

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»

Вдосконалення механізму завантаження скляних пляшок
на базі фасувально-закупорювального автомата Б2-ВРР/1
для пакування напоїв

спеціальність 131 Прикладна механіка
(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Прикладна механіка»
(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ІМмз-21
Гузоватий Вадим Вікторович

_____ (підпис)

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

_____ (підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
«__» _____ 20__ 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**

_____ Гузоватого Вадима
Вікторовича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Вдосконалення механізму завантаження скляних пляшок на базі фасувально-закупорювального автомата Б2-ВРР/1», 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 Технічна частина. 2 Технологічна частина. 3. Конструкторська частина. 4 Наукова частина. 5 Розробка стартап-проекта. Висновки. Список використаних джерел. Додатки

5. Перелік графічного матеріалу:

Загальний вигляд пакувального автомата Б2-ВРР/1 – 1 лист (ф. А1), кінематична схема автомата Б2-ВРР/1 – 1 лист (ф. А1), складальне креслення механізму завантаження пляшок – 1 лист (ф. А1), складальне креслення вдосконаленого механізму завантаження пляшок – 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.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № | Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи магістра | Термін виконання етапів виконання кваліфікаційної роботи магістра | Примітка |
|----|--|---|----------|
| 1. | <i>Технічна частина</i> | <i>20.09.2025 р.</i> | |
| 2. | <i>Технологічна частина</i> | <i>04.10.2025 р.</i> | |
| 3. | <i>Конструкторська 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

_____ **В. ГУЗОВАТИЙ**
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

_____ **О. ЗАЛІТА**
(підпис) (прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

Гузоватий В.В. Вдосконалення механізму завантаження скляних пляшок на базі фасувально-закупорювального автомата Б2-ВРР/1 для пакування напоїв. – Рукопис.

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

Робота присвячена вдосконаленню механізму завантаження скляних пляшок на базі фасувально-закупорювального автомата Б2-ВРР/1. Покращення конструкції реалізовано шляхом зміни складових елементів механізму. Також у роботі зроблено аналіз структури та принципу роботи автомата Б2-ВРР/1, виконано розрахунок приводу автомата та розрахунок параметрів операцій фасування продукту та закупорювання наповненої тари.

Ключові слова: пляшка, автомат, фасування, перевантаження, механізм.

ANNOTATION

Huzovatyy V.V. Improvement of the glass bottle loading mechanism based on the B2-BRR/1 filling and capping machine for beverage packaging. – Manuscript.

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

The work is dedicated to improving the glass bottle loading mechanism of the B2-VRR/1 filling-and-capping machine. The design enhancement is achieved by modifying the structural components of the mechanism. The study also includes an analysis of the structure and operating principle of the B2-VRR/1 machine, as well as the calculation of the machine drive and the operating parameters for the filling and capping of filled containers.

Keywords: bottle, machine, filling, overload, mechanism.

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| ВСТУП..... | 5 |
| 1 ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА..... | 7 |
| 1.1 Аналіз вихідних даних..... | 7 |
| 1.2 Огляд машин-аналогів..... | 8 |
| 1.3 Огляд механізмів міжопераційного переміщення скляної тари..... | 10 |
| 1.4 Постановка задачі для виконання кваліфікаційної роботи..... | 12 |
| 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА..... | 14 |
| 2.1 Аналіз пакувального матеріалу..... | 14 |
| 2.2 Аналіз споживчої упаковки..... | 15 |
| 2.3 Розробка технологічного процесу пакування..... | 20 |
| 2.4 Нормування операцій технологічного процесу пакування..... | 21 |
| 3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА..... | 23 |
| 3.1 Опис конструкції та роботи пакувального автомата Б2-ВРР/1 | 23 |
| 3.2 Проектування кінематичної схеми пакувального автомата Б2-ВРР/1.. | 25 |
| 3.3 Розрахунок продуктивності пакувального автомата Б2-ВРР/1 | 27 |
| 3.4 Опис конструкції та роботи механізму завантаження пляшок..... | 28 |
| 3.5 Опис конструкції та роботи модернізованого механізму завантаження пляшок..... | 29 |
| 3.6 Розрахунок параметрів приводу пакувального автомата Б2-ВРР/1... | 31 |
| 4 НАУКОВА ЧАСТИНА..... | 37 |
| 4.1 Розрахунок параметрів операції фасування продукту..... | 37 |
| 4.2 Розрахунок параметрів операції закупорювання тари..... | 42 |
| 5 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТА..... | 48 |
| 5.1 Опис ідеї стартап-проєкту та SWOT-аналіз..... | 48 |
| 5.2 Технологічний аудит ідеї стартап-проєкту..... | 49 |
| 5.3 Розробка ринкової стратегії стартап-проєкту..... | 51 |
| ВИСНОВКИ..... | 52 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... | 53 |
| ДОДАТКИ..... | 56 |

ВСТУП

Актуальність теми. Механізм завантаження скляних пляшок у складі фасувально-закупорювального автомата Б2-ВРР/1 забезпечує безперервну та стабільну подачу тари до основних робочих вузлів машини, збереження їх цілісності та точність операцій наповнення й закупорювання, а також відвід наповнених пляшок на конвеєр для подальших технологічних операцій. Його робота спрямована на правильне орієнтування тари в просторі та міжопераційне перевантаження та дозволяє підвищити продуктивність обладнання та мінімізувати вплив людини на ефективність процесу пакування.

Мета і завдання роботи. Метою магістерської кваліфікаційної роботи є аналіз структури і принципу роботи механізму завантаження скляних пляшок на базі фасувально-закупорювального автомата Б2-ВРР/1 для пакування напоїв з метою його вдосконалення.

Для досягнення поставленої мети потрібно виконати такі завдання:

- проаналізувати структуру та принцип функціонування механізму завантаження пляшок у складі автомата Б2-ВРР/1;
- виконати вдосконалення механізму завантаження пляшок.

Об'єкт дослідження – механізм завантаження скляних пляшок на базі фасувально-закупорювального автомата Б2-ВРР/1.

Предмет дослідження – конструкція і принцип роботи механізму завантаження скляних пляшок у складі автомата Б2-ВРР/1.

Методика дослідження. Загальні принципи технології машинобудування та автоматизації виробництв; методи підвищення ефективності вузлів технологічних машин.

Наукова новизна одержаних результатів. Запропоновано вдосконалення механізму завантаження скляних пляшок на базі фасувально-закупорювального автомата Б2-ВРР/1 шляхом зміни конструкції ділильного шнека та заміни елементів його приводу.

Практичне значення роботи. Оптимізація конструкції та принципу роботи завантажувального механізму дозволяє підвищити стійкість конструкції, зменшити ризик пошкодження тари та покращити надійність автомата Б2-ВРР/1.

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. Гузоватий В. Роль механізмів завантаження скляної тари у складі фасувальних машин та напрями їх вдосконалення // Тези V студентської науково-технічної конференції факультету транспорту та механічної інженерії «Інноваційні технології в транспорті та механічній інженерії». – Луцьк: ЛНТУ, – 2025р. – С. 181.

Структура та обсяг роботи. Магістерська робота складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг роботи – 55 сторінок, в тому числі – 10 рисунків, 7 таблиць, список використаних джерел з 20 найменувань та 3 додатки на 5 сторінках. Обсяг основного тексту магістерської роботи – 50 сторінок.

РОЗДІЛ 1

ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз вихідних даних

Автомат Б2-ВРР/1 (лист 1) призначений для фасування газованих напоїв (безалкогольних напоїв, мінеральних вод, пива) в пляшки, а також закупорювання їх кронен-корками.

Функціональною особливістю обладнання даного призначення є фасування напоїв по рівню надбарометричним методом [1, 2].

Принцип фасування рідин по рівню базується на наявності контрольної трубки (трубки рівня) всередині наповнювального клапана: коли рідина піднімається в пляшці й досягає краю цієї трубки, надлишок починає відводитись у зливний канал, після чого подача автоматично припиняється. Завдяки цьому кожна пляшка має однаковий рівень заповнення.

Надбарометричний метод фасування ґрунтується на тому, що тиск у пляшці вирівнюють з тиском рідини в витратному резервуарі, зазвичай подаючи вуглекислий газ (CO₂) у порожню тару, щоб видалити повітря та створити чисте газове середовище. Після герметичного з'єднання пляшки з наповнювальною головкою всередину подають CO₂ до тиску, що відповідає тиску продукту, й лише тоді відкривається клапан подачі рідини – напій рівномірно заповнює пляшку, а надлишковий газ виходить через вентиляційний канал, що запобігає спінюванню й втраті CO₂. Коли рівень досягає контрольної висоти, подача зупиняється, після чого тиск у пляшці плавно знижується, щоб не спричинити інтенсивне виділення газу.

Після наповнення на вінчик горловини пляшки подається кронен-корок з ущільнювальною прокладкою всередині. Пляшка фіксується на підйомному столику, після чого закупорювальний пристрій опускається і обтискає корону ковпачка навколо вінчика, формуючи герметичне змикання. Після завершення циклу головка піднімається у початкове положення

Додатково автомат оснащений завантажувально-розвантажувальними механізмами. Механізм завантаження представлений ділильним шнеком, який розміщує пляшки на однаковій відстані одна від одної, та завантажувальною зірочкою, яка переміщує пляшку на робочу позицію для фасування продукту. Іншими складовими завантажувально-розвантажувального механізму є проміжна зірочка, яка забезпечує передачу наповнених пляшок на закупорення, та вивантажувальна – повертає закупорену пляшку на конвеєр пакувальної лінії [3, 4].

1.2 Огляд машин-аналогів

Близьким аналогом до Б2-ВРР/1 за конструктивним рішенням та принципом роботи є машина ВРМ/1 (рис. 1.1) [1, 3]

Порядок її роботи полягає в наступному. Пляшки шнеком 18 подаються на завантажувальну зірочку 16, яка, в свою чергу, переміщує їх на підйомні столики фасувальної каруселі 5. Після підйому пляшки на столику у крайнє верхнє положення досягається герметизація у системі «пляшка – центрувальний пристрій – фасувальний пристрій». Розрідження у пляшці досягається після відкриття вакуумного клапана. Затим у пляшку починає надходити вуглекислий газ через газову трубку фасувального пристрою доти, поки тиск у пляшці не стане рівним тиску у витратному резервуарі 4. Під час подачі у пляшку продукту, вуглекислий газ витісняється у надрідинний простір у витратному резервуарі. Наповнення тари продуктом відбувається під час обертання фасувальної каруселі та завершується після протягом виконання нею одного оберту. Після цього пляшка знімається з каруселі проміжною зірочкою 15 та подається нею на закупорювальну карусель 8, де відбувається закупорювання пляшки кронен-корком. Закупорювальні засоби подаються з вібробункера 6 по пробкопроводу 7 до закупорювального пристрою 10, який герметизує пляшку обтискним способом. Після закупорення пляшка знімається з каруселі вивантажувальною зірочкою.

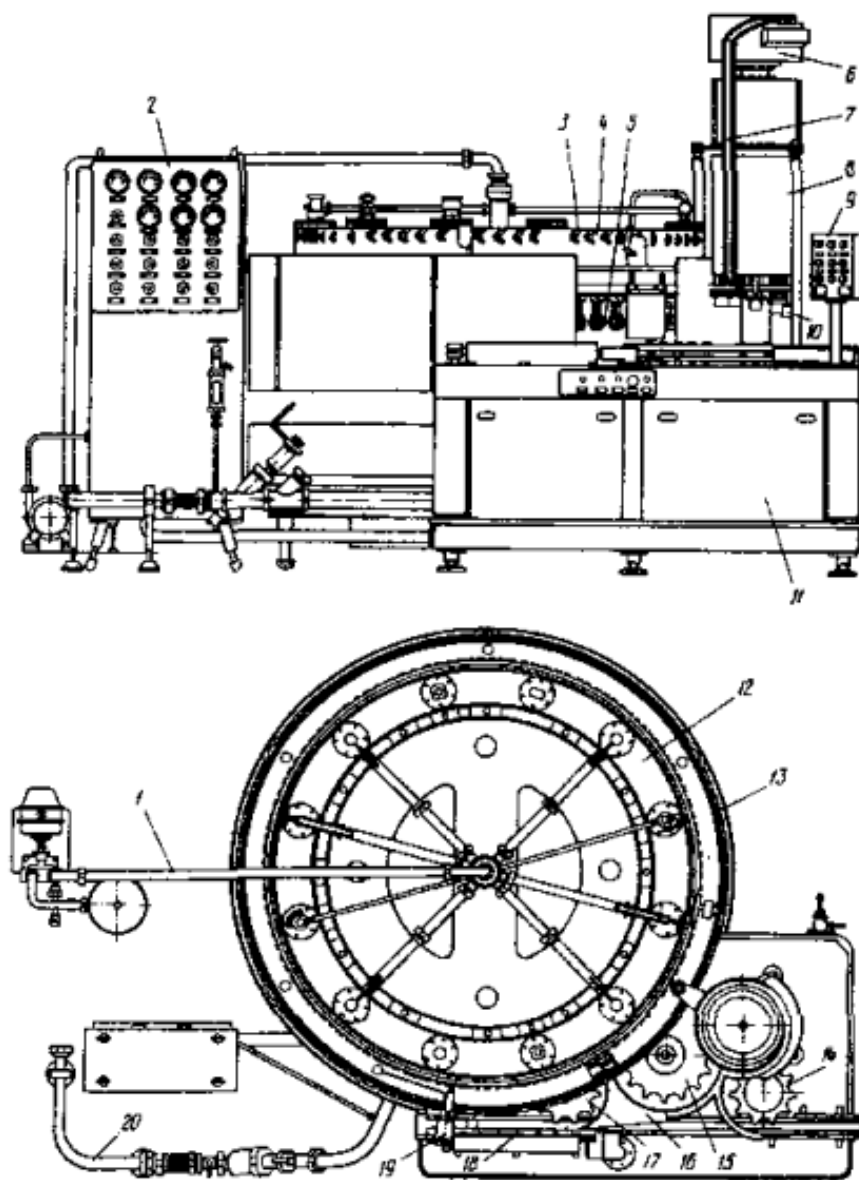


Рисунок 1.1 – Фасувально-закупорювальний агрегат ВРМ/1: 1 – система вакуумування; 2 – шафа, 3 – кулачок; 4 – витратний резервуар; 5 – фасувальна карусель; 6 – вібробункер; 7 – пробкопровід; 8 – закупорювальна карусель; 9 – пульт керування; 10 – закупорювальний пристрій; 11 – станина; 12 – фасувальна карусель; 13 – загородження; 14 – вивантажувальна зірочка; 15 – проміжна зірочка; 16 – механізм завантаження і розвантаження пляшок; 17 – завантажувальна зірочка; 18 – шнек; 19 – циліндр; 20 – трубопровід

