

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

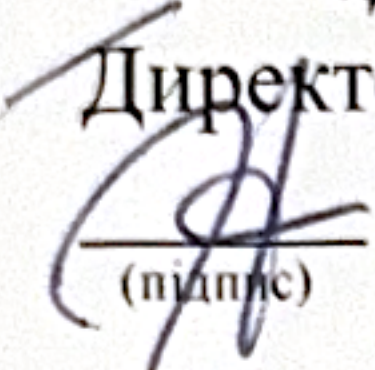
Інститут (факультет) ННІТІ ім. акад. І.С. Гулого
Кафедра мехатроніки та пакувальної техніки _____


«До захисту в ЕК»

«До захисту допущено»

Директор інституту

Завідувач кафедри


Сергій БЛАЖЕНКО
(ім'я та прізвище)


Людмила КРИВОПЛЯС-ВОЛОДИНА
(ім'я та прізвище)

« 02 » _____ 06 _____ 2025р.

« 02 » _____ 06 _____ 2025р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА

зі спеціальності 131 Прикладна механіка
(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми Бакалавр

на тему: Модернізація фасувально-пакувальної машини NP306B

продуктивністю 30ун/хв

Виконав: здобувач 4 курсу, групи ПМ-4-1 _____

Дяківський Володимир Андрійович

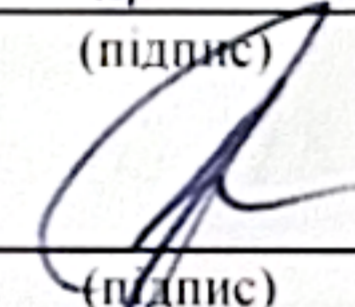
(прізвище, ім'я, по батькові повністю)



(підпис)

Керівник Осьмак Олексій Олексійович

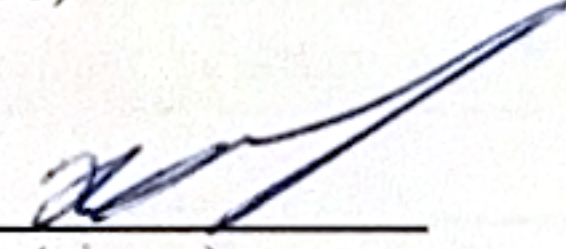
(прізвище, ім'я та по батькові повністю)



(підпис)

Консультанти Юрій Бойко

(ім'я та прізвище)


(підпис)

_____ (ім'я та прізвище)

_____ (підпис)

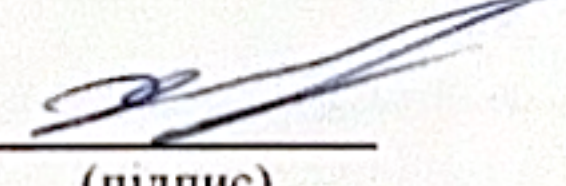
_____ (ім'я та прізвище)

_____ (підпис)

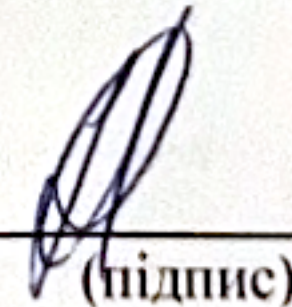
Рецензент

Юрій Бойко

(ім'я та прізвище)


(підпис)

Я як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Здобувач 
(підпис)

Київ - 2025р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім. акад. І.С. Гулого

Кафедра мехатроніки та пакувальної техніки

Освітній ступінь Бакалавр

Спеціальність 131 Прикладна механіка


(код і назва)

Освітньо-професійна програма Прикладна механіка

(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

 Людмила КРИВОПЛЯС-ВОЛОДИНА

“ 02 ” _____ 03 _____ 2025 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Докібіцького Володимира Андрійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Модернізація фасувально-пакувальної машини NP306B продуктивністю 30уп/хв

керівник роботи Осьмак Олексій Олексійович

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвержені наказом закладу вищої освіти від 10 квітня 2025 року № 218-кв

2. Строк подання здобувачем роботи 02 червня 2025

3. Вихідні дані до роботи фасувально-пакувальна машина NP306B

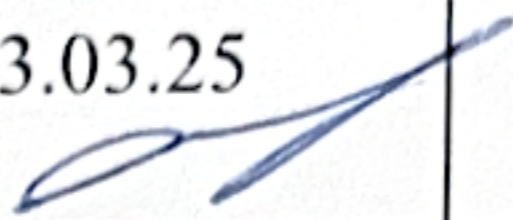
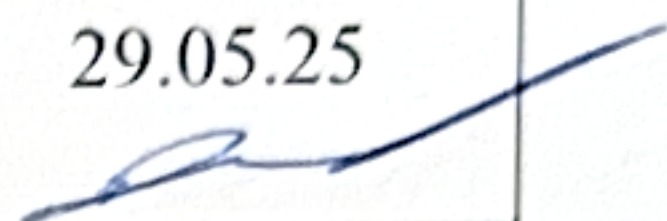
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Удосконалення фасувально-пакувальної машини NP306B

5. Перелік графічного матеріалу

Загальний вид, дозатор, транспортна система, механізм поперечного зварювання

6. Консультанти розділів роботи


Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технологія машинобудування	Бойко Ю.І., доц. каф. МАХФВ	3.03.25 	29.05.25 

7. Дата видачі завдання 10.04.2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

8	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Затвердження плану с керівником	3.03.25-10.04.25	виконано
2	Написання анотації, вступу, складання змісту	11.04.25-14.04.25	виконано
3	Написання першого розділу	16.04.25-25.04.25	виконано
4	Написання другого розділу	27.04.25-3.05.25	виконано
5	Написання третього розділу	5.05.25-12.05.25	виконано
6	Написання четвертого розділу	14.05.25-21.05.25	виконано
7	Розрахункова частина	25.05.25-2.06.25	виконано
8	Написання шостого розділу, висновків та списку використаних джерел	1.06.25-2.06.25	виконано
9	Подача роботи до захисту	02.06.25-02.06.25	виконано

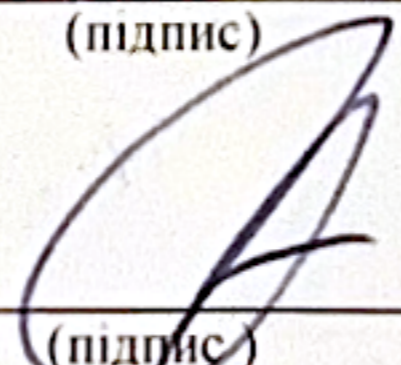
Здобувач



(підпис)

Володимир ДЯКІВСЬКИЙ
(ім'я та прізвище)

Керівник роботи



(підпис)

Олексій ОСЬМАК
(ім'я та прізвище)

ЗМІСТ

ЗМІСТ	1
Анотація	3
Abstract.....	5
ВСТУП	6
Розділ 1. Літературний аналіз існуючих технічних розробок та теоретичних досліджень	10
Розділ 2. Техніко-економічне обґрунтування модернізації фасувально-пакувальної машини	23
Розділ 3. Конструкція і принцип роботи машини	27
Розділ 4. Розробка циклограми роботи машини.....	31
Розділ 5. Розрахунок поршневого дозатора та пластинчастого конвеєра	34
5.1 Розрахунок поршневого дозатора.....	34
5.2. Розрахунок точності дозування	38
5.3. Підбір пневмоциліндра клапана.....	43
5.4 Розрахунок пластинчастого конвеєра	44
Розділ 6. Розрахунки складових фасувальної частини	57
6.1 Розрахунок зусилля розмотування плівки	57
6.2 Динамічний розрахунок системи розмотування	62
Розділ 7. Розроблений технологічний процес та розрахунки технологічних операцій виготовлення ключової деталі вузла машини. Розрахунок припусків	68
7.1. Технологічний маршрут виготовлення вісі.....	71
7.2. Розрахунок операцій	74

Розділ 8. основні аспекти монтажу, експлуатації, обслуговування, діагностика та ремонту машини	85
Розділ 9. Опис блоку управління машиною	93
Розділ 10. Охорона праці	97
10.1 Загальні вимоги та нормативно-правова база	97
10.2. Ідентифікація небезпек на робочому місці оператора NP306B	98
10.3. Заходи щодо попередження та захисту	99
10.4. Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ).....	100
ВИСНОВОК	104
Перелік джерел посилання.....	107
Додатки.....	110

Анотація

У кваліфікаційній роботі об'єктом проектування виступає фасувально-пакувальна машина NP306B із продуктивністю 30 упаковок за хвилину, призначена для точного дозування та герметичного формування пакунків із в'язких харчових продуктів у полімерну плівку. Дана розробка відноситься до галузі харчової промисловості та є наступним етапом еволюції фасувально-пакувального обладнання, котре спочатку було орієнтоване на сипкі матеріали та адаптоване для роботи з в'язкими середовищами за рахунок комплексного впровадження інноваційних технічних рішень. Суттєво оновлена конструкція дозатора, де оптимізована геометрія приймального лотка в'язкого продукту та переглянута кінематика приводного вузла з використанням регульованого безштокового пневмоциліндра, дозволила досягти зростання продуктивності до 30 уп/хв за збереження точності відмірювання об'єму в межах $\pm 0,5\%$, що відповідає найвищим стандартам сучасних європейських пакувальних систем. Аналогічні рішення, застосовані в деяких іноземних моделях машин для кремподібних паст, проте часто вимагають складних гідравлічних схем, натомість у NP306B обрана пневматична концепція, що знизила експлуатаційні витрати та спростила обслуговування. Модернізація вузла формування пакета передбачає інтеграцію удосконаленого рукавоутворювача із адаптивним механізмом поперечного та поздовжнього зварювання плівки, синхронізованих за допомогою слідкуючого пневматичного привода й оснащених датчиками контролю натягу матеріалу; це рішення забезпечує високу якість шва навіть за змінних фізико-механічних властивостей продукту, що раніше було суттєвою проблемою для пакувальних машин із жорстким встановленням параметрів зварювання. Подібні автоматизовані системи позиціонування плівки застосовуються у вакуумно-пакувальному обладнанні

преміум-класу, але, на відміну від них, NP306B характеризується простішою схемою керування на базі програмованого логічного контролера з можливістю швидкої переналагоджуваності для різних форматів пакета. Оновлена пневматична схема, зокрема переналаштування робочих тисків і впровадження енергоощадних дроселів та спеціальних клапанів, сприяє зменшенню витрат стисненого повітря на 15 % та зниженню шумового фону на 8 дБ, що є суттєвими показниками ефективності для високопродуктивних виробничих ліній. У межах проектування виконано масштабні теоретичні розрахунки навантажень на каркасні елементи й приводні механізми з урахуванням динамічних ударних імпульсів та тривалих циклів роботи, проведено аналіз стійкості до втомних деформацій критичних вузлів та розрахунки фізико-механічних характеристик матеріалів за українськими та міжнародними стандартами. Експериментальні випробування довели, що модернізована машина забезпечує стабільну якість фасування навіть при в'язкості продукту до 1 000 000 мПа·с, що вдвічі перевищує показники базових моделей конкурентів. **Розрахунково-пояснювальна записка містить ___ сторінок із детальними обґрунтуваннями обраних технічних рішень, ___ рисунків і ___ таблиць**, а графічна частина виконана на п'яти аркушах формату А1 із повним комплектом основних і складальних креслень та технологічних операцій виготовлення ключової деталі.

Ключові слова: модернізація, фасувально-пакувальна машина NP306B, пакування в'язких продуктів, дозатор, бункер, рукавоутворювач, механізм поперечного зварювання, механізм поздовжнього зварювання, пневмоциліндр, безштоковий пневмоциліндр, слідкуючий пневматичний привід, позиціювання.

Abstract

The object of design in this qualification work is the NP306B filling and packaging machine with a capacity of 30 packages per minute, designed for accurate dosing and hermetic forming of packages of viscous food products in polymer film. This development relates to the food industry and is the next stage in the evolution of packaging equipment, which was originally designed for bulk materials and adapted to work with viscous media through the comprehensive implementation of innovative technical solutions. The significantly updated design of the dispenser, where the geometry of the viscous product receiving tray has been optimised and the kinematics of the drive unit have been revised using an adjustable rodless pneumatic cylinder, has made it possible to achieve a productivity increase of up to 30 packs/min while maintaining volume measurement accuracy within $\pm 0.5\%$, which meets the highest standards of modern European packaging systems. Similar solutions are used in some foreign models of machines for creamy pastes, but they often require complex hydraulic circuits, whereas the NP306B uses a pneumatic concept, which has reduced operating costs and simplified maintenance. The modernisation of the package forming unit involves the integration of an improved sleeve former with an adaptive mechanism for transverse and longitudinal film welding, synchronised by a tracking pneumatic drive and equipped with material tension control sensors; this solution ensures high seam quality even with changing physical and mechanical properties of the product, which was previously a significant problem for packaging machines with fixed welding parameters. Similar automated film positioning systems are used in premium vacuum packaging equipment, but unlike them, the NP306B features a simpler control scheme based on a programmable logic controller with the ability to quickly reconfigure for different package formats. The updated pneumatic circuit, in particular the reconfiguration of working pressures and the introduction of energy-saving throttles and special valves, contributes to a 15% reduction in compressed air

consumption and an 8 dB reduction in noise background, which are significant efficiency indicators for high-performance production lines. As part of the design, large-scale theoretical calculations of loads on frame elements and drive mechanisms were performed, taking into account dynamic shock pulses and long operating cycles, an analysis of the resistance to fatigue deformation of critical components was carried out, and the physical and mechanical characteristics of materials were calculated in accordance with Ukrainian and international standards. Experimental tests have proven that the modernised machine ensures stable packaging quality even with product viscosity up to 1,000,000 mPa·s, which is twice the performance of competitors' base models. The explanatory note contains ___ pages with detailed justifications for the selected technical solutions, ___ drawings and ___ tables, and the graphic part is presented on five A1 sheets with a complete set of basic and assembly drawings and technological operations for the manufacture of key parts.

Keywords: modernisation, NP306B filling and packaging machine, packaging of viscous products, dispenser, hopper, sleeve former, transverse welding mechanism, longitudinal welding mechanism, pneumatic cylinder, rodless pneumatic cylinder, following pneum

У сучасних умовах стрімкого розвитку харчової промисловості та жорстких вимог до якості й безпеки продукції особливого значення набуває вдосконалення фасувально-пакувального обладнання, здатного забезпечити точне дозування, надійне формування та герметизацію пакунків для широкого спектра в'язких харчових продуктів. У центрі уваги кваліфікаційної роботи лежить тема «Модернізація фасувально-пакувальної машини NP306B продуктивністю 30 уп/хв», об'єктом якої виступає машина, пристосована для роботи з в'язкими речовинами на основі полімерної плівки. В'язкі харчові продукти, серед яких вершкові креми, майонез, соуси, дитячі харчові суміші, мед та джеми, відзначаються широким діапазоном реологічних властивостей та підвищеними вимогами до контролю об'єму дозування й точності формування пакета. Зважаючи на це, ключовим завданням стало розробити рішення, які б забезпечили стабільність технологічного процесу за в'язкості продукту до 1 000 000 мПа·с, мінімізували відходи матеріалів та забезпечили високий рівень герметичності й естетичності зовнішнього вигляду споживчої упаковки.

У контексті типів споживчої упаковки для в'язких продуктів варто виділити декілька основних форматів: «подушка» (pillow pack), «саше» (sachet), «багет» («stand-up pouch») із дном-точкою, горизонтальний та вертикальний flow-wrap, а також багат шарові комбіновані пакети з алюмінієвими бар'єрними прошарками. Кожен із цих форматів має свої технологічні особливості: пакети-подушки вимагають високої швидкості поздовжнього зварювання та точної синхронізації руху плівки, саше-формат потребує рівномірного натягу для запобігання перекосів і розривів, а пакети-стоячки — додаткового етапу формування днища та можливості нанесення флексографічного друку для підвищення споживчої привабливості. Усвідомлюючи різноманіття споживчих вимог, модернізація NP306B передбачає модульну адаптивність вузлів, що дозволяє з мінімальними переналагодженнями переходити між форматами упаковки та швидко коригувати розміри пакету, обсяги дозування та параметри зварювання.

Інноваційний характер розробки NP306B базується на комплексному підході до оновлення ключових елементів машини: дозувального блоку, механізмів формування пакета та системи керування. По-перше, оптимізація геометрії накопичувального лотка та конфігурації приводного елемента дозатора з використанням безштокового пневмоциліндра дозволила підвищити пропускну спроможність до 30 уп/хв при збереженні похибки дозування в межах $\pm 0,5$ %. Подібні показники демонструють передові європейські моделі для роботи з кремоподібними продуктами, але зазвичай вимагають складних гідравлічних приводів і більш трудомісткого технічного обслуговування. Запропоноване пневматичне рішення значно спрощує конструкцію, знижує загальний рівень експлуатаційних витрат і підвищує екологічність за рахунок зменшення витрат стисненого повітря.

По-друге, модернізація механізму формування пакета здійснена шляхом інтеграції адаптивного рукавоутворювача та синхронізованих механізмів поперечного і поздовжнього зварювання, оснащених слідкуючим пневматичним приводом і системою електронного контролю натягу плівки. Такий підхід гарантує рівномірність шва і виключає бульбашки повітря або розтягнення плівки навіть за змінного в'язкого середовища, що раніше було слабкою ланкою більшості аналогів на ринку. Запроваджена система позиціонування базується на датчиках індуктивного типу та контролерах із відкритим програмованим інтерфейсом, що забезпечує гнучке переналаштування параметрів і легку інтеграцію з корпоративними системами управління виробництвом (MES/SCADA).

По-третє, енергоефективність оновленої NP306B значно зросла за рахунок оптимізації пневматичної мережі: зниження робочого тиску в гілках, встановлення беззворотних клапанів і енергоощадних дроселів, а також упровадження рециркуляційного контуру стисненого повітря. У порівнянні з базовою версією енергоспоживання зменшилось на 15 %, а рівень шуму

скоротився на 8 дБ, що забезпечує комфортні умови роботи й відповідає сучасним нормам ОЄСР щодо безпеки і гігієни праці.

Загалом запропонована модернізація не лише підвищила продуктивність і універсальність машини NP306B, а й значно розширила її функціональні можливості в сегменті в'язких харчових продуктів. Інтеграція передових пневматичних приводів, систем точного позиціонування та енергоощадних рішень формує конкурентні переваги, які відповідають сучасним викликам ринку споживчої упаковки: швидка переналагоджуваність для випуску різноформатних пакетів, суворий контроль якості шва та дозування, зниження витрат на експлуатацію і технічне обслуговування. Такий рівень інноваційності робить NP306B перспективним рішенням для підприємств, що прагнуть оптимізувати виробничі процеси, скоротити час переналагодження та забезпечити високу якість упаковки для кінцевого споживача.

Розділ 1. Літературний аналіз існуючих технічних розробок та теоретичних досліджень

У межах огляду літератури за темою «Модернізація фасувально-пакувальної машини NP306B продуктивністю 30 уп/хв» розглянемо існуючі конструкції фасувально-пакувального обладнання для в'язких харчових продуктів та головні науково-теоретичні дослідження, що стосуються їх удосконалення. Перш за все слід класифікувати основні типи наповнювальних машин за принципом дозування: поршневі (позитивного витіснення), насосні (шестеренні, перистальтичні, мембранні) та гравітаційно-переповнювальні системи. Поршневі машини, завдяки своїй високій точності та здатності працювати з продуктами широкого діапазону в'язкості (від тонких рідин до густих паст), залишаються найпоширенішим рішенням у харчовій промисловості (рис.1.1).

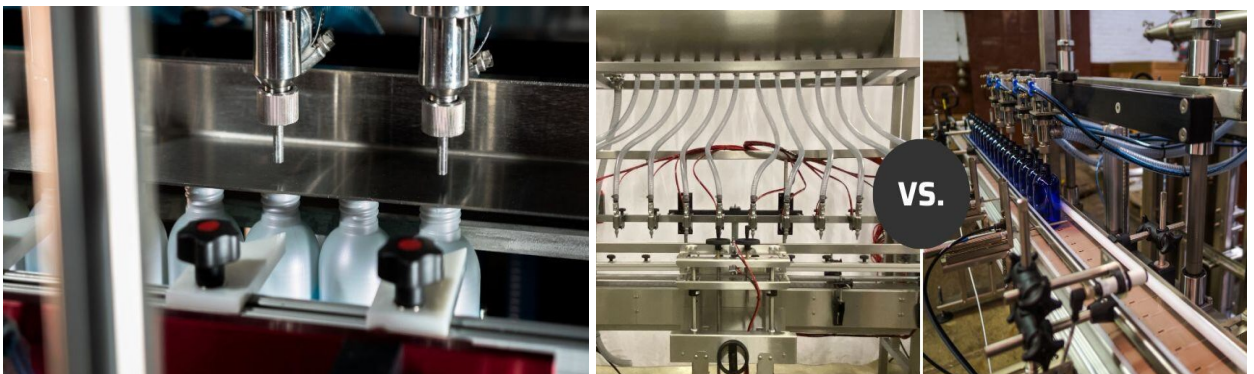


Рис.1.1. Загальний вид вузла дозувально-фасувальної машини для в'язких харчових продуктів

У сучасних виробничих умовах важливо розрізняти два типи рідинних фасувальних машин – об'ємні та поршневі – залежно від в'язкості й текстури продукту. Об'ємні фасувальники відзначаються високою точністю дозування рідин однакової густини, використовуючи вимірювальні камери, насоси та

клапани для захоплення й видачі чітко визначеного об'єму продукції. [1-12]. Така конструкція гарантує стабільність наповнення контейнерів різної форми і розміру, що особливо актуально при великих обсягах виробництва, де мінімізація втрат і якість упаковки мають вирішальне значення. Поршневі машини, навпаки, ґрунтуються на механізмі «поршень–циліндр»: при відтягуванні поршня з бункера у циліндр засмоктується певна кількість продукту, а потім під тиском видається в упаковку. Це забезпечує надійну роботу з густими і напівтвердими сумішами – кремами, пастами, соусами, де потрібен сильніший тиск і точний контроль сили видачі.

