

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

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

Кафедра Технологічного обладнання та комп'ютерних технологій
проектування

«До захисту в ЕК»

Директор інституту(декан факультету)

Сергій БЛАЖЕНКО

(підпис)

(ім'я та прізвище)

« » _____ 20 р.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Микола ЯКИМЧУК

(підпис)

(ім'я та прізвище)

« » _____ 20 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми Модернізація автомата для пакування дрібно-
дисперсних сипких харчових продуктів продуктивністю 70 пак/хв

Виконав: здобувач IV курсу, групи 2

Савченко Іван Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

(підпис)

Керівник Якимчук Микола Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

(підпис)

Консультанти

(ім'я та прізвище)

(підпис)

(ім'я та прізвище)

(підпис)

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Рецензент

(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) незарядженої допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач _____

(підпис)

Київ – 2025 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

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

Кафедра Технологічного обладнання та комп'ютерних технологій проектування

Освітній ступінь бакалавр

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»

(шифр і назва)

Освітня програма «Інжиніринг харчових та біотехнологічних виробництв

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТОКТП

проф. Микола ЯКИМЧУК

(власне ім'я і ПРІЗВИЩЕ)

«___» _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Савченко Іван Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Обладнання переробних і харчових виробництв на тему Модернізація автомата для пакування дрібно-дисперсних сипких харчових продуктів продуктивністю 70 пак/хв

керівник роботи Якимчук Микола Володимирович, проф., докт. тех. наук

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від «10» квітня 2025 р. № 218-кс

2. Строк подання здобувачем роботи «01» червня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи

1. Технічний паспорт обладнання.

2. Альбом галузевого обладнання. 3. Навчальна та спеціальна література

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): анотація, зміст; перелік умовних позначень, термінів; вступ; порівняльний аналіз технічних рішень поставленої задачі; техніко-економічне, соціальне обґрунтування; характеристика вихідної сировини і готового продукту; опис запропонованого технічного рішення, будова та принцип роботи; вибір конструкційних матеріалів; розрахункова частина; технологічний маршрут виготовлення деталі; вимоги щодо монтажу, експлуатації та ремонту; система управління; заходи щодо охорони праці, екології; висновки; список використаних літературних джерел, специфікація.

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

Загальний вигляд обладнання – 2 аркуші; Складальні одиниці обладнання – 2 аркуші; Технологія машинобудування – 1 аркуш.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультантів	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Технологія машинобудування			

7. Дата видачі завдання: «02» жовтня 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Анотація, зміст; перелік умовних позначень, термінів</i>	03.04.2025р.	
2	<i>Порівняльний аналіз технічних рішень поставленої задачі</i>	13.04.2025р.	
3	<i>Техніко-економічне, соціальне обґрунтування.</i>	25.04.2025р.	
4	<i>Характеристика вихідної сировини і готового продукту</i>	27.04.2025р.	
5	<i>Опис запропонованого технічного рішення. Будова та принцип роботи.</i>	07.05.2025р.	
6	<i>Вибір конструкційних матеріалів</i>	09.05.2025р.	
7	<i>Розрахункова частина</i>	13.05.2025р.	
8	<i>Технологічний маршрут виготовлення деталі</i>	14.05.2025р.	
9	<i>Вимоги щодо монтажу, експлуатації та ремонту.</i>	18.05.2025р.	
10	<i>Опис системи управління</i>	21.05.2025р.	
11	<i>Заходи щодо охорони праці, екології</i>	23.05.2025р.	
12	<i>Висновки,</i>	27.05.2025р.	
13	<i>Графічна частина: 5 аркушів формату А3</i>	27.05.2025р.	
14	<i>Список використаних літературних джерел</i>	27.05.2025р.	
	<i>Подача ДП на кафедру</i>	29.05.2025р.	

Здобувач

_____ (підпис)

Іван Савченко

(власне ім'я і ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Микола ЯКИМЧУК

(власне ім'я і ПРІЗВИЩЕ)

АНОТАЦІЯ

Дипломний проєкт присвячено вирішенню актуального завдання харчової промисловості — підвищенню ефективності пакування дрібно-дисперсних сипких харчових продуктів за рахунок модернізації пакувального автомата. Зокрема, досліджено та реалізовано технічні рішення для вдосконалення обладнання, розрахованого на продуктивність **70 упаковок за хвилину**, з урахуванням сучасних вимог до точності дозування, збереження якості продукту та стабільності пакувального процесу.

Основним напрямом модернізації є удосконалення об'ємного дозатора стаканчикového типу, який зазнав конструктивних змін з метою підвищення точності дозування дрібнодисперсних сипких матеріалів, таких як манна крупа, борошно, сухе молоко тощо. Внесено зміни в конструкцію механізму подачі та розподілу продукту, що дозволило зменшити втрати та виключити явища залипання або знеструмлення матеріалу в дозуючих ємностях.

Проведено аналіз сучасних пакувальних матеріалів, технічних рішень і аналогів, що використовуються у вітчизняній та закордонній практиці. Показано, що полімерні плівки залишаються найпоширенішим матеріалом, що зумовлює доцільність подальшого вдосконалення техніки саме під цей тип пакування.

Результатом розробки є покращення технологічної ефективності пакування, підвищення точності дозування, зменшення втрат продукту.

Дипломний проєкт складається з пояснювальної записки обсягом 106 сторінок, що містить розрахункову, конструкторську, технологічну та економічну частини, а також графічної частини на 5 аркушах формату А1.

Ключові слова: модернізація, пакувальний автомат, дрібно-дисперсні продукти, дозатор стаканчикového типу, полімерна плівка, точність дозування, ZIP-застібка, стоячий пакет, продуктивність.

SUMMARY

The diploma project is devoted to solving the current task of the food industry-to increase the efficiency of packaging of small-dispersed bulk foods by modernizing the packaging machine. In particular, technical solutions for improvement of equipment, designed for productivity 70 packages per minute, taking into account modern requirements for accuracy of dosage, preservation of product quality and stability of the packaging process were investigated and implemented.

The main focus of modernization is the improvement of the volumetric dispenser of the glass type, which has undergone constructive changes in order to increase the accuracy of dosing of fine -dispersed bulk materials, such as semolina, flour, powdered milk and more. Changes have been made to the design of the product supply and distribution mechanism, which allowed to reduce losses and exclude the phenomena of sticking or disconnecting the material in dispensing containers.

The analysis of modern packaging materials, technical solutions and analogues used in domestic and foreign practice has been analyzed. It is shown that polymer films remain the most common material, which determines the feasibility of further improvement of the equipment for this type of packaging.

The result of development is an improvement in the technological efficiency of packaging, increasing the accuracy of dosage, reducing product losses.

The diploma project consists of an explanatory note of 106 pages containing the calculation, design, technological and economic parts, as well as the graphic part on 5 sheets of A1 format.

Keywords: modernization, packaging machine, small-dispersed products, glass-type dispenser, polymer film, dosage accuracy, ZIP wake, standing package, productivity.

ЗМІСТ

стор.

ВСТУП

1. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ
ПОСТАВЛЕНОЇ ЗАДАЧІ

2. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ, СОЦІАЛЬНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

3. ХАРАКТЕРИСТИКА ВИХІДНОЇ СИРОВИНИ І ГОТОВОГО
ПРОДУКУ

4. ОПИС ЗАПРОПОНОВАНОГО ТЕХНІЧНОГО РІШЕННЯ.
БУДОВА ТА ПРИНЦИП РОБОТИ

5. ВИБІР КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

6. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

7. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ МАРШРУТ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

8. ВИМОГИ ЩОДО МОНТАЖУ, ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА РЕМОНТУ.

9. СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ

10. ЗАХОДИ ЩОДО ОХОРОНИ ПРАЦІ, ЕКОЛОГІЇ

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

СПЕЦИФІКАЦІЯ

ВСТУП

Харчова промисловість займає ключове місце в економіці України та світу, забезпечуючи населення продуктами першої необхідності. Однією з важливих підгалузей є виробництво та фасування сипких харчових продуктів, до яких належать борошно, цукор, сіль, крупи, какао, спеції, сухі молочні суміші, розчинні напої та інші порошкоподібні або зернисті матеріали. Ці продукти характеризуються широким діапазоном фізико-механічних властивостей, які істотно впливають на вибір технологічних процесів, обладнання та типу упаковки.

Сипкі харчові продукти мають низку характерних ознак, що потребують спеціального підходу до фасування. По-перше, вони здатні вільно переміщатися під дією сили тяжіння, однак ступінь сипкості залежить від вологості, форми частинок, їх розміру та ступеня агломерації. По-друге, продукти можуть бути гігроскопічними, що зумовлює необхідність герметичної упаковки. По-третє, під час транспортування та зберігання можливе розшарування або злежування, що вимагає врахування при проектуванні дозуючих і пакувальних систем.

Залежно від властивостей конкретного сипкого продукту визначаються конструктивні особливості обладнання. Наприклад, крупи та цукор потребують використання систем із контролем потоку і об'єму, тоді як борошно та какао — обладнання з антизлежувальними функціями, вібраторами або аераторами. Від правильного вибору обладнання залежить не лише точність дозування, але й загальна ефективність виробництва, зниження втрат продукту та стабільність фасування.

Процес фасування сипких продуктів потребує високої точності та повторюваності доз. З цією метою застосовуються різні типи дозуючих пристроїв, зокрема об'ємні, вагові, шнекові, вібраційні, багатошкові та комбіновані. Найбільш поширеними є об'ємні дозатори, які забезпечують високу швидкість і прийнятну точність. Водночас вагові дозатори застосовуються там, де потрібен максимальний контроль маси. Шнекові

системи добре працюють із дрібнодисперсними порошками, оскільки дозволяють керувати подачею при низькому рівні сипкості. Вибір дозатора повинен базуватися на технологічному аналізі характеристик продукту та вимог до точності.

Окрім дозування, не менш важливим є процес створення упаковки. У сучасній промисловості домінують полімерні плівкові матеріали, які дозволяють формувати легкі, герметичні, естетично привабливі упаковки різної форми та конструкції. Полімерна плівка може бути одношаровою або багатошаровою, прозорою або з бар'єрними властивостями. Її фізико-механічні характеристики — товщина, міцність, термостійкість, бар'єрність — визначають спосіб формування упаковки, метод запаювання та термін зберігання продукту.

Форми упаковок для сипких харчових продуктів можуть бути найрізноманітнішими: подушкоподібні, стоячі пакети (stand-up pouch), пакети з фальцями (gusset), пакети з ручками, упаковки з дозаторами або клапанами. Формування такої упаковки здійснюється на вертикальних або горизонтальних автоматах, які забезпечують подачу плівки, її термоформування, дозування продукту та запаювання.

Важливим етапом є також **закривання упаковки**, яке має забезпечити герметичність, збереження продукту, зручність для споживача та відповідність санітарним нормам. Найпоширенішими є термозварювання, застосування ZIP-застібок, клапанів, клейових стрічок. ZIP-застібки дозволяють багаторазове відкривання і закривання пакета, що особливо важливо для продуктів із тривалим строком споживання. Клапани забезпечують зручність дозування без відкриття основного пакета. Різні варіанти закривання впливають на вартість упаковки, тому їх вибір має бути економічно обґрунтованим.

У проєктуванні машин для фасування важливо враховувати усі зазначені вище аспекти. Фасувальне обладнання має бути адаптованим до характеристик сипких продуктів, сумісним із вибраною плівкою та

конструкцією упаковки, а також відповідати вимогам гігієни, безпеки та надійності. Тривала робота обладнання, зниження аварійності, простота обслуговування та енергоефективність також є критеріями оптимального конструювання.

Особливої уваги потребує модернізація існуючих машин, зокрема автоматів для пакування сипких продуктів. Сучасні вимоги до швидкості фасування, гнучкості виробництва, адаптивності до різних типів упаковки зумовлюють необхідність оновлення дозуючих систем, вузлів подачі, формувальних блоків, запаювальних пристроїв та вузлів нанесення ZIP-застібок. В умовах зростаючої конкуренції модернізація пакувального обладнання є важливою передумовою збереження рентабельності виробництва.

Ця кваліфікаційна робота присвячена модернізації автомата для пакування сипких харчових продуктів із метою підвищення точності дозування, якості формування упаковки та забезпечення надійного її закривання. Об'єктом дослідження є автомат з продуктивністю 70 пак/хв, призначений для фасування таких продуктів, як манна крупа, какао, сухі суміші тощо. Основною задачею є удосконалення дозуючого пристрою, адаптація механізмів формування стоячих пакетів і впровадження системи ZIP-застібок для зручного закривання упаковки.

Таким чином, запропонована тема є актуальною, технічно обґрунтованою і практично значущою для харчової промисловості. Результати роботи можуть бути впроваджені на виробництвах, що займаються фасуванням сипких харчових продуктів, а також слугувати основою для подальших досліджень і вдосконалень пакувального обладнання.

1. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ПОСТАВЛЕНОЇ ЗАДАЧ

У сучасних умовах розвитку харчової промисловості одним із ключових завдань виробника є ефективне пакування сипких харчових продуктів, які займають вагоме місце в асортименті повсякденного споживання. До таких продуктів належать крупи, борошно, цукор, сіль, спеції, сухі суміші тощо. Вони відзначаються високою текучістю, схильністю до пиловиділення, гігроскопічністю та здатністю до злежування, що зумовлює специфічні вимоги до процесу фасування і пакування.

Сучасна упаковка для сипких харчових продуктів повинна відповідати комплексу вимог: низька собівартість, невелика власна маса, ергономічність (зручність зберігання, перенесення, відкриття/закриття), герметичність для захисту від вологості й забруднень, а також привабливий зовнішній вигляд, який має вирішальне значення при виборі споживача.

Оптимальним пакувальним матеріалом для таких продуктів є термозварні полімерні плівки, які завдяки своїм бар'єрним, механічним і технологічним властивостям дозволяють ефективно реалізувати процес автоматизованого пакування. Ці плівки забезпечують формування упаковки, дозування продукту та герметичне з'єднання швів, що особливо важливо для сипкої продукції, схильної до висипання чи поглинання вологи.

Процес пакування безпосередньо пов'язаний із технологією зварювання полімерних матеріалів, яка суттєво впливає на якість упаковки, її герметичність, міцність швів, а відповідно — на надійність транспортування, тривалість зберігання та споживчі властивості продукту. Успішне пакування сипкого харчового продукту можливе лише за умови дотримання всіх технологічних параметрів зварювання, включаючи температуру, тиск і тривалість з'єднання.

До основних видів полімерних плівок, що використовуються для формування упаковки методом термозварювання, належать:

- **ПЕВТ** (поліетилен високого тиску),
- **ПЕНТ** (поліетилен низького тиску),
- **ПП** (поліпропілен),
- **ПВХ** (полівінілхлорид),
- **ламінати** (у тому числі з металізованим або картонним шаром),
- **поліаміди**,
- **комбіновані матеріали** (наприклад, ПП з ПЕ, ПП з ламінатом, триплекс),
- **парафінований папір** тощо.

Під час вибору плівки для пакування сипких продуктів враховуються такі показники, як теплостійкість, здатність до зварювання, ступінь усадки, механічна міцність, бар'єрність щодо вологи та газів, вартість, а також сумісність з пакувальним обладнанням.

Аналіз конструктивних схем пакувального обладнання, що використовується в харчовій промисловості, дозволяє виділити дві основні групи машин із зварювальними пристроями — вертикального та горизонтального типу. Для фасування легкоплинних сипких продуктів переважно застосовуються машини вертикального типу, оскільки вони мають низку переваг:

- забезпечують стабільність потоку продукту завдяки дії сили тяжіння;
- дозволяють раціонально використовувати простір виробничої зони;
- оптимально працюють із мірними дозаторами;
- реалізують ефективне формування пакетів типу «рукав», «подушечка» або «стоячий пакет».

Усі ці фактори обґрунтовують доцільність використання вертикальних пакувальних машин для автоматизації процесу фасування сипких харчових продуктів у сучасній харчовій промисловості.

1.1.. Опис машин вертикального типу (з урахуванням використання для сипких харчових продуктів)

1) Машина з комірцем періодичної дії типу АРЖ, що формує упаковку типу «подушечка» (рис..11).

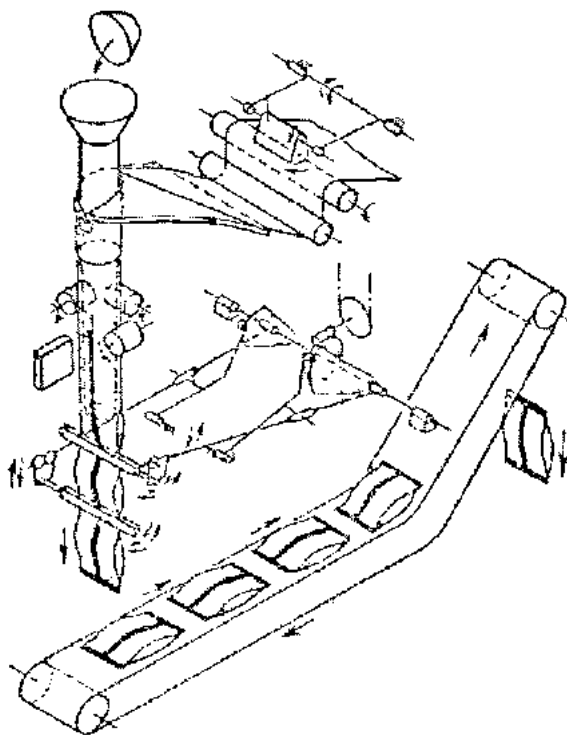


Рис.1.1 Схема машини з комірцем періодичної дії типу АРЖ, формує упаковку типу «подушечка».

Цей тип машини застосовується для пакування різноманітної продукції — рідкої, в'язкої та сипкої. Основна відмінність полягає у фіксованих поперечних зварювальних губках, які не здійснюють поворотного руху, що спрощує конструкцію та підвищує надійність.

Машина забезпечує виготовлення пакетів різної форми та розміру з термозварювальних рулонних матеріалів, що дозволяє використовувати її для фасування як харчових, так і нехарчових сипких продуктів. Продуктивність залежить від довжини пакета, властивостей продукту та характеристик плівки.

Висновок: Основною перевагою машини типу АРЖ є її універсальність і надійність. Вона добре підходить для пакування сипких харчових продуктів,

особливо дрібнозернистих, завдяки стабільному процесу заповнення упаковки. Однак форма «подушечка» є менш стійкою при вертикальному зберіганні, що створює незручності при транспортуванні та викладенні в торговельній мережі. Доцільне використання — для продуктів із коротким циклом споживання та низькою чутливістю до деформацій упаковки.

2) Двопотокова машина з комірцем періодичної дії та протягуючими транспортерами (рис.1.2).

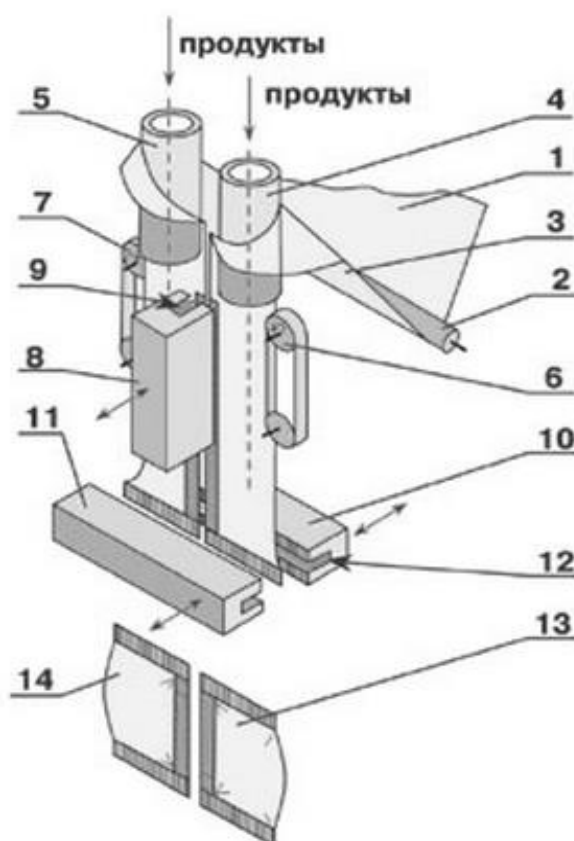


Рис.1.2. Схема двохпотокової машини із комірцем періодичної дії, з протягуючими транспортерами: 1 – пакувальний матеріал; 2 – направляючий ролик; 3 – комірець; 4, 5 – продуктопровід; 6, 7 – механізм протяжки; 8 – поздовжнє зварювання; 9, 12 – ніж; 10, 11 – поперечно-зварювальні головки; 13, 14 – споживча упаковка.

Дана машина має два паралельних потоки пакування, що дозволяє збільшити продуктивність у два рази за умови однакової технологічної схеми.

Висновок. Основна перевага — висока продуктивність, що є критичним для підприємств із великим обсягом фасування сипкої продукції. Конструктивна складність системи протяжки вимагає точної синхронізації та регулярного технічного обслуговування. Така машина доцільна на великих виробництвах, де виправдані витрати на обслуговування високопродуктивного обладнання.

3) *Машина з комірцем періодичної дії, що формує «стоячий» пакет з отворами для перенесення (рис.3).*

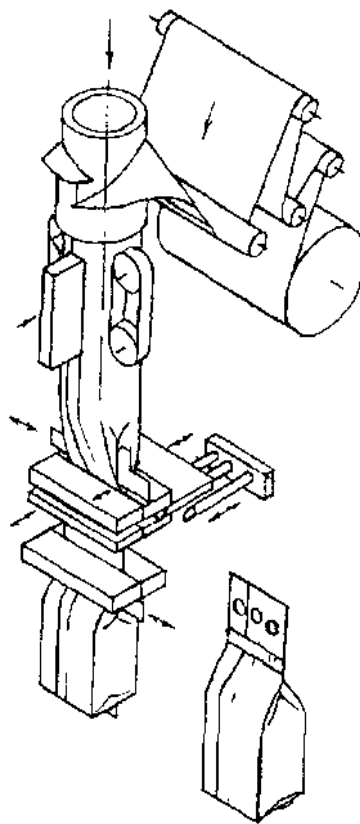


Рис.1.3. Машина з комірцем періодичної дії, що формує пакет із плоским дном та отворами для перенесення.

Упаковка формується з використанням металізованого поліпропілену або композиційних матеріалів (наприклад, поліетилен + поліпропілен). Комірць-рукавоутворювач у цій конструкції дозволяє зменшити висоту машини.

Вертикальна стійкість пакета з плоским дном значно підвищується при фасуванні сипких продуктів, а додаткові отвори забезпечують зручність для

транспортування. Конструкція дозволяє в перспективі реалізувати формат «стабіло бег» із додатковими вертикальними швами для жорсткості.

Висновок: Такий тип машини дозволяє створювати упаковку з високими експлуатаційними та маркетинговими якостями. Стоячий пакет зручний у використанні, стабільний на полицях і візуально привабливий. Однак його формування є більш технологічно складним і потребує вищих витрат на плівковий матеріал. Рекомендується для фасування дорогих або преміум-продуктів, де важливий зовнішній вигляд та зручність використання.

4) *Машина з комірцем періодичної дії з протягуючими губками поздовжнього шва (рис.1.4).*

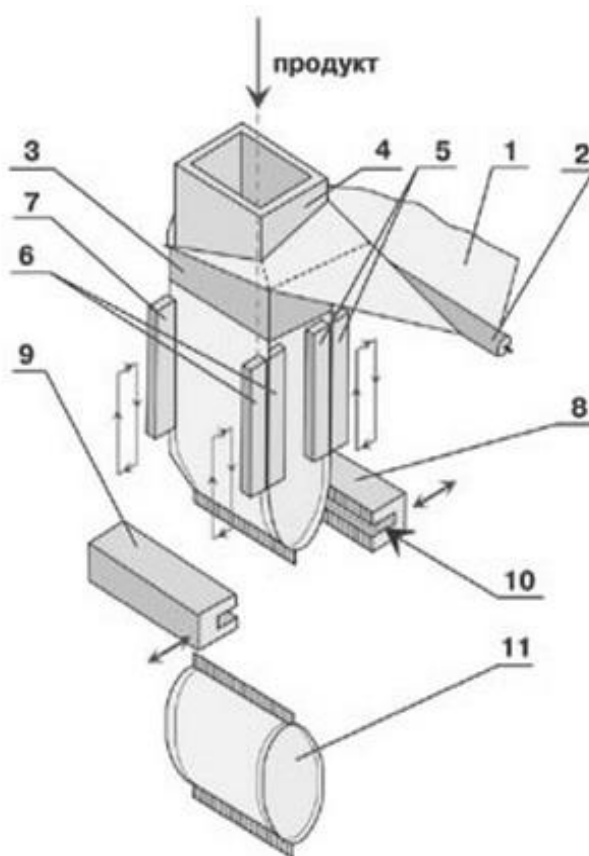


Рис.1.4. Схема машини з комірцем періодичної дії з протягуючими губками поздовжнього шва зварювання: 1 – пакувальний матеріал; 2 – напрямний ролик; 3 – комірцев; 4 – прямокутний трубопровід; 5, 6, 7 – поздовжні зварювальні губки; 8, 9 – поперечні зварні головки; 10 – ніж; 11 – готова упаковка.

