

**Міністерство освіти і науки України**  
**Луцький національний технічний університет**

(повне найменування вищого навчального закладу)

**Факультет транспорту та механічної інженерії**

(повне найменування факультету)

**Кафедра прикладної механіки та мехатроніки**

(повна найменування кафедри)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «МАГІСТР»**

**Розробка технологічного комплексу для пакування**  
**рідин в ПЕТ-пляшки**

спеціальність 131 Прикладна механіка  
(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Прикладна механіка»  
(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти  
групи ІМм-21  
**Торчило Андрій Олегович**

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник:  
к.т.н., доцент  
**Залета Ольга Михайлівна**

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Кваліфікаційну роботу  
допущено до захисту  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.  
к.т.н., доцент  
Гарант освітньої програми:  
**Четвержук Тарас Іванович**

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Луцьк – 2025 року

Луцький національний технічний університет

Факультет транспорту та механічної інженерії  
Кафедра прикладної механіки та мехатроніки  
Другий (магістерський) рівень  
освітньо-професійної програми «Прикладна механіка»  
Галузь знань: 13 Механічна інженерія  
Спеціальність 131 Прикладна механіка

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ Р. РЕДЬКО  
“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

ГОРЧИЛО Андрія Олеговича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Розробка технологічного комплексу для пакування рідин в ПЕТ-пляшки», керівник кваліфікаційної роботи магістра Залета Ольга Михайлівна к.т.н., доц. каф. ПМ та М затверджені наказом вищого навчального закладу від «14» червня 2025 р., № 391/01-07

2. Строк подання студентом роботи 01.12.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: звіт з переддипломної практики, літературні джерела в предметній області дослідження, інтернет-ресурси технічного спрямування.

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

Вступ. 1 Технологічна частина. 2. Конструкторська частина. 3. Експлуатаційна частина 4. Наукова частина. 5. Розробка стартап-проекта. Висновки. Список використаної літератури. Додатки

5. Перелік графічного матеріалу:

Загальний вигляд технологічного комплексу – 2 листа (ф. А1), загальний вигляд пакувального автомата – 1 лист (ф. А1), загальний вигляд операційного блока пакувального автомата – 1 лист (ф. А1), кінематична схема пакувального автомата – 1 лист (ф. А1)

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання « 01 » 09 2025 р.

Керівник кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_ О. ЗАЛЕТА  
(підпис) (прізвище, ініціали)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ А. ТОРЧИЛО  
(підпис) (прізвище, ініціали)

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи магістра	Термін виконання етапів виконання кваліфікаційної роботи магістра	Примітка
1.	<i>Технологічна частина</i>	<i>20.09.2025 р.</i>	
2.	<i>Конструкторська частина</i>	<i>04.10.2025 р.</i>	
3.	<i>Експлуатаційна частина</i>	<i>18.10.2025 р.</i>	
4.	<i>Наукова частина</i>	<i>15.11.2025 р.</i>	
5.	<i>Розробка стартап-проекта</i>	<i>22.11.2025 р.</i>	
6.	<i>Представлення роботи</i>	<i>01.12.2025 р.</i>	
7.	<i>Електронний варіант кваліфікаційної роботи магістра</i>		

Здобувач вищої освіти \_\_\_\_\_ А. ТОРЧИЛО  
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_ О. ЗАЛЕТА  
(підпис) (прізвище, ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Торчило А. О. Розробка технологічного комплексу для пакування рідин в ПЕТ-пляшки. – Рукопис.

Кваліфікаційна робота за рівнем вищої освіти «магістр» спеціальності 131 Прикладна механіка освітньої програми «Прикладна механіка». – Луцький національний технічний університет. – Луцьк, 2025.

Робота присвячена створенню технологічного комплексу для пакування рідин в ПЕТ-пляшки. У роботі здійснено розробку технологічного процесу пакування, підбрано виробниче обладнання для його реалізації, виконано компонування потокової лінії. Також здійснено проєктування комплексу та його елементів у конструкторській та графічній частині роботи.

Ключові слова: ПЕТ-пляшка, процес, операція, автомат, комплекс.

## ANNOTATION

Torchylo A.O. Development of a technological complex for packaging liquids in PET bottles. – Manuscript.

Master's qualification work in specialty 131 Applied Mechanics, educational programme «Applied Mechanics». Lutsk National Technical University. Lutsk, 2025.

The work is devoted to the development of a technological complex for packaging liquids into PET bottles. The study includes the design of the packaging technological process, the selection of production equipment for its implementation, and the layout of the continuous production line. In addition, the technological complex and its individual elements are designed within the engineering and graphical sections of the work.

Keywords: PET bottle, process, operation, machine, complex.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	7
1.1 Аналіз пакувального матеріалу.....	7
1.2 Розробка споживчої та транспортної упаковки.....	8
1.3 Розробка технологічного процесу пакування.....	13
2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА.....	15
2.1 Проектування структурного складу технологічного комплексу .....	15
2.2 Розрахунок продуктивності технологічного комплексу.....	24
2.3. Визначення кількості основного і допоміжного обладнання.....	25
2.4 Проектування функціональної схеми пакування продукції у	
ПЕТ-пляшки.....	27
2.5 Проектування кінематичної схеми автомата для пакування	
рідин в ПЕТ-пляшки .....	29
2.6 Опис конструкції та роботи основних пристроїв пакувального	
автомата.....	30
2.7 Розрахунок параметрів виконавчих механізмів.....	33
3 ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ЧАСТИНА.....	36
3.1 Розрахунок матеріальних потоків у технологічному комплексі	
пакування рідин .....	36
3.2 Розрахунок періодичності поповнення запасів матеріалів .....	38
3.3 Розробка транспортно-складської системи технологічного	
комплексу.....	41
4 НАУКОВА ЧАСТИНА.....	44
4.1 Теоретичне обґрунтування параметрів миття тари.....	44
4.2 Гідродинамічний розрахунок операції миття ПЕТ-пляшок.....	45
5 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТА.....	49
5.1 Опис ідеї стартап-проекту та SWOT-аналіз.....	49
5.2 Технологічний аналіз стартап-проекта.....	50
5.3 Розробка ринкової стратегії стартап-проекта.....	52
ВИСНОВКИ.....	54
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	55
ДОДАТКИ.....	58

## ВСТУП

*Актуальність теми.* Технологічний комплекс для пакування рідин у ПЕТ-пляшки є сучасною виробничою системою, яка об'єднує процеси підготовки тари, фасування продукту, герметичного закупорювання упаковки та нанесення на неї споживчої інформації. Автоматизоване виробництво забезпечує стабільну продуктивність, високу точність дозування та належну якість готової продукції. Завдяки перевагам поліетилентерефталату як пакувального матеріалу споживчі упаковки з його використанням користуються значним попитом, тож розроблений технологічний комплекс може бути реалізований для забезпечення потреб ринку широкого асортименту як продовольчих, так і непродовольчих товарів.

*Мета і завдання роботи.* Метою магістерської кваліфікаційної роботи є розробка технологічного комплексу для пакування рідин в ПЕТ-пляшки.

Для досягнення поставленої мети потрібно виконати такі завдання:

- проаналізувати, які основні та допоміжні операції потрібно реалізувати для пакування рідин в ПЕТ-пляшки та визначити їх послідовність;
- виконати підбір технологічного обладнання для виконання кожної операції та виконати його компонування у лінію пакування;
- представити результати проєктування у графічній частині роботи.

*Об'єкт дослідження* – технологічне обладнання, яке реалізує процес пакування рідин в ПЕТ-пляшки.

*Предмет дослідження* – основні та допоміжні операції процесу пакування рідин в ПЕТ-пляшки.

*Методика дослідження.* Загальні принципи технології машинобудування та автоматизації виробництв; методи створення компонувань виробничого обладнання.

*Наукова новизна одержаних результатів.* Технологічний комплекс для пакування рідин в ПЕТ-пляшки створений на основі системного підходу та обґрунтованої функціональної та технологічної узгодженості і синхронізації

роботи пакувального обладнання відповідного призначення. Запропонований підхід створює передумови для оптимізації виробничих показників і може бути використаний як основа для подальшого розвитку автоматизованих комплексів для пакування продукції.

*Практичне значення роботи.* Запропонована в роботі компоновка обладнання у складі технологічний комплексу для пакування рідин в ПЕТ-пляшки може слугувати базовим інженерним рішенням при створенні автоматизованих комплексів пакування рідкої продукції на виробництвах харчової та нехарчової промисловості.

*Апробація результатів дослідження.* Результати роботи були представлені на V студентській науково-технічній конференції «Інноваційні технології в транспорті та механічній інженерії», м. Луцьк, 2025 р.

*Достовірність теоретичних положень* магістерської кваліфікаційної роботи підтверджується повною відповідністю поставленим задачам.

*Публікації.* Матеріали магістерської роботи опубліковані у:

1. Торчило А. Тенденції та проблеми розвитку обладнання для фасування рідин // Тези V студентської науково-технічної конференції факультету транспорту та механічної інженерії «Інноваційні технології в транспорті та механічній інженерії». – Луцьк: ЛНТУ, 2025р. – С. 173.

*Структура та обсяг роботи.* Магістерська робота складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг роботи – 57 сторінок, в тому числі – 7 рисунків, 12 таблиць, список використаних джерел з 24 найменувань та 4 додатків на 12 сторінках. Обсяг основного тексту магістерської роботи – 53 сторінок.

## РОЗДІЛ 1

### ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

#### 1.1 Аналіз пакувального матеріалу

Відповідно до завдання в якості споживчої упаковки для рідин приймаємо ПЕТ-пляшку.

ПЕТ (поліетилентерефталат) – це довголанцюговий полімер, що належить до загальної родини полієфірів. Їх отримують шляхом реакції біфункціональних кислот та спиртів у присутності металевого каталізатора. ПЕТ утворюється з проміжних продуктів, терефталевої кислоти (ТПК) та етиленгліколю (ЕГ), які походять з нафтової сировини. ПЕТ у своїй найчистішій формі – це аморфний склоподібний матеріал.

На початку 1970-х років ПЕТ був розтягнутий методом видувного формування, що призвело до появи перших орієнтованих тривимірних структур, що започаткувало швидке використання ПЕТ як легких та міцних пляшок [1].

ПЕТ класифікується як напівкристалічний полімер і при нагріванні вище 72°C переходить з жорсткого склоподібного стану в гумоподібну еластичну форму, де молекулярні ланцюги полімеру можуть розтягуватися та вирівнюватися в одному напрямку, утворюючи волокна, або в двох напрямках, набуваючи плівкоподібної форми. Якщо розплав матеріалу швидко охолоджувати, залишаючись у розтягнутому стані, то ланцюги фіксуються та їхня орієнтація надалі залишається незмінною. Після затвердіння в цьому розтягнутому стані матеріал стає надзвичайно міцним та набуває властивостей, які притаманні типовій ПЕТ-пляшці. Якщо ПЕТ тримати в розтягнутому стані при температурі вище 72°C, він повільно кристалізується, і матеріал починає ставати непрозорим, більш жорстким і менш гнучким. Тоді він відомий як кристалічний ПЕТ або СРЕТ. У цій формі він здатний витримувати вищі температури та може використовуватися для термотривкої тари. Саме ця техніка «термічної фіксації» також розвиває властивості стійкості до згинання [2].

Описаний вище ПЕТ є найпростішим типовим продуктом. Однак, багато модифікацій впроваджуються для розробки специфічних властивостей для різного використання упаковки та відповідності конкретному виробничому обладнанню. Зазвичай модифікації мають хімічну природу, щоб полегшити маніпуляції з ПЕТ. Наприклад, невеликі концентрації відповідного співмономера уповільнюють швидкість кристалізації та дозволяють виготовляти пляшки з товстішими стінками.

Загалом можна побачити, що бажані властивості для пакування досягаються завдяки властивим властивостям ПЕТ. Тому добавки, такі як антиоксиданти, пластифікатори, термо- або УФ-стабілізатори, не потрібні. Барвники в низьких концентраціях (зазвичай менше 500 ppm) використовуються для деяких комерційних сортів ПЕТ і, подібно до каталізаторів, інкапсуються або включаються до складу полімерного ланцюга. Вони додаються на етапі виробництва смоли або упаковки та мають надзвичайно низьку екстракційність.

Вибір оптимальної температури видування є надзвичайно важливим для досягнення найкращого балансу властивостей. Ударостійкість, прозорість, жорсткість, газоізоляційні властивості та повзучість оптимізуються під час цієї частини операції [3].

З токсикологічної точки зору ПЕТ є біологічно інертним при проковтуванні, безпечний для шкіри під час обробки та не становить небезпеки при вдиханні, тож контакт харчового продукту з цим матеріалом не становлять загрози для здоров'я людини [1, 4].

## 1.2 Розробка споживчої і транспортної упаковки

Споживча упаковка, як правило, поділяється на власне тару і допоміжні пакувальні засоби (ДПЗ).

У розглядуваному в цій роботі випадку до тари відноситься ПЕТ-пляшка, а до ДПЗ – поліетиленова кришка та етикетка з полівінілхлориду (ПВХ).

ПЕТ-тара має цінні переваги завдяки своїм механічним і хімічним властивостям:

- ПЕТ приблизно в 10 раз легший, ніж скло;
- не б'ється під час виконання технологічних операцій пакування та при транспортуванні, а у випадку пошкодження – потенційно не травмонебезпечна;
- має високі гігієнічні властивості;
- інертна до більшості харчових продуктів, що робить її універсальною упаковкою;
- має високі бар'єрні властивості – є волого-, жиро-, повітронепроникною, не адсорбує сторонніх запахів.

До того ж, ПЕТ-пляшка має значно нижчу собівартість, ніж упаковка зі скла, тож економічно є більш вигідним варіантом для недорогих продуктів.

Початковим матеріалом для виробництва пляшок є преформи, з яких після попереднього розігрівання розтягуються і видуюються пляшки. Преформи, в свою чергу, виготовляються методом пресформування з гранульованого поліетилентерефталату. Колір і прозорість майбутньої пляшки закладаються при виготовленні преформи з полімерних гранул. Для виготовлення пляшок місткістю 1 л використовуються преформи масою 31,9 г [2, 5].

