

Міністерство освіти і науки України  
Луцький національний технічний університет  
Факультет транспорту та механічної інженерії  
Кафедра прикладної механіки та мехатроніки

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «МАГІСТР»

### ПРОЕКТУВАННЯ РУЧНОЇ МАШИНИ ДЛЯ ФАСУВАННЯ СМЕТАНИ

спеціальність 131 Прикладна механіка  
(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Прикладна механіка»  
(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої  
освіти  
групи ІМм-21  
НОВОСАД Владислав  
Петрович

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник: к.т.н., доцент  
Валецький Богдан Петрович

\_\_\_\_\_  
(підпис)

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

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Луцьк – 2025 року

# ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет транспорту та механічної інженерії

Кафедра прикладної механіки та мехатроніки

Ступінь вищої освіти: магістр

Галузь знань: 13 Механічна інженерія

Спеціальність: 131 Прикладна механіка

Освітня програма: Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри ПМ та М  
\_\_\_\_\_ Р.РЕДЬКО

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025р.

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Новосаду Владиславу Петровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема кваліфікаційної роботи: *Проектування ручної машини для фасування сметани*

Керівник роботи: *Валецький Богдан Петрович, доцент, к.т.н., затверджені наказом вищого навчального закладу від «14» червня 2025 р. № 391/01-07.*

1. Строк подання студентом роботи 01.12.2025 р

3. Вихідні дані до роботи: літературні джерела, патенти

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

*Вступ. 1 Технічна частина, 2 Технологічна частина. 3 Конструкторська частина. 4. Експлуатаційна частина. 5. Побудова 3D моделі.*

*Висновки та пропозиції*

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
*Загальний вигляд машини для фасування сметани – 1 лист ф.А1*

*Складальні креслення основних складових вузлів машини – 5 листів ф.А1*

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання

03.09.2025 р \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи магістра	Термін виконання етапів кваліфікаційної роботи магістра	Примітка
1.	<i>Обґрунтування теми, огляд літератури із досліджуваної проблеми</i>	<i>15.09.25</i>	
2.	<i>Технічна частина</i>	<i>01.10.25</i>	
3.	<i>Технологічна частина</i>	<i>15.10.25</i>	
4.	<i>Конструкторська частина</i>	<i>25.10.25</i>	
5.	<i>Експлуатаційна частина</i>	<i>01.11.25</i>	
6.	<i>Побудова 3D моделі.</i>	<i>11.11.25</i>	
7.	<i>Оформлення ілюстративного матеріалу</i>	<i>20.11.25</i>	
8.	<i>Інструментальна перевірка на академічний плагіат</i>	<i>25.11.25</i>	
9.	<i>Представлення кваліфікаційної роботи магістра до захисту</i>	<i>01.12.25</i>	
10.	<i>Електронний варіант кваліфікаційної роботи магістра</i>	<i>01.12.25</i>	

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)Новосад В.П.  
(прізвище та ініціали)Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)Валецький Б.П.  
(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Новосад В.П.: Проектування ручної машини для фасування сметани. – Рукопис.

Кваліфікаційна робота магістра ОП «Прикладна механіка» спеціальності 131 Прикладна механіка. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2025.

Кваліфікаційна робота магістра складається із вступу, 5 розділів, висновків і пропозицій, переліку використаної літератури.

Виконано аналіз вихідних даних та обґрунтовано актуальність дослідження. Представлено опис технологічного процесу виробництва сметани та її ручного фасування у полімерну тару типу стакан. Розроблено ручну фасувальну машину для пакування сметани у стаканчики з продуктивністю 120 шт/год, використовуючи систему твердотільного моделювання PTC CREO 4.0. Проведено необхідні інженерні розрахунки, висвітлено експлуатаційні аспекти функціонування системи. Конструкція забезпечує гнучкість у використанні та адаптацію до різних виробничих умов, що робить її ефективним рішенням для малосерійного виробництва у фермерських господарствах.