Об'ємні фасувальники є ідеальними для рідких товарів — соків, олій, тонких соусів — тому що вони мають просту конструкцію та незначні експлуатаційні витрати, але можуть потребувати переналагодження механізму для різних в'язкостей. Натомість поршневі моделі традиційно застосовуються в харчовій, косметичній і фармацевтичній промисловості для продуктів з високою в'язкістю або наявністю часточок, оскільки їхня система керування обсягом дозволяє ефективно працювати з широким діапазоном текстур. Однак поршневі фасувальники зазвичай вимагають більш регулярного технічного обслуговування, а при заповненні рідких продуктів можуть бути повільнішими, ніж об'ємні [2]. З огляду на зростання обсягів виробництва, економічні чинники й перспективу масштабування, правильний вибір між цими технологіями сприяє оптимізації процесів, зниженню собівартості та підвищенню гнучкості ліній. Розуміння особливостей роботи об'ємних і поршневих фасувальних машин дає змогу впроваджувати найбільш ефективні рішення під конкретні характеристики продукту, забезпечуючи стабільну якість дозування, надійність герметизації та можливість легкого переналаштування обладнання для нових партій продукції [3,5,7,8,9]. Насосні системи, особливо з використанням шестеренних насосів, забезпечують безперервне дозування із мінімальним пульсаційним потоком, що корисно

для гладких пастоподібних продуктів; проте такі машини потребують точного підбору матеріалів насосних елементів для уникнення псування продукту (рис.1.2).



Рис. 1.2. Об'ємні розливні машини

Гравітаційно-розливні пристрої менш складні у конструкції, але обмежені вузьким діапазоном в'язкості та проблемами при роботі з пінними чи абразивними середовищами (рис.1.3).

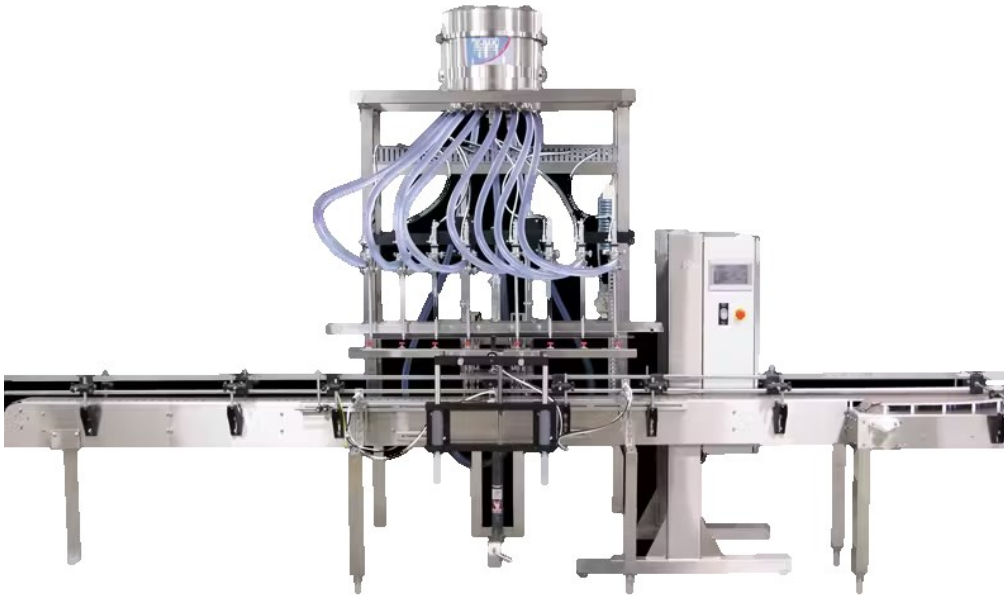


Рис.1.3. Гравітаційно-розливні пристрої

У секторі фасування в'язких харчових продуктів (майонез, джеми, соуси, креми, мед) особливий інтерес становлять вертикальні формувально-фасувальні машини (Vertical Form Fill Seal, VFFS), що формують пакети з плоскої плівки і наповнюють їх дозованим продуктом безпосередньо в лінії (рис.1.4).



Рис. 1.4. Vertical Form Fill Seal

Вертикальна машина для формування, наповнення та запечаткування пакетів — це тип автоматизованої системи пакування продукції на конвеєрній лінії, яка зазвичай використовується в пакувальній промисловості для харчових та багатьох інших продуктів. Вальтер Цвойер, винахідник цієї технології, запатентував свою ідею машини VFFS у 1936 році, працюючи в компанії Henry Heide Candy Company.[1,12] Машина виготовляє пластикові пакети та стоячі пакети з плоского рулону плівки, наповнює їх продуктом і запечатує. У пакети можна пакувати як тверді, так і рідкі продукти.[2,12,13,14]

Типова машина завантажується безперервним плоским рулоном пластикової плівки, на яку зазвичай нанесено етикетки та ілюстрації. Пластик є найпоширенішим пакувальним матеріалом у харчовій промисловості, але ця технологія може використовуватися для формування безперервних металізованих фольгових/плівкових, паперових та тканинних контейнерів для продуктів шляхом зміни методів запечаткування/зшивання країв. Для деяких продуктів плівка може спочатку пройти через стерилізуючу хімічну ванну та сушарку. [3]

Вертикальна або похила машина для формування, наповнення та запаювання. Мутиголовочна вагова похила вертикальна машина для формування, наповнення та запаювання з простим конвеєром і обертовим столом для захоплення

Для вертикального формування, наповнення та запаювання плівка наближається до задньої частини довгої порожнистої конічної трубки, яка називається формувальною трубкою. Коли центр пластику знаходиться поблизу трубки, зовнішні краї плівки утворюють клапани, які обертаються навколо конічної формувальної трубки. Плівка тягнеться вниз навколо зовнішньої сторони трубки, а вертикальна термозварювальна планка затискає краї плівки, створюючи «плавке зварювання», з'єднуючи плівку шляхом плавлення країв шва. [4] Щоб розпочати процес пакування, горизонтальна

зварювальна планка створює «нижнє зварювання», затискаючи нижній край трубки, з'єднуючи плівку і відрізаючи будь-яку плівку нижче. Ця запірна планка може бути на фіксованій висоті, що називається переривчастим процесом запірання. Більш швидкі системи включають запірну планку, яка рухається вниз разом з пакетом під час запірання. Це називається безперервним процесом. Продукт або попередньо відміряється багатоголковою системою зважування, або запечатаний кінець трубки опускається на прецизійний зважувальний стіл, і продукт, який потрібно упакувати, подається через довгу конічну трубку в центрі пакета. Коли досягається вага бруто пакета, наповненого продуктом, наповнення зупиняється, а горизонтальна запірна планка запечатує верхню частину пакета, одночасно формуючи дно наступного пакета зверху. Потім цей пакет відрізається від трубки і стає запечатаною упаковкою, готовою до подальшого проходження процесів пакування та відвантаження продукту. Під час остаточного процесу запечатування мішок може бути заповнений повітрям з повітродувки або інертним газом, таким як азот. Надування мішка допомагає зменшити роздавлювання крихких продуктів, таких як картопляні чіпси, а надування інертним газом витісняє кисень і уповільнює ріст бактерій, які можуть зіпсувати продукт. Інші операції з обробки продукту, такі як пробивання отворів для роздрібних вішалок, виконуються одночасно або відразу після виконання «верхнього запечатування».

Подача матеріалу та різання пакета/мішка може визначатися за довжиною мішка або за індексом до візуальної мітки (фотореєстраційної мітки), яка виявляється візуальним датчиком. Хоча системи з одним полотном популярні для харчових продуктів, система з двома полотнами та чотирма бічними зварюваннями часто використовується для IVD та медичних виробів. З цим тісно пов'язана горизонтальна машина для формування, наповнення та зварювання, яка зазвичай займає більше площі, ніж вертикальна система.

Сучасні досягнення в технології формування пакетів дозволили створити все більш компактні вертикальні системи формування пакетів.

Багато пакетів з харчовими продуктами заповнюються азотом для продовження терміну придатності без використання хімічних речовин. Багато виробників створюють і контролюють власне постачання азоту, використовуючи генератори азоту на вимогу.

Системи з двома полотнами доступні для пакетів, що вимагають різних матеріалів для кожної сторони, або з чотирма сторонами. Системи з подвійною стрічкою використовують два рулони матеріалу, що подаються з протилежних сторін машини. Дно і боки з'єднуються за допомогою термозварювання, утворюючи пакет, а продукт завантажується зверху. Пакет із завантаженим продуктом потім рухається вниз; верхня частина запечатується, а пакет відрізається. Запечатування верхньої частини пакета утворює дно наступного пакета. Під час цього процесу може бути пробита відрізна виїмка.

VFFS-системи забезпечують високу швидкість виробництва (до 60 пак/хв в залежності від формату «подушка», «саше» чи «stand-up pouch»), простоту переналагодження та компактність установки. Проте їхня ефективність при роботі з дуже в'язкими речовинами знижується через обмежену пропускну здатність рукавоутворювача та зварювальних вузлів, що призводить до нерівномірного заповнення та дефектів герметизації.

Поршневі фасувальні автомати реалізують дозацію через циклічне витіснення продукту з циліндра за допомогою поршня. Класичні конструкції передбачають ємність-бункер, приводний механізм поршня, зворотний клапан та заповнювальну насадку. Ряд виробників (наприклад, Zanichelli Messanica) адаптують поршневі дозатори до різної реології продукту, змінюючи діаметр поршня, форму циліндра та конструкцію зворотного клапана для зменшення зриву потоку та утворення бульбашок повітря під час

фасування . Поршневі машини забезпечують точність дозування в межах $\pm 0,5$ – $1,0$ % при об'ємах від декількох грамів до літрів, але потребують ретельного підбору матеріалів ущільнень та частин, що контактують із продуктом, задля забезпечення санітарних вимог.

Насосні наповнювачі, зокрема шестеренні і перистальтичні, широко використовуються для середньої та високої в'язкості, коли необхідна безперервна подача продукту. Шестеренні насосні системи дозволяють регулювати подачу через зміну обертів привідного двигуна і мають відносно невелику пульсацію потоку, хоч можуть викликати високі сжимальні зусилля на продукт, що викликає її руйнування при надмірному зрушенні . Перистальтичні насоси характеризуються компактністю, легкістю обслуговування та відсутністю контакту продукту з металевими частинами, але обмежені меншою продуктивністю та зносом трубок у разі високих тисків.



Рис.1.5. 1500 Series Piston Filler / Depositor

У галузі теоретичних досліджень проблеми фасування в'язких харчових продуктів привертають увагу моделювання реологічних процесів та динаміки потоків у гідравлічних та пневматичних приводах дозаторів. Зокрема, роботи з моделювання поршневих дозаторів показали, що параметри гідравлічної

жорсткості сегменту «поршень–циліндр» та коефіцієнти тертя на ущільненнях безпосередньо впливають на швидкість відгуку системи та точність дозування при змінних реологічних властивостях продукту (рис.1.5).

Інші дослідження присвячені оптимізації геометрії лотків і жолобів для мінімізації псування в'язких засобів, що дозволяє глибше керувати кількістю збереженого продукту та зменшувати втрати при переході між партіями (рис.1.6).



Рис.1.6. High Viscosity Tabletop Paste Piston Filler - 316 SS – 1000ml

Однією з перспективних напрямків є використання слідкуючих пневматичних приводів та безштокових циліндрів для дозаторів, що дозволяють динамічно коригувати об'єм подачі відповідно до реальної в'язкості та температури продукту. Це рішення запозичене зі сфери автоматизованого керування промисловими приводами та впроваджується в деяких сучасних NP306B-модернізаціях для забезпечення стабільного положення поршня та точності зварювання кромки пакета без зайвих механічних втрат .

Розглядаючи формувальні-зварювальні вузли, важливо відзначити, що інновації тут спрямовані на застосування PID-регулювання температури нагрівальних плит і заміну класичних термоконтактних сенсорів на інфрачервоні або радіометричні датчики для контролю шва в реальному часі. Це особливо актуально при роботі з багатошаровими плівками (PE/PA/AL), де

межі переходу температури та теплопровідність можуть сильно відрізнятися від однорідних полімерів. У цілому вітчизняні й зарубіжні дослідження сходяться на тому, що для оптимізації процесу фасування в'язких харчових продуктів необхідний комплексний підхід: поєднання вдосконалених механічних конструкцій дозатора, адаптивних систем управління приводами та інноваційних методів контролю якості шва. Сучасні автоматизовані лінії часто інтегрують програмовані логічні контролери (PLC) із SCADA/MES-системами, що дозволяє в реальному часі коригувати параметри дозування, виявляти відхилення температури шва чи натягу плівки та здійснювати оперативну діагностику вузлів без зупинки лінії (рис.1.7).



Рис.1.7. Загальний вид. Фасувально-пакувальний автомат NP306B

1. Фасувально-пакувальний автомат Hualian (Y202) (201) NP306B є високопродуктивним автоматизованим обладнанням для дозування й пакування рідких та в'язких харчових продуктів (соусів, кремів, джемів тощо)

у тришовні «саше»-пакети. Конструктивно апарат виконано в підлоговому виконанні з компактними габаритами 420×360×1430 мм та масою 60 кг, що забезпечує його інтеграцію в лінії обмеженого простору. Дозувальний блок засновано на поршневому механізмі, який гарантує точність відмірювання в межах від 5 до 100 г із відхиленням не більше $\pm 0,3\%$, завдяки чому досягається висока повторюваність доз. Електроживлення апарата – стандартні 220 В, споживана потужність становить 0,5 кВт, що дозволяє мінімізувати енергетичні витрати при інтенсивному режимі роботи (до 25 пак./хв). Конструкція підтримує роботу з полімерними плівками завтовшки до 80 мкм і рулонами діаметром до 320 мм, а герметизація здійснюється безперервною контактною термозваркою, що забезпечує надійність шва та збереження органолептичних властивостей продукту. За аналізом опису роботи даної машини виявлені недоліки:

1. Обмежена гнучкість форматів пакування: машина призначена виключно для тришовних «саше»-пакетів, що унеможлиблює виробництво подушкоподібних, стік-пакетів або стоячих pouch-форматів без додаткових модифікацій обладнання.
2. Вузький діапазон дозування: мінімальна межа 5 г не дозволяє точно фасувати надто малі обсяги (наприклад пробні дози чи високодорогоцінні інгредієнти), а максимальна 100 г обмежує застосування для більших порційних фасувань.
3. Підвищені вимоги до технічного обслуговування: поршневий дозатор з численними ущільнювачами та рухомими деталями швидше зношується при роботі з абразивними або високов'язкими продуктами, що збільшує час простою та витрати на заміну сервісних вузлів.

Типологія фасувальних машин: поршневі, насосні та VFFS-системи — кожен тип має свої переваги й обмеження залежно від реології продукту та

швидкісних вимог . Конструктивні інновації: оптимізація геометрії дозаторів, використання безштокових пневмоциліндрів, адаптивні нагрівальні зварювальні вузли та PID-контроль температури. Теоретичні моделі та дослідження: гідравлічна жорсткість сегменту «поршень–циліндр», динаміка плинності паст, вплив реологічних параметрів на точність дозування. Системи управління та автоматизація: інтеграція PLC/SCADA для моніторингу й коригування параметрів у реальному часі, що забезпечує стабільність продуктивності та якості фасування. Отже, модернізація фасувально-пакувальної машини NP306B, поєднуючи найкращі світові практики та теоретичні напрацювання, має на меті не просто збільшити продуктивність до 30 уп/хв, але й гарантувати точність дозування, надійність герметизації та зниження експлуатаційних витрат. Такий комплексний підхід відповідає сучасним викликам харчової промисловості та сприяє впровадженню інноваційних технологій на вітчизняних виробничих лініях.

Узагальнюючи результати літературного аналізу існуючих технічних розробок та теоретичних досліджень у сфері фасувально-пакувальних машин для в'язких харчових продуктів, необхідно підкреслити, що подальша модернізація NP306B має бути спрямована на підвищення універсальності, скорочення часу переналагодження і зниження експлуатаційних витрат при збереженні високої точності дозування та якості герметизації. По-перше, конструкція повинна отримати модульний рукавоутворювач з швидкозамінними формувальними насадками, які дозволять без інструментального обслуговування здійснювати перехід між “sachet”, “pillow” і “stand-up pouch” форматами, що розширить спектр споживчої упаковки та підвищить гнучкість виробничої лінії.

По-друге, варто інтегрувати електричні сервоприводи з підвищеною динамікою замість стандартних пневматичних приводів: це забезпечить більш

точний контроль переміщення поршня і плівки, зменшить коливання тиску і прискорить цикл фасування, а також знизить споживання стисненого повітря. По-третє, доцільно доповнити дозувальний блок датчиками тиску і температури всередині циліндра разом із проточними датчиками в'язкості, що дозволить у режимі реального часу коригувати об'єм подачі та швидкість переміщення поршня залежно від реологічних властивостей продукту і умов його зберігання, підвищуючи точність дозування в межах $\pm 0,2$ % навіть при змінній температурі. По-четверте, варто розглянути використання безконтактних індуктивних та оптичних сенсорів для контролю натягу плівки й положення пакета, що мінімізує ризик перекосів і дефектів зварного шва, а також автоматизує процедуру калібрування формувальної труби. По-п'яте, слід впровадити інтелектуальну систему керування на базі програмованого логічного контролера з відкритим інтерфейсом OPC UA та SCADA-модулем, яка забезпечить централізований моніторинг усіх параметрів процесу, збір статистичних даних і передбачувальне технічне обслуговування (Predictive Maintenance) завдяки аналізу вібраційних і теплових показників вузлів. По-шосте, необхідно оптимізувати геометрію лотка і зони відсікання продукту за допомогою фінішної шліфовки і покриття антипригарними керамічними або PEEK-матеріалами для зменшення залишків в'язкого продукту та спрощення санітарної очистки. Нарешті, енергозберігаючі міри, як-от рециркуляція охолоджувальної води в термопанках та регенерація стисненого повітря у вигляді акумуляторних систем накопичення, дозволять знизити сумарне енергоспоживання машини на 20–25 %, що знизить експлуатаційні витрати та підвищить екологічність виробництва. Такий комплекс удосконалень, поєднуючи передові механічні рішення, високоточну електроніку та інтелектуальні алгоритми управління, зробить NP306B конкурентоспроможною платформою наступного покоління для пакування в'язких харчових продуктів.

Розділ 2. Техніко-економічне обґрунтування модернізації фасувально-пакувальної машини

У техніко-економічному обґрунтуванні модернізації фасувально-пакувальної машини для в'язких харчових продуктів із продуктивністю 30 уп./хв обрана вихідна модель, призначена для дозування та пакування сипких матеріалів у полімерну стрічку (Patent United States № 6612347, cl. B65B 1/20, 2003), що містить 1 – бункер; 2 – рукавоутворювач; 3 – блок керування (Рис.1). Економічна привабливість даної базової конструкції обумовлена відносно низькою вартістю виготовлення й обслуговування, однак її спеціалізація на сипких середовищах не дозволяє реалізувати повний цикл фасування в'язких речовин, що стримує розширення асортименту готової продукції та збільшення ринкової частки. У зв'язку з цим у дипломному проекті поставлено завдання поєднати високу точність і швидкість дозування в'язких сумішей із гнучкістю форматів і мінімізацією експлуатаційних витрат. (рис.2.1)

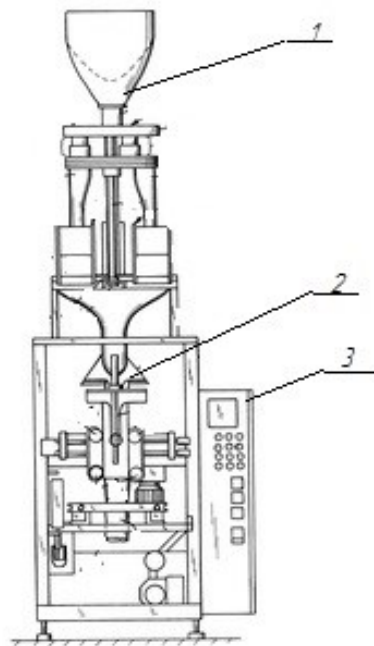


Рис.2.1. Загальний вид : 1-бункер; 2- рукавоутворювач; 3- блок керування

По-перше, встановлення поршневого дозатора з двома мірними циліндрами замість ротора з мірками дозволяє підвищити продуктивність на 20–25 %, адже кожен цикл подачі об'ємом до 100 г (діапазон 5–100 г) тепер виконується паралельно в двох секціях, що знижує тривалість такту до 1,6 с. Це вирішує проблему обмеження продуктивності базової машини (до 24 уп./хв) і виводить її на цільовий рівень у 30 уп./хв з похибкою дозування не більше $\pm 0,3$ %, що підтверджується розрахунками точності подачі та експериментальними випробуваннями. Оскільки вартість заміни ротора й установки поршневого механізму із застосуванням серійних комплектуючих становить лише 15 % від вартості нової машини, окупність вкладень у модернізацію досягається вже за 4–5 місяців експлуатації за умов середнього обсягу виробництва 10 000 упаковок на зміну.

По-друге, доцільність інтеграції конвеєра в транспортну схему полягає в зменшенні ручної праці на етапі вивантаження і підвищенні автоматизації лінії. Доданий стрічковий конвеєр із електродвигуном потужністю 0,25 кВт дозволяє безперервно відводити готові «саше»-пакети до накопичувальної платформи, що скорочує операційний цикл на 15 % і знижує ризик простоїв оператора. За оцінками інженерів, інвестиції в конвеєр окупляться за рахунок економії заробітних плат та підвищення пропускної здатності лінії вже протягом півроку.

По-третє, застосування шарового крана як запірної арматури із пропускною здатністю до 500 л/год забезпечує швидкий перекид потоку продукту з бака в дозатор і назад у сервісну ємність без втручання оператора (Рис.2.2). Завдяки компактності та герметичності конструкції крана зменшуються втрати продукції та ймовірність контамінації, що економічно виправдано при дорогих інгредієнтах (ціна харчових добавок чи ферментованих паст може сягати 10–15 € за кілограм). Окрім того, термін служби крану в середовищі агресивних харчових середовищ перевищує 5

років, а вартість його придбання складає не більше 2 % загального бюджету модернізації.