Проектування тари, як правило, здійснюється таким чином, щоб зменшити витрати матеріалу, мінімізувати затрати праці під час її виготовлення, а також досягти економії площі при складуванні і транспортуванні.

Конструкція тари повинна бути максимально технологічною.

ПЕТ-пляшка для фасування рідин має циліндричну форму із звуженням до горлової частини.

Оберемо конструкцію пляшки із такими характеристиками (рис. 1.1, а):

- місткість пляшки – 1000 мл;
- висота пляшки – 256,5 мм;
- діаметр горловини – 38 мм;
- максимальний діаметр – 87 мм;
- маса пляшки – 31,9 г;

Вимоги до закупорювальних засобів висуваються не менш жорсткі вимоги, ніж до тари, адже їх основна функція – забезпечити надійну герметизацію

упаковки і захистити її вміст від псування чи втрат. Тож засіб для закупорювання повинен мати високі бар'єрні властивості, придатність до щільного прилягання до поверхні горловини тари та довготривалої надійної фіксації на ній, а також технологічну придатність до закупорювання пляшки після фасування.

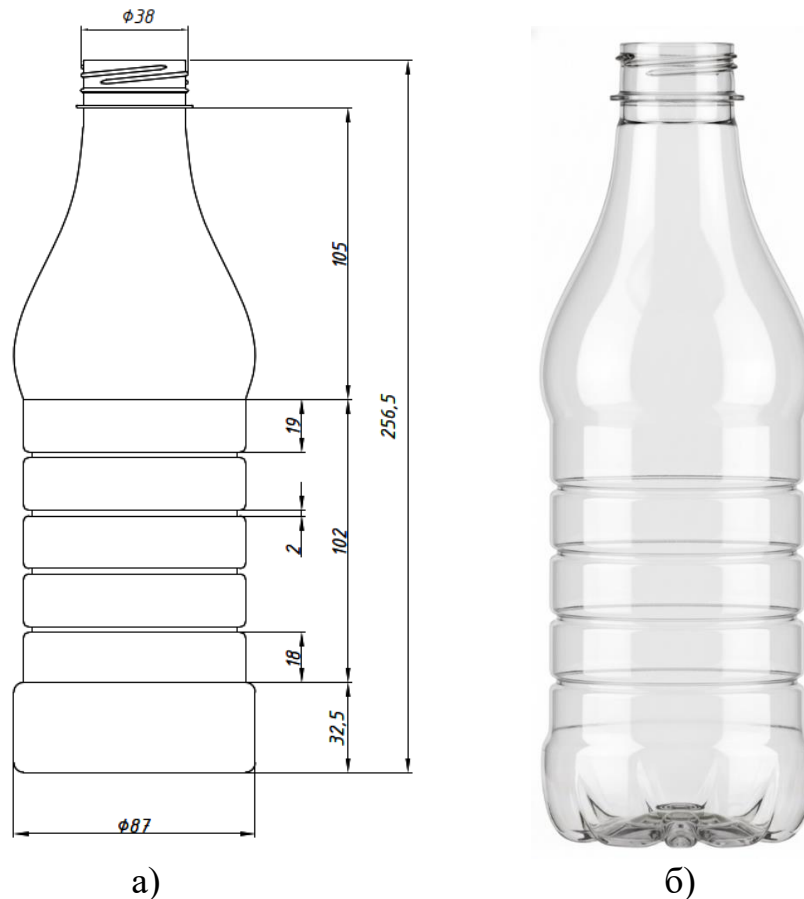


Рисунок 1.1– ПЕТ-пляшка: а) креслення загального вигляду; б) приклад ПЕТ-пляшки

Для закупорювання ПЕТ-пляшок використовуються полімерні кришки, пробки та корки.

Ці закупорювальні засоби розрізняються за такими ознаками:

- колір;
- розмір (діаметр та висота);
- наявність чи відсутність друкованого зображення;
- кількість насічок на зовнішній поверхні;
- тип попереджувального пояса [3, 5].

Для закупорювання ПЕТ-пляшки вибираємо поліетиленову кришку типу «Screw cap» діаметром 38 мм (рис. 1.2). Це стандартна кришка з різьбовою внутрішньою поверхнею, яка фіксується на горловині закручуванням. Вона придатна для закупорювання ПЕТ-тари з широкими горловинами типу «Juice» для пакування соків, молочних продуктів, або інших рідин. Маса такої кришки – 2,9 г. Кількість насічок на ній рівна 90, що відповідає оптимальному контакту з патроном закупорювальної машини та стандартному моменту докручування [6].



Рисунок 1.2 – Кришка типу «Screw cap»

До допоміжних пакувальних засобів відносять також етикетку.

Етикетка є елементом тарного зображення та містить комплекс текстової та графічної інформації. Вона є типовим носієм необхідних відомостей про основні властивості продукції для її ідентифікації.

У даному випадку використовується кругова етикетка з полівінілхлориду шириною 96 мм, яка наноситься на циліндричну основу пляшки за допомогою клею гарячого формування Hot melt.

Для утворення групової упаковки рідин в ПЕТ-пляшках оптимально використовувати термоусадкові плівки (рис. 1.3). Основна функція такої упаковки – скріпити групу виробів, щоб запобігти зсуву чи пошкодженню товару під час складування та транспортування.

Термоусадкові плівки під час нагрівання зменшують свої лінійні розміри в одному або двох напрямках. Їх виготовляють з різних полімерів (полівінілхлорид, поліпропілен, полістирол, поліетилен), однак найчастіше використовується поліетилен, який модифікують різними компонентами для

покращення механічних властивостей. Ця плівка випускається у вигляді стрічкового полотна і добре підходить для групового пакування продуктів, запакованих в ПЕТ-тару. Попередньо сформовану групу виробів обандеролують плівкою, залишаючи два отвори з протилежних боків, що полегшує переміщення виробу.

Транспортна упаковка, утворена плівковим матеріалом, має ряд цінних переваг:

- добре зварюється, утворює міцні шви і надійно фіксує навіть дуже крихкий товар;
- захищає товар від впливу вологи, механічних пошкоджень;
- легка та займає невеликий об'єм [2, 5].

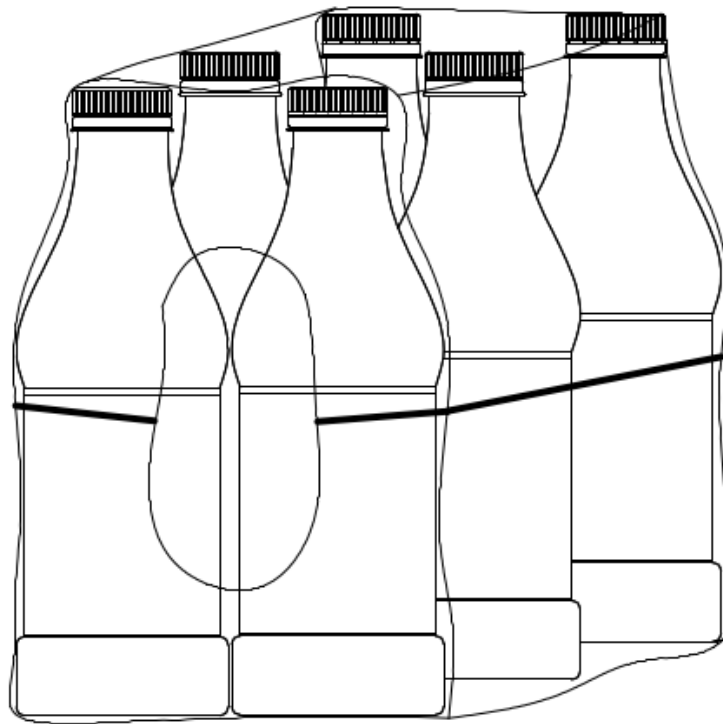


Рисунок 1.3 – Групова упаковка

Транспортна упаковка формується шляхом укладання групових упаковок на дерев'яні євро-піддони у 3 шари по 16 одиниць в кожному шарі та обмотування палети стретч-плівкою. Стретч-плівка виготовляється з лінійного поліетилену низької щільності (ЛПЕНЦ). Її основною перевагою є здатність розтягуватися без руйнування, що забезпечує стійке кріплення вантажу. Також вона має високу стійкість до проколів і роздирання [3].

### 1.3 Розробка технологічного процесу пакування

Для проєктування технологічного комплексу спочатку потрібно розробити технологічний процес, а саме – визначити основні та допоміжні операції, необхідні для пакування рідин в ПЕТ-пляшки, а також порядок, в якому вони будуть здійснюватися. Наступним кроком є підбір відповідного за призначенням обладнання, яке буде реалізовувати процес у встановленій послідовності. Результат представлено у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Технологічний процес пакування рідин в ПЕТ-пляшки

№ опер	Назва операції	Функціональний вузол	Допоміжні операції
005	Формування ПЕТ-пляшки		
	1. Подача преформ	Конвеєрний транспортер	
	2. Орієнтування преформ	Механізм орієнтування	Контроль наявності преформ
	3. Нагрівання преформ та видування пляшок	Видувна камера	
010	Орієнтування пляшок		
	1. Подача пляшок до бункера орієнтувальної машини	Конвеєрний транспортер	
	2. Орієнтування та подача пляшок	Орієнтувальний бункер	
015	Транспортування орієнтованих пляшок	Пневмотранспортер	
020	Ополіскування пляшок		
	1. Подача пляшок до ротора ополіскувальної машини	Шнек та завантажувальна зірочка	
	2. Миття і сушіння тари	Камера для ополіскування і сушіння	Перевертання пляшок
	3. Вивантаження чистих пляшок	Розвантажувальна зірочка	

## Продовження таблиці 1.1

025	Дозування і фасування продукту		
	1. подача пляшок до ротора дозувальної машини	Завантажувальна зірочка	Контроль наявності пляшки
	2. Тарування (зважування)	Ваги	Перевірка вірності показів
	3. Наповнення пляшки продуктом	Дозатор	
	4. Знімання наповненої пляшки і подача на закупорювання	Проміжна зірочка	
030	Закупорювання		
	1. Дезінфекція, орієнтування та подача кришок	Бункер-орієнтатор, дезінфектор, пристрій подачі кришок	Обробка кришок розчином H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> та УФ
	2. Закупорювання пляшки	Закупорювальний пристрій	Перевірка герметичності
	3. Вивантаження закупореної тари	Розвантажувальна зірочка	
	4. Відведення закупореної тари	Пластинчастий транспортер	Відведення браку
035	Етикетування		
	1. подача і розподілення пляшок	Транспортер та вхідні шнеки	
	2. Нанесення етикетки	Етикетувальний блок	
	3. Відведення тари	Зірочка та транспортер	
040	Датування	Механізм датування	Контроль наявності пляшки
045	Формування групової упаковки		
	1. Групування пляшок	Відокремлювач	
	2. Обмотування групи пляшок плівкою	Ролики	Зварювання швів плівки
	3. Термоусадка плівки та утворення групової упаковки	Термопіч	
	4. Відведення готової упаковки	Стрічковий транспортер	

## РОЗДІЛ 2

### КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

#### 2.1 Проектування структурного складу технологічного комплексу

Відповідно до розробленого технологічного процесу, описаного в п. 1.3, виконаємо проектування структурного складу технологічного комплексу пакування рідин на основі методів формування компонувань пакувального обладнання [7- 9]. Він складатиметься із описаного нижче основного та допоміжного обладнання.

Пневмоформувальний автомат APF-6004 (табл. 2.1) [10].

Перед початком роботи автомату в його бункер насипом завантажуються преформи. З завантажувального бункера преформи за допомогою транспортера конвеєрного типу переміщуються до бункера-орієнтатора. Звідти преформи у вертикальному положенні по живильному жолобу направляються до камери розігріву. У камері вони обертаються, одночасно розігріваючись інфрачервоними лампами рівномірно по товщині матеріалу. Видування відбувається за допомогою стиснутого повітря. При цьому різьбова частина горловини преформи охолоджується водою і під час пресовидування пляшки не деформується.

Орієнтувальний автомат ZS-SP800 (табл. 2.2) [11].

Пляшки надходять до автомата за допомогою конвеєрного транспортера з бункером. Автомат забезпечує вертикальне розміщення ПЕТ-пляшок горловиною вгору. Перед початком роботи автомат налагоджується відповідно до розмірів пляшки. Для цього слід встановити форми в барабан автомата. Автомат може орієнтувати пляшки об'ємом від 200 до 1000 мл. Барабан обертається і пляшки за допомогою відцентрової сили потрапляють до вертикально розміщених форм. Форма має отвір, який повторює контур пляшки. Якщо пляшка подається в правильному положенні вона потрапляє всередину форми, якщо ні – за допомогою стиснутого повітря вона здувається.

Правильно розміщені пляшки знімає вакуумний барабан та переносить їх до пневмотранспортера.

Таблиця 2.1 – Технічна характеристика автомата APF-6004

№ п/п	Параметр		Значення
1	Продуктивність, пл/год		до 6000
2	Ємність пляшок, л		0,2 – 2
3	Тиск повітря для видуву пляшки, МПа		4,0
4	Тиск повітря для пневмоциліндра, МПа		1,0
5	Витрата стиснутого повітря на привід, м <sup>3</sup> /хв		1,7
6	Витрата стиснутого повітря на видув, м <sup>3</sup> /хв		3,7
7	Температура охолоджуючої рідини, °С		7-12
8	Витрати охолоджуючої рідини, м <sup>3</sup> /год		1,5
9	Напруга мережі живлення, В/Гц		380/50
10	Потужність, кВт		18
11	Габаритні розміри, мм	Довжина, мм	6520
		Ширина, мм	3800
		Висота, мм	3200
12	Маса, кг		2800

Таблиця 2.2 – Технічна характеристика автомата ZS-SP800

№ п/п	Параметр		Значення
1	Продуктивність, пл/год		до 3600
2	Ємність пляшок, л		0,25 – 1
3	Напруга мережі живлення, В/Гц		380/50
4	Потужність, кВт		3
5	Габаритні розміри, мм	Довжина, мм	7120
		Ширина, мм	3290
		Висота, мм	3400
6	Маса, кг		4200

Триблок CGF32-24-8 (табл. 2.3) [12].