Конструкція передбачає стабільне утворення швів за рахунок притискувальних губок, що здійснюють повздовжнє зварювання плівки.

Висновок: Перевага даної машини — якісне виконання шва та точне управління натягом плівки. Це особливо важливо при фасуванні сипких продуктів з підвищеними вимогами до герметичності (гігроскопічні суміші, спеціальні добавки тощо). Недоліком є складність конструкції та вища енергоємність. Рекомендована для виробництв, де пріоритетом є збереження властивостей продукту та надійність пакування.

1.2. Характеристика дозування сипкої харчової продукції

Дозування є ключовою операцією у процесі пакування сипких харчових продуктів. Саме від точності та стабільності дозування залежить не лише відповідність маси чи об'єму продукції нормативним показникам, а й загальна ефективність пакування, мінімізація втрат і якість викладення упаковки в споживчому середовищі.

Дозування — це процес відмірювання необхідної кількості продукту за масою, об'ємом або кількістю одиниць, з наступною подачею дози до фасувального вузла. Завершальною операцією є фасування, тобто переміщення дозованої кількості продукції в готову упаковку або формовану тару.

У практиці фасування сипких харчових продуктів застосовуються наступні основні способи дозування:

- ваговий;
- об'ємний;
- комбінований (об'ємно-ваговий);
- з корекцією за контрольним параметром (наприклад, оптичним, електронним або тензометричним датчиком).

Об'ємне дозування: При об'ємному способі дозування маса продукції визначається через об'ємну ємність, яка заповнюється продуктом до

фіксованого рівня. Такий спосіб є простим і технологічно зручним для автоматизації, особливо при роботі з легкоплинними сипкими матеріалами.

Основні елементи об'ємного дозатора:

- бункер-накопичувач;
- живильник (шнек, вібратор, лопатева система);
- мірна ємність;
- фасувальний вузол.

Висновок: Об'ємне дозування характеризується високою продуктивністю та простою конструкцією. Воно ідеально підходить для дозування недорогих сипких харчових продуктів невеликими порціями, де допустима відносно велика похибка. Недоліком є низька точність при змінах вологості, сипкості чи насипної густини продукту. Для зменшення похибки необхідно забезпечити сталість подачі та стабільний стан сипкої маси.

Вагове дозування: Вагове дозування передбачає точне відмірювання маси порції продукту з використанням зважувального механізму, зазвичай у два етапи: грубе дозування (основна маса) та тонке дозування (корекція до заданого значення).

Типовий алгоритм:

1. Продукт надходить у вагову ємність через живильник.
2. Чутливий елемент визначає масу.
3. Сигнал порівнюється із заданою масою.
4. При досягненні норми — подача припиняється, порція переміщується в упаковку.

Висновок: Основна перевага вагового способу — висока точність дозування, що критично важливо при фасуванні дорогих, порційованих або вимогливих до точності сипких харчових продуктів. Недолік — відносно низька продуктивність та чутливість до вібрацій, пилу й нестабільного потоку продукту. Використання потребує стабільного живлення та технічного обслуговування тензометричної системи.

Комбінований спосіб дозування: Цей спосіб поєднує переваги

об'ємного й вагового дозування, що дозволяє оптимізувати процес дозування: об'ємна система забезпечує швидке попереднє дозування, а ваговий модуль — точне завершення. Реалізується або в одній дозувальній системі, або у вигляді двох послідовно працюючих модулів.

Висновок: Комбіновані дозатори — оптимальне рішення для середньої серії виробництва, де важлива як точність, так і продуктивність. Особливо ефективні для середньо- і дрібнодисперсних харчових порошків та сумішей, де потрібне обмеження розбіжності між номінальною та фактичною масою. Недоліки: вища вартість та більша складність обслуговування.

Класифікація дозаторів за принципом дії

1. За структурою технологічного процесу:

- **Безперервні дозатори** — створюють рівномірний потік продукту (наприклад, стрічкові живильники).
- **Дискретні (періодичної дії)** — відміряють порції з певним інтервалом.
- **Безперервно-циклічні** — поєднують безперервний потік із перериванням для фасування.

2. За принципом дозування:

- Об'ємні дозатори;
- Вагові дозатори;
- Комбіновані дозатори.

3. За конструктивними ознаками:

- тип приводу (електромеханічний, пневматичний);
- система управління (механічна, електронна);
- спосіб подачі (шнекова, вібраційна, маятникова).

Номенклатура дозувальних пристроїв для сипких продуктів

У харчовій промисловості найпоширенішими є такі типи дозаторів:

- **Шнекові** — для порошкоподібної продукції, що утворює пил;
- **Стаканчикові** — для сипкої легконасіпної продукції;
- **Шибєрні** — для продукції, схильної до грудкування;
- **Камерні** — для фасування великими дозами;

- **Маятникові** — для середньо-дисперсних продуктів із середньою сипкістю;

- **Мультиголовкові вагові дозатори** — для високоточних операцій (рис. 1.5).

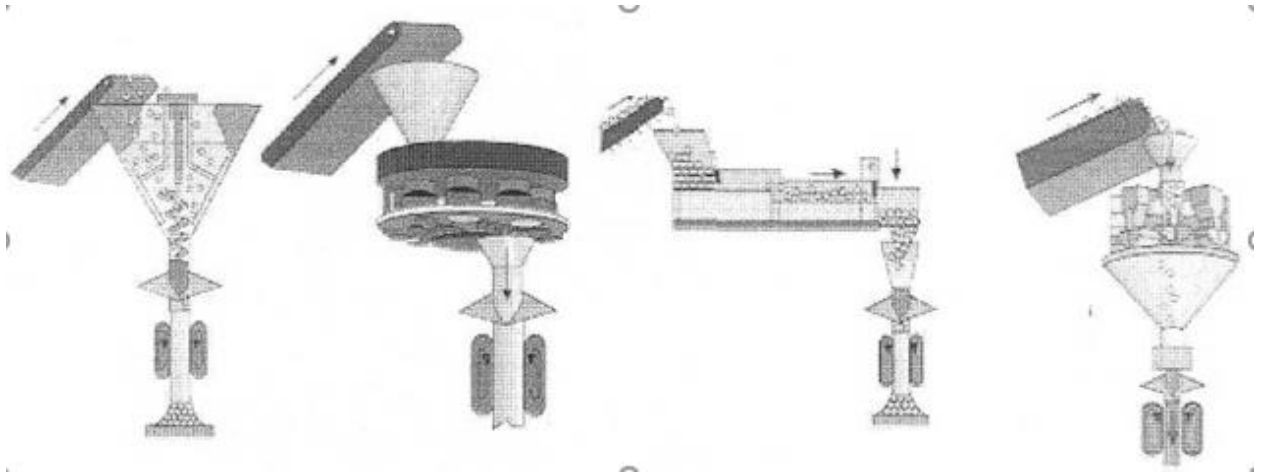


Рис. 1.5. Основні типи дозувальних пристроїв: 1 – об’ємні (шнековий, стаканчиковий); 2 – вагові (вібраційний живильник-дозатор); 3 – комбіновані (мультиголовкові ваги).

Висновок: Вибір типу дозатора має базуватись на властивостях сипкого продукту (текучість, насипна густина, схильність до пилення або злежування), необхідній точності дозування та технологічній швидкості фасування. Жоден тип дозатора не є універсальним, але раціональне поєднання або комбінування технологій дозволяє отримати бажаний результат у заданих виробничих умовах.

1.3. Характеристика зварювання плівки

Зварювання – технологічний процес з’єднання деталей (матеріалів), який здійснюється при місцевому нагріванні стику деталей (матеріалів) до розплавленого або пластичного стану їх із подальшим взаємним деформуванням. Утворення такого типу з’єднання базується на використанні сил молекулярного зчеплення.

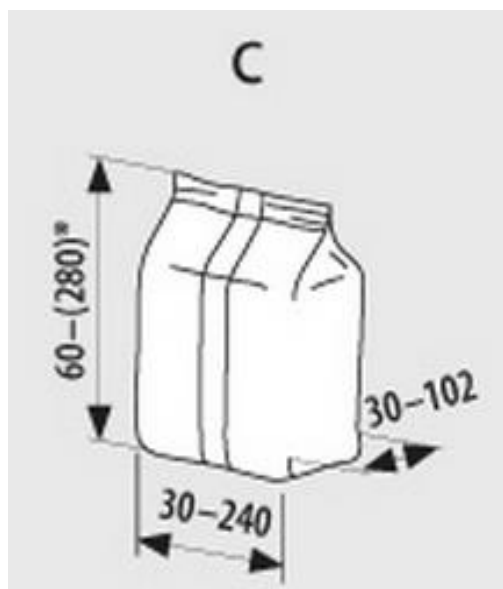


Рис.1.6. Ескіз упаковки.

Зварюваність полімерів в кількісному відношенні оцінюється енергією активації в'язкого стану (табл.1.1), що характеризує молекулярно-масовий розподіл, розгалуженість молекулярних ланцюгів і полярність молекулярних ланок.

Зварювання відбувається за певних умов: підвищена температура (її величина на поверхні зварюваного полімеру має відповідати температурі в'язкотекучого стану), щільний контакт поверхонь, що зварюються, а також оптимальна тривалість зварювання або витримки.

Таблиця 1.1

Здатність полімерів до зварювання

Матеріал	Енергія активації в'язкого стану, кДж/моль	Здатність до зварювання
Поліетилен	46...53	Добре зварюються
Поліпропілен	56...62	
Полістирол	92...96	
Полівінілхлорид	146	Не здатні до зварювання
Каучук	235	
Ацетат целюлози	292	

У табл. 1.2 наведено здатність полімерних плівок до зварювання різними методами.

Здатність полімерних пакувальних плівок до зварювання

Полімерна плівка	Методи зварювання			
	Термоконтактний	Ультразвуковий	Термоімпульсний	Струм високої частоти
ПЕВТ, ПЕНТ	Зварюється	Обмежено зварюється	Зварюється	Не зварюється
ПП	Зварюється	Зварюється	Зварюється	Не зварюється
ПЕТФ	Не зварюється	Обмежено зварюється	Обмежено зварюється	Не зварюється
ПВХ	Зварюється	Обмежено зварюється	Обмежено зварюється	Зварюється

Найпоширенішими технологіями зварювання полімерних матеріалів є термоконтактна, термоімпульсна, зварювання ультразвуком, зварювання струмом високої частоти.

Термоконтактне зварювання полімерних матеріалів здійснюють нагрітим інструментом (рис. 1.7).

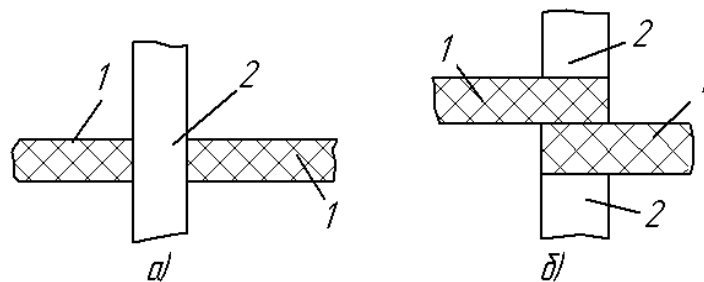


Рис. 1.7 – Термоконтактне зварювання

Зварювані поверхні, наприклад, товстостінні полімерні вироби, переводять у в'язкотекучий стан контактним нагріванням металевим інструментом (обертові ролики, пластини, наприклад ножі, електропраски, кліщі, переносні преси), від якого також може передаватися тиск, необхідний для з'єднання.

Термоконтактне зварювання у стик (рис.1.7,а) здійснюють із застосуванням нагрівальних плит 2 із вбудованими в них електричними

спіралями. Плита 2 щільно прилягає до зварювальних поверхонь 1, оплавляючи їх. Далі плиту відводять, а поверхні стискають. Під час зварювання внапусток (рис.1.7, б) температура в зоні контакту має досягти температури в'язкотекучого стану полімеру. Але при цьому між поверхнями матеріалу може утворюватися надлишковий тиск, що може витиснути розплав із зони зварювання й відрізати зварюваний виріб уздовж шва. Технологічні параметри термоконтактного зварювання з напуском за одностороннього нагрівання наведено в табл. 1.3.

Таблиця 1.3

Режими термоконтактного зварювання внапусток нагріванням з одного боку

Матеріал плівки	Товщина, мкм	Температура плити, °С	Тиск контакту, МПа	Тривалість контакту, с
ПЕНТ	25	240	0,2	0,55
	50			0,60
	100			0,67
ПЕВТ	25	210	0,2	0,53
	50			0,56
	100			0,60
ПП	25	240	3,2	0,60
	50			0,65
	100			0,75

Переваги технології: недорога, надійна, легко контрольована й регульована, дозволяє зварювати майже всі полімерні плівки.

Термоімпульсне зварювання здійснюють непрямим нагріванням з одного чи обох боків, подаючи теплоту імпульсами від малоінерційного резистивного нагрівального інструменту, крізь який пропускають електричний струм (рис. 1.8, табл. 1, 2, 3). Після вимикання електроенергії шов охолоджують під тиском.

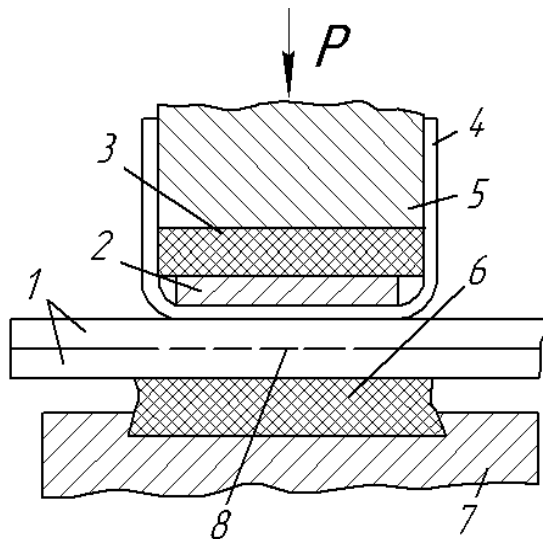


Рис.1.8. – Термоімпульсне зварювання: 1 – зварювані плівки; 2 – нагрівальний інструмент; 3 – тепло електроізоляційна прокладка; 4 – антиадгезійна прокладка; 5 – рухома частина зварювального пристрою; 6 – антиадгезійна підкладка; 7 – нерухома частина зварювального пристрою; 8 – зварний шов.

Термоімпульсним зварюванням з'єднують плівки товщиною до 0,5 мм.

Переваги технології: сталість, відтворюваність, легкість регулювання теплового режиму, невеликі втрати теплоти, відсутність розігріву зовнішніх частин апарата, можливість зварювання термоусадочних плівок. Недолік – тривалий цикл, циклічність роботи, частий вихід із ладу зварювальних елементів.

Зварювання ультразвуком (УЗ) засноване на перетворенні в теплоту введеної в матеріал енергії коливань УЗ-частоти. Ультразвук застосовують для зварювання пластмас, зокрема поліетилену, а також для термооброблення термопластичних матеріалів, тобто для формування їх мікроструктури, регулювання залишкових внутрішніх напружень (макро, мікро- й субмікроскопічних), а також підвищення деформаційно-міцнісних та експлуатаційних характеристик.

Ультразвукове термооброблення термопластичних виробів сприяє повноті релаксаційних процесів (завдяки збільшенню ентропійної пружності прохідних ланцюгів у між доменних областях фібрил), забезпечує релаксацію залишкових внутрішніх напруг під час розтягу на 70 %; покращує механічні

характеристики на 40 %; збільшує ресурс (довговічність) виробів у 5...8 разів; збільшує продуктивність термооброблення порівняно з традиційними технологіями в 10...20 разів.

При цьому ультразвуку, активацію можна розглядати як топохімічну реакцію, тобто хімічну реакцію на поверхні твердого тіла (полімеру), що складається з трьох стадій: утворення фізичного контакту; (термічної) активації контактних поверхонь; розвитку об'ємної взаємодії. Окремі стадії, зокрема перша й друга, друга і третя, можуть відбуватися одночасно, а також супроводжуватися іншими процесами.

Параметри УЗ-зварювання (частота, тривалість, амплітуда, інтенсивність, контактне зусилля або зусилля притискання УЗ-концентратора до поверхні полімеру) є взаємозалежними. Наприклад, тривалість зварювання залежить від амплітуди коливань, зусилля притискання, а також форми поверхні і властивостей зварюваного матеріалу, його товщини та інших чинників. Ефективні параметри УЗ-зварювання визначають експериментально.

Щоб зварити полімерні плівки ультразвуком, їх накладають одну на одну, щільно притискають і підводять з необхідним зусиллям зварювальний інструмент (наконечник), з'єднаний з УЗ-перетворювачем. Жорсткі термопласти здатні пропускати значну кількість енергії, що підводиться, не втрачаючи пружних властивостей, тому їх можна зварювати на великій відстані від межі підведення коливань. М'які полімери можна з'єднувати лише на малій відстані від зварювальної головки.

Перевагами УЗ-зварювання є можливість зварювання матеріалів з вузьким інтервалом температури кристалізації, виробів із забрудненими поверхнями, багат шарових плівок; відсутність перегріву матеріалу; одержання з'єднань у важкодоступних місцях. Недоліки – висока вартість і невелика продуктивність установок.

2. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ, СОЦІАЛЬНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Під час виконання кваліфікаційної роботи було проведено техніко-економічний аналіз конструкцій обладнання для пакування сипких харчових продуктів у полімерну плівку. Основну увагу було приділено вивченню типових технологічних схем та функціонально-конструктивних рішень сучасних пакувальних машин, що застосовуються в харчовій промисловості. У результаті аналізу встановлено, що найбільш поширені вертикальні автомати, які здійснюють дозування, формування рукава, зварювання поперечних і поздовжніх швів, відрізання упаковки та її подальше транспортування в споживчу тару. За конструктивним виконанням пакувальне обладнання відрізняється способом розміщення рулону плівки (верхнє або нижнє подання), типом рукавоутворювача, конфігурацією зварювального вузла, кількістю механізмів протяжки, способом нанесення додаткових елементів на упаковку (наприклад, ZIP-застібок) та методом переміщення готової упаковки до групової тари.

У ході аналізу виявлено низку характерних недоліків, притаманних типовим моделям. До основних з них належать підвищені енерговитрати на технологічний цикл, несинхронізована робота вузлів дозування і зварювання, що призводить до деформації упаковки, відсутність механізмів адаптивного дозування, а також неможливість формування функціональних пакетів із ZIP-застібкою. Усі ці фактори знижують ефективність виробничого процесу та ускладнюють подальшу експлуатацію готової продукції. На основі виявлених недоліків було сформовано технічне завдання на модернізацію конструкції машини для пакування сипкої харчової продукції.

У межах проекту було здійснено конструктивне удосконалення кількох ключових вузлів пакувального автомата. Зокрема, було модернізовано вузол дозування шляхом впровадження мотор-редуктора, під'єданого до зважувального модуля, що дозволяє здійснювати автоматичне регулювання маси дози в режимі реального часу. Це значно підвищило точність дозування, зменшило втрати продукції та дозволило змінювати дозу без зупинки

машини. Додатково було оптимізовано форму продуктової лійки, що сприяло кращому проходженню сипкого продукту та усуненню злежування. З метою підвищення ергономічності упаковки передбачено формування стоячих пакетів із полімерної плівки, що забезпечують стабільне вертикальне положення на полиці магазину.

Окремо варто відзначити впровадження механізму нанесення ZIP-застібки, що дозволяє багаторазово відкривати і закривати упаковку. Це значно підвищує зручність для кінцевого споживача та продовжує термін використання продукту після першого відкриття. Для забезпечення безперервності виробничого циклу передбачено установку двох стрічкових конвеєрів: один транспортує окремі пакети, інший — формує групову тару з двадцяти упаковок. Це дозволяє автоматизувати етап укладання готової продукції та зменшити витрати на ручну працю.

У результаті реалізації технічних заходів вдалося майже повністю автоматизувати процес фасування сипкої продукції, скоротити час на обслуговування, покращити стабільність роботи обладнання. Крім технічних покращень, модернізація має також вагомі економічні переваги. Зменшення втрат продукції під час дозування та пакування дозволяє знизити собівартість одиниці готової продукції. Підвищення точності дозування усуває перевитрати матеріалу, що важливо при великосерійному виробництві. Автоматизація дозатора і конвеєрної частини дозволяє зменшити кількість обслуговуючого персоналу, а отже, знизити витрати на оплату праці, відрахування до соціальних фондів, витрати на організацію робочих місць та охорону праці.

У довгостроковій перспективі впроваджені технічні рішення забезпечують не лише підвищення продуктивності, але й конкурентні переваги для підприємства за рахунок виведення на ринок функціональної упаковки нового формату. Таким чином, запропонована модернізація має обґрунтоване техніко-економічне підґрунтя і доцільна для впровадження в умовах сучасного харчового виробництва.

Соціальне обґрунтування проєкту полягає у підвищенні зручності використання упаковки для кінцевого споживача та покращенні умов зберігання продукту в побутових умовах. Упровадження пакування у стоячі пакети з полімерної плівки із ZIP-застібкою дозволяє багаторазово відкривати й герметично закривати упаковку, що забезпечує тривале збереження якості сипкого харчового продукту після відкриття. Така форма упаковки сприяє чистоті та гігієнічності використання, усуває потребу пересипати продукт у додаткову тару та мінімізує втрати при зберіганні. Вертикальна стабільність пакета дає змогу зручно розміщувати його на полицях торговельних закладів і в домашніх умовах, полегшуючи організацію простору. Зовнішній вигляд упаковки відповідає сучасним маркетинговим та естетичним вимогам, що підвищує привабливість продукту в очах покупця. Таким чином, модернізація пакувального обладнання не лише оптимізує виробничі процеси, а й сприяє зростанню задоволеності споживачів, формуванню позитивного іміджу продукції та покращенню загального рівня культури споживання.

3. ХАРАКТЕРИСТИКА ВИХІДНОЇ СИРОВИНИ І ГОТОВОГО ПРОДУКУ

Вихідною сировиною в межах цього проекту є **суха каша швидкого приготування**, яка представляє собою спеціальну харчову суміш на основі круп'яного інгредієнта з додаванням цукру, солі, сухого молока, смакових або ароматичних добавок, збагачувальних компонентів (вітамінів, мінералів) та натуральних сушених плодово-ягідних включень (рис 3.1).



Рис.3.1 Суха каша швидкого приготування

Основою суміші є оброблені тонкорозкатані зернові пластивці (пшениця, овес, гречка або рис), які піддаються спеціальній обробці (гідротермічній, обсушуванню, флюїдизації), завдяки чому продукт стає готовим до вживання після короткочасного заварювання окропом або гарячим молоком. Орієнтовний склад: круп'яна основа – 65–80 %, сухе молоко – 5–15 %, підсолоджувачі – 5–10 %, натуральні наповнювачі – 5–10 %, функціональні добавки – до 2 %.

За фізико-технологічними властивостями продукт має сипку консистенцію з легкоплинною або помірно плинною структурою, характеризується низьким вмістом вологи (не більше 12–13 %), насипною густиною в межах 400–600 кг/м³, гладкими або шорсткими частинками, схильністю до пилення та гігроскопічністю. Завдяки цьому сухі каші швидкого приготування висувають ряд вимог до дозування і пакування: забезпечення точного відмірювання заданої дози, мінімізація втрат продукту,

захист від вологи та зовнішнього середовища, збереження текстури та смакових якостей протягом терміну зберігання. Залежно від рецептури, продукт може бути однорідним або мати нерівномірний гранулометричний склад, що вимагає стабільної подачі та правильного конструктивного рішення для лійки та дозувального вузла.

У процесі фасування важливо забезпечити рівномірне надходження суміші до мірної ємності, виключити її злежування або зупинку потоку, а також запобігти електростатичному налипанню частинок на стінки дозатора. Саме ці особливості обумовили модернізацію системи дозування, яку реалізовано в конструкції обладнання, що розробляється в даному проєкті.

Готовим продуктом є суха каша швидкого приготування, герметично упакована у стоячий пакет із термозварної полімерної плівки, оснащений ZIP-застібкою. Така упаковка формує сучасний формат споживання: пакет легко відкривається, зручно стоїть на горизонтальній поверхні, може багаторазово закриватися після кожного використання, захищаючи вміст від впливу вологи, світла та сторонніх запахів. Внутрішній об'єм пакета розрахований на дозу в 300–500 грамів продукту, що відповідає середньому обсягу споживання однією сім'єю протягом кількох днів. Застосування ZIP-застібки дозволяє зберігати залишки продукту без додаткових ємностей, що підвищує зручність зберігання в побуті.