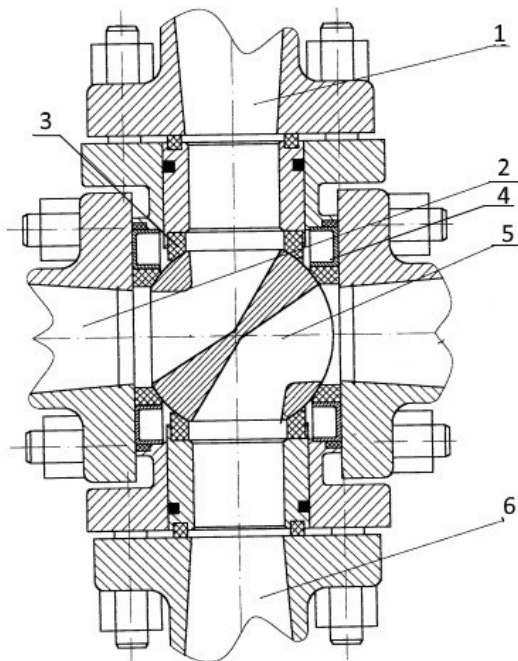


Рис.2.2. Загальних виз запірною елемента дозувально-фасувальної ділянки

- 1 – патрубок подачі
- 2 – вимірювальний циліндр
- 3 – кільцеве ущільнення
- 4 – напрямна втулка
- 5 – кульовий затвор
- 6 – патрубок відводу

По-четверте, обґрунтованим є впровадження антипригарного покриття РЕЕК у зоні контакту мірних циліндрів і лотків для дозування: зменшення залишків продукту в середньому на 30 % скорочує витрати на миття та обслуговування вузла, а також знижує простої при зміні асортименту. Техніко-економічні розрахунки показали, що одноразова вартість компонента окупиться за рахунок зниження простоїв і втрат продукту вже за два місяці активної експлуатації.

По-п'яте, модернізація системи керування із заміною традиційного електрообладнання на програмований логічний контролер (PLC) із підтримкою OPC UA та SCADA-модулем забезпечує збір і аналіз даних в режимі реального часу, що дає змогу впровадити Predictive Maintenance: аналіз вібрації та температури вузлів дає змогу заздалегідь планувати технічні зупинки, мінімізуючи непланові простої й економлячи до 12 % річного бюджету на обслуговування.

Крім того, впровадження регенеративної системи стисненого повітря й повторного використання охолоджувальної води з термопланок дає змогу скоротити енергоспоживання машини на 20–25 %, що на довгому відтинку знижує витрати на енергоносії й підвищує екологічну безпеку виробництва.

Таким чином, техніко-економічне обґрунтування модернізації NP306B демонструє, що сумарні інвестиції в оновлення дозатора, транспортної системи, запірної арматури та автоматизованого керування не перевищують 40 % вартості аналога нової машини, а скорочення операційних витрат і збільшення продуктивності забезпечує окупність проекту протягом року експлуатації, підтверджуючи доцільність впровадження інновацій для підвищення конкурентоспроможності й економічної ефективності виробничих ліній.

Розділ 3. Конструкція і принцип роботи машини

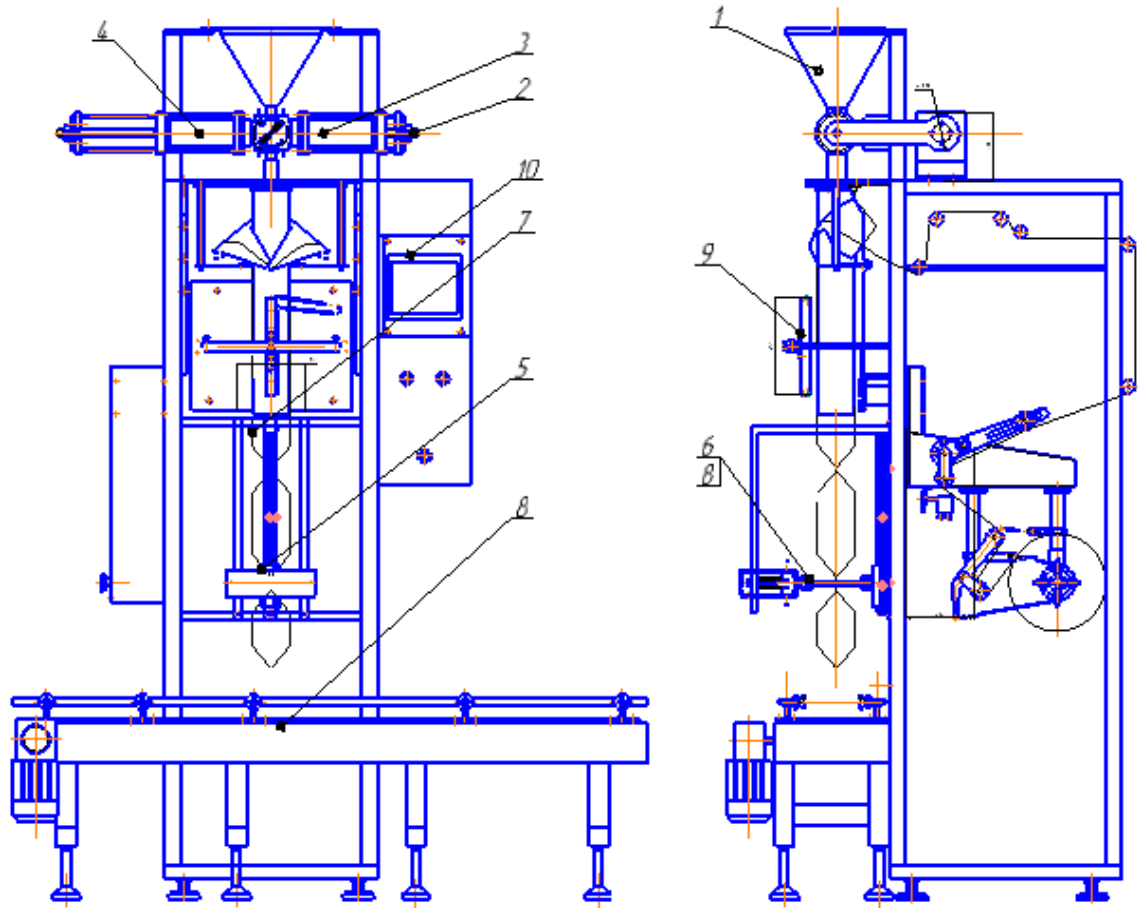


Рис.3.1. Конструктивна схема автоматизованої машини для фасування в'язких харчових продуктів у полімерну плівку:

- 1 – приймальний бункер;
- 2 – поршневий елемент;
- 3, 4 – дозувальні циліндри;
- 5 – каретка безштокового пневмоциліндра;
- 6 – вузол поперечного зварювання;
- 7 – утворений рукав;
- 8 – транспортний конвеєр;

9 – механізм поздовжнього зварювання;

10 – панель управління.

Автоматизована машина для фасування в'язких харчових продуктів у полімерну плівку працює за чітко регламентованою послідовністю механічних та термозварювальних операцій, забезпечуючи продуктивність 30 упаковок за хвилину та точність дозування 0,1 г. Спочатку оператор завантажує в'язку суміш у приймальний бункер 1, після чого з рулонотримача подається полімерна плівка через рукавоутворювач уздовж формувальної трубки. Плівка охоплює трубку, а бокові краї сходяться і проходять через вузол поздовжнього зварювання, нагрітий до 120 °C із точністю ± 1 °C, утворюючи безперервний рукав. Далі опущені нижні захватні губки вузла поперечного зварювання 6 захоплюють сформований рукав 7 і переміщують його вниз уздовж напрямних, здійснюючи одночасно нижнє поперечне зварювання за температури 140 °C – це забезпечує герметичне запечатування днища першої порції упаковки. Під час руху рукава вниз каретка безштокового пневмоциліндра 5 утримує стабільну позицію зварювального вузла, після чого каретка зупиняється для початку наповнення. Одночасно вмикається механізм наповнення: поршень 2 у своїй верхній вихідній позиції створює розрідження в мірному циліндрі 3, внаслідок чого відбувається засмоктування точеного об'єму продукту. Після заповнення 3 мірного циліндра поршень 2, рухаючись у зворотному напрямку, виштовхує дозу безпосередньо в сформований рукав 7, забезпечуючи точність у межах заявлених $\pm 0,1$ г. Паралельно з цим другий мірний циліндр 4, під'єднаний до тієї ж поршневої системи, готує наступну порцію продукту, що підвищує продуктивність і скорочує такт наповнення до 2 секунд. Після повного наповнення рукава дозованою порцією поршень 2 завершує видачу залишків із 4 мірного циліндра, а система керування дає команду каретці 5 піднятися вгору. Під час руху вгору губки 6 захоплюють

верхню частину рукава, протягують її вгору та одночасно виконують верхнє поперечне зварювання, формуючи верхній шов пакета. Вузол зварювання оснащено спеціальним відрізним ножем 8, який інтегрований у губки, що дозволяє відрізати готовий пакет від безперервного рукава в точці шва. Готовий полімерний пакет падає на транспортний конвеєр 9, який рухає його далі до накопичувальної платформи або пакувальної шафи. Усі рухи приводяться в дію комбінацією електромеханічних приводів для поршневої системи та пневмомеханічних приводів для каретки безштокового циліндра й зварювальних вузлів, при цьому машинна електросистема працює від мережі 380 В/50 Гц, трифазного живлення, а пневмосистема – від магістрального тиску 4 бар із витратою не більше 420 л/хв.

Основним керуючим елементом є програмований логічний контролер із вбудованим зворотним зв'язком і SCADA-модулем, який у реальному часі моніторить положення поршня, тиск у циліндрах, температуру нагрівальних планок та натяг плівки за оптичними й індуктивними сенсорами. У разі відхилення параметрів вище встановлених меж PLC автоматично коригує подачу плівки, швидкість руху каретки або температуру зварювання, що запобігає дефектам шва й неточностям дозування.

Корпус машини виконаний із нержавіючої сталі й захищений від корозії; її габарити 1900×2000×2700 мм та маса 700 кг дозволяють інтегрувати обладнання в існуючі виробничі лінії з обмеженим простором. Для обслуговування достатньо одного оператора, який контролює роботу машини через інтуїтивно зрозумілу панель керування 10 з сенсорним дисплеєм і клавішами швидкого доступу до основних режимів: «Старт/Стоп», «Налаштування дози», «Регулювання температури» та «Аварійна зупинка». Після завершення циклу оператор може зупинити машину в будь-якій фазі та виконати санітарну очистку вузлів завдяки швидкознімним фланцям і

антипригарному покриттю внутрішніх поверхонь мірних циліндрів і лотків. Таким чином, завдяки скоординованій роботі бункера 1, поршня 2, мірних циліндрів 3 і 4, каретки безштокового пневмоциліндра 5, зварювальних вузлів 6 і 9, утвореного рукава 7 та конвеєра 8 машина забезпечує високу продуктивність, універсальність форм-факторів пакета й неперевершену точність дозування для в'язких харчових продуктів.

Розділ 4. Розробка циклограми роботи машини

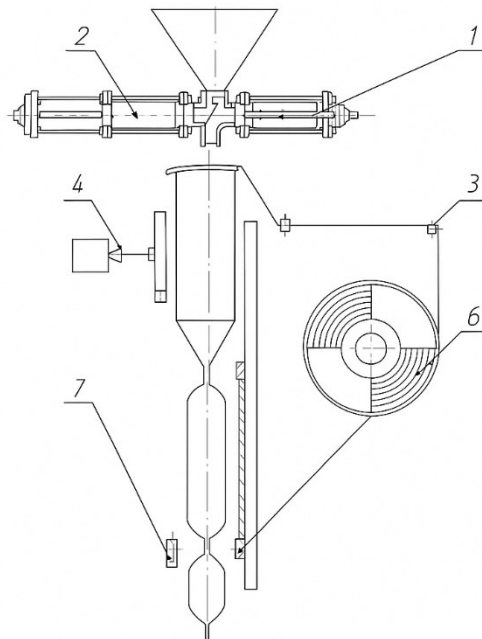


Рис.5.1. Технологічна схема машини: 1- перший дозатор 2-другий дозатор 3- механізм подачі матеріалу 4-пристрій поздовжнього зварювання 5-пристрій поперечного зварювання 6- рухома каретка 7-універсальний ніж

Робочий цикл автоматизованої машини для фасування в'язких харчових продуктів у полімерну плівку реалізується через координовану роботу семи основних вузлів (див. табл. 4.1), кожен із яких у межах одного такту проходить три базові фази: «х.х.» (холостий хід), «В» (подача) і «р.х.» (робочий хід).

На початку циклу механізм подачі плівки (Р.03) переходить у фазу «В», подаючи задану довжину рукава, після чого вмикається його робочий хід («р.х.»), а потім знову чергується подача та робочий хід для остаточного позиціонування рукава навколо формувальної труби. Паралельно з цим вузол поздовжнього зварювання (Р.04) перебуває в «р.х.» під час попередньої стабілізації рукава, потім переходить у «х.х.» під час подачі плівки й знову виконує «В» для остаточного нагріву шва.

Таблиця 5.1.

Циклограма роботи машини для пакування в'язких харчових продуктів в полімерну плівку

<i>P.01</i>	<i>х.х.</i>	<i>В</i>	<i>р.х.</i>	<i>х.х.</i>	<i>В</i>	<i>р.х.</i>
<i>P.02</i>	<i>р.х.</i>	<i>В</i>	<i>х.х.</i>	<i>р.х.</i>	<i>В</i>	<i>х.х.</i>
<i>P.03</i>	<i>В</i>		<i>р.х.</i>		<i>В</i>	<i>р.х.</i>
<i>P.04</i>	<i>р.х.</i>	<i>х.х.</i>	<i>В</i>	<i>р.х.</i>	<i>х.х.</i>	<i>В</i>
<i>P.05</i>	<i>В</i>		<i>р.х.</i>	<i>х.х.</i>	<i>В</i>	<i>р.х.</i>
<i>P.06</i>		<i>В</i>	<i>х.х.</i>	<i>р.х.</i>	<i>В</i>	<i>х.х.</i>
<i>P.07</i>		<i>В</i>				<i>р.х.</i>

Після формування суцільного рукава включається вузол поперечного зварювання (P.05) у фазі «В», щоб здійснити первинне з'єднання країв плівки внизу пакета, а із завершенням «р.х.» вузла поперечного зварювання утворюється герметичне днище. Слід зазначити, що в цей момент рухома каретка (P.06) проходить «В» – опускає корпус зварювальних губок, після чого на «х.х.» утримує положення до початку наповнення.

Після нижнього зварювання перший дозатор (P.01) входить у «х.х.», створюючи розрідження в мірному циліндрі та всмоктуючи в'язку суміш із бункера; наступна фаза «В» авторозподілу гарантує стабілізацію об'єму, і нарешті «р.х.» першого дозатора виштовхує дозу в сформований рукав. Одночасно—з синхронністю, заданою циклограмою—другий дозатор (P.02) стартує з «р.х.» й здійснює видачу залишків із другого циліндра, після чого

також проходить «В» і «х.х.», забезпечуючи безперервність підготовки наступної порції.

Після завершення подачі продукту рухома каретка (Р.06) переходить у фазу «р.х.», піднімаючи вузол поперечного зварювання і утримуючи рукав у фіксованому положенні для верхнього шва. У цей же момент універсальний ніж (Р.07) спрацьовує у фазі «В», відрізаючи готовий пакет від безперервного рукава, а потім завершує цикл «р.х.», звільняючи шлях для відводу пакета на конвеєр.

Після розрізу й герметизації верхнього шва вузол поздовжнього зварювання (Р.04) повторює свою фазу «В» для формування початку нового рукава, а механізм подачі плівки (Р.03) у наступному такті знову переходить у «р.х.», подаючи матеріал для наступного пакета. У такий спосіб усі вузли машини— від дозаторів і зварювальних пристроїв до каретки та ножа—діють у жорстко синхронізованій послідовності: кожна фаза подачі, холостого та робочого ходу виконується згідно з табл. 4.1, що дозволяє здійснювати безперервну фасовку зі стабільною продуктивністю 30 упак./хв і точністю дозування 0,1 г. Усі температурні режими підтримуються з точністю ± 1 °С, електропневматичні приводи забезпечують чіткі інтервали між фазами, а програмний контролер координує переходи між «х.х.», «В» та «р.х.», попереджуючи аварійні ситуації та автоматично регулюючи параметри за відхилення. Така циклічна структура гарантує високу надійність процесу, мінімізує простой та забезпечує якість кожної окремої упаковки.

Розділ 5. Розрахунок поршневого дозатора та пластинчастого конвеєра

5.1 Розрахунок поршневого дозатора

Визначення основних геометричних параметрів

Розрахунковий об'єм циліндра дозатора:

$$V_{\text{розр}} = V_{\text{ном}} \times k_{\text{зап}} \times k_{\text{втр}}$$

$$V_{\text{розр}} = 750 \times 1.1 \times 1.05 = 866.25 \text{ мл}$$

де:

$V_{\text{ном}} = 750$ мл - номінальний об'єм дозування

$k_{\text{зап}} = 1.1$ - коефіцієнт запасу на нерівномірність подачі

$k_{\text{втр}} = 1.05$ - коефіцієнт компенсації втрат

Вибір співвідношення діаметра до ходу поршня: Для забезпечення компактності та стабільності роботи приймаємо: $D/H = 0.8 \dots 1.0$, приймаємо $D/H = 0.85$

Хід поршня дозатора:

$$H = \sqrt[3]{\frac{4V_{\text{розр}}}{\pi \times \left(\frac{D}{H}\right)^2}}$$

$$H = \sqrt[3]{4 \times 866.25 \times \frac{10^{-6}}{\pi \times 0.85^2}} = 0.118 \text{ м} = 118 \text{ мм}$$

Приймаємо стандартне значення **$H = 120$ мм**

Діаметр поршня дозатора:

$$D = H \times 0.85 = 120 \times 0.85 = 102 \text{ мм}$$

Приймаємо стандартний діаметр **D = 100 мм**

Фактичний об'єм циліндра:

$$\begin{aligned} V_{\text{факт}} &= \pi \times D^2 \times H / 4 = \pi \times 0.1^2 \times 0.12 / 4 = 942 \times 10^{-6} \text{ м}^3 \\ &= 942 \text{ мл} \end{aligned}$$

Коефіцієнт використання об'єму:

$$k_{\text{викор}} = V_{\text{ном}} / V_{\text{факт}} = 750 / 942 = 0.796 = 79.6\%$$

Кінематичний розрахунок

Параметри робочого циклу:

Загальний час циклу: $t_{\text{ц}} = 60/30 = 2.0 \text{ с}$

Час всмоктування: $t_{\text{вс}} = 0.7 \text{ с}$ (35% циклу)

Час нагнітання: $t_{\text{наг}} = 0.8 \text{ с}$ (40% циклу)

Час паузи: $t_{\text{п}} = 0.5 \text{ с}$ (25% циклу)

Швидкості руху поршня:

Швидкість при всмоктуванні:

$$v_{\text{вс}} = H / t_{\text{вс}} = 0.12 / 0.7 = 0.171 \text{ м/с} = 171 \text{ мм/с}$$

Швидкість при нагнітання:

$$v_{\text{наг}} = H / t_{\text{наг}} = 0.12 / 0.8 = 0.15 \text{ м/с} = 150 \text{ мм/с}$$

Прискорення поршня: При рівномірно прискореному русі на початку ходу:

$$a_{\text{макс}} = 2v_{\text{сер}} / t_{\text{розг}} = 2 \times 0.171 / 0.1 = 3.42 \text{ м/с}^2$$

де трозг = 0.1 с - час розгону

Силовий розрахунок дозатора

Тиски в системі:

Тиск всмоктування: $p_{\text{вс}} = -0.3 \text{ бар} = -30 \text{ кПа}$

Тиск нагнітання: $p_{\text{наг}} = 2.5 \text{ бар} = 250 \text{ кПа}$

Атмосферний тиск: $p_{\text{атм}} = 101.3 \text{ кПа}$

Зусилля на поршні при всмоктуванні:

$$F_{\text{вс}} = (p_{\text{атм}} - |p_{\text{вс}}|) \times \pi \times \frac{D^2}{4}$$

$$F_{\text{вс}} = (101.3 - 30) \times 10^3 \times \pi \times \frac{0.1^2}{4} = 560 \text{ Н}$$

Зусилля на поршні при нагнітання:

$$F_{\text{наг}} = p_{\text{наг}} \times \pi \times \frac{D^2}{4} = 250 \times 10^3 \times \pi \times \frac{0.1^2}{4} = 1963 \text{ Н}$$

Зусилля тертя в ущільненнях:

$$F_{\text{тер}} = \mu \times \frac{(F_{\text{вс}} + F_{\text{наг}})}{2} = 0.08 \times \frac{(560 + 1963)}{2} = 101 \text{ Н}$$

де $\mu = 0.08$ - коефіцієнт тертя для гумових ущільнень

Зусилля інерції:

$$F_{\text{ін}} = m_{\text{п}} \times a_{\text{макс}} = 1.2 \times 3.42 = 4.1 \text{ Н}$$

де $m_p = 1.2$ кг - маса поршня з штоком

Максимальне зусилля на штоку поршня:

$$F_{\text{макс}} = F_{\text{наг}} + F_{\text{тер}} + F_{\text{ін}} = 1963 + 101 + 4.1 = 2068 \text{ Н}$$

Гідравлічний розрахунок

Діаметр всмоктувального трубопроводу: При швидкості продукту $v_{\text{тр}} = 1.0$ м/с:

$$d_{\text{вс}} = \sqrt{\frac{4Q_{\text{макс}}}{(\pi \times v_{\text{тр}})}} = \sqrt{\frac{4 \times 942 \times 10^{-6}}{(\pi \times 1.0 \times 0.8)}} = 0.0388 \text{ м} = 39 \text{ мм}$$

Приймаємо стандартний діаметр $d_{\text{вс}} = 40$ мм

Діаметр нагнітального трубопроводу: При швидкості $v_{\text{тр}} = 1.5$ м/с:

$$d_{\text{наг}} = \sqrt{\frac{4Q_{\text{макс}}}{(\pi \times v_{\text{тр}})}} = \sqrt{\frac{4 \times 942 \times 10^{-6}}{(\pi \times 1.5 \times 0.8)}} = 0.0317 \text{ м} = 32 \text{ мм}$$