Ще одним близьким аналогом є фасувально-закупорювальна машина ВМ.ПК (рис. 1.2). Загальна послідовність виконання технологічного процесу пакування є подібною до вищеписаних. Функціональною відмінністю даної машини є те, що вона здійснює фасування напоїв по об'єму, а не по рівню.

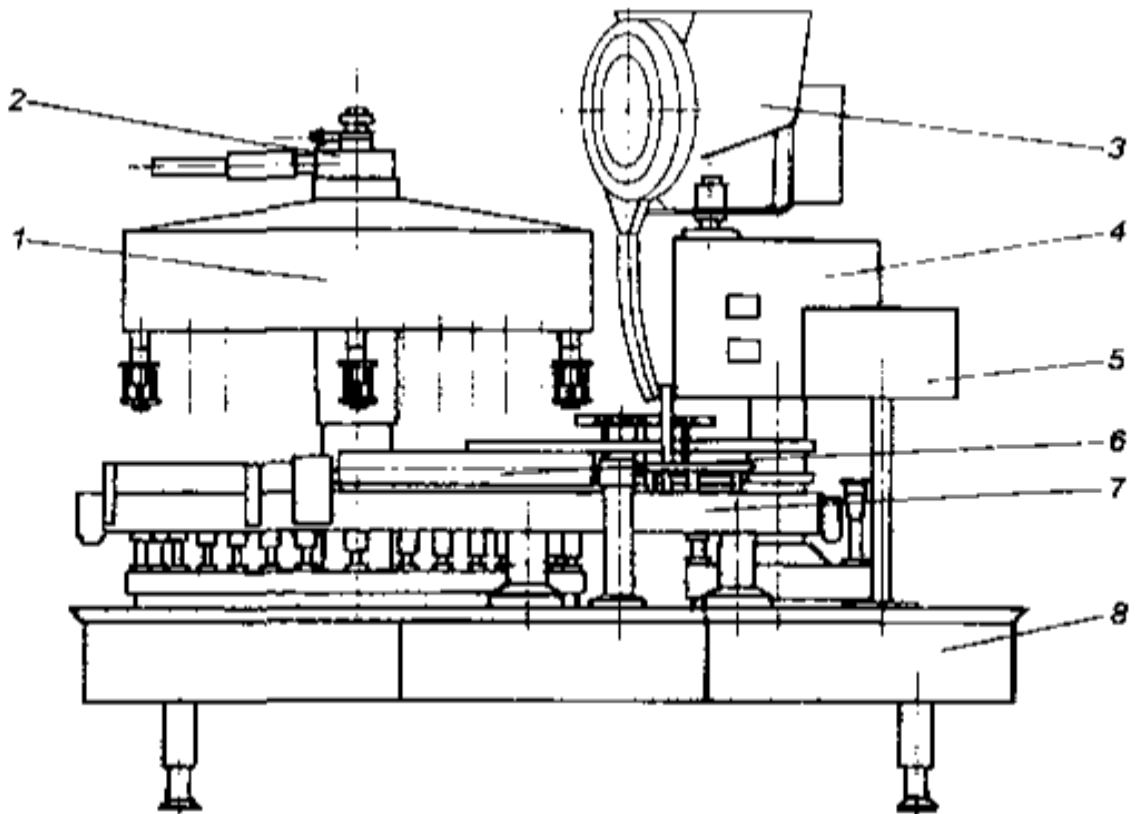


Рисунок 1.2 – Фасувально-закупорювальна машина ВМ.ПК:

- 1 – витратний резервуар; 2 – продуктопровід; 3 – бункер;
 4 – закупорювальний пристрій; 5 – пульт керування; 6 – ділильний шнек;
 7 – транспортер; 8 – станина

Альтернативним варіантом реалізації технологічного процесу пакування напоїв в скляні пляшки є виконання операцій фасування рідини і герметизації тари окремими одиницями обладнання.

Отже, процес пакування на описаних машинах-аналогах відбуваються за тим же принципом, що й на автоматі Б2-ВРР/1. Однаковою особливістю їх будови є, зокрема, й наявність одних і тих же механізмів, які виконують міжопераційне переміщення пляшок між робочими позиціями.

1.3 Огляд механізмів міжопераційного переміщення скляної тари

Механізми подачі та відводу скляної тари є невід'ємними елементами фасувальних ліній у харчовій, фармацевтичній та хімічній галузях. Вони забезпечують безперервність роботи обладнання, узгоджують міжопераційне переміщення тари у процесах дозування, закупорювання, етикетування, а також

виконують правильне орієнтування і позиціонування. Крім того вони мають гарантувати збереження цілісності як порожньої, так і наповненої тари під час транспортування між операціями.

Ефективність роботи обладнання значною мірою визначається конструктивними особливостями, принципом функціонування та техніко-геометричними параметрами цих механізмів.

За типом конструкції найчастіше використовуються такі механізми:

- карусельні (рис. 1.5, а);
- роторні (рис. 1.5, б);
- лінійні (рис. 15, в).

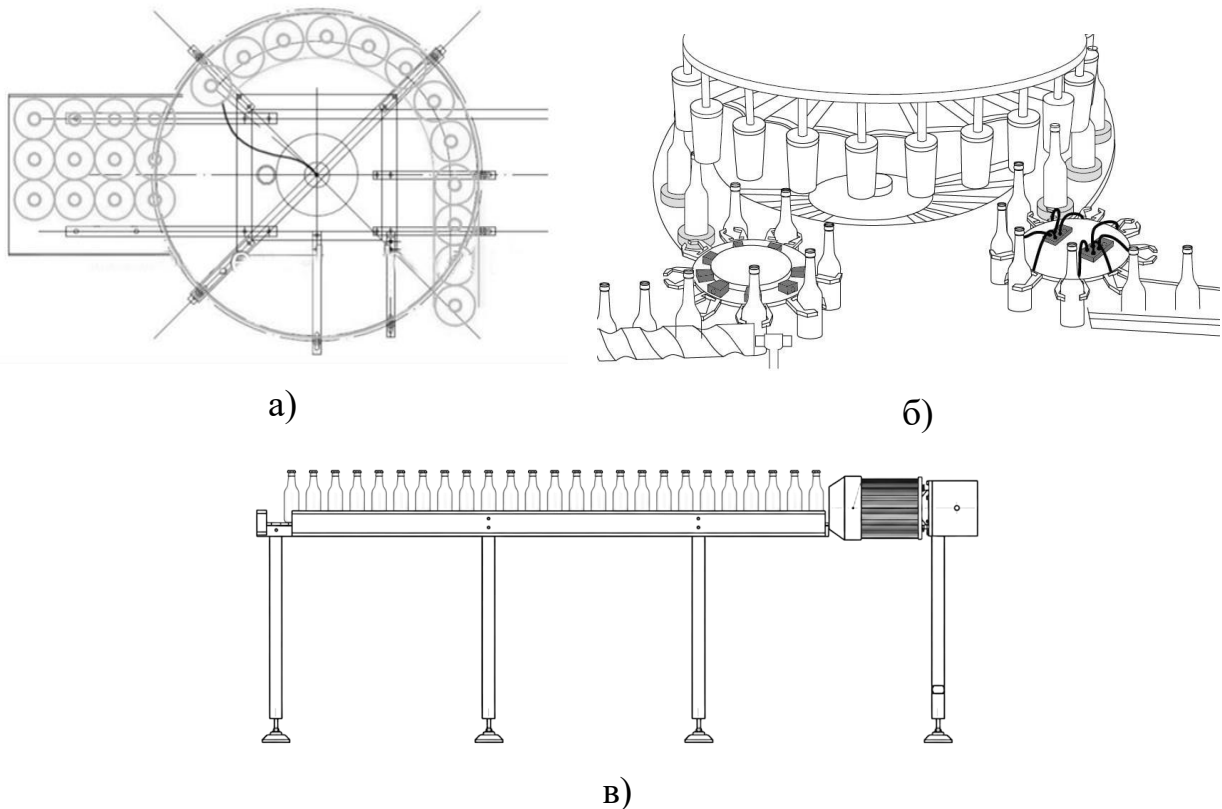


Рисунок 1. 5 – Типи механізмів міжопераційного переміщення скляної тари: а) карусельного типу; б) роторного типу; в) лінійного типу

За типом фіксації тари для її переміщення вони бувають:

- з пневматичними захоплювачами;
- з механічними захоплювачами.

У пакувальному обладнанні роторного типу використовуються роторні механізми операційного переміщення тари.

Переважає більшість завантажувально-розвантажувальних механізмів мають однакові недоліки: обмежена універсальність щодо різних форматів скляної тари, громіздка конструкція, велика маса та необхідність у точному виготовленні деталей та їх посадочних місць у станині, підвищені шум, вібрація та енергоспоживання, складність обслуговування, в тому числі – небезпека травмування через можливий склобій внаслідок заклинювання пляшок [4].

Серед перспектив розвитку даних механізмів можна виділити наступні:

- заміна кінематичних ланок для зменшення інерційних навантажень,
- автоматизований контроль положення тари;
- створення модульних універсальних конструкцій для швидкого перенастроювання на інший типорозмір упаковки;
- впровадження роботизованих маніпуляторів для точнішого позиціонування;
- використання полімерних або композитних матеріалів для полегшення рухомих елементів.

Прогнозованими результатами таких інженерних рішень є зростання продуктивності та покращення надійності пакувального обладнання для пакування рідин, зменшення частки браку тари через склобій, скорочення енергозатрат, зниження шумового та вібраційного навантаження [4-6].

1.4 Постановка задачі для виконання кваліфікаційної роботи

Для виконання даної кваліфікаційної магістерської роботи поставлені наступні задачі:

1. Проаналізувати вид споживчої тари для пакування продукції.
2. Визначити порядок виконання технологічного процесу пакування в дану упаковку та розробити його технологічну схему.
3. Проаналізувати конструкцію та принцип роботи автомата Б2-ВРР/1; розробити креслення загального вигляду.
4. Спроекувати та представити графічно кінематичну схему автомата Б2-ВРР/1.

5. Вдосконалити механізм завантаження пляшок для підвищення надійності конструкції. Розробити складальні креслення вузла до та після вдосконалення.

6. Виконати розрахунок параметрів приводу.

7. Виконати розрахунок параметрів технологічних операцій фасування продукту та закупорювання тари.

8. Розробити стартап-проект.

РОЗДІЛ 2

ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Аналіз пакувального матеріалу

Пакувальний матеріал – це матеріал, призначений для виготовлення тари, яка повинна захищати вміст упаковки від шкідливого впливу навколишнього середовища, втрат вмісту, різноманітних пошкоджень, мати привабливе естетичне оформлення. а також забезпечувати ефективне та зручне транспортування, реалізацію та споживання продукту, а окремих випадках – захищати навколишнє середовище від забруднення [7].

В даній кваліфікаційній роботі пакувальним матеріалом для виготовлення споживчої упаковки є скло.

Склом називається аморфне тіло, отримане шляхом охолодження розплаву, незалежно від хімічного складу та температурної точки твердіння. Внаслідок поступового підвищення в'язкості скло набуває властивостей твердих тіл. При цьому процес переходу з рідкого стану в склоподібний повинен бути зворотнім.

