для дозування, а потім розподіляє її по контейнерах. Для удосконалення обрано дозувальну машину для рідин, оскільки система керування, що використовується для дозування є простою. Для цього використовується датчик ходу в корпусі поршня, який калібрується до досягнення необхідного ходу для бажаного об'єму. Він має бункер, куди завантажується продукт та датчик рівня, який включає пневматичний насос для підтримки подачі в систему. Компресор подає повітря під тиском, яке регулюється регуляторами тиску та обробляється обслуговуючими блоками перед подальшою подачею в систему. Параметри конструкції є дуже важливими змінними, оскільки вони визначають конструкцію машини відповідно до бажаних умов [22, 23]:

- розмір упаковки є змінним параметром, оскільки машина дозволяє здійснювати заміну різних видів пляшок;
- кількість насадок розливної машини враховано всього 3-4 насадки, що забезпечує можливість одночасного наповнення декількох пляшок за один цикл. Крім того, розливна машина може передбачати майбутнє розширення щодо кількості насадок, що збільшить виробничу потужність за хвилину;
- час прискорення та гальмування крокового двигуна оцінюється в 1 секунду, оскільки прагнуть досягти максимальної ефективності процесу заповнення. Час прискорення буде однаковим для будь-якої упаковки і його запрограмують у системі керування;
- відкривання сопел – машина буде оснащена приводним гвинтом для регулювання та підтримки цього параметра на постійному рівні, щоб уникнути можливості роздавлювання контейнерів через силу, що діє від пневматичного циліндра при його повному втягуванні. Відкриття можна виміряти за деформацією пружини, і необхідно забезпечити однакове відкриття сопла для кожного типу упаковки з метою запобігання їхньому роздавлюванню;

– швидкість конвеєрної стрічки – швидкість конвеєрної стрічки є параметром, що встановлюється на моторі через контролер таким чином, щоб забезпечити хорошу мобільність пакувань.

1. Електромеханічна система. Електромеханічні системи – це механічні системи, керовані або приводжувані в дію за допомогою електричних систем. Ці підсистеми відповідальні за надання руху машині, використовуючи електричні двигуни з механічними структурами, оскільки поєднання цих елементів дозволяє досягти потрібного руху і робить машину здатною виконувати всі вимоги її проєктування. Впроваджуваний механізм руху є електромеханічним: мотор з'єднується з валом конвеєрної стрічки, що дозволяє рухати стрічку разом із контейнерами. Вибраний тип конвеєрної стрічки: стрічковий конвеєр [17, 22, 23]. Стрічковий конвеєр приводиться в рух за рахунок тертя між стрічкою та барабанами, які приводяться в дію двигуном. Тертя виникає в результаті прикладання напруги до конвеєрної стрічки (рис. 2.1). Механізм просування пляшок – це механізм, який відповідає за перехід пляшок до їхньої наступної позиції, що здійснюється за допомогою транспортної стрічки. Швидкість руху цього механізму повинна бути повільною, приблизно чотири сантиметри на секунду, щоб уникнути неправильного переміщення пляшок.



Електромеханічний механізм просування відповідає за переміщення контейнерів за допомогою конвеєрної стрічки, яку приводить у рух двигун, що підключається до стрічки через систему передачі. Механізм просування забезпечує транспортування упаковок від однієї точки до наступної, здійснюючи зупинку в потрібному місці та в потрібний час для проведення наповнення.

Рисунок 2.1 – Стрічковий конвеєр

Швидкість цього механізму має бути помірною, щоб уникнути неправильного переміщення упаковок. Двигун, який приводить у рух систему просування, повинен мати достатній крутний момент для подолання опорних та інерційних навантажень, що виникають. Дані для аналізу швидкості конвеєрної стрічки наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Дані для аналізу швидкості конвеєрної стрічки

Показники	Значення
Гравітація, g	9,81 м/с ²
Маса упаковки 1л, m_B	0,89 кг
Висота упаковки	0,6 м
Діаметр упаковки	0,4 м
Коефіцієнт статичного тертя, μ_s	0,2
Вага упаковки 1 л, W_B	0,168 Н

Датчики будуть виявляти пляшки, коли вони прибудуть у потрібне положення, а актуатори для пляшок будуть відповідальні за те, щоб пляшки залишалися в передзаданому положенні під час кожного циклу процесу. Двигун конвеєрної стрічки повинен мати крутний момент більше 10 Нм, щоб переміщати пляшки без втрат у їхньому переміщенні щоразу, коли він активується. Результати для крутного моменту двигуна наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Результати для крутного моменту двигуна

Показники	Значення	
Крутний момент двигуна	$T_m = T_a + T_R$	3,69 Н·м
Інерція обраного двигуна	I_m	2,70 кг/см ³ = 0.0000027 кг/м ³
Крутний момент прискорення	$T_a = (I_p + I_E + I_e + I_w + I_m) \frac{\omega}{t_a}$	0,450 Н·м
Крутний момент двигуна з інерцією	$T_m = T_a + T_R$	3,69 Н·м
Потужність двигуна	$P_m = \frac{2\pi T_m n}{60}$	12,61 Вт

Механізм наповнення відповідає за наповнення пляшок. Коли транспортер буде увімкнений, оптичний датчик виявлятиме пляшки, що потрапляють у позицію для наповнення. Після виявлення першої пляшки буде випущено невеликий привід, який зупинить пляшки точно у потрібному місці. Стрічка не зупиниться доки всі пляшки не стануть на свої позиції, після чого конвеєр зупиниться [12, 22, 23]. Одразу буде активовано наповнювальний механізм, який матиме двигун, що підніматиме та опускатиме вихідні насадки для рідини у потрібний момент, тобто, коли порожні пляшки потрапляють, механізм опускається для початку заповнення, після завершення цього процесу він підіймається, привод відсувається назад, щоб дозволити пляшкам рухатися далі, а новим пляшкам потрапити на місце. Для виконання цієї задачі двигун повинен мати високий крутний момент, відносно невелику швидкість та точність при зупинці й запуску. За допомогою зміни напрямку обертання двигуна буде досягнуто підйому або опускання механізму, у який буде встановлено датчик присутності для точного визначення положення механізму та відповідного точного керування цим двигуном.

Оскільки бажано покращити поточний час дозування та забезпечити повторюваність і незалежність дозування кожного сопла, пропонується використовувати витратомір для кожної лінії дозування на машині, що дозволяє створити модульний дизайн із можливістю розширення. Таким чином, планується оптимізувати машину, яка здатна автоматично регулювати обсяг, що дозується для всіх сопел одночасно. Електромагнітний витратомір здатний задовольнити вимоги, бо цей тип витратомірів потребує дуже низького обслуговування, оскільки не має рухомих частин, що контактують з вимірюваною рідиною. Електромагнітні витратоміри вимірюють потік на

основі швидкості, з якою рідина проходить. Прилад має дві котушки, які створюють електромагнітне поле, перпендикулярне напрямку рідини, щоб під час її проходження вона створювала електричну напругу, захоплювану електродами. Ця напруга пропорційна швидкості та швидкості потоку рідини.