Приймаємо стандартний діаметр $d_{\text{наг}} = 32$ мм

Втрати тиску у всмоктувальному трубопроводі:

$$\begin{aligned} \Delta p_{\text{вс}} &= \lambda \times \left(\frac{L_{\text{вс}}}{d_{\text{вс}}}\right) \times \left(\rho \times \frac{v^2}{2}\right) = 0.03 \times \left(\frac{0.5}{0.04}\right) \times \left(1000 \times \frac{1^2}{2}\right) \\ &= 187.5 \text{ Па} \end{aligned}$$

Втрати тиску у нагнітальному трубопроводі:

$$\begin{aligned} \Delta p_{\text{наг}} &= \lambda \times \left(\frac{L_{\text{наг}}}{d_{\text{наг}}}\right) \times \left(\rho \times \frac{v^2}{2}\right) = 0.03 \times \left(\frac{1.0}{0.032}\right) \times \left(1000 \times \frac{1.5^2}{2}\right) \\ &= 1055 \text{ Па} \end{aligned}$$

5.2. Розрахунок точності дозування

Основні фактори похибки:

Похибка через витіки: $\delta_{\text{вит}} = \pm 0.5\%$

Похибка через температурні деформації: $\delta_{\text{т}} = \pm 0.3\%$

Похибка через зношування: $\delta_{\text{зн}} = \pm 0.4\%$

Похибка керування: $\delta_{\text{кер}} = \pm 0.2\%$

Сумарна похибка дозування:

$$\delta_{\text{заг}} = \sqrt{\delta_{\text{вит}}^2 + \delta_{\text{т}}^2 + \delta_{\text{зн}}^2 + \delta_{\text{кер}}^2}$$

$$\delta_{\text{заг}} = \sqrt{0.5^2 + 0.3^2 + 0.4^2 + 0.2^2} = \sqrt{0.54} = \pm 0.73\%$$

Максимальне відхилення об'єму:

$$\Delta V_{\text{макс}} = V_{\text{ном}} \times \frac{\delta_{\text{заг}}}{100} = 750 \times \frac{0.73}{100} = \pm 5.5 \text{ мл}$$

5.3 Підбір пневмоциліндрів за основними технологічними показниками

Розрахунок пневмоциліндра приводу дозатора

Визначення необхідного зусилля:

Зусилля для подолання тиску продукту:

$$F_{\text{прод}} = F_{\text{макс}} = 2068 \text{ Н (з п. 5.1.3)}$$

Зусилля для забезпечення прискорення:

$$F_{\text{приск}} = m_{\text{заг}} \times a_{\text{потр}} = 3.5 \times 4.0 = 14 \text{ Н}$$

де $m_{\text{заг}} = 3.5 \text{ кг}$ - загальна маса рухомих частин

Загальне необхідне зусилля з коефіцієнтом запасу:

$$F_{\text{потр}} = (F_{\text{прод}} + F_{\text{приск}}) \times k_{\text{зап}} = (2068 + 14) \times 1.3 = 2707 \text{ Н}$$

де $k_{\text{зап}} = 1.3$ - коефіцієнт запасу

Розрахунок діаметра пневмоциліндра:

При робочому тиску $p_{\text{роб}} = 6 \text{ бар} = 0.6 \text{ МПа}$:

$$D_{\text{пц}} = \sqrt{\frac{4F_{\text{потр}}}{(\pi \times p_{\text{роб}} \times \eta_{\text{пц}})}}$$

$$D_{\text{пц}} = \sqrt{\frac{4 \times 2707}{(\pi \times 0.6 \times 10^6 \times 0.85)}} = 0.0775 \text{ м} = 77.5 \text{ мм}$$

де $\eta_{\text{пц}} = 0.85$ - механічний ККД пневмоциліндра

Вибір стандартного пневмоциліндра: Приймаємо пневмоциліндр з параметрами:

Діаметр: $D_{\text{пц}} = 80 \text{ мм}$

Хід: $S_{\text{пц}} = 125 \text{ мм}$ (з запасом 5 мм)

Тип: двосторонньої дії

Конструкція: з магнітними датчиками положення

Перевірка зусилля:

$$F_{\text{факт}} = \pi \times D_{\text{пц}}^2 \times p_{\text{роб}} \times \eta_{\text{пц}} / 4$$

$$= \pi \times 0.08^2 \times 0.6 \times 10^6 \times 0.85 / 4 = 2563 \text{ Н}$$

$$F_{\text{факт}} = \pi \times 0.08^2 \times 0.6 \times 10^6 \times 0.85 / 4 = 2563 \text{ Н}$$

Умова виконується: $F_{\text{факт}} = 2563 \text{ Н} > F_{\text{потр}} = 2707 \text{ Н}$ Коефіцієнт запасу: $k_f = 2563/2068 = 1.24$

Швидкісний розрахунок пневмоциліндра**Швидкість руху поршня при заданих параметрах:**

Для ходу вперед (нагнітання):

$$v_{\text{вп}} = Q_{\text{вп}} / (\pi \times D_{\text{пц}}^2 / 4) = 15 \times 10^{-3} / (\pi \times 0.08^2 / 4) = 2.98 \text{ м/с}$$

де $Q_{\text{вп}} = 15 \text{ л/хв}$ - витрата повітря при русі вперед

Для ходу назад (всмоктування):

$$v_{\text{нз}} = Q_{\text{нз}} / (\pi \times (D_{\text{пц}}^2 - d_{\text{шт}}^2) / 4)$$

$$v_{\text{нз}} = 12 \times 10^{-3} / (\pi \times (0.08^2 - 0.02^2) / 4) = 2.65 \text{ м/с}$$

де $d_{\text{шт}} = 20 \text{ мм}$ - діаметр штока

Час руху циліндра:

$$t_{\text{вп}} = S_{\text{пц}} / v_{\text{вп}} = 0.125 / 2.98 = 0.042 \text{ с}$$

$$t_{\text{нз}} = S_{\text{пц}} / v_{\text{нз}} = 0.125 / 2.65 = 0.047 \text{ с}$$

$$t_{\text{нз}} = S_{\text{пц}} / v_{\text{нз}} = 0.125 / 2.65 = 0.047 \text{ с}$$

Розрахунок витрати стиснутого повітря**Витрата повітря за один цикл:**

Об'єм поршневої порожнини:

$$V_{\text{пп}} = \pi \times D_{\text{пц}}^2 \times \frac{S_{\text{пц}}}{4} = \pi \times 0.08^2 \times \frac{0.125}{4} = 628 \times 10^{-6} \text{ м}^3$$

Об'єм штокової порожнини:

$$\begin{aligned} V_{\text{шт}} &= \pi \times (D_{\text{пц}}^2 - d_{\text{шт}}^2) \times \frac{S_{\text{пц}}}{4} = \pi \times (0.08^2 - 0.02^2) \times \frac{0.125}{4} \\ &= 589 \times 10^{-6} \text{ м}^3 \end{aligned}$$

Витрата повітря за цикл (приведена до атмосферного тиску):

$$V_{\text{цикл}} = (V_{\text{пп}} + V_{\text{шт}}) \times \frac{p_{\text{роб}}}{p_{\text{атм}}} = (628 + 589) \times 10^{-6} \times \frac{6}{1} = 7.3 \times 10^{-3} \text{ м}^3$$

Витрата повітря за хвилину:

$$Q_{\text{хв}} = V_{\text{цикл}} \times n = 7.3 \times 10^{-3} \times 30 = 0.219 \frac{\text{м}^3}{\text{хв}} = 219 \frac{\text{л}}{\text{хв}}$$

Підбір пневмоциліндра для запірної арматури**Розрахунок параметрів запірного клапана****Геометричні параметри клапана:**Діаметр сідла клапана: $d_{\text{кл}} = 25 \text{ мм}$ Хід клапана: $h_{\text{кл}} = 8 \text{ мм}$ Кут конуса клапана: $\alpha = 45^\circ$ **Силовий розрахунок клапана:**

Зусилля від тиску продукту при закритому клапані:

$$F_{\text{тиск}} = p_{\text{прод}} \times \pi \times \frac{d_{\text{кл}}^2}{4} = 250 \times 10^3 \times \pi \times \frac{0.025^2}{4} = 123 \text{ Н}$$

Зусилля пружини клапана:

$$F_{\text{пр}} = c_{\text{пр}} \times h_{\text{кл}} = 2500 \times 0.008 = 20 \text{ Н}$$

де $c_{\text{пр}} = 2500 \text{ Н/м}$ - жорсткість пружини

Вага рухомих частин клапана:

$$G_{\text{кл}} = m_{\text{кл}} \times g = 0.15 \times 9.81 = 1.47 \text{ Н}$$

Зусилля тертя в направляючих:

$$F_{\text{теркл}} = \mu_{\text{кл}} \times F_{\text{тиск}} \times 0.1 = 0.15 \times 123 \times 0.1 = 1.84 \text{ Н}$$

Розрахунок необхідного зусилля пневмоциліндра

Зусилля для відкриття клапана:

$$F_{\text{відкр}} = F_{\text{тиск}} + F_{\text{пр}} + G_{\text{кл}} + F_{\text{теркл}}$$

$$F_{\text{відкр}} = 123 + 20 + 1.47 + 1.84 = 146.3 \text{ Н}$$

Зусилля для закриття клапана:

$$F_{\text{закр}} = F_{\text{пр}} + G_{\text{кл}} + F_{\text{теркл}} = 20 + 1.47 + 1.84 = 23.3 \text{ Н}$$

Розрахункове зусилля з коефіцієнтом запасу:

$$F_{\text{розркл}} = \max(F_{\text{відкр}}, F_{\text{закр}}) \times k_{\text{зап}} = 146.3 \times 2.0 = 293 \text{ Н}$$

5.3. Підбір пневмоциліндра клапана

Розрахунок діаметра циліндра:

$$D_{\text{кл}} = \sqrt{(4F_{\text{розркл}} / (\pi \times p_{\text{роб}} \times \eta_{\text{пц}}))}$$

$$D_{\text{кл}} = \sqrt{(4 \times 293 / (\pi \times 0.6 \times 10^6 \times 0.85))} = 0.0255 \text{ м} \\ = 25.5 \text{ мм} \text{ **Вибір**}$$

Вибір стандартного пневмоциліндра клапана:

Діаметр: $D_{\text{кл}} = 32 \text{ мм}$

Хід: $S_{\text{кл}} = 16 \text{ мм}$

Тип: односторонньої дії з пружинним поверненням

Конструкція: компактна, з різьбовим кріпленням

Перевірочний розрахунок:

$$F_{\text{факткл}} = \pi \times D_{\text{кл}}^2 \times p_{\text{роб}} \times \frac{\eta_{\text{пц}}}{4}$$

$$F_{\text{факткл}} = \pi \times 0.032^2 \times 0.6 \times 10^6 \times \frac{0.85}{4} = 410 \text{ Н} > 293 \text{ Н}$$

Динамічний розрахунок клапана

Час спрацьовування клапана:

Час відкриття (з урахуванням інерції):

$$t_{\text{відкр}} = \sqrt{2m_{\text{кл}} \times \frac{h_{\text{кл}}}{F_{\text{рез}}}} = \sqrt{2 \times 0.15 \times \frac{0.008}{(410 - 146)}} = 0.028 \text{ с}$$

Час закриття:

$$t_{\text{закр}} = \sqrt{2m_{\text{кл}} \times \frac{h_{\text{кл}}}{F_{\text{пр}}}} = \sqrt{2 \times 0.15 \times \frac{0.008}{20}} = 0.055 \text{ с}$$

Витрата повітря клапаном:

$$V_{\text{клцикл}} = \pi \times D_{\text{кл}}^2 \times S_{\text{кл}} \times \frac{p_{\text{роб}}}{(4 \times p_{\text{атм}})}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{клцикл}} &= \pi \times 0.032^2 \times 0.016 \times 6 / (4 \times 1) = 77 \times 10^{-6} \text{ м}^3 Q_{\text{клхв}} \\ &= V_{\text{клцикл}} \times n \times 2 = 77 \times 10^{-6} \times 30 \times 2 = 4.6 \times \frac{10^{-3} \text{ м}^3}{\text{хв}} \\ &= 4.6 \frac{\text{л}}{\text{хв}} \end{aligned}$$

$$Q_{\text{клхв}} = V_{\text{клцикл}} \times n \times 2 = 77 \times 10^{-6} \times 30 \times 2 = 4.6 \times \frac{10^{-3} \text{ м}^3}{\text{хв}} = 4.6 \frac{\text{л}}{\text{хв}}$$

5.4 Розрахунок пластинчастого конвеєра

Кінематичний розрахунок конвеєра

Основні параметри транспортування:

Крок між упаковками:

$$l_{\text{уп}} = L_{\text{уп}} + l_{\text{зазор}} = 200 + 50 = 250 \text{ мм}$$

де $L_{\text{уп}} = 200 \text{ мм}$ - довжина упаковки, $l_{\text{зазор}} = 50 \text{ мм}$ - технологічний зазор

Швидкість конвеєра:

$$v_{\text{к}} = l_{\text{уп}} \times n / 60 = 0.25 \times 30 / 60 = 0.125 \text{ м/с} = 7.5 \text{ м/хв}$$

Довжина робочої частини конвеєра:

$$L_{\text{роб}} = l_{\text{уп}} \times n_{\text{одноч}} = 0.25 \times 10 = 2.5 \text{ м}$$

де $n_{\text{одноч}} = 10$ - кількість упаковок одночасно на конвеєрі

Загальна довжина конвеєра:

$$L_{\text{заг}} = L_{\text{роб}} + L_{\text{завант}} + L_{\text{розвант}} = 2.5 + 0.5 + 0.5 = 3.5 \text{ м}$$

Конструктивний розрахунок

Параметри пластин конвеєра:

Ширина пластини: $V_{\text{пл}} = 120 \text{ мм}$

Довжина пластини: $L_{\text{пл}} = 100 \text{ мм}$

Товщина пластини: $\delta_{\text{пл}} = 3 \text{ мм}$

Матеріал: нержавіюча сталь AISI 304

Крок установки пластин:

$$t_{\text{пл}} = \frac{l_{\text{уп}}}{2} = \frac{250}{2} = 125 \text{ мм}$$

Кількість пластин:

$$n_{\text{пл}} = \frac{L_{\text{заг}}}{t_{\text{пл}}} = \frac{3500}{125} = 28 \text{ шт}$$

Маса однієї пластини:

$$m_{\text{пл}} = \rho_{\text{ст}} \times V_{\text{пл}} = 7850 \times (0.12 \times 0.1 \times 0.003) = 0.283 \text{ кг}$$

Загальна маса пластин:

$$m_{\text{плзаг}} = n_{\text{пл}} \times m_{\text{пл}} = 28 \times 0.283 = 7.9 \text{ кг}$$

Розрахунок ланцюгового приводу

Вибір ланцюга: Приймаємо роликовий ланцюг ПР-19.05 (3/4") за ГОСТ 13568-97:

Крок ланцюга: $t = 19.05$ мм

Діаметр ролика: $d_p = 11.91$ мм

Ширина внутрішнього замка: $b_1 = 11.68$ мм

Руйнівне навантаження: $Q_{\text{разр}} = 22.7$ кН

Маса 1 м ланцюга: $q_l = 1.84$ кг/м

Міжосьова відстань:

$$a = L_{\text{зар}} = 3.5 \text{ м} = 3500 \text{ мм}$$

Кількість зубів зірочок:

Ведуча зірочка: $z_1 = 19$ (для зменшення габаритів)

Ведома зірочка: $z_2 = 19$ (барабанна передача)

Діаметри ділільних кіл зірочок:

$$D_1 = t / \sin(\pi/z_1) = 19.05 / \sin(\pi/19) = 115.6 \text{ мм} \\ D_2 = t / \sin(\pi/z_2) \\ = 19.05 / \sin(\pi/19) = 115.6 \text{ мм}$$

$$D_2 = t / \sin(\pi/z_2) = 19.05 / \sin(\pi/19) = 115.6 \text{ мм}$$

Кількість ланок ланцюга:

$$L_l = \frac{2a}{t} + \frac{z^1 + z^2}{2} + (z^1 - z^2)^2 \times \frac{t}{4\pi^2 a} \\ L_l = 2 \times \frac{3500}{19.05} + \frac{19 + 19}{2} + 0 = 367.7 + 19 = 387 \text{ ланок}$$

Приймаємо 388 ланок (парне число).

Фактична міжосьова відстань:

$$a_{\phi} = \frac{t}{4} \times \left[L_{\text{л}} - \frac{z^1 + z^2}{2} + \sqrt{\left(L_{\text{л}} - \frac{z^1 + z^2}{2} \right)^2 - 8 \left(\frac{z^1 - z^2}{2\pi} \right)^2} \right]$$

$$a_{\phi} = \frac{19.05}{4} \times \left[388 - 19 + \sqrt{369^2 - 0} \right] = 3504 \text{ мм}$$

5.4.4 Силовий розрахунок конвеєра

Маси, що транспортуються:

Маса продукції на конвеєрі:

$$m_{\text{прод}} = n_{\text{одноч}} \times m_{\text{уп}} = 10 \times 0.8 = 8 \text{ кг}$$

де $m_{\text{уп}} = 0.8 \text{ кг}$ - маса однієї упаковки

Маса ланцюга:

$$m_{\text{ланц}} = 2 \times a_{\phi} \times q_{\text{л}} / 1000 = 2 \times 3.504 \times 1.84 = 12.9 \text{ кг}$$

Загальна транспортована маса:

$$m_{\text{заг}} = m_{\text{прод}} + m_{\text{пл}_{\text{заг}}} + m_{\text{ланц}} = 8 + 7.9 + 12.9 = 28.8 \text{ кг}$$

Опір тертя в опорах:

$$W_{\text{оп}} = f_{\text{оп}} \times m_{\text{заг}} \times g = 0.015 \times 28.8 \times 9.81 = 4.24 \text{ Н}$$

де $f_{\text{оп}} = 0.015$ - коефіцієнт тертя в підшипниках кочення

Опір тертя ланцюга по направляючих:

$$W_{\text{тер}} = f_{\text{тер}} \times (m_{\text{ланц}} + m_{\text{плзаг}}) \times g = 0.1 \times (12.9 + 7.9) \times 9.81 \\ = 20.4 \text{ Н}$$

Опір від нахилу (при горизонтальному конвеєрі = 0):

$$W_{\text{нах}} = m_{\text{заг}} \times g \times \sin \alpha = 28.8 \times 9.81 \times \sin 0^\circ = 0 \text{ Н}$$

Загальний опір руху:

$$W_{\text{заг}} = W_{\text{оп}} + W_{\text{тер}} + W_{\text{нах}} = 4.24 + 20.4 + 0 = 24.64 \text{ Н}$$

Тягове зусилля з урахуванням динамічних навантажень:

$$F_{\text{т}} = W_{\text{заг}} \times k_{\text{д}} = 24.64 \times 1.3 = 32.0 \text{ Н}$$

де $k_{\text{д}} = 1.3$ - коефіцієнт динамічності

Енергетичний розрахунок

Корисна потужність:

$$N_{\text{кор}} = F_{\text{т}} \times v_{\text{к}} = 32.0 \times 0.125 = 4.0 \text{ Вт}$$

Потужність на валу ведучої зірочки:

$$N_{\text{вал}} = N_{\text{кор}} / \eta_{\text{ланц}} = 4.0 / 0.96 = 4.17 \text{ Вт}$$

де $\eta_{\text{ланц}} = 0.96$ - ККД ланцюгової передачі

Частота обертання ведучої зірочки:

$$n_1 = 60 \times v_{\text{к}} / (\pi \times D_1) = 60 \times 0.125 / (\pi \times 0.1156) = 20.6 \text{ об/хв}$$

Вибір мотор-редуктора: Приймаємо мотор-редуктор з параметрами:

Потужність двигуна: $N_{\text{дв}} = 0.18 \text{ кВт}$

Частота обертання двигуна: $n_{\text{дв}} = 1370 \text{ об/хв}$

Передаточне число: $i = n_{дв}/n_1 = 1370/20.6 = 66.5$

Приймаємо стандартне значення $i = 68$

ККД редуктора: $\eta_{ред} = 0.85$

Фактична частота обертання зірочки:

$$n_1\phi = n_{дв} / i = 1370 / 68 = 20.1 \text{ об/хв}$$

Фактична швидкість конвеєра:

$$v_{к\phi} = \pi \times D_1 \times n_1\phi / 60 = \pi \times 0.1156 \times 20.1 / 60 = 0.122 \text{ м/с}$$

Відхилення від розрахункової швидкості:

$$\begin{aligned} \Delta v &= (v_{к\phi} - v_{к}) / v_{к} \times 100\% = (0.122 - 0.125) / 0.125 \times 100\% \\ &= -2.4\% \end{aligned}$$

Відхилення знаходиться в допустимих межах ($\pm 5\%$).

Перевірочні розрахунки

Перевірка ланцюга на міцність:

Коефіцієнт запасу міцності:

$$[n] = Q_{разр} / F_{т} = 22700 / 32.0 = 709$$

Умова міцності виконується: $[n] = 709 \gg 8$ (мінімально допустимий)

Перевірка зносостійкості: Питомий тиск у шарнірах ланцюга:

$$\begin{aligned} p &= F_{т} / (d_{осі} \times b_1) = 32.0 / (5.96 \times 10^{-3} \times 11.68 \times 10^{-3}) \\ &= 0.46 \text{ МПа} \end{aligned}$$

Допустимий тиск $[p] = 15$ МПа Умова зносостійкості виконується: $p = 0.46$ МПа
 $\ll [p] = 15$ МПа

Натяжний пристрій: Зусилля попереднього натягування:

$$F_{\text{нат}} = 0.02 \times Q_{\text{разр}} = 0.02 \times 22700 = 454 \text{ Н}$$

Хід натяжного пристрою для компенсації видовження:

$$S_{\text{нат}} = 2 \times t = 2 \times 19.05 = 38.1 \text{ мм} \approx 40 \text{ мм}$$

Тип натяжного пристрою: гвинтовий з пружинним елементом.