Перед вживанням продукт слід залити гарячою водою (температурою не нижче 85 °С) або молоком у співвідношенні, зазначеному на упаковці, перемішати та витримати в закритому посуді 3–5 хвилин до повного розм'якшення круп'яної основи. Упаковка має зону прозорості, що дозволяє візуально оцінити вміст, передбачає місце для етикетки з інформацією про склад, інструкцію із приготування, термін зберігання та харчову цінність. Зовнішній вигляд готової продукції відповідає вимогам сучасного ринку, оскільки поєднує естетику, функціональність і ергономічність. Така упаковка не лише зручна для споживача, а й сприяє збільшенню довіри до бренду та позитивно впливає на рівень продажів.

Таким чином, обрана сировина та кінцева форма випуску готового продукту є доцільними як з технологічного, так і з маркетингового погляду. Їх поєднання забезпечує виробництво високоякісної продукції з тривалим терміном зберігання, зручної для транспортування, реалізації й побутового використання.

4. ОПИС ЗАПРОПОНОВАНОГО ТЕХНІЧНОГО РІШЕННЯ. БУДОВА ТА ПРИНЦИП РОБОТИ

4.1. Опис агрегату для пакування сипкої дисперсної продукції

Полімерна плівка з рулону, за допомогою рукавоутворювача 3, формує рукав навколо формувальної труби. Система подачі плівки складається з крокового двигуна та зубчастих ременів, які забезпечують протягування плівки на довжину, що відповідає розміру одного пакета. Розмотування плівки відбувається через систему натяжних нерухомих роликів, які запобігають її зминанню, перекосу та утворенню складок. Після цього на плівку наноситься ZIP-застібка. Далі, за компенсатором, встановлено фотодатчик, який після досягнення необхідної довжини плівки подає сигнал на зупинку крокового двигуна та активацію пневмоциліндрів механізмів поздовжнього і поперечного зварювання, в результаті чого формуються поздовжній та нижній поперечний шов пакета (рис. 4.1).

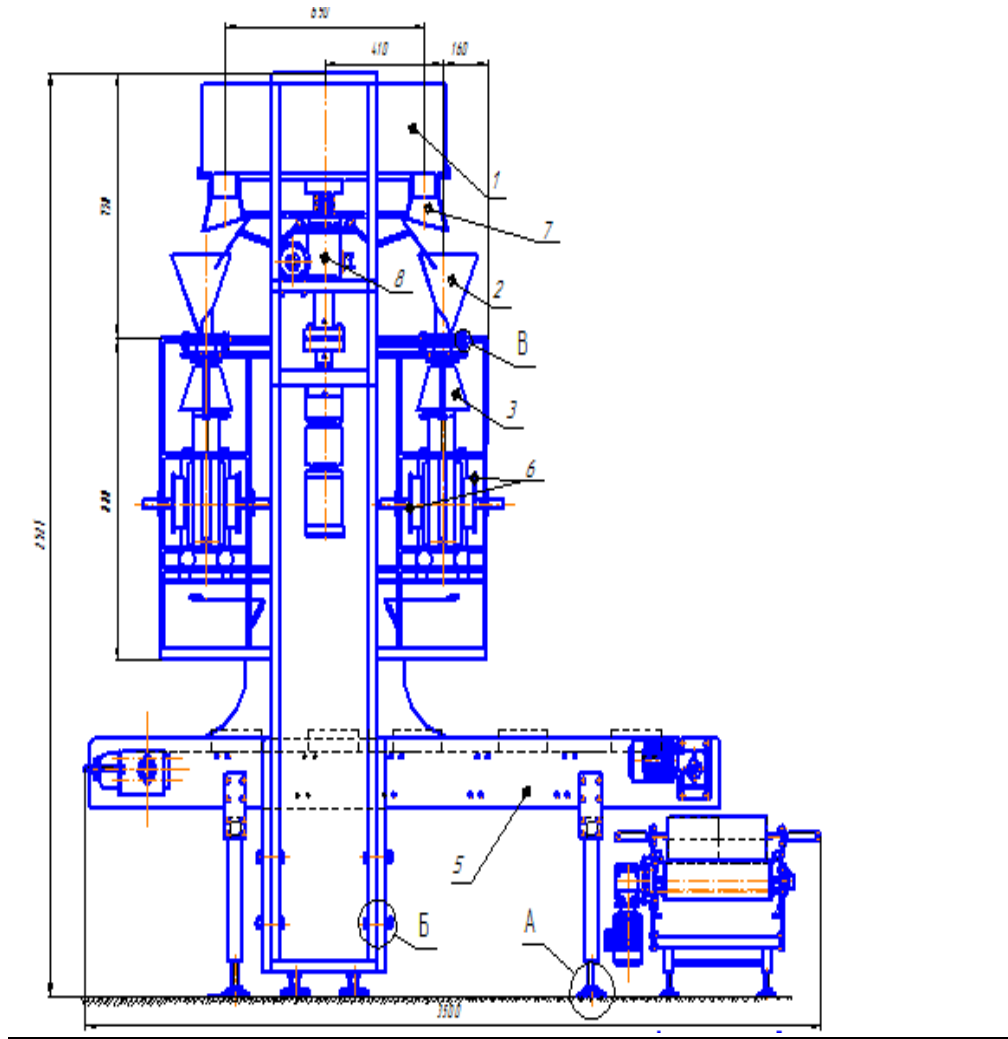


Рис 4.1. Схема агрегату для пакування дрібно-дисперсних сипких харчових продуктів у полімерну упаковку: 1 – стаканчиків дозатор з бункером, 2 – продуктова лійка, 3 – рукавоутворювач, 4 – механізм повздовжнього зварювання, 5 – конвеєр, 6 – механізм поперечного зварювання, 7 – верхній і нижній стаканчик, 8 – привод заслінки.

У бункері стаканчикового дозатора 1 розміщено датчик наявності продукту. Сам дозатор складається з чотирьох телескопічних стаканчиків — кожен із верхньої та нижньої частин — які встановлені попарно в двох діаметрально протилежних зонах розвантаження бункера, а між ними розміщується пружина для регулювання дози.

Принцип роботи агрегату: після висипання продукції у продуктову лійку 2, навколо якої вже сформований рукав, напівготовий пакет разом із вмістом переміщується механізмом протягування до вузла поперечного

зварювання 5 і відрізного ножа, де утворюється верхній шов пакета та водночас — нижній шов для наступного. Після цього готовий пакет надходить на ваговий пристрій, який зчитує масу й за потреби передає сигнал на мотор-редуктор, що, за допомогою черв'ячно-гвинтової передачі, коригує величину дози. Далі готова упаковка транспортується на відповідний конвеєр 10, після чого потрапляє у збірний ящик, який утримується спеціальним притискачем до моменту заповнення його 20 упаковками. Після заповнення ящик із готовими виробами автоматично транспортується конвеєрною системою.

Технічна характеристика машини для пакування сипких харчових продуктів в упаковку із плівкового матеріалу:

продуктивність – 70 пак/хв;

точність дозування – 2% ;

маса агрегату – 800 кг;

габаритні розміри агрегату (LxVxH) ; 3500x2521x2340 мм

обслуговуючий персонал – 1 оператор;

тип пакета – стоячий пакет із термоусаджувальної полімерної плівки, із одного поздовжнього, двох поперечних швів та ZIP-заслінки.

температура зварювання поздовжнього шва – 120°C;

поперечного – 120°C;

точність підтримання температури – $\pm 1^\circ\text{C}$;

максимальний діаметр рулону – 400 мм (внутр. 40 мм);

товщина плівки – 40 мкм (35...80);

розміри пачки (LxVxH) 60x100x150 мм;

маса пакета – 1кг;

тип робочих органів – захвати, активні і пасивні напрямні;

тип приводів – електромеханічні, пневмомеханічні;

встановлена потужність – не більше 0,2 кВт;

параметри мережі живлення - напруга 380 В, частота 50 Гц, 3-фазна;

тиск повітря в магістралі – 5 бар;

витрати повітря – не більше 300 л/хв.;

тип автоматики – програмний, із зворотним зв'язком.

4.2. Конструкція складових частин машин.

Форма стаканчика (рис. 4.2) є одним із ключових конструктивних рішень, що безпосередньо впливає на точність і швидкість дозування сипкої продукції. У даному проекті використано стаканчик спеціальної геометрії, яка забезпечує покращене заповнення об'єму завдяки відсутності «мертвих зон» і завихрень потоку під час надходження продукту. Така форма дозволяє **зменшити похибку дозування**, особливо при роботі з дрібнодисперсними сумішами або продуктами з нестабільною насипною густиною. Крім того, наявність нахилу у конструкції стаканчика значно скорочує час його випорожнення. Завдяки цьому сипкий продукт швидко висипається у лійку, без залипання та залишків у кутових зонах. Це рішення сприяє підвищенню продуктивності обладнання, оскільки цикл дозування виконується швидше і з більшою повторюваністю. Таким чином, обрана форма дозувального стаканчика забезпечує одночасно високу точність і швидкодію процесу, що є критично важливим при серійному фасуванні сипкої харчової продукції. .

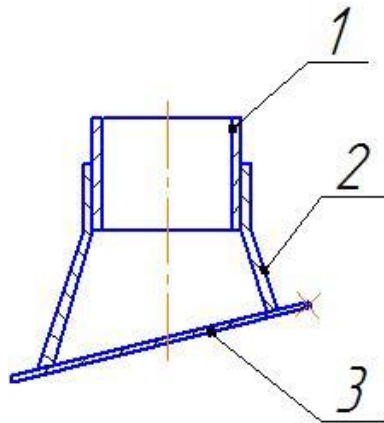


Рис. 4.2 Стаканчик.

Внутрішній та зовнішній тубус розміщені таким чином, щоб між ними був зазор. Продукція переміщується через внутрішній тубус по конусу, який встановлений для зменшення браку при поперечному зварюванні, в попередньо утворений пакет (рис. 4.3).

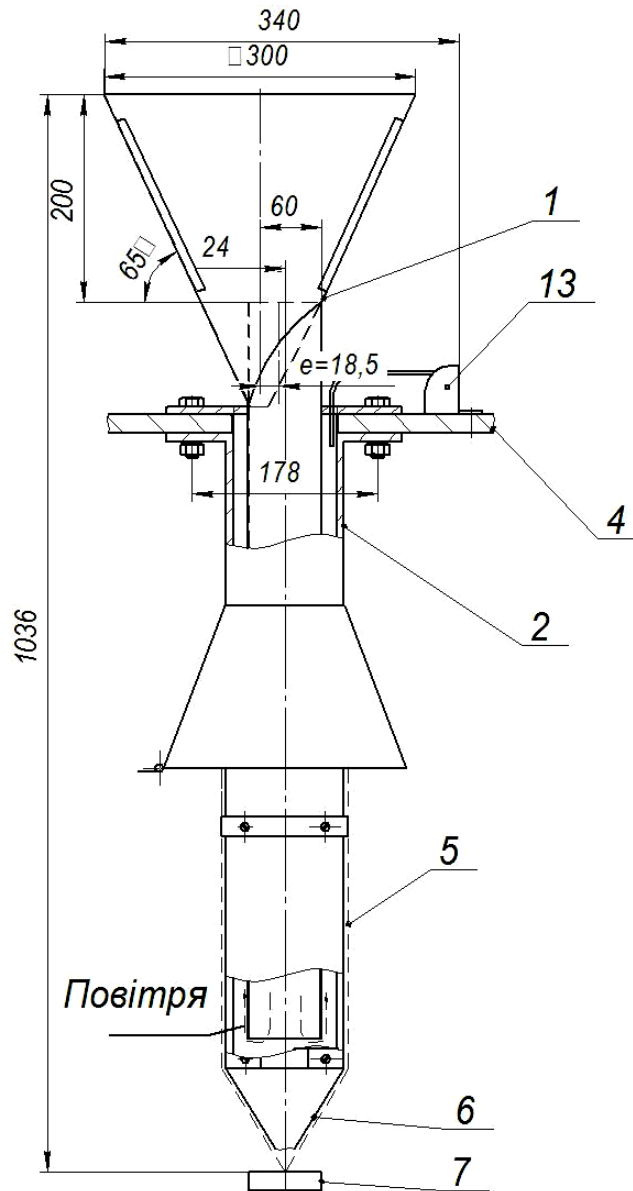


Рис 4.3. Продуктова лійка: 1 – внутрішній тубус з бункером; 2 – зовнішній тубус; 3 – конус; 4 – опора; 5- рулон пакувального матеріалу; 6- механізм відводу пилу.

У процесі проходження сипкої продукції через зону тубуса відбувається природне витіснення пилу, який утворюється внаслідок тертя та переміщення частинок продукту. Частина пилу потрапляє в зазор між внутрішнім і зовнішнім тубусами, де далі частково виводиться в атмосферу, а більша його частина всмоктується в систему відведення пилу. Зазначений механізм оснащено змінним фільтрувальним мішком, який забезпечує акумуляцію пилу й дозволяє підтримувати санітарно-гігієнічні умови на робочому місці, знижуючи запиленість повітря у зоні фасування.

Процес регулювання дози в модернізованому агрегаті трансформується з ручного в повністю автоматизований режим. Після завершення формування пакета, готовий виріб переміщується на приймальний столик, обладнаний електронними вагами. Зважування кожного пакета виконується в режимі реального часу. У разі відхилення фактичної маси від заданого значення ваги автоматично передають сигнал на мотор-редуктор, який за допомогою черв'ячно-гвинтової передачі коригує об'єм дози, змінюючи положення мірного механізму дозатора. Така система дозволяє регулювати дозу без зупинки агрегату, що забезпечує безперервність виробничого процесу та підвищує його точність і стабільність.

Робота бункера (рис. 4.4) полягає в розміщенні нерухомих мірних стаканчиків у зоні розвантаження, куди надходить продукція з накопичувального об'єму. У середині бункера встановлено приводний диск, виконаний у вигляді секторних елементів, які за обертового руху здійснюють подачу продукції до мірних стаканчиків. Така конструкція забезпечує стабільність дозування та рівномірне заповнення об'єму, знижуючи ризики збоїв при роботі з сипкими продуктами різної текучості.

Мірні стаканчики встановлюються попарно у двох діаметрально протилежних одна до одної зонах розвантаження, розташованих по відношенню до центральної осі бункера. Така схема розміщення забезпечує рівномірне навантаження та синхронізований режим подачі дозованої продукції. У середині бункера змонтовано приводний диск, який виконаний у вигляді окремих секторів, що переміщуються по колу та послідовно заповнюють мірні стаканчики продукцією.

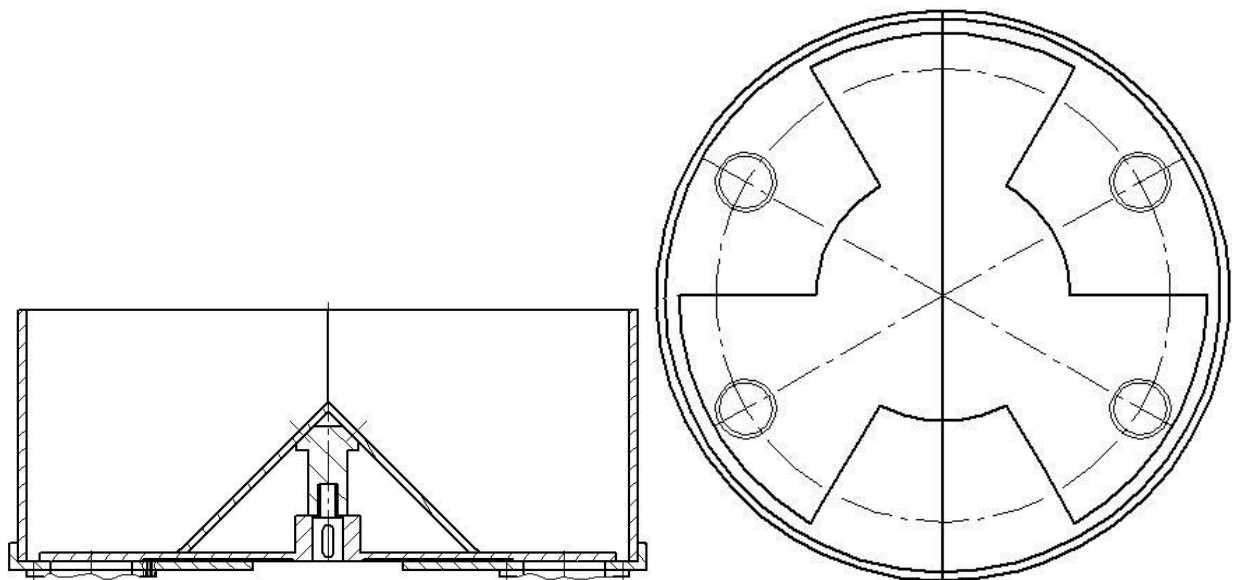


Рис. 4.4 Бункер

Кількість секторів диска визначається як $z / 2$, де z — парне ціле число в межах від 4 до 10, що дозволяє адаптувати конструкцію до необхідної продуктивності та розміру доз. Геометрія розташування стаканчиків задається через кут α , що утворюється між осями симетрії кожної пари стаканчиків. Цей кут обчислюється за формулою:

$$\alpha = 2\pi / z$$

та дозволяє точно визначити положення кожного елемента конструкції в полярній координатній системі. Такий підхід до проектування забезпечує механічну симетрію, збалансованість обертального руху приводного диска та ефективно завантаження стаканчиків навіть при підвищеній частоті обертання.

Реалізація зазначеного конструктивного рішення сприяє покращенню точності дозування, зменшенню циклового часу наповнення та підвищенню стабільності роботи агрегату при фасуванні сипкої продукції.

Таке конструктивне виконання бункера суттєво спростить його конструкцію, зменшить енерговитрати, внаслідок зменшення обертових мас пристрою та підвищить надійність його роботи. Встановлення мірних стаканчиків попарно в двох діаметрально протилежних по відношенню до

бункера зон розвантаження дає можливість одержати дві зони розвантаження і проводити фасування продукції у дві, різних за об'ємом і видом упаковки.

Пристрій для дозування сипкої продукції складається з бункера, приводного вала, на якому встановлено рухомий секторальний диск та конічний живильник. У нижній частині бункера жорстко закріплені мірні стаканчики, які не мають можливості зміщення або обертання відносно один одного. Конструктивна нерухомість стаканчиків забезпечує сталість положення зони розвантаження і точність циклу дозування.

Принцип роботи пристрою полягає у такому. Сипкий харчовий продукт надходить у бункер, де рівномірно розподіляється за допомогою конічного живильника, який спрямовує потік матеріалу до мірних стаканчиків. Одночасно відбувається обертання приводного секторального диска, яке здійснюється через приводний вал. При цьому сектор диска по черговою перекриває отвори над мірними стаканчиками, виконуючи функцію дозування — відсікаючи об'єм продукту, що відповідає заданій масі.

У момент, коли диск повністю перекриває вихідний отвір над конкретним стаканчиком, спрацьовує пневмоциліндр, який відкриває заслінку мірного стаканчика. Доза сипкого продукту миттєво висипається у розміщену нижче упаковку. Важливою особливістю є синхронна робота двох зон дозування: поки на одному боці бункера відбувається вивантаження дози у пакет, на діаметрально протилежному боці формується нова порція продукту, яка готується до наступного циклу. Такий конструктивний підхід дозволяє забезпечити безперервний ритм роботи дозатора без пауз між наповненням і розвантаженням.

Завдяки простоті та чіткій синхронізації механізмів, пристрій забезпечує високу точність дозування, стабільність роботи та підвищену продуктивність, що є особливо важливим при фасуванні сипких харчових продуктів у дрібні або середні дози.

4.3. Технологія нанесення ZIP-застібки на рулонний матеріал

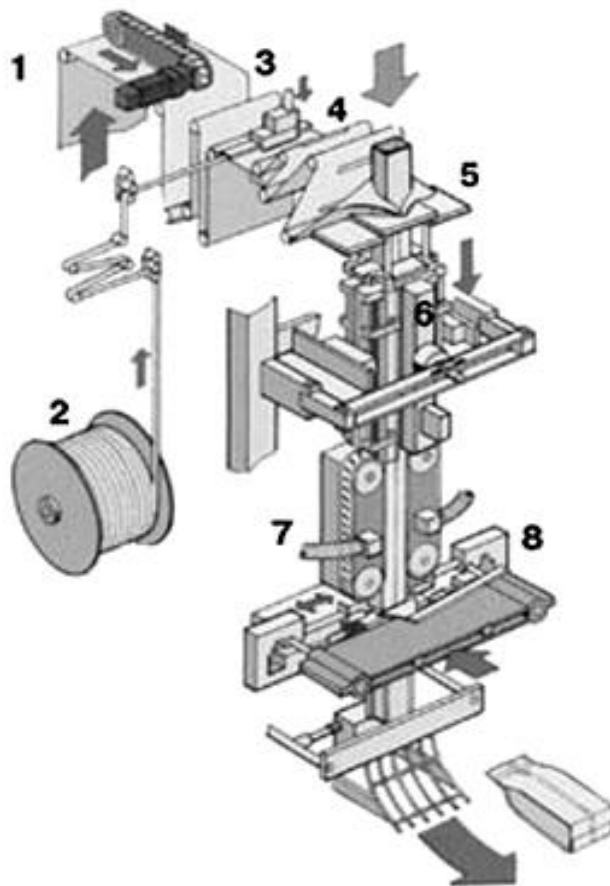


Рис. 4.5. Принцип роботи вертикальної рукавної машини ROBERT BOSCH періодичної дії з протягувальними вакуумними пасами, зварювання кантів та вставка ZIP-застібки (GMBH): 1 - подача пакувального матеріалу; 2 - рулон із ZIP-застібкою; 3 - вузол зварювання (склеювання) ZIP-застібки; 4 - зварювання (склеювання) ZIP-застібки; 5 - формувальний комірець; 6 - повздовжня термозварювальна колодка; 7 - вакуумні потягувальні паси; 8 - поперечні термозварювальні колодки.

Модернізоване пакувальне обладнання передбачає можливість використання пластикової ZIP-застібки як сучасної функціональної опції, що значно покращує споживчі властивості упаковки та забезпечує збереження смакових і ароматичних характеристик сипкої харчової продукції після її відкриття. Застібка типу ZIP LOCK дає змогу багаторазово відкривати та закривати пакет, зберігаючи його герметичність, що особливо важливо при фасуванні продуктів, які схильні до вбирання вологи, втрати запаху або просипання.

ZIP-застібка вбудовується у верхню частину упаковки безпосередньо під час процесу пакування шляхом приварювання до полімерної плівки. Такий тип застібки сумісний із гнучкими пакетами, які формуються на вертикальних або горизонтальних пакувальних лініях. Матеріалом для виготовлення застібки є поліетилен високого тиску, що дозволяє забезпечити харчову безпеку і підтверджується наявністю відповідних сертифікатів якості.

Існує кілька типів ZIP-застібок, що можуть використовуватись у харчовому пакуванні (ширина — від 7 до 40 мм), а саме:

- **Стандартний ZIP LOCK** – найпоширеніший тип для побутового використання;
- **Застібка "легкого запаювання"** – з мінімальною температурою приварювання;
- **Мульти запаювання** – для багаторазового відкривання й більш тривалого зберігання;
- **Зіпер струнного типу (гриппер)** – з підвищеною жорсткістю та привабливим виглядом;
- **Пилонепроникний** – із захистом від дрібнодисперсного пилу всередині пакета;
- **Герметичний, водонепроникний** – для підвищеного захисту від вологи;
- **Термостійкий** – стійкий до високих температур у зоні зварювання;
- **Зіпер особливої конструкції** – для індивідуальних технологічних вимог.

ZIP-застібки струнного типу широко застосовуються у харчовій промисловості, а також у фармацевтиці, виробництві побутової хімії, косметики, добрив, кормів для тварин тощо. Вони забезпечують надійність, функціональність та привабливий зовнішній вигляд упаковки. Жорсткість

верхньої частини пакета після інтеграції ZIP-застібки спрощує його використання та покращує ергономіку.

Основні переваги застосування ZIP-застібки:

- забезпечення багаторазового відкривання/закривання пакета без втрати герметичності;
- збереження якості та свіжості продукту без додаткової тари після відкриття;
- захист від просипання, вологи, запахів та інших факторів навколишнього середовища;
- покращення зовнішнього вигляду упаковки, що має маркетингове значення.

Властивості якісної ZIP-застібки, які визначають її ефективність:

- виготовлення з високоякісного харчового поліетилену;
- висока точність формування зубців і стабільна геометрія;
- оптимальна вартість, що робить її доступною для масового застосування.

Завдяки універсальності та адаптивності до різних типів пакувального обладнання, застібки ZIP LOCK можуть застосовуватися в комплектації більшості сучасних вертикальних і горизонтальних машин, забезпечуючи конкурентні переваги готової продукції та підвищення рівня споживчої довіри.