Для скла характерні технологічні властивості (в'язкість, кристалізаційна здатність, поверхневий натяг) та експлуатаційні (термічні, хімічні, оптичні та механічні) [8].

До загальних переваг упаковки зі скла можна віднести:

1. Стійкість матеріалу. Скло є довговічним, його природна міцність і жорсткість дозволяють йому утримувати значні об'єми продукту, що робить скляну тару одними з найбільш надійних пакувальних рішень, в тому числі для газовмісних напоїв. Стійкість до навантажень забезпечує можливість розливу продукту, закупорювання наповненої тари, в окремих випадках – вакуумування.
2. Перероблюваність. Щоб зменшити кількість відходів і знизити екологічний вплив на довкілля, багато споживачів та компаній переходять до використання скляної тари, оскільки скло є екологічно чистим, нескінченно

перероблюваним, придатним до повторного використання, що мінімізує кількість відходів та зберігає природні ресурси.

3. Непроникність для більшості речовин. Скло виступає захисним бар'єром від зовнішніх впливів, запобігаючи будь-яким небажаним змінам запаху, смаку чи складу продукту всередині. Це, зокрема, робить скло ідеальним пакувальним матеріалом для довготривалого зберігання ароматизованих та газованих напоїв.

4. Безпечність. Скло не містить речовин, які могли б мігрувати у продукт незалежно від його температури, що робить тару зі скла придатною для пакування щойно нагрітих продуктів, або охолоджених до низьких температур, а також для стерилізації в тарі.

5. Естетичність. Можливість скла забезпечувати упаковокці стильний рельєфний дизайн, набувати будь-якої форми, забарвлюватись у будь-який колір. Це надає виробнику безмежні можливості виділити свій бренд серед інших та бути впізнаваним на ринку [9].

Серед недоліків скла можна виділити крихкість та велику питому вагу. За останні роки маса скляних пляшок та банок значно зменшилася, проте транспортні витрати порівняно вищі, ніж для інших упаковок. Також скло є відносно дорогим матеріалом у порівнянні із полімерною чи комбінованою тарою [7-9].

2.2. Аналіз споживчої упаковки

Споживча тара – упаковка для безпосереднього продажу або для доставки покупцям (банки, коробки, футляри, пляшки тощо).

Скляною тарою прийнято називати групу скляного посуду, що призначена для фасування, транспортування, зберігання і використання під час споживання пакованої продукції [7].

Скляну тару класифікують за наступними ознаками:

- за призначенням;
- за розміром горловини;
- за забарвленням скла;

– за типом горловини;

За призначенням скляна тара поділяється на: пляшки та банки для харчових продуктів, пляшки і банки для побутової хімії, флакони для парфумерно-косметичної продукції, тара для лікарських засобів.

Скляну тару підрозділяють на вузькогорлу (внутрішній діаметр горловини становить до 30 мм) і широкогорлу (внутрішній діаметр горловини більше 30 мм).

Вузькогорла скляна тара, як правило, виготовляється із знебарвленого, напівбілого, або забарвленого світлозахисного (темно-зеленого, коричневого) скла. Для пляшок, виготовлених з безбарвного скла, допускаються слабкі кольорові відтінки: блакитний, зеленуватий, жовтуватий і сіруватий.

Широкогорла скляна тара виготовляється переважно із забарвленого, знебарвленого, або напівбілого скла.

Скляна тара випускається широкого асортименту і місткості. Для пакування харчових напоїв основне місце належить пляшкам [10-12].

Пляшка – це споживча тара, найчастіше циліндричної форми зі звуженою горловиною та з плоским або увігнутим дном.

Пляшки для харчових продуктів виготовляють великими партіями, якщо йдеться про стандартні серійні вироби. Часто вони є оборотними, тобто, багато разів проходять цикл використання: фасування, зберігання продукту, продаж товару, повернення тари на повторне використання.

У тарі повинні мають бути максимально використані стандартні елементи: вінчик, типові форми корпусу та дна.

Форма тари повинна забезпечувати легке вилучення з неї продукту. Небажаними різкі переходи, гострі кути чи виступи.

Пляшка повинна бути рівномірно видута, стійка у вертикальному положенні; мати правильну форму рівномірне скруглення від корпусу до дна.

Скло не повинно містити сколів, виступаючих швів у корпусі, видимих включень, відкритих бульбашок, гострих країв ззовні чи всередині вінчика. Включення, бульбашки, внутрішні тріщини та інші видимі дефекти знижують

твердість пляшки. За нормативами допускається не більше 2-х включень до одного міліметра по всьому об'єму скляного виробу.

Пляшки, як правило, виготовляються способом пресовидування. Цей метод видування забезпечує рівномірний розподіл скла у стінках пляшки. Ідеальна товщина стінки по всьому корпусу пляшки забезпечує практично повну відсутність «критичних» ділянок, що мінімізує склобій на лініях розливу продукції [13].

При конструюванні пляшки потрібно враховувати такі вимоги як: форма корпусу та горловини, розміри корпусу пляшки і вінчика горловини, повна місткість, номінальна місткість.

В загальному випадку об'єм тари визначають за розмірами і конфігурацією пакованого продукту, а також з врахуванням параметрів пакувального обладнання, що обслуговує технологічний процес.

Відповідно до ДСТУ ГОСТ 10117.2:2003 [14] обираємо пляшку типу Х – для фасування мінеральних вод, пива, безалкогольних напоїв з типом вінчика горловини КПНв (високий) під закупорення кронен-корком (рис. 2.1).

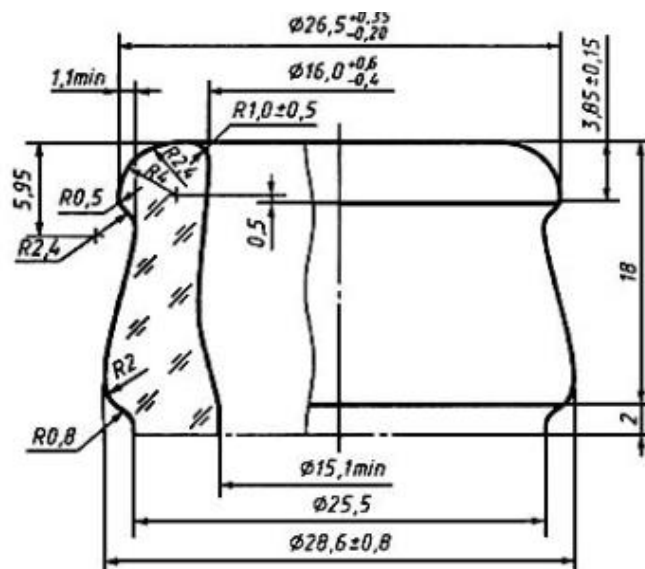


Рисунок 2.1 – Вінчик горловини типу КПНв

Пляшка типу Х з типом вінчика горловини КПНв представлена на рис. 2.2.

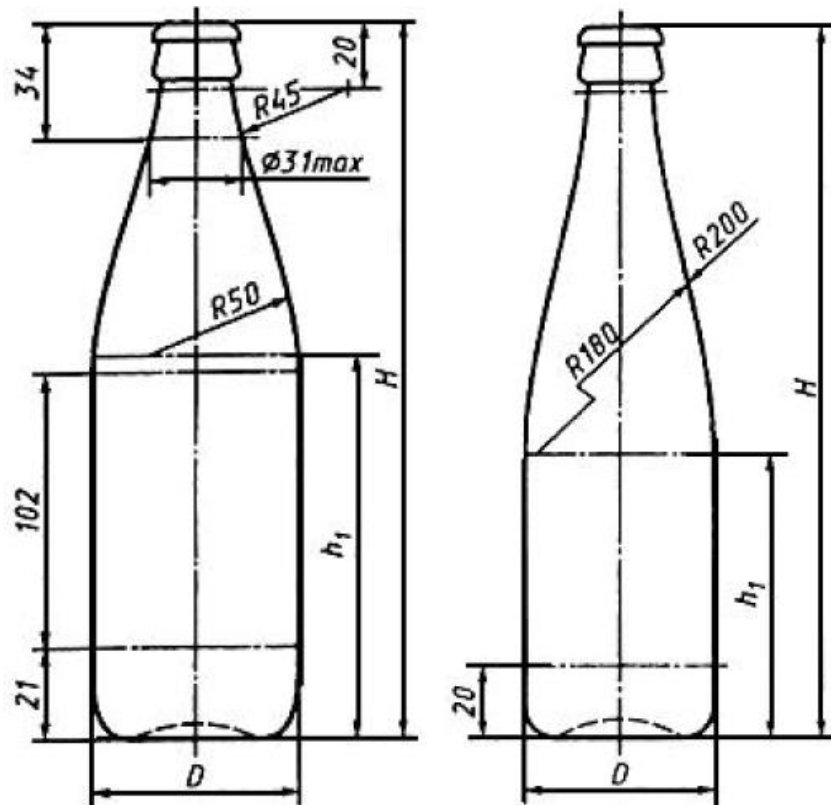


Рисунок 2.2 – Пляшка типу Х для газовмісних напоїв з типом вінчика КПНв під закупорення кронен-корком: а) з номінальною місткістю 500 мл; б) з номінальною місткістю 330 мл.

Для забезпечення оптимального зберігання продукту і нормальної роботи обладнання необхідно забезпечити наявність у пляшці демпферного об'єму (порожнього простору в тарі), що складає 8-10% від повного об'єму упаковки. Демпферний об'єм не передбачається лише в упаковці, внутрішній вміст якої знаходиться під вакуумом [7, 13].

Приймаємо для розрахунку повного об'єму тари пляшку з номінальною місткістю 0,5 л.

Для наближеного визначення повного об'єму пляшки скористаємося формулою для визначення об'єму тари циліндричної форми:

$$V = \pi r^2 H,$$

де r – радіус тари, мм;

H – висота тари, мм.

Умовно розділимо пляшку на дві частини – корпус і горловину, та визначимо об'єм кожної із них.

Об'єм корпусу (циліндричної частини) становитиме:

$$V1 = \pi R^2 h_1 ;$$

де R – радіус корпусу пляшки, мм;

h_1 – висота циліндричної частини корпусу пляшки, мм.

Об'єм горлової (конічної) частини:

$$V2 = \frac{1}{3} \pi r^2 h_2$$

де r – радіус основи горловини пляшки, мм;

h_2 – висота горловини пляшки, мм.

Приймаємо, що $R = 35$ мм, $r = R = 35$ мм, $h_1 = 132,5$ мм, $h_2 = 96$ мм.

Тож повний об'єм V визначимо як:

$$V = V1 + V2 = \pi R^2 h_1 + \frac{1}{3} \pi r^2 h_2 = \pi \left(R^2 h_1 + \frac{1}{3} r^2 h_2 \right) = 3,14 \left(35^2 \cdot 132,5 + \frac{1}{3} 35^2 \cdot 96 \right) \approx 630 \text{ мл} = 0,63 \text{ л.}$$

Після заповнення пляшок продуктом їх закупорюють. Закупорювальні засоби повинні забезпечувати герметичність пляшок, не надавати напою стороннього присмаку та запаху, бути стійкими до впливу хімічного складу напою, механічно стійким, легко зніматися.

Як зазначено вище, пляшки типу Х закупорюються кронен-корками (рис. 2.3). Даний закупорювальний засіб призначений для герметизації вузькогорлої тари з гладкою горловиною на вінчику.

Він виготовляється переважно із олово-вмісної жерсті – сталі, що покрита шаром олова для захисту від корозії. Альтернативним варіантом є холоднокатана сталь з лакованим покриттям, або алюміній.

Поверхня кронен-корка повинна бути гладкою, краї – заокругленні. На дні та краях не допускаються розриви та тріщини. Кроне-корки пофарбовані, як

правило, із зовнішньої сторони в різні кольори, що не тільки прикрашає упаковку, а й дозволяє розрізнити групи напоїв та виробників.

На внутрішній поверхні кронен-корка має бути присутня еластична полімерна прокладка, товщиною 1,5 мкм і діаметром 26,3 мм.

Вибір виду полімерного матеріалу, з якого виготовлена прокладка, залежить від виду пакованої продукції. Найпоширенішим матеріалом такої прокладки для пива, газованих напоїв, квасу є ПВХ-пластизоль (PVC plastisol), який забезпечує герметичність, еластичність і стійкість до тиску вуглекислого газу. Поліетиленова або поліпропіленова піна (PE/PP foam) як легкий, хімічно інертний варіант часто застосовується для безалкогольних і негазованих напоїв. Термопластичні еластомери (TPE) мають місце для продукції преміум-класу або при деяких екологічних рішеннях [7, 8].



Рисунок 2.3 – Кронен-корок: а) вид зверху; б) вид знизу

2.3 Розробка технологічного процесу пакування

Технологічний процес пакування газованих напоїв у скляні пляшки повинен передбачати виконання основних та допоміжних операцій, які забезпечують отримання виробу заданої якості.