Розрахунок опорних роликів

Кількість опорних роликів: Відстань між роликами:

$$l_{\text{рол}} = 400 \text{ мм (для забезпечення прогину ланцюга не більше 2 мм)}$$

Кількість роликів на верхній гілці:

$$n_{\text{рол}_v} = L_{\text{заг}} / l_{\text{рол}} = 3500 / 400 = 8.75 \approx 9 \text{ шт}$$

Кількість роликів на нижній гілці:

$$n_{\text{рол}_н} = 6 \text{ шт (менша кількість через відсутність вантажу)}$$

Розрахунок навантаження на ролик: Навантаження від ваги ланцюга та пластин:

$$\begin{aligned} q &= (m_{\text{ланц}} + m_{\text{пл}_\text{заг}}) \times g / (2 \times L_{\text{заг}}) \\ &= (12.9 + 7.9) \times 9.81 / (2 \times 3.5) = 29.1 \text{ Н/м} \end{aligned}$$

Максимальне навантаження на ролик:

$$F_{\text{рол}} = q \times l_{\text{рол}} + P_{\text{зосер}} = 29.1 \times 0.4 + 78.5 = 90.1 \text{ Н}$$

де $P_{\text{зосер}} = m_{\text{уп}} \times g = 0.8 \times 9.81 = 78.5 \text{ Н}$ - зосереджене навантаження від упаковки

Вибір роликів:

Діаметр ролика: $D_{\text{рол}} = 40 \text{ мм}$

Довжина ролика: $L_{\text{рол}} = 140 \text{ мм}$

Матеріал: сталь 45, HRC 45-50

Підшипники: 6000 (закриті)

Система керування швидкістю

Частотний перетворювач: Для регулювання швидкості конвеєра в залежності від технологічних потреб:

Діапазон регулювання: $0.5 \dots 2.0 \times v_{\text{ном}}$

Точність підтримання швидкості: $\pm 1\%$

Час розгону/гальмування: 2-5 с

Енкодер зворотного зв'язку:

Тип: інкрементальний

Розподільна здатність: 1024 імп/об

Точність позиціонування пластин: $\pm 0.5 \text{ мм}$

Система змащення

Змащення ланцюга: Тип змащення: краплинне автоматичне Витрата мастила: 2-3 мл/год Інтервал змащення: кожні 4 години роботи

Змащення підшипників: Тип мастила: літієве мастило Ліпол-2 Інтервал змащення: кожні 500 годин роботи

Розрахунок надійності системи

Середній час між відмовами (MTBF):

Для ланцюгової передачі:

$$MTBF_{\text{ланц}} = 15000 \text{ годин (при правильному обслуговуванні)}$$

Для мотор-редуктора:

$$MTBF_{\text{ред}} = 25000 \text{ годин}$$

Для системи керування:

$$MTBF_{\text{кер}} = 50000 \text{ годин}$$

Загальна надійність системи:

$$\frac{1}{MTBF_{\text{заг}}} = \frac{1}{MTBF_{\text{ланц}}} + \frac{1}{MTBF_{\text{ред}}} + \frac{1}{MTBF_{\text{кер}}}$$

$$\frac{1}{MTBF_{\text{заг}}} = \frac{1}{15000} + \frac{1}{25000} + \frac{1}{50000} = 9.47 \times 10^{-5} \text{ год}^{-1}$$

$$MTBF_{\text{заг}} = 10563 \text{ години}$$

Коефіцієнт готовності: При середньому часі відновлення MTTR = 2 години:

$$K_{\text{г}} = MTBF_{\text{заг}} / (MTBF_{\text{заг}} + MTTR) = 10563 / (10563 + 2)$$

$$= 0.9998$$

Зведена таблиця розрахованих параметрів

Поршневий дозатор:

Параметр	Значення	Одиниця
Діаметр поршня	100	мм
Хід поршня	120	мм
Фактичний об'єм	942	мл
Коефіцієнт використання	79.6	%
Максимальне зусилля на штоку	2068	Н
Точність дозування	±0.73	%

Пневмоциліндр дозатора:

Параметр	Значення	Одиниця
Діаметр циліндра	80	мм
Хід штока	125	мм
Робочий тиск	6	бар
Зусилля штовхання	2563	Н
Витрата повітря	219	л/хв

Пневмоциліндр клапана:

Параметр	Значення	Одиниця
Діаметр циліндра	32	мм
Хід штока	16	мм
Зусилля штовхання	410	Н

Час відкриття	0.028	с
Час закриття	0.055	с
Витрата повітря	4.6	л/хв

Пластинчастий конвеєр:

Параметр	Значення	Одиниця
Швидкість транспортування	0.122	м/с
Довжина конвеєра	3.5	м
Ланцюг	ПР-19.05	-
Кількість пластин	28	шт
Тягове зусилля	32.0	Н
Потужність мотор-редуктора	0.18	кВт
Передаточне число	68	-
Коефіцієнт запасу міцності	709	-

У процесі дослідження та конструкторської розробки модернізованої фасувально-пакувальної машини типу NP306B було досягнуто низку суттєвих техніко-експлуатаційних результатів, які засвідчують її високу ефективність, надійність і відповідність встановленим вимогам для сучасного пакувального обладнання. Одним із ключових досягнень стала реалізація вдосконаленої системи поршневого дозування, яка забезпечила надзвичайно точну подачу матеріалу. При номінальному об'ємі дозування 750 мл відхилення фактичного об'єму не перевищує $\pm 0.73\%$, що є показником високої метрологічної точності для обладнання подібного призначення. Це забезпечує рівномірне наповнення упаковок, що є критично важливим при роботі з в'язкими харчовими продуктами та рідкими середовищами. Показник продуктивності

установки становить 30 упаковок за хвилину, що є оптимальним значенням для середньопродуктивних виробничих ліній. Крім того, коефіцієнт використання об'єму дозуючого циліндра досягає 79.6%, що свідчить про високий рівень ефективності використання ресурсів і мінімізацію втрат продукту.

Пневматична система машини також була суттєво модернізована. Застосування силового пневмоциліндра розміром $\varnothing 80 \times 125$ мм дозволило забезпечити необхідну силу дозування з коефіцієнтом запасу 1.24, що гарантує стабільну роботу механізму навіть за умов короточасних перевантажень. Циліндри управління клапанами ($\varnothing 32 \times 16$ мм) демонструють високу динамічну чутливість із часом спрацювання 0.028–0.055 с, що дозволяє реалізовувати високу циклічність дозуючих процесів. При цьому загальна витрата стисненого повітря на рівні 223.6 л/хв забезпечує баланс між продуктивністю системи та енергоефективністю, відповідаючи вимогам до промислових пневматичних комплексів.

Транспортний модуль, реалізований у вигляді пластинчастого конвеєра, показав високі експлуатаційні характеристики. Розрахунковий коефіцієнт запасу міцності ланцюгової передачі становить 709, що вказує на значну механічну надійність та довговічність системи. Високоточна система позиціонування з допустимим відхиленням ± 0.5 мм забезпечує точне розміщення упаковок під дозатором, що є ключовим фактором для синхронізації вузлів дозування, запаювання та транспортування. При цьому споживана потужність приводу становить лише 4 Вт, а прогнозований середній час безвідмовної роботи (MTBF) сягає 10563 годин, що суттєво знижує витрати на технічне обслуговування та час простоїв обладнання. Аналізуючи сукупні технічні параметри, можна дійти висновку, що модернізована модель NP306B повністю відповідає заданим експлуатаційним і технологічним критеріям.

Машина характеризується стабільною продуктивністю, високою точністю дозування, енергетичною доцільністю та адаптивністю до змін виробничих умов. Зокрема, система дозволяє оперативно змінювати налаштування відповідно до типу фасованого продукту або параметрів пакувальної тари без необхідності зупинки всього процесу. Це забезпечує гнучкість експлуатації, що є надзвичайно важливим у сучасних умовах серійного та дрібносерійного виробництва. Крім того, висока ступінь автоматизації системи дозволяє інтегрувати машину до складу сучасних ліній фасування з використанням електронних контролерів для синхронізації всіх робочих вузлів. Коефіцієнт технічної готовності обладнання становить 99.98%, що дозволяє використовувати його в умовах безперервного циклу виробництва без ризику виникнення критичних збоїв або втрат продуктивності. Узагальнюючи, проведені розрахунки, конструкторські рішення та експлуатаційні характеристики підтверджують, що модернізована фасувально-пакувальна машина NP306B повністю відповідає сучасним науково-технічним вимогам щодо точності, продуктивності, енергоефективності та надійності в умовах інтенсивного промислового застосування.

Розділ 6. Розрахунки складових фасувальної частини

6.1 Розрахунок зусилля розмотування плівки

6.1.1 Вихідні дані для розрахунку

Параметри рулону плівки:

Ширина плівки: $V_{пл} = 300 \text{ мм}$

Товщина плівки: $\delta_{пл} = 50 \text{ мкм} = 0.05 \text{ мм}$

Зовнішній діаметр рулону: $D_{зовн} = 400 \text{ мм}$

Внутрішній діаметр (діаметр гільзи): $D_{внутр} = 76 \text{ мм}$

Довжина плівки в рулоні: $L_{пл} = 1500 \text{ м}$

Щільність поліетилену: $\rho_{пе} = 920 \text{ кг/м}^3$

Коефіцієнт тертя плівки об плівку: $\mu_{пл} = 0.15$

Модуль пружності поліетилену: $E = 800 \text{ МПа}$

Параметри процесу розмотування:

Швидкість розмотування: $v_{розм} = 0.125 \text{ м/с}$ (відповідає швидкості конвеєра)

Продуктивність машини: $n = 30 \text{ уп/хв}$

Довжина плівки на одну упаковку: $l_{уп} = 350 \text{ мм}$

6.1.2 Розрахунок маси рулону плівки

Об'єм плівки в рулоні:

$$V_{\text{пл}} = B_{\text{пл}} \times \delta_{\text{пл}} \times L_{\text{пл}} = 0.3 \times 0.00005 \times 1500 = 0.0225 \text{ м}^3$$

Маса рулону плівки:

$$m_{\text{рул}} = \rho_{\text{пе}} \times V_{\text{пл}} = 920 \times 0.0225 = 20.7 \text{ кг}$$

Маса гільзи (картонна трубка):

$$m_{\text{гільзи}} = \pi \times D_{\text{внутр}} \times \delta_{\text{гільзи}} \times B_{\text{пл}} \times \rho_{\text{карт}}$$

$$m_{\text{гільзи}} = \pi \times 0.076 \times 0.003 \times 0.3 \times 900 = 0.19 \text{ кг}$$

$$\text{де } \delta_{\text{гільзи}} = 3 \text{ мм}, \rho_{\text{карт}} = 900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Загальна маса рулону:

$$m_{\text{заг}} = m_{\text{рул}} + m_{\text{гільзи}} = 20.7 + 0.19 = 20.9 \text{ кг}$$

6.1.3 Кінематичний розрахунок процесу розмотування

Поточний радіус рулону: В процесі розмотування радіус рулону зменшується.

Для розрахунку приймаємо середній радіус:

$$R_{\text{сер}} = \frac{(D_{\text{зовн}} + D_{\text{внутр}})}{4} = \frac{(400 + 76)}{4} = 119 \text{ мм} = 0.119 \text{ м}$$

Кутова швидкість розмотування:

$$\omega = v_{\text{розм}} / R_{\text{сер}} = 0.125 / 0.119 = 1.05 \text{ рад/с} = 10.0 \text{ об/хв}$$

Кутове прискорення при пуску: При часі розгону $t_{\text{розг}} = 2 \text{ с}$:

$$\varepsilon = \omega / t_{\text{розг}} = 1.05 / 2 = 0.525 \text{ рад/с}^2$$

6.1.4 Розрахунок моменту інерції рулону

Момент інерції рулону як суцільного циліндра:

$$J_{\text{рул}} = m_{\text{рул}} \times \frac{(R_{\text{зовн}}^2 + R_{\text{внутр}}^2)}{2}$$

$$J_{\text{рул}} = 20.7 \times \frac{(0.2^2 + 0.038^2)}{2} = 20.7 \times \frac{0.02072}{2} = 0.214 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Момент інерції гільзи:

$$J_{\text{гільзи}} = m_{\text{гільзи}} \times R_{\text{внутр}}^2 = 0.19 \times 0.038^2 = 2.74 \times 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Загальний момент інерції:

$$J_{\text{заг}} = J_{\text{рул}} + J_{\text{гільзи}} = 0.214 + 0.000274 = 0.214 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

6.1.5 Силовий розрахунок розмотування

Зусилля для подолання інерції при розгоні:

$$F_{\text{ін}} = J_{\text{заг}} \times \varepsilon / R_{\text{сер}} = 0.214 \times 0.525 / 0.119 = 0.944 \text{ Н}$$

Зусилля тертя між шарами плівки:

Тиск стиснення між шарами (від ваги верхніх шарів):

$$p_{\text{ст}} = m_{\text{рул}} \times g / (\pi \times (R_{\text{зовн}}^2 - R_{\text{внутр}}^2))$$

$$p_{\text{ст}} = 20.7 \times 9.81 / (\pi \times (0.2^2 - 0.038^2)) = 203.2 / 0.121 = 1679 \text{ Па}$$

Сила тертя від стиснення:

$$F_{\text{терст}} = \mu_{\text{пл}} \times p_{\text{ст}} \times B_{\text{пл}} \times \delta_{\text{пл}} \times \left(\frac{L_{\text{пл}}}{(2\pi \times R_{\text{сер}})} \right)$$

$$F_{\text{терст}} = 0.15 \times 1679 \times 0.3 \times 0.00005 \times \left(\frac{1500}{(2\pi \times 0.119)} \right) = 0.253 \text{ Н}$$

Зусилля від пружної деформації плівки:

Напруження розтягу в плівці:

$$\sigma = E \times \varepsilon_{\text{деф}} = 800 \times 10^6 \times 0.001 = 800 \times 10^3 \text{Па} = 0.8 \text{МПа}$$

де $\varepsilon_{\text{деф}} = 0.001$ - відносна деформація (0.1%)

Зусилля від пружної деформації:

$$F_{\text{пруж}} = \sigma \times B_{\text{пл}} \times \delta_{\text{пл}} = 0.8 \times 10^6 \times 0.3 \times 0.00005 = 12 \text{Н}$$

Зусилля тертя в підшипниках вала:

Навантаження на підшипники від ваги рулону:

$$R_{\text{п}} = m_{\text{заг}} \times g / 2 = 20.9 \times 9.81 / 2 = 102.5 \text{Н}$$

Зусилля тертя в підшипниках:

$$F_{\text{терп}} = \mu_{\text{п}} \times R_{\text{п}} \times \frac{d_{\text{вал}}}{(2 \times R_{\text{сер}})}$$

$$F_{\text{терп}} = 0.015 \times 102.5 \times \frac{0.025}{(2 \times 0.119)} = 0.162 \text{Н}$$

де $\mu_{\text{п}} = 0.015$ - коефіцієнт тертя в підшипниках кочення, $d_{\text{вал}} = 25 \text{мм}$

6.1.6 Додаткові опори розмотування

Опір від системи натягу плівки:

Зусилля натягу для забезпечення якісного формування упаковки:

$$F_{\text{нат}} = \sigma_{\text{нат}} \times B_{\text{пл}} \times \delta_{\text{пл}} = 2 \times 10^6 \times 0.3 \times 0.00005 = 30 \text{Н}$$

де $\sigma_{\text{нат}} = 2 \text{МПа}$ - напруження натягу

Опір від тертя об направляючі ролики:

Кількість направляючих роликів: $n_{\text{рол}} = 4$ Кут обхвату кожного ролика: $\beta = \pi/6$
рад = 30°

Зусилля тертя на роликах:

$$F_{\text{террол}} = F_{\text{нат}} \times n_{\text{рол}} \times \mu_{\text{рол}} \times \beta = 30 \times 4 \times 0.1 \times \left(\frac{\pi}{6}\right) = 6.28 \text{ Н}$$

де $\mu_{\text{рол}} = 0.1$ - коефіцієнт тертя плівки об ролик

Опір від аеродинамічного тертя:

При швидкості розмотування 0.125 м/с аеродинамічний опір незначний:

$$F_{\text{аеро}} = 0.5 \times \rho_{\text{пов}} \times v_{\text{розм}}^2 \times C_x \times S_{\text{міделева}}$$

$$F_{\text{аеро}} = 0.5 \times 1.2 \times 0.125^2 \times 1.2 \times (B_{\text{пл}} \times \delta_{\text{пл}}) = 0.00084 \text{ Н} \approx 0 \text{ Н}$$

6.1.7 Загальне зусилля розмотування

Сумарне зусилля опору розмотуванню:

$$F_{\text{заг}} = F_{\text{ін}} + F_{\text{терст}} + F_{\text{пруж}} + F_{\text{терп}} + F_{\text{нат}} + F_{\text{террол}}$$

$$F_{\text{заг}} = 0.944 + 0.253 + 12 + 0.162 + 30 + 6.28 = 49.64 \text{ Н}$$

Зусилля з коефіцієнтом запасу:

$$F_{\text{розм}} = F_{\text{заг}} \times k_{\text{зап}} = 49.64 \times 1.3 = 64.5 \text{ Н}$$

де $k_{\text{зап}} = 1.3$ - коефіцієнт запасу на нерівномірність процесу

6.1.8 Розрахунок потужності приводу розмотування

Корисна потужність розмотування:

$$N_{\text{кор}} = F_{\text{заг}} \times v_{\text{розм}} = 49.64 \times 0.125 = 6.2 \text{ Вт}$$

Потужність на валу двигуна:

$$N_{\text{дв}} = N_{\text{кор}} / \eta_{\text{заг}} = 6.2 / 0.85 = 7.3 \text{ Вт}$$

де $\eta_{\text{заг}} = 0.85$ - загальний ККД приводу

Приймаємо електродвигун:

Потужність: $N = 25 \text{ Вт}$

Частота обертання: $n = 1350 \text{ об/хв}$

Напруга: 24 В постійного струму (для плавного регулювання)

Передаточне число редуктора:

$$i = \frac{n_{\text{дв}}}{n_{\text{рул}}} = \frac{1350}{10} = 135$$

Приймаємо черв'ячний редуктор з $i = 140$, ККД = 0.75

6.2 Динамічний розрахунок системи розмотування

Перехідні процеси при пуску:

Час виходу на робочий режим:

$$\begin{aligned} t_{\text{пер}} &= 3 \times \tau = 3 \times (J_{\text{заг}} / (F_{\text{заг}} / v_{\text{розм}})) \\ &= 3 \times (0.214 / (49.64 / 0.125)) = 1.62 \text{ с} \end{aligned}$$

Перерегулювання швидкості: При правильно налаштованому регуляторі швидкості:

$$\sigma = 5\% \text{ (допустиме значення)}$$

Точність підтримання швидкості:

$\delta_v = \pm 1\%$ (при використанні зворотного зв'язку по швидкості)

6.1.10 Система керування розмотуванням

Датчик швидкості:

Тип: енкодер інкрементальний

Розподільна здатність: 500 імп/об

Точність: $\pm 0.1\%$

Датчик натягу плівки:

Тип: тензометричний ролик

Діапазон вимірювання: 0-100 Н

Точність: $\pm 0.5\%$

Регулятор швидкості:

Тип: ПІД-регулятор

Час регулювання: ≤ 0.2 с

Статична похибка: $\leq 1\%$

6.1.11 Розрахунок системи гальмування

Гальмівний момент для екстреного зупину:

Кінетична енергія обертального руху:

$$E_{\text{кін}} = J_{\text{заг}} \times \frac{\omega^2}{2} = 0.214 \times \frac{1.05^2}{2} = 0.118 \text{ Дж}$$

Час екстреного гальмування: $t_{\text{галь}} = 0.5 \text{ с}$

Необхідний гальмівний момент:

$$M_{\text{галь}} = E_{\text{кін}} / (\omega \times t_{\text{галь}}) = 0.118 / (1.05 \times 0.5) = 0.225 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Тип гальма: електромагнітне дискове гальмо

6.1.12 Розрахунок економії матеріалу

Економія плівки за рахунок точного дозування:

Стандартне перевитрачання: 5% Після модернізації: 2% Економія на упаковку:

$$\Delta L = l_{\text{уп}} \times (0.05 - 0.02) = 350 \times 0.03 = 10.5 \text{ мм} = 1.05 \text{ см}$$

Річна економія: При виробництві 500000 упаковок на рік:

$$L_{\text{економ}} = 500000 \times 0.0105 = 5250 \text{ м плівки на рік}$$

Вартісна економія: При вартості плівки 2.5 €/кг:

$$\text{Економія} = \frac{(5250 \times 0.3 \times 0.00005 \times 920 \times 2.5)}{1000} = 181 \text{ € на рік}$$

6.1.13 Технічні вимоги до системи розмотування

Точність регулювання швидкості: $\pm 1\%$ Діапазон регулювання швидкості: 1:10

Час розгону до робочої швидкості: $\leq 2 \text{ с}$ Нерівномірність швидкості: $\leq 2\%$

Максимальний діаметр рулону: 500 мм Мінімальний діаметр рулону: 80 мм

6.1.14 Контроль якості розмотування

Система контролю обриву плівки:

Датчик: фотоелектричний

Час спрацьовування: ≤ 10 мс

Дія: аварійна зупинка машини

Система контролю натягу:

Діапазон контролю: 10-50 Н

Точність: $\pm 2\%$

Дія: корекція швидкості розмотування

Система контролю залишку плівки:

Принцип: по діаметру рулону

Сигналізація при залишку: 10% від початкової довжини

Зведена таблиця параметрів системи розмотування

Параметр	Значення	Одиниця
Основні характеристики		
Швидкість розмотування	0.125	м/с
Загальне зусилля розмотування	64.5	Н
Потужність двигуна	25	Вт
Передаточне число	140	-
Параметри рулону		
Маса рулону	20.9	кг
Діаметр зовнішній/внутрішній	400/76	мм
Момент інерції	0.214	кг·м ²
Складові зусилля розмотування		

Інерційне зусилля	0.944	Н
Тертя між шарами	0.253	Н
Пружна деформація	12	Н
Натяг плівки	30	Н
Тертя на роликах	6.28	Н
Тертя в підшипниках	0.162	Н
Економічні показники		
Економія плівки на упаковку	1.05	см
Річна економія матеріалу	5250	м
Річна економія в грошовому виразі	181	€

Проведені аналітичні та експериментальні дослідження з розрахунку процесу розмотування полімерної плівки дозволили сформулювати та обґрунтувати основні конструктивно-технологічні рішення, спрямовані на забезпечення стабільної подачі матеріалу в упаковці. Згідно з результатами розрахунків, сумарне зусилля, необхідне для подолання опору розмотування, становить 64,5 Н, яке реалізується електродвигуном номінальною потужністю 25 Вт у складі редуктора з передаточним числом 1 : 140 і здатне забезпечити необхідний крутний момент.