Вимірювання потоку є ключовим аспектом різних промислових процесів, що забезпечує точний контроль і управління рідинами. Серед різних типів витратомірів електромагнітні витратоміри вирізняються своєю точністю, надійністю та застосовністю в різних умовах. З моменту винайдення у 1950-х роках витратоміри стали галузевим стандартом для вимірювання швидкості потоку провідних рідин. Відсутність рухомих частин і широка сумісність з різними типами рідин роблять її переважним вибором у харчовій промисловості [8, 15-16]. Електромагнітні витратоміри вимірюють потік рідини за допомогою комбінації передавача та датчика. Датчик встановлюється всередині труби і виявляє індуковану напругу, що виникає під час проходження рідини через магнітне поле. Це магнітне поле створюється набором котушок у лічильнику, які живляться передавачем. Під час течії рідини через поле частинки з позитивним і негативним зарядом у рідині розділяються, створюючи напругу між парою електродів. Індукована напруга потім передається передавачу, який перетворює її у вимірювану швидкість потоку. Використовуючи цю швидкість і площу поперечного перерізу труби, можна точно розрахувати об'ємну швидкість потоку рідини. Переваги електромагнітних витратомірів [15, 16, 25, 26]:

- висока точність і точність, бо вони забезпечують високий рівень точності, часто близько $\pm 0,2\%$ до $\pm 0,5\%$ від показника, що може бути критично важливим у застосуваннях із точними вимірюваннями, наприклад у дозуванні напоїв при розливі;

- жодних рухомих частин: відсутність рухомих частин всередині проточної трубки мінімізує ризик механічного зносу, що призводить до зниження витрат на обслуговування та підвищеної довговічності. Конструкція також знижує ймовірність втрати тиску, роблячи їх надзвичайно ефективними;

- широкий спектр застосувань: магнітні вимірювачі універсальні і можуть використовуватися для різних типів провідних рідин, таких як осад, брудна вода, корозійні хімікати та в'язкі рідини. Ця широка застосовність робить їх ідеальними для таких галузей, як очищення стічних вод, гірничо-промисловість та переробка харчових продуктів і напоїв;

- можливість двонаправленого вимірювання – ці лічильники можуть вимірювати потік в обох напрямках, що є корисним у застосуваннях, де напрямок потоку може змінюватися або керуватися з кількох напрямків;

- нечутливість до властивостей рідини – електромагнітні витратоміри не залежать від змін густини рідини, в'язкості, температури чи тиску. Перевага забезпечує послідовні та надійні вимірювання навіть за різних умов процесу;

- легко підтримувати, бо вони без механічних компонентів і з мінімальними деталями, що контактують із рідиною, обслуговування дуже простий. Регулярне калібрування та очищення електродів зазвичай достатньо для підтримки роботи магнітних лічильників.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Наповнювачі витратомірів використовують витратомір для вимірювання витрати рідини під час наповнення ємності. Ця технологія ідеально підходить для наповнення рідин з низькою в'язкістю, таких як олія або сік, і може працювати з широким спектром розмірів і форм контейнерів. Існує два типи наповнювачів для витратомірів: електромагнітні витратоміри та вимірювачі маси Коріоліса [25, 26]. Електромагнітні витратометри застосовуються для провідних виробів, які не містять нафти, тоді як для непровідних продуктів і високоцінних продуктів, які потребують точної точності заповнення. Наповнювачі для витратомірів можна використовувати в різних галузях, але вони не ідеальні для рідин з високою в'язкістю. Унікальна особливість наповнювачів витратомірів полягає в тому, що вони можуть продовжувати навчатися для підвищення точності з часом. Заповнювачі тихоокеанських витратомірів гарантують точність $\pm 0,5\%$, але з адаптацією до кожного продукту машина може досягати ще вищої точності.

Дозування речовин здійснюється за допомогою дозаторів або пристроїв, які здатні вивільняти задану кількість продукту за одиницю часу. Дозатори можуть мати контрольні елементи, які дозволяють визначити, яку кількість продукту буде подано. Дозатор – це механізм, що є невід'ємною частиною виробничої лінії, а основна функція полягає в точному та автономному поділі продукту для розливу. Механізм подає певну кількість рідкого, твердого або газоподібного продукту точно та автоматично, щоб уникнути втрат, підвищити продуктивність і знизити витрати на виготовлення продукту [23-26]. Основні частини або елементи, що складають дозатор, залежать від продукту, який планується фасувати або упаковувати, і можуть змінюватися відповідно до нього. Загалом він може містити пневматичні циліндри, серводвигуни, електричні двигуни, електромагніти тощо. В нашому випадку буде застосовано поршневий дозатор, який складається з одного або декількох герметичних контейнерів, у яких знаходиться рідина і за допомогою одного або декількох поршнів продукт виштовхується з контейнера і подається до носика, який розташований всередині пляшки.

Системи дозування є необхідними у застосуваннях, де потрібне точне, контрольоване дозування рідин. Система дозування має бути розроблена для контролю потоку рідин таким чином, щоб надати точні та послідовні дози до первинного потоку. Системи допомагають покращити контроль якості, відповідати нормативним стандартам і зменшити матеріальні відходи. Хоча системи відрізняються залежно від застосування, вони зазвичай складаються з спільних основних компонентів, кожен з яких має унікальну функцію, що сприяє загальній продуктивності та надійності процесу дозування [22, 23]. Система дозування – це комбінація обладнання, призначеного для введення точної кількості речовини у технологічний потік. Основні компоненти типової дозувальної системи включають дозувальний насос, резервуар, систему керування та аксесуари, такі як клапани, труби та інжектори. Система працює за замкненим циклом, де датчики та контролери забезпечують стабільність і точність дозування хімічної речовини.