Основними технологічними операціями процесу пакування газовмісних рідин у вузькогорлу скляну тару є [1-3]:

- подача (завантаження) чистих порожніх пляшок;
- подача продукту на фасування;
- фасування напоєм по рівню надбарометричним методом;
- перевантаження наповнених пляшок з фасувальної каруселі на закупорювальну;

- закупорювання пляшок кронен-корками;
- вивантаження наповнених загерметизованих пляшок з автомата.

Зв'язок між окремими функціональними вузлами, які реалізують технологічний процес, забезпечується завантажувально-розвантажувальними механізмами.

Технологічна схема процесу пакування напоїв в скляні пляшки зображена на рис. 2.4.



Рисунок 2.4 – Технологічна схема пакування напоїв в скляні пляшки

2.4 Нормування операцій технологічного процесу пакування

Розіб'ємо процес пакування рідин в скляні пляшки на окремі технологічні операції і визначимо тривалість виконання кожної з них з врахуванням продуктивності автомата Б2-ВРР/1 (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Операції технологічного процесу пакування рідин на автоматі Б2-ВРР/1

| № операції | Назва операції | Функціональний вузол | Допоміжні операції | Тривалість операції, сек |
|------------|--------------------|--|----------------------|--------------------------|
| 005 | Завантаження тари | Механізм завантаження пляшок (ділильний шнек та завантажувальна зірочка) | | 1,2 |
| 010 | Фасування продукту | Карусель, підйомні столики, фасувальні пристрої | | 18,7 |
| 015 | Перезавантаження | Проміжна зірочка | | 1,2 |
| 020 | Закупорювання | Закупорювальна карусель, обтискні патрони | Подача кронен-корків | 4,7 |
| 025 | Розвантаження тари | Розвантажувальна зірочка | | 1,2 |

РОЗДІЛ 3

КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Опис конструкції та роботи пакувального автомата Б2-ВРР/1

Автомат Б2-ВРР/1 (лист 1) складається з наступних основних вузлів:

- 1 – станина;
- 2 – витратний резервуар;
- 3 – фасувальні пристрої;
- 4 – фасувальна карусель;
- 5 – бункер;
- 6 – закупорювальний пристрій;
- 7 – закупорювальна карусель;
- 8 – механізм завантаження пляшок;
- 9 – проміжна зірочка;
- 10 – вивантажувальна зірочка;
- 11 – електрошафа;
- 12 – насос;
- 13 – система вакуумування;
- 14 – трубопровід;
- 15 – пульт керування.

Станина 1 призначена для закріплення на ній фасувальної каруселі 4 з підйомними столиками, витратного резервуару 2 з фасувальними пристроями 3 та сукупності завантажувального-розвантажувальних механізмів – ділильного шнека та завантажувальної зірочки у складі завантажувального механізму 8, проміжної 9 та вивантажувальної 10 зірочок.

Ділильний шнек виконує функцію розміщення попередньо підготовлених (порожніх чистих сухих) пляшок на конвеєрі на інтервал із потрібним кроком для правильного їх орієнтування перед подачею на фасування завантажувальною зірочкою.

Витратний резервуар 2 являє собою пустотілу ємність з приєднаними зовні трубопроводами 14 для подачі вуглекислого газу та рідкого продукту. В резервуарі встановлений поплавковий клапан, який забезпечує постійний рівень рідини та тиск газу в надрідинному просторі.

Фасувальні пристрої 3 в кількості 16 штук закріплені по колу витратного резервуара і призначені для виконання операції фасування рідини з витратного резервуара в тару. Дозування здійснюється за рівнем.

Фасувальна карусель 4 неперервно обертається. На ній закріплені підйомні столики, на яких фіксуються пляшки, подані завантажувальною зірочкою. Підйомний столик необхідний для переміщення пляшки під центруючий дзвіночок фасувального пристрою.

Після підйому пляшки в крайнє верхнє положення досягається герметизація. В фасувальному пристрої відкривається вакуумний клапан, внаслідок чого в пляшці створюється розрідження. Наступним етапом є відкриття газового клапана, через який вуглекислий газ починає надходити в пляшку доти, поки тиск в ній не стане рівним тиску в надрідинному просторі витратного резервуара. Після цього під дією пружини відкривається рідинний клапан, в результаті чого продукт зливається в пляшку через кільцевий зазор між горловиною та гумовим конусом. Завдяки наявності гумового конуса продукт стікає по стінках пляшки тонким шаром. Під час наповнення пляшки вуглекислий газ витискається через газову трубку в надрідинний простір резервуара.

У випадку розриву пляшки під дією внутрішнього тиску – рідинний та газовий клапани автоматично закриваються. У момент, коли рівень продукту в пляшці дістається до нижнього кінця газової трубки, фасування припиняється та наповнена пляшка виходить з-під центруючого пристрою.

Проміжна зірочка 9 забезпечує зйом пляшок з підйомних столиків фасувальної каруселі після завершення фасування та передачу їх на закупорювальну карусель 7.

У бункері 5 знаходяться кронен-корки, які подаються по коркопроводу, орієнтуючись дном догори, на наповнені пляшки для подальшого їх закупорення з допомогою закупорювального пристрою 6, яких на каруселі є 4.

Вивантажувальна зірочка 10 забезпечує видачу закупорених пляшок на конвеєр для подальших операцій.

В електрошафі 11 знаходяться запобіжники та індикатори, що показують поточний стан автомату. Керування роботою відбувається через пульт керування 15.

Насос 12 призначений для подачі продукту до витратного резервуару під контрольованим тиском.

Технічна характеристика автомата Б2-ВРР/1 подана у табл 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічна характеристика автомата Б2-ВРР/1

| | |
|---|---|
| Габаритні розміри: | |
| висота, мм | 2943 |
| довжина, мм | 6760 |
| ширина, мм | 4220 |
| Маса | 2810 |
| Продуктивність, пл./год | 4200 |
| Вид фасованого продукту | Мінеральна вода, пиво, солодкі газовані напої |
| Тара | Скляні пляшки типу Х |
| Місткість тари, л | 0,33; 0,5 |
| Кількість фасувальних пристроїв, шт | 16 |
| Кількість закупорювальних пристроїв, шт | 4 |
| Потужність, кВт | 2,98 |

3.2. Проектування кінематичної схеми пакувального автомата Б2-ВРР/1

Кінематична схема – це зв’язана послідовність кінематичних ланок, яка при передачі руху від його джерела енергії забезпечує всі необхідні рухи усіх основних і допоміжних органів при найменшій кількості джерел руху, передавальних механізмів, найпростішому контурі і раціональних зв’язках [15].

Кінематична схема автомата Б2-ВРР/1 представлена на листі 2. Привод автомата здійснюється від електродвигуна 1 через зубчасті колеса 2 і 3 та клинопасовий варіатор 4. Це дає змогу регулювати діапазон продуктивності автомата.

Обертовий момент через пружну 5 та фрикційну 6 муфти і черв'ячний редуктор 12 передається до спареного зубчастого колеса 13, від якого за допомогою зубчастих передач розподіляється на всі інші механізми автомата.

Механізм завантаження пляшок отримує рух від фасувальної каруселі через зубчасті передачі 20-18 (до завантажувальної зірочки), а потім 18-17, 16-14 і 14-15 (до ділильного шнека).

Вали 3, 6, 10, 23 виконують функцію стабілізації геометрії. Шайби, гайки, кришки підшипника слугують для осьової фіксації та захисту підшипникових вузлів. Завдяки цьому механізми не мають люфтів, працюють плавно, без вібрацій та зміщення відносно траєкторії переміщення пляшок.

Для передачі обертових моментів від валів 3, 6, 10, 23 до зубчастих коліс служать призматичні шпонки. Опорами усіх валів виступають кулькові радіальні 26 та упорно-радіальні підшипники 27.

Уся передавальна група закріплена на корпусних деталях і плитах, які утворюють жорстку раму. Це гарантує точне взаємне положення робочих органів автомата, валів та зубчастих коліс.

Виконаємо розрахунок частот обертання валів для кінематичної схеми автомата Б2-ВРР/1 [2, 15].

1. Для забезпечення продуктивності автомата $Q = 4200$ пл./хв частота обертання фасувальної каруселі має становити:

$$n_{\text{кар}} = \frac{Q}{q_{\text{фк}}} = \frac{4200}{16} = 262,5 \frac{\text{об}}{\text{год}} = 4,375 \approx 4,4 \frac{\text{об}}{\text{хв}},$$

де $q_{\text{фк}}$ – кількість робочих позицій (фасувальних пристроїв).

2. Частота обертання завантажувальної зірочки $n_{\text{зз}}$ становитиме:

$$n_{\text{зз}} = \frac{Q}{z_{\text{зз}}} = \frac{4200}{6} = 700 \frac{\text{об}}{\text{год}} = 11,666 \approx 11,7 \frac{\text{об}}{\text{хв}},$$

де $z_{зз}$ – кількість пазів, у яких одночасно перебувають пляшки, шт.

3. Частота обертання проміжної зірочки $n_{зз}$ відповідає частоті обертання завантажувальної зірочки, тобто :

$$n_{пз} = n_{зз} = \frac{Q}{z_{пз}} = \frac{4200}{6} = 700 \frac{\text{об}}{\text{год}} = 11,666 \approx 11,7 \frac{\text{об}}{\text{хв}},$$

де $z_{пз}$ – кількість пазів, у яких одночасно перебувають пляшки, шт.

4. Частоту обертання закупорювальної каруселі визначимо як:

$$n_{\text{кар}} = \frac{Q}{q_{зк}} = \frac{4200}{4} = 1050 \frac{\text{об}}{\text{год}} = 17,5 \frac{\text{об}}{\text{хв}},$$

де $q_{зк}$ – кількість робочих позицій (закупорювальних пристроїв).

5. Частота обертання розвантажувальної зірочки $n_{рз}$ становитиме:

$$n_{зз} = \frac{Q}{z_{рз}} = \frac{4200}{8} = 525 \frac{\text{об}}{\text{год}} = 8,75 \frac{\text{об}}{\text{хв}},$$

де $z_{рз}$ – кількість пазів, у яких одночасно перебувають пляшки, шт.

3.3 Розрахунок продуктивності пакувального автомата Б2-ВРР/1

Цикловою продуктивністю технологічної машини $Q_{ц}$ називають кількість продукції, що випускається за одиницю часу при безперебійній роботі обладнання, тобто при безперервному чергуванні циклів [2, 16, 17].

Циклову продуктивність пакувальної машини можемо визначити за наступною формулою:

$$Q_{ц} = \frac{1}{T};$$

де $Q_{ц}$ – циклова продуктивність пакувальної машини, шт./с;

T – тривалість робочого циклу пакування продукту, с.

Оскільки автомат Б2-ВРР/1 є технологічною машиною роторного типу, то для визначення циклової продуктивності скористаємось виразом:

$$Q_{ц} = \frac{1}{T} = q \cdot n;$$

де q – кількість робочих позицій у роторі фасувальної машини, шт.;
 n – частота обертання ротора, с^{-1} .

Отже, циклова продуктивність автомата становитиме:

$$Q_{\text{ц}} = n_{\text{кар}} \cdot q = 0,074 \cdot 16 = 1,18 \frac{\text{пл.}}{\text{с}} = 71 \frac{\text{пл.}}{\text{хв}} = 4260 \frac{\text{пл.}}{\text{год}}$$

Розрахуємо річну продуктивність:

$$Q_{\text{заг}} = Q_{\text{ц}} \cdot n_{\text{з}} \cdot t_{\text{з}} \cdot 365$$

де $Q_{\text{ц}}$ – годинна продуктивність, пл./год;
 $n_{\text{з}}$ – кількість змін роботи дільниці за добу (1 – 3);
 $t_{\text{з}}$ – тривалість робочої зміни (8 год.).

$$Q_{\text{заг}} = 4260 \cdot 2 \cdot 8 \cdot 365 = 24878400 \text{ пл./рік.}$$

Технічна продуктивність, що включає простоювання обладнання при відмовах, визначається з виразу:

$$Q_{\text{т}} = Q_{\text{ц}} \cdot K_{\text{Г}}$$

де $K_{\text{Г}}$ – коефіцієнт готовності пакувальної машини.

Якщо $K_{\text{Г}}=0,986$, то технічна продуктивність автомата Б2-ВРР/1 складе:

$$Q_{\text{т}} = 4260 \cdot 0,986 = 4200 \frac{\text{пл.}}{\text{год}}$$

3.4. Опис конструкції та роботи механізму завантаження пляшок

Механізм завантаження (лист 3) пляшок з конвеєра до фасувальної каруселі являє собою ділильний шнек 1 та завантажувальну зірочку 2, які зв'язані між собою зубчастими передачами. Система зубчастих коліс і валів забезпечує правильне обертання, стабільність та надійність протягом усього робочого циклу. Вони забезпечують синхронізацію роботи кожного робочого органа з іншими механізмами машини.