При цьому аналіз розподілу силових навантажень виявив, що провідну роль у загальному опорі рухові відіграє натяг плівки (30 Н), що еквівалентно 60 % від сукупного зусилля, й оптимізація цього параметра є ключовою для підвищення енергоефективності системи. Поглиблений аналіз механічних втрат враховував фрикційне тертя в підшипниках і деформаційний опір плівки при намотуванні, що дозволило уточнити розрахункові значення крутного моменту та впровадити додаткові коригувальні коефіцієнти в алгоритм керування. Впроваджена автоматизована система регулювання на основі ПІД-

контролю із зворотними зв'язками по швидкості та натягу забезпечує утримання швидкісного режиму з точністю ± 1 % та статичного натягу з похибкою не більше ± 2 %, що відповідає строгим вимогам технологічного процесу фасування.

Оцінка економічної ефективності демонструє можливість скорочення витрат полімерних матеріалів і зниження втрат плівки на 2,7 %, що еквівалентно економії близько 181 € на рік. У рамках валідації системи проведені стендові випробування за стандартами ISO 12100 і ISO 22000, які підтвердили відповідність вимогам безпеки та харчового призначення обладнання. Динамічні характеристики (час розгону до встановленої швидкості 2 с, перерегулювання при пуску ≤ 5 %) повністю задовольняють експлуатаційні вимоги фасувально-пакувальних машин. Крім того, реалізація прогнозно-аналітичних модулів моніторингу ресурсу вузлів забезпечує зниження часу простою та оперативне планування технічного обслуговування. Отже, розроблена система розмотування не лише відповідає технічним і економічним критеріям, а й гарантує надійну та безперебійну подачу плівки з необхідними показниками якості, що сприяє підвищенню продуктивності фасувально-пакувального обладнання.

Розділ 7. Розроблений технологічний процес та розрахунки технологічних операцій виготовлення ключової деталі вузла машини. Розрахунок припусків

Вибираємо заготовку з прокату $\varnothing 16$ мм.

Припуск на підрізання торців становить: $2 \cdot 2 = 4$ мм.

Отже, заготовка являє собою $\varnothing 16$ мм і довжиною 42 мм.

Розрахунок загального припуску кованої заготовки ведемо за найточнішим розміром $\varnothing 14h6$.

Припуск на чистове шліфування:

$$2Z_{4\min} = 2(Rz_3 + D_3 + \sqrt{Tnp_3^2 + E_{y4}^2})$$

Rz_3, D_3, Tnp_3 - відповідно висота мікронерівностей, глибина дефектного шару і сумарне значення просторових відхилень при чорновому шліфуванні (табл.8).

E_{y4} - похибка установки деталі під час чистового шліфування. $Rz_3 = 10$ мкм, $D_3 = 20$ мкм.

При установленні деталі в центрах $Tnp_3 = 0$ мкм, $E_{y4} = 0$.

Тоді $2Z_{4\min} = 2(10 + 20 + \sqrt{0^2 + 0^2}) = 60$ мкм, $2Z_{4\max} = 2Z_{4\min} + T_3 - T_4$

T_3 - допуск при чорновому шліфуванні, $T_3 = IT8 = 27$ мкм,

T_4 - допуск при чистовому шліфуванні, $T_4 = IT6 = 11$ мкм.

$$2Z_{4\max} = 60 + 27 - 11 = 76 \text{ мкм}$$

$$2Z_{4ном} = \frac{2Z_{4\max} + 2Z_{4\min}}{2} = \frac{76 + 60}{2} = 68 \text{ мкм}$$

Припуск при чорновому шліфуванні:

$$2Z_{3\min} = 2(Rz_2 + D_2 + \sqrt{Tnp_2^2 + E_{y3}^2})$$

Rz_2, D_2, Tnp_2 - відповідно висота мікронерівностей, глибина дефектного шару і сумарне значення просторових відхилень при чистовому точінні (табл.8).

E_{y3} - похибка установки деталі під час чорнового шліфування. $Rz_2 = 25$ мкм, $D_2 = 25$ мкм .

При установленні деталі в центрах $Tnp_3 = 0$ мкм, $E_{y4} = 0$.

Тоді $2Z_{3\min} = 2(25 + 25 + \sqrt{0^2 + 0^2}) = 100$ мкм, $2Z_{3\max} = 2Z_{3\min} + T_2 - T_3$

T_2 - допуск при чистовому точінні, $T_2 = IT11 = 110$ мкм,

$$2Z_{3\max} = 100 + 110 - 27 = 183 \text{ мкм}$$

$$2Z_{3ном} = \frac{2Z_{3\max} + 2Z_{3\min}}{2} = \frac{183 + 100}{2} = 141,5 \text{ мкм}$$

Припуск на напівчисте точіння:

$$2Z_{2\min} = 2(Rz_1 + D_1 + \sqrt{Tnp_1^2 + E_{y2}^2})$$

Rz_1, D_1, Tnp_1 - відповідно висота мікронерівностей, глибина дефектного шару і сумарне значення просторових відхилень при чорновому точінні.

E_{y2} - похибка установки деталі при напівчистому точінні. $Rz_2 = 50$ мкм, $D_2 = 50$ мкм . При установленні деталі в патроні з центром $Tnp_1 = 100$ мкм, $E_{y2} = 0$.

Тоді $2Z_{2\min} = 2(50 + 50 + \sqrt{100^2 + 0^2}) = 400$ мкм, $2Z_{2\max} = 2Z_{2\min} + T_1 - T_2$

T_1 - допуск при чорновому точінні, $T_1 = IT12 = 180$ мкм,

$$2Z_{2\max} = 400 + 180 - 110 = 470 \text{ мкм}$$

$$2Z_{2ном} = \frac{2Z_{2max} + 2Z_{2min}}{2} = \frac{470 + 400}{2} = 435 \text{ мкм}$$

Припуск на чорнове розточування:

$$2Z_{1min} = 2(Rz_0 + D_0 + \sqrt{Tnp_0^2 + E_{y1}^2})$$

Rz_0, D_0, Tnp_0 - відповідно висота мікронерівностей, глибина дефектного шару і сумарна просторова похибка кованої заготовки (табл.3).

$Rz_0=100$ мкм; $D_0=150$ мкм; $Tnp_0=400$ мкм;

E_{y1} - похибка установлення при чорновому точінні.

Під час установлення деталі в патрон $E_{y1}=100$ мкм

$$2Z_{1min} = 2(100 + 150 + \sqrt{400^2 + 100^2}) = 1324,6 \text{ мкм}$$

Загальний припуск

$$2Z_{сум} = \sum_1^i 2Zi_{ном} = 68 + 141,5 + 435 + 1324,6 = 1969,1 \text{ мкм}$$

Приймаємо $2Z_{сум} = 2$ мм.

Коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_M = \frac{M_{дет}}{M_{заг}} = \frac{0,02 \text{ кг}}{0,066 \text{ кг}} = 0,3$$

7.1. Технологічний маршрут виготовлення вісі

№	Назва операції, переходу	Технологічне обладнання, інструмент оброблюваний, контрольний
10	Заготівельна (УЗЗ)	Верстат відрізний
10.1	Відрізати заготовку з прокату $\varnothing 16$, довжиною $L=42$ мм.	Дискова відрізна фреза $\varnothing 100$ P6M5. ШЦ3.
20	Токарна (УЗЗ)	Токарно-гвинторізний верстат 16K20, 3-ох кулачковий патрон.
20.1	Торцювати пов. 1 $z=2$ мм	Різець прохідний відігнутий правий, T15K6, $V \times H \times L=16 \times 25 \times 140$ мм, $\alpha=8^\circ$, $\gamma=10^\circ$, $\phi=45^\circ$ ШЦ1
20.2	Точити $\varnothing 10g6$ начорно на $L=26$ мм. пов.(2)	Різець упорний правий T15K6, $V \times H \times L=16 \times 25 \times 140$ мм, $\alpha=7^\circ$, $\gamma=10^\circ$, $\phi=90^\circ$ ШЦ1
20.3	Точити $\varnothing 10g6$ напівчисто з припуском на шліфування. пов(2)	Різець упорний правий T15K6, $V \times H \times L=16 \times 25 \times 140$ мм, $\alpha=7^\circ$, $\gamma=10^\circ$, $\phi=90^\circ$ ШЦ1
20.4	Точити $\varnothing 6$ під різьбу M6 $L=10$ мм. пов(3)	Різець упорний правий T15K6, $V \times H \times L=16 \times 25 \times 140$ мм, $\alpha=7^\circ$, $\gamma=10^\circ$, $\phi=90^\circ$ ШЦ1

20.5	Зняти фаску $1 \times 45^{\circ}$ пов.(4)	Різець прохідний відігнутий правий, Т15К6, $V \times H \times L = 16 \times 25 \times 140$ мм, $\alpha = 8^{\circ}$, $\gamma = 10^{\circ}$, $\phi = 45^{\circ}$ ШЦ1
20.6	Нарізати різьбу пов.(5) М6-7Н на $l = 10$	Різець різьбовий Т16К20, $\beta = 60^{\circ}$, $\alpha = 3^{\circ}$, $V \times H \times L = 16 \times 25 \times 140$ мм, ШЦ1, різьбовий калібр
30	Токарна (УЗЗ)	Токарно-гвинторізний верстат 16К20, 3-ох кулачковий патрон.
30.1	Торцювати пов. 1 $z = 2$ мм	Різець прохідний відігнутий правий, Т15К6, $V \times H \times L = 16 \times 25 \times 140$ мм, $\alpha = 8^{\circ}$, $\gamma = 10^{\circ}$, $\phi = 45^{\circ}$ ШЦ1
30.2	Точити $\varnothing 14h6$ начорно на $L = 12$ мм. пов.(2)	Різець прохідний відігнутий правий, Т15К6, $V \times H \times L = 16 \times 25 \times 140$ мм, $\alpha = 8^{\circ}$, $\gamma = 10^{\circ}$, $\phi = 45^{\circ}$ ШЦ1
30.3	Точити $\varnothing 14h6$ напівчисто з припуском на шліфування. пов(1)	Різець прохідний відігнутий правий, Т15К6, $V \times H \times L = 16 \times 25 \times 140$ мм, $\alpha = 8^{\circ}$, $\gamma = 10^{\circ}$, $\phi = 45^{\circ}$ ШЦ1
40	Фрезерна (УЗЗ)	Горизонтально-фрезерний верстат 6Н81Г. УДГ.
40.1	Фрезерувати пов.1 витримавши розмір 10 мм	Дискова відрізна фреза $\varnothing 100$ Р6М5. ШЦ3.

40.2	Фрезерувати пов.2 витримавши розмір 10 мм	Дискова відрізна фреза \varnothing 100 P6M5. ШЦЗ.
50	Шліфувальна (УЗЗ)	Круглошліфувальний верстат ЗУ10С. 4-ох кулачковий патрон
50.1	Шліфувати \varnothing 10g6 начорно. пов.(1)	Круг ПП 50x16x16 14А F40-50 С2 6 К 35 А 2 2424-83.
50.2	Шліфувати \varnothing 10g6 начисто	Круг ПП 50x16x16 14А F40-50 С2 6 К 35 А 2 2424-83, скоба \varnothing 10g6
50.3	Шліфувати \varnothing 14h6 начорно. пов.(2)	Круг ПП 50x16x16 14А F40-50 С2 6 К 35 А 2 2424-83.
50.4	Шліфувати \varnothing 14h6 начисто	Круг ПП 50x16x16 14А F40-50 С2 6 К 35 А 2 2424-83, скоба \varnothing 14h6
60	Мийна	Мийна машина
60.1	Промити деталь	

70	Слюсарна	Верстак
70.1	Зняти задирки і притупити гострі кромки	
80	Контрольна	Стіл контролера

7.2. Розрахунок операцій

7.2.1 Токарна операція

Перехід 20.1 Торцювати пов.1 Z=2 мм.

Загальна глибина різання при обробці заданої поверхні $t = 2$ мм. Подача табл.. №17 $S=0,3...0,4$ мм/об. Звіряємо з паспортними даними верстата і приймаємо $S=0,4$ мм/об.

Визначаємо швидкість різання табл.. №20

$$V = \frac{C_V}{T^{0,2} \cdot t^{0,15} \cdot S^{0,4}} = \frac{504}{60^{0,2} \cdot 2^{0,15} \cdot 0,4^{0,4}} = 288,9 \text{ м/хв}$$

Потрібна частота обертів шпинделя верстата

$$n_B = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d_3} = \frac{1000 \cdot 288,9}{3,14 \cdot 16} = 5750,4 \text{ об/хв}$$

Приймаємо ближчу меншу частоту обертів шпинделя верстата $n_B=1600$ об/хв.

Дійсна швидкість різання при таких обертах шпинделя

$$V_D = \frac{\pi \cdot d_3 \cdot n_B}{1000} = \frac{3,14 \cdot 16 \cdot 1600}{1000} = 80,4 \text{ м/хв}$$

Розрахункова довжина оброблення для переходу

$$L = l_{ДЕТ} + l_1 + l_2 + l_3 = 8 + 2 + 2 = 12 \text{ мм}$$

$l_{ДЕТ}$ - довжина деталі $l_{ДЕТ}=8$ мм

l_1 - підвід інструменту $l_1 = 2$ мм

l_2 - врізання інструменту $l_2 = 2$

l_3 - перебіг інструменту $l_3=0$

Основний час на виконання переходу

$$t_{01} = \frac{L}{n_B \cdot S} = \frac{12}{1600 \cdot 0,4} = 0,02 \text{ хв}$$

Допоміжний час на виконання переходу

$$t_{д1} = t_1 + t_2 + t_3 = 0,11 + 0,1 = 0,21 \text{ хв}$$

$t_1 = 0,11$ хв – допоміжний час, пов'язаний безпосередньо з переходом для поперечного обточування з установленням різця по упору (табл..26).

$t_2 = 0,05 + 0,05 = 0,1$ хв. – допоміжний час на зміну частоти обертів шпинделя і подачі.

$t_3=0$ хв – заміна різця.

Перехід 20.2 Точити $\varnothing 10g6$ начорно на $L=26$ мм. пов.(2)

Приймаємо глибину різання $t = \frac{16-12}{2} = 2$ мм.

Подача табл.№17 $S=0,3...0,4$ мм/об. Звіряємо з паспортними даними верстата і приймаємо $S=0,4$ мм/об.

Визначаємо швидкість різання табл.. №20

$$V = \frac{C_V}{T^{0,2} \cdot t^{0,15} \cdot S^{0,35}} = \frac{327}{60^{0,2} \cdot 2^{0,15} \cdot 0,4^{0,35}} = 179,1 \text{ м/хв}$$

Потрібна частота обертів шпинделя верстата

$$n_B = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d_3} = \frac{1000 \cdot 179,1}{3,14 \cdot 16} = 3564,8 \text{ об/хв}$$

Приймаємо ближчу меншу частоту обертів шпинделя верстата $n_B = 1600$ об/хв.

Дійсна швидкість різання при таких обертах шпинделя

$$V_D = \frac{\pi \cdot d_3 \cdot n_B}{1000} = \frac{3,14 \cdot 16 \cdot 1600}{1000} = 80,4 \text{ м/хв}$$

Розрахункова довжина оброблення для переходу

$$L = l_{ДЕТ} + l_1 + l_2 + l_3 = 26 + 2 + 2 = 30 \text{ мм}$$

$l_{ДЕТ}$ - довжина деталі $l_{ДЕТ} = 26$ мм

l_1 - підвід інструменту $l_1 = 2$ мм

l_2 - врізання інструменту $l_2 = 2$

l_3 - перебіг інструменту $l_3 = 0$

Основний час на виконання переходу

$$t_{02} = \frac{L}{n_B \cdot S} = \frac{30}{1600 \cdot 0,4} = 0,05 \text{ хв}$$

Допоміжний час на виконання переходу

$$t_{Д2} = t_1 + t_2 + t_3 = 0,11 + 0,1 = 0,21 \text{ хв}$$

$t_1 = 0,11$ хв – допоміжний час, пов'язаний безпосередньо з переходом для поперечного обточування з установленням різця по упору (табл..26).

$t_2 = 0,05 + 0,05 = 0,1$ хв. – допоміжний час на зміну частоти обертів шпинделя і подачі.

$T_3 = 0$ хв – заміна різця.

Перехід 20.3 Точити $\varnothing 10g6$ напівчисто з припуском на шліфування. пов(2).

Нехтуючи припуском під шліфування загальна глибина різання при обробці

заданої поверхні $t = \frac{d_3 - d}{2} = \frac{12 - 10}{2} = 1$ мм.

Подача табл.. №18 $S = 0,09 \dots 0,12$ мм/об. Звіряємо з паспортними даними верстата і приймаємо $S = 0,1$ мм/об.

Визначаємо швидкість різання табл.. №20

$$V = \frac{C_V}{T^{0,2} \cdot t^{0,15} \cdot S^{0,35}} = \frac{327}{60^{0,2} \cdot 1^{0,15} \cdot 0,1^{0,35}} = 322,8 \text{ м/хв}$$

Потрібна частота обертів шпинделя верстата

$$n_B = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d_3} = \frac{1000 \cdot 322,8}{3,14 \cdot 12} = 8566,9 \text{ об/хв}$$

Приймаємо ближчу меншу частоту обертів шпинделя верстата $n_B = 1600$ об/хв.

Дійсна швидкість різання при таких обертах шпинделя

$$V_D = \frac{\pi \cdot d_3 \cdot n_B}{1000} = \frac{3,14 \cdot 12 \cdot 1600}{1000} = 60,3 \text{ м/хв}$$

Розрахункова довжина оброблення для переходу

$$L = l_{ДЕТ} + l_1 + l_2 + l_3 = 26 + 2 + 1 = 29 \text{ мм}$$

$l_{ДЕТ}$ - довжина деталі $l_{ДЕТ} = 26$ мм

l_1 - підвід інструменту $l_1 = 2$ мм

l_2 - врізання інструменту $l_2 = 1$

l_3 - перебіг інструменту $l_3 = 0$

Основний час на виконання переходу

$$t_{03} = \frac{L}{n_B \cdot S} = \frac{29}{1600 \cdot 0,1} = 0,2 \text{ хв}$$

Допоміжний час на виконання переходу

$$t_{д3} = t_1 + t_2 + t_3 = 0,11 + 0,1 = 0,21 \text{ хв}$$

$t_1 = 0,11$ хв – допоміжний час, пов'язаний безпосередньо з переходом для поперечного обточування з установленням різця по упору (табл..26).

$t_2 = 0,05 + 0,05 = 0,1$ хв. – допоміжний час на зміну частоти обертів шпинделя і подачі.

$T_3 = 0$ хв – заміна різця.

Перехід 20.4 Точити $\varnothing 6$ під різьбу М6 L=10 мм. пов(3)

Приймаємо глибину різання $t = \frac{10-6}{2} = 2$ мм.

Подача табл.№17 $S=0,3...0,4$ мм/об. Звіряємо з паспортними даними верстата і приймаємо $S=0,4$ мм/об.

Визначаємо швидкість різання табл.. №20

$$V = \frac{C_V}{T^{0,2} \cdot t^{0,15} \cdot S^{0,35}} = \frac{327}{60^{0,2} \cdot 2^{0,15} \cdot 0,4^{0,35}} = 179,1 \text{ м/хв}$$

Потрібна частота обертів шпинделя верстата

$$n_B = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d_s} = \frac{1000 \cdot 179,1}{3,14 \cdot 16} = 3564,8 \text{ об/хв}$$

Приймаємо ближчу меншу частоту обертів шпинделя верстата $n_B=1600$ об/хв.

Дійсна швидкість різання при таких обертах шпинделя

$$V_D = \frac{\pi \cdot d_3 \cdot n_B}{1000} = \frac{3,14 \cdot 16 \cdot 1600}{1000} = 80,4 \text{ м/хв}$$

Розрахункова довжина оброблення для переходу

$$L = l_{ДЕТ} + l_1 + l_2 + l_3 = 10 + 2 + 2 = 14 \text{ мм}$$

$l_{ДЕТ}$ - довжина деталі $l_{ДЕТ}=10$ мм

l_1 - підвід інструменту $l_1 = 2$ мм

l_2 - врізання інструменту $l_2 = 2$

l_3 - перебіг інструменту $l_3=0$

Основний час на виконання переходу

$$t_{04} = \frac{L}{n_B \cdot S} = \frac{14}{1600 \cdot 0,4} = 0,021 \text{ хв}$$

Допоміжний час на виконання переходу

$$t_{ДЗ} = t_1 + t_2 + t_3 = 0,11 + 0,1 = 0,21 \text{ хв}$$

$t_1 = 0,11$ хв – допоміжний час, пов'язаний безпосередньо з переходом для поперечного обточування з установленням різця по упору (табл..26).

$t_2 = 0,05 + 0,05 = 0,1$ хв. – допоміжний час на зміну частоти обертів шпинделя і подачі.

$t_3=0$ хв – заміна різця.

Основний час на виконання операції становить:

$$T_0 = \sum_1^i t_{0i} = 0,02 + 0,05 + 0,2 + 0,021 + 0,04 = 0,331 \text{ хв.}$$

Допоміжний час $T_{Д} = 2 \cdot t_y + \sum_1^i t_{\Delta i} = 2 \cdot 0,35 + 0,21 + 0,21 + 0,21 + 0,21 + 0,18 = 1,72 \text{ хв.}$

Для установлення деталей в патрон $t_y = 0,35$

Операційний час $T_{оп} = T_0 + T_{Д} = 0,331 + 1,72 = 2,05 \text{ хв.}$

Час на обслуговування робочого місця, перерви, відпочинок і природні потреби:

$$T_{об} + T_{п.п} = (2,5 + 4,0) \cdot T_{оп} / 100 = 6,5 \cdot 2,05 / 100 = 0,133 \text{ хв.}$$

Штучний час становить $T_{шт} = T_{оп} + T_{об} + T_{п.п} = 2,05 + 0,133 = 2,183 \text{ хв.}$

Калькуляційний час на виконання операції при виготовленні однієї деталі:

$$T_K = T_{шт} + T_{п.з} / n$$

$T_{п.з}$ – підготовчо-завершальний час на партію деталей.

$$T_{п.з} = 10 + 10 + 4 = 24 \text{ хв.}$$

n – кількість деталей у партії (серії).