Вибираємо специфікацію пластикового замку типу «ZIP LOCK» багаторазового розтину, виробництва «SANZIP» (Японія, для ширини замку = 10мм):

Ширина зіперами *10,0 мм*

Питома вага ZIP-застібки *5,85 г / м*

Кількість на одній катушці *4.600 метрів*

Кількість катушок на піддоні *20 шт.*

Кількість на палеті *92.000 метрів*

Зовнішній діаметр рулону *520 мм*

Внутрішній діаметр рулону *215 мм*

Ширина рулону *400 мм*

Діаметр посадкового отвору *41 мм*

Матеріал *LDPE*

Діапазон температури зварювання: *125-195 °C*

5. ВИБІР КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

До елементів дозувального вузла, який реалізовано у вигляді стаканчикowego дозатора з регулюванням об'єму, ставляться підвищені вимоги щодо зносостійкості, стабільності геометрії, антистатичних властивостей і безпечності для харчового середовища.

Мірні стаканчики виготовляються з поліаміду марки PA6 або PA66, армованого скловолокном до 30 %. Такий матеріал має високу ударну міцність, низький коефіцієнт тертя та забезпечує стабільну форму при зміні температури. Крім того, армовані поліаміди не деформуються під навантаженням і не зношуються при постійному контакті з сипкими сумішами. У разі підвищених вимог до гігієни допускається використання харчового POM-C (поліацеталу), який має найнижчий коефіцієнт поглинання вологи серед полімерів.

Пружинні вузли регулювання об'єму стаканчиків виготовляються зі сталей пружинних марок 65Г або 50ХФА, які мають стабільні пружні властивості, не втрачають еластичності при багаторазових навантаженнях, та піддаються термообробці для забезпечення довговічності. Всі пружини проходять антикорозійне фосфатування або хромування, оскільки робота в зоні з підвищеною вологістю або температурними перепадами потребує стійкості до корозійного зношення.

Механічна частина приводу, зокрема черв'ячно-гвинтова передача, що використовується для регулювання дози, виконується із легованої сталі 40Х або 45, термообробленої до твердості HRC 50–55. Гвинтові пари змащуються сертифікованими харчовими мастилами на основі поліальфаолефінів, які не мігрують у продукт і витримують високі навантаження.

Усі поверхні, що контактують із харчовою продукцією, мають бути або полімерними, або нержавіючими металевими, без лакофарбових покриттів, здатних до абразивного стирання чи токсичного впливу.

3. Матеріали для зварювального вузла упаковки

До матеріалів, що використовуються у вузлах поздовжнього та поперечного зварювання полімерної плівки, ставляться вимоги термостійкості, електроізоляційних властивостей, механічної міцності, хімічної інертності та високої теплопровідності.

Зварювальні головки виготовляються з бронзи марки БрОФ 6.5–0.15 або латуні Л63, оскільки ці матеріали поєднують високу теплопровідність, хорошу формостійкість і достатню твердість для витримування тиску при термозварюванні. Для зниження адгезії плівки та уникнення її пригорання поверхня зварювальних елементів покривається фторопластовими (PTFE) вкладками або обгортається антипригарною стрічкою на основі склотканини з тефлоновим покриттям.

Нагрівальні елементи виготовляються з ніхрому (сплаву нікелю та хрому) діаметром 0,4–0,8 мм, який забезпечує рівномірне нагрівання та довговічність при температурі до 850 °С. Нагрівальні вузли ізолюються міканітовими або керамічними пластинами, які не проводять струм і добре витримують високі температури без деформації.

Теплоізоляційні прокладки між елементами зварювальної головки виготовляються з азбестовмісних замінників або спіненого силікону, які не допускають втрат тепла в конструкції та підвищують ефективність зварювання.

Механізми приводу зварювальних губок виготовляються з конструкційної сталі 20 або 40Х із нанесенням антифрикційного твердого покриття, оскільки вони працюють у циклічному режимі з високим навантаженням і вимагають збереження геометрії протягом усього терміну служби.

6. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

6.1. Розрахунки машини і її окремих елементів:

6.1.1 Технологічний розрахунок :

Продукція - манна крупа;

Маса дози - $m = 1\text{кг}$;

Щільність манної крупи - $\gamma = 820\text{кг}/\text{м}^3$;

Сумарний час на виконання операції дозування:

$$T_{\Sigma} = t_1 + t_2;$$

де t_1 та t_2 - тривалість випорожнення мірної місткості та тривалість передачі сигналів керування на включення (виключення) етапів операції дозування відповідно $t_2 = 0,3...0,5\text{с}$.

Визначаємо час випорожнення стаканчика:

$$t_1 = \frac{W}{\Pi};$$

де W - об'єм дози стаканчика:

$$W = \frac{m}{\gamma} = \frac{1}{820} = 1,22 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3;$$

Π - пропускна здатність клапана стаканчика: $\Pi = \mu_0 \cdot f_{\text{еф}} \cdot v$;

μ_0 - коефіцієнт втрат швидкості переміщення частинки в порівнянні з вільним гравітаційним падінням: $\mu_0 = 0,7...0,9$;

$f_{\text{еф}}$ - ефективна площа перерізу вихідного каналу мірної місткості,

для циліндричної ємності: $f_{\text{еф}} = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$;

D - внутрішній діаметр мірного стаканчика;

v - швидкість вільного падіння частинки: $v = \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$;

H - висота стаканчика.

Із емпіричних розрахунків для важкоплинної продукції маємо:

$$\frac{H}{D} = 0,8...1,0; \Rightarrow H = 0,9 \cdot D$$

Визначаємо діаметр мірної ємності:

$$W = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H = \frac{\pi \cdot 0,9 \cdot D^3}{4} \Rightarrow$$

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot W}{\pi \cdot 0,9}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 1,22 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot 0,9}} = 0,12 \text{ м}$$

$$H = 0,9 \cdot D = 0,9 \cdot 0,12 = 0,108 \text{ м}$$

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot H} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,108} = 1,46 \text{ м/с}$$

$$\Pi = \mu_0 \cdot f_{ef} \cdot v = 0,8 \cdot \frac{\pi \cdot 0,12^2}{4} \cdot 1,46 = 0,013 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$t_1 = \frac{W}{\Pi} = \frac{1,22 \cdot 10^{-3}}{0,013} = 0,094 \text{ с}$$

$$T_{\Sigma} = t_1 + t_2 = 0,094 + 0,3 = 0,394 \text{ с}$$

Кутова швидкість приводного диску:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{\pi \cdot 12}{30} = 1,26 \text{ 1/с};$$

n - частота обертання каруселі.

Розрахунок потужності привода дозатора:

Визначення енерговитрат:

$$N = \frac{T \cdot \omega_{\kappa}}{1000 \cdot \eta};$$

T - крутний момент на приводному валу каруселі, $H \cdot \text{м}$;

Для визначення крутного моменту на валу привода потрібно застосовувати формулу Клоса:

$$I_{np} \cdot \ddot{\phi} = T - \sum M_i;$$

I_{np} - приведений момент інерції всіх деталей, що обертаються разом

із валом: $I_{np} = 60,2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$;

$\ddot{\phi}$ - прискорення центра мас:

$$\ddot{\phi} = \frac{\omega_{\kappa}}{t_{розг}} = \frac{1,26}{0,3} = 4,2 \text{ 1/с}^2$$

ω_{κ} - кутова швидкість каруселі:

$$\omega_{\kappa} = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{\pi \cdot 12}{30} = 1,26 \text{ 1/с}$$

Сумарний момент інерції: $\Sigma M_i = M_1 + M_2 + M_3$;

M_1 - момент опору переміщення вала по вертикальній опорі:

$$M_1 = G_{кар} \cdot \frac{d_0}{2} \cdot f_{np} = 4200 \cdot \frac{0,22}{2} \cdot 0,2 = 92,4 H \cdot м$$

M_2 - момент опору переміщення ролика по копіру:

$$M_2 = k_1 \cdot M_1 = 0,15 \cdot 92,4 = 13,86 H \cdot м ; k_1 = 0,1 \dots 0,15;$$

M_3 - момент опору переміщення по нерухомому диску:

$$M_3 = k_2 \cdot M_2 = 0,05 \cdot 92,4 = 4,62 H \cdot м ; k_2 = 0,05 \dots 0,1;$$

Отже, маємо:

$$\Sigma M_i = M_1 + M_2 + M_3 = 92,4 + 13,86 + 4,62 = 110,88 H \cdot м$$

Тоді із формули Клоса визначаємо крутний момент:

$$T = I_{np} \cdot \ddot{\varphi} + \Sigma M_i = 60,2 \cdot 4,2 + 110,88 = 363,72 H \cdot м$$

Отже,

$$N = \frac{T \cdot w_k}{\eta \cdot 1000} = \frac{363,72 \cdot 0,83}{0,6 \cdot 1000} = 0,29 \text{ кВт}$$

Отже, в нашому випадку підбираємо мотор-варіатор-редуктор
Фірни *NORD* на 0,3 кВт.

6.2. Розрахунок механізму протягування плівки

Механізм протягування призначений для рівномірного протягування і уникнення змикання плівкового полімерного матеріалу.

Приймаємо зубчастий поліуретан пас *Ammeraal Beltech PU Moulded*, з шириною $B=30$ мм.

Визначаємо лінійну масу паса:

$$q_c = 11 \cdot B \cdot \delta = 11 \cdot 0,03 \cdot 1,5 = 0,495 \text{ кг/м}.$$

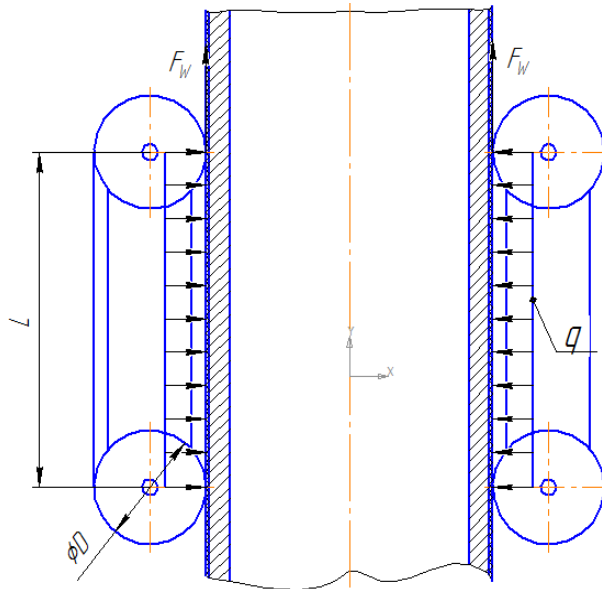


Рис 6.1 Схема протягування плівки

За допомогою тягового розрахунку конвеєра, будемо виконувати методом обходу по контуру траси. Суть методу полягає в тому, що всю довжину траси розбивають на характерні ділянки і послідовно знаходять натяг стрічки в кожній точці траси конвеєра.

Розрахунок розпочинають із точки мінімального натягу, як правило, із точки збігання приводного барабана.

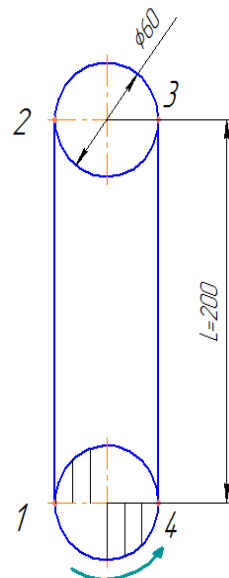


Рис. 6.2 Кінематична схема паса з характерними точками

За таблицею для середніх умов роботи конвеєра беремо коефіцієнти опору: для прямолінійних ділянках з прямими опорами $\omega' = 0,03$ і

$\omega'' = 0,025$; коефіцієнт опору переміщення на криволінійних ділянках ($\alpha = 180^\circ$) $\Rightarrow k = 1,05$.

$$S_1 = S_{зб};$$

$$S_2 = S_1 + W_{1-2} = S_1 + q_{cmp} \cdot g \cdot L \cdot \omega' + S_{cmp} = S_1 + 0,495 \cdot 9,81 \cdot 0,2 \cdot 0,03 + 46,52 = S_1 + 46,55$$

$$S_3 = k \cdot S_2 = 1,05 \cdot (S_1 + 46,55) = 1,05 \cdot S_1 + 48,88$$

$$S_4 = S_3 + W_{3-4} = S_3 + (q_{cmp} + q_p) \cdot g \cdot L \cdot \omega'' + q \cdot g \cdot \omega \cdot \text{tg} \beta = 1,05 \cdot S_1 + 48,88 + (0,496 + 0,47) \cdot 9,81 \cdot 0,2 \cdot 0,025 + 0,496 \cdot 9,81 \cdot 0,2 \cdot \text{tg} 5^\circ = 1,05 \cdot S_1 + 49,01$$

$$S_4 = S_{нб}$$

Приймаємо однобарабанний привід з футеровкою і кутом $\alpha = 3,14(180^\circ)$ обхвату барабана стрічкою, значення коефіцієнта тертя $\mu = 0,4 \Rightarrow e^{\alpha \cdot \mu} = 3,51$ так як тягова передача за рахунок сил тертя при цьому при відсутності ковзання стрічки і не враховується її жорсткість буде справедлива формула Ейлера:

$$S_{нб} = e^{\alpha \cdot \mu} \cdot S_{зб}$$

Маємо:

$$\begin{cases} S_{нб} = 1,05 \cdot S_{зб} + 49,01 \\ S_{нб} = 3,51 \cdot S_{зб} \end{cases}$$

$$S_{зб} = \frac{49,01}{3,51 - 1,05} = 19,92H$$

$$S_{нб} = 3,51 \cdot S_{зб} = 69,93H$$

Визначаємо тягове зусилля на приводному барабані:

$$F_T = S_{нб} - S_{зб} + (k - 1) \cdot (S_{нб} + S_{зб}) = 69,93 - 19,92 + 0,05 \cdot (69,93 + 19,92) = 54,5H$$

Визначаємо необхідну швидкість плівки:

$$v = \frac{l}{t_{прот}} = \frac{0,27}{1,0} = 0,27 \text{ м/с}, \text{ де}$$

l - довжина упаковки, м;

$t_{прот}$ - час її протягування, с.

Знаходимо крутний момент на валу привода механізму протягування плівки:

$$T = \frac{N}{\omega} = \frac{F_T \cdot v}{2 \cdot \frac{v}{D}} = \frac{54,5 \cdot 0,27}{2 \cdot \frac{0,27}{0,06}} = 1,64 \text{ Н} \cdot \text{м}, \text{ де}$$

D - діаметр приводного барабана механізму протягування плівки, м.

Отже, провівши розрахунок і визначивши, що необхідний для подолання всіх сил опору рівний $T = 1,64 \text{ Н} \cdot \text{м}$, тому вибираємо серводвигун *EMMS-AS-70-M* фірми *Festo*.

6.3. Тепловий розрахунок повздовжнього зварювання.

Кількість теплоти, яка потрібна для зварювання плівки подається через поверхню колодки. Нагрівання здійснюється за допомогою електронагрівальних елементів.

Зварювання здійснюється за рахунок нагрівання поліетиленової плівки до температури зварювання $t = 120^\circ \text{C}$

Підберемо електронагрівальний елемент:

Запишемо умову передачі теплоти від електронагрівального елемента до плівки:

$$Q_2 = K_3 \cdot Q_1,$$

де K_3 – коефіцієнт запасу $K_3 = 0,7 \dots 0,8$;

Q_1 – кількість теплоти, яка виділяється з електронагрівального елемента;

Q_2 – кількість теплоти, яка потрібна для зварювання ПЕ плівки;

Визначимо кількість теплоти, яка потрібна для зварювання ПЕ плівки:

$$Q_2 = m_{шва} \cdot c \cdot (t_2 - t_1),$$

де $m_{шва}$ – маса зварювального шва в зоні контакту плівки зі зварювальною колодкою;

c – теплоємність матеріалу зварювальної колодки сталь 40x10
 $0,8 \text{ кДж} / \text{кг} \cdot \text{К}$;

t_1 – температура зовнішнього середовища $t_1=20^\circ$;

t_2 – температура зварювання ПЕ плівки $t_2=120^\circ$.

Знайдемо масу шва в зоні контакту плівки зі зварювальною колодкою:

$$m_{шва} = V_{шва} \cdot \rho,$$

де $V_{шва}$ – об'єм шва в зоні контакту плівки з зварювальною колодкою:

$$V_{шва} = 2 \cdot \delta \cdot h_{шва} \cdot b_{шва} = 2 \cdot 0,05 \cdot 10^{-3} \cdot 0,14 \cdot 0,005 = 70 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3,$$

де δ – товщина плівки, м;

$h_{шва}$ – висота шва, м;

$b_{шва}$ – довжина контакту плівки з зварювальною колодкою, м.

$$m_{шва} = V_{шва} \cdot \rho = 70 \cdot 10^{-9} \cdot 0,96 \cdot 10^{-3} = 0,067 \cdot 10^{-9} \text{ кг}$$

$$Q_2 = m_{шва} \cdot c \cdot (t_2 - t_1) = 0,067 \cdot 10^{-9} \cdot 0,8 \cdot (120 - 20) = 5,36 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}$$

Визначимо кількість теплоти, яка виділяється з електронагрівача:

$$Q_1 = \frac{Q_2}{K_3} = \frac{5,36 \cdot 10^{-3}}{0,8} = 6,7 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}$$

Визначимо опір електронагрівача за допомогою формули Джоуля-Ленца:

$$Q_1 = I^2 \cdot R \cdot t \Rightarrow R = \frac{Q_1}{I^2 \cdot t} = \frac{6,7 \cdot 10^{-3}}{0,5^2 \cdot 1} = 0,027 \text{ Ом}$$

Для нагрівання роликів візьмемо ніхромову пластинку:

Марки 15,6/8,5(0,8)Т24(2,0) ТКФ «Електронагрівач»

Визначимо довжину пластинки:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S} \Rightarrow l = \frac{R \cdot S}{\rho} = \frac{0,027 \cdot 5,7 \cdot 10^{-6}}{0,98 \cdot 10^{-6}} = 0,156 \text{ м.}$$

6.4. Тепловий розрахунок поперечного зварювання.

Розрахунок аналогічний попередньому.

Зварювання здійснюється за рахунок нагрівання поліетиленової плівки до температури зварювання $t = 120^\circ \text{C}$.

Підберемо електронагрівуючий елемент:

$$Q_2 = K_3 \cdot Q_1,$$

Q_1 – кількість теплоти, яка виділяється з електронагрівуючого елемента.

Q_2 – кількість теплоти, яка потрібна для зварювання ПЕ плівки.

Визначимо кількість теплоти, яка потрібна для зварювання ПЕ плівки:

$$Q_2 = m_{шва} \cdot c \cdot (t_2 - t_1),$$

Знайдемо масу шва в зоні контакту плівки зі зварювальною колодкою:

$$m_{шва} = V_{шва} \cdot \rho,$$

де $V_{шва}$ – об'єм шва в зоні контакту плівки з зварювальною колодкою:

$$V_{шва} = 2\delta \cdot h_{шва} \cdot b_{шва} = 2 \cdot 0,05 \cdot 10^{-3} \cdot 0,029 \cdot 0,023 = 66,7 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3,$$

де δ – товщина плівки,

$h_{шва}$ – висота шва,

$b_{шва}$ – довжина контакту плівки з зварювальною колодкою.

$$m_{шва} = 66,7 \cdot 10^{-9} \cdot 0,96 \cdot 10^{-3} = 0,064 \cdot 10^{-9} \text{ кг.}$$

$$Q_2 = 0,064 \cdot 10^{-9} \cdot 0,8 \cdot (120 - 20) = 5,12 \cdot 10^{-3} \text{ Дж.}$$

Визначимо кількість теплоти, яка виділяється з електронагрівуючого елемента:

$$Q_1 = Q_2 / K_3 = 5,12 \cdot 10^{-3} / 0,8 = 6,4 \cdot 10^{-3} \text{ Дж.}$$

Визначимо опір електронагрівача за допомогою формули Джоуля-Ленца:

$$Q_1 = I^2 \cdot R \cdot t \Rightarrow R = Q_1 / I^2 \cdot t = 6,4 \cdot 10^{-3} / 0,5^2 \cdot 1 = 0,0256 \text{ Ом.}$$

Для нагрівання роликів візьмемо ніхромову пластинку:

Марки 15,6/8,5(0,8)Т24(2,0) ТКФ «Електронагрівач»

Визначимо довжину пластинки:

$$R = \rho \cdot l / S \Rightarrow l = R \cdot S / \rho = 0,0256 \cdot 5,7 \cdot 10^{-6} / 0,98 \cdot 10^{-6} = 0,15 \text{ м}$$

6.5. Тяговий розрахунок конвеєра

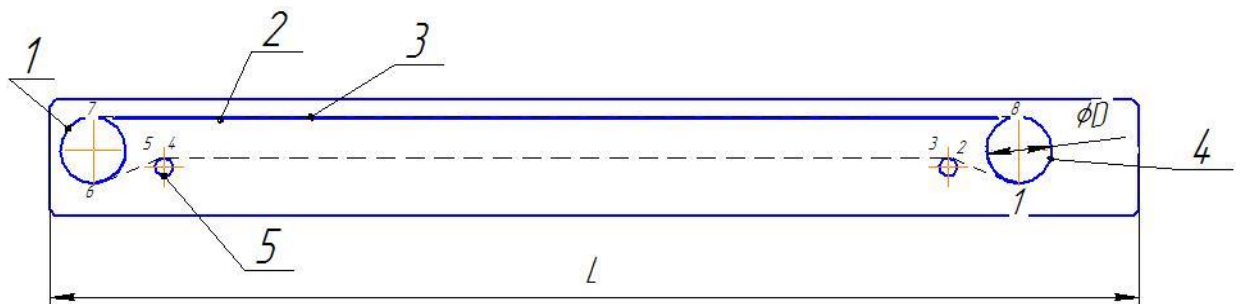


Рис.6.3. Розрахункова схема стрічкового конвеєра

Визначаємо ширину стрічки $B = b + 2 \cdot \Delta = 100 + 2 \cdot 25 = 150 \text{ мм}$

Приймаємо $B = 150 \text{ мм}$.

Визначаємо швидкість руху стрічки.

Крок між вантажами приймаємо $A = 0,4 \text{ м}$

$$v = \frac{z \cdot A}{3600} = \frac{3600 \cdot 0,4}{3600} = 0,4 \text{ м/с};$$

де z – штучна продуктивність.

Приймаємо швидкість руху стрічки $0,4 \text{ м/с}$

Визначення лінійних мас. лінійна маса вантажу:

$$q_s = \frac{m}{A} = \frac{1}{0,4} = 2,5 \text{ кг/м};$$

Лінійна маса стрічки:

$$q_{cm} = 1,1 \cdot B (\delta_i \cdot z_{np} + \delta_1 + \delta_2) = 1,1 \cdot 0,15 (1,5 \cdot 3 + 3 + 1) = 1,4 \text{ кг/м};$$

де δ_i , δ_1 , δ_2 – відповідно товщина прокладки, верхньої та нижньої

обкладки;

z_{np} – кількість прокладок.

Лінійна маса роликів: Так як вантаж штучний, то для нижньої ділянок конвеєра обираємо однакові ролики.

$$V = \pi \cdot d \cdot \delta_p \cdot l_p = 3,14 \cdot 0,03 \cdot 0,016 \cdot 0,15 = 2,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3;$$

$$m_p = V \cdot \rho_{cm} = 2,2 \cdot 10^{-4} \cdot 7800 = 1,76 \text{ кг};$$

де ρ_{cm} – густина сталі.

$$S_1 = S_{зб};$$

$$S_2 = S_1 + W_{1-2} = S_1 + q_{cmp} \cdot g \cdot L \cdot \omega' = S_1 + 1,4 \cdot 9,81 \cdot 0,05 \cdot 0,03 = \\ = S_1 + 0,02$$

$$S_3 = k_{\delta am} \cdot S_2 = 1,04 \cdot (S_1 + 0,02) = 1,04 \cdot S_1 + 0,022$$

$$S_4 = S_3 + W_{3-4} = S_3 + (q_{cmp} + q_p) \cdot g \cdot L \cdot \omega'' = \\ = 1,04 \cdot S_1 + 0,022 + (1,4 + 3,2) \cdot 9,81 \cdot 2 \cdot 0,03 = \\ = 1,04 \cdot S_1 + 2,73$$

$$S_5 = S_4 \cdot k_{\delta am} = 1,04 \cdot (1,04 \cdot S_1 + 2,73) = 1,082 \cdot S_1 + 2,84$$

$$S_6 = S_5 + (q_{cmp} + q_p) \cdot g \cdot l \cdot \omega = 1,082 \cdot S_1 + 2,84 + (1,4 + 3,2) \cdot 9,81 \cdot 0,05 \cdot 0,03 = \\ = 1,082 \cdot S_1 + 2,91$$

$$S_7 = S_6 \cdot k_{\delta ap} = (1,082 \cdot S_1 + 2,91) \cdot 1,06 = 1,15 \cdot S_1 + 3,082$$

$$S_8 = S_7 + (q_{cmp} + q_e) \cdot g \cdot L \cdot \omega = 1,15 \cdot S_1 + 3,082 + (1,4 + 2,5) \cdot 9,81 \cdot 2 \cdot 0,03 = \\ = 1,15 \cdot S_1 + 5,38$$

За таблицею для середніх умов роботи конвеєра беремо коефіцієнти опору: для прямолінійних ділянках з прямими опорами $\omega' = 0,03$ і $\omega'' = 0,025$; коефіцієнт опору переміщення на криволінійних ділянках ($\alpha = 180^\circ$) $\Rightarrow k = 1,05$.