Від фасувальної каруселі обертання передається на завантажувальну зірочку через зубчасте колесо 11, закріплене на валу 23. На цьому ж валу обертається завантажувальна зірочка 2, з'єднана з ним через втулку 4.

Ділильний шнек розміщений у передній частині фасувально-закупорювальної машини та взаємодіє з безперервним потоком тари, забезпечуючи безперебійну подачу пляшок з необхідним покроковим інтервалом до завантажувальної зірочки. Потрапляючи між витки, пляшки переміщуються вперед із фіксованою швидкістю завдяки стабільній частоті обертання приводного вала.

Заміна шнека в даному випадку може бути виконана шляхом демонтажу лише його самого без зміни фіксації інших елементів конструкції.

3.5 Опис конструкції та роботи модернізованого механізму завантаження пляшок

Конструкція модернізованого вузла завантаження пляшок (лист 4) являє собою шнековий механізм подачі та орієнтування пляшок, встановлений на опорній колоні й оснащений приводом через конічний редуктор. Основним робочим елементом є шнек 2, який забезпечує поступову подачу пляшок і формує між ними потрібний інтервал. Шнек встановлений на лівій 4 та правій 5 осях, які передають обертання від приводу та забезпечують правильне центрування й жорсткість посадки.

Привідний рух подається на вузол через конічний редуктор 1, а далі крутний момент передається на систему зубчастих коліс 7, 8 та 9. Вони формують передатне число, узгоджене зі швидкістю машини, й забезпечують синхронізоване обертання шнека. Вони також дозволяють точно виставити фазу шнека відносно інших механізмів фасувальної машини, тобто таке кутове положення шнека відносно інших механізмів машини, при якому певний виток шнека повинен захопити пляшку або передати її на наступний робочий орган.

Шнек закріплений через маточину 11, що забезпечує співвісність і можливість точної фіксації. Шайба 10 блокує осьове зміщення деталей і

стабілізує положення механізму. У місцях, де вал контактує з корпусом або опорою, встановлена втулка 13, яка виконує роль підшипникової опори ковзання, зменшує тертя та підвищує ресурс роботи.

Уся конструкція закріплена на опорній колоні 12, яка забезпечує жорсткість та стабільність положення шнека в просторі. Опорна колона може мати механізм регулювання по висоті, що дає можливість адаптувати вузол під пляшки з різною висотою.

Під час роботи пляшки надходять у зону шнека та, потрапивши між його витки, просуваються вперед з одниковим інтервалом. Щоб пляшка на вході займала правильне положення й не перекидалася, передбачено центрувальний диск 14. Він вирівнює пляшки перед заходом у шнек, направляє їх у паз витка й запобігає перекосам або заклинюванню.

Конструкцією вузла передбачено можливість виконувати механічні переналаштування через руків'я 3, а саме – фіксація положення шнека та регулювання відстані.

Менша кількість пазів шнека у модернізованому варіанті забезпечує більш плавне захоплення пляшок у паз, зменшує ризик заклинювання, знижує знос [5, 6].

Таким чином, основними перевагами вдосконаленого вузла завантаження пляшок у порівнянні із початковим варіантом є: можливість регулювання по висоті, що підвищує універсальність відносно типорозмірів тари; заміна системи зубчастих коліс на редуктор забезпечує плавний та рівномірний рух без різких перепадів; система кріплення в цілому дозволяє уникнути ривків, зміщення синхронізації, нерівномірної подачі пляшок, тобто підвищує надійність обладнання та знижує кількість склобою [4].

3.6. Розрахунок параметрів приводу пакувального автомата Б2-ВРР/1

Визначимо робочі органи, на привід яких витрачається електроенергія. Для автомата Б2-ВРР/1 один двигун обслуговує два роторних вузла неперервної дії: фасувальної каруселі та закупорювальної каруселі. Також від нього приводяться в рух завантажувально-розвантажувальні механізми.

Виконаємо розрахунок потужності приводу машини.

Початкові дані:

$q_{\text{фк}} = 16$ – кількість позицій фасувальної каруселі;

$q_{\text{зк}} = 4$ – кількість позицій закупорювальної каруселі;

$M_{\text{фк}} = 1820$ кг – маса фасувальної каруселі з витратним резервуаром;

$M_{\text{зк}} = 650$ кг – маса закупорювальної каруселі;

$Q = 4200$ пл/год. – продуктивність автомата Б2-ВРР/1;

$m_{\text{зз}} = m_{\text{пз}} = 2,4$ кг – маса завантажувальної і проміжної зірочки;

Кількість пазів завантажувальної та проміжної зірочки – 8;

$m_{\text{рз}} = 1,8$ кг – маса розвантажувальної зірочки.

Кількість пазів розвантажувальної зірочки – 12;

$D_{\text{зз}} = D_{\text{пз}} = 0,540$ м – діаметр завантажувальної та проміжної зірочки;

$D_{\text{рз}} = 0,450$ м – діаметр розвантажувальної зірочки;

Виріб – скляна пляшка масою – 0,33 кг з номінальною місткістю 0,5 л.

Порядок розрахунку [2]:

1. Визначимо потужність, яка необхідна для обертання фасувальної каруселі.

Визначимо кутову швидкість $\omega_{\text{фк}}$ обертання каруселі:

$$\omega_{\text{фк}} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{Q}{q_{\text{фк}}} = 2 \cdot 3,14 \cdot \frac{4200}{16} = 1648,5 \text{ год}^{-1} = 0,457 \text{ с}^{-1}$$

Визначимо діаметр каруселі по центрах фасувальних пристроїв:

$$D_{\text{фк}} = \frac{m_{\text{фк}} \cdot q_{\text{фк}}}{\pi} = \frac{480 \cdot 16}{3,14} = 2445 \text{ мм} \approx 2,45 \text{ м}$$

де $m_{\text{фк}}$ – модуль фасувальної каруселі, який визначається відстанню між центрами сусідніх фасувальних пристроїв;

$q_{\text{фк}}$ – кількість позицій фасувальної каруселі, шт.

Визначаємо момент опору обертанню (статистичний момент) каруселі $M_{\text{фк}}$:

$$M_{\text{фк}} = \pi \cdot f \cdot D_{\text{к}} \cdot (G_{\text{фк}} + G_{\text{вир}}) = 3,14 \cdot 0,02 \cdot 2,45 \cdot (17836 + 89,6) = 2728 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

де f – коефіцієнт тертя в радіальному підшипнику;

$$G_{\text{фк}} = M_{\text{фк}} \cdot 9,8 = 1820 \cdot 9,8 = 17836 \text{ Н} \text{ – вага фасувальної каруселі;}$$

$G_{\text{вир}} = 3,2 \cdot 8 + 8 \cdot 8 = 89,6$ – усереднена загальна вага виробів (порожніх та наповнених пляшок), які одночасно перебувають на каруселі.

Визначимо приведену до вала потужність N_1 , що витрачається на обертання фасувальної каруселі (без врахування механізмів завантаження і вивантаження):

$$N_1 = \frac{M_{\text{фк}} \cdot \omega_{\text{к}}}{1000 \cdot \eta_1} = \frac{2758 \cdot 0,457}{1000 \cdot 0,6} = 2,1 \text{ кВт,}$$

де η_1 – загальний ККД кінематичного ланцюга.

$$\eta_1 = \eta_{\text{п}} \cdot \eta_{\text{ч}} \cdot \eta_{\text{п.к.}}^4 = 0,96 \cdot 0,75 \cdot 0,99^4 = 0,6,$$

де $\eta_{\text{п}} = 0,96$ – ККД пасової передачі;

$$\eta_{\text{ч}} = 0,75 \text{ – ККД черв'ячної передачі;}$$

$$\eta_{\text{п.к.}} = 0,99 \text{ – ККД підшипника кочення;}$$

2. Виконаємо розрахунок потужності, потрібної для приводу завантажувальної зірочки.

Для цього розрахуємо максимальний момент опору зірочки:

$$M_{\text{зз}} = (z_{\text{зз}} \cdot G_{\text{п.пл}} + G_{\text{зз}}) \cdot f_{\text{т}} \frac{D_{\text{зз}}}{2} = (6 \cdot 3,2 + 23,52) \cdot 0,2 \frac{0,54}{2} = 2,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

де $z_{\text{зз}} = 6$ – кількість пляшок, які одночасно переміщуються зірочкою, шт;

$$G_{\text{зз}} = 2,4 \cdot 9,8 = 23,52 \text{ Н – вага завантажувальної зірочки;}$$

$$G_{\text{п.пл}} = 0,33 \cdot 9,8 = 3,2 \text{ Н – вага порожньої пляшки;}$$

$f_{\text{т}}$ – коефіцієнт тертя ковзання між поверхнею опорної площини і дном пляшки, $f_{\text{т}} = 0,2$.

Кутову швидкість зірочки визначаємо за наступною формулою:

$$\omega_{зз} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{Q}{z} = 2 \cdot 3,14 \cdot \frac{4200}{8} = 3297 \text{ год}^{-1} = 0,92 \text{ с}^{-1}$$

де $z = 8$ – кількість пазів завантажувальної зірочки, шт.

Таким чином, приведена потужність N_2 , необхідна для приводу завантажувальної зірочки становитиме:

$$N_2 = \frac{M_{зз} \cdot \omega_{зз}}{1000 \cdot \eta_2} = \frac{2,3 \cdot 0,92}{1000 \cdot 0,6} = 0,0035 \text{ кВт},$$

де $\eta_2 = \eta_1 = 0,6$ – загальний ККД кінематичного ланцюга.

3. Виконаємо розрахунок потужності, потрібної для приводу проміжної зірочки.

Розрахуємо максимальний момент опору зірочки:

$$M_{пз} = (z_{пз} \cdot G_{н.пл} + G_{пз}) \cdot f_t \frac{D_{пз}}{2} = (6 \cdot 8 + 23,52) \cdot 0,2 \frac{0,54}{2} = 3,9 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

де $z_{пз} = 6$ – кількість пляшок, які одночасно переміщуються зірочкою, шт;

$G_{пз} = 2,4 \cdot 9,8 = 23,52 \text{ Н}$ – вага проміжної зірочки;

$G_{н.пл} = 0,83 \cdot 9,8 = 8 \text{ Н}$ – вага наповненої продуктом пляшки;

f_t – коефіцієнт тертя ковзання між поверхнею опорної площини і дном пляшки, $f_m = 0,3$.

Кутову швидкість проміжної зірочки знайдемо за виразом:

$$\omega_{пз} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{Q}{z} = 2 \cdot 3,14 \cdot \frac{4200}{8} = 3297 \text{ год}^{-1} = 0,92 \text{ с}^{-1}$$

де $z = 8$ – кількість пазів проміжної зірочки, шт.

Таким чином, приведена потужність N_3 , потрібна для приводу проміжної зірочки становитиме:

$$N_3 = \frac{M_{пз} \cdot \omega_{пз}}{1000 \cdot \eta_2} = \frac{3,9 \cdot 0,92}{1000 \cdot 0,6} = 0,0022 \text{ кВт}$$

де $\eta_3 = \eta_2 = \eta_1 = 0,6$ – загальний ККД кінематичного ланцюга.

4. Визначимо потужність, необхідну для обертання закупорювальної каруселі.

Визначимо кутову швидкість $\omega_{зк}$ обертання каруселі:

$$\omega_{зк} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{Q}{q_{зк}} = 2 \cdot 3,14 \cdot \frac{4200}{4} = 6594 \text{ год}^{-1} = 1,83 \text{ с}^{-1}.$$

Визначимо діаметр каруселі по центрах закупорювальних пристроїв:

$$D_{зк} = \frac{m \cdot q_2}{\pi} = \frac{565 \cdot 4}{3,14} = 720 \text{ мм} \approx 0,72 \text{ м},$$

де $m_{зк}$ – модуль закупорювальної каруселі, який визначається відстанню між центрами сусідніх закупорювальних пристроїв;

$q_{зк}$ – кількість позицій закупорювальної каруселі, шт.

Визначаємо момент опору обертанню (статистичний момент) каруселі $M_{зк}$:

$$\begin{aligned} M_{зк} &= \pi \cdot f \cdot D_{к} \cdot (G_{зк} + G_{н.пл} \cdot q_2) = 3,14 \cdot 0,02 \cdot 0,72 \cdot (6370 + 8 \cdot 4) \\ &= 289 \text{ Н} \cdot \text{м}, \end{aligned}$$

де f – коефіцієнт тертя в радіальному підшипнику;

$G_{зк} = M_{зк} \cdot 9,8 = 650 \cdot 9,8 = 6370 \text{ Н}$ – вага закупорювальної каруселі.

Визначимо потужність N_4 , що витрачається на обертання каруселі (без врахування механізмів завантаження і вивантаження):

$$N_4 = \frac{M_{зк} \cdot \omega_{зк}}{1000 \cdot \eta_4} = \frac{289 \cdot 1,83}{1000 \cdot 0,6} = 0,88 \text{ кВт},$$

де $\eta_4 = \eta_3 = \eta_2 = \eta_1 = 0,6$ – загальний ККД кінематичного ланцюга.