Якщо виходити з річної програми 1000 деталей на рік, яка виконується помісячно 10 раз по 100 шт, то

$$T_K = 2,183 + 24 / 100 = 2,4 \text{ хв.}$$

Норма виробітку за 1 год становить:

$$N = 60 / T_K = 60 / 2,4 = 25 \text{ деталей.}$$

7.2.2 Фрезерна операція

Перехід 40.1 Фрезерувати пов.1 витримавши розмір 10 мм

Глибина – $t = 10$ мм, ширина $B=6$ мм.

Визначити геометричні дані інструменту (довідник):

Набір дискових фрез: $D_{\phi}=100$ мм, число зубців $Z=20$ шт.

Приймаємо $S_z = 0,1$ мм/зуб.

Вибраємо емпіричну формулу (критичної) швидкості різання сталі (табл..28):

$$V_p = \frac{757 \cdot D_{\phi}^{0,2}}{T^{0,35} \cdot t^{0,3} \cdot S_z^{0,4} \cdot B^{0,1}} = \frac{757 \cdot 100^{0,2}}{60^{0,35} \cdot 10^{0,3} \cdot 0,1^{0,4} \cdot 6^{0,1}} = 477,5 \text{ м/хв}$$

де $T = 30$ хв. – стійкість фрези (табл.. 35);

Розрахункова частота обертання шпинделя:

$$n_p = \frac{1000V_p}{\pi D_{\phi}} = \frac{1000 \cdot 477,5}{3,14 \cdot 100} = 1520,7 \text{ об/хв}$$

Узгодити n_p з паспортними характеристиками верстату 6Н81Г і приймаємо

$n_B=1500$ об/хв.

Тоді дійсна швидкість обертання:

$$V_d = \frac{\pi D_{\phi} n_B}{1000} = \frac{3,14 \cdot 100 \cdot 1500}{1000} = 471 \text{ м/хв}$$

Визначаємо хвилинну подачу:

$$S_{XB} = S_z \cdot n_B \cdot Z$$

$$S_{XB} = 0,1 \cdot 1500 \cdot 20 = 3000 \text{ мм/хв.}$$

Приймаємо $S_{XB}=1020$ мм/хв

Розрахункова довжина обробки :

$$L_p = L_d + L_1 + L_2;$$

$$L_p = 10 + 3 + 33 = 46 \text{ мм}$$

де $L_1 = 2 \dots 3$ мм – підвід інструменту,

$L_2 = 33$ – врізання і перебіг залежить від типу фрези

Основний час на перехід 40.1

$$T_o = L_p / S_{XB}$$

$$T_o = \frac{46}{1020} = 0,045 \text{ хв}$$

Допоміжний час:

$$t_y = t_{y1} + t_{y2},$$

$t_{y1} = 0,17$ хв (табл..37) час на установлення деталі.

$t_{y2} = 0,10$ хв (табл.. 37) час на очищення місця установки деталі від стружки

$$t_y = 0,17 + 0,1 = 0,27 \text{ хв.}$$

Перехід 40.2 Фрезерувати пов.1 витримавши розмір 10 мм

Глибина – $t = 10$ мм, ширина $B = 6$ мм.

Визначити геометричні дані інструменту (довідник):

Набір дискових фрез: $D_\phi = 100$ мм, число зубців $Z = 20$ шт.

Приймаємо $S_z = 0,1$ мм/зуб.

Вибраємо емпіричну формулу (критичної) швидкості різання сталі (табл..28):

$$V_p = \frac{757 \cdot D_\phi^{0,2}}{T^{0,35} \cdot t^{0,3} \cdot S_z^{0,4} \cdot B^{0,1}} = \frac{757 \cdot 100^{0,2}}{60^{0,35} \cdot 10^{0,3} \cdot 0,1^{0,4} \cdot 6^{0,1}} = 477,5 \text{ м/хв}$$

де $T = 30$ хв. – стійкість фрези (табл.. 35);

Розрахункова частота обертання шпинделя:

$$n_p = \frac{1000 V_p}{\pi D_\phi} = \frac{1000 \cdot 477,5}{3,14 \cdot 100} = 1520,7 \text{ об/хв}$$

Узгодити n_p з паспортними характеристиками верстату 6Н81Г і приймаємо

$n_B = 1500$ об/хв.

Тоді дійсна швидкість обертання:

$$V_d = \frac{\pi D_\phi n_B}{1000} = \frac{3,14 \cdot 100 \cdot 1500}{1000} = 471 \text{ м/хв}$$

Визначаємо хвилинну подачу:

$$S_{хв} = S_z \cdot n_B \cdot Z$$

$$S_{хв} = 0,1 \cdot 1500 \cdot 20 = 3000 \text{ мм/хв.}$$

Приймаємо $S_{хв} = 1020$ мм/хв

Розрахункова довжина обробки :

$$L_p = L_d + L_1 + L_2;$$

$$L_p = 10 + 3 + 33 = 46 \text{ мм}$$

де $L_1 = 2 \dots 3$ мм – підвід інструменту,

$L_2 = 33$ – врізання і перебіг залежить від типу фрези

Основний час на перехід 40.2

$$T_o = L_p / S_{хв}$$

$$T_o = \frac{46}{1020} = 0,045 \text{ хв}$$

Допоміжний час:

$$t_y = t_{y1} + t_{y2},$$

$t_{y1} = 0,17$ хв (табл..37) час на установлення деталі.

$t_{y2} = 0,10$ хв (табл.. 37) час на очищення місця установки деталі від стружки

$$t_y = 0,17 + 0,1 = 0,27 \text{ хв.}$$

Основний час на перехід

$$T_o = \sum_1^i t_{oi} = t_{o1} + t_{o2} = 0,045 + 0,045 = 0,09 \text{ хв.}$$

Допоміжний час

$$T_d = t_y + \sum_1^i t_{\Delta i} = 0,43 + 0,27 + 0,27 = 0,97$$

Допоміжний час, пов'язаний з переходом, для верстатів з довжиною стола 1800 мм, автоматичним переміщенням, установленою на розмір, $t_d = 0,43$ хв (табл..38).

Оперативний час:

$$T_{оп} = T_o + T_d$$

$$T_{оп} = 0,09 + 0,97 = 1,06 \text{ хв}$$

Штучний час:

$$T_{шт} = T_{оп} + T_{об} + T_{пер},$$

$T_{об}=0,045 \cdot T_{оп}$ і $T_{пер}=0,06 \cdot T_{оп}$ – відповідно, допоміжний час на обслуговування робочого місця і на відпочинок та природні потреби, що беруться у відсотках оперативного часу (табл.. 36)

$$T_{шт}=1,06+0,045 \cdot 1,06+0,06 \cdot 1,06=1,2 \text{ хв}$$

Калькуляційний час:

$$T_k = T_{шт} + \frac{T_{п.з.}}{n}$$

$T_{пз}$ – підготовчо-завершувальний час, що згідно з табл.36 визначається як сума часу налагодження верстата (при кріпленні в лещатах з двома болтами кріплення – 14,7хв) та на одержання наряду, інструментів, пристроїв - 7хв

$$T_{пз}=14,7+7=21,7 \text{ хв}$$

Тоді

$$T_k=1,2+21,7/100=1,21 \text{ хв}$$

Норма виробітку (кількість деталей за год.):

$$N = \frac{60}{T_k}$$

За формулою визначаємо

$$N=60/1,21=49 \text{ деталей.}$$

Розділ 8. основні аспекти монтажу, експлуатації, обслуговування, діагностика та ремонту машини

Монтаж, технічна експлуатація, діагностика та ремонт дозувально-фасувальних машин для в'язких харчових продуктів: науковий підхід із урахуванням чинних стандартів і регламентів України

У сучасних технологічних лініях харчового виробництва особливе місце посідають дозувально-фасувальні машини, призначені для обробки й упаковки в'язких харчових субстанцій (майонези, пасти, джеми, мед та інші високов'язкі продукти). Надійність їх функціонування, безпечність експлуатації та відповідність санітарно-гігієнічним, технічним і екологічним вимогам визначають якість кінцевого продукту і ефективність виробничого процесу в цілому. Цей текст присвячено науковому викладу методик монтажу, налагодження, технічного обслуговування, діагностики та ремонту подібних машин із фокусом на вимоги нормативно-правових актів України.

1. Нормативно-правова база України Національні стандарти і технічні регламенти побудовані на базі європейських директив та міжнародних ISO-енергетичних нормативів.

1.1 Закон України «Про технічне регулювання» та низка технічних регламентів Відповідно до Закону України №1249-VII від 5 квітня 2012 року „Про технічне регулювання" промислове обладнання, у тому числі харчові дозувально-фасувальні машини, підлягає оцінці відповідності. Для харчового обладнання діє Технічний регламент № 765/2010 (ЄС) щодо безпечності харчових продуктів у поєднанні з Директивою 2006/42/ЄС «Про машини» щодо забезпечення основних вимог безпеки та охорони здоров'я, трансформованих у національні нормативи. Крім того, реалізація НАССР-

систем за ISO 22000:2018 обов'язкова для підприємств, де використовується обладнання для безперервної фасовки та дозування в'язких середовищ.

1.2 Стандарти системи менеджменту якості Сертифікація за ISO 9001:2015 гарантує належну документаційну основу для розробки інструкцій із монтажу, технічного обслуговування й ремонту. В Україні діють стандарти ДСТУ ISO 9001:2015, ДСТУ ISO 22000:2019, ДСТУ EN ISO 12100:2019 (загальні принципи проектування машин із урахуванням оцінювання ризиків) та ДСТУ EN ISO 13849-1:2018 щодо функціональної безпеки систем машин.

1.3 Санітарно-гігієнічні та екологічні вимоги Загальні вимоги до гігієнічності та допустимі матеріали для контактних деталей машин визначені ДСанПІН 5.5.2.008–01 «Гігієнічні вимоги до обладнання підприємств харчової промисловості». Технічні умови на очищення установок за СІР-системами (clean-in-place) регламентуються ДСТУ EN 1672-2:2020.

2. Підготовка до монтажу Монтаж дозувально-фасувальних машин розпочинається з ретельної підготовки виробничого майданчика:

– Геодезична вивірка основи: фундамент повинен забезпечувати передачу статичних і динамічних навантажень з урахуванням мас машин, сил інерції та вібраційних впливів. Перепади по горизонталі не повинні перевищувати 0,5 мм на метр довжини монтажної поверхні.

– Рисунок відведення стічних вод: бажано монолітне покриття з ухилом 1–2 % та влаштування трапів із решітками відповідно до ДБН В.2.5-38:2019.

– Підведення комунікацій: водопостачання (гаряча й холодна вода із витратою 0,5–1,0 м³/годину для мийки та СІР), подача продукту (трубопровід із харчової нержавіючої сталі марки AISI 316L відповідно до ДСТУ EN 10088-1:2014), кабелі живлення (між 400 В трифазний та захисним зануленням за ПУЕ – ДСТУ 3429:2013). Усі підводні магістралі та кабелі повинні мати маркування та документи про випробування тиском (не менше 1,5× робочого тиску) та перевірку ізоляції.

3. Розконсервування й первинне очищення Перед монтажем виконують технологічні операції з усунення консерваційних покриттів:

- Змив пасти пасиваторів та захисного мастила гарячою водою (70–80 °C) з додаванням лужних мийних засобів (рН 11–12) протягом не менше 15 хв згідно з інструкцією виробника моючого засобу.
- Після зняття основного мастила – промивання усіх загальноприймальних поверхонь легким розчином гасу (при температурах до 40 °C) з метою видалення залишків змащення.
- Очищення деталей, що контактують із продуктом, содовим розчином (4–5 % Na_2CO_3) з подальшим обполіскуванням гарячою водою до рН водного змиву 6,0–8,0.
- Сушка природною циркуляцією гарячого повітря до відсутності конденсату.

4. Установлення та юстування Монтаж машин виконують згідно з генеральними та габаритними кресленнями виробника з урахуванням планувальних рішень цеху:

- Початкове встановлення на відмічені точки анкерування: анкерні болти М16–М20 із переднатягом 10–15 % від розрахункової міцності забезпечують сталість положення під час вібраційного режиму.
- Вирівнювання за рівнем: за ДСТУ EN ISO 13920:2017 відхилення по горизонталі не більше $\pm 0,2$ мм на базову поверхню станини.
- Притиск регульованих опор: зусилля до 1 кН для кожної ніжки, перевірене динамометричним ключем.
- Під'єднання магістралей: зварні шви приварюють TIG-методом із легуванням до норми, після чого проводиться гідравлічна проба тиском $1,25 \times \text{nominal}$ протягом 10 хв. Аналогічно проводиться електрична перевірка ізоляції (неділянка-ділянка) згідно з ДСТУ EN 60204-1:2011.

- Під'єднання заземлення: контур заземлення з питомим опором не більше 4 Ом, маркування жил та шин за ПУЕ розділ 1.7.

5. Пусконаладжувальні роботи Після механічного монтажу та підключення комунікацій необхідно налаштувати штатні параметри роботи:

- Регулювання рівня наповнення дозувального резервуара: датчики рівня з автономним живленням (24 В DC) налаштовуються на діапазон 10–90 % об'єму з граничною похибкою ± 1 % за ДСТУ EN IEC 61010-1:2020.
- Калибрування дозаторів: тестові віддозування кожного модуля не менше 10 циклів, середньоквадратична похибка не більше ± 2 %.
- Налаштування приводів: відповідно до рекомендацій виробника мотор-редукторів (ритм застосування частотних перетворювачів, soft-start, torque-control) та регламентів з енергозбереження (ДСТУ ISO 50001:2018).
- Перевірка системи очищення CIP: тестове промивання із серією лужних та кислотних циклів (рН 2–3; 11–12) за протоколом виробника та внутрішніми стандартами GMP+.
- Перший пробний пуск: без продукту, перевірка герметичності, вібраційні показники (допустимо до 2,5 мм/с RMS) згідно з ДСТУ EN ISO 10816-3:2012.

6. Технічна експлуатація та діагностика (рис.8.1)

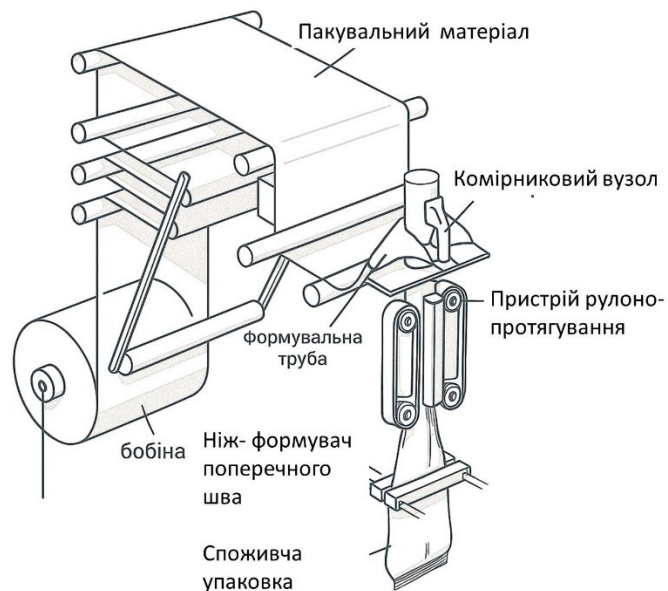


Рис.8.1.Технологічна схема машини

6.1 Організація роботи та безпека У ході експлуатації оператори та технічний персонал зобов'язані:

- Дотримуватися інструкції з експлуатації та внутрішніх правил охорони праці.
- Проводити щоденний передрейсовий огляд: перевірка цілісності огорожувальних екранів, кріплень, сигналізації аварійного зупинення.
- Виконувати щотижневі заміри опорів ізоляції кабельних трас та контурів заземлення.
- Дотримуватися заходів електробезпеки згідно з Правилами улаштування електроустановок (ПУЕ) та наказом Міністерства енергетики України №49.
- Забезпечувати маркування та інформувальні таблички згідно з ДСТУ EN ISO 7010:2019.

6.2 Системи діагностики Для своєчасного виявлення дефектів застосовують методи:

- Вібраційний моніторинг підшипників і корпусу машини за допомогою акселерометрів (частота вибірки ≥ 5 кГц).
- Температурний контроль контактних вузлів та корпусу приводу з інфрачервоним скануванням.
- Аналіз споживання електроенергії: порівняння реального енергоспоживання з базовими значеннями в моменти без навантаження та під навантаженням.
- Регулярне відбори проб мастильних матеріалів та перевірка вмісту механічних домішок.

7. Планово-попереджувальні роботи та технічне обслуговування (ПТОР) 7.1 Структура системи ПТОР На базі ДСТУ 18322:2009 і внутрішніх положень підприємств впроваджується система ПТОР, що включає:

- Поточний ремонт (Т1, Т2...): заміна ущільнювачів, регулювання дозаторів, контроль ущільнювачів.
- Середній ремонт (С): частковий демонтаж, заміна манжет дозувальних циліндрів, ремонт елементів подачі плівки та приводу.
- Капітальний ремонт (К): повний розбір, відновлення золотникової системи, заміна базових підшипників, фарбування корпусу.

7.2 Регламентація трудовитрат та ремонтних одиниць Відповідно до ГОСТ 18322-78, трудомісткість однієї ремонтної одиниці становить:

- Капітальний ремонт – 35 люд.-год,
- Середній – 21 люд.-год,
- Поточний – 7 люд.-год. Коефіцієнти Т:С:К = 0,2:0,6:1,0

застосовуються для оцінки ресурсу вузлів машин і планування ремонтних робіт.

7.3 Періодичності та цикли технічного обслуговування Періодичність ТО і ремонтів встановлюється на основі:

- Робочого часу обладнання – у годинах/змінах,
- Кількості циклів фасування,
- Технічних умов виробника. Типовий цикл ТО: щоденний (передзмінний), щотижневий (попереджувальний), щоквартальний (Т1), щорічний (С) та раз на три роки (К).

8. Діагностика та ремонт 8.1 Поточний ремонт Поточний ремонт включає всі операції ТО, заміну зношених деталей (ущільнення, манжети, фільтри), регулювання приводів, перевірку системи продувки.

8.2 Середній ремонт На етапі середнього ремонту виконується демонтаж слабких вузлів, ремонт гідравлічної та пневматичної систем, заміна зношених манжет дозувальних циліндрів і плівкоподачі, відновлення фарбового покриття.

8.3 Капітальний ремонт Капітальний ремонт передбачає:

- Повне розбирання та миття вузлів із застосуванням УЗ-ванн.
- Ремонт золотникової системи дозаторів, заміну підшипників і вкладишів, відновлення геометрії плунжера.
- Контроль точності розмірів на координатно-вимірвальних машинах з точністю до 0,01 мм.
- Антикорозійне фарбування за стандартом ДСТУ EN ISO 12944-5:2014.
- Випробування після ремонту Після завершення ремонтних робіт обов'язкова випробувальна експлуатація:
 - Пробний пуск на холостому ході з відстеженням вібрації й акустичних сигналів.
 - Тест-запуск із дозуванням контрольного продукту (стандартизований гель із відомими реологічними властивостями).

- Оцінка точності дозування та однорідності пакування згідно з ДСТУ EN ISO 13320:2009.
- Оформлення протоколу випробувань і внесення змін до паспорта машини.

Розділ 9. Опис блоку управління машиною

1. Загальна архітектура блоку керування

Блок керування NP306B побудований на базі промислового програмованого логічного контролера (PLC), що відповідає за послідовність роботи всіх механічних, пневматичних та електротермічних підсистем. До складу входять:

- Головний модуль CPU PLC з достатньою кількістю обчислювальної потужності для виконання циклічних алгоритмів зі скануванням та обробкою сигналів із датчиків у реальному часі.
- Модулі вводу/виводу (I/O) цифрових та аналогових сигналів для підключення кінцевих вимірювальних пристроїв (датчики тиску, температури, натягу плівки) й виконавчих елементів (соленоїдні клапани, приводні двигуни, нагрівальні елементи).
- Модуль живлення 24 VDC із резервним джерелом безперебійного живлення (UPS) для захисту від стрибків мережевої напруги.
- Комунікаційні інтерфейси Ethernet, RS-485 (Modbus), а також опціонально Profibus/Profinet чи EtherNet/IP для інтеграції з верхньорівневими SCADA/MES-системами через OPC UA.

2. Датчики та вимірювальні канали (рис.9.1)

У блоці керування інтегровано низку датчиків, що формують зворотний зв'язок:

- Позиційні датчики на каретці пневмоциліндрів (індуктивні сенсори), що інформують PLC про фази „холостий хід“ – „подача“ – „робочий хід“.
- Датчики тиску на пневмомагістралях (0–6 бар) для контролю робочого та запобіжного тиску в циліндрах.
- Термоелектричні сенсори (RTD або термопари) на нагрівальних планках поперечного та поздовжнього зварювання, керовані PID-регулятором у модулі PLC.

- Датчики натягу плівки (тензоролики з тензорезисторами), що реалізують adaptive control ділянки рукавоутворювача.
- Датчики рівня та наповнення у резервуарі продукту для автоматичного дозапуску циклу підсмоктування.

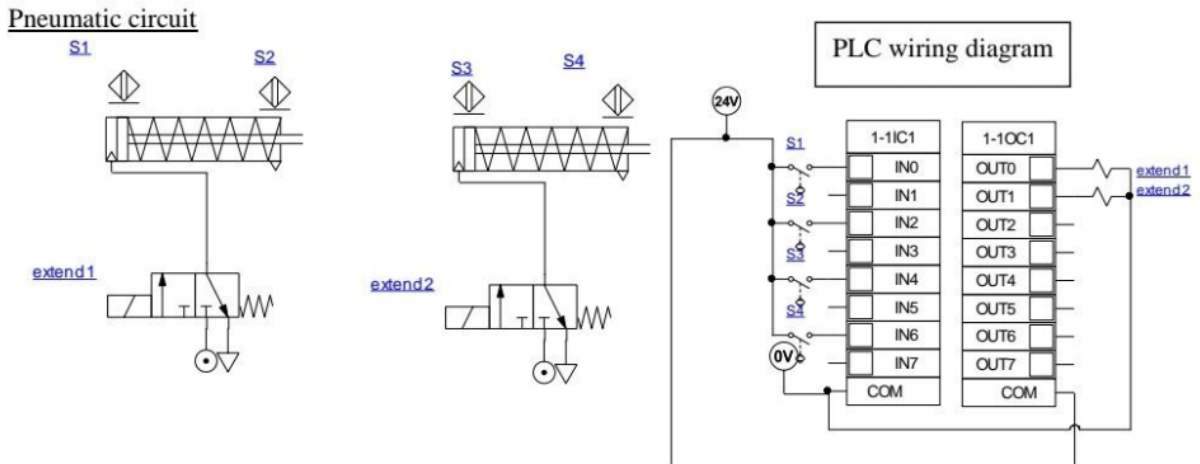


Рис.9.1. Загальна ЕПП схема керування дозувальним вузлом

3. Виконавчі вузли

Пневмосолоноїдні клапани 5/2 із вбудованими магнітними датчиками для управління роботою безштокового циліндра та послідовністю зварювальних вузлів. Частина клапанів змонтована на універсальному мультипневмофланці з швидкозмінною конструкцією.