Для системи дозування було обрано вертикальний дозатор, тобто система

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

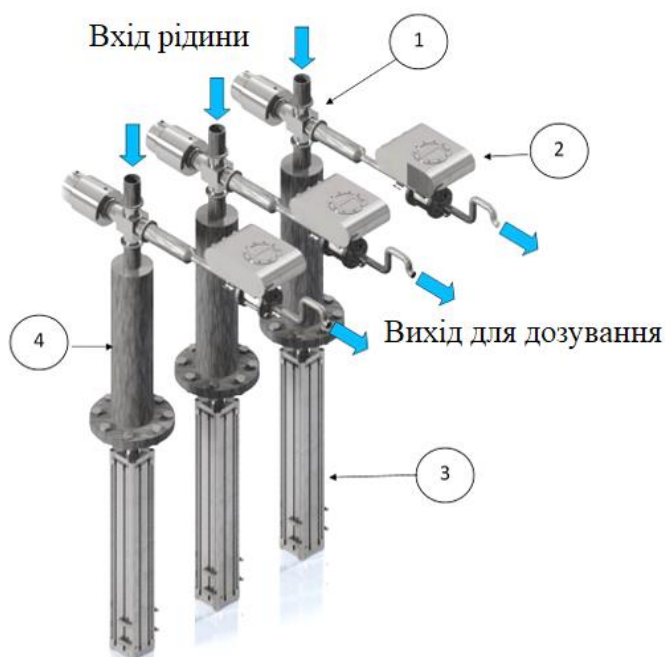
розташована вертикально. Таким чином вдається зменшити горизонтальні розміри машини для оптимізації використання простору. Для вибору дозуючого поршня необхідно розрахувати мінімальну силу, необхідну для досягнення розрахованого потоку. Сила була розрахована за принципом Бернуллі для в'язких рідин. Після визначення потрібної сили переходять до пошуку поршня, який був би здатний відповідати вимогам як по ходу, так і по силі.

Живильний бункер дозувальної машини розрахований на три цикли дозування машини. Для розрахунку були використані наступні параметри:

- одна система дозування здатна видавати 4 літри продукту;
 - дозатор складається з трьох систем дозування;
 - цикл дозування завершується, коли три гільзи циліндра вивільняються.
- З цих причин мінімальний обсяг, необхідний для бункера, становить:

$$V = 4 * 3 * 3 = 36L$$

Машина для розлину має завантажувальний бункер у верхній частині в який передбачається, що оператори будуть заливати рідкий продукт, який потім потрапляє в систему впрыскування для подальшого дозування через насадки (рис. 2.2). Система переміщення насадок дозволяє коригувати висоту насадок залежно від розміру використовуваних пляшок. Крім того, вона забезпечує проникнення насадок у пляшки завдяки переміщенню поршня. Обрано бункер з циліндричною основою та трапецієподібною верхньою частиною. Трапецієподібна форма дозволяє розподіляти гідростатичний тиск, що виникає у бункері, зменшуючи напруження у конструкції. Бункер витримує гідростатичний тиск, створюваний рідиною, що він містить. Завантажувальний бункер здатний витримувати тиск 3,29 кПа у випадку максимального тиску, коли він заповнений рідиною з найбільшою щільністю.



Дозуючий поршень дозволяє створювати необхідну силу для дозування 1 літра йогурта за 7 секунд. Разом з циліндовою гільзою вони забезпечують дію всмоктування та дозування в системі [22, 23]. Триходовий клапан дозволяє контролювати шлях рідини для всмоктування та подальшого дозування. Витратомір дозволяє вимірювати потік рідини, що використовується для розрахунку дозованого об'єму. Для з'єднання компонентів використовувалися труби.

Рисунок 2.2 – Система всмоктування та впрыскування рідини

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

На рисунку 2.2 позначено: 1 – трьохходові клапани, 2 – ротаметри, 3 – дозуючі поршні, 4 – циліндрові кожухи.

Дозатор рідин оснащений трьома системами всмоктування та впорскування. Кожна система складається з чотирьох основних елементів: триходового клапана, витратоміра, дозуючого поршня та циліндрової гільзи. Клапани – це важливі елементи, які дозволяють контролювати проходження потоку рідини. Клапани – це пристрої, які впливають на проходження, блокування та напрямок потоку повітря [24]. Клапани класифікують:

- клапани для керування потоком: вибирають, куди спрямовується потік;
- зворотні клапани: дозволяють циркуляцію повітря лише в одному напрямку, блокуючи його рух у зворотному напрямку;
- клапани регулювання тиску та витрати: регулюють і стабілізують тиск та витрату потоку.

Клапанна система регулює напрямок потоку продукту, перемикаючись між фазами впуску та дозування. Зазвичай він включає односторонні впускні та вихідні клапани, які автоматично відкриваються і закриваються синхронно з рухом поршня. Цей механізм забезпечує ефективне переміщення продукту від бункера до контейнера без зворотного потоку чи витоків. Надійність цих клапанів є ключовою для підтримки гігієни та запобігання перехресному забрудненню в багатопродуктових лінійках.

Пневматичні циліндри, незалежно від їх конструкції є найпоширенішими виконавчими пристроями, що використовуються в пневматичних системах. Існують два основні типи, від яких також походять спеціальні конструкції:

- циліндри односторонньої дії з подачею повітря для здійснення ходу в одному напрямку;
- циліндри подвійної дії з двома входами для повітря, щоб забезпечити робочі ходи вперед і назад.

Циліндри односторонньої дії виконує роботу лише в одному напрямку. Поршень повертається за допомогою внутрішньої пружини або іншого зовнішнього засобу, яким можуть бути вантажі, механічні рухи тощо. Він може бути типу «звичайно всередині» або «звичайно зовні». Циліндри односторонньої дії використовуються для утримання, маркування, виштовхування тощо. Вони споживають трохи менше повітря, ніж циліндр двосторонньої дії того ж розміру [18-20, 22]. Циліндри подвійної дії виконують як хід вперед, так і хід назад за рахунок дії стисненого повітря. Їхня назва пояснюється тим, що вони використовують обидві сторони поршня (повітря в обох камерах), тому ці компоненти можуть виконувати роботу в обох напрямках. Щоб поршень міг рухатися, необхідно, щоб повітря надходило в одну з камер і виходило в атмосферу через іншу.

Пневматична система зосереджена на приведенні в дію пневматичних виконавчих механізмів, серед яких є пневматичні циліндри, пневматичні клапани, що дозволяють виконувати певні операції за допомогою повітря при цьому повітря є основною робочою речовиною, яка складає пневматичну систему. Пневматична система дозволяє здійснювати автоматизування роботи.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Система розливу контейнерів є частиною харчової промисловості, де процеси автоматизуються за допомогою використання виконавчих механізмів, якими є пневматичні циліндри, відповідальні за виконання певних операцій у процесі роботи машини, а також використовуються пневматичні клапани для напрямку потоку повітря до пневматичних виконавчих механізмів.