5. Розрахуємо потужність, необхідну для приводу розвантажувальної зірочки.

Для цього знайдемо максимальний технологічний момент опору зірочки:

$$M_{рз} = (z_{рз} \cdot G_{з.пл} + G_{рз}) \cdot f_t \frac{D_{рз}}{2} = (8 \cdot 8,05 + 17,64) \cdot 0,2 \frac{0,45}{2} = 3,7 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

де $z_{рз} = 8$ – кількість пляшок, які одночасно контактують з зірочкою, шт;

$G_{з.пл} = 0,822 \cdot 9,8 = 8,05 \text{ Н}$ – вага наповненої продуктом пляшки, закупореної кронен-корком.

$G_{рз} = 1,8 \cdot 9,8 = 17,64 \text{ Н}$ – вага розвантажувальної зірочки;

Кутову швидкість розвантажувальної зірочки визначаємо за формулою:

$$\omega_{рз} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{Q}{z} = 2 \cdot 3,14 \cdot \frac{4200}{12} = 2198 \text{ год}^{-1} = 0,61 \text{ с}^{-1},$$

де $z = 12$ – кількість пазів розвантажувальної зірочки, шт.

Таким чином, приведена потужність N_5 , необхідна для приводу розвантажувальної зірочки становитиме:

$$N_5 = \frac{M_{pz} \cdot \omega_{pz}}{1000 \cdot \eta_5} = \frac{3,7 \cdot 0,61}{1000 \cdot 0,6} = 0,0037 \text{ кВт},$$

де $\eta_5 = \eta_4 = \eta_3 = \eta_2 = \eta_1 = 0,6$ – загальний ККД кінематичного ланцюга.

6. Розрахуємо потужність, необхідну для приводу ділильного шнека.

Знайдемо силу технологічного опору шнека:

$$P_{\text{шн}} = a \cdot G_{\text{пл}} \cdot f_t = 4 \cdot 3,2 \cdot 0,2 = 2,56 \text{ Н},$$

де a – кількість пляшок, які одночасно переміщуються ділильним шнеком;

$G_{\text{пл}} = 3,2 \text{ Н}$ – вага порожньої пляшки.

Максимальна швидкість переміщення пляшок шнеком:

$$v_{\text{шн}} = \frac{t \cdot n_{\text{шн}}}{60} = \frac{0,05 \cdot 70}{60} = 0,058 \text{ м/с}$$

де t – крок шнека.

Знайдемо частоту обертання шнека $n_{\text{шн}}$, прийнявши, що за один оберт шнек подає одну пляшку, тобто $q_{\text{шн}} = 1$:

$$n_{\text{шн}} = \frac{Q}{60 \cdot q_{\text{шн}}} = \frac{4200}{60 \cdot 1} = 70 \text{ об/хв.}$$

Отже, приведена потужність N_6 , яка затрачається на привод ділильного шнека, становитиме:

$$N_6 = \frac{P_{\text{шн}} \cdot v_{\text{шн}}}{1000 \cdot \eta_6} = \frac{2,56 \cdot 0,058}{1000 \cdot 0,5} = 0,0003 \text{ кВт}$$

де $\eta_6 = 0,5$ – загальний ККД кінематичного ланцюга до ділильного шнека.

7. З врахуванням знайдених значень потужності приводу окремих вузлів фасувально-закупорювальної машини визначимо необхідна потужність двигуна:

$$\begin{aligned} N &= N_1 + N_2 + N_3 + N_4 + N_5 + N_6 = \\ &= 2,1 + 0,0035 + 0,0022 + 0,88 + 0,0037 + 0,0003 = 2,98 \text{ кВт} \end{aligned}$$

За розрахованою потужністю приводу вибираємо електродвигун ТЕНТОР ІЕЗ MS 100L2-4 за ДСТУ EN 60034-1:2016 [18].

Характеристики вибраного електродвигуна:

– номінальна потужність двигуна $N_{\text{д.ном}} = 3 \text{ кВт}$;

- синхронна частота обертання $n_c = 1500 \text{ хв}^{-1}$;
- номінальна частота обертання ротора $n_{д.ном} = 1450 \text{ хв}^{-1}$.

8. Перевіримо вибраний електродвигун на пусковий момент.

$$M_{д.пус} = K_{пм} \cdot \frac{N_{д.ном}}{\omega_{д.ном}} = 2 \cdot \frac{3000 \cdot 30}{3,14 \cdot 1450} = 39,5 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

де $K_{пм} = \frac{M_{д.пус}}{M_{д.ном}} = 2$ – кратність пускового моменту.

Визначаємо момент сил опору при зрушенні з місця, приведений до вала двигуна:

$$M_{оп} = \frac{M_{max}}{U_0} \cdot \frac{f_0}{f} = \frac{3057}{330} \cdot 2,5 = 23 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

де M_{max} . – максимальний сумарний момент опору механізму,

$$M_{max.} = M_{фк} + M_{зз} + M_{пз} + M_{зк} + M_{рз} = 2758 + 2,3 + 3,9 + 289 + 3,7 = \\ = 3057 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

U_0 – загальне передавальне число кінематичного ланцюга;

$$U_0 = \frac{n_{д.ном}}{n_{фк}} = \frac{1450}{4,4} = 330$$

$\frac{f_0}{f} = 2,5$ – відношення коефіцієнтів тертя спокою і тертя руху.

Порівняємо отриманий пусковий момент $M_{д.пус}$ двигуна з моментом $M_{оп}$ сил опору механізмів автомата.

Оскільки $M_{д.пус} = 40 > M_{оп} = 23$, то вибраний двигун придатний для виконання необхідних функцій автомата Б2-ВРР/1.

РОЗДІЛ 4

НАУКОВА ЧАСТИНА

4.1 Розрахунок параметрів операції фасування продукту

Визначимо теоретичний коефіцієнт витрати фасувального пристрою відповідно до методики, наведеної у [2].

Тривалість наповнення тари рідиною при фасуванні за рівнем розраховується із рівняння:

$$\tau = \frac{W}{\mu \omega \sqrt{\frac{2\delta P}{\rho} - H}},$$

де μ – коефіцієнт витрати зливного тракту фасувального пристрою;

ω – площа отвору витікання рідини;

H – відстань від отвору витікання до вільної поверхні рідини.

Коефіцієнт витрати фасувального пристрою визначається за формулою:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta_1 \left(\frac{\omega_3}{\omega_1}\right)^2 + \zeta_2 \left(\frac{\omega_3}{\omega_2}\right)^2 + \zeta_3 \left(\frac{\omega_4}{\omega_3}\right)^2 + \zeta_4}},$$

де $\zeta_1, \zeta_2, \zeta_3, \zeta_4$ – коефіцієнт відповідних місцевих опорів для суперпозиційної схеми зливного тракту фасувального пристрою і на виході;

$\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$ – розрахункові січення суперпозиційної схеми зливного тракту фасувального пристрою.

Якщо припустити, що у фасувальних пристроях різних конструкцій коефіцієнт витрати залежить тільки від геометрії зливного тракту, то сумарну втрату напору в каналі можна визначати простим сумуванням втрат напору в окремих місцевих опорах. Такий метод простого сумування величини місцевих опорів в гідравліці має назву «принцип накладання втрат» або «суперпозиція».

Відповідно до цього методу складається суперпозиційна схема зливного тракту фасувального пристрою, горизонтальні розміри якої відповідають числовим значенням площі ω_i вибраних січень тракту, що розраховуються за формулою:

$$\omega_i = \frac{\pi}{4} (D_i^2 - d_i^2), \quad (6.4)$$

де D_i^2 – діаметр зливного каналу в даному січенні,
 d_i^2 – діаметр повітряної трубки.

По вертикалі суперпозиційної схеми відкладаються дійсні лінійні розміри між прийнятими січеннями зливного тракту.

Скористаємось методом суперпозиції для визначення величини теоретичного коефіцієнта витрати μ зливного тракту фасувального пристрою автомата Б2-ВРР/1 і визначимо мінімальний час фасування цим пристроєм за заданих вхідних умов:

1. Метод фасування – за рівнем.
2. Об'єм продукту – $W = 0,0005 \text{ м}^3$.
3. Густина продукту (мінеральної води) – $\rho = 1000.29 \text{ кг/м}^3$.
4. Відстань від вільної поверхні рідини до отвору витікання фасувального пристрою $H = 0,613 \text{ м}$.

Розрахунки будемо виконувати тільки для кінцевої частини зливного каналу.

Складемо суперпозиційну схему зливного тракту фасувального пристрою автомата Б2-ВРР/1.

$$\omega_1 = \frac{\pi}{4} (D_1^2 - d_1^2) = \frac{\pi}{4} (10^2 - 8^2) = 28,23 \text{ мм}^2 = 0,000028 \text{ м}^2;$$

$$\omega_2 = \frac{\pi}{4} (D_2^2 - d_2^2) = \frac{\pi}{4} (15^2 - 7^2) = 138,16 \text{ мм}^2 = 0,000138 \text{ м}^2;$$

$$\omega_3 = \frac{\pi}{4} (D_3^2 - d_3^2) = \frac{\pi}{4} (17^2 - 11^2) = 131,88 \text{ мм}^2 = 0,000132 \text{ м}^2;$$

$$\omega_4 = \frac{\pi}{4} (D_4^2 - d_4^2) = \frac{\pi}{4} (13^2 - 6^2) = 104,4 \text{ мм}^2 = 0,000104 \text{ м}^2.$$

Як видно із рисунка 4.1, зливний тракт складається із трьох конфузорів – звужених частин каналу, через яку рідина переходить із більшого перерізу в менший.

У фасувальних пристроях, які призначені для фасування газовмісних напоїв надбарометричним способом він виконує функції підвищення швидкості потоку перед подачею у тару, зменшення кількості піни, спрямування потоку точно у горловину пляшки.

Зменшення площі перерізу збільшує швидкість витоку рідини, що сприяє швидкому заповненню пляшки без інтенсивного виділення CO_2 .

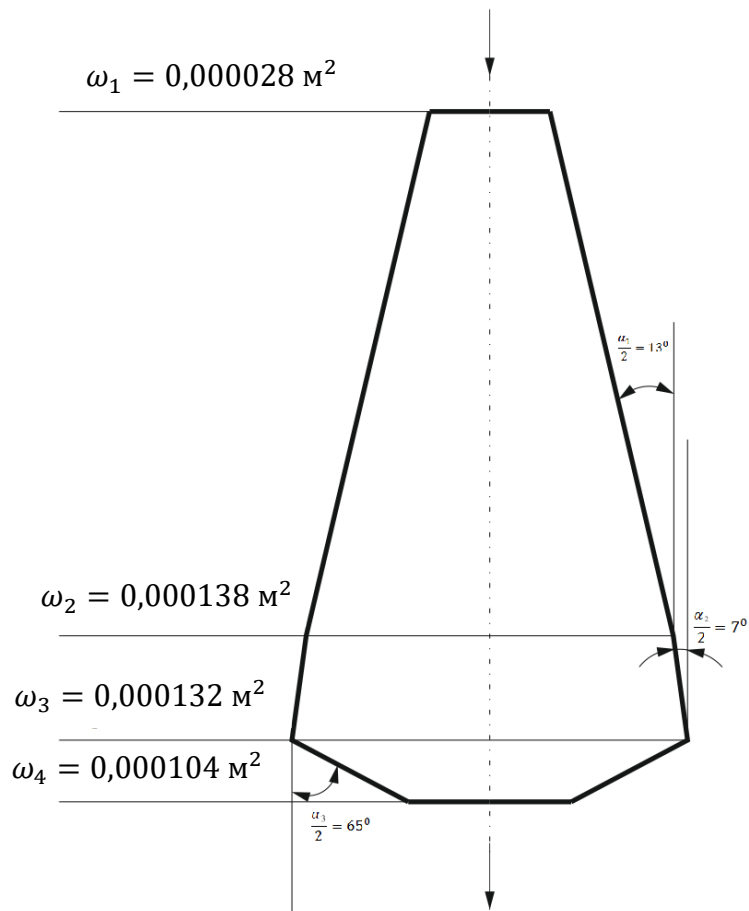


Рисунок 4.1 – Суперпозиційна схема зливного тракту фасувального пристрою автомата Б2-ВРР/1

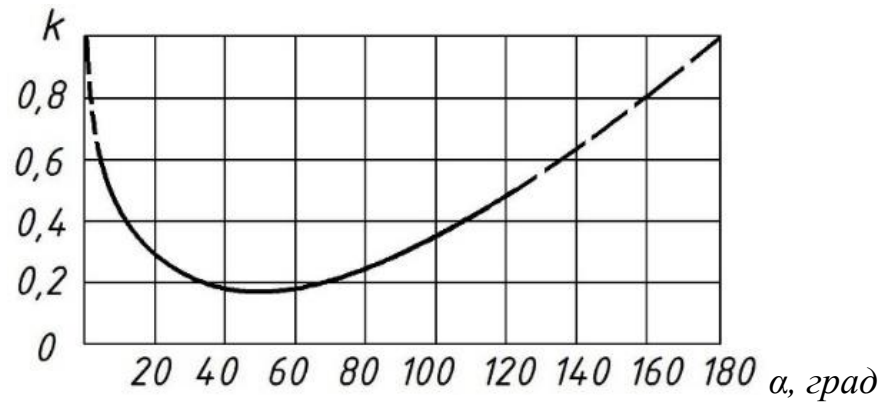
Розраховуємо коефіцієнт місцевого опору першого конфузора:

Кут сходження конфузора $\alpha = 26^\circ$.