Приймаємо однобарабанный привод з футеровкою і кутом $\alpha = 3,14(180^\circ)$ обхвату барабана стрічкою, значення коефіцієнта тертя $\mu = 0,4 \Rightarrow e^{\alpha \cdot \mu} = 3,51$ так як тягова передача за рахунок сил тертя при цьому при відсутності ковзання стрічки і не враховується її жорсткість буде справедлива формула Ейлера:

$$S_{нб} = e^{\alpha \cdot \mu} \cdot S_{зб}$$

Маємо:

$$\begin{cases} S_{нб} = 1,15 \cdot S_{зб} + 5,38 \\ S_{нб} = 3,51 \cdot S_{зб} \end{cases}$$

$$S_{зб} = \frac{5,38}{3,51 - 1,15} = 2,3H$$

$$S_{нб} = 3,51 \cdot S_{зб} = 8H$$

Визначаємо тягове зусилля на приводному барабані:

$$F_T = S_{нб} - S_{зб} + (k - 1) \cdot (S_{нб} + S_{зб}) = 8 - 2,3 + 0,05 \cdot (8 + 2,3) = 6,22H$$

Розрахункова потужність двигуна

$$N_{дв.розр.} = \frac{F_T \cdot v}{\eta_{прив}} = \frac{6,22 \cdot 0,4}{0,99} = 2,51Bm'$$

$$\omega_{бараб} = \frac{2 \cdot v}{D} = \frac{2 \cdot 0,4}{0,1} = 8c^{-1},$$

$$n_{б} = \frac{60 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{60 \cdot 0,4}{3,14 \cdot 0,1} = 76,4 \frac{об}{хв}.$$

Конструктивно в якості приводу обираємо мотор-редуктор *SK1SM31-63S/4* фірми *NORD* з пустотілим валом.

$$N = 0,12 \text{ кВт};$$

$$n = 80 \text{ об/хв.};$$

$$m = 12 \text{ кг}.$$

Підберемо полімерну стрічку для конвеєра (таблиця 6.1)

Характеристика стрічок

Тип ленти	Матеріал верхнього слоя	Матеріал нижнього слоя	Толщина, мм	Растяження 1%, N/мм	Мин діаметр огинання, мм	Пищевой Сертифікат	Назначение
F-2EQWT 0,7 mm White	полиуретан	полиэстер	0,7	4	2	Да	Охлаждающий тоннель, разное
F 3/1 EU02N/U0 0,9mm White	полиуретан	полиэстер	0,9	4	3	Да	Охлаждающий тоннель, разное
T-04BR	полиуретан коричневая вафля	полиэстер	1,0	4	2	Да	Охлаждающий тоннель, разное
F-3/1EU05N-UOWF	полиуретан вафля	полиэстер	1,2	4	2	Да	Охлаждающий тоннель, разное
F 5/2 EU05N/U0 1,4mm White	полиуретан	полиэстер	1,4	5	15	Да	Охлаждающий тоннель, разное
F 8/2 EV04A/U0 LP 2mm White	поливинилхлорид	полиэстер	2,0	8	24	Да	Пищевое разное
F 8/2 EV05A/U0 2mm White	поливинилхлорид	полиэстер	2,0	8	24	Да	Пищевое разное
F 8/2 EV12A/U0 LP 3mm White	поливинилхлорид	полиэстер	3,0	8	48	Да	Пищевое разное
F 10/2 EPE05A/ PE01 LP 3mm Transp.		полиэстер	3,0	10	80	Да	Пищевое разное, гематоген
F 12/3 EV12A/U0 LP 4mm White	поливинилхлорид	полиэстер	4,0	12	75	Да	Пищевое разное
S 8/2 EV04A/U0 LP 2mm Green	поливинилхлорид	полиэстер	2,0	8	24	Нет	Не пищевое разное
S 8/2 EV05N/U0 LP 2mm Schwarz	поливинилхлорид	полиэстер	2,0	8	24	Нет	Не пищевое разное
S 8/2 EV12A/U0 LP 3mm Green	поливинилхлорид	полиэстер	3,0	8	48	Нет	Не пищевое разное
PVC-10SG	поливинилхлорид	полиэстер	5,3	8	60	Нет	Наклонный транспортёр, не пищевое разное

Характеристики конвеєра:

Діаметр найменшого барабана - 100 мм

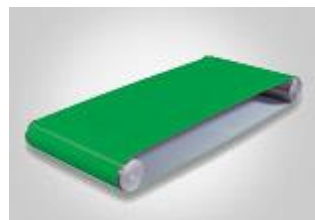
Навантаження на 1 мм. ширини стрічки - 5,9 Н/мм

Товщина транспортерної стрічки - 3мм

Довжина транспортерної стрічки - 1600мм

Ширина транспортерної стрічки - 160мм

Отже, за характеристиками підбираємо полімерну стрічку *F 8/2 EV12A/U0 LP 3mm White* фірми *e-zip*.



Переваги полімерної стрічки: відрізняються легкістю, міцністю, стійкістю до порізів і зносу. Діапазон робочих температур від -50 до +260 ° С.

6.6. Тяговий розрахунок відвідного конвеєра

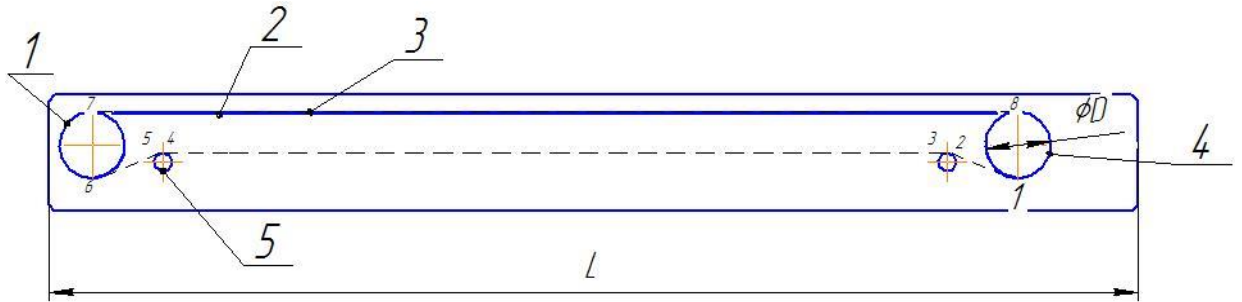


Рис.6.4. Розрахункова схема стрічкового конвеєра

Визначаємо ширину стрічки для штучних вантажів, за геометричними розмірами вантажу:

$$B = b + 2 \cdot \Delta = 320 + 2 \cdot 25 = 370 \text{ мм}$$

Приймаємо $B = 370 \text{ мм}$.

Визначаємо швидкість руху стрічки:

Крок між вантажами приймаємо $A = 0,5 \text{ м}$

$$v = \frac{z \cdot A}{3600} = \frac{3600 \cdot 0,5}{3600} = 0,5 \text{ м/с};$$

де z – штучна продуктивність.

Приймаємо швидкість руху стрічки $0,5 \text{ м/с}$

Визначення лінійних мас:

$$\text{Лінійна маса вантажу: } q_e = \frac{m}{A} = \frac{20}{0,4} = 50 \text{ кг/м};$$

Лінійна маса стрічки:

$$q_{cm} = 1,1 \cdot B (\delta_i \cdot z_{np} + \delta_1 + \delta_2) = 1,1 \cdot 0,37 (1,5 \cdot 3 + 3 + 1) = 3,46 \text{ кг/м};$$

де δ_i , δ_1 , δ_2 – відповідно товщина прокладки, верхньої та нижньої обкладки; z_{np} – кількість прокладок.

Лінійна маса роликів: Так як вантаж штучний, то для нижньої ділянок конвеєра обираємо однакові ролики.

$$V = \pi \cdot d \cdot \delta_p \cdot l_p = 3,14 \cdot 0,03 \cdot 0,016 \cdot 0,15 = 2,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3;$$

$$m_p = V \cdot \rho_{cm} = 2,2 \cdot 10^{-4} \cdot 7800 = 1,76 \text{ кг};$$

де ρ_{cm} – густина сталі.

$$S_1 = S_{зб};$$

$$S_2 = S_1 + W_{1-2} = S_1 + q_{cmp} \cdot g \cdot L \cdot \omega' = S_1 + 3.46 \cdot 9.81 \cdot 0.05 \cdot 0.03 = \\ = S_1 + 0.051$$

$$S_3 = k_{\delta am} \cdot S_2 = 1.04 \cdot (S_1 + 0.051) = 1.04 \cdot S_1 + 0.053$$

$$S_4 = S_3 + W_{3-4} = S_3 + (q_{cmp} + q_p) \cdot g \cdot L \cdot \omega'' = \\ = 1.04 \cdot S_1 + 0.053 + (3.46 + 3.2) \cdot 9.81 \cdot 2 \cdot 0.03 = \\ = 1.04 \cdot S_1 + 3.97$$

$$S_5 = S_4 \cdot k_{\delta am} = 1.04 \cdot (1.04 \cdot S_1 + 3.97) = 1.082 \cdot S_1 + 4.13$$

$$S_6 = S_5 + (q_{cmp} + q_p) \cdot g \cdot l \cdot \omega = 1.082 \cdot S_1 + 4.13 + (3.46 + 3.2) \cdot 9.81 \cdot 0.05 \cdot 0.03 = \\ = 1.082 \cdot S_1 + 4.23$$

$$S_7 = S_6 \cdot k_{\delta ap} = (1.082 \cdot S_1 + 4.23) \cdot 1.06 = 1.15 \cdot S_1 + 4.484$$

$$S_8 = S_7 + (q_{cmp} + q_e) \cdot g \cdot L \cdot \omega = 1.15 \cdot S_1 + 4.484 + (3.46 + 50) \cdot 9.81 \cdot 2 \cdot 0.03 = \\ = 1.15 \cdot S_1 + 35.95$$

Приймаємо однобарабанный привод з футеровкою і кутом $\alpha = 3,14(180^\circ)$ обхвату барабана стрічкою, значення коефіцієнта тертя $\mu = 0,4 \Rightarrow e^{\alpha \cdot \mu} = 3,51$ так як тягова передача за рахунок сил тертя при цьому при відсутності ковзання стрічки і не враховується її жорсткість буде справедлива формула Ейлера:

$$S_{нб} = e^{\alpha \cdot \mu} \cdot S_{зб}$$

Маємо:

$$\begin{cases} S_{нб} = 1,15 \cdot S_{зб} + 35,95 \\ S_{нб} = 3,51 \cdot S_{зб} \end{cases}$$

$$S_{зб} = \frac{35,95}{3,51 - 1,15} = 15,23H$$

$$S_{нб} = 3,51 \cdot S_{зб} = 53,5H$$

Визначаємо тягове зусилля на приводному барабані:

$$F_T = S_{нб} - S_{зб} + (k - 1) \cdot (S_{нб} + S_{зб}) = 53,5 - 15,23 + 0,05 \cdot (53,5 + 15,23) = 41,7H$$

Розрахункова потужність двигуна

$$N_{\text{дв.розр.}} = \frac{F_T \cdot v}{\eta_{\text{прив}}} = \frac{41.7 \cdot 0.5}{0.99} = 21.1 \text{ Вт},$$

$$\omega_{\text{бараб}} = \frac{2 \cdot v}{D} = \frac{2 \cdot 0.5}{0.1} = 10 \text{ с}^{-1},$$

$$n_{\text{б}} = \frac{60 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{60 \cdot 0.5}{3.14 \cdot 0.1} = 95 \frac{\text{об}}{\text{хв}}.$$

Конструктивно в якості приводу обираємо мотор-редуктор *SK1SM31-63S/4* фірми *NORD* з пустотілим валом.

$N=0,5$ кВт;

$n=95$ об/хв.;

$m=14$ кг.

Підберемо полімерну стрічку для конвеєра

Характеристики конвеєра:

Діаметр найбільшого барабана - 100 мм

Навантаження на 1 мм. ширини стрічки - 7,2 Н/мм

Товщина транспортуючої стрічки - 3мм

Довжина транспортної стрічки - 2800мм

Ширина транспортної стрічки - 370мм

Отже, за характеристиками підбираємо полімерну стрічку *F 8/2 EV12A/U0 LP 3mm White* фірми *e-zip*.

Переваги полімерної стрічки: відрізняються легкістю, міцністю, стійкістю до порізів і зносу. Діапазон робочих температур від -50 до +260 °С.

6.7. Розрахунок приводного вала

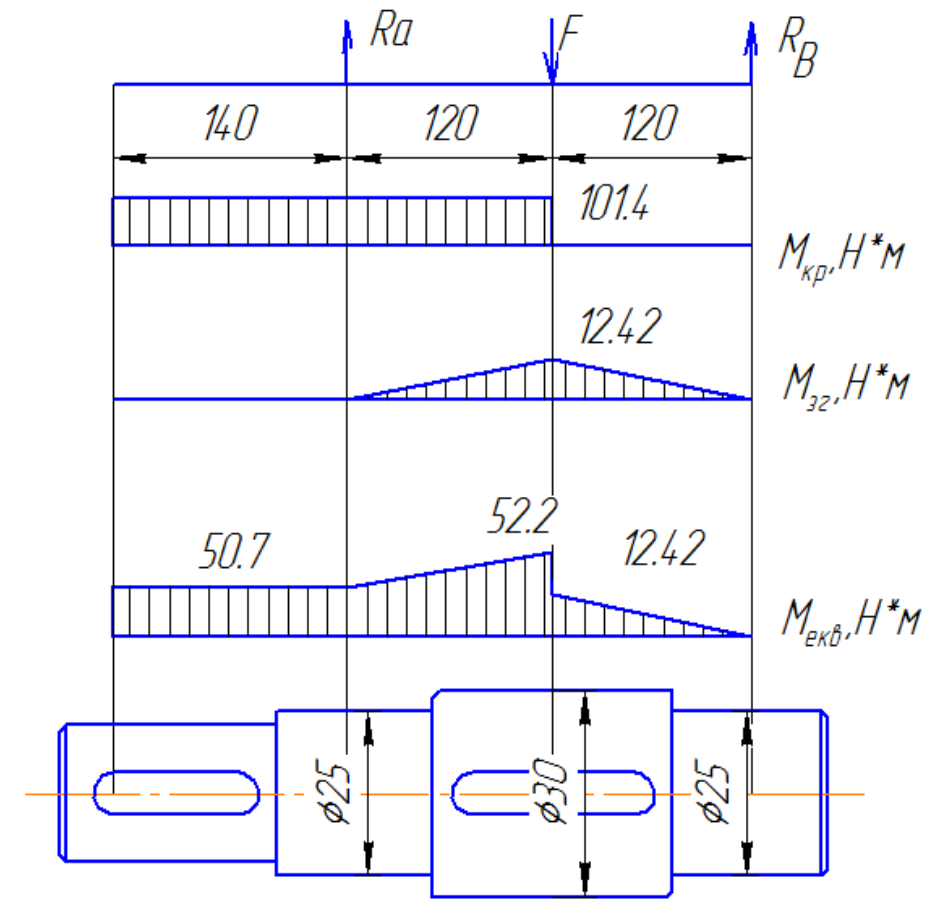


Рис.6.5. Епюри напружень, що діють на вал

Вертикальна площина :

Для початку визначимо реакції опор :

$$\sum M_A = 0;$$

$$\sum M_A = R_b \cdot (a + b) - F \cdot a = 0;$$

$$R_b = \frac{F \cdot a}{a + b} = \frac{207 \cdot 0,12}{0,12 + 0,12} = 103,5H$$

$$\sum M_B = 0;$$

$$\sum M_B = R_a \cdot (a + b) - F \cdot b = 0$$

$$R_a = \frac{F \cdot b}{a + b} = \frac{207 \cdot 0,12}{0,24} = 103,5H$$

Перевірка:

$$\sum Y = 0;$$

$$\sum Y = R_a + R_b - F = 0$$

$$103,5 + 103,5 - 207 = 0.$$

Епюра згинальних моментів горизонтальної площини.

$$M1) 0 < x_1 < 0,12;$$

$$M(x_1) = Ra \cdot x_1;$$

$$M(0) = Ra \cdot 0 = 0;$$

$$M(0,12) = Ra \cdot 0,12 = 12,42H \cdot м$$

$$M2) 0,12 < x_2 < 0,24;$$

$$M(x_2) = Ra \cdot x_2 - F \cdot (x_2 - a);$$

$$M(0,12) = 12,42H \cdot м;$$

$$M(0,24) = 103,5 \cdot 0,24 - 207(0,24 - 0,12) = 0;$$

$$0,24 < x_3 < 0,38;$$

$$M(x_3) = Ra \cdot x_3 - F \cdot (x_3 - a) + Rb(x_3 - 0,24);$$

$$M(0,24) = 0;$$

$$M(0,38) = 103,5 \cdot 0,38 - 207 \cdot 0,24 + 103,5 \cdot 0,12 = 0;$$

Для побудови епюри еквівалентного моменту користуємось формулою:

$$M_{екв} = \sqrt{M_{зг}^2 + (\alpha \cdot T)^2}$$

де α – коефіцієнт, що враховує відмінність в характеристиках циклів напруження згину та кручення. Приймаємо $\alpha = 0,5$.

$$M_{екв1} = 0;$$

$$M_{екв2} = \sqrt{12,42^2 + (0,5 \cdot 101,4)^2} = 52,2H \cdot м;$$

$$M_{екв3} = \sqrt{0^2 + (0,5 \cdot 101,4)^2} = 50,7H \cdot м;$$

$$M_{екв4} = \sqrt{12,42^2 + (0,5 \cdot 0)^2} = 12,42H \cdot м;$$

Розрахунок діаметрів вала

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_{екв}}{0,1 \cdot [\tau]}} \quad , \text{де } [\tau] = 65 \text{ МПа};$$

$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{50,7 \cdot 10^3}{0,1 \cdot 65}} = 19,8 \text{ (мм)};$$

$$d_2 = \sqrt[3]{\frac{52,2 \cdot 10^3}{0,1 \cdot 65}} = 20,3(\text{мм});$$

Приймаємо:

$$d_1 = 25 \text{ мм};$$

$$d_2 = 30 \text{ мм};$$

Графічне зображення напружень, що діють на вал на рис. 11

6.8. Розрахунок зусилля розмотування плівки

Плівка розмотується проходячи через систему роликів, які встановлені на нерухомій рамці. Рух плівки відбувається по закону $a_\tau = 0,28 \text{ м/с}^2 = \text{const}$.

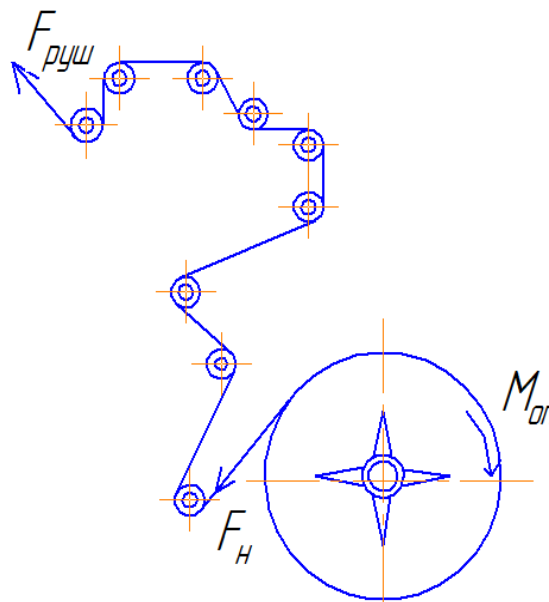


Рис.6.6. Схема прикладених сил до рулона

Запишемо принцип Д'Аламбера для рулона: $I \cdot \varepsilon = M_{руш} - M_{оп}$,

де I – момент інерції рулона, ε – кутове прискорення рулона,

$M_{руш}$ – момент рушійних сил, $M_{оп}$ – момент сил опору.

Звідси, $M_{руш} = M_{оп} + I \cdot \varepsilon$, тоді рушійна сила розраховується за

формулою
$$F_{руш} = \frac{M_{руш}}{D_{рул} / 2} = \frac{2 \cdot (M_{оп} + I \cdot \varepsilon)}{D_{рул}}$$

З рис.9.2 виходить, що $M_{он} = 2 \cdot W \cdot \frac{d}{2}$, де $W = N \cdot \frac{w \cdot d + 2 \cdot k}{d}$, при цьому $k=0,01$, $w=0,022$.

Для знаходження сили N необхідно спроектувати сили на вертикальну вісь:

$$m \cdot g = 2 \cdot N \cdot \cos 35^\circ \Rightarrow N = \frac{m \cdot g}{2 \cdot \cos 35^\circ}.$$

Запишемо моменти інерції рулону і шпулі та порівняємо їх:

$$I_{рул} = \frac{m_{рул} \cdot R_{рул}^2}{2}, I_k = \frac{m_k \cdot R_k^2}{2}, I_{рул} > I_k.$$

Запишемо формулу визначення кутових прискорень для рулону і шпулі:

$$\varepsilon_{рул} = \frac{a}{R_{рул}}, \varepsilon_{рул} > \varepsilon_k, \varepsilon_k = \frac{a}{R_k}.$$

Визначаємо зусилля розмотування рулону:

а) діаметр рулону $D_{рул} = 0,4\text{м}$, ширина рулону $h = 0,38\text{м}$, товщина плівки $\delta = 40\text{мкм}$.

$$V_{рул} = \frac{\pi \cdot h}{4} (D_{рул}^2 - d_k^2) = \frac{3,14 \cdot 0,38}{4} (0,4^2 - 0,0381^2) = 0,0473\text{м}^3$$

$$m_{рул} = V_{рул} \cdot \rho_{рул} = 0,0473 \cdot 905 = 42,80\text{кг}$$

$$m_{\Sigma} = m_{рул} + m_{дет} = 42,80 + 2,81 = 45,61\text{кг}$$

$$N = \frac{m_{\Sigma} \cdot g}{2 \cdot \cos 35^\circ} = \frac{45,61 \cdot 9,81}{2 \cdot \cos 35^\circ} = 273,11\text{Н}$$

$$W = N \cdot \frac{w \cdot d + 2 \cdot k}{d} = 273,11 \cdot \frac{0,022 \cdot 0,016 + 2 \cdot 0,01}{0,022} = 252,65\text{Н}$$

$$M_{on} = 2 \cdot W \cdot \frac{d_1}{2} = 2 \cdot 252,65 \cdot \frac{0,024}{2} = 6,064 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$I_{рул} = \frac{m_{рул} \cdot R_{рул}^2}{2} = \frac{46 \cdot 0,2^2}{2} = 0,92 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$\varepsilon_{рул} = \frac{a_{\tau}}{R_{рул}} = \frac{0,28}{0,2} = 1,4 \text{ с}^{-2}$$

$$F_{руш} = \frac{2 \cdot (M_{on} + I \cdot \varepsilon)}{D_{рул}} = \frac{2 \cdot (6,064 + 0,92 \cdot 1,4)}{0,4} = 36,76 \text{ Н}$$

б) діаметр рулону $D_{рул} = 0,039 \text{ м}$, ширина рулону $h = 0,38 \text{ м}$, товщина плівки $\delta = 40 \text{ мкм}$.

$$V_{рул} = \frac{\pi \cdot h}{4} (D_{рул}^2 - d_k^2) = \frac{3,14 \cdot 0,38}{4} (0,039^2 - 0,0381^2) = 20,7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

$$m_{рул} = V_{рул} \cdot \rho_{рул} = 20,7 \cdot 10^{-6} \cdot 905 = 0,0187 \text{ кг}$$

$$m_{\Sigma} = m_{рул} + m_{дет} = 0,0187 + 2,81 = 2,83 \text{ кг}$$

$$N = \frac{m_{\Sigma} \cdot g}{2 \cdot \cos 35^{\circ}} = \frac{2,83 \cdot 9,81}{2 \cdot \cos 35^{\circ}} = 16,95 \text{ Н}$$

$$W = N \cdot \frac{w \cdot d + 2 \cdot k}{d} = 16,95 \cdot \frac{0,022 \cdot 0,016 + 2 \cdot 0,01}{0,022} = 15,68 \text{ Н}$$

$$M_{on} = 2 \cdot W \cdot \frac{d_1}{2} = 2 \cdot 15,68 \cdot \frac{0,024}{2} = 0,376 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$I_{рул} = \frac{m_{рул} \cdot R_{рул}^2}{2} = \frac{2,83 \cdot 0,0195^2}{2} = 0,00054 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$\varepsilon_{рул} = \frac{a_{\tau}}{R_{рул}} = \frac{0,28}{0,0195} = 14,36 \text{ с}^{-2}$$

$$F_{руш} = \frac{2 \cdot (M_{on} + I \cdot \varepsilon)}{D_{рул}} = \frac{2 \cdot (0,376 + 0,00054 \cdot 14,36)}{0,039} = 19,68 \text{ Н}$$

Отже, для подальших розрахунків використовуємо $F_{руш} = 36,76 \text{ Н}$.