Даний автомат виконує операції ополіскування, дозування та фасування рідин в пляшки з ПЕТ, ПП та ПЕ, а також їх закупорювання полімерними кришками. Триблок даної моделі складається з модуля ополіскування тари, модуля розливу продукту та модуля закупорювання

Таблиця 2.3 – Технічна характеристика триблока CGF32-24-8

№ п/п	Параметр	Значення	
1	Продуктивність, пл./год	до 5000	
2	Тип виробу	пляшка ПЕТ	
3	Діаметр пляшки, мм	37 – 100	
4	Висота пляшки, мм	160 – 360	
5	Маса дози продукту, кг	від 0,1 до 3	
6	Живлення: електричне, В/Гц; стиснутим повітрям, МПа	380/50 0,45 – 0,6	
7	Витрати стиснутого повітря, л/год	160	
8	Витрати питної води для миття автомата, л/ в зміну	200	
9	Витрати ополіскувального розчину при вприскуванні 1,8 сек, л/год	449,28	
10	Витрати повітря при обдуванні 1,5 сек., л/год	8550	
11	Встановлена потужність, кВт	5	
12	Габаритні розміри, мм	Довжина, мм	8200
		Ширина, мм	3550
		Висота, мм	4250
13	Маса	7150	

Модуль ополіскування тари являє собою ротаційну машину неперервного типу, яка має 24 робочі позиції та призначена для ополіскування ПЕТ-пляшок дезінфікуючими розчинами. Привод машини монтується на станині і складається з електричного двигуна та редуктора. Синхронізація роботи механізмів здійснюється за допомогою зубчастих коліс. Оберти регулюються інвертором.

Рух основного ротора автомата приводиться в рух від двигуна-редуктора черв'ячного.

Пляшки, які надходять від пневмотранспортера, подаються за допомогою ділильного шнека до завантажувальної зірочки, а далі – в робочу зону машини. Синхронізація руху завантажувальної і перехідної зірочок з центральним диском модуля ополіскування дозволяє виконати захоплення пляшки під час руху. Під час руху пляшка обертається на  $180^\circ$  (дном вгору). Під час обертання захват натискає на кнопку вентиля, відкриває його і в пляшку вприскується миючий розчин. Кількість позицій на яких в пляшку вприскується розчин можна регулювати розподільовачем розчину. Після зупинки вприскування миючого розчину починається обдув пляшки повітрям, внаслідок чого кількість залишку розчину в пляшці значно зменшується. Після обдування повітрям пляшка знову повертається у положення горловиною вгору і знімається перехідною зірочкою. Лапки захвату залишаються відкритими до їх переходу через позицію, на якій повинна бути подана нова пляшка. Якщо завантажувальна зірочка не подасть нову пляшку, лапки захвату закриваються при повороті не відкривають вентиль, який подає миючий розчин.

Чисті пляшки подаються до модуля розливу системою проміжних зірочок.

Ротор модуля розливу продукту, як і ополіскувальної частини автомата, приводиться в рух від двигуна-редуктора за допомогою зубчастої передачі, при цьому ротор машини обертається за годинниковою стрілкою. Він, як і модуль ополіскування налічує 24 робочі позиції.

Після того, як пляшки потрапила до розливного модуля, вона захоплюється захватом, де відбувається процес тарування – процес точного зважування тари на вагах. Давачі фіксують наявність пляшки та її масу. Якщо результат перевірки позитивний, тобто пляшка знаходиться в захваті, дозувальний пристрій відкривається пневматичними циліндром і починається фасування продукту. Фасування відбувається за масою без занурення дозатора всередину пляшки. При досягненні необхідної ваги фасування припиняється.

Далі здійснюється контроль маси та визначається похибка дозування. Пляшки з продуктом знімаються та передаються до модуля закупорювання за допомогою перехідної зірочки.

Машина зупиняється при припиненні подачі пляшок з ополіскувального автомату вимкненням давача, щоб не залишились частково наповненні пляшки в захватах під дозувальними пристроями, оскільки простоювання призведе до помилок в дозуванні при наступному пуску.

Після наповнення всіх пляшок, які знаходяться на транспортній системі і в захватах, машина переходить в режим роботи на холостому ході та зупиняється.

Закупорювальний модуль триблока призначений для автоматичного закупорювання попередньо наповнених продуктом пляшок гвинтовими кришками і складається з 8 робочих позицій. Для даного модуля мають бути дотримані гігієнічні норми щодо механізмів обладнання, які контактують з харчовими продуктами [13]. В даному випадку механізми, які входять в контакт з кришкою і горловиною пляшки, виготовлені відповідно до вимог діючих стандартів з хромнікелевої сталі марки 12Х18Н9Т.

Основний ротор модуля приводиться в рух від двигуна-редуктора. До складу основного ротору входять також всі основні механізми, які виконують закручування кришок, а саме – вали, копіри, зубчасті колеса, шпинделі та інші.

Поліетиленові кришки потрапивши в бункер-орієнтатор, розміщуються дном догори і потрапляють в лоток для кришок, по якому направляються до напрямних зірочок, попередньо пройшовши через дезінфікуючий пристрій та ультрафіолетову лампу. До комплекту зірочок входять зірочка для механізму Pick&Place і вихідна зірочка. Механізм Pick&Place автоматично подає орієнтовані кришки до кожного закупорювального пристрою. За наявності кришки, розміщеної дном донизу, зірочка блокує її. Зірочки приводяться в рух за допомогою зубчастої передачі від приводного зубчастого колеса закупорювального модуля триблока.

Магнітні пристрої для закручування приводяться в рух від двигуна-редуктора. Кришка потрапляє в закупорювальний фланець магнітного пристрою

та закупорює пляшку, яка розміщена на обмежувальному диску, який перешкоджає обертанню пляшок під час закупорювання.

Закупорені пляшки знімаються розвантажувальною зірочкою триблока і відводяться пластинчастим транспортером на подальші операції.

Етикетувальний автомат NP-HGL (табл. 2.4) [14].

Вибраний етикетувальний автомат є машиною роторного типу. Пляшки надходять в робочу зону автомата транспортером-живильником. Вхідні шнеки забезпечують порядок їх розміщення з потрібним кроком і подачу до вхідної зірочки. Фотодавач, який знаходиться над вхідними шнеками, відображає наявність пляшок і ротор починає обертатись до досягнення заданої продуктивності. Через вхідну зірочку пляшки надходять до центрального ротора. Зверху вони притискаються для забезпечення стійкості при передачі крутного моменту системою для обертання робочих органів.

Таблиця 2.4 – Технічна характеристика етикетувального автомата NP-HGL

№ п/п	Параметр	Значення	
1	Продуктивність, шт/год	до 6000	
2	Максимальний діаметр пляшки, мм	110	
3	Максимальна довжина етикетки, мм	350	
4	Потужність, кВт	20	
5	Напруга мережі живлення, В/Гц	220/50	
6	Робочий тиск, МПа	0,4-0,6	
7	Витрати стиснутого повітря, м <sup>3</sup> /год	25	
8	Габаритні розміри, мм	Довжина, мм	2750
		Ширина, мм	2950
		Висота, мм	2300
9	Маса	1450	

Перебуваючи на роторі, пляшка подається на позицію етикетувального блока, де на її корпус наноситься етикетка. Після нанесення етикетки пляшка переміщуються через механізм притискання, який гарантує стійке остаточне

заклеювання етикетки. Пляшки знімаються із центрального ротора за допомогою вихідної зірочки і знову переміщуються на транспортер.

Датувальний автомат Videojet 37 (табл. 2.5) [15].

Дататор служить для нанесення дати на готову за допомогою чорної фарби. Цей пристрій може наносити цифровий та буквений надпис розміром 22 символи у два рядки.

Таблиця 2.5 – Технічна характеристика автомата Videojet 37 для нанесення дати на упаковку

№ п/п	Параметр	Значення	
1	Продуктивність, упак. /год	10000	
2	Максимальна швидкість друку, символів/с при двох рядках при одному рядку	до 837 до 600	
3	Розміри символів, мм при двох рядках при одному рядку	6 2,8	
4	Електричне живлення, В/Гц	90-260/60	
5	Загальна встановлена потужність, кВт	32,6	
6	Потужність, Вт	30	
7	Габаритні розміри:	Довжина, мм	445
		Ширина, мм	178
		Висота, мм	623
8	Маса, кг	29,5	

Автомат для створення групової упаковки IND-Pack 29 (табл. 2.6) [16].

Машина виконує групування пляшок, обгортання їх плівкою та утворення групової упаковки шляхом термоусадки плівки.

Пляшки потрапляють до пакувальної машини від транспортера. Власна транспортна система автомата складається з чотирьох пластинчастих ланцюгів, які приводяться в рух за допомогою двигуна-редуктора. Виставлення пляшок в

ряди, щоб згрупувати їх, здійснюються орієнтуючим пристроєм в камері для групування.

Таблиця 2.6 – Технічна характеристика автомата IND-Pack 29 для створення групової упаковки

№ п/п	Параметр	Значення	
1	Продуктивність (залежно від розміру та кількості пляшок в упаковці), упак. /год	8-18	
2	Розміри термоусадкової плівки: ширина, мм товщина, мм	400-500 0,06-0,08	
3	Електричне живлення, В/Гц	380/50	
4	Загальна встановлена потужність, кВт	32,6	
5	Потужність тунельної печі, кВт	30	
6	Живлення стиснутим повітрям: тиск, МПа витрати, м <sup>3</sup> /год	0,5-0,6 6	
7	Габаритні розміри:	Довжина, мм	7100
		Ширина, мм	1250
		Висота, мм	2000
8	Маса, кг	1700	

Відокремлена група пляшок переміщується вперед, відокремившись він пляшок, що продовжують надходити з допомогою роз'єднувачів. Привод здійснюється двигуном-редуктором, який за допомогою ексцентрика приводить роз'єднувальний пристрій в зворотно-поступальний рух. За допомогою горизонтальних і вертикальних відсікачів відділяється перша група пляшок від загального потоку. Після того, як спрацювали відсікачі, виштовхувач переміщує групу пляшок в модуль для загортання в плівку. Тут відбувається загортання пляшок в термозбігальну плівку з верхнього і нижнього рулонів, зварювання верхньої і нижньої плівки між собою та відрізання від рулону за допомогою термоножа. Далі відбувається переміщення групи пляшок в тунельну піч. В термопечі є внутрішня камера з двома зонами обдування упаковок гарячим

повітрям. Обдування здійснюється двома центрально розміщеними осьовими вентиляторами.

Готові упаковки виходять з тунельної печі, охолоджуються за допомогою вентилятора та потрапляють на розвантажувальний стрічковий транспортер, звідки перевантажуються на формування вантажної одиниці.

До допоміжного обладнання в даному технологічному комплексі відносяться транспортери [17].

Пневмотранспортер ZONESUN ZS-JP1 [18] призначений для подачі пляшок з допомогою потоку стиснутого повітря до триблока. Для правильного виконання функції транспортування його попередньо налагоджують на потрібну висоту пляшки.

Пластинчасті транспортери IND-Trans72S та IND-Trans71 призначені для міжопераційного транспортування тари циліндричної форми.

Транспортер IND-Trans72S переміщує закупорені пляшки від триблока до етикетувального автомата. Він також виступає у ролі накопичувача пляшок.

Транспортер IND-Trans71 забезпечує подачу пляшок від етикетувального автомата до датувального та відвантаження готової продукції до автомата для групового пакування.

Для формування вантажної одиниці до складу комплексу входить палетайзер DRP-10, який обгортає складені на дерев'яний піддон групі упаковки стретч-плівкою [21].

До допоміжного обладнання, яке не бере участі в реалізації технологічного процесу, але входить до складу лінії, є машина для зовнішнього і внутрішнього миття триблока – IND-CIP [12]. До складу системи входять три танки ємністю 800 л з розчинами перекису водню, каустичної соди та азотної кислоти.

Миття відбувається в наступних режимах:

1. Ополіскування водою (по шляху продукту та всередині резервуара).

Тривалість миття – 30 хв.

2. Миття розчином каустичної соди 2% NaOH при температурі 70°C (тільки для внутрішніх поверхонь). Тривалість миття – 60 хв.

3. Ополіскування теплою водою (продовжується до повного змивання розчину каустичної соди ). Тривалість миття – близько 15 хв.

4. Дезинфекція перекисом водню 2%  $H_2O_2$  35°C (триває до досягнення об'єму 100 л).

Для видалення іржі, фасувально-закупорювальний автомат промивають азотною кислотою та теплою водою. Цей процес відбувається перед миттям автомата розчинами перекису водню та каустичної соди.

## 2.2 Розрахунок продуктивності технологічного комплексу

Для того, щоб визначити продуктивність технологічного комплексу, необхідно визначити обладнання, яке має найменшу продуктивність.

Проаналізуємо продуктивність всіх одиниць основного обладнання, яке входить до складу комплексу (табл. 2.6).

Циклові продуктивності обладнання в пл./год. утворюють послідовність:  
6000 – 3600 – 5000 – 6000 – 4000.

Тривалість робочого циклу кожної з технологічних машин у цьому ж порядку складає:

1,6 с – 1 – 1,38 с – 1,6 с – 1,11 с.

Таблиця 2.6 – Продуктивність основного обладнання технологічного комплексу пакування рідин в ПЕТ-тару

Назва обладнання	Продуктивність, пл./год
Пневмоформульний автомат APF-6004	6000
Орієнтувальний автомат ZS-SP800	3600
Триблок CGF32-24-8	5000
Етикетувальний автомат NP-HGL	6000
Датувальний пристрій Videojet 37	10000
Автомат для групового пакування IND-Pack 29	4000

Отже, циклова продуктивність всієї лінії відповідатиме продуктивності найменш продуктивного автомату – ZS-SP800 – і становитиме 3600 пл./год.

Визначимо технічну продуктивність даної лінії за формулою:

$$Q_T = Q_{Ц} \cdot K_T$$

де  $K_T$  – коефіцієнт готовності пакувальної машини.

Коефіцієнти готовності кожного з автоматів є приблизно рівними і дорівнюють 0,97.