Сопла – це пристрої, які безпосередньо контактують із контейнерами, дозволяють пропускати або перекривати робочу рідину і забезпечують отримання певних параметрів наповнення. Запропоновано механізм для підняття та опускання насадок за допомогою пневматичного циліндра. Обрано пневматичний поршень, здатний створювати необхідну силу для підняття системи сопел. Поршень DNC 50-300 встановлено у вертикальному положенні, що дозволяє вводити три сопла у ємності для наповнення, дозувати та виходити знову завдяки ходу 300 міліметрів. Технічні характеристики пневматичного циліндра наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики пневматичного циліндра

Параметр	Значення
Діаметр поршня	32 мм
Діаметр стрижня	12 мм
Режим роботи	Подвійний ефект
Пневматична підвіска	Регульований з обох боків
Довжина демпфування	4 мм
Виявлення позицій	Датчик наближення
Пневматичне з'єднання	G1/8
Шток з зовнішньою різьбою	M10x1.25
Температура навколишнього середовища	-20 до 80 °C
Клас стійкості до корозії	2
Теоретична сила при подачі	483 Н
Теоретична сила при віддачі	415 Н

Робота пневматичного циліндра базується на простих принципах фізики, зокрема на тиску та силі. Коли стиснене повітря потрапляє в циліндр, воно діє на поршень, створюючи силу, яка змушує поршень рухатися. Сила залежить від тиску повітря та площі поверхні поршня. Рух поршня всередині циліндра перетворює енергію тиску повітря на механічний рух. Цей рух зазвичай лінійний, що робить пневматичні циліндри ідеальними для таких завдань, як підйом, штовхання та затискання. Тиск повітря ретельно контролюється, щоб переконатися, що циліндр рухається з правильною силою та швидкістю, що є критично важливим для застосувань, що потребують точності [18-21]. На відміну від гідравлічних систем пневматичні системи піддаються незначним коливанням тиску через стиснення повітря. Це робить пневматичні системи більш вразливими до змін продуктивності залежно від температури, вологості та якості повітря. Однак ця властивість також дозволяє пневматичним циліндрам працювати швидко та з високою ефективністю в багатьох

застосуваннях.

Пневматичний циліндр перетворює енергію стисненого повітря у зворотний лінійний рух. Вони прості у використанні і є економічно вигідним рішенням для лінійного переміщення вантажів, що робить їх широко застосованими в промислових застосуваннях, де потрібна автоматизація. Проте для проєктування системи було необхідно проаналізувати, яким чином можна відрегулювати мінімальну висоту насадок, дозволяючи використовувати пляшки різного розміру. Був обраний дизайн з двома гвинтовими валами, які підтримують компоненти та можуть обертатися синхронно за допомогою системи передачі потужності, що дозволяє регулювати кінцеву висоту сопел.

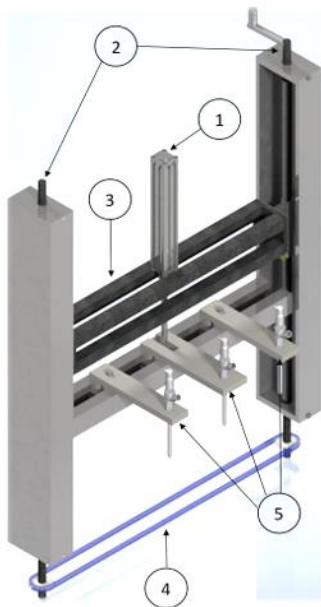
Пневматичний циліндр покладається на кілька ключових компонентів для ефективної та результативної роботи. Основні компоненти включають ствол циліндра, поршень, ущільнення та кінцеві кришки. Циліндровий ствол слугує корпусом для поршня, який рухається лінійно, коли повітря входить у систему. Поршень кріпиться до стрижня, який розширюється і втягується залежно від тиску повітря. Ущільнення всередині циліндра відіграють важливу роль у запобіганні витоку повітря, забезпечуючи підтримку тиску всередині циліндра для створення необхідної сили. Ущільнювачі зазвичай виготовляють із високоякісних матеріалів, таких як гума або еластомери, щоб витримувати високий тиск всередині циліндра [18-21]. Без належного герметизації ефективність системи була б понижена, і повітря виходило б назовні, що знижувало продуктивність циліндра. Кінцеві кришки розташовані на обох кінцях циліндра. Ці конденсатори містять впускні та випускні отвори, які контролюють вхід і вихід повітря. Порти з'єднані з клапанами керування циліндра, які регулюють подачу повітря та тиск. Правильна конструкція цих компонентів забезпечує ефективну роботу циліндра, дозволяючи йому виконувати призначені завдання точно та контрольовано. Разом ці компоненти утворюють цілісну систему, яка дозволяє пневматичним циліндрам працювати плавно та надійно у широкому спектрі застосувань.

У пневматичній системі поняття тиску є ключовим для розуміння функціонування пневматичних циліндрів. Стиснене повітря, що зберігається в резервуарі або компресорі, направляється в циліндр через керуючі клапани. Тиск всередині циліндра створює силу, яка штовхає поршень у певному напрямку, змушуючи прикріплений стрижень рухатися. Рух поршня всередині циліндрового ствола призводить до лінійного руху, який використовується у багатьох механічних завданнях – від підйому предметів до керування рухом механізмів [18-21]. Коли повітря потрапляє в циліндр, воно штовхає поршень в одному напрямку. Досягнувши потрібного положення, повітря випускається, і поршень втягується або пружинною силою, або тиском вхідного повітря. Різниця тиску між двома сторонами поршня визначає силу, яку чинить циліндр. Чим вищий тиск, тим більше сили можна створити. Процес забезпечує великий рівень контролю над рухом і є ключовою особливістю пневматичних систем. У деяких системах регуляція тиску необхідна, щоб забезпечити роботу циліндра в межах заданого діапазону. Якщо тиск занадто високий, циліндр може зазнати зносу, а недостатній тиск може призвести до низької продуктивності. Тому

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

важливо підтримувати правильний рівень тиску в системі для забезпечення плавної та ефективної роботи. Тиск є рушійною силою руху циліндра, що робить його центральним елементом у принципі роботи пневматичних циліндрів.

Основним компонентом пневматичної поршневої машини є поршковий циліндр. Машина працює за допомогою тиску повітря, який приводить поршень у рух, створюючи вакуумоподібний ефект, зтягуючи продукт у циліндр. Після того, як поршень втягується у початкове положення, точний об'єм продукту фіксується в циліндрі. Поршень потім виштовхує продукт, наповнюючи контейнер точною кількістю. Процес є суворо контрольованим і повторюваним, забезпечуючи стабільний рівень заповнення в кожному циклі. Пневматична або механічна система приводить у рух поршень, що дозволяє точно контролювати об'єм заповнення. Коли поршень втягується то він створює вакуум, втягуючи продукт у циліндр, а коли поршень рухається вперед, він витісняє продукт, виштовхуючи його з циліндра в контейнер, що чекає (рис. 2.3).



Механізм для підняття та опускання насадок за допомогою пневматичного циліндра наведено на рисунку 2.3. Системи наповнення рідин складається з трьох пневматичних виконавчих механізмів: триходового кутового клапана, дозуючого поршня та сопла протикапельного типу. Дозуючий поршень оснащено двома кінцевими датчиками ходу: один для фіксації повного всмоктування 4 літрів, інший – для імітації завершеного стану дозування. Система насадок безпосередньо контактують із контейнерами, дозволяють пропускати або перекривати робочу рідину і забезпечують отримання певних параметрів наповнення.