Ключові слова: сметана, фасування, зварювання, упаковка, полімерна плівка.

## ANNOTATION

Novosad V.P.: Design of a manual machine for packing sour cream. – Manuscript.

Qualification work of the master's degree in Applied Mechanics, speciality 131 Applied Mechanics. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2025.

Master's qualification work consists of an introduction, 5 chapters, conclusions and proposals, a list of used literature.

The analysis of the initial data was performed and the relevance of the study was substantiated. A description of the technological process of sour cream production and its manual packing into polymer containers of the cup type was presented. A manual packing machine for packing sour cream into cups with a productivity of 120 pcs/h was developed, using the PTC CREO 4.0 solid-state modeling system. The necessary engineering calculations were carried out, and the operational aspects of the system's functioning were highlighted. The design provides flexibility in use and adaptation to various production conditions, which makes it an effective solution for small-scale production in farms.

Keywords: sour cream, packaging, welding, packaging, polymer film.

## ЗМІСТ

ЗАВДАННЯ .....	2
АНОТАЦІЯ .....	4
ЗМІСТ .....	6
ВСТУП .....	7
1 РОЗДІЛ. ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА .....	9
1.1 Аналіз вихідних даних.....	9
1.2 Короткий огляд аналогічних машин, їх недоліки.....	9
1.3 Постановка задачі кваліфікаційної роботи магістра .....	14
РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА .....	15
2.1 Вибір пакувального матеріалу.....	15
2.2 Проектування споживчої і транспортної упаковки.....	17
2.3 Розробка технологічного процесу та операції пакування .....	22
2.4 Вибір технологічних режимів і нормування операцій технологічного процесу пакування.....	23
РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА .....	24
3.1 Опис роботи технологічної машини .....	24
3.2 Розрахунок продуктивності машини .....	26
3.3 Опис кінематичної схеми автомату .....	27
3.4. Опис конструкції вузлів машини .....	30
3.5 Розрахунок основних виконавчих механізмів. ....	38
РОЗДІЛ 4. ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ЧАСТИНА .....	46
4.1 Монтаж, ремонт і умови експлуатації машини або лінії.....	46
4.2 Розрахунок матеріальних потоків в лінії.....	48
4.3 Розрахунок періодичності поповнення запасів матеріалів.....	49
РОЗДІЛ 5. ПОБУДОВА 3D МОДЕЛІ СИСТЕМИ PTC CREO 4.0.....	53
ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	59
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	60
ДОДАТКИ.....	62

## ВСТУП

*Актуальність теми.* Сучасна пакувальна індустрія характеризується інтенсивним розвитком та широким впровадженням у різних галузях виробництва. За міжнародними статистичними даними, найбільша частка використання упаковки припадає на харчові продукти (55–60 %) [1], що зумовлює подібність тенденцій розвитку пакувальних технологій та харчової промисловості. Важливою особливістю сучасного харчового виробництва є концентрація виробничих потужностей та виготовлення широкого асортименту стандартизованих продуктів, які фасуються у різні види споживчої та транспортної тари. Для забезпечення таких умов необхідне оснащення підприємств надійним, універсальним та гнучким пакувальним обладнанням, здатним до швидкого переналаштування. Основним завданням сучасного пакувального машинобудування є створення високоякісних машин у стислі терміни та за мінімальних витрат на проектування і виготовлення, враховуючи постійне ускладнення конструкцій упаковки, технологій фасування, вимог до точності роботи механізмів та умов експлуатації. Тривалий час ключовим напрямом вирішення цієї проблеми залишалася модернізація існуючих пакувальних машин, спрямована на удосконалення функціональних модулів та розширення їхніх допоміжних можливостей. Використання застарілих методів проектування обмежує ефективність пошуку оптимальних рішень серед альтернатив. Застосування відомих методів синтезу автоматизованого проектування здебільшого зводиться до створення електронних моделей пакувальних машин, що має обмежений потенціал для вибору оптимальної конструкції.