Звідси технічна продуктивність становитиме:

$$Q_T = 3600 \cdot 0,97 = 3492 \frac{\text{пл.}}{\text{год}}$$

### 2.3. Визначення кількості основного і допоміжного обладнання

Для визначення кількості основного обладнання в лінії, яке необхідне для забезпечення продуктивності 3600 пл./год., скористаємося формулою:

$$n_{\text{авт}i} = \frac{Q_{\text{лін}}}{Q_{\text{авт}i} \cdot K_i}$$

де  $n_{\text{авт}i}$  – кількість автоматів, потрібна для виконання однієї операції;

$Q_{\text{лін}}$  – продуктивність лінії;

$Q_{\text{авт}i}$  – продуктивність автомату;

$K_i$  – коефіцієнт ефективності автомата;  $K_i = 0,9$  – для виготовлення тари;  $K_i = 0,95$  – для подачі ПЕТ-тари;  $K_i = 0,9$  – для фасування;  $K_i = 0,85$  – для пакування;  $K_i = 0,95$  – для маркування;  $K_i = 0,75$  – для ручних операцій [19].

Визначимо кількість пневмоформувальних автоматів APF-6004 для забезпечення заданої продуктивності лінії при продуктивності автомата 6000 пл./год.:

$$n_{\text{авт}1} = \frac{3600}{6000 \cdot 0,9} = 0,6.$$

Відповідно до методики розрахунку, округлюємо результат до ближчого цілого значення, тобто приймаємо рівним 1, що означає, що для забезпечення продуктивності лінії потрібен один пневмоформувальний автомат.

Визначимо необхідну кількість орієнтувальних автоматів ZS-SP800 для забезпечення заданої продуктивності при продуктивності автомата 3600 пл./год.

$$n_{\text{авт2}} = \frac{3600}{3600 \cdot 0,9} = 1,1 \approx 1.$$

Визначимо кількість триблоків CGF32-24-8. Продуктивність даного автомата залежить від об'єму тари, в яку пакується продукт. Для пакування в тару ємністю 1 літр продуктивність складає 5000 пл./год.

Тоді:

$$n_{\text{авт3}} = \frac{3600}{5000 \cdot 0,9} = 0,8 \approx 1.$$

Визначимо кількість етикетувальних автоматів NP-HGL з врахуванням його продуктивності 6000 пл./год.:

$$n_{\text{авт4}} = \frac{3600}{6000 \cdot 0,85} = 0,7 \approx 1.$$

Визначимо кількість автоматів Videojet 37 для нанесення дати, якщо його продуктивність 6000 пл./год.:

$$n_{\text{авт5}} = \frac{3600}{10000 \cdot 0,95} = 0,4 \approx 1.$$

Визначимо потрібну кількість автоматів IND-Pack29 для створення групової упаковки при продуктивності 4000 пл./год.:

$$n_{\text{авт6}} = \frac{3600}{4000 \cdot 0,85} = 1,05 \approx 1.$$

Отже, для забезпечення продуктивності даного технологічного комплексу необхідно використати по одній одиниці кожного з перелічених автоматів.

Для транспортування пляшок використовуємо:

- 1) пневмотранспортер ZONESUN ZS-JP1 – 1 шт;
- 2) пластинчастий транспортер IND-Trans 72S – 5 шт.
- 3) пластинчастий транспортер IND-Trans 71 – 1 шт.

Представимо компонування обладнання у складі технологічного комплексу для пакування рідин у ПЕТ-пляшки у вигляді технологічної схеми (рис. 2.1) та виконаємо проектування відповідної потокової лінії.

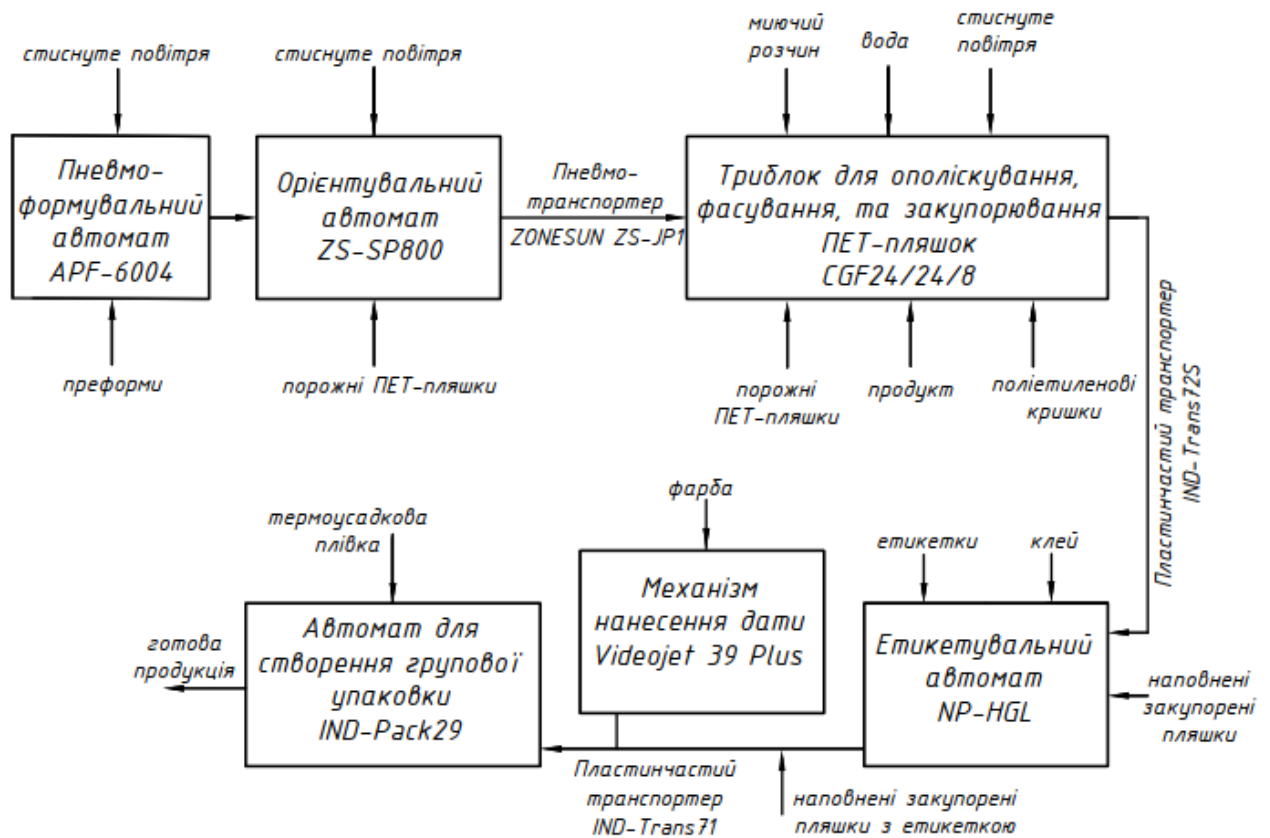


Рисунок 2.1 – Технологічна схема пакування рідин в ПЕТ-пляшки

## 2.4 Проектування функціональної схеми пакування продукції у ПЕТ-пляшки

Функціональна схема триблока CGF32-24-8 зображена на рис. 2.2.

Представлені технологічні операції відбуваються наступним чином. Пляшки від пневмотранспортера з відсікачем 1, потрапляють до ополіскувального модуля триблока. За допомогою ділильного шнека 3 тара потрапляє до завантажувальної зірочки 2 і далі – в робочу зону ополіскувального модуля 5. Під час руху пляшка обертається на  $180^\circ$  (дном догори). При обертанні захват натискає на кнопку вентиля, відкриває його і в пляшку вприскується миючий розчин. Після миття відбувається процес сушіння тари завдяки обдуванню пляшок повітрям. Після сушіння пляшка знову повертається горловиною вгору і знімається перехідна зірочкою 4. Далі пляшки переміщуються проміжними зірочками 6 та за допомогою завантажувальної зірочки 7 потрапляють до ротора розливного модуля 11.

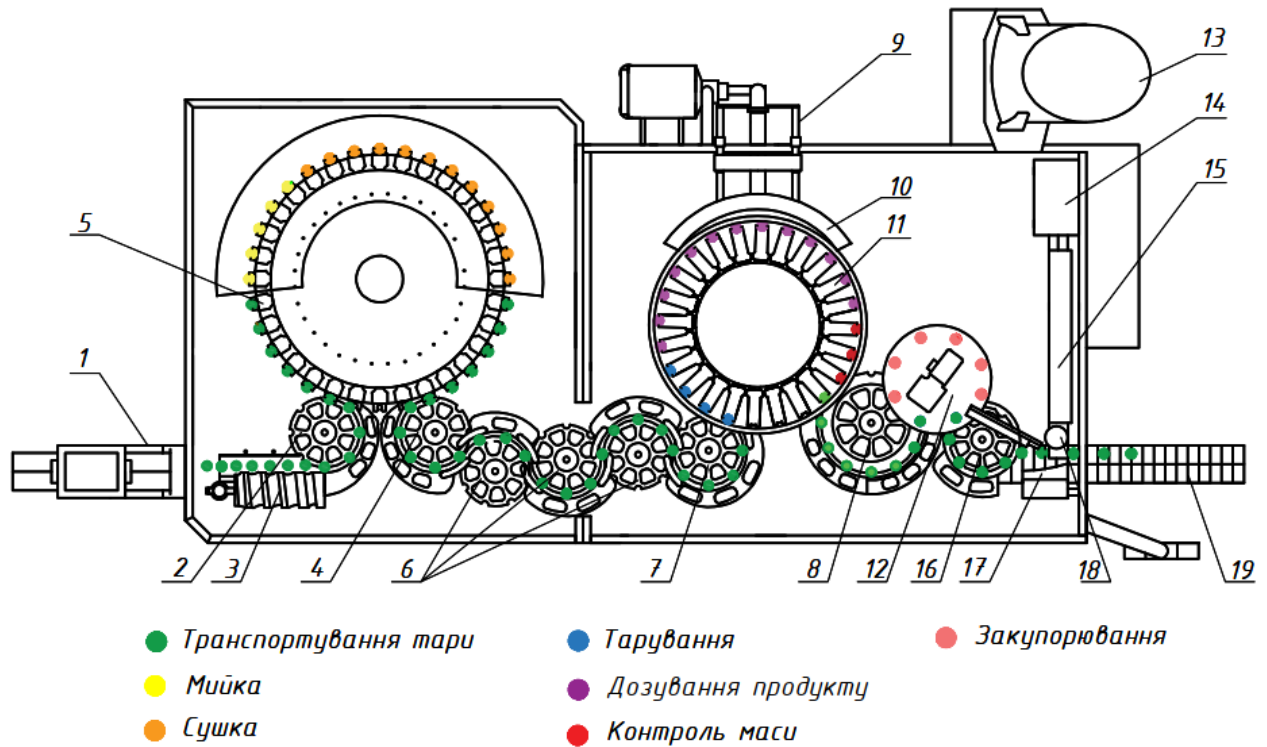


Рисунок 2.2 – Функціональна схема триблока CGF32-24-8: 1 – відсікач; 2, 7 – завантажувальні зірочки; 3 – ділильний шнек; 4, 8 – перехідні зірочки зірочка; 5 – дозувальний модуль; 6 – проміжні зірочки; 9 – закупорювальний модуль; 10 – ровантажувальна зірочка; 11 – розливний модуль; 12 – бракеражний пристрій; 13 – бункер-орієнтатор; 14 – дезінфікуючий пристрій; 15 – ультрафіолетова лампа; 16 – лоток для кришок; 17 – транспортер

Після наповнення пляшки з продуктом знімаються та передаються до закупорювального модуля 9 за допомогою перехідної зірочки 8. Тут відбувається закупорювання пляшок поліетиленовими кришками. Кришки потрапляють з бункера-орієнтатора 13 до дезінфікуючого пристрою 14 і ультрафіолетової лампи 15, далі – в лоток для кришок 16, а звідти – до закупорювального пристрою.

Закупорені пляшки вивантажуються розвантажувальною зірочкою 10 на пластинчастий транспортер 17. Відбраковані пляшки відводяться пристроєм 12 і за допомогою транспортера відправляються до накопичуваного столика для браку.

## 2.5 Проектування кінематичної схеми автомата для пакування рідин в ПЕТ-пляшки

Розглянемо систему кінематичних ланок триблока CGF32-24-8, яка забезпечує його функціонування та спроектуємо на її основі кінематичну схему.

Основний привод триблока монтується в нижній частині корпусу і складається з електродвигуна-редуктора 1. Обертальний рух передається на вал, до якого нерухомо прикріплені ведучий шків зубчасто-ремінної передачі і зубчасте колесо 2. Ведучий шків за допомогою зубчастого ремня 3 передає рух веденому шківу. Ведений шків обертає вал на якому розміщене зубчасте колесо 4, яке за допомогою зубчастого зачеплення з зубчастим колесом 5 обертає вал, на якому розміщений ротор ополіскувального модуля. Зубчасті колеса 5, 6 і 7 передають обертальний рух на вал, на якому розміщене зубчасте колесо 8. Останнє через зачеплення з зубчастим колесом 9 приводить в рух вал, на якому розташований кінцевий редуктор. Редуктор приводить в рух ділильний шнек ополіскувального модуля.

Переміщення пляшок від ополіскувального модуля до дозувального відбувається за рахунок проміжних зірочок, які обертаються за рахунок зубчастого зчеплення зубчастих коліс 5, 10, 11, 12, 13, 14 та зубчастого колеса 15, яке також приводить в рух ротор дозувальної машини. Зубчасте колесо 15 приводиться в рух від основного приводу, двигуна-редуктора 1 та зубчастого колеса 2.

Привід закупорювального модуля приводиться в рух від двигуна-редуктора 18, який монтується в нижній частині корпусу триблока. Обертальний рух від двигуна-редуктора 18 передається на вал, до якого нерухомо прикріплене зубчасте колесо 20. Цей вал обертає комплект зірочок (розвантажувальної, що знімає закупорені пляшки та зірочки, що направляє кришки до закупорювальних головок). Зубчасте колесо 16 передає обертальний рух валу, який обертає перехідну зірочку, котра передає наповнені продуктом пляшки від дозувального до закупорювального модуля. Зубчасте колесо 16 також зчеплене з зубчастим колесом 15. Ротор закупорювального автомата приводиться в рух від вала на

якому розміщується зубчасте колесо 19, яке отримує обертальний рух від зубчастого колеса 20.