Рисунок 2.3 – Система вертикального переміщення сопел

На рисунку 2.3 позначено: 1 – пневматичний поршень, 2 – різьбові вали, 3 – несуча балка, 4 – система ланцюг-шестерня, 5 – сопла.

Для вибору поршня переміщення насадок необхідно розрахувати силу тяжіння, яку відчуває шток поршня.

$$F = m * g$$

$$F = 60 \text{ kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F = 588.6 \text{ N}$$

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Для вибору дозуючого поршня враховувалася найбільша розрахована необхідна сила. Було проаналізовано кілька критеріїв при виборі, таких як, наприклад: хід поршня, необхідний для створення об'єму 4 л у циліндровій гільзі, та запас міцності 100% відносно розрахованої необхідної сили. Вимоги до дозуючого поршня, які відповідають зазначеним критеріям, такі: хід 500 мм, сила 2500 Н. Обрано поршень діаметром 80 мм, який забезпечує силу 3000 Н та відповідає всім необхідним вимогам для системи дозування.

Система контролю складається з набору компонентів, які можуть впливати на власну роботу або на роботу інших компонентів, що не входять до системи контролю з метою досягнення передбаченої роботи, щоб зменшити ймовірність відмов і отримати очікувані результати. Система керування дозволяє керувати широким спектром обладнання або пристроїв з великою точністю, так що втручання оператора не потрібне. Мета системи управління полягає в досягненні контролю над вихідними змінними шляхом маніпулювання вхідними змінними, які надаються деякими компонентами системи управління, так, щоб ці змінні досягли заданих значень.

Існує кілька елементів, які потрібно контролювати для кожної лінії дозування: дозуючий поршень, вихідний клапан, речовини для дозування та триходовий клапан, який розташований між бункером, системою всмоктування та шляхом виходу дозованої рідини. Крім того, поршень системи вертикального руху сопел, який одночасно переміщує сопла всіх ліній. Усі ці елементи контролюються за допомогою контролера, який отримуватиме на вхід цифровий сигнал для запуску циклу дозування та сигнал від деяких кінцевих вимикачів, розташованих у різних циліндрах [22, 23, 28]. До контролера підключається модуль аналогових входів для отримання сигналу струму від витратомірів, розташованих на лініях дозування. Витратоміри працюють із передавачами або перетворювачами електромагнітного потоку, які видають струмовий сигнал від 0 до 20 мА. Таким чином, отримується електричний сигнал, необхідний контролеру для здійснення керування. За отриманими сигналами та даними передаються відповідні вихідні сигнали для приведення в дію пневматичних елементів.

Система керування складається з підсистем та процесів (або об'єктів) об'єднаних з метою контролю виходу цих процесів. За допомогою системи керування можна переміщувати великі механізми з точністю, яка інакше була б неможлива. Система управління повинна бути здатна досягати своєї мети, виконуючи наступні вимоги [13, 14]:

- гарантувати стабільність системи і, зокрема, зміцнювати її проти збурень та помилок у моделях;
- бути максимально ефективною відповідно до заздалегідь встановленого критерію;
- зазвичай цей критерій полягає в тому, щоб дія управління над вхідними змінними була здійсненна, уникаючи різких та нереалістичних поведінкових реакцій.

На основі вище зазначеного можна вважати, що поршневі наповнювачі (дозатори) – це машини, які полегшують наповнення контейнерів

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

контрольованими кількостями, видаючи рідкі або в'язкі продукти у певних дозах за один цикл. У цих системах калібрування об'єму здійснюється за допомогою поршня, який змінює положення кінцевого датчика ходового механізму. Таким чином визначається хід штока пневматичного циліндра, що відповідає за проштовхування рідини, встановлюючи об'єм, який потрібно видавати в кожен тару на виробничій лінії. Тобто об'єм налаштовується шляхом зміни довжини ходу поршня, а скорочення ходу поршня призведе до меншого видавання продукту.

Тому необхідно оптимізувати дозуючий апарат із системою автоматичного калібрування, щоб скоротити час налаштування машин під час зміни обсягу розливу на виробничій лінії. Основними змінними є обсяг на дозування та витрата за допомогою якої можна контролювати обсяг для забезпечення більш простого налаштування, що дозволяє швидко змінювати обсяг наповнення та забезпечує більш точне дозування, надаючи гнучкість виробничій лінії. Дозувальна машина для рідин – це пристрій, призначений для наповнення рідкими продуктами різної густини з метою точного розподілу об'ємів у різні типи упаковки. Пневматичні дозатори рідин використовують системи з клапанами, які активуються стисненим повітрям для виконання точної функції дозування. Цей тип дозаторів потребує поршнів і циліндрів, щоб імітувати шприц, який всмоктує рідину для дозування, а потім розподіляє її по контейнерах.

Механізм наповнення відповідає за наповнення пляшок. Коли транспортер буде увімкнений, оптичний датчик виявлятиме пляшки, що потрапляють у позицію для наповнення. Після виявлення першої пляшки буде випущено невеликий привід, який зупинить пляшки точно у потрібному місці. Стрічка не зупиниться доки всі пляшки не стануть на свої позиції, після чого конвеєр зупиниться. Одразу буде активовано наповнювальний механізм, який матиме двигун, що підніматиме та опускатиме вихідні насадки для рідини у потрібний момент, тобто, коли порожні пляшки потрапляють, механізм опускається для початку заповнення, після завершення цього процесу він підіймається, привод відсувається назад, щоб дозволити пляшкам рухатися далі, а новим пляшкам потрапити на місце. Для виконання цієї задачі двигун повинен мати високий крутний момент, відносно невелику швидкість та точність при зупинці й запуску. За допомогою зміни напрямку обертання двигуна буде досягнуто підйому або опускання механізму в який буде встановлено датчик присутності для точного визначення положення механізму та відповідного точного керування цим двигуном.

Для системи вприскування було обрано вертикальний дозатор, тобто система розташована вертикально. Таким чином вдається зменшити горизонтальні розміри машини для оптимізації використання простору. Для вибору дозуючого поршня необхідно розрахувати мінімальну силу, необхідну для досягнення розрахованого потоку. Дозатор рідин оснащений трьома системами всмоктування та впорскування. Кожна система складається з чотирьох основних елементів: триходового клапана, витратоміра, дозуючого поршня та циліндрової гільзи. Дозуючий поршень дозволяє створювати

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

необхідну силу для дозування 1 літра йогурта за 7 секунд. Разом з циліндровою гільзою вони забезпечують дію всмоктування та дозування в системі. Триходовий клапан дозволяє контролювати шлях рідини для всмоктування та подальшого дозування. Витратомір дозволяє вимірювати потік рідини, що використовується для розрахунку дозованого об'єму. Для з'єднання компонентів використовувалися труби.