*Мета і завдання дослідження.* Метою роботи є проектування ручної машини для пакування сметани, орієнтованої на малосерійне виробництво у фермерських господарствах. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- застосувати функціонально-модульний принцип побудови пакувальних машин, що забезпечує скорочення термінів проектування та виготовлення обладнання;
- розробити конструкцію споживчої та транспортної упаковки для сметани;
- дослідити роботу машини для фасування сметани та спроектувати установку, яка забезпечує фасування продукту у стаканчики та закупорювання їх кришками з алюмінієвої фольги;
- обґрунтувати експлуатаційні особливості вузлів та машини.

*Об'єкт дослідження* – процес фасування в'язких харчових продуктів у споживче пакування.

*Предмет дослідження* – машина ручного типу для фасування сметани та вузол зварювання і формування пакування.

*Методи дослідження.* Теоретичні дослідження виконано із застосуванням класичних положень теоретичної механіки, опору матеріалів, а також теорії механізмів і машин.

*Особистий внесок магістранта.* Основні результати, що становлять зміст магістерської роботи, а також висновки та рекомендації належать автору, який визначив мету та завдання дослідження, спроектував споживчу і транспортну упаковку для сметани, дослідив роботу машини та розробив вузли зварювання і формування упаковки, підвищивши їх універсальність.

Результати даного дослідження представлялись на V студентській науково-технічній конференції ЛНТУ ФТМІ «Інноваційні технології в транспорті та механічній інженерії», 13 листопада 2025 р., м. Луцьк. Тема доповіді: «Проектування ручної машини для фасування сметани» [10].

## 1 РОЗДІЛ ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

### 1.1 Аналіз вихідних даних

На сучасному етапі розвитку промисловості пакувальна галузь посідає одне з провідних місць за темпами зростання. Найбільш інтенсивно вона розвивається у сфері харчової промисловості, де ключовими завданнями є подовження терміну зберігання продукції та забезпечення її безпечного транспортування. Це зумовлює необхідність створення упаковки, яка відповідає зазначеним вимогам.

В Україні функціонує значна кількість великих підприємств, що займаються виробництвом сметани та її фасуванням у полімерні стаканчики з подальшим герметичним закупорюванням алюмінієвими кришками. Поряд із ними діє багато дрібних виробників, які реалізують аналогічну продукцію на регіональному рівні. У зв'язку з цим постала проблема розроблення обладнання для пакування сметани, здатного забезпечити продуктивність до 120 шт/год. Такий тип упаковки вирізняється економічністю та високою зручністю при відкриванні, що робить його оптимальним для споживачів.

### 1.2 Короткий огляд аналогічних машин, їх недоліки

Пакувальне обладнання, призначене для герметизації пластикових стаканчиків алюмінієвою фольгою, забезпечує надійне запакування харчових продуктів із подовженням строків їх зберігання. Найпростішим прикладом такого обладнання є установка УСС-2, яка здійснює процес заварювання стаканчиків готовими кришками з алюмінієвої фольги.

Модель УСС-2 (рис. 1.1) призначена для герметичної закупорки пластикових стаканчиків роторного типу з одночасною автоматизованою подачею кришок. Основні технічні характеристики установки наведені у таблиці 1.1, що дозволяє оцінити її конструктивні та експлуатаційні можливості.

Таблиця 1.1 – Технічна характеристика установки УСС-2

Максимальна продуктивність, шт/год	600
Ємність стаканчиків, мл	до 500
Зовнішній діаметр стаканчиків, мм	75,95
Потужність, кВт, не більш	0,30
Напруга живлення (50 Гц), В	220
Габаритні розміри, мм: електронний блок	260×200×90
вузол зварювання	400×430×650
Маса, кг: електронний блок	2,5
вузол зварювання	10



Рисунок 1.