6.9. Розрахунок зусилля розмотування ZIP-застібки

Плівка розмотується проходячи через систему роликів, які встановлені на нерухомій рамці. Рух плівки відбувається по закону $a_{\tau} = 0,28 \text{ м/с}^2 = \text{const}$.

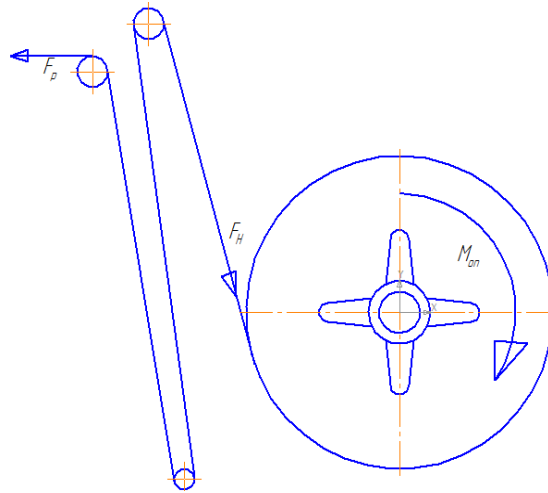


Рис.6.7. Схема прикладених сил до рулона із ZIP-застібкою

Запишемо принцип Д'Аламбера для рулона: $I \cdot \ddot{\varepsilon} = M_{руш} - M_{он}$,

де I – момент інерції рулона, $\ddot{\varepsilon}$ – кутове прискорення рулона,

$M_{руш}$ – момент рушійних сил, $M_{он}$ – момент сил опору.

Звідси, $M_{руш} = M_{он} + I \cdot \ddot{\varepsilon}$, тоді рушійна сила розраховується за

формулою
$$F_{руш} = \frac{M_{руш}}{D_{рул}/2} = \frac{2 \cdot (M_{он} + I \cdot \ddot{\varepsilon})}{D_{рул}}$$

З рис.13 виходить, що $M_{он} = 2 \cdot W \cdot \frac{d}{2}$, де $W = N \cdot \frac{w \cdot d + 2 \cdot k}{d}$, при

цьому $k=0,01$, $w=0,022$.

Для знаходження сили N необхідно спроектувати сили на вертикальну вісь:

$$m \cdot g = 2 \cdot N \cdot \cos 35^\circ \Rightarrow N = \frac{m \cdot g}{2 \cdot \cos 35^\circ}$$

Запишемо моменти інерції рулону і шпулі та порівняємо їх:

$$I_{рул} = \frac{m_{рул} \cdot R_{рул}^2}{2}, I_k = \frac{m_k \cdot R_k^2}{2}, I_{рул} > I_k$$

Запишемо формулу визначення кутових прискорень для рулону і шпулі:

$$\varepsilon_{рул} = \frac{a}{R_{рул}}, \varepsilon_{рул} > \varepsilon_k, \varepsilon_k = \frac{a}{R_k}$$

Визначаємо зусилля розмотування рулону:

а) діаметр рулону $D_{рул} = 0,52\text{м}$, ширина рулону $h = 0,4\text{м}$, товщина плівки $\delta = 50\text{мкм}$.

$$V_{рул} = \frac{\pi \cdot h}{4} (D_{рул}^2 - d_k^2) = \frac{3,14 \cdot 0,4}{4} (0,52^2 - 0,041^2) = 0,0844\text{м}^3$$

$$m_{рул} = V_{рул} \cdot \rho_{рул} = 5,85 \cdot 92 = 538,2\text{г} = 0,5382\text{кг}$$

$$m_{\Sigma} = m_{рул} + m_{дет} = 0,5382 + 0,28 = 0,81\text{кг}$$

$$N = \frac{m_{\Sigma} \cdot g}{2 \cdot \cos 35^\circ} = \frac{0,81 \cdot 9,81}{2 \cdot \cos 35^\circ} = 4,87\text{Н}$$

$$W = N \cdot \frac{w \cdot d_c + 2 \cdot k}{d} = 4,87 \cdot \frac{0,022 \cdot 0,016 + 2 \cdot 0,01}{0,022} = 4,51\text{Н}$$

$$M_{он} = 2 \cdot W \cdot \frac{d_1}{2} = 2 \cdot 4,51 \cdot \frac{0,024}{2} = 0,11\text{Н} \cdot \text{м}$$

$$I_{рул} = \frac{m_{рул} \cdot R_{рул}^2}{2} = \frac{0,5382 \cdot 0,26^2}{2} = 0,0182\text{кг} \cdot \text{м}^2$$

$$\varepsilon_{рул} = \frac{a_{\tau}}{R_{рул}} = \frac{0,28}{0,25} = 1,08\text{с}^{-2}$$

$$F_{руш} = \frac{2 \cdot (M_{он} + I \cdot \varepsilon)}{D_{рул}} = \frac{2 \cdot (0,11 + 0,0182 \cdot 1,08)}{0,52} = 0,52\text{Н}$$

б) діаметр рулону $D_{рул} = 0,1\text{м}$, ширина рулону $h = 0,4\text{м}$, товщина плівки $\delta = 50\text{мкм}$.

$$V_{рул} = \frac{\pi \cdot h}{4} (D_{рул}^2 - d_k^2) = \frac{3,14 \cdot 0,4}{4} (0,1^2 - 0,041^2) = 0,00261\text{м}^3$$

$$m_{рул} = 5,85 \cdot 17,69 = 103,5\text{г} = 0,1035\text{кг}$$

$$m_{\Sigma} = m_{рул} + m_{дет} = 0,1035 + 0,28 = 0,3855\text{кг}$$

$$N = \frac{m_{\Sigma} \cdot g}{2 \cdot \cos 35^\circ} = \frac{0,3835 \cdot 9,81}{2 \cdot \cos 35^\circ} = 2,3\text{Н}$$

$$W = N \cdot \frac{w \cdot d_c + 2 \cdot k}{d} = 2,3 \cdot \frac{0,022 \cdot 0,016 + 2 \cdot 0,01}{0,022} = 6,05\text{Н}$$

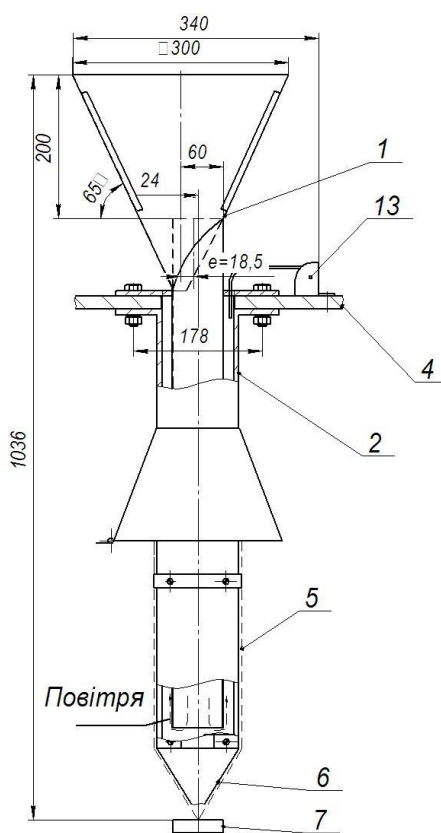
$$M_{on} = 2 \cdot W \cdot \frac{d_1}{2} = 2 \cdot 6,05 \cdot \frac{0,024}{2} = 0,145 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$I_{рул} = \frac{m_{рул} \cdot R_{рул}^2}{2} = \frac{0,1035 \cdot 0,05^2}{2} = 0,00013 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$\ddot{\epsilon}_{рул} = \frac{a_{\tau}}{R_{рул}} = \frac{0,28}{0,05} = 5,6 \text{ с}^{-2}$$

$$F_{руш} = \frac{2 \cdot (M_{on} + I \cdot \ddot{\epsilon})}{D_{рул}} = \frac{2 \cdot (0,145 + 0,00013 \cdot 5,6)}{0,1} = 2,92 \text{ Н}$$

Отже, для подальших розрахунків використовуємо $F_{руш} = 2,92 \text{ Н}$.



6.10. Розрахунок ексцентриситету продуктової лійки

Вихідні дані:

$$D = 300 \text{ мм}$$

$$H = 200 \text{ мм}$$

$$d = 71 \text{ мм}$$

$$\alpha = 65^\circ$$

На заданій висоті h максимальне значення ефективної площі каналу S_{ef} , буде пропорційне величині ексцентриситету e , максимальне значення якого визначається за

формулою:

$$e = \frac{D - d - 2 \cdot h \cdot \text{tg}(90^\circ - \alpha)}{2} = \frac{300 - 71 - 2 \cdot 200 \cdot \text{tg}(25^\circ)}{2} = 18,5 \text{ мм},$$

Отже на заданій висоті h величина ексцентриситету $e = 18,5 \text{ мм}$.

6.11. Розрахунок і підбір пневмоциліндра.

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot (P_{mag} - P_{атм}) \Rightarrow$$

P_{mag} - магістральний тиск, приймають $P_{mag} = 0,5 \text{ МПа}$

$P_{атм}$ - атмосферний тиск, приймають $P_{атм} = 0,1 МПа$

Визначаємо діаметр пневмоциліндра:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot (P_{маг} + P_{атм})}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 50}{\pi \cdot (0,4 - 0,1)}} = 14,57 \text{ мм}$$

Приймаємо пневмоциліндр $d = 20 \text{ мм}$ фірми Festo двохсторонньої дії

Споживання стисненого повітря пневматичним циліндром

розраховується за формулою

$$q = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot S \cdot p \cdot a \cdot b, \text{ де}$$

q - витрата стисненого повітря [л/хв]

d - діаметр поршня [дм]

S - хід поршня [дм]

p - робочий тиск [бар абс.]

a - число циклів [хв-1]

b - коефіцієнт 1 для одноходових циліндрів, 2 для двохходові

$$q = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot S \cdot p \cdot a \cdot b = \frac{2^2 \cdot \pi}{4} \cdot 2 \cdot 5 \cdot 70 \cdot 2 = 4398,23 \text{ л/хв}$$

7. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ МАРШРУТ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

7.1. Розробка технологічного маршруту виготовлення деталі верхнього стаканчика

При розробленні технологічного маршруту виготовлення деталей важливим етапом є вибір методів оброблення, способів кріплення та базування заготовок, які забезпечують їх стійке положення, технологічну надійність та необхідну точність виготовлення. Особливо відповідальним є вибір установчих баз і систем кріплення на початкових стадіях обробки, коли заготовка має необроблену, нерівномірну або грубу поверхню.

У випадках, коли базування здійснюється по необробленій поверхні, керуються наступними принципами:

- Поверхня, що обрана як база, повинна мати геометрично просту форму (циліндр, площина, призма) та достатні габаритні розміри, які забезпечують стійке та безпечне положення заготовки під час механічної обробки.

- Прикріплення до установчого обладнання має не викликати деформацій самої заготовки або її окремих елементів. Особливо важливо це при роботі з тонкостінними деталями, які можуть втратити геометричну стабільність унаслідок надмірного зусилля затиску.

- За можливості, для чорнових баз доцільно обирати поверхні, які в подальшому не будуть оброблятися, що дозволяє зберегти точність відносно майбутніх оброблених баз і спростити контроль геометрії.

Застосування цих принципів дозволяє забезпечити правильне орієнтування заготовки, оптимізувати процес обробки та зменшити похибки, пов'язані з невірним положенням або неточним затиском на попередніх операціях.

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ МАРШРУТ ВИГОТОВЛЕННЯ

№	Назва операції, переходу	Технологічний маршрут, оснащення, інструмент, різець і вимірювальний інструмент
10	Заготівельна Установити, закріпити, зняти (УЗЗ)	Заготовка виготовляється методом штампування, матеріал сталь 12Х18Н9Т
10.1	Відлити заготовку	Штампування. За технічною документацією.
20	Токарна УЗЗ	Токарно-гвинторізальний верстат 16К20, трикулачковий патрон
20.1	Торцювати Пов.1 $z = 1,5\text{мм}$	Різець прохідний відігнутий правий, Т15К6, $\varphi = 45^\circ$, $\gamma = 10^\circ$, $\alpha = 8^\circ$, $B \times H \times L = 16 \times 25 \times 140$, штангенциркуль (ШЦ-1).
20.2	Точити начорно $\phi 126_{-0,16}$ на $l = 7\text{мм}$ пов. 2	Різець прохідний відігнутий правий, Т15К6, $\varphi = 45^\circ$, $\gamma = 10^\circ$, $\alpha = 8^\circ$, $B \times H \times L = 16 \times 25 \times 140$, ШЦ-1.
20.3	Точити начисто $\phi 126_{-0,16}$ на $l = 7\text{мм}$ пов. 2	Різець прохідний відігнутий правий, Т15К6, $\varphi = 45^\circ$, $\gamma = 10^\circ$, $\alpha = 8^\circ$, $B \times H \times L = 16 \times 25 \times 140$, ШЦ-1.
30	Токарна УЗЗ	Токарно-гвинторізальний верстат 16К20, трикулачковий патрон
30.1	Торцювати Пов.3 $z = 1,5\text{мм}$	Різець прохідний відігнутий правий, Т15К6, $\varphi = 45^\circ$, $\gamma = 10^\circ$, $\alpha = 8^\circ$, $B \times H \times L = 16 \times 25 \times 140$, ШЦ-1.
30.2	Точити на чорно $\phi 92_{-0,14}$ на $l = 55\text{мм}$ пов. 4	Різець прохідний упорний, ШЦ-1.
30.3	Точити начисто $\phi 80_{-0,1}$ на $l = 31\text{мм}$ Пов. 4	Різець прохідний упорний, ШЦ-1.
30.4	Зняти фаску $2 \times 45^\circ$ Пов.5	Різець прохідний відігнутий правий, Т15К6, $\varphi = 45^\circ$, $\gamma = 10^\circ$, $\alpha = 8^\circ$, $B \times H \times L = 16 \times 25 \times 140$, ШЦ-1.
30.5	Точити начорно $\phi 45^{+0,1}$ на $l = 95\text{мм}$ пов. 6	Різець розточний, Т15К6, $B \times H \times L = 16 \times 25 \times 140$, ШЦ-1.
30.6	Точити начисто $\phi 80^{+0,062}$ на $l = 62\text{мм}$ пов. 6	Розточити за припуском для розвертання, Т15К6, ШЦ-1.

30.7	Розвернути начорно $\phi 80^{+0,038}$ на $l = 62\text{мм}$ пов. 6	Розвернути отвір на чорно, Р6М5, ШЦ-1.
30.8	Розвернути начисто $\phi 80^{+0,025}$ на $l = 62\text{мм}$ пов. 6	Розвернути отвір начисто, Р6М5, Т15К6, ШЦ-1, калібр-пробка $\phi 45H7$
30.9	Зняти фаску $2 \times 45^\circ$ пов.7	Розточувальний різцем, Т15К6, ШЦ-1.
40.	Свердлильна УЗЗ	Свердлильний верстат 2А125, кондуктор, упор.
0.1	Свердлити отвір $\phi 10$ Пов. 8	Свердло $\phi 10$; Р6М5, ШЦ-1.
50.	Термічна УЗЗ	Установка в піч
50.1	Відпал	
60.	Шліфувальна УЗЗ	Внутрішньошліфувальний верстат 3А110В, трикулачковий патрон
60.1	Шліфувати начорно $\phi 80^{+0,025}$ на $l = 62\text{мм}$ пов.6	Круг $ПП - 25 \times 25 \times 32 \text{ 14A F40} - 50 \text{ C2 6 K 35 A 2 2424} - 83$,скоба $\phi 80H7$
60.2	Шліфувати начисто $\phi 80^{+0,025}$ на $l = 62\text{мм}$ пов.6	Круг $ПП - 25 \times 25 \times 32 \text{ 14A F40} - 50 \text{ C2 6 K 35 A 2 2424} - 83$,скоба $\phi 80H7$
70.	Мийна	Мийна машина
70.1	Промити деталь	
80.	Слюсарна	Верстак
80.1	Зняти задирки і притупити гострі кромки	
90.	Контрольна	Стіл контролера

7.2. Розрахунок припусків

Мінімальний припуск на оброблення поверхні розраховується

$$\text{одностороннього} - Z_{l_{\min}} = Rz_{l-1} + D_{l-1} + Tnp_{l-1} + \varepsilon_{y_i}$$

Rz_{I-1}, D_{I-1}, Tnp - відповідно висота мікронерівностей, глибина дефектного шару і сумарне значення допуску просторових відхилень оброблюваної поверхні на попередньому ступені її оброблення;

E_{yi} - похибка установки заготовки на даному ступені оброблення.

Максимальний припуск на оброблення

$$2Zi_{\max} = 2Zi_{\min} + T_{I-1} - T_I$$

T_{I-1} - допуск розміру поверхні на попередньому ступені оброблення

T_I - допуск розміру поверхні на даному ступені оброблення

Номінальний припуск на оброблення поверхонь

$$2Zi_{\text{ном}} = \frac{2Zi_{\max} + 2Zi_{\min}}{2}$$

Максимальні припуски служать для визначення зусиль різання під час оброблення, номінальні – для визначення сумарного припуску на оброблення поверхні.

Розрахунок загального припуску вилитої заготовки ведемо за найточнішим розміром $\varnothing 80H7$.

Розточити начорно $\varnothing 80H10$

$$2Z_{I\min} = 2(Rz_{I-1} + D_{I-1} + Tnp_{I-1} + \varepsilon_{y_i}) = 40 + 160 + 100 + 100 = 400 \text{ мкм}$$

$$2Zi_{\max} = 2Zi_{\min} + T_{I-1} - T_I = 400 + 250 - 160 = 490 \text{ мкм}$$

$$2Zi_{\text{ном}} = \frac{2Zi_{\max} + 2Zi_{\min}}{2} = \frac{400 + 490}{2} = 445 \text{ мкм}$$

Розточити начисто $\varnothing 80H10$

$$2Z_{I\min} = 2(Rz_{I-1} + D_{I-1} + Tnp_{I-1} + \varepsilon_{y_i}) = 62 + 62 + 100 + 100 = 324 \text{ мкм}$$

$$2Zi_{\max} = 2Zi_{\min} + T_{I-1} - T_I = 324 + 160 - 62 = 422 \text{ мкм}$$

$$2Zi_{\text{ном}} = \frac{2Zi_{\max} + 2Zi_{\min}}{2} = \frac{324 + 422}{2} = 372 \text{ мкм} \cong 375 \text{ мкм}$$

Розвернути отвір на чорно $\varnothing 80H9$:

$$2Z_{I\min} = 2(Rz_{I-1} + D_{I-1} + Tnp_{I-1} + \varepsilon_{y_i}) = 39 + 39 + 100 + 100 = 278 \text{ мкм}$$

$$2Zi_{\max} = 2Zi_{\min} + T_{I-1} - T_I = 278 + 62 - 39 = 301 \text{ мкм}$$

$$2Zi_{\text{ном}} = \frac{2Zi_{\max} + 2Zi_{\min}}{2} = \frac{278 + 301}{2} = 289,5 \text{ мкм} \cong 290 \text{ мкм}$$

Розвернути отвір начисто $\varnothing 80H7$:

$$2Z_{I_{\min}} = 2(R_{z_{I-1}} + D_{I-1} + Tnp_{I-1} + \varepsilon_{y_i}) = 25 + 30 + 100 + 100 = 255 \text{ мкм}$$

$$2Zi_{\max} = 2Zi_{\min} + T_{I-1} - T_I = 255 + 39 - 25 = 269 \text{ мкм}$$

$$2Zi_{\text{ном}} = \frac{2Zi_{\max} + 2Zi_{\min}}{2} = \frac{255 + 269}{2} = 269 \text{ мкм} \cong 270 \text{ мкм}$$

Загальний припуск

$$2Z_{\text{сум}} = \sum_1^i 2Zi_{\text{ном}} = 445 + 372 + 290 + 270 = 1377 \text{ мкм}$$

Приймаємо $2Z_{\text{сум}} = 4 \text{ мм}$.

7.3. Розрахунок технологічних операцій

Токарна операція

Перехід 20.1 Торцювати пов. 1 $z = 1,5 \text{ мм}$

- 1) Глибина різання: $t = z = 1,5 \text{ мм}$
- 2) Вибираємо подачу $S = 0,6 \dots 1,2 \text{ мм/об}$, приймаємо $S = 0,6 \text{ мм/об}$
- 3) Визначаємо швидкість різання:

$$V = \frac{C_V}{T^{0.2} \cdot t^{0.15} \cdot S^{0.35}} = \frac{175}{120^{0.2} \cdot 1.5^{0.15} \cdot 0.6^{0.35}} = 75,6 \text{ м/хв}$$

- 4) Визначаємо потрібну частоту обертання шпинделя верстата:

$$n_g = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d_3} = \frac{1000 \cdot 75,6}{3.14 \cdot 130} = 185,2 \text{ об/хв}$$

Приймаємо найближче менше: $n_g = 160 \text{ об/хв}$

- 5) Визначаємо дійсну швидкість обертання шпинделя:

$$V_{\text{дійсн}} = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3.14 \cdot 130 \cdot 160}{1000} = 65,3 \text{ м/хв}$$

- 6) Визначаємо розрахункову довжину оброблення:

$$L_p = L_0 + L_1 + L_2 + L_4, \text{ де}$$

$$L_0 = \frac{D_3}{2} = \frac{130}{2} = 65 \text{ мм} - \text{довжина оброблюваної поверхні заготовки};$$

$$L_1 = 2 \text{ мм} - \text{відстань для підведення різця до робочою поверхнею};$$

$$L_2 = t \cdot \text{ctg} \varphi = 1,5 \cdot \text{ctg} 45^\circ = 1,5 \text{ мм} - \text{врізання різця в заготовку};$$

$L_3 = 2\text{мм}$ - перебіг різця для завершення процесу обробленої поверхні.

$$L_p = L_0 + L_1 + L_2 + L_4 = 65 + 2 + 1,5 + 2 = 70,5\text{мм}$$

7) Визначаємо основний час на виконання переходу:

$$t_{01} = \frac{L}{n_s \cdot S} = \frac{70,5}{160 \cdot 0,6} = 0,73\text{хв}$$

Перехід 20.2 Точити пов2. $\varnothing 126h10$ начорно, $L=7\text{мм}$

1) Загальна глибина різання при обробленні заданої поверхні: $t = \frac{130 - 126}{2} = 2\text{мм}$

2) Вибираємо подачу $S = 0,6 \dots 1,2 \text{ мм/об}$, приймаємо $S = 0,6 \text{ мм/об}$

3) Визначаємо швидкість різання:

$$V = \frac{C_v}{T^{0,2} \cdot t^{0,15} \cdot S^{0,35}} = \frac{150}{120^{0,2} \cdot 1,75^{0,15} \cdot 0,6^{0,35}} = 63,31 \text{ м/хв}$$

4) Визначаємо потрібну частоту обертання шпинделя верстата:

$$n_s = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d_3} = \frac{1000 \cdot 63,31}{3,14 \cdot 130} = 155,1 \text{ об/хв}$$

5) Підводимо до справжніх обертів: $n_s = 125 \text{ об/хв}$

6) Визначаємо дійсну швидкість обертання шпинделя:

$$V_{\text{дійсн}} = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 126 \cdot 125}{1000} = 49,48 \text{ м/хв}$$

7) Визначаємо розрахункову довжину оброблення:

$$L_p = L_0 + L_1 + L_2 + L_4, \text{ де}$$

$L_0 = 7\text{мм}$ - довжина оброблюваної поверхні заготовки;

$L_1 = 2\text{мм}$ - відстань для підведення різця до робочою поверхнею;

$L_2 = t \cdot \text{ctg} \varphi = 1,75 \cdot \text{ctg} 45^\circ = 1,75\text{мм}$ - врізання різця в заготовку;

$L_3 = 0\text{мм}$ - перебіг різця для завершення процесу обробленої поверхні.

$$L_p = L_0 + L_1 + L_2 + L_4 = 7 + 2 + 1,75 + 0 = 9,75\text{мм}$$

8) Визначаємо основний час на виконання переходу:

$$t_{03} = \frac{L}{n_s \cdot S} = \frac{9,75}{125 \cdot 0,6} = 0,3\text{хв}$$

Перехід 20.3 Точити пов. 2 $\varnothing 126h10$ начисто, $L=7\text{мм}$

1) Вибираємо подачу $S = 0,18 \dots 0,22 \text{ мм/об}$, приймаємо $S = 0,2 \text{ мм/об}$