Система насадок безпосередньо контактують із контейнерами, дозволяють пропускати або перекривати робочу рідину і забезпечують отримання певних параметрів наповнення. Запропоновано механізм для підняття та опускання насадок за допомогою пневматичного циліндра. Обрано пневматичний поршень, здатний створювати необхідну силу для підняття системи сопел. Системи наповнення рідин складається з трьох пневматичних виконавчих механізмів: триходового клапана, дозуючого поршня та сопла протикапельного типу.

Система контролю складається з набору компонентів, які можуть впливати на власну роботу або на роботу інших компонентів, що не входять до системи контролю з метою досягнення передбаченої роботи, щоб зменшити ймовірність відмов і отримати очікувані результати. Система керування дозволяє керувати широким спектром обладнання або пристроїв з великою точністю, так що втручання оператора не потрібне. Мета системи управління полягає в досягненні контролю над вихідними змінними шляхом маніпулювання вхідними змінними, які надаються деякими компонентами системи управління, так, щоб ці змінні досягли заданих значень.

Існує кілька елементів, які потрібно контролювати для кожної лінії дозування: дозуючий поршень, вихідний клапан, речовини для дозування та триходовий клапан, який розташований між бункером, системою всмоктування та шляхом виходу дозованої рідини. Крім того, поршень системи вертикального руху сопел, який одночасно переміщує сопла всіх ліній. Усі ці елементи контролюються за допомогою контролера, який отримуватиме на вхід цифровий сигнал для запуску циклу дозування та сигнал від деяких кінцевих вимикачів, розташованих у різних циліндрах. До контролера підключається модуль аналогових входів для отримання сигналу струму від витратомірів, розташованих на лініях дозування. Таким чином, отримується електричний сигнал, необхідний контролеру для здійснення керування.

Представлений дозатор рідин оптимізовано з метою створення модульної системи з трьома соплами, яка дозволяє змінювати об'єм дозування використовуючи витратоміри для розрахунку об'єму задля зменшення часу підготовки машини через налаштування об'єму по лініях та уникнути зупинок через некалібрований об'єм. Автоматизація процесу налаштування об'єму виступає як відмінна риса представленої моделі, адже, на відміну від моделей дозаторів рідин, які можна знайти на національному ринку, ця машина не потребує калібрування рядок за рядом, дозволяючи одночасно налаштовувати цей параметр за допомогою екрана. Використання витратомірів на кожній дозувальній лінії забезпечує точність $\pm 5\%$ при дозуванні об'ємів від 0,5 до 4 л, хоча спочатку мають кращу точність $\pm 1\%$ з часом ця точність погіршується.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Система дозування на основі засобів автоматизації

Системи рідинного дозування – це складне обладнання, призначене для точного вимірювання та дозування певних об’ємів рідин у різних промислових процесах. Системи відіграють ключову роль у забезпеченні стабільності, якості та ефективності в операціях від очищення води до розливу різної сировини. По суті, системи дозування складаються з кількох ключових компонентів, які працюють як єдиний злагоджений механізм. Зазвичай вони включають резервуари для зберігання, дозувальні насоси, витратоміри, системи керування, а іноді спеціалізовані датчики для моніторингу параметрів, таких як рН або провідність. Точні налаштування можуть змінюватися залежно від застосування та конкретних вимог.

Робота системи дозування рідини базується на точному контролі та вимірюванні. Система забирає необхідну рідину з резервуара за допомогою дозувального насоса, який призначений для подачі точних об’ємів рідини на контрольованих швидкостях. Витратометри та датчики постійно контролюють процес і надсилають дані до системи керування [27]. Зворотний зв’язок дозволяє коригувати в реальному часі, забезпечуючи точність дозування навіть за змін умов. Складність сучасних систем дозування рідини виходить за межі простої механічної експлуатації. Багато систем тепер мають передові функції, такі як інтерфейси сенсорного екрану, автоматичне калібрування та інтеграція з ширшими промисловими системами керування. Такий рівень автоматизації та контролю дозволяє ефективніше працювати, зменшувати людські помилки та підвищувати безпеку при поводженні з потенційно небезпечними речовинами.

Вибір правильної системи дозування рідини – це критично важливе завдання, яке може суттєво вплинути на ефективність та надійність всього процесу. Розуміння ключових факторів, які слід враховувати, допоможе прийняти обґрунтоване рішення, яке відповідає конкретним потребам і цілям. Найголовніше – це точність, яка має першочергове значення у системах дозування рідин. Рівень точності залежить від конкретного застосування, бо здатність системи підтримувати точність з часом і за різних умов може впливати на послідовність процесів [27]. Ще одним важливим фактором є пропускна здатність і швидкість потоку системи. Система дозування здатна впоратися з об’ємами та швидкістю потоку, необхідними для застосування, що включає врахування максимальних і мінімальних витрат, а також здатності системи регулювати швидкість дозування за потреби.

Запропонована конструкція розливної системи для наповнення пляшок

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ									
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Удосконалення обладнання для розливу рідких продуктів в пляшки на основі засобів автоматизації				Лім.	Арк.	Аркуші			
Розроб.		Кульчинський											42	2
Перевір.		Цвіркун												
Н. Контр.		Омельченко												
Затверд.		Цвіркун			ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО									

наведено на рисунку 3.1. Основними компоненти системи є вхід рідини, використані виконавчі механізми та кінцеві датчики ходу. Пропонується систему наповнення розділити на дві підсистеми: вприскування та дозування. Система вприскування відповідає за збір рідини, яка подається в бункер, а потім її викид через насадки. Система дозування забезпечує переміщення та введення насадок у пляшки для безпечного та чистого дозування.