## 2.6 Опис конструкції та роботи основних пристроїв пакувального автомата

У цьому пункті розглянемо такі пристрої як захватний механізм для пляшок розливного модуля триблока CGF32-24-8, а також дозувальний пристрій.

На рис. 2.3 зображений захватний механізм розливного модуля триблока CGF32-24-8. Захвати розміщені на роторі розливного модуля. Завантажувальна і перехідна зірочки налаштовуються відносно власних осей для центрування гнізд зірочок відносно захватів.

Пляшка переміщується з завантажувальної зірочки до захвата і потрапляє в затискачі 1 до упора 3. Затискачі з'єднані пружиною 10 та прикріплені спеціальними болтами 4 до планки 8. Планки надають затискачам можливість рухатись та затискати пляшку. Планка кріпиться за допомогою болтів 6 до двох колонок 2, які приєднані до опори 7. Коли пляшка знаходиться в затискачах захвата, вона створює зусилля, яке тисне на ваговий давач 5. Давач працює за принципом електричних ваг, в основі роботи яких лежать тензодатчики опору, які перетворюють механічні напруги в електричні сигнали. За наявності пляшки подається сигнал про наявність пляшки. Тоді відбувається її тарування (зважування), далі – фасування продукту в пляшку, та, наостанок, – контрольне зважування.

Дозувальний пристрій розливного модуля триблока представлений на рис. 2.4. Принцип його роботи полягає в наступному. За умови наявності пляшки в захваті та продукту в резервуарі (на що вказує давач рівня рідини) дозувальні пристрої відкриваються пневмоциліндрами 14. Кожен пневмоциліндр керує підніманням і опусканням власної дозувальної голки 3 з наконечником 18. Швидкість подачі повітря регулюють дроселі 16. Стиснуте повітря подається до пневмоциліндра 14. Коли спрацює пневмоциліндр, продукт потрапляє через дозувальну головку, яка приєднана гвинтами 4 до дна резервуара, в пляшку.

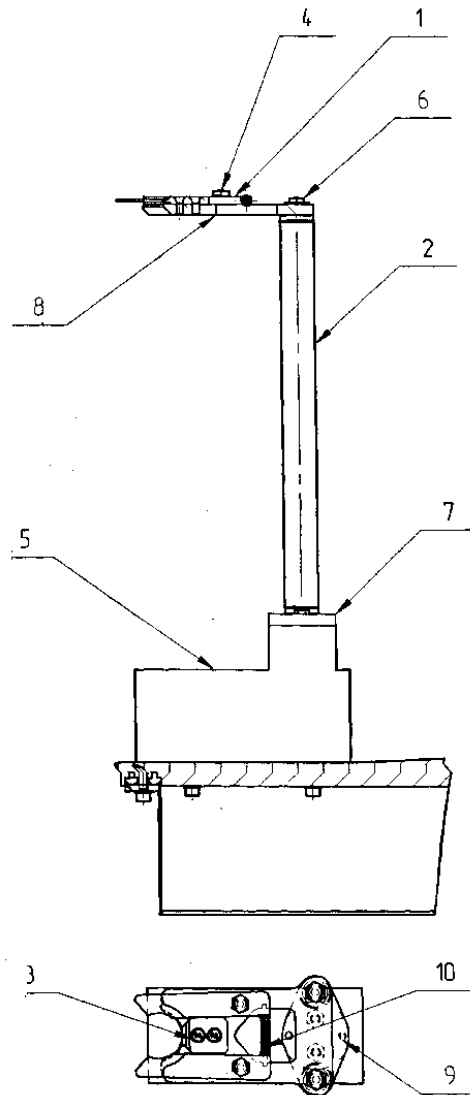


Рисунок 2.3 – Захватний механізм розливного модуля триблока CGF32-24-8: 1 – затискачі; 2 – колонка; 3 – упор; 4 – болт спеціальний; 5 – ваговий давач; 6 – болт; 7 – опора; 8 – планка; 9 – штифт; 10 – пружина

При досягненні необхідної маси, дозатор закривається під дією зрівноважуючого вантажу 9, який закріплений на тефлонній втулці 7 стопорними гвинтами 15. Наконечник 18 притискається до стакана 2 і витікання продукту припиняється. Планка 11 приварена до стінки резервуара. До планки за допомогою гвинтів 8 кріпиться очищувач 10, до якого приєднана цанга для змащення 13. Мاستило заливається в маслянку 20. Змащувати очищувач потрібно силіконовою змазкою 2 рази в тиждень після миття.

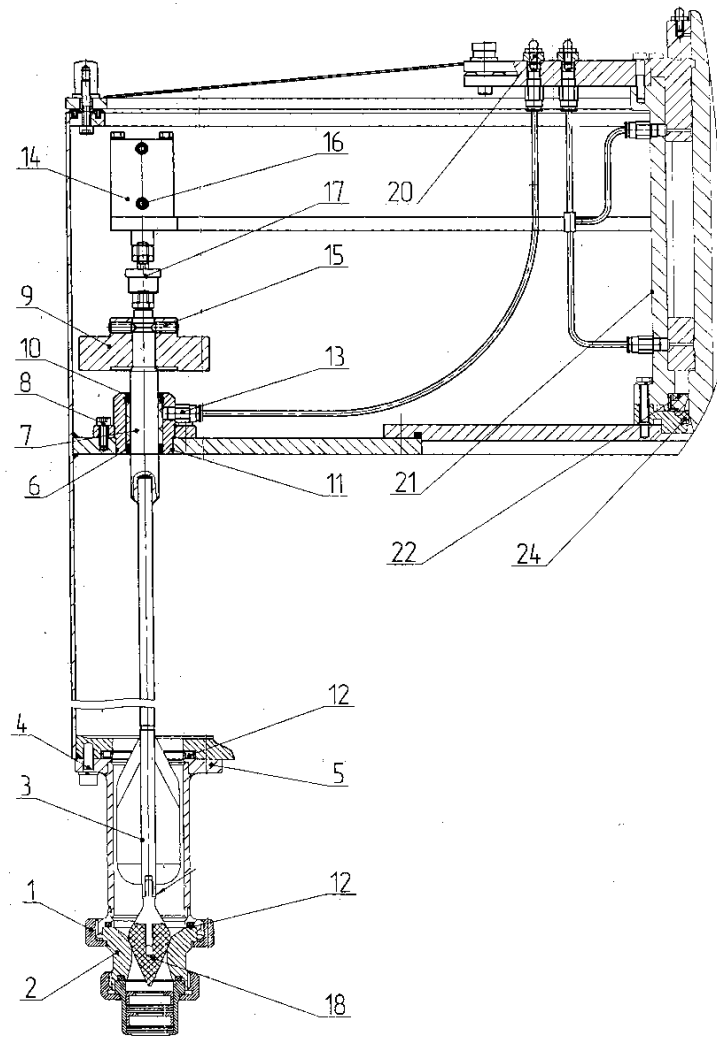


Рисунок 2.4 – Дозувальний пристрій: 1, 19 – гайка; 2 – стакан;  
 3 – дозувальна голка; 4, 8 – гвинт; 5 – тіло; 6 – манжета; 7 – втулка  
 тефлонна; 9 – вантаж; 10 – очищувач; 11 – планка; 12 – ущільнення; 13 – цанга  
 для змащування; 14 – пневмоциліндр; 15 – гвинт стопорний;  
 16 – дросель; 17 – гнучкий куплунг; 18 – наконечник; 20 – маслянка;  
 21 – підшипник верхній; 22 – ущільнення; 23 – підшипник нижній;  
 24 – ущільнення ротаційне

## 2.7 Розрахунок параметрів виконавчих механізмів

1. Виконаємо проєктний розрахунок пневмоциліндра 14 (див. рис. 2.4), який входить до складу кожного з 24-х дозувальних пристроїв розливного модуля триблока CGF32-24-8 за типовою методикою розрахунку [20-22]

Початкові дані:

$P_{кш} = 400 \text{ Н}$  – корисна сила на штоку пневмоциліндра при штовхаючій дії;

$P_{кт} \geq 1000 \text{ Н}$  – корисна сила на штоку пневмоциліндра при тягнучій дії;

$p_m = 0,5 \text{ МПа}$  ( $5 \text{ кгс/см}^2$ ) – тиск повітря у пневмомережі;

$L = 60 \text{ мм}$  – хід штока;

$t_{сп} = 0,3 \text{ с}$  – час спрацьовування пневмоциліндра;

$n = 3,5 \text{ хв}^{-1}$  – частота спрацьовування пневмоциліндра з врахуванням продуктивності дозувального пристрою 208 доз/год, що відповідає 3,5 доз/хв;

$\eta_m = 0,9$  – механічний ККД пневмоциліндра;

$p_{втр} = 0,1 \text{ МПа}$  – втрати тиску у пристроях підготовки повітря пневмосистеми машини.

Розрахунок:

1.1. Визначимо діаметр гільзи пневмоциліндра, врахувавши механічний ККД  $\eta_m$  при заданій корисній штовхаючій силі  $P_{кш}$ .

Тиск повітря у пневмоциліндрі становить:

$$p = p_m - p_{втр} = 0,5 - 0,1 = 0,4 \text{ МПа.}$$

Розрахуємо діаметр гільзи пневмоциліндра:

$$D_{\Gamma} = 2 \cdot \sqrt{\frac{40}{3,14 \cdot 4 \cdot 0,9}} = 3,76 \text{ см} = 37,6 \text{ мм.}$$

Прийmemo найближче більше довідкове значення з ряду стандартних величин  $D_{\Gamma} = 40 \text{ мм}$  та відповідний йому діаметр штока  $d_{шт} = 12 \text{ мм}$  з табл. 2.7.

1.2. Знайдемо значення тягнучої сили.

Силу на штоку при тягнучій дії визначаємо за формулою:

$$P_{\text{кт}} = \frac{\pi \cdot D_{\Gamma}^2 \cdot p \left(1 - \frac{d_{\text{шт}}}{D_{\Gamma}}\right) \eta_{\text{м}}}{4} = \frac{3,14 \cdot 40^2 \cdot 4 \left(1 - \frac{12}{40}\right) \cdot 0,9}{4} = 316,5 \text{ кгс.}$$

Згідно з отриманим результатом  $P_{\text{кт}} = 316,5 \geq 1000 \text{ Н} = 100 \text{ кгс}$ , тобто умова виконується.

Таблиця 2.7 – Стандартні значення діаметрів гільз пневмоциліндрів та їх штоків

$D_{\Gamma}$	Основний	25	32	40	50	60	80	100	120	160	200
	Додатковий	-	36	45	55	70	90	110	140	180	220
$d_{\text{шт}}$	Основний	8	10	12	16	20	25	32	40	50	60
	Додатковий	-	-	14	18	22	28	36	45	55	70

1.3. Обчислимо внутрішній діаметр трубопроводу  $d_{\text{тр}}$  з умови забезпечення заданого часу спрацьовування пневмоциліндра  $t_{\text{сп}} = 0,3 \text{ с}$  при ході штока  $L = 60 \text{ мм}$  та рекомендованій швидкості руху повітря в трубопроводі  $v_{\text{тр}} = 12 \text{ м/с}$ :

$$d_{\text{тр}} = \sqrt{\frac{D_{\Gamma}^2 \cdot L}{v_{\text{тр}} \cdot t_{\text{сп}}}} = \sqrt{\frac{0,04^2 \cdot 0,06}{12 \cdot 0,3}} = 5,16 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 5,16 \text{ мм.}$$

Користуючись табл. 2.7, вибираємо  $d_{\text{тр}} = 6 \text{ мм}$ .

1.4. Розрахуємо витрати повітря при двосторонній роботі пневмоциліндра:

$$Q = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot L \cdot \frac{p}{p_a} \cdot n + \frac{\pi(D_{\Gamma}^2 - d_{\text{шт}}^2)}{4} \cdot L \cdot \frac{p}{p_a} \cdot n = \frac{\pi}{4} \cdot L \cdot \frac{p}{p_a} \cdot n(2D_{\Gamma}^2 - d_{\text{шт}}^2) \cdot 10^6 =$$

$$= \frac{3,14}{4} \cdot 6 \cdot \frac{4}{1} \cdot 3,5(2 \cdot 4^2 - 1,2^2) \cdot 10^6 = 0,002 \frac{\text{м}^3}{\text{хв}}$$

2. Виконаємо розрахунок трубопроводу для подачі на фасування рідких продуктів.

Швидкість руху рідини по трубопроводах розраховується із рівняння витрат:

$$v = \frac{V}{3600 \cdot S} = \frac{4V}{3600 \cdot \pi \cdot d^2} = \frac{V}{900 \cdot \pi \cdot d^2},$$

де  $V$  – кількість рідини, м<sup>3</sup>/год.;

$v$  – швидкість руху рідини, м/с;

$S$  – площа перерізу трубопроводу, м<sup>2</sup>;

$d$  – діаметр трубопроводу, м.

Площа перерізу трубопроводу розраховується за формулою:

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

Діаметр трубопроводу, що задовільняє технологічним вимогам, розраховується наступним чином:

$$d = \sqrt{\frac{V}{900 \cdot \pi \cdot v}}.$$

Для визначення швидкості подачі продукту по трубопроводу потрібно врахувати його в'язкість. Для рідин швидкість руху приймаємо 0,9 м/с [20].

Кількість рідини, що пропускається трубопроводом в одиницю часу, визначається продуктивністю фасувальної машини.

Для триблока CGF32-24-8 з продуктивністю  $Q = 5000$  пл./год, який фасує продукт в пляшки ємністю  $V_{пл} = 1$  л, визначимо об'єм витрати рідини (продукту) за годину:

$$V = Q \cdot V_{пл} = 5000 \cdot 1 = 5000 \frac{\text{л}}{\text{год}} = 5 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}.$$

Знайдемо діаметр та площу перерізу трубопроводу, необхідні для забезпечення такої продуктивності:

$$d = \sqrt{\frac{5}{900 \cdot 3,14 \cdot 0,9}} = 0,044 \text{ м};$$

$$S = \frac{3,14 \cdot 0,044^2}{4} = 0,00048 \text{ м}^2.$$

## РОЗДІЛ 3 ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ЧАСТИНА

3.1 Розрахунок матеріальних потоків у технологічному комплексі пакування рідин

Визначимо обсяги матеріальних потоків у розробленому технологічному комплексі, користуючись стандартними методиками розрахунків [20, 21].