2) Визначаємо швидкість різання:

$$V = \frac{C_V}{T^{0.3} \cdot t^{0.1} \cdot S^{0.25}} = \frac{220}{120^{0.3} \cdot 0,25^{0.1} \cdot 0,2^{0.25}} = 89,87 \text{ м/хв}$$

3) Визначаємо потрібну частоту обертання шпинделя верстата:

$$n_e = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d_3} = \frac{1000 \cdot 89,87}{3,14 \cdot 129,25} = 220,2 \text{ об/хв}$$

4) Підводимо до справжніх обертів: $n_e = 200 \text{ об/хв}$

5) Визначаємо дійсну швидкість обертання шпинделя:

$$V_{\text{дійсн}} = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 126 \cdot 200}{1000} = 79,17 \text{ м/хв}$$

6) Визначаємо розрахункову довжину оброблення:

$$L_p = L_0 + L_1 + L_2 + L_4, \text{ де}$$

$L_0 = 7 \text{ мм}$ - довжина оброблюваної поверхні заготовки;

$L_1 = 2 \text{ мм}$ - відстань для підведення різця до робочою поверхнею;

$L_2 = t \cdot \text{ctg} \varphi = 0,25 \cdot \text{tg} 45^\circ = 0,25 \text{ мм}$ - врізання різця в заготовку;

$L_3 = 0 \text{ мм}$ - перебіг різця для завершення процесу обробленої поверхні.

$$L_p = L_0 + L_1 + L_2 + L_4 = 7 + 2 + 0,25 + 0 = 9,25 \text{ мм}$$

7) Визначаємо основний час на виконання переходу:

$$t_{\text{ос}} = \frac{L}{n_e \cdot S} = \frac{9,25}{200 \cdot 0,2} = 0,24 \text{ хв}$$

Перехід 30.1. Торцювати $z = 1,5 \text{ мм}$ пов.3

1) Глибина різання: $t = z = 1,5 \text{ мм}$

2) Вибираємо подачу $S = 0,6 \dots 1,2 \text{ мм/об}$, приймаємо $S = 0,6 \text{ мм/об}$

3) Визначаємо швидкість різання:

$$V = \frac{C_V}{T^{0.2} \cdot t^{0.15} \cdot S^{0.35}} = \frac{175}{120^{0.2} \cdot 1,5^{0.15} \cdot 0,6^{0.35}} = 75,6 \text{ м/хв}$$

4) Визначаємо потрібну частоту обертання шпинделя верстата:

$$n_6 = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d_3} = \frac{1000 \cdot 75,6}{3,14 \cdot 64,5} = 370,41 \text{ об/хв}$$

Приймаємо найближче менше: $n_6 = 315 \text{ об/хв}$

5) Визначаємо дійсну швидкість обертання шпинделя:

$$V_{\text{дійсн}} = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 63 \cdot 315}{1000} = 62,3 \text{ м/хв}$$

6) Визначаємо розрахункову довжину оброблення:

$$L_p = L_0 + L_1 + L_2 + L_4, \text{ де}$$

$$L_0 = \frac{D_3}{2} = \frac{64,5}{2} = 32,25 \text{ мм} - \text{довжина оброблюваної поверхні заготовки};$$

$L_1 = 2 \text{ мм}$ - відстань для підведення різця до робочою поверхнею;

$$L_2 = t \cdot \text{ctg} \varphi = 1,5 \cdot \text{ctg} 45^\circ = 1,5 \text{ мм} - \text{врізання різця в заготовку};$$

$L_3 = 2 \text{ мм}$ - перебіг різця для завершення процесу обробленої поверхні.

$$L_p = L_0 + L_1 + L_2 + L_4 = 32,25 + 2 + 1,5 + 2 = 37,75 \text{ мм}$$

7) Визначаємо основний час на виконання переходу:

$$t_{01} = \frac{L}{n_6 \cdot S} = \frac{37,75}{315 \cdot 0,6} = 0,35 \text{ хв}$$

Перехід 30.2 Точити начорно $\varnothing 92 \text{ h} 10$ начорно, $L = 55 \text{ мм}$ пов.4

1) Загальна глибина різання при обробленні заданої поверхні: $t = \frac{96 - 92}{2} = 2 \text{ мм}$

2) Вибираємо подачу $S = 0,6 \dots 1,2 \text{ мм/об}$, приймаємо $S = 0,6 \text{ мм/об}$

3) Визначаємо швидкість різання:

$$V = \frac{C_V}{T^{0,2} \cdot t^{0,15} \cdot S^{0,35}} = \frac{150}{120^{0,2} \cdot 1,75^{0,15} \cdot 0,6^{0,35}} = 63,31 \text{ м/хв}$$

4) Визначаємо потрібну частоту обертання шпинделя верстата:

$$n_6 = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d_3} = \frac{1000 \cdot 63,31}{3,14 \cdot 96} = 210 \text{ об/хв}$$

5) Підводимо до справжніх обертів: $n_6 = 200 \text{ об/хв}$

6) Визначаємо дійсну швидкість обертання шпинделя:

$$V_{\text{дійсн}} = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3.14 \cdot 92,25 \cdot 200}{1000} = 57,93 \text{ м/хв}$$

7) Визначаємо розрахункову довжину оброблення:

$$L_p = L_0 + L_1 + L_2 + L_4, \text{ де}$$

$L_0 = 55 \text{ мм}$ - довжина оброблюваної поверхні заготовки;

$L_1 = 2 \text{ мм}$ - відстань для підведення різця до робочою поверхнею;

$L_2 = t \cdot \text{ctg} \varphi = 1,75 \cdot \text{ctg} 45^\circ = 1,75 \text{ мм}$ - врізання різця в заготовку;

$L_3 = 0 \text{ мм}$ - перебіг різця для завершення процесу обробленої поверхні.

$$L_p = L_0 + L_1 + L_2 + L_4 = 55 + 2 + 1,75 + 0 = 59,75 \text{ мм}$$

8) Визначаємо основний час на виконання переходу:

$$t_{03} = \frac{L}{n_s \cdot S} = \frac{59,75}{200 \cdot 0,6} = 0,5 \text{ хв}$$

Перехід 30.3 Точити $\varnothing 92 \text{ h} 10$ начисто, $L = 55 \text{ мм}$ пов.4

1) Глибина різання $t = 0,25 \text{ мм}$

2) Вибираємо подачу $S = 0,18 \dots 0,22 \text{ мм/об}$, приймаємо $S = 0,2 \text{ мм/об}$

3) Визначаємо швидкість різання:

$$V = \frac{C_V}{T^{0,3} \cdot t^{0,1} \cdot S^{0,25}} = \frac{220}{120^{0,3} \cdot 0,25^{0,1} \cdot 0,2^{0,25}} = 89,87 \text{ м/хв}$$

4) Визначаємо потрібну частоту обертання шпинделя верстата:

$$n_s = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d_3} = \frac{1000 \cdot 89,87}{3.14 \cdot 92,25} = 310,3 \text{ об/хв}$$

5) Підводимо до справжніх обертів: $n_s = 250 \text{ об/хв}$

6) Визначаємо дійсну швидкість обертання шпинделя:

$$V_{\text{дійсн}} = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3.14 \cdot 92 \cdot 250}{1000} = 72,22 \text{ м/хв}$$

7) Визначаємо розрахункову довжину оброблення:

$$L_p = L_0 + L_1 + L_2 + L_4, \text{ де}$$

$L_0 = 55 \text{ мм}$ - довжина оброблюваної поверхні заготовки;

$L_1 = 2 \text{ мм}$ - відстань для підведення різця до робочою поверхнею;

$L_2 = t \cdot \text{ctg} \varphi = 1,75 \cdot \text{ctg} 45^\circ = 1,75 \text{ мм}$ - врізання різця в заготовку;

$L_3 = 0 \text{ мм}$ - перебіг різця для завершення процесу обробленої поверхні.

$$L_p = L_0 + L_1 + L_2 + L_4 = 55 + 2 + 1,75 + 0 = 59,75 \text{ мм}$$

8) Визначаємо основний час на виконання переходу:

$$t_{03} = \frac{L}{n_s \cdot S} = \frac{59,75}{250 \cdot 0,2} = 1,195 \text{ хв}$$

Перехід 30.4 Зняти фаску $1,6 \times 45^0$ пов.5

Частота обертання шпинделя залишається такою самою, як і під час зовнішнього точіння з тим, щоб не втрачати час на перемикання швидкості. Витрачений час на точіння галтелей і зняття фасок визначають за табл.Д.1.6, дод.1 і приймають як основний час $t_{04} = 0,18 \text{ хв}$.

Перехід 30.5 Точити на чорно $\varnothing 80 \text{ Н10}$ начорно, $L = 62 \text{ мм}$ пов.6

1) Загальна глибина різання при обробленні заданої поверхні: $t = \frac{80 - 76}{2} = 2 \text{ мм}$. Вибираємо $t = 0,75 \text{ мм}$

2) Вибираємо подачу $S = 0,5 \dots 0,9 \text{ мм/об}$, приймаємо $S = 0,6 \text{ мм/об}$

3) Визначаємо швидкість різання:

$$V = \frac{C_V}{T^{0,2} \cdot t^{0,15} \cdot S^{0,35}} = \frac{150}{120^{0,2} \cdot 0,75^{0,15} \cdot 0,6^{0,35}} = 71,89 \text{ м/хв}$$

4) Визначаємо потрібну частоту обертання шпинделя верстата:

$$n_s = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d_3} = \frac{1000 \cdot 71,89}{3,14 \cdot 76} = 301,23 \text{ об/хв}$$

5) Підводимо до справжніх обертів: $n_s = 250 \text{ об/хв}$

6) Визначаємо дійсну швидкість обертання шпинделя:

$$V_{\text{дійсн}} = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 77,25 \cdot 250}{1000} = 60,84 \text{ м/хв}$$

7) Визначаємо розрахункову довжину оброблення:

$$L_p = L_0 + L_1 + L_2 + L_4, \text{ де}$$

$L_0 = 62 \text{ мм}$ - довжина оброблюваної поверхні заготовки;

$L_1 = 2 \text{ мм}$ - відстань для підведення різця до робочою поверхнею;

$L_2 = t \cdot \text{ctg} \varphi = 1 \cdot \text{ctg} 45^0 = 1 \text{ мм}$ - врізання різця в заготовку;

$L_3 = 0\text{мм}$ - перебіг різця для завершення процесу обробленої поверхні.

$$L_p = L_0 + L_1 + L_2 + L_4 = 62 + 2 + 1 + 0 = 65\text{мм}$$

8) Визначаємо основний час на виконання переходу:

$$t_{03} = \frac{L}{n_e \cdot S} = \frac{65}{250 \cdot 0.6} = 0,43\text{хв}$$

Перехід 30.6 Точити $\varnothing 80\text{H9}$ начисто, $L=62\text{мм}$ пов.6

1) Вибираємо подачу $S = 0,18 \dots 0,22 \text{мм/об}$, приймаємо $S = 0,2 \text{мм/об}$.

Глибина різання $t = 0,25\text{мм}$

2) Визначаємо швидкість різання:

$$V = \frac{C_v}{T^{0.3} \cdot t^{0.1} \cdot S^{0.25}} = \frac{220}{120^{0.3} \cdot 0,25^{0.1} \cdot 0,2^{0.25}} = 89,87 \text{м/хв}$$

3) Визначаємо потрібну частоту обертання шпинделя верстата:

$$n_e = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d_3} = \frac{1000 \cdot 89,87}{3,14 \cdot 77} = 371,7 \text{об/хв}$$

4) Підводимо до справжніх обертів: $n_e = 315 \text{об/хв}$

5) Визначаємо дійсну швидкість обертання шпинделя:

$$V_{\text{дійсн}} = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 77,25 \cdot 315}{1000} = 76,66 \text{м/хв}$$

6) Визначаємо розрахункову довжину оброблення:

$$L_p = L_0 + L_1 + L_2 + L_4, \text{де}$$

$L_0 = 62\text{мм}$ - довжина оброблюваної поверхні заготовки;

$L_1 = 2\text{мм}$ - відстань для підведення різця до робочою поверхнею;

$L_2 = t \cdot \text{ctg} \varphi = 0,25 \cdot \text{ctg} 45^\circ = 0,25\text{мм}$ - врізання різця в заготовку;

$L_3 = 0\text{мм}$ - перебіг різця для завершення процесу обробленої поверхні.

$$L_p = L_0 + L_1 + L_2 + L_4 = 62 + 2 + 0,25 + 0 = 64,25\text{мм}$$

7) Визначаємо основний час на виконання переходу:

$$t_{03} = \frac{L}{n_e \cdot S} = \frac{64,25}{315 \cdot 0,2} = 1,02\text{хв}$$

Перехід 30.7 Розвернути начорно $\varnothing 80\text{H8}$ на $l = 62\text{мм}$ пов. 6

1) Глибина різання при обробленні заданої поверхні: $t = 0,5\text{мм}$

2) Вибираємо подачу $S = 0,5 \dots 0,9 \text{ мм/об}$, приймаємо $S = 0,6 \text{ мм/об}$

3) Визначаємо швидкість різання:

$$V = \frac{C_V}{T^{0.2} \cdot t^{0.15} \cdot S^{0.35}} = \frac{150}{120^{0.2} \cdot 0,5^{0.15} \cdot 0,6^{0.35}} = 63,31 \text{ м/хв}$$

4) Визначаємо потрібну частоту обертання шпинделя верстата:

$$n_g = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d_3} = \frac{1000 \cdot 63,31}{3,14 \cdot 77} = 260,2 \text{ об/хв}$$

5) Підводимо до справжніх обертів: $n_g = 250 \text{ об/хв}$

6) Визначаємо дійсну швидкість обертання шпинделя:

$$V_{\text{дійсн}} = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 77,5 \cdot 250}{1000} = 61,6 \text{ м/хв}$$

7) Визначаємо розрахункову довжину оброблення:

$$L_p = L_0 + L_1 + L_2 + L_4, \text{ де}$$

$L_0 = 62 \text{ мм}$ - довжина оброблюваної поверхні заготовки;

$L_1 = 2 \text{ мм}$ - відстань для підведення різця до робочою поверхнею;

$L_2 = t \cdot \text{ctg} \varphi = 0,5 \cdot \text{ctg} 45^\circ = 0,5 \text{ мм}$ - врізання різця в заготовку;

$L_3 = 0 \text{ мм}$ - перебіг різця для завершення процесу обробленої поверхні.

$$L_p = L_0 + L_1 + L_2 + L_4 = 62 + 2 + 0,5 + 0 = 64,5 \text{ мм}$$

8) Визначаємо основний час на виконання переходу:

$$t_{03} = \frac{L}{n_g \cdot S} = \frac{64,5}{250 \cdot 0,6} = 0,43 \text{ хв}$$

Перехід 30.8 Розвернути $\varnothing 80H7$ начисто, $L = 62 \text{ мм}$ пов.6

1) Глибина різання при обробленні заданої поверхні: $t = 0,25 \text{ мм}$

2) Вибираємо подачу $S = 0,18 \dots 0,22 \text{ мм/об}$, приймаємо $S = 0,2 \text{ мм/об}$

3) Визначаємо швидкість різання:

$$V = \frac{C_V}{T^{0.3} \cdot t^{0.1} \cdot S^{0.25}} = \frac{220}{120^{0.3} \cdot 0,25^{0.1} \cdot 0,2^{0.25}} = 89,87 \text{ м/хв}$$

3) Визначаємо потрібну частоту обертання шпинделя верстата:

$$n_g = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d_3} = \frac{1000 \cdot 89,87}{3,14 \cdot 79,5} = 360,01 \text{ об/хв}$$

4) Підводимо до справжніх обертів: $n_g = 315 \text{ об/хв}$

5) Визначаємо дійсну швидкість обертання шпинделя:

$$V_{\text{дійсн}} = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3.14 \cdot 79,75 \cdot 315}{1000} = 88,6 \text{ м/хв}$$

6) Визначаємо розрахункову довжину оброблення:

$$L_p = L_0 + L_1 + L_2 + L_4, \text{ де}$$

$L_0 = 62 \text{ мм}$ - довжина оброблюваної поверхні заготовки;

$L_1 = 2 \text{ мм}$ - відстань для підведення різця до робочою поверхнею;

$L_2 = t \cdot \text{ctg} \varphi = 0,25 \cdot \text{ctg} 45^\circ = 0,25 \text{ мм}$ - врізання різця в заготовку;

$L_3 = 0 \text{ мм}$ - перебіг різця для завершення процесу обробленої поверхні.

$$L_p = L_0 + L_1 + L_2 + L_4 = 62 + 2 + 0,25 + 0 = 64,25 \text{ мм}$$

7) Визначаємо основний час на виконання переходу:

$$t_{03} = \frac{L}{n_g \cdot S} = \frac{64,25}{315 \cdot 0,2} = 1,02 \text{ хв}$$

Перехід 30.9 Зняти фаску $1,6 \times 45^\circ$ пов.7

Частота обертання шпинделя залишається такою самою, як і під час зовнішнього точіння з тим, щоб не втрачати час на перемикання швидкості. Витрачений час на точіння галтелей і зняття фасок визначають за табл.Д.1.6, дод.1 і приймають як основний час $t_{04} = 0,18 \text{ хв}$.

Основний час для виконання всієї токарної операції становить:

$$T_0 = \sum_{i=1}^n t_{0i} = t_{01} + t_{02} = \\ = (0,73 + 0,3 + 0,24) + (0,35 + 0,5 + 1,195 + 0,18 + 0,43 + 1,02 + 0,13 + 1,02 + 0,18) = 6,58 \text{ хв}$$

Допоміжний час для виконання всієї токарної операції становить:

$$T_\delta = \sum_{i=1}^n t_{\delta i} = 3 \cdot 0,24 + 0,05 \cdot 11 = 1,27 \text{ хв}$$

Оперативний час:

$$T_{on} = T_0 + T_\delta = 6,58 + 1,27 = 7,85 \text{ хв}$$

Штучний час визначається:

$$T_{шт} = T_{on} + T_{об} + T_{пер} = 7,85 + 0,045 \cdot 7,85 + 0,06 \cdot 7,85 = 8,67 \text{ хв}$$

Підготовчо-завершальний час:

$$T_{nz} = T_{nz1} + T_{nz2} = 9 + 7 = 16 \text{ хв}$$

Калькуляційний час:

$$T_k = T_{um} + \frac{T_{nz}}{n} = 8,67 + \frac{16}{500} = 8,71 \text{ хв}$$

Норма виробітку за 1 год становить:

$$N = \frac{60}{T_k} = \frac{60}{8,71} \cong 6 \text{ деталей}$$

Свердлильна операція

Перехід 40.1 Свердлити отвір $\varnothing 8$ на $l = 7 \text{ мм}$ 6 штук при 60° пов.8

1) Рекомендована подачі $S = 0,16 \dots 0,20 \text{ мм/об}$ (табл.44), приймаємо

$$S = 0,18 \text{ мм/об}$$

2) Визначаємо швидкість різання:

$$V = \frac{8 \cdot D_{ce}^{0,4}}{T^{0,2} \cdot S_z^{0,7}} = \frac{8 \cdot 8^{0,4}}{120^{0,2} \cdot 0,18^{0,7}} = 25,62 \text{ м/хв}$$

5) Розрахункова частота обертання шпинделя:

$$n_g = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D_{ce}} = \frac{1000 \cdot 25,62}{3,14 \cdot 8} = 815,92 \text{ об/хв}$$

6) Розрахункову частоту обертання n_g коригуємо $n_p = 710 \text{ об/хв}$, яке використовуємо у подальших розрахунках.

7) Реальна швидкість різання:

$$V_{дійсн} = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 10 \cdot 710}{1000} = 22,29 \text{ м/хв}$$

8) Визначаємо основний час на виконання переходу:

$$t_{01} = \frac{\pi \cdot L}{n_g \cdot S} = \frac{3,14 \cdot 7}{710 \cdot 0,18} = 0,147 \text{ хв}$$

$$t_{01} = 0,147 \cdot 6 = 0,88 \text{ хв}$$

Основний час для виконання всієї свердлильної операції становить:

$$T_0 = \sum_{i=1}^n t_{0i} = t_{01} = 0,88 + 0,08 = 0,96 \text{ хв}$$

Допоміжний час для виконання всієї токарної операції становить:

$$T_\partial = \sum_{i=1}^n t_{0i} = t_{01} + t_{02} = 0,08 + 0,08 = 0,16 \text{ хв}$$

Оперативний час:

$$T_{on} = T_0 + T_\delta = 0,96 + 0,16 = 1,12 \text{ хв}$$

Штучний час визначається:

$$T_{шт} = T_{on} + T_{об} + T_{nm} = 1,12 + \frac{1,5 + 6}{100} \cdot 1,12 = 1,204 \text{ хв}$$

Підготовчо-завершальний час:

$$T_{nz} = T_{nz1} + T_{nz2} = 6 + 5 = 11 \text{ хв}$$

Калькуляційний час:

$$T_k = T_{шт} + \frac{T_{nz}}{n} = 1,204 + \frac{11}{500} = 1,226 \text{ хв}$$

Норма виробітку за 1 год становить:

$$N = \frac{60}{T_k} = \frac{60}{1,226} = 48 \text{ деталей}$$

Шліфувальна операція

Перехід 90.1-Шліфувати $\varnothing 80H7$ на $l = 62 \text{ мм}$ пов. 6

1) Глибина шліфування $t = 0,015 \text{ мм}$ (табл. Д.4.2, дод.4)

2) Розраховуємо поздовжню подачу:

$$S_{позд} = \beta \cdot B = 0,45 \cdot 25 = 11,25 \text{ мм/об}$$

$\beta = 0,45$ - розрахунковий коефіцієнт (табл. Д.4.4, дод.4);

$B = 25 \text{ мм}$ - ширина шліфованого круга.

3) Розрахункова швидкість переміщення деталі:

$$V = \frac{C_v \cdot D_{омк}^K}{T^m \cdot t^x \cdot \beta} = \frac{0,24 \cdot 80^{0,3}}{30^{0,5} \cdot 0,015^1 \cdot 0,45} = 24,17 \text{ м/хв}$$

4) Розраховуємо частоту обертання деталі:

$$n_6 = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D_\delta} = \frac{1000 \cdot 24,17}{3,14 \cdot 80} = 96,22 \text{ об/хв}$$

5) Розрахункову частоту обертання n_6 коригуємо $n_p = 150 \text{ об/хв}$, яке використовуємо у подальших розрахунках.

6) Реальна швидкість різання:

$$V_{дійсн} = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 80 \cdot 150}{1000} = 21,2 \text{ м/хв}$$

7) Визначаємо швидкість переміщення стола за формулою:

$$V_{\text{дійсн}} = \frac{S_{\text{нозд}} \cdot n}{1000} = \frac{11,25 \cdot 150}{1000} = 1,69 \text{ м/хв}$$

8) Визначаємо розрахункову довжину оброблення:

$$L_p = L_0 + L_1 + B + L_3, \text{ де}$$

$L_0 = 62 \text{ мм}$ - довжина оброблюваної поверхні заготовки;

$L_1 = 7,5 \text{ мм}$ - відстань для підведення круга до робочою поверхнею;

$L_3 = 7,5 \text{ мм}$ - перебіг круга для завершення процесу обробленої поверхні.

$$L_p = L_0 + L_1 + B + L_3 = 62 + 0,3 \cdot 25 + 25 + 0,3 \cdot 25 = 102 \text{ мм}$$

9) Визначаємо основний час на виконання переходу:

$$t_{02} = \frac{\pi \cdot L_p \cdot h}{n_g \cdot S} = \frac{3,14 \cdot 102 \cdot 0,1}{150 \cdot 0,18} = 0,64 \text{ хв}$$

Основний час для виконання всієї токарної операції становить:

$$T_0 = \sum_{i=1}^n t_{0i} = t_{01} = 0,64 \text{ хв}$$

Допоміжний час для виконання всієї токарної операції становить:

$$T_{\partial} = \sum_{i=1}^n t_{\partial i} = t_{\partial 1} = 0,08 \text{ хв}$$

Оперативний час:

$$T_{on} = T_0 + T_{\partial} = 0,64 + 0,08 = 0,72 \text{ хв}$$

Штучний час визначається:

$$T_{um} = T_{on} + T_{об} + T_{mn} = 0,72 + \frac{1,5 + 6}{100} \cdot 0,72 = 0,77 \text{ хв}$$

Підготовчо-завершальний час:

$$T_{n3} = T_{n31} + T_{n32} = 6 + 5 = 11 \text{ хв}$$

Калькуляційний час:

$$T_k = T_{um} + \frac{T_{n3}}{n} = 0,77 + \frac{11}{500} = 0,79 \text{ хв}$$

Норма виробітку за 1 год становить:

$$N = \frac{60}{T_k} = \frac{60}{0,79} \approx 75 \text{ деталі}$$

8. ВИМОГИ ЩОДО МОНТАЖУ, ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА РЕМОНТУ

8.1. Вимоги до експлуатації та технічного обслуговування

Надійна та довговічна робота пакувального автомата можлива лише за умов суворого дотримання інструкцій з експлуатації, а також своєчасного проведення планових технічних обслуговувань і ремонтно-профілактичних заходів. Усі роботи повинні проводитися згідно з положеннями керівництва з експлуатації, затвердженого виробником.