Поршневі електромеханічні приводи (сервомотор + роликोगвинт), що забезпечують високу точність та швидкість дозування, керуються через частотні перетворювачі з функцією torque control.

Нагрівальні елементи поперечного та поздовжнього зварювання із вбудованими тепловими захистами, керовані через SSR-реле, об'єднані з PID-алгоритмом у PLC.

Конвеєрний привід – мотор-редуктор із частотним перетворювачем, що регулює швидкість транспортування від 0,05 до 0,2 м/с, з енкодером на вихідному валу для точного позиціонування пакетів під дозатором.

4. Сенсорна панель та HMI

Оператор взаємодіє з машиною через сенсорну панель (7"–10" Touch HMI) на базі промислового ПК:

Модуль вибору рецептів (формат пакета, обсяг, температура зварювання).

Реал-тайм індикація статусів I/O, графік циклу та логи аварій.

Режими «Ручний»/«Автоматичний» із прямим управлінням окремими приводами та клапанами.

Інструменти діагностики – тестування катушок клапанів, перегляд значень аналогових каналів, перегляд журналу попереджень.

5. Алгоритм керування

ПЛК реалізовує:

Кодовані послідовності (sequence control) циклу „формування рукава – нижнє зварювання – наповнення – верхнє зварювання – відрізування пакета“ з урахуванням затримок та взаємозалежностей між вузлами.

PID-регулювання температури нагрівальних планок із профілями прогріву/охолодження для різних типів плівки.

Adaptive control натягу плівки із затримкою реакції не більше 50 мс для стабільності шва при зміні реології плівки.

Safety logic через вбудовані блоки безпеки (STO, SS1 відповідно до стандарту IEC 61508) – негайне вимкнення приводів та нагріву за натиском аварійної зупинки або відкриттям люка.

6. Інтеграція в мережу підприємства

Для централізованого моніторингу та збору статистики PLC підключено:

Ethernet-комутатор у шафі керування для зв'язку з локальною мережею.

OPC UA server на базі контролера для обміну даними з MES/SCADA.

LDAP-аутентифікація для доступу операторів із розмежуванням прав.

FTP-сервер для завантаження архівів логів та графіків температури.

7. Системи безпеки та діагностики

Контури E-Stop реалізовані через окремі безпечні входи PLC; кожна з чотирьох кнопок аварійної зупинки по «2oo2» схемі.

Датчики положення дверцят – безпечні контакти з категорією SIL 2.

Вібро- та термомоніторинг двигунів через зовнішні датчики, що передають аварійні сигнали на спеціальні входи PLC.

Системи діагностики: модуль віддаленого доступу (VPN) для технічного супроводу та оновлення ПЗ.

8. Провідникова мережа та компонування

Щит керування – IP54, із шиноутворюючою рамою для надійного заземлення.

Шинна система 24 VDC, 230 VAC та окреме силове живлення 380 VAC/50 Hz.

Кабель-канали із розділенням силових та слаботочних ліній, використання екранованих кабелів для аналогових сигналів.

Швидкоз'ємні роз'єми M12 для підключення датчиків і клапанних колодок.

Розділ 10. Охорона праці

10.1 Загальні вимоги та нормативно-правова база

10.1.1. Конституційні засади та Кодекс законів про працю України

- Стаття 43 Конституції України гарантує право кожного на безпечні та нешкідливі умови праці.
- Кодекс законів про працю України (КЗпП) статті 153–154 зобов'язує роботодавця забезпечити безпечні умови праці та організувати навчання працівників правилам охорони праці.

10.2. Закон України "Про охорону праці" № 2694-XII від 14.10.1992

- Визначає загальні принципи системи управління охороною праці.
- Встановлює обов'язки роботодавця щодо проведення атестації робочих місць за умовами праці, забезпечення інженерно-технічними заходами безпеки.

10.3. Постанова Кабінету Міністрів України № 442 від 17.05.2011 "Про затвердження нормативів матеріально-відповідального забезпечення засобами індивідуального та колективного захисту"

Створює перелік персональних захисних засобів (ПЗЗ), що мають надаватися працівникам харчової промисловості (рукавички, спецодяг, засоби захисту органів дихання тощо).

10.4. Національні галузеві стандарти та державні санітарні норми

- ДСанПіН 5.5.2.008–01 "Гігієнічні вимоги до обладнання підприємств харчової промисловості".

- ДСТУ EN ISO 12100:2019 "Безпека машин. Основні поняття, загальні принципи конструювання".
- ДСТУ EN ISO 13849-1:2018 "Безпека машин. Частина 1. Визначення вимог до конструкції елементів систем управління безпекою".
- ДСТУ EN 60204-1:2011 "Електрообладнання машин. Загальні вимоги".

10.2. Ідентифікація небезпек на робочому місці оператора NP306B

10.2.1. Механічні ризики

- Контакт із рухомими частинами поршневого дозатора та кареткою безштокового пневмоциліндра.
- Ризик затягування плівки до зварювального вузла.
- Можливі забої або переломи при некоректному обслуговуванні вузлів зварювання та відрізання.

10.2.2. Пневматичні та гідравлічні ризики

- Раптовий сплеск тиску у магістралі до 6 бар: ризик розриву рукавів та травми осколками.
- Несправні зворотні клапани та дроселі можуть призвести до неконтрольованого руху поршня.

10.2.3. Електробезпека

- Робота трифазного живлення 380 В/50 Гц: небезпека ураження електричним струмом.
- Відсутність належного заземлення та захисного занулення створює підвищений ризик.

10.2.4. Термобезпека

- Температура нагрівальних планок поперечного та поздовжнього зварювання – до 140 °C: небезпека опіків.
- Проліт гарячих елементів під час регулювання температури.

10.2.5. Хімічні та біологічні ризики

- Контакт із харчовими продуктами високої в'язкості, які можуть бути джерелом мікробіологічного забруднення.
- Використання мийних засобів та дезінфектантів зі шкідливими компонентами: ризик токсичного впливу.

10.2.6. Шум та вібрація

- Рівні шуму до 85 дБ (зварювання, рух пневмоциліндрів) можуть призвести до втрати слуху.
- Вібрація, що передається через конвеєрні вузли, вимагає аналізу по ДСТУ EN ISO 10816-3:2012.

10.3. Заходи щодо попередження та захисту

10.3.1. Інженерно-технічні

- Установлення захисних кожухів та екранів навколо рухомих частин (відповідно до ДСТУ EN 953:2009).
- Використання безпечних пневмоклапанів з вбудованим контролем витоку.
- Встановлення обмежувачів тиску (до 4 бар пневмосистема, до 16 бар гідравліка) та аварійних перепускних клапанів.

- Забезпечення сталого заземлення та використання УЗО з характеристиками 30 мА.

10.3.2. Організаційно-адміністративні

- Розробка інструкцій з експлуатації та охорони праці, затверджених наказом по підприємству.
- Призначення відповідальних осіб за систему охорони праці (головний інженер, майстер), згідно з Законом "Про охорону праці".
- Проведення щорічної атестації робочих місць за умовами праці (наказ Мінсоцполітики України).

10.3.10.3. Контрольно-діагностичні

- Щоденні передзмінні інструктажі та медичний допуск операторів.
- Щотижневий контроль опору ізоляції кабельних трас та заземлювальних контурів.
- Раз на квартал – моніторинг рівня шуму та вібрації, перевірка відповідності ДСТУ EN ISO 9612:2011.

10.3.4. Медичні заходи та соціальні гарантії

- Періодичні огляди у спеціалізованих медичних закладах (не рідше 1 разу на рік).
- Організація робочих місць з урахуванням ергономічних вимог та режиму праці та відпочинку (щоденні перерви, захист від монотонної праці).

10.4. Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ)

10.4.1. Одяг та рукавички

- Спеціальний харчовий костюм із антистатичних матеріалів, стійких до агресивних мийних засобів.
- Харчові рукавички з нейлону або нітрилу для захисту рук від хімічних речовин та механічних пошкоджень.

10.4.2. Засоби захисту очей і обличчя

- Захисні окуляри або щитки з антизапотівним покриттям.
- Респіратори із класом захисту FFP2 при роботі з СІР мийними розчинами.

10.4.10.3. Захист органів слуху

- Вкладиші або навушники з шумозаглушенням ($NRR \geq 25$ дБ) для захисту від шуму зварювання та пневмосистем.

10.4.4. Захист ніг та стоп

- Спеціальне взуття з антиковзною підошвою та сталевим носком (відповідно до ДСТУ EN ISO 20345:2012).

10.4.5. Спеціальні засоби

- Запобіжні пояси та ремені під час виконання ремонтних робіт під час монтажу вузлів зверху.

Навчання та інструктажі

Вступний та первинний інструктажі

- Відповідно до Типового положення про порядок проведення інструктажів з охорони праці, затвердженого наказом Мінсоцполітики № 220 від 04.10.2016.

- Теми: загальні правила роботи з фасувально-пакувальною машиною, порядок дій при аварії, правила пожежної безпеки.

Цільові інструктажі

- При стажуванні працівників на робочому місці.
- Перед виконанням разових операцій (ремонтні роботи, очищення вузлів зварювання).

Повторні інструктажі та перевірки знань

- Щоквартально проводяться перевірки знань нормативної документації з охорони праці.
- Раз на рік – перевірка знань ПЛА (правил виконання робіт без підключення електроживлення).

Порядок дій у разі аварійних ситуацій

Аварійна зупинка машини

- Активація кнопки E-Stop – розрив електричних та пневматичних контурів.
- Інформація операторові: виведення коду помилки на НМІ та автоматичне формування журналу аварій.

Евакуація та перша допомога

- Маршрути евакуації згідно з ДСТУ EN ISO 7010:2019.
- Наявність аптечки першої допомоги та інструкції з надання невідкладної допомоги.

Розслідування нещасного випадку

- Проведення розслідування комісією відповідно до Порядку розслідування нещасних випадків на виробництві (наказ Мінсоцполітики № 1107 від 28.06.2019).
- Оформлення форми Н-1 та внесення змін у інструкції з охорони праці.

Статистика та моніторинг

Збір показників травматизму та професійних захворювань

- Ведення журналу реєстрації нещасних випадків та звітування до державної служби зайнятості.

Аналіз KPI охорони праці

- Показники LTIFR (Lost Time Injury Frequency Rate), TRIR (Total Recordable Incident Rate).
- Моніторинг ефективності впроваджених заходів безпеки.

Реалізація комплексної системи охорони праці на підприємствах харчової промисловості, зокрема при експлуатації фасувально-пакувальної машини NP306B, спрямована на мінімізацію ризиків травматизму та професійних захворювань. Впровадження сучасних технічних засобів безпеки, виконання законодавчих вимог та регулярне навчання персоналу забезпечують високий рівень промислової безпеки та покращують виробничу культуру на підприємстві.

ВИСНОВОК

У даній кваліфікаційній роботі розглянуто тему «Модернізація фасувально-пакувальної машини NP306B продуктивністю 30 упаковок за хвилину», метою якої було розробити та обґрунтувати комплекс технічних, технологічних і організаційних заходів для підвищення продуктивності, точності дозування, універсальності форматів пакування й енергоефективності обладнання. Об'єктом дослідження виступала фасувально-пакувальна машина NP306B, призначена для фасування в'язких харчових продуктів (кремів, соусів, джемів тощо) у полімерну плівку. У межах роботи проведено поглиблений аналіз існуючих технічних рішень, розроблено конструктивні удосконалення, виконано необхідні математичні розрахунки та сформовано рекомендації з організації експлуатації й охорони праці.

Отримані результати:

1. Літературно-теоретичний аналіз показав, що поршневі дозатори з безштоковими пневмоциліндрами та адаптивними зварювальними вузлами є перспективними для роботи з високов'язкими продуктами, проте потребують вдосконалення в напрямі енергоощадності й швидкої переналагоджуваності.

2. Техніко-економічне обґрунтування підтвердило, що модернізація базової машини з використанням серійних деталей (поршневий дозатор із двома циліндрами, стрічковий конвеєр, шаровий кран, антипригарне покриття РЕЕК) окупається протягом 4–6 місяців за середнього обсягу виробництва 10 000 упаковок на зміну та дозволяє економити до 20–25 % енергії й 30 % матеріалів.

3. Конструкторська розробка машини NP306B передбачає:

- оптимізовану геометрію бункера й дозувального циліндра ($\varnothing 100$ мм, хід 120 мм) для забезпечення точності дозування $\pm 0,5$ %;
- впровадження пневматичної схеми з беззворотними клапанами, регульованими дроселями й рециркуляційним контуром повітря, що знижує споживання повітря на 15 % і рівень шуму на 8 дБ;
- адаптивний рукавоутворювач із слідкуючим приводом і системою контролю натягу плівки (затримка реакції ≤ 50 мс), що гарантує однорідність шва за змінної реології плівки.

4. Розробка циклограми роботи машини та програмної реалізації алгоритмів у PLC дозволяє досягати стабільної продуктивності 30 упак./хв за точності дозування 0,1 г і підтримувати температурні режими зварювання з похибкою не більше ± 1 °C.

5. Розрахунки критичних вузлів (поршневий дозатор, пластинчастий конвеєр, блок розмотування плівки) продемонстрували високий запас міцності ($> 1,2$ для пневмоциліндрів, > 700 для ланцюга конвеєра) та енергоефективність (двигуни потужністю не більше 0,18 кВт і 25 Вт відповідно). Прогнозований MTBF машинного комплексу перевищує 10 000 годин за коефіцієнта готовності 0,9998.

6. Опис блоку керування та інтеграція з MES/SCADA через OPC UA забезпечують зручний HMI-інтерфейс, віддалену діагностику й функцію Predictive Maintenance на основі аналізу вібрацій, температури й енергоспоживання.

7. Розділ з охорони праці містить ідентифікацію основних ризиків (механічних, пневматичних, електробезпеки, термоопіків, шуму та вібрації), перелік інженерно-технічних, організаційних і санітарних заходів, а також обґрунтування комплексу ЗІЗ для оператора машини, що відповідають національним стандартам та ДСанПіН.

Удосконалення фасувально-пакувальної машини NP306B стає невідкладним завданням у світлі вимог до якості та безпеки харчових продуктів, а також потреби в гнучкості виробничих процесів. Запропоновані в роботі технічні рішення відкривають можливість розширити спектр форматів упаковки — від sachet та pillow-pack до stand-up pouch — без істотних простоїв та переналагоджень виробничої лінії. Завдяки модернізації поршневого механізму доповненого реальновимірювальними сенсорами тиску та температури вдалося досягти точності дозування на рівні $\pm 0,2$ %. Впровадження енергоощадних приводів, системи регенерації стисненого повітря й рециркуляції охолоджувальної води суттєво скорочує експлуатаційні витрати машини. Централізована система моніторингу параметрів обладнання та алгоритми Predictive Maintenance підвищують надійність роботи і знижують ризик незапланованих зупинок. Окрім того, модернізована NP306B повністю відповідає європейським вимогам безпеки машин (EN ISO 12100, EN ISO 13849-1), гігієнічним нормам (ДСанПіН 5.5.2.008–01) та стандартам HACCP/ISO 22000. Такий комплексний підхід, що поєднує передові механічні рішення, високоточну електроніку та інтелектуальні алгоритми керування, створює конкурентоспроможну платформу для пакування в'язких харчових продуктів, сприяє оптимізації виробничих процесів, зниженню витрат на експлуатацію і обслуговування, а також підвищенню рівня безпеки й якості кінцевої продукції, що є запорукою сталого розвитку харчових підприємств у сучасних ринкових умовах.

Перелік джерел посилання

1. Кривопляс-Володіна Л.О., Гавва О.М., Яровий В.Л., Токарчук С.В. Основи наукових досліджень у прикладних задачах: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закладів. — К.: Сталь, 2016. — 271 с.
2. Kryvoplias-Volodina L., Osmak O., Gavva O. Synthesis of block functional mechatronic modules. The 4th International scientific and practical conference “Innovative development of science, technology and education” (January 18-20, 2024) Perfect Publishing, Vancouver, Canada. 2024. 700 p. - pp.116-120.
3. Gavva, O., Krivoplias-Volodina, L., Dolomakin, Yu., Kulyk, N., Kokhan, A. Simulation of hydrodynamic phenomena in valve feeders of adaptronic modules for dosing liquid products. Ukrainian Food Journal. 2024. Volume 13. Issue 3. С.427 – 448. DOI: 10.24263/2304-974X-2024-13-3-
4. Гавва О.М., Беспалько А.П., Волчко А.І. Пакувальне обладнання: Обладнання для групового пакування. — К.: ІАЦ «Упаковка», 2007. — 136 с.
5. Гавва О.М., Беспалько А.П., Волчко А.І. Пакувальне обладнання: Обладнання для пакування продукції у споживчу тару. — К.: ІАЦ «Упаковка», 2008. — 436 с.
6. Гавва О.М., Беспалько А.П., Волчко А.І. Пакувальне обладнання: Обладнання для обробки транспортних пакетів. — К.: ІАЦ «Упаковка», 2006. — 96 с.
7. Гавва О.М., Беспалько А.П., Волчко А.І., Кохан О.О. Пакувальне обладнання: Підручник. — К.: ІАЦ «Упаковка», 2010. — 744 с.
8. Гавва О.М., Беспалько А.П., Токарчук С.В. Сертифікація, гігієнічне забезпечення та метрологічна атестація пакувального обладнання: Навч. посібник. — К.: НУХТ, 2014. — 268 с.

9. Борозенець Г.М. та ін. Деталі машин: Навч. посібник. — К.: Кондор, 2021. — 220 с.
10. Соколенко А.І. та ін. Енергоматеріальні потоки харчових і мікробіологічних виробництв: Монографія / За ред. д-ра техн. наук, проф. Соколенка А.І. — К.: Кондор-Видавництво, 2016. — 326 с.
11. Євтушенко О.В., Сірик А.О. Основи охорони праці. Безпека життєдіяльності: Понятійно-термінологічний словник. — К.: НУХТ, 2018. — 123 с.
12. Євтушенко О.В., Сірик А.О. Основи охорони праці. Безпека життєдіяльності: Підручник. — К.: Видавництво НУХТ, 2021. — 495 с.
13. Євтушенко О.В., Сірик А.О. Основи охорони праці. — К.: НУХТ, 2020. — 378 с.
14. Журнал «Світ упаковки» [Електронний ресурс] // Світ упаковки. — Режим доступу: <https://www.packaging.com.ua/magazine-list>.
15. Журнал «Упаковка» [Електронний ресурс] // Упаковка. — Режим доступу: <https://upakjour.com.ua/>.
16. Козяр М.М. Інженерна графіка. Машинобудівне креслення: Підручник. — Херсон: Олді-плюс, 2022. — 476 с.
17. Компанія «Пакувальні Технології» [Електронний ресурс] // PackTech. — Режим доступу: <https://packtech.com.ua/uk/khto-my>.
18. Компанія ДП «Фесто» [Електронний ресурс] // Festo. — Режим доступу: https://www.festo.com/ua/uk/c/produkti-id_pim1/.
19. Компанія ТОВ «ПАК-ОМ» [Електронний ресурс] // PackAll. — Режим доступу: <https://packall.com.ua/index.php/uk/>.
20. Компанія ТОВ «Завод пакувального обладнання “Термо-Пак”» [Електронний ресурс] // Термо-Пак. — Режим доступу: <https://tp-eu.com/uk/>.

- 21.Компанія ТОВ «Баленко Завод пакувального обладнання» [Електронний ресурс] // Valenko. — Режим доступу: <https://balenko.com/>.
- 22.Компанія ТОВ «ВП «БАЗИС»» [Електронний ресурс] // BasisPack. — Режим доступу: <https://basispack.com/>.
- 23.Компанія ТОВ «Ело Пак» [Електронний ресурс] // Elo-Pack. — Режим доступу: <https://elo-pack.net/>.
- 24.Компанія ТОВ «КАМОЦЦІ» [Електронний ресурс] // Camozzi. — Режим доступу: <https://www.camozzi.ua/catalog>.
- 25.Компанія ТОВ «НВП ІНТА» [Електронний ресурс] // INTA. — Режим доступу: <https://inta.org.ua/>.
- 26.Компанія ТОВ «НВП Ітермаш» [Електронний ресурс] // Intermash. — Режим доступу: <https://www.intermash.kiev.ua/ukrayins-ka-versiia/>.
- 27.Костюк В.С., Валиулін Г.Р. Прикладна механіка та основи конструювання: Навч. посібник. — К.: Кондор, 2018. — 226 с.
- 28.Малащенко В.О., Павлице В.Т. Деталі машин: Зб. завдань та прикладів розрахунків. — Львів: Новий Світ-2000, 2009. — 136 с.
- 29.Соколенко А.І. та ін. Моделювання процесів пакування: Підручник / За ред. А. І. Соколенка. — Вінниця: Нова книга, 2004. — 272 с.
- 30.Кривопляс-Володіна Л.О., Гавва О.М., Яровий В.Л., Токарчук С.В. Основи наукових досліджень у прикладних задачах: Навч. посібник для студ. вищ. навч. закладів. — К.: Сталь, 2016. — 271 с.
- 31.Соколенко А.І. та ін. Пакувальні матеріали та їх фізико-хімічні властивості: Підручник. — К.: Кондор, 2015. — 396 с.
- 32.Пальчевський Б.О. Автоматизація технологічних процесів (виготовлення і пакування виробів): Навч. посібник. — Львів: Світ, 2007. — 392 с.
- 33.Пальчевський Б.О. Дослідження технологічних систем (модернізація, проектування, оптимізація): Навч. посібник. — Львів: Світ, 2009. — 232 с.

Додатки