За графіком на рис. 4.2 вибираємо коефіцієнт $k = 0,25$.

Коефіцієнт стискання $\varepsilon = 1$ вибираємо з таблиці 4.1 при

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{0,000138}{0,000028} = 4,92.$$

Рисунок 4.2 – Залежність коефіцієнта k від кута α сходження конфузораТаблиця 4.1 – Значення коефіцієнта стискання ε

| $\frac{\omega_i}{\omega_{i-1}}$ | ε | $\frac{\omega_i}{\omega_{i-1}}$ | ε | $\frac{\omega_i}{\omega_{i-1}}$ | ε |
|---------------------------------|---------------|---------------------------------|---------------|---------------------------------|---------------|
| 0,01 | 0,611 | 0,4 | 0,633 | 0,8 | 0,722 |
| 0,1 | 0,612 | 0,5 | 0,644 | 0,9 | 0,781 |
| 0,2 | 0,616 | 0,6 | 0,662 | 1,0 | 1 |
| 0,3 | 0,622 | 0,7 | 0,687 | | |

Знайдемо коефіцієнт місцевого опору першого конфузора:

$$f_1 = k\left(\frac{1}{\varepsilon} - 1\right)^2 = 0,25\left(\frac{1}{1} - 1\right)^2 = 0.$$

Аналогічно знайдемо коефіцієнт місцевого опору другого конфузора:

Кут розходження конфузора $\alpha = 14^\circ$.

Коефіцієнт $k = 0,4$.

Коефіцієнт стискання $\varepsilon = 0,781$ при

$$\frac{\omega_3}{\omega_2} = \frac{0,000132}{0,000138} = 0,95.$$

Підставивши значення, отримаємо:

$$f_2 = k\left(\frac{1}{\varepsilon} - 1\right)^2 = 0,4\left(\frac{1}{0,781} - 1\right)^2 = 0,03$$

Визначимо коефіцієнт місцевого опору третього конфузора:

Кут розходження конфузора $\alpha = 130^\circ$.

Коефіцієнт $k = 0,5$.

Коефіцієнт стискання $\varepsilon = 0,722$ при:

$$\frac{\omega_4}{\omega_3} = \frac{0,000104}{0,000132} = 0,81.$$

Обчислимо коефіцієнт місцевого опору третього конфузора:

$$\zeta_3 = k\left(\frac{1}{\varepsilon} - 1\right)^2 = 0,5\left(\frac{1}{0,722} - 1\right)^2 = 0,07.$$

Коефіцієнтом місцевого опору на виході фасувального пристрою можна знехтувати ($\zeta_4 = 0$).

Підставивши всі значення у вираз, одержимо коефіцієнт витрати зливного тракту фасувального пристрою:

$$\begin{aligned} \mu_{\text{супер}} &= \frac{1}{\sqrt{1 + \zeta_1 \left(\frac{\omega_2}{\omega_1}\right)^2 + \zeta_2 \left(\frac{\omega_3}{\omega_2}\right)^2 + \zeta_3 \left(\frac{\omega_4}{\omega_3}\right)^2 + \zeta_4}} = \\ &= \frac{1}{\sqrt{1 + 0 + 0,3 \left(\frac{0,000132}{0,000138}\right)^2 + 0,07 \left(\frac{0,000104}{0,000132}\right)^2 + 0}} = 0,87 \end{aligned}$$

Згідно з рекомендаціями:

$$\mu_{\text{дійсн.}} = (0,77 \div 0,87)\mu_{\text{супер}} = 0,9 \cdot 0,87 = 0,783 \approx 0,8.$$

Розрахунковий час наповнення тари рідиною при дозуванні за рівнем визначимо з виразу:

$$\tau = \frac{W}{\mu\omega\sqrt{2g\frac{\delta P}{\rho g} - H}} = \frac{W}{\mu\omega\sqrt{\frac{2\delta P}{\rho} - H}},$$

де $\mu = \mu_{\text{дійсн.}} = 0,8$ – коефіцієнт витрати зливного тракту фасувального пристрою;

$\omega = \omega_4 = 0,000104\text{м}^2$ – площа отвору витікання рідини;

$$\begin{aligned} \delta P &= P_{\text{атм}} + P_{\text{фл}} = 0,1\text{Мпа} - 53,2\text{кПа} = 0,1 \cdot 10^6\text{Па} - 53,2 \cdot 10^3\text{Па} \\ &= 46,8 \cdot 10^3\text{Па} \end{aligned}$$

Підставивши значення у вираз, одержимо:

$$\tau = \frac{W}{\mu\omega\sqrt{\frac{2\delta P}{\rho} - H}} = \frac{0,0005}{0,8 \cdot 0,000104 \sqrt{\frac{2 \cdot 46,8 \cdot 10^3}{1000,29} - 0,613}} = 7 \text{ с.}$$

Отже, розрахунковий час наповнення тари ємністю 500 мл продуктом становить 11,3 с.

4.2 Розрахунок параметрів операції закупорювання тари

Закупорення тари з надійною герметизацією є необхідною умовою збереження якості продукту.

Розглянемо ударно-штоковий спосіб герметизації скляних пляшок, який реалізується з використанням кронен-корків (корончатих ковпачків).

Під час закупорювання пляшки корончатим ковпачком герметизація досягається за рахунок того, що м'яка ущільнююча прокладка, яка розміщується на внутрішній поверхні ковпачка, стискається і перекриває нерівності на поверхні вінчика горловини.

Сила, яка прикладається для деформування корони ковпачка, залежить від розміру отворів обтискного кільця і вінчика горловини пляшки та товщини матеріалу, з якого виготовлений кронен-корок.

Закупорювання пляшок корончатими ковпачками полягає в продавлюванні горловини пляшки з накладеним на її вінчик ковпачком через отвір обтискного кільця закупорювального механізму. При цьому на дно ковпачка діє підпружинений притиск закупорювального пристрою з силою T . Розрахункові схеми зображені на рис. 4.3 [2].

З боку обтискного кільця кожен гофр ковпачка навантажується силою p , яка визначається із виразу:

$$\bar{p} = \bar{p}_1 + \bar{p}_2,$$

де \bar{p}_1 і \bar{p}_2 – вертикальна і горизонтальна складові сили p .

Зауважимо, що під час обтискання ковпачка на кожен гофр діє сила \bar{s}' з боку вінчика горловини, яка визначається як:

$$\bar{s}' = \bar{s}'_1 + \bar{s}'_2,$$

де \bar{s}'_1 і \bar{s}'_2 – вертикальна і горизонтальна складові сили \bar{s}' .

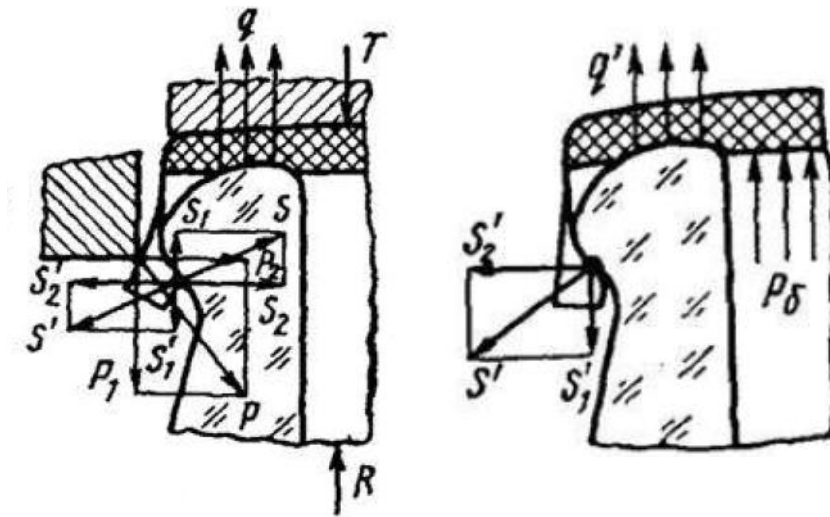


Рисунок 4.1 – Розрахункові схеми закупорення пляшки кронен-корком

Вінчик горловини пляшки під час закупорювання навантажується з силою s кожним з гофрів ковпачка.

Силу притискання ущільнюючої прокладки до вінчика горловини Q під час закупорювання пляшки можна визначити з виразу:

$$Q = (p_1 + s'_1)z + T;$$

де z – кількість гофрів ковпачка.

При цьому сила Q створює тиск q на поверхні контакту ущільнюючої прокладки з горловиною пляшки.

Силу R , що чинить вплив на дно пляшки під час закупорювання, можна визначити за формулою:

$$R = T + P_1 \cdot z;$$

Після закінчення закупорювання відбувається перерозподіл сил, які діють на ковпачок, ущільнюючу прокладку і пляшку. Тиск на поверхні контакту прокладки з вінчиком горловини зменшується з величини q до величини q' .

Рівновага прокладки в закупореній пляшці розраховується з виразу:

$$Q' = s'_1 z - p_{\text{пл}} \frac{\pi d^2}{4},$$

де Q' – сила притискання прокладки до вінчика горловини у закупореній пляшці;

$p_{\text{пл}}$ – тиск всередині пляшки;

d – внутрішній діаметр поверхні, по якій відбувається контакт прокладки з горловиною пляшки.

Розглянемо умови для герметичного закупорювання:

– умова закупорювання без биття пляшок:

$$Q > Q_1,$$

де Q_1 , – сила стискання прокладки, при якій зупиняється доступ повітря через ущільнення;

– умова збереження герметичності в закупореній пляшці:

$$Q' > Q_2$$

де Q_2 – сила стискання прокладки, при якій виникає розгерметизація пляшки.

Умова закупорювання скляної тари без биття може бути виражена таким чином:

$$R < R_c \text{ або } S < S_c$$

де R_c – сила стискання пляшки вздовж вертикальної осі, яка призводить до бою пляшок;

S_c – сила, яка спричиняє руйнування вінчика горловини.

Величина сили P_1 , достатньої для обтискання корони кронен-корка розраховується зі співвідношення:

$$P_1 = p_1 \cdot z.$$

Сила Q залежить від сили R і обчислюється за емпіричною формулою:

$$Q = \alpha_1 \cdot R.$$

Сили s'_1 і s'_2 також залежать від R , а саме:

$$s'_1 = \frac{(\alpha_1 - 1)R}{z},$$

$$s'_2 = \alpha_2 \frac{R}{z}.$$

$$s = \frac{R}{z} \sqrt{(\alpha_1 - 1)^2 + \alpha_2^2}.$$

У табл. 4.2 вказано значення сил Q_1 і Q_2 при закупоренні скляних пляшок з рідинами під тиском 4 кгс/см² [2].

Таблиця 4.2 – Довідкові значення сил Q_1 і Q_2

| Вид ущільнюючої прокладки | Q_1 , кгс | Q_2 , кгс |
|--|--------------|-------------|
| Поліетиленовий диск з одним ущільнювальним кільцевим виступом | 100 ± 4 | 22 ± 4 |
| Полівінілхлоридне кільце трикутного перерізу | 120 ± 5 | 18 ± 3 |
| Полівінілхлоридний диск | 140 ± 4 | 20 ± 2 |
| Диск з пресованої коркової крихти (зволожений) | 200 ± 43 | 25 ± 8 |
| Диск з кори коркового дерева | 250 ± 42 | 30 ± 5 |
| Картонний диск | 280 ± 24 | 20 ± 4 |
| Поліетиленовий диск з п'ятьма ущільнювальними кільцевими виступами | 280 ± 30 | 24 ± 3 |
| Диск з пресованої коркової крихти | 300 ± 65 | 45 ± 8 |
| Поліетиленова капсула | 350 ± 80 | 24 ± 6 |

Для фіксації кронен-корка на горловині пляшки необхідно, щоб сила стискання ущільнюючої прокладки Q була не менша, ніж сила P , яка забезпечує деформацію обтискного кільця.

Отже, визначимо такі силові характеристики операції закупорювання скляних пляшок корончатими ковпачками:

1. Сила, якою навантажується кожен гофр обтискним кільцем p , кгс.
2. Сила, яка діє на кожен гофр кронен-корка від вінчика горловини s , кгс.
3. Зусилля притискання ущільнюючої прокладки до вінчика горловини Q , кгс.
4. Зусилля притискання закупорювального пристрою T , кгс.

За знайденими значеннями прикладених сил виконаємо перевірку умови забезпечення герметичності упаковки.