1. Загальна маса преформ  $m_{з.преф}$ , яка проходить через пресоформувальний автомат APF-6004 за 1 год. при продуктивності  $Q_{авт1} = 6000$  шт./год. становить :

$$m_{з.преф} = m_{преф} \cdot Q_{авт1} = 0,0319 \cdot 6000 = 191 \frac{\text{кг}}{\text{год}}, \quad (4.1)$$

де  $m_{преф}$  – маса преформи для виготовлення ПЕТ-пляшки ємністю 1 л, кг.

2. Як було розраховано вище (див. п. 2.6), об'єм витрати рідкого продукту, який підлягає пакуванню на даному технологічному комплексі становить  $V = 5$  м<sup>3</sup>/год.

Ополіскувальний модуль, яка входить до складу триблока, витрачає 449,28 л/год ополіскувальної суміші та 25 л/год питної води (див. табл. 2.3).

3. Розрахуємо загальну масу кришок  $m_{з.кр}$ , яка використовується триблоком CGF32-24-8 при продуктивності при продуктивності  $Q_{авт2} = 5000$  пл./год. :

$$m_{з.кр} = m_{кр} \cdot Q_{авт2} = 0,0029 \cdot 5000 = 14,5 \frac{\text{кг}}{\text{год}},$$

де  $m_{кр}$  – маса однієї поліетиленової кришки діаметром 38 мм, кг.

4. Розрахуємо загальну масу етикеток  $m_{з.ет}$ , яку використовує етикетувальний автомат NP-HGL при продуктивності  $Q_{авт3} = 6000$  шт./год.:

$$m_{з.ет} = m_{ет} \cdot Q_{авт3} = 0,0022 \cdot 6000 = 13,2 \text{ кг},$$

де  $m_{ет}$  – однієї ПВХ-етикетки розміром 264×96 мм, кг.

5. Загальна маса термоусадкової плівки  $m_{з.ту.пл.}$ , необхідна для обгортання групових упаковок по 6 пляшок у кожній на автоматі для групового пакування IND-Pack29 з продуктивністю  $Q_{авт4} = 4000$  пл./год. становитиме:

$$m_{з.ту.пл.} = m_{ту.пл.} \cdot \frac{Q_{авт4}}{6} = 0,04 \cdot \frac{40000}{6} = 26,6 \text{ кг},$$

де  $m_{ту.пл.}$  – маса плівки, яка витрачається на створення однієї групової упаковки з 6-ти ПЕТ-пляшок.

7. Загальна маса стретч-плівки  $m_{з.ст.пл.}$ , яка витрачається за годину при продуктивності палетайзера DRP-10  $Q_{авт5} = 10$  вантажних одиниць за годину:

$$m_{з.ст.пл.} = m_{ст.пл.} \cdot Q_{авт5} = 0,12 \cdot 10 = 1,2 \text{ кг},$$

де  $m_{ст.пл.}$  – маса стретч-плівки, необхідної для виготовлення однієї транспортної упаковки;

8. Загальна маса піддонів, які використовуються за годину неперервної роботи палетайзера з врахуванням продуктивності  $Q_{авт5} = 10$  вантажних одиниць за годину:

$$m_{з.п.} = m_{п.} \cdot Q_{авт5} = 22 \cdot 10 = 120 \text{ кг}.$$

де  $m_{п.}$  – маса стандартного євро-піддона розміром 1200×800×144 мм;

9. Розрахуємо параметри транспортера для переміщення пляшок.

Продуктивність транспортера безперервної дії, призначеного для подачі штучних виробів, визначається за формулою:

$$q = 3600 \frac{v}{a}$$

де  $v = 0,17$  – швидкість руху транспортера, м/с;

$a = 0,01$  – середня відстань між вантажами, м.

$$q = 3600 \cdot \frac{0,017}{0,01} = 6120 \frac{\text{шт}}{\text{год}}.$$

Отже, пластинчастий транспортер може транспортувати 6120 пляшок з продуктом за годину.

### 3.2 Розрахунок періодичності поповнення запасів пакувальних матеріалів

Обладнання розробленого технологічного комплексу має в своєму складі пристрої для нагромадження елементів упаковок – магазини, бункери, резервуари тощо, які входять до складу пакувальних автоматів.

Визначимо періодичність поповнення запасів поштучних виробів.

Визначимо тривалість безперебійної роботи пакувальних автоматів у складі технологічного комплексу, величина якої визначається як:

$$T = \frac{E}{Q_{ц}}$$

де  $Q_{ц}$  – циклова продуктивність автомата, шт/год;

$E$  – ємність накопиченого матеріалу, шт.

Отже, визначимо періодичність поповнення запасу преформ для видування ПЕТ-пляшок автоматом APF-6004:

$$T = \frac{4000}{3600} = 1,1 \text{ год.}$$

Періодичність поповнення запасів кришок в бункері механізму подачі кришок при продуктивності закупорювального модуля триблока CGF32-24-8 5000 пл/год.:

$$T = \frac{5000}{3600} = 1,38 \text{ год.}$$

Отже, через кожні 66 хв потрібно наповнювати преформами бункер видувного автомату і через кожні 83 хв. необхідно наповнювати бункер механізму для подачі корків.

Визначимо періодичність заміни рулонних матеріалів.

Для нанесення етикетки на пляшку використовується ПВХ-плівка в рулоні, а для формування групової упаковки використовується термозбігальна плівка – також в рулоні.

Визначимо періодичність заміни рулону плівки, що використовується для наклеювання етикетки на циліндричну пляшку на етикетувальному автоматі NP-HGL. Для однієї пляшки місткістю 1 л. необхідна етикетка розміром 264×96 мм. Рулон ПВХ-плівки товщиною 50 мкм і шириною 96 мм має зовнішній

діаметр намотки 360 мм, а плівка намотана на гільзу діаметром 80 мм.

Визначаємо спочатку довжину плівки в рулоні за формулою:

$$L = 2 \cdot \pi \cdot R_p \cdot n,$$

де  $n$  – кількість шарів плівки в рулоні, шт;

$R_p$  – середній радіус рулона, мм.

Середній радіус рулона можна визначити за формулою:

$$R_p = \frac{R + r}{2} = \frac{180 + 40}{2} = 110 \text{ мм},$$

де  $R, r$  – зовнішній радіус рулону і радіус гільзи, мм.

Кількість шарів плівки в рулоні визначиться, як

$$n = \frac{R - r}{h} = \frac{180 - 40}{0,05} = 2800,$$

де  $h = 0,05$  мм – товщина ПВХ-плівки.

Тоді довжина плівки в рулоні становитиме:

$$L = 2 \cdot 3,14 \cdot 110 \cdot 2800 = 1934 \text{ м}.$$

Швидкість використання плівки буде становити:

$$v = Q_{ц} \cdot l,$$

де  $l$  – довжина плівки необхідна для наклеювання однієї етикетки.

При продуктивності етикетувального автомата NP-HGL 6000 пл/год та довжині однієї етикетки – 264 мм швидкість розмотування рулону буде рівною:

$$v = 6000 \cdot 0,264 = 1584 \frac{\text{м}}{\text{год}}.$$

Тоді тривалість використання одного рулону складе:

$$T = \frac{L}{v} = \frac{1934}{1584} = 1,22 \text{ год}.$$

Знайдемо кількість етикеток  $N$ , яку можна виготовити з одного рулону плівки:

$$N = \frac{L}{l} = \frac{1934}{0,264} = 7325 \text{ шт}.$$

Таким чином, встановлення нового рулону потрібно проводити кожні 70 хв. роботи машини.

Аналогічним чином визначимо періодичність заміни рулону плівки, яка використовується для створення групової упаковки на автоматі IND-Pack29.

Для утворення однієї групової упаковки з шести пляшок об'ємом 1 л., використовується термозбігальна плівка розміром 700×400 мм. Автомат IND-Pack29 працює з використанням двох рулонів плівки: верхнього і нижнього. Рулони плівки товщиною 70 мкм і шириною 400 мм мають зовнішній діаметр намотки 260 мм, а плівка намотана на гільзу діаметром 70 мм.

Визначимо спочатку довжину плівки в одному рулоні за формулою:

$$L = 2 \cdot \pi \cdot R_p \cdot n.$$

Знайдемо середній радіус рулона:

$$R_p = \frac{130 + 35}{2} = 82,5 \text{ мм.}$$

Кількість шарів плівки в рулоні визначиться, як

$$n = \frac{130 - 35}{0,07} = 1357,$$

де  $h = 0,07$  мм – товщина термозбігальної плівки.

Тоді довжина плівки в одному рулоні:

$$L = 2 \cdot 3,14 \cdot 82,5 \cdot 1357 = 703 \text{ м.}$$

Приймаємо, що довжина плівки в обох рулонах складатиме 1406 м.

Якщо пакувальний автомат має продуктивність 4000 пл/год, що у випадку пакування 6 пляшок в одній груповій упаковці відповідає приблизно 650 пак./год, при чому довжина плівки для утворення однієї упаковки становить 1040 мм з двох рулонів, то швидкість розмотування рулонів буде рівною:

$$v = 650 \cdot 1,04 = 676 \frac{\text{м}}{\text{год}}.$$

Тоді тривалість використання двох рулонів становитиме:

$$T = \frac{L}{v} = \frac{703}{676} = 1,04 \text{ год.}$$

Тож встановлення нових рулонів плівки потрібно забезпечувати кожні 62 хвилини роботи машини.

### 3.3 Розробка транспортно-складської системи технологічного комплексу

Технологічний комплекс складається з дільниці пакування I, складу преформ для виготовлення ПЕТ-пляшок II, складу полімерних кришок та етикеток в рулонах III, складу термоусадкової плівки для створення групових упаковок та стретч-плівки для обгортання вантажних одиниць IV, піддонів V, а також складу готової продукції V.

Напій, який має фасуватись у ПЕТ-пляшки, подається трубопроводом з виробничого цеху до розливного модуля триблока CGF32-24-8. Зі складів II-V відповідні матеріали для споживчого та транспортного пакування відвантажуються до пневмоформуального автомата APF-6004, триблока CGF32-24-8, етикетувального автомата NP-HGL, автомата для групового пакування IND-Pack29 та палетайзера відповідно з допомогою електрокару. Піддони зі складу VI транспортуються до місця укладення транспортної упаковки за допомогою електрокара.

Після того, як палета з продуктом обгортається стретч-плівкою на палетайзері, електрокаром готова вантажна упаковка відвозиться до складу готової продукції VII, звідки в подальшому відправляється на реалізацію.

Виконаємо розрахунок площ складів, необхідних для правильного функціонування комплексу з врахуванням частоти поповнення запасів матеріалів за формулою [17, 21]:

$$S_{\text{ск}} = \frac{m_{\text{р.м}} \cdot t}{D \cdot g \cdot K_B},$$

де  $S_{\text{ск}}$  – площа складу, м<sup>2</sup>;

$m_{\text{р.м}}$  – маса продукту, тари, напівфабрикату, готової продукції, що проходить через дільницю протягом року, т;

$t$  – період зберігання вантажів на складі, днів; нехай  $t = 22$  відповідно до прийнятої кількості робочих днів на місяць.

$g$  – середня навантаженість площі складу, т/м<sup>2</sup>;

$D$  – кількість календарних днів в році (365);

$K_B$  – коефіцієнт використання площі складу, який враховує проходи для транспортних засобів і майданчики прийому та комплектації вантажних одиниць.

Врахуємо для проведення розрахунків, що маса обороту пакувальних матеріалів за рік  $m_{p.m}$  визначатиметься з виразу для кожного матеріалу окремо:

$$m_{p.m} = m_{z.m} \cdot t_{z.m} \cdot n_{z.m} \cdot n_{дн} \cdot 12,$$

де  $m_{z.m}$  – загальна маса матеріалу, яка використовується при роботі пакувального комплексу протягом години, кг/год.;

$t_{z.m} = 8$  – год. – тривалість робочої зміни;

$n_{z.m} = 2$  – кількість змін у добі;

$n_{дн}$  – кількість робочих днів на місяць.

Якщо маса річного обороту преформ

$$m_{p.преф} = 191 \cdot 8 \cdot 2 \cdot 22 \cdot 12 = 806784 \text{ кг} \approx 807 \text{ т},$$

то площа складу II для зберігання преформ становитиме:

$$S_{II} = S_{преф} = \frac{807 \cdot 22}{365 \cdot 1,2 \cdot 0,6} = 67,5 \approx 68 \text{ м}^2.$$

При масі річного обороту кришок

$$m_{p.кр} = 14,5 \cdot 8 \cdot 2 \cdot 22 \cdot 12 = 61248 \text{ кг} \approx 61,2 \text{ т},$$

а етикеток

$$m_{p.ет} = 13,2 \cdot 8 \cdot 2 \cdot 22 \cdot 12 = 55757 \text{ кг} \approx 55,8 \text{ т},$$

сумарну площу складу III для їх зберігання визначимо як:

$$S_{III} = S_{кр} + S_{ет} = \frac{61,2 \cdot 22}{365 \cdot 1,2 \cdot 0,6} + \frac{55,8 \cdot 22}{365 \cdot 1,2 \cdot 0,6} = 9,8 \approx 10 \text{ м}^2.$$

Якщо маса річного обороту термозбігальної плівки

$$m_{p.ту.пл} = 26,6 \cdot 8 \cdot 2 \cdot 22 \cdot 12 = 112358 \approx 112,4 \text{ т},$$

стретч-плівки

$$m_{p.ст.пл} = 1,2 \cdot 8 \cdot 2 \cdot 22 \cdot 12 = 5068 \text{ кг} \approx 5 \text{ т},$$

то площа складу IV для їх зберігання складе:

$$S_{IV} = S_{ту.пл} + S_{ст.пл} = \frac{112,4 \cdot 22}{365 \cdot 1,2 \cdot 0,6} + \frac{5 \cdot 22}{365 \cdot 1,2 \cdot 0,6} = 9,82 \approx 10 \text{ м}^2.$$

Для піддонів річний оборот буде:

$$m_{p.п} = 220 \cdot 8 \cdot 2 \cdot 22 \cdot 12 = 133,9 \text{ кг} \approx 929280 \approx 930 \text{ т.}$$

Тоді площа складу V для них становитиме:

$$S_V = S_{п} = \frac{930 \cdot 22}{365 \cdot 1,2 \cdot 0,6} = 77,85 \text{ м}^2 \approx 78 \text{ м}^2.$$

За тим же принципом обчислимо масу продукту, який запаковується протягом року, прийнявши в середньому, що вміст однієї пляшки ємністю 1 л вміщає 1 кг рідини.