До монтажу, налаштування, експлуатації та обслуговування пристрою допускаються лише особи, які пройшли відповідну підготовку, ознайомлені з конструкцією агрегату та пройшли обов'язковий інструктаж із техніки безпеки.

Рекомендується, щоб пусконаладжувальні роботи виконувалися спеціалістами організації-виробника. У разі залучення сторонніх організацій, відповідальність за результат і подальшу експлуатаційну надійність агрегату виготовлювач не несе.

Пусконаладжувальні роботи можливі лише за наявності укладеного договору між замовником і виробником. До моменту прибуття наладчиків агрегат повинен бути повністю змонтований відповідно до технічних вимог і підключений до всіх джерел живлення та стисненого повітря.

Запасні частини, що постачаються разом із пристроєм, призначені для первинного обслуговування в гарантійний період. Поставка запчастин для середніх і капітальних ремонтів здійснюється відповідно до затверджених нормативів забезпечення.

8.2. Розміщення, транспортування та монтаж

Обладнання встановлюється на рівну промислову підлогу, у приміщенні, яке відповідає санітарно-технічним вимогам, з передбаченим вільним доступом для обслуговування з усіх боків. Висота приміщення має бути достатньою для використання підйомно-транспортного обладнання при проведенні демонтажу вузлів.

Транспортування пристрою виконується у захисній упаковці з використанням автотранспорту або інших засобів, які гарантують цілісність та стабільність агрегату. Поблизу місця монтажу проводиться розпакування та збірка комплектності за товаросупровідними документами.

Монтаж здійснюється в кілька етапів:

- розміщення агрегату на встановленому місці;
- збирання опорних стійок;
- регулювання горизонтального положення;
- розконсервація та очищення деталей від технічних мастил;
- монтаж трубопроводів стисненого повітря із забезпеченням герметичності;
- встановлення та підключення електрошкафи;
- підключення електродвигуна та системи заземлення;
- маркування трубопроводів згідно з нормативами ДСТУ.

Після перевірки цілісності вузлів здійснюється перший запуск у налагоджувальному режимі, де перевіряється плавність ходу, відсутність заїдань, перегріву та сторонніх шумів. Після обкатування — оформлюється акт завершення монтажу та готовності до пусконаладжувальних робіт.

8.3. Підналагодження та введення в експлуатацію

Перед пуском обладнання наладчик виконує візуальний огляд на предмет комплектності, перевіряє монтаж трубопроводів і вузлів, змащує механізми, тестує пневмосистему та виконує регулювання дозаторів і приводів.

До основних процедур належать:

- продування магістралей стисненого повітря;
- перевірка щільності затискачів, фіксаторів і кріплень;
- змащення вузлів згідно зі схемою змащення;
- тестування руху лотка з продуктом;
- перевірка плавності подачі та правильного позиціонування упаковки;

- контроль якості ріжучої кромки ножа.

Обладнання запускається спочатку в режимі холостого ходу. Усі механізми повинні працювати плавно, без ривків, без сторонніх шумів, вібрацій або перегріву підшипників. Лише після завершення всіх процедур виконується пробний запуск із продуктом і оформлюється протокол вводу в експлуатацію.

8.4. Типові несправності та причини їх виникнення

Пневматична система пакувального обладнання є важливою частиною технологічного процесу, оскільки забезпечує роботу виконавчих механізмів, зокрема пневмоциліндрів, штовхачів, клапанів, захватів і притискачів. Надійність цієї системи безпосередньо впливає на ритмічність фасування, точність позиціонування плівки, герметичність зварювальних швів, а також безпеку експлуатації обладнання в цілому. Типові несправності пневмосистеми зумовлені як конструктивними, так і експлуатаційними чинниками.

Найбільш поширені причини несправностей:

- **Зношення трубопроводів або їх пошкодження.** Після тривалої експлуатації або в умовах підвищеної вологості, пилу, а також за наявності вібрацій можливе утворення мікротріщин, стирання або механічних розривів трубок. Це призводить до втрати тиску, порушення герметичності системи або повного виходу з ладу окремих вузлів.

- **Погана якість підготовки стисненого повітря.** Забруднене повітря, яке містить краплі води, мастильні залишки, пил або іржу з внутрішньої поверхні компресорних ліній, негативно впливає на роботу клапанів, фільтрів і рухомих частин пневмоелементів. Це часто стає причиною заклинювання, стирання ущільнень та швидкого зносу деталей.

• **Перевантаження вузлів.** Неправильно підібраний тиск, порушення регламенту подачі повітря, збільшення навантаження на штовхаючі механізми або плівкопротягуючі вузли може призвести до деформації штоків, пошкодження пневмоциліндрів і зростання втрат повітря через нещільності.

• **Порушення геометрії при монтажі.** Перекоси з'єднань, натягнуті трубопроводи, несумісність різьбових або фітингових з'єднань є потенційним джерелом витоків повітря, зниження стабільності тиску та прискореного зносу елементів. Такі порушення часто не виявляються одразу, але проявляються при навантаженні.

• **Неправильне з'єднання або некваліфіковане обслуговування.** Пошкодження ущільнень під час складання, неправильне підключення магістралей, відсутність регулярної перевірки фільтрів і відстійників — усе це веде до порушень в роботі автоматів. Також часто нехтують регламентом заміни мастил або ігнорують сигналізацію зниження тиску.

Основні наслідки типових несправностей:

• **Заклинювання або поломка пневматичних елементів.** Це може статися як унаслідок надлишкового тиску, так і через попадання сторонніх частинок у рухомі вузли. Часто пошкоджуються ущільнення, направляючі втулки або самі штоки.

• **Зниження тиску в пневмомагістралі.** Цей фактор є критичним, оскільки при зменшенні тиску нижче робочого рівня (зазвичай 0,4–0,6 МПа) відбувається втрата швидкості, сили тиску на плівку, недостатнє притискання елементів і відмова в роботі зварювального вузла.

• **Зміна або нестабільність зусиль пневмоциліндрів.** Через це можливе неякісне зварювання, нерівномірне переміщення упаковки, затримка у викиді пакетів або неточність дозування продукту.

•Зменшення або збільшення швидкості переміщення штоків.

Порушення регулювання витрат повітря, забруднення клапанів або несправність пневморозподільників призводять до асинхронної роботи механізмів, що загрожує порушенням технологічного циклу.

•Порушення герметичності вузлів. Витоки на з'єднаннях, особливо на швидкознімних або різьбових фітингах, можуть мати як локальний, так і системний характер. У ряді випадків через це відбувається втрата контрольованості над виконавчими механізмами.

•Низька якість або несумісність мастил. Використання сторонніх або непридатних для пневматичних систем змазувальних матеріалів призводить до руйнування ущільнень, залипання поршнів, зниження ресурсу клапанів.

Висновки щодо профілактики

Своєчасна діагностика та виконання регламентних профілактичних робіт — запорука безперебійної та стабільної роботи пакувального агрегату. Регулярна перевірка герметичності з'єднань, стану фільтрів, змащення вузлів і очищення повітря дозволяє знизити кількість аварійних зупинок, подовжити міжремонтний інтервал, а також підвищити якість готової продукції.

Особливу увагу слід приділяти обслуговуванню фільтрів-вологовіддільників, очищенню магістралей перед запуском, використанню сертифікованого стисненого повітря та грамотному введенню в експлуатацію після тривалого простою

9. СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ

9.1. Функціональна схема роботи пакувального агрегату

Система управління модернізованим автоматом для пакування сухих каш швидкого приготування побудована на принципах автоматичного контролю, регулювання та сигналізації основних технологічних параметрів, зокрема: маси дози, температури зварювання, натягу плівки, положення пакетів та рівня продукту в бункері.

Процес пакування реалізується наступним чином: підготовлений сухий продукт надходить до бункера дозатора, де за допомогою автоматизованого приводного механізму формується необхідна доза в мірних стаканчиках. Після цього продукція висипається у сформовану плівкову упаковку, яка проходить через вузли зварювання. Пакет герметизується, за потреби — комплектується ZIP-застібкою, відрізається і подається на вихідний конвеєр.

Управління агрегатом здійснюється з панелі оператора, яка об'єднує елементи пускової, сигнальної, захисної та виконавчої апаратури, а також містить інтерфейс введення параметрів.

9.2. Засоби автоматизації та контролю

У складі системи управління передбачено:

- **Електронний дозатор із зворотним зв'язком**, що працює в парі з ваговим контролером. Зчитування маси кожного пакета здійснюється тензометричними вагами, які передають сигнал на мотор-редуктор для корекції дози без зупинки агрегата.

- **Фотоелектричні датчики положення плівки**, що відповідають за точне позиціонування упаковки у зварювальному вузлі. При відхиленні пакета від заданої траєкторії спрацьовує система автокорекції натягу.

- **Терморегулятори з термопарами типу ТСП-138 або ТСП-864**, які контролюють температуру зварювальних елементів. Діапазон регулювання – від 100 до 300 °С. Це забезпечує стабільність герметичного шва незалежно від швидкості пакування.

• **Датчик рівня у бункері**, що сигналізує про недостатню кількість продукту і передає команду на подачу сировини. Тип: ультразвуковий або ємнісний.

• **Система захисту приводу з реле перевантаження та звуковою сигналізацією**. У разі перевищення струмового навантаження або блокування механізму вмикається аварійне відключення.

• **Кінцеві вимикачі** на рухомих кришках агрегату (тип ВПК-2110), що забороняють запуск обладнання при відкритому захисному кожусі, запобігаючи травмуванню персоналу.

9.3. Алгоритм керування

1. Оператор вмикає головний тумблер і проводить самодіагностику контролера.
2. При достатньому рівні продукту запускається механізм дозування.
3. Формувальна плівка протягується через рукавоутворювач і позиціонується за фотоміткою.
4. Відбувається наповнення упаковки продуктом, одночасно спрацьовують вузли поздовжнього і поперечного зварювання.
5. Зварений і відрізаний пакет подається на вихідний конвеєр.
6. Одночасно проводиться зважування пакета, результат якого визначає необхідність корекції дози.
7. У разі виявлення помилки в позиціонуванні, температурі або тиску — обладнання зупиняється та спрацьовує світлова/звукова індикація.

9.4. Специфікація на прилади та засоби автоматизації

Параметр	Засіб контролю	Тип пристрою	Кількість	Місце встановлення
Маса дози	Ваговий тензодатчик + контролер	ТВА-01 + ПВК-2	1	Приймальний лоток

Параметр	Засіб контролю	Тип пристрою	Кількість	Місце встановлення
Температура	Термопара регулятор	ТСП-864 + ТРМ500	2	Зварювальні головки
Рівень продукту	Датчик рівня	УЗ-PI-24	1	Бункер дозатора
Положення плівки	Фотоелектричний датчик	OMRON E3Z	1	Перед зоною зварювання
Захист приводу	Реле перевантаження	РТЛ-101	1	Силовий ланцюг електродвигуна
Безпека кришок	Кінцевий вимикач	ВПК-2110	2	Кришки дозатора і зварювального вузла

9.5. Система сигналізації та індикації

Для забезпечення безпеки та зручності експлуатації передбачено:

- **Світлова сигналізація** про стан вузлів: зелений – «робота», жовтий – «увага», червоний – «аварія»;
- **Звукова сигналізація** при аварійному зупиненні;
- **Цифрова індикація температури, дози та кількості упаковок на зміну;**
- **Зовнішній порт для підключення до SCADA або ПК (RS-485 або Ethernet)** – опціонально.

Висновки: впроваджена система управління забезпечує високий рівень автоматизації процесу пакування, точність дозування, стабільну якість зварювання плівки та ефективний контроль усіх ключових параметрів. Застосування сучасних засобів автоматизації значно зменшує участь людини в рутинних операціях, підвищує продуктивність та знижує імовірність браку.

10. ЗАХОДИ ЩОДО ОХОРОНИ ПРАЦІ, ЕКОЛОГІЇ

Однією з головних вимог до впровадження та модернізації харчового обладнання є забезпечення безпечних умов праці персоналу та дотримання екологічних норм. Під час проєктування та вдосконалення пакувального агрегату для фасування сипких харчових продуктів передбачено реалізацію комплексу заходів, спрямованих на запобігання виробничим ризикам, зменшення техногенного навантаження на довкілля, оптимізацію умов експлуатації та підвищення надійності технологічного процесу.

10.1. Нормативна база охорони праці

Організація безпечної роботи пакувального обладнання здійснюється відповідно до чинного законодавства України. Основу нормативного регулювання складають Закон України «Про охорону праці», Кодекс законів про працю, а також ДСТУ, ДБН, галузеві стандарти, інструкції з безпеки виробництва. Додатково враховуються вимоги санітарно-гігієнічного контролю та пожежної безпеки.

На підприємстві розробляються локальні нормативні документи: інструкції з охорони праці для операторів, графіки інструктажів, протоколи перевірки знань, журнали реєстрації допусків, акти перевірки технічного стану обладнання, плани евакуації, протипожежні заходи.

10.2. Організація охорони праці на дільниці

Усі працівники, що допускаються до обслуговування модернізованого пакувального автомата, проходять обов'язковий вступний інструктаж, первинний інструктаж на робочому місці, а також періодичне навчання з техніки безпеки та надання домедичної допомоги. До самостійної роботи працівник допускається лише після стажування, тривалість якого становить від 2 до 15 змін залежно від складності обладнання та кваліфікації оператора.

Первинне навчання та інструктажі фіксуються в спеціальних журналах, затверджених службою охорони праці. Окрім того, періодично проводяться позапланові інструктажі у разі зміни технологічного процесу або конструкції

агрегату, виявлення порушень, нещасних випадків або профілактичних заходів.

10.3. Виробничі небезпеки та захист персоналу

У процесі експлуатації обладнання виникають типові шкідливі та небезпечні фактори, серед яких:

- запылення робочої зони дрібнодисперсними фракціями;
- шум і вібрація від роботи механізмів;
- термічні небезпеки при зварюванні плівки;
- рухомі частини вузлів, що можуть спричинити травмування;
- вплив електричного струму при неправильному заземленні.

Для мінімізації цих ризиків обладнання укомплектоване захисними кожухами, аварійними вимикачами, кінцевими вимикачами на дверцятах, датчиками блокування, пневматичними пригнічувачами ударів. Передбачено автоматичний контроль температури, зусилля стискання та положення плівки.

Працівники забезпечуються засобами індивідуального захисту відповідно до характеру роботи: протипиловими масками, шумозахисними навушниками, гумовими рукавичками, антиковзним взуттям, спецодягом з антистатичними властивостями.

10.4. Санітарно-гігієнічні умови праці

Мікроклімат приміщення, де встановлений пакувальний автомат, підтримується на рівні оптимальних значень: температура повітря в холодний період року – 17–22 °С, у теплий – 20–27 °С; відносна вологість – до 75%; швидкість повітря – не більше 0,2 м/с. За рівнем шуму робоче місце відповідає вимогам ГОСТ 12.1.003-83: звуковий тиск не перевищує 85 дБ у широкому частотному діапазоні.

Контроль запыленості здійснюється шляхом встановлення вентиляційного каналу з фільтром грубого та тонкого очищення, оснащеного змінним мішком для збору харчового пилю. Своєчасне очищення вузлів зсипання продукту та регулярне обслуговування системи витяжки

дозволяють підтримувати запиленість у межах допустимих норм – до 6 мг/м³ для харчового пилу рослинного походження.

10.5. Вимоги до екологічної безпеки

З метою дотримання вимог екологічної безпеки на дільниці фасування реалізовані такі заходи:

- застосування енергоефективних електроприводів із частотним регулюванням;
- використання багатошарових плівок, що піддаються переробці;
- мінімізація втрат сировини шляхом точного дозування;
- впровадження ZIP-застібки, яка дозволяє споживачам зберігати продукт у закритій упаковці після відкриття, зменшуючи кількість відходів харчів;
- збір та централізоване видалення виробничого пилу та бракованої продукції.

Обладнання не передбачає викидів у воду, ґрунт чи атмосферу, окрім пилових частинок, які повністю локалізуються у фільтраційній системі. Таким чином, вплив на навколишнє середовище є мінімальним і повністю контрольованим.

10.6. Висновки

Модернізований агрегат для пакування сипких харчових продуктів відповідає сучасним вимогам техніки безпеки, гігієни праці та екологічної відповідальності. Його конструкція дозволяє мінімізувати виробничі ризики, забезпечити комфортні умови праці операторів та зменшити техногенне навантаження на навколишнє середовище. Реалізовані заходи значно підвищують надійність обладнання, знижують витрати на медичні огляди, санітарно-гігієнічне забезпечення та зменшують ймовірність виникнення аварійних ситуацій.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційного проєкту було розроблено пояснювальну записку та графічну частину, що складається з п'яти аркушів формату А1. У записці всебічно висвітлено технічну й наукову складову проєкту: подано аналітичний огляд існуючих конструкцій машин для пакування сипких харчових продуктів, здійснено порівняльну оцінку їх ефективності, висвітлено особливості процесів зварювання термопластичних плівок, описано конструктивні особливості нових вузлів і механізмів, надано докладну розрахункову частину з обґрунтуванням вибраних рішень. Графічна частина включає креслення: загального вигляду вдосконаленого агрегату, модернізованого дозатора, механізму розмотування плівки, пристрою нанесення ZIP-застібки, а також креслення технологічного процесу виготовлення деталі "мірний стаканчик".

У результаті проведених досліджень та проєктних розрахунків запропоновано вдосконалену конструкцію агрегату для пакування сипкої продукції, що забезпечує вищий рівень автоматизації, зменшення похибки дозування, підвищену зручність обслуговування та поліпшення функціональних характеристик. Впровадження системи нанесення ZIP-застібки дозволяє вирішити актуальну задачу багаторазового відкривання та закривання упаковки без втрати герметичності та споживчих якостей продукту. Така упаковка не лише захищає продукт від просипання, зволоження, втрати аромату та забруднень, а й підвищує її привабливість для кінцевого споживача, що є важливим фактором у конкурентному ринковому середовищі.

У контексті сучасних тенденцій розвитку харчової галузі особливу увагу приділено питанням ресурсозбереження та енергоефективності. Зокрема, застосування електродвигунів із частотним регулюванням, автоматичного дозування та покращеної конфігурації вузлів дозволяє знизити витрати електроенергії, зменшити зношуваність деталей і продовжити термін служби обладнання.

Разом з тим, модернізація конструкції передбачає певні складності у реалізації технологічного процесу, пов'язані з точним позиціюванням плівки та необхідністю додаткової синхронізації роботи дозатора, зварювального вузла та механізму нанесення ZIP-застібки. Це зумовлює дещо вищу вартість виготовлення та впровадження обладнання, однак очікувані економічні переваги від збільшення продуктивності, скорочення браку та покращення якості упаковки компенсують додаткові витрати в коротко- та середньостроковій перспективі.

Таким чином, розроблений у кваліфікаційній роботі варіант модернізованого пакувального агрегату демонструє високий рівень технічної обґрунтованості, інженерної логіки та практичної значущості. Реалізація проєкту дозволяє не лише вдосконалити технологію фасування сухих каш швидкого приготування, але й вивести продукт на якісно новий рівень конкурентоспроможності, відповідно до сучасних вимог споживчого ринку та виробничої ефективності

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Білецький В. С. Технологія пакування харчових продуктів : навч. посіб. Київ : Центр учбової літератури, 2018. 320 с.
2. Григоренко В. І., Ковальчук О. М. Основи автоматизації харчових виробництв : навч. посіб. Київ : Ліра-К, 2020. 256 с.
3. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Київ : Мінекономрозвитку України, 2016. 16 с.
4. Зінченко В. П. Охорона праці в харчовій промисловості : підручник. Харків : ХНАУ, 2017. 312 с.
5. Коваленко Л. М. Екологічна безпека харчових виробництв : монографія. Одеса : ОНАХТ, 2019. 280 с.
6. Мельник А. В. Основи проектування пакувального обладнання : навч. посіб. Львів : Видавництво ЛНУ, 2016. 198 с.
7. Петренко І. С. Технологія зберігання та пакування харчових продуктів : навч. посіб. Київ : Ліра-К, 2015. 240 с.
8. Сидоренко О. В. Автоматизація процесів пакування : навч. посіб. Харків : ХНТУСГ, 2018. 276 с.
9. Ткаченко В. І. Основи охорони праці : підручник. Київ : Центр учбової літератури, 2021. 352 с.
10. Шевченко Л. П. Екологія та охорона навколишнього середовища : навч. посіб. Київ : Ліра-К, 2020. 288 с.
11. Білик О. В. Системи автоматизації виробничих процесів : навч. посіб. Київ : КНЕУ, 2020. 268 с.
12. Верескун С. А. Проектування машин та обладнання харчових виробництв : навч. посіб. Київ : Центр учбової літератури, 2022. 312 с.
13. Гнатюк О. В. Основи охорони праці : навч. посіб. Київ : Ліра-К, 2021. 280 с.
14. Давидович Г. А. Гігієна праці та виробнича санітарія : підручник. Київ : Медицина, 2020. 376 с.

- 15.Дзюба Ю. В. Інженерна екологія : підручник. Харків : ХНАДУ, 2019. 264 с.
- 16.Жуков С. В., Мельник М. В. Автоматизація виробничих процесів у харчовій промисловості : навч. посіб. Одеса : ОНАХТ, 2021. 198 с.
- 17.Козуб М. О. Основи конструювання машин : навч. посіб. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2022. 304 с.
- 18.Колісник Ю. М. Оцінювання екологічної безпеки виробництва : навч. посіб. Київ : Університет «Україна», 2018. 224 с.
- 19.Краєвський В. С. Технологічне обладнання харчових виробництв : навч. посіб. Київ : Ліра-К, 2017. 282 с.
- 20.Пономаренко В. С. Основи проектування підприємств харчової промисловості : навч. посіб. Харків : ХДУХТ, 2021. 296 с.
- 21.Савченко О. А. Основи екологічної безпеки : навч. посіб. Черкаси : ЧНУ ім. Б. Хмельницького, 2020. 210 с.
22. ISO 22000:2018. Food safety management systems — Requirements for any organization in the food chain. Geneva : International Organization for Standardization, 2018. 32 p.
- 23.Smith J. A., Brown L. M. Packaging Technology and Science. 3rd ed. New York : Wiley, 2017. 450 p.
- 24.Jones M. E. Sustainable Packaging: Principles and Practice. London : Greenleaf Publishing, 2019. 320 p.
- 25.Lee K. Y., Lee J. H. Advanced Packaging Materials. Singapore : Springer, 2020. 400 p.
- 26.Miller R. T. Food Packaging: Principles and Practice. 3rd ed. Boca Raton : CRC Press, 2015. 600 p.
- 27.Nguyen T. H. Automation in Food Processing. Amsterdam : Elsevier, 2018. 350 p.
- 28.O'Connor D. A. Environmental Impact of Packaging Materials. Berlin : Springer, 2016. 280 p.
- 29.Patel R. K. Modern Food Packaging Technology. New Delhi : Woodhead Publishing India, 2019. 370 p.

30. Quinn B. T. Safety and Hygiene in Food Processing. Oxford : Elsevier, 2017. 310 p.
31. Roberts M. J. Packaging Machinery Handbook. 2nd ed. Chicago : PMMI Media Group, 2020. 500 p.
32. Sanchez P. L. Innovations in Food Packaging. 2nd ed. London : Academic Press, 2016. 450 p.
33. Taylor D. A. Food Processing Equipment Design. New York : Wiley, 2018. 390 p.
34. UNEP. Guidelines for Packaging and Packaging Waste. Nairobi : United Nations Environment Programme, 2015. 60 p.
35. Vasquez M. E. Biodegradable Packaging Materials. Tokyo : Springer Japan, 2019. 340 p.
36. Williams G. H. Food Packaging: Principles and Practice. 4th ed. Boca Raton : CRC Press, 2021. 620 p.
37. Young R. J. Smart Packaging Technologies. Cambridge : Woodhead Publishing, 2017. 360 p.
38. Zhang Y. L. Advances in Food Packaging. Beijing : Science Press, 2020. 410 p.
39. ISO 14001:2015. Environmental management systems — Requirements with guidance for use. Geneva : International Organization for Standardization, 2015. 34 p.
40. FAO. Food Packaging and Storage. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2016. 80 p.
41. WHO. Guidelines on Food Safety. Geneva : World Health Organization, 2017. 90 p.