Початкові дані для розрахунку:

1. Сила, спрямована на обтискання кронен-корка – $P_1 = 253$ кгс.
2. Сила, що діє на дно пляшки – $R = 218$ кгс.

3. Коефіцієнт співвідношення сили R із силою Q становить $\alpha_1 = 1,8$, та з силою s становить $\alpha_2 = 1,31$.

4. Тиск всередині пляшки $p_{пл} = 20 \text{ Н} = 2 \text{ кгс}$.

5. Внутрішній діаметр поверхні, на площині якої забезпечується контакт прокладки з горловиною пляшки $d = 24 \text{ мм}$.

6. Кількість гофрів кронен-корка – $z = 21$.

7. Матеріал ущільнюючої прокладки – диск з пресованої коркової крихти, тому приймаємо $Q_1 = 300 \text{ кгс}$, $Q_2 = 45 \text{ кгс}$.

Порядок розрахунку:

1. Розрахуємо питомий тиск p , який діє на кожен гофр, прикладений обтискним кільцем закупорювального пристрою, визначивши p_1 за залежністю:

$$p_1 = \frac{P_1}{z} = \frac{253}{21} = 12 \text{ кгс}$$

Тоді

$$p = \frac{p_1}{\sin\beta} = \frac{12}{\sin 45^\circ} = \frac{12}{0,649} = 18,48 \text{ кгс},$$

де β – кут між тиском p і його складовим p_1 .

2. Силу s , яка діє на кожен гофр, та її складові s_1 і s_2 розрахуємо за формулами:

$$s = \frac{R}{z} \sqrt{(\alpha_1 - 1)^2 + \alpha_2^2} = \frac{218}{21} \sqrt{(1,8 - 1)^2 + 1,31^2} = 15,91 \text{ кгс}.$$

$$s_1 = \frac{(\alpha_1 - 1)R}{z} = \frac{(1,8 - 1)218}{21} = 8,3,$$

$$s'_2 = \alpha_2 \frac{R}{z} = 1,31 \frac{218}{21} = 13,6.$$

3. Знайдемо величину сили T , з якою на дно кронен-корка діє підпружинений притискач закупорювального пристрою:

Скориставшись формулою $R = T + P_1 \cdot z$ будемо мати:

$$T = P_1 \cdot z - R = 253 \cdot 21 - 218 = 5095 \text{ кгс}.$$

Обчислимо зусилля притискання ущільнюючої прокладки до вінчика горловини Q :

$$Q = \alpha_1 \cdot R = 1,8 \cdot 218 = 392,4 \text{ кгс} .$$

4. Для перевірки умови збереження цілісності пляшки розрахуємо такі силові параметри

– вертикальну складову сили s :

$$s'_1 = \frac{T - Q - p_1 \cdot z}{z} = \frac{5095 - 392,4 - 12 \cdot 21}{21} = 211,93 \text{ кгс};$$

– рівновагу прокладки в закупореній пляшці:

$$Q' = s'_1 \cdot z - p_{\text{пл}} \frac{\pi d^2}{4} = 211,93 \cdot 21 - 2 \frac{3,14 \cdot 0,024^2}{4} = 4450,46 \text{ кгс}.$$

$$Q' = s'_1 z - p_{\text{п}} \frac{\pi d^2}{4} = 4391,94 \cdot 21 - 2 \frac{3,14 \cdot 0,24}{4} = 92230,36 \text{ кгс},$$

Отримуємо наступний результат:

$$Q = 392,4 \text{ кгс} > Q_1 = 300 \text{ кгс};$$

$$Q' = 4450,46 \text{ кгс} > Q_2 = 45 \text{ кгс}.$$

Це означає, що умова закупорювання без биття тари та умова збереження герметичності упаковки дотримані.

РОЗДІЛ 5

РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТУ

5.1 Опис ідеї стартап-проєкту та SWOT-аналіз

Метою стартапу є впровадження у виробництво нового типу шнекового завантажувального механізму для фасувальних машин, який базується на вдосконаленому варіанті конструкції, описаному у п. 3.5. Цей варіант передбачає меншу кількість пазів, оптимізовану геометрію та підвищену адаптивність до потоків пляшок різної форми та типорозмірів.

Основна ідея проєкту полягає у створенні універсального авантажувального вузла, здатного працювати за умов нестабільного потоку тари, забезпечуючи плавне, безударне захоплення та інтервалізацію пляшок. Покращена конструкція дозволяє суттєво зменшити кількість відмов, знизити зношування вузлів та підвищити продуктивність фасувально-закопориювальної машини Б2-ВРР/1, або аналогічних роторних машин, які мають у своєму складі ділильний шнек,

Технологічною основою виступає шнек із покращеною формою витків, що дає змогу краще керувати рухом пляшок, зменшувати ризик заклинювання й покращувати адаптацію до різних виробничих умов.

Виконаємо SWOT-аналіз стартап-проєкту для вдосконаленого варіанту конструкції завантажувального механізму (табл. 5.1).

Можемо зробити висновок, що модернізований варіант конструкції завантажувального механізму є значно перспективнішим порівняно зі стандартним та надає суттєві конкурентні переваги. Стартап передбачає розробку, виготовлення та тестування демонстраційного зразка, після чого – запуск у серійне виробництво та вихід на ринок фасувального обладнання [19].

Таблиця 5.1 – SWOT-аналіз стартап-проєкту

| | |
|--|--|
| <p>Сильні сторони (Strengths):</p> <ul style="list-style-type: none"> – плавніше захоплення тари завдяки зменшеній кількості пазів; – підвищена універсальність при роботі з пляшками різних форм; – зменшення зношування та довший ресурс роботи; – підвищена надійність при нестабільних потоках тари. | <p>Слабкі сторони (Weaknesses):</p> <ul style="list-style-type: none"> – дещо складніша конструкція у порівнянні зі початковим варіантом конструкції; – вища собівартість виготовлення; – необхідність точного налаштування та синхронізації з іншими вузлами. |
| <p>Можливості (Opportunities):</p> <ul style="list-style-type: none"> – завдяки перевагам конкурентоспроможність ринку пакувального обладнання; – просто інтеграція в автоматизовані лінії розливу; – можливість переналагодження для інших типів тари; – підвищення репутації виробника завдяки інноваційним рішенням. | <p>Загрози (Threats):</p> <ul style="list-style-type: none"> – конкуренція з боку великих виробників обладнання; – можливі труднощі в серійному виробництві; – залежність від коливань попиту на ринку на нестандартні типорозміри упаковок (сувенірна продукція, тощо). |

5.2 Технологічний аудит ідеї стартап-проєкту

Технологічний аудит ідеї стартап-проєкту передбачає всебічне оцінювання технічної спроможності та готовності розробки вдосконаленого варіанту шнекового механізму для практичного впровадження у виробництво. Аудит охоплює аналіз технологічних можливостей підприємств, наявності необхідного обладнання, кваліфікації персоналу, доступу до матеріалів і стандартів. Особлива увага приділяється відповідності конструкції вимогам

машинобудівних норм, технологічності виготовлення деталей, можливості серійного виробництва та інтеграції механізму у різні типи фасувальних ліній.

Таблиця 5.2 – Технологічний аудит ідеї стартап-проєкту

| Ідея проєкту | Технологія реалізації | Наявність потрібної технології | Доступність технології |
|--|--|--|---|
| Застосування вдосконаленого варіанту конструкції ділильного шнека для обслуговування роторного пакувального обладнання | Розробка, виготовлення та поетапне тестування модернізованої конструкції шнекового завантажувального механізму з оптимізованою геометрією, його інтеграції у фасувальні лінії та подальшій комерціалізації через партнерства з виробниками пакувального обладнання | Підприємства мають у своєму розпорядженні необхідні технології для виготовлення та налагодження модернізованого шнекового механізму, включно з сучасним обладнанням для прецизійної механічної обробки та інструментами контролю геометрії. Це забезпечує повну технічну готовність до реалізації проєкту у серійному виробництві. | Всі необхідні виробничі процеси – від механічної обробки до складання та контролю якості – вже широко застосовуються в промисловості та не потребують унікального чи рідкісного обладнання. Це дозволяє швидко розпочати виготовлення шнекового механізму на будь-якому сучасному машинобудівному підприємстві. |

У ході аудиту встановлено, що другий варіант шнека характеризується підвищеною адаптивністю та універсальністю, що знижує вимоги до точності подавання пляшок. Конструкція сумісна з більшістю сучасних фасувальних

систем і не вимагає унікального спецобладнання. Основні ризики стосуються точного налагодження фази шнека та контролю геометричних параметрів витків у виробництві. Загалом технологічний рівень підприємств дозволяє реалізувати проєкт у промисловому масштабі [20].

5.3 Розробка ринкової стратегії стартап-проєкта

Ринкова стратегія зосереджена на позиціонуванні другого варіанту шнекового механізму як інноваційного рішення для виробників фасувальних ліній. Основний акцент робиться на перевагах: підвищена надійність, краща робота з нестабільними потоками тари, універсальність та низький рівень зношування. Стратегія охоплює сегменти ринку: підприємства з розливу напоїв, хімічної продукції, косметики та побутової хімії.

Просування може здійснюватись через участь у виставках пакувальної техніки, пряму співпрацю з виробниками обладнання, інтеграцію у каталоги комплектуючих та цифровий маркетинг. Першочерговим ринком є Україна та країни ЄС, де попит на модернізацію обладнання зростає.

Таблиця 5.3 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проєкту

| Потреба, що формує ринок | Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку) | Вимоги споживачів до товару |
|--|--|--|
| Підвищення універсальності та надійності пакувального обладнання | Пакувальна промисловість; підприємства, що виготовляють напої з подальшим фасуванням у скляну тару | Висока якість пакованої продукції, відсутність пошкоджень упаковки |

ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі виконано аналіз газовмісних напоїв як об'єкта пакування та детально проаналізовано скляну тару як типовий пакувальний матеріал для великого асортименту напоїв. Обґрунтовано вибір типу споживчої упаковки – пляшки та закупорювального засобу для неї.

Виконано розробку технологічного процесу пакування напоїв в скляні пляшки. Представлено будову та принцип роботи пакувального автомата Б2-ВРР/1, який реалізує технологічні операції фасування продукту та закупорювання пляшок.

Виконано аналіз конструкції та роботи механізму завантаження пляшок у складі автомата Б2-ВРР/1 та розроблено варіант його вдосконалення з метою підвищення надійності конструкції.

Результатом проектування є загальний вигляд автомата Б2-ВРР/1; складальне креслення початкового варіанту конструкції завантажувального вузла; складальне креслення вдосконаленого варіанту вузла. Також представлено графічно кінематичну схему пакувального автомата.

Виконано розрахунок параметрів приводу пакувального автомата Б2-ВРР/1.

У науковій частині представлено розрахунок параметрів технологічних операцій фасування та закупорювання.

В останньому розділі виконано розробку стартап-проекту. Отриманий результат вказує на те, що запропонований у роботі варіант модернізації механізму завантаження пляшок, який підвищує ефективність роботи обладнання та сприяє покращенню якості кінцевої продукції, відповідає сучасним вимогам промислового виробництва та має необхідні технологічні та ринкові можливості для впровадження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гавва О.М. Пакувальне обладнання : підручник / О. М. Гавва, А. П. Беспалько, А. І. Волчко, О. О. Кохан. – Київ : ІАЦ «Упаковка», 2010. – 744 с.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Сирохман І. В. Товарознавство пакувальних матеріалів і тари : підручник / І. В. Сирохман, В. М. Завгородня, В. Т. Лебединець. – Київ : Знання, 2014. – 543 с.
8. 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.
9. Луцюк, І. В., Ілючок, І. О., Вахула, Я. І. Аналіз вад скляної тари у виробничих умовах // *Chemistry, Technology and Application of Substances. CTAS*. – Львів : Львівська політехніка, 2022. – Т. 5, № 1. – С. 17–22. DOI: 10.23939/ctas2022.01.017

10. Кайнаш А. П. Товарознавство і пакування харчових продуктів : навч.-метод. посіб. / А. П. Кайнаш, Н. В. Будник. – Полтава : ПП «Астрия», 2021. – 106 с.
11. Колосов О. Є. Технологія пакування та зберігання пакованої продукції : навч. посіб. / О. Є. Колосов. – Київ : КПІ ім. І. Сікорського, 2019. – 86 с
12. Святненко Р. С., Маринін А. І., Пасічний В. М. Сучасні пакувальні технології в харчовій промисловості : монографія. – Київ : НУХТ, 2024. – 92 с.
13. Основи проектування виробництв кераміки та скла. [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Н. В. Жданюк, А.П. Яценко. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,42 МБ). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 130 с.
14. ДСТУ ГОСТ 10117.2:2003. Пляшки скляні для харчових рідин. Типи, параметри і основні розміри. — Х., 2003. — 28 с
15. Основи проектування 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.
16. 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
17. 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
18. ДСТУ EN 60034-1:2016. Машина електричні обертові. Частина 1. Номінальні та робочі характеристики. — Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018.

19. 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>

20. 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.