Для об'єму витрати рідкого продукту –  $V = 5 \text{ м}^3/\text{год}$  (див. п. 2.6), тобто 5000 кг/год отримаємо:

$$m_{p.прод} = 5000 \cdot 8 \cdot 2 \cdot 22 \cdot 12 = 21120 \cdot 10^3 \text{ кг} \approx 21120 \text{ т.}$$

Сумарну річну масу всіх вантажопотоків комплексу пакування знайдемо наступним чином:

$$\begin{aligned} m_{p.r.пр.} &= m_{p.преф} + m_{p.прод} + m_{p.кр} + m_{p.ет} + m_{p.ту.пл} + m_{p.ст.пл} + m_{p.п} = \\ &= 807 + 21120 + 61,2 + 55,8 + 112,4 + 5 + 930 = 23091 \text{ т} \end{aligned}$$

Розрахуємо площу складу VI готової продукції:

$$S_{VI} = S_{гп} = \frac{23091 \cdot 22}{365 \cdot 1,2 \cdot 0,6} = 1933 \text{ м}^2.$$

Зауважимо, що якщо підприємство має налагоджений ринок збуту, площу складу для зберігання готової продукції можна зменшити відповідно до рівня оптимального терміну зберігання  $t$ .

Загальна площа всіх приміщень технологічного комплексу, за винятком відділення підготовки продукту, яке не є об'єктом дослідження, складає:

$$S_{заг} = S_I + S_{II} + S_{III} + S_{IV} + S_V + S_{VI}$$

де  $S_I = S_{пак}$  – площа ділянки пакування, яка з врахуванням габаритних розмірів потокової лінії пакування та нормативних розмірів проходів до обладнання становить  $460 \text{ м}^2$

$$S_{заг} = 460 + 68 + 10 + 10 + 78 + 1933 = 2559 \text{ м}^2.$$

## РОЗДІЛ 4

### НАУКОВА ЧАСТИНА

#### 4.1 Теоретичне обґрунтування параметрів миття тари

В будь-яких лініях фасування харчових продуктів у готову тару важливе значення має гігієнічне очищення тари перед наповнення її продуктом.

Для уникнення ручної праці та автоматизації виробництва використовують машини для миття безперервної дії зі спеціальними носіями різної конструкції.

В процесі миття потрібно досягти фізичної та бактеріологічної чистоти пляшок. Ця мета досягається обробкою миючими засобами.

Основними факторами, які забезпечують високу якість миття тари є температура і концентрація миючих розчинів і води, тривалість миття; гідродинамічна дія струменю миючого розчину і води як при внутрішньому шприцюванні, так і при зовнішньому ополіскуванні поверхні тари.

Від якості миття тари залежить кінцева якість готової продукції. А якісне миття безпосередньо залежить від дотримання технологічних режимів обробки тари.

Розрахунки технологічного обладнання для миття тари перед наповнення її продуктом спрямовані, в основному, на визначення витрат води, пари (за потреби), енергії під час виконання цієї операції.

Миття струменем рідини для скляної оборотної тари ефективно лише за умови попереднього відмочування забруднень, в процесі якого вони піддаються фізико-хімічній дії гарячого миючого розчину. Для ПЕТ-тари менш жорсткі гігієнічні умови попереднього ополіскування, адже вона має мінімальний контакт з навколишнім середовищем після пресовидування у випадку для розробленого в цій роботі технологічного комплексу.

В цілому, ефективність миття скляної тари струменем залежить від:

- діаметру сопла;
- напору струменя на виході з сопла;
- секундної витрати миючої рідини;

- відстані від сопла до пляшки;
- форми сопла.

Зі зростанням кількості рідини, яка надходить в пляшку під час миття, інтенсивність процесу підвищується. Однак, допустима кількість поданої рідини залежить від внутрішнього діаметру горловини пляшки, адже під час миття струменем з тари повинно витікати стільки ж відпрацьованої рідини, скільки її туди надходить. Рідина, яка потрапляє в пляшку зі струменем через центр горловини, виводиться самотоком по внутрішній стінці поверхні горловини. У випадку подачі всередину тари надмірної кількості рідини стається «захливання» і процес миття струменем припиняється

Для нормального виконання процесу миття і запобігання зниженню його ефективності здійснюють відповідні проєктні розрахунки [20].

#### 4.2 Гідродинамічний розрахунок операції миття ПЕТ-пляшок

У складі технологічного комплексу операцію миття ПЕТ-пляшок виконує ополіскувальний модуль триблока CGF32-24-8.

Основною задачею ополіскувального модуля є видалення пилу з ПЕТ-пляшки безпосередньо перед її наповненням. Для цього застосовують фільтровану, питну або стерильну воду.

Якщо потрібна саме санітарна обробка пляшок, щоб не допустити мікробіологічного зараження продукту, використовуються спеціальні миючі розчини. Відповідно до санітарних нормативів це може бути пероцтова (пероксоцтова) кислота (РАА) або діоксид хлору ( $\text{ClO}_2$ ) у встановлених концентраціях.

Ополіскувальний модуль характеризується наступними конструктивними та технологічними параметрами:

1. Коефіцієнт витрат рідини при витіканні її з отвору –  $\mu = 0,6$ .
2. Густина миючого розчину –  $\rho = 1020 \text{ кг/м}^3$ .
- 3 Тиск подачі мийного розчину –  $p_1 = 2,3 \cdot 10^5, \text{ Па}$ .
4. Тиск миючого розчину перед форсункою –  $p_2 = 0,58 \cdot 10^5 \text{ Па}$ .

5. Кількість отворів на шприцювальних трубках для подачі миючого розчину –  $n_1 = 28$  шт.

6. Кількість отворів на опліскувальних трубках для подачі миючого розчину –  $n_2 = 36$  шт.

9. Кількість отворів на шприцювальних трубках для подачі води  
 $N_{\text{ш.тр.}} = 40$  шт.

10. Кількість отворів на ополіскувальних трубках для подачі води  
 $N_{\text{оп.тр.}} = 54$  шт.

Використавши значення цих параметрів можемо визначити:

1. Граничну витрату миючих рідин, що подається в тару при шприцюванні –  $W_{\text{max}}$ , м<sup>3</sup>/с.

2. Граничний діаметр сопла шприцювального пристрою –  $d_c$ , мм.

3. Граничний діаметр отвору ополіскувальної форсунки –  $d_\phi$ , мм.

4. Витрати миючого розчину і води для шприцювання і ополіскування пляшок  $W_{\text{м.р.}}$ , м<sup>3</sup>/с ;  $W_{\text{в.}}$ , м<sup>3</sup>/с.

Розрахунок:

1. Визначимо граничну кількість миючого розчину, яка подається в пляшку при шприцюванні:

$$W_{\text{max}} = 0,64 \cdot D^{1,63} = 0,64 \cdot 0,036^{1,63} = 0,0028 \frac{\text{м}^3}{\text{с}},$$

де  $D = 36$  мм – внутрішній діаметр горловини пляшки.

2. Визначаємо граничний діаметр сопла шприцювального механізму:

$$d_c = 1,1 \frac{D^{1,63}}{\mu \sqrt{2 \cdot \frac{p_1}{\rho}}} = 1,1 \frac{0,036^{1,63}}{0,6 \sqrt{2 \cdot \frac{2,3 \cdot 10^5}{1020}}} = 0,0029 \text{ м},$$

де  $\mu$  – коефіцієнт витрат рідини при витіканні її з отвору;

$p_1$  – тиск миючого розчину в шприцювальних трубках, Па;

$\rho$  – густина миючого розчину, кг/м<sup>3</sup>.

Приймаємо діаметр сопла шприцювального механізму  $d_c = 3$  мм.

3. Знайдемо граничний діаметр отвору ополіскувальної форсунки:

$$d_{\phi} = \sqrt{\frac{1,242 \cdot m_2}{\mu \sqrt{2 \cdot \frac{p_2}{\rho}}}} = \sqrt{\frac{1,242 \cdot 0,28 \cdot 10^{-5}}{0,6 \sqrt{2 \cdot \frac{0,58 \cdot 10^5}{1020}}}} = 0,00348 \text{ м,}$$

де  $m_2$  – кількість миючого розчину, необхідного для ополіскування зовнішньої поверхні пляшки, м<sup>3</sup>/с;

$p_2$  – тиск миючого розчину перед форсункою, Па.

Приймаємо діаметр отвору ополіскувальної форсунки  $d_{\phi} = 3,5$  мм.

4. Розрахуємо витрати миючих розчинів:

$$W_{\text{м.р.}} = \mu \cdot \frac{\pi \cdot d_c^2}{4} \cdot n_1 \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{p_1}{\rho}} + \mu \cdot \frac{\pi \cdot d_{\phi}^2}{4} \cdot n_2 \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{p_2}{\rho}},$$

де  $n_1$  – кількість отворів на шприцювальних трубках;

$n_2$  – кількість отворів на опліскувальних трубках;

Після підстановки числових значень отримаємо:

$$\begin{aligned} W_{\text{м.р.}} &= 0,6 \cdot \frac{3,14 \cdot 3^2}{4} \cdot 28 \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{2,3 \cdot 10^5}{1020}} + 0,6 \cdot \frac{3,14 \cdot 3,5^2}{4} \cdot 36 \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{0,58 \cdot 10^5}{1020}} \\ &= 0,26 \cdot 10^{-2} \frac{\text{м}^3}{\text{с}}. \end{aligned}$$

5. Визначаємо потужність насоса, що перекачує миючого розчину:

$$N_1 = \frac{10^{-3} \cdot W_{\text{м.р.}} \cdot p_1}{\eta_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{дв}}} = \frac{10^{-3} \cdot 0,26 \cdot 10^{-2} \cdot 2,3 \cdot 10^5}{0,5 \cdot 0,85} = 1,7 \text{ кВт,}$$

де  $p_1$  – тиск миючого розчину, Па;

$\eta_{\text{н}}$  – ККД насоса;

$\eta_{\text{дв}}$  – ККД двигуна.

6. Визначаємо витрати води на шприцювання і ополіскування пляшок:

$$W_{\text{в}} = \mu \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \left( d_c^2 \cdot N_{\text{ш.тр.}} \sqrt{2 \cdot \frac{p_1}{\rho}} + d_{\phi}^2 N_{\text{оп.тр.}} \sqrt{2 \cdot \frac{p_2}{\rho}} \right),$$

де  $N_{\text{ш.тр.}}$  – кількість отворів на шприцювальних трубках, шт;

$N_{\text{оп.тр.}}$  – кількість отворів на ополіскувальних трубках, шт.

Після підстановки значень отримаємо:

$$W_B = 0,6 \cdot \frac{3,14}{4} \cdot \left( 3^2 \cdot 40 \sqrt{2 \cdot \frac{2,3 \cdot 10^5}{1020}} + 3,5^2 \cdot 54 \sqrt{2 \cdot \frac{0,58 \cdot 10^5}{1020}} \right) =$$

$$= 0,31 \cdot 10^{-2} \frac{\text{м}^3}{\text{с}},$$

7. Потужність насосів, що перекачують воду визначимо за формулою:

$$N_2 = \frac{10^5 \cdot W_B \cdot p_1}{\eta_H \cdot \eta_{\text{дв}}} = \frac{10^5 \cdot 0,31 \cdot 10^{-2} \cdot 2,3 \cdot 10^5}{0,5 \cdot 0,85} = 2,3 \text{ кВт}$$

## РОЗДІЛ 5 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТА

### 5.1 Опис ідеї стартап-проєкту та SWOT-аналіз

Ідея стартап-проєкту полягає у створенні високотехнологічного комплексу для повного циклу пакування рідин у ПЕТ-пляшки – від формування тари до групового пакування готової продукції. Комплекс орієнтований на виробників напоїв, питної води, молочної продукції, технічних та побутових рідин, які прагнуть автоматизувати виробництво, знизити собівартість та підвищити стабільність якості.

До складу комплексу входить:

- пневмоформувальний автомат APF 6004 для виготовлення ПЕТ-пляшок з преформ методом пресовидування;
- орієнтувальний автомат ZS SP800 для правильного позиціонування тари;
- триблок CGF32-24-8 для ополіскування порожньої тари, наповнення її продуктом, закупорювання полімерними кришками;
- етикетувальний автомат NP-HGL для нанесення кругових ПВХ-етикеток за технологією Hot Melt;
- датувальний пристрій Videojet 37 для нанесення змінного маркування;
- автомат IND-Pack29 для групового пакування;
- засоби міжопераційної подачі виробів (пневмотранспортер, пластинчасті транспортери).

Комплекс пропонується як готове рішення з можливістю адаптації під потреби замовника. Стартап може працювати і як власне діюче виробництво, і як постачальник технологічних ліній і сервісних послуг.