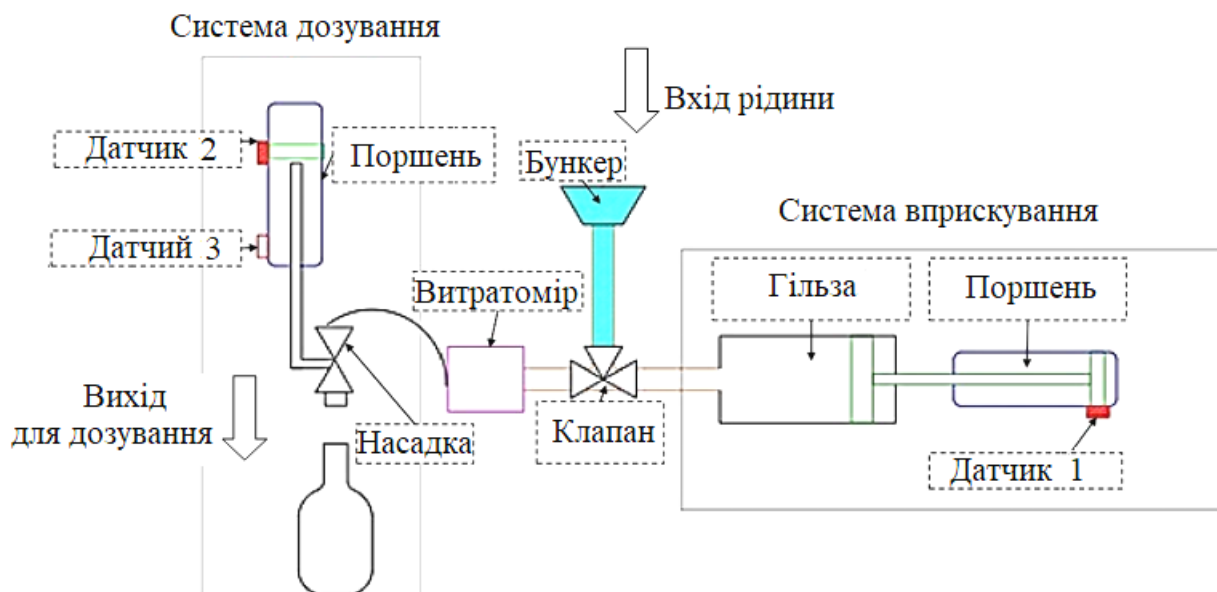


Рисунок.3.1 – Схема системи дозування

Машина для розливу має завантажувальний бункер у верхній частині в який передбачається, що оператори будуть заливати рідкий продукт. Система переміщення насадок дозволяє коригувати висоту насадок залежно від розміру використовуваних пляшок. Вона забезпечує проникнення насадок у пляшки завдяки переміщенню поршня. Обрано бункер з циліндричною основою та трапецієподібною верхньою частиною. Трапецієподібна форма дозволяє розподіляти гідростатичний тиск, що виникає у бункері, зменшуючи напруження у конструкції.

Система вприскування. Дозуючий поршень дозволяє створювати необхідну силу для дозування 1 літра йогурту за 7 секунд. Разом з циліндровою гільзою вони забезпечують дію всмоктування та вприскування в системі. Триходовий клапан дозволяє контролювати шлях рідини для всмоктування та подальшого дозування. Витратомір дозволяє вимірювати потік рідини, що використовується для розрахунку дозованого об'єму.

Система дозування. Запропоновано механізм для підняття та опускання насадок за допомогою пневматичного циліндра. Обрано пневматичний поршень, здатний створювати необхідну силу для підняття системи сопел. Поршень DNC 50-300 встановлено у вертикальному положенні, що дозволяє вводити три сопла у ємності для наповнення. Система насадок безпосередньо контактують із контейнерами, дозволяють пропускати або перекривати робочу рідину і забезпечують отримання певних параметрів наповнення. Система дозування рідин складається з трьох пневматичних виконавчих механізмів: триходового клапана, дозуючого поршня та насадки протикапельного типу.

ВИСНОВКИ

Бакалаврська робота присвячена удосконаленню обладнання для розливу рідких продуктів в пляшки на основі засобів автоматизації. У роботі зазначено, що процес наповнення – це дуже систематична та точна операція, яка передбачає передачу рідин або напіврідин у контейнери для пакування та розподілу. Основною метою наповнення пляшками є забезпечення стабільного рівня наповнення, мінімізація відходів сировини та підтримка якості і безпеки вмісту. Процес є критично важливим у харчовій промисловості, де точність, ефективність і цілісність продукції мають вирішальне значення.

У першому розділі здійснено аналіз обладнання для розливу. Зазначено, що залежно від типу продукту застосовуються різні методи наповнення, такі як гравітаційне наповнення для газованих рідин, наповнення під тиском для газованих напоїв і вакуумне наповнення для в'язких речовин. Гравітаційний наповнювач – це тип машини для наповнення рідини, яка використовує силу тяжіння для переміщення рідини з резервуара в окремі ємності. Гравітаційне наповнення підходить для рідин з низькою в'язкістю, таких як вода та сік і залежить від сили тяжіння для точності.

Метод ізобарного наповнення – це техніка, що використовується в системах наповнення газованих напоїв при якій підтримується постійний тиск між напоєм і ємністю, запобігаючи втраті CO₂ і зменшуючи піну або наповнення пляшки з протитиском. Ізобарне наповнення, також відоме як наповнення пляшками під контртіском – це спеціалізована техніка, що використовується в індустрії напоїв для розливу газованих напоїв без втрати їхнього шипіння. Поршневий наповнювач – це обладнання, яке використовує механізм поршня та циліндра для точного заповнення певного об'єму. Він підходить для застосувань, які потребують точного наповнення в'язких рідин або продуктів, що містять частинки. Вакуумне наповнення – це процес, який використовує вакуум для затягування рідин або газів у контейнери. Вакуум створює середовище низького тиску, що дозволяє рідині або газу швидко та рівномірно втягуватися в контейнер.

Аналіз наукових джерел дав змогу констатувати, що сучасні машини розливу оснащені датчиками та автоматизованим керуванням для забезпечення точного вимірювання об'єму, зменшуючи відходи та підтримуючи стабільність сировини. Існує чотири поширені методи вимірювання кількості рідини, які відрізняються точністю, швидкістю та гігієною: гравіметричне вимірювання за допомогою тензодатчика, вимірювання за допомогою датчика рівня, вимірювання об'єму, вимірювання масової витрати.

Другий розділ присвячено оптимізації дозувального апарату із системою автоматичного калібрування для скорочення часу налаштування машини під час зміни обсягу розливу на виробничій лінії. Основними змінними

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>	<i>Кульчинський</i>				Удосконалення обладнання для розливу рідких продуктів в пляшки на основі засобів автоматизації	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Цвіркун</i>						<i>Аркушів</i>
<i>Н. Контр.</i>	<i>Омельченко</i>						44
<i>Затверд.</i>	<i>Цвіркун</i>						2
					ННІЕТ КНУ Кафедра ЗІДО		

є обсяг на дозування та витрата, за допомогою якої можна контролювати обсяг для забезпечення більш простого налаштування, що дозволяє швидко змінювати обсяг наповнення та забезпечує більш точне дозування, надаючи гнучкість виробничій лінії.

Для системи вприскування було обрано вертикальний дозатор, тобто система розташована вертикально. Таким чином вдається зменшити горизонтальні розміри машини для оптимізації використання простору. Дозатор рідин оснащений трьома системами всмоктування та впорскування. Кожна система складається з чотирьох основних елементів: триходового клапана, витратоміра, дозуючого поршня та циліндрової гільзи. Дозуючий поршень дозволяє створювати необхідну силу для дозування 1 літра йогурта за 7 секунд. Разом з циліндровою гільзою вони забезпечують дію всмоктування та дозування в системі. Триходовий клапан дозволяє контролювати шлях рідини для всмоктування та подальшого дозування. Витратомір дозволяє вимірювати потік рідини, що використовується для розрахунку дозованого об'єму.