SWOT-аналіз стартап-проєкту наведений у табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – SWOT-аналіз стартап-проєкту

<p><b>Сильні сторони (Strengths):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– повна автоматизація;</li> <li>– модульність;</li> <li>– гнучкість;</li> <li>– висока продуктивність;</li> <li>– зниження людського фактору завдяки автоматизованому регулюванню процесів;</li> <li>– відповідність міжнародним стандартам.</li> </ul>	<p><b>Слабкі сторони (Weaknesses):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– значні початкові інвестиції;</li> <li>– потреба у значних виробничих площах;</li> <li>– залежність від стабільного енергопостачання;</li> <li>– потреба у висококваліфікованому персоналі.</li> </ul>
<p><b>Можливості (Opportunities):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– зростання ринку фасованих напоїв;</li> <li>– впровадження нових технологій;</li> <li>– контрактне виробництво;</li> <li>– розширення асортименту.</li> </ul>	<p><b>Загрози (Threats):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– конкуренція з великими виробниками ліній;</li> <li>– коливання цін на сировину;</li> <li>– регуляторні обмеження</li> </ul>

## 5.2 Технологічний аналіз стартап-проєкту

Технологічний аудит [23] підтверджує доцільність обраного обладнання для створення безперервного виробничого циклу. APF 6004 забезпечує стабільну якість ПЕТ-пляшок різного об'єму з мінімальними відходами. Її пневмоформуванняльна система дозволяє працювати з високою точністю та енергоефективністю.

Орієнтувальний автомат ZS SP800 гарантує безперебійне подавання тари, що критично для синхронної роботи триблоку CGF32-24-8. Триблок є ключовим елементом комплексу, забезпечуючи гігієнічність процесу та високу швидкість наповнення з контролем точності наповнення для кожної пляшки.

Етикетувальний автомат NP-HGL підтримує різні типи етикеток і дозволяє швидко переналаштовувати лінію.

Videojet 37 забезпечує чітке та довговічне маркування, що відповідає вимогам простежуваності продукції.

IND-Pack 29 оптимізує логістику шляхом автоматизованого формування транспортних пакунків.

Загалом технологічна концепція є збалансованою, масштабованою та готовою до інтеграції в виробництво.

Виконаємо технологічний аналіз стартап-проєкту за критеріями, наведеними нижче (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 – Технологічний аналіз ідеї стартап-проєкту

Критерій	Аргументи для обґрунтування ідеї
Технологія реалізації	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Інтеграція послідовного автоматизованого виробничого циклу охоплює всі етапи пакування рідин у ПЕТ-тару.</li> <li>2. Ключовою особливістю є лінійно-модульна архітектура, у якій кожна одиниця обладнання виконує чітко визначену функцію та технологічно узгоджується з попереднім і наступним етапами технологічного процесу.</li> <li>3. Технологія реалізації відповідає промисловим стандартам харчової та пакувальної індустрії, забезпечує високу повторюваність процесів, мінімізацію ручної праці та стабільну якість кінцевого продукту.</li> </ol>
Наявність потрібної технології	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Всі ключові технічні рішення, закладені в основу стартап-проєкту, вже існують і успішно експлуатуються у промисловій практиці.</li> <li>2. На кожну одиницю обладнання існує технічна документація, сервісна та інженерна підтримка; успішний досвід промислової експлуатації завдяки серійному виробництву.</li> <li>3. Стартап-проєкт не потребує розробки принципово нових або експериментальних технологій, що суттєво знижує технічні ризики та спрощує впровадження.</li> </ol>

## Продовження таблиці 5.2

Доступність технології	<p>1. З економічної точки зору, обладнання належить до сегмента промислових машин середнього класу і є, в цілому, доступним.</p> <p>2. З технічної точки зору, технологія не потребує унікальної інфраструктури. Стандартні виробничі приміщення, електро- та пневмопостачання, типові системи водопідготовки та вентиляції є достатніми для запуску комплексу.</p> <p>3. З організаційної точки зору, на ринку наявні підготовлені інженерні кадри, сервісні компанії, навчальні програми від постачальників обладнання.</p>
------------------------	---

Отже, технологічний комплекс, розроблений в цій кваліфікаційній роботі, є доступним для впровадження у межах малого та середнього бізнесу, маючи разом з тим, потенціал для масштабування.

### 5.3 Розробка ринкової стратегії стартап-проекта

У межах даного стартап-проекту ринкове позиціонування технологічного комплексу для пакування напоїв у ПЕТ-пляшки здійснюється в B2B-сегменті (Business-to-Business), що передбачає взаємодію між суб'єктами господарювання, (наприклад, середні та малі виробництва продукції), а не з кінцевими споживачами продукції [24].

B2B-сегмент характеризується тим, що об'єктом купівлі-продажу виступають технологічні рішення та виробничі потужності, які використовуються підприємствами з метою забезпечення або оптимізації власних виробничих процесів. У даному випадку технологічний комплекс призначений для промислових виробників напоїв, питної води, молочної та інших рідких продуктів, які здійснюють фасування продукції у ПЕТ-тару в комерційних масштабах.

Особливістю B2B-ринку є те, що рішення про придбання технологічного комплексу приймається на основі економічної доцільності, технічної

ефективності та інвестиційної привабливості. Ключовими критеріями вибору виступають продуктивність обладнання, стабільність технологічного процесу, рівень автоматизації, можливість масштабування, відповідність санітарно-гігієнічним та технічним стандартам, а також показники окупності інвестицій.

Для B2B-сегменту також характерним є подовжений цикл продажу, що включає етапи техніко-економічного обґрунтування, порівняльного аналізу альтернативних рішень, тестування або демонстрації обладнання та погодження умов сервісного обслуговування. У зв'язку з цим стартап-проект орієнтується не лише на продаж обладнання, але й на надання комплексних послуг, зокрема інжинірингового супроводу, монтажу, навчання персоналу та післяпродажної технічної підтримки.

Таким чином, орієнтація стартап-проекту на B2B-сегмент є обґрунтованою з точки зору специфіки технологічного комплексу для пакування напоїв у ПЕТ-пляшки, оскільки саме підприємства-виробники формують цільову аудиторію, здатну забезпечити довгостроковий попит, стабільні контрактні відносини та економічну ефективність впровадження даного технологічного рішення.

## ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі виконано розробку технологічного комплексу пакування рідин у ПЕТ-пляшки, який передбачає реалізацію повного циклу виготовлення продукції – від виготовлення тари та підготовки її до пакування продукту до формування транспортної упаковки.

Обґрунтовано вибір пакувальних матеріалів для споживчої та транспортної упаковки, виконано відповідний розрахунок матеріальних потоків, які забезпечують неперервність роботи технологічного комплексу.

Розроблено технологічний процес пакування рідин з врахуванням основних та допоміжних операцій та підібрано потрібне за функціональним призначенням виробниче обладнання.

Результати проектування представлені у графічній частині кваліфікаційної роботи, яка містить: загальний вигляд технологічного комплексу; загальний вигляд основного пакувального автомату – триблока CGF32-24-8, який реалізує основні операції – фасування та закупорювання пляшок; кінематичну схему триблока CGF32-24-8.

У роботі також виконано розробку стартап-проекта. Детальний аналіз ідеї стартапа свідчить, що розроблений технологічний комплекс має високий потенціал до успішного впровадження, адже є високотехнологічним та придатним для пакування великого асортименту як харчової, так і нехарчової продукції у ПЕТ-тару різних форм та розмірів завдяки можливості гнучкого переналагодження усіх автоматів у складі лінії пакування під різноманітний асортимент продукції.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ILSI Europe Packaging Materials Task Force. *Packaging Materials: 1. Polyethylene Terephthalate (PET) for Food Packaging Applications*; ILSI Europe: Brussels, 2000. : веб-сайт. URL: [https://www.pac.gr/bcm/uploads/1-polyethylene-terephthalate-\(pet\)-for-food-packaging-applications.pdf](https://www.pac.gr/bcm/uploads/1-polyethylene-terephthalate-(pet)-for-food-packaging-applications.pdf) (дата звернення 15.10.2025 р.)
2. Соколенко А. І. Пакувальні матеріали та їх фізико-хімічні властивості : підручник / А. І. Соколенко, В. С. Костюк, К. В. Васильківський та ін. ; Нац. ун-т харч. технол. – Київ : Кондор, 2015. – 396 с.
3. Сирохман І. В. Товарознавство пакувальних товарів і тари: підручник [для студ. вищ. навч. закл.] / І. В. Сирохман, В. М. Завгородня. – Київ: Центр учбової літератури, 2009. — 616 с.
4. Левчук І. В. Безпечне використання упаковки з поліетилентерефталату (ПЕТ) при виробництві рослинних олій / І. В. Левчук, В. А. Кіщенко, М. І. Осейко, В. К. Тимченко, К. В. Куниця // *Східноєвропейський журнал передових технологій = Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2014. № 2/6(68). С. 28–33. DOI: 10.15587/1729-4061.2014.31662.
5. Сирохман І. В. Товарознавство пакувальних матеріалів і тари : підручник / І. В. Сирохман, В. М. Завгородня, В. Т. Лебединець. – Київ : Знання, 2014. – 543 с.
6. Наказ МОЗ України № 2104 від 11.12.2023 «Про затвердження Спеціальних вимог до пластикових матеріалів і предметів, призначених для контакту з харчовими продуктами» : веб-сайт. – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z2254-23> (дата звернення 18.10.2025 р.)
7. Zabolotnyi, O., Zaleta, O., Bozhko, T., Chetverzhuk, T., Machado, J. Algorithmization of Functional-Modular Design of Packaging Equipment Using the Optimization Synthesis Principles (2022) *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, pp. 143-154. DOI: 10.1007/978-3-031-09385-2\_13 / URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85134155126&origin=resultslist>

8. Zaleta O. M., Povstyanoy O. Yu., Ribeiro L. F., Redko R. G., Bozhko T. Ye., Chetverzhuk T. I. (2023). Automation of optimization synthesis for modular technological equipment. Journal of Engineering Sciences, Vol. 10(1), pp. A6-A14, doi: 10.21272/jes.2023.10(1).a2 / URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85161276566&origin=resultslist>

9. Гавва О. М. Функціонально-модульне компонування пакувальних машин: монографія / О. М. Гавва, Л. О. Кривопляс-Володіна, С. В. Токарчук та ін. – Київ : Сталь, 2015. – 547 с.

10. Пневмоформувальний автомат APF-6004: веб-сайт. – URL: <https://pet-eu.com/products/blow-molding-equipment/apf-6004/> (дата звернення 08.09.2025 р.)

11. Орієнтувальний автомат ZS-SP800: веб-сайт. – URL: <https://www.zonesun.com/products/zonesun-zs-sp800-automatic-bottle-unscrambler-for-production-line?srsId=AfmBOopgXNZuQ-Btlw-Z1YzspnENnKZvDqRKvSbT2foB-tUzmQbZkM9&> (дата звернення 08.09.2025 р.)

12. Триблок CGF32-24-8: веб-сайт. – URL: <https://sky-machine.en.made-in-china.com/product/OSvEksHoQRcZ/China-Three-in-One-Triblock-Automatic-Water-Pet-Bottled-Filling-Plant-CGF24-24-8-.html> (дата звернення 08.09.2025 р.)

13. Гавва О. М. Сертифікація, гігієнічне забезпечення та метрологічна атестація пакувального обладнання : навч. посіб. / О. М. Гавва, А. П. Беспалько, С. В. Токарчук ; МОН України, Нац. ун-т харч. технол. – Київ : НУХТ, 2014. – 268 с.

14. Етикетувальний автомат NP-HGL: веб-сайт. – URL: <https://www.npackpm.com/hot-melt-glue-labeling-machine> (дата звернення 12.09.2025 р.)

15. Датувальний пристрій Videojet 37: веб-сайт. – URL: [https://sllc.com/product/VideoJet-37-Plus-InkJet-Printer-A43712?srsId=AfmBOoqxmOKJaijA2i9gUxoMIg7V8XlyjXpHLd905r5GV\\_ICpwutiPmy](https://sllc.com/product/VideoJet-37-Plus-InkJet-Printer-A43712?srsId=AfmBOoqxmOKJaijA2i9gUxoMIg7V8XlyjXpHLd905r5GV_ICpwutiPmy) (дата звернення 18.09.2025 р.)

16. Автомат для групового пакування IND-Pack29: веб-сайт. – URL: <https://www.index-6.com/packing.php> (дата звернення 15.09.2025 р.)

17. Ляшук О. Л. Створення та модернізація транспортно-технологічних механізмів машин і обладнання [Електронний ресурс] : монографія / О. Л. Ляшук, Р. Б. Гевко, В. О. Дзюра [та ін.]. – Тернопіль : ТНТУ, 2019. – 167 с.

18. Пневмотранспортер ZONESUN ZS-JP1: веб-сайт. – URL: <https://www.zonesun.com/products/zonesun-automatic-zs-jp1-round-plastic-bottle-clamping-transfer-conveying-machine-for-production-line?srsId=AfmBOorYr4KGOYY-54ZOIf25BdJpoa9liDPWGGMvMJPzZD4I2T1Q1f9&utm> (дата звернення 08.09.2025 р.)

19. Гавва О. М., Системна інженерія пакувальних машин-автоматів : монографія / О. М. Гавва, Л. О. Кривопляс-Володіна, С. В. Токарчук, Л. В. Марцинкевич, О. О. Гавва. – Київ : Сталь, 2023. – 466 с.

20. Пальчевський Б. О., Крестьянполь О. А., Бондарчук Д. В. та ін. Розрахунок функціональних пристроїв пакувальних машин: навч. посібник / За ред. проф. Б. О. Пальчевського. – Луцьк : Вежа-Друк, 2014. – 264 с.

21. Гавва О.М. Пакувальне обладнання : підручник / О. М. Гавва, А. П. Беспалько, А. І. Волчко, О. О. Кохан. – Київ : ІАЦ «Упаковка», 2010. – 744 с

22. Основи проєктування пакувальних машин [Текст] : Методичні вказівки до практичних занять для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньо-професійної програми «Прикладна механіка» галузь знань 13 Механічна інженерія спеціальності 131 Прикладна механіка денної та заочної форм навчання / уклад. О. М. Залета. – Луцьк : Луцький НТУ, 2020. – 36 с.

23. Хігні, Джозеф Основи управління проектами [Електронний ресурс] / Джозеф Хігні ; пер. з англ. Я. Машико. – 5-те вид. – Харків : Фабула, 2020. – 272 с. – режим доступу: <http://elib.chdtu.edu.ua/e-books/4229>

24. Управління проектами: процеси планування проектних дій [Текст]: підручник / І.В. Чумаченко, В.В. Морозов, Н.В. Доценко, А.М. Чередниченко. – К.: КРОК, 2014. – 673 с.