Система насадок безпосередньо контактують із контейнерами, дозволяють пропускати або перекривати робочу рідину і забезпечують отримання певних параметрів наповнення. Запропоновано механізм для підняття та опускання насадок за допомогою пневматичного циліндра. Обрано пневматичний поршень, здатний створювати необхідну силу для підняття системи сопел. Системи наповнення рідин складається з трьох пневматичних виконавчих механізмів: триходового клапана, дозуючого поршня та сопла протикапельного типу.

Система контролю складається з набору компонентів, які можуть впливати на власну роботу або на роботу інших компонентів, що не входять до системи контролю з метою досягнення передбаченої роботи. Існує кілька елементів, які потрібно контролювати для кожної лінії дозування: дозуючий поршень, вихідний клапан, речовини для дозування та триходовий клапан, який розташований між бункером, системою всмоктування та шляхом виходу дозованої рідини. Крім того, поршень системи вертикального руху сопел, який одночасно переміщує сопла всіх ліній. Усі ці елементи контролюються за допомогою контролера, який отримуватиме на вхід цифровий сигнал для запуску циклу дозування та сигнал від деяких кінцевих вимикачів, розташованих у різних циліндрах.

Представлений дозатор рідин оптимізовано з метою створення модульної системи з трьома соплами, яка дозволяє змінювати об'єм дозування використовуючи витратоміри для розрахунку об'єму задля зменшення часу підготовки машини через налаштування об'єму по лініях та уникнути зупинок через некалібрований об'єм.

У третьому розділі запропоновано систему для наповнення пляшок. Основними компоненти системи є вхід рідини, використані виконавчі механізми та кінцеві датчики ходу. Пропонується систему наповнення розділити на дві підсистеми: вприскування та дозування. Система вприскування відповідає за збір рідини, яка подається в бункер, а потім її викид через насадки. Система дозування забезпечує переміщення та введення насадок у пляшки для безпечного та чистого дозування.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Найпоширеніші методи розливу рідин. Режим доступу: <https://qualipakmachines.com/uk/4-most-common-liquid-filling-methods-of-filling-machines/>.
2. Техніка наповнення рідиною. Режим доступу: <https://www.ghfilling.com/uk/blog/liquid-filling-techniques-a-deep-dive-into-the-process>.
3. Tecnología de pesaje aplicada al llenado automático con líquidos. URL: <https://www.hbm.com/es/6992/tecnologia-de-pesaje-para-automatizar-procesos-de-llenado/>.
4. Gravity filling machine principles: how does a gravity filler work? URL: <https://odenmachinery.com/blog/gravity-filling-machine-principles/>.
5. Isobaric filling or counter pressure bottle filling: what is it and how does it work? URL: <https://il-tec.com/en/isobaric-filling-or-counter-pressure-bottle-filling-what-is-it-and-how-does-it-work/>.
6. Ладанюк А.П. Автоматизація технологічних процесів та виробництв харчової промисловості / Ладанюк А.П., Трегуб В.Г., Ельперін І.В., Цюцюра В.Д. К.: Аграрна освіта. 2001. 224 с.
7. Трегуб В.Г. Проектування систем автоматизації / В.Г. Трегуб. К. Видавництво: Ліра-К, 2015.
8. Модернізація машини для розливу і закупорювання рідини в ємності. Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/items/5046aa69-5a1a-462c-9785-b1d1ad876aae>.
9. What is a piston filler? URL: <https://odenmachinery.com/blog/what-is-a-piston-filler/>.
10. What is a vacuum filling machine? URL: <https://capsulefiller.com/vacuum-filling-machines/>.
11. Guía de máquinas llenadoras de líquidos: tipos, aplicaciones y los 10 principales fabricantes. URL: <https://yundufillingmachine.com/es/liquid-filling-machine-guide-top-10-manufacturers>.
12. Принцип роботи машини для розливу рідин. Режим доступу: <https://www.alps-machine.com/uk/news/liquid-filling-machine-working-principle.html>.
13. Автоматизована система керування технологічним процесом дозування лікеру для приготування живильного середовища цеху червоних вин. Режим доступу: <https://aqteck.ua/ua/projects/ask-tp-dozuvannja-likeru>.
14. Система адаптивного керування дозуванням розчинів у фармацевтичному виробництві. Режим доступу: https://uacademic.info/ua/document/0825U001690#google_vignette.
15. Qué es el caudalímetro electromagnético y cómo funciona. URL: <https://metlaninst.com/es/caudalimetro-electromagnetico-y-principios-de-funcionamiento/>.
16. A guide to liquid filling technologies: exploring weight, gravity, flow meter, volumetric, and piston fillers. URL: <https://www.fillinginsider.com/a-guide-to-liquid-filling-technologies-exploring-weight-gravity-flow-meter-volumetric-and>

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

piston-fillers.

17. Construcción de máquina llenadora y tapadora lineal para botellas pet de 500cc semiautomática. URL: <https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/4603/2/04%20MEC%20082%20Articulo%20Periodistico.pdf>.

18. Дозатор об'ємно поршневий. Режим доступу: <https://stanco.com.ua/ua/volumetric-piston-pump>.

19. Конструкція пневматичного циліндра – пневмоциліндри односторонньої та двосторонньої дії. Режим доступу: <https://spc.com.ua/blogs/pneumatic-cylinders/the-construction-of-a-one-way-and-two-way-pneumatic-cylinder>.

20. Пневматичні циліндри: принцип роботи та застосування. Режим доступу: <https://mybud.com.ua/news/0/4949>.

21. What is the working principle of pneumatic cylinder? URL: <https://www.indmallautomation.com/faq/what-is-the-working-principle-of-pneumatic-cylinder/>.

22. Diseño de una dosificadora de líquidos automática con caudalímetros para el cálculo de volumen de envasado, controlado por un PLC y HMI. URL: <https://dSPACE.espol.edu.ec/handle/123456789/56141>.

23. Propuesta de diseño de una máquina llenadora de envases pet. URL: file:///C:/Users/admin/Downloads/propuesta_de_dise%c3%91o_de_una_m%c3%81quina_llenadora_de_envases_pet%20.pdf.

24. Клапани – типи, види та вибір. Режим доступу: <https://ukrayinska.libretexts.org>.

25. Витратоміри рідин. Різні варіанти приладів. Режим доступу: <https://gtest.com.ua/uk/Elektromahnitni-vytratomiry-proty-vykhrovykh-vytratomiriv.html>.

26. Витратоміри: функції, види, особливості. Режим доступу: <https://ibud.ua/ua/post/raskhodomery-funksii-vidy-osobennosti-11829.4>

27. Qué son los sistemas de dosificación de líquidos y cómo funcionan? URL: <https://porvoo.com.cn/es/blog/sistemas-de-dosificacion-de-liquidos-2025-guia-completa/>.

28. Construcción de máquina llenadora y tapadora lineal para botellas pet de 500cc semiautomática. URL: <https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/4603/2/04%20MEC%20082%20Articulo%20Periodistico.pdf>.

					ННІЕТ КНУ.133.ГМБ-22.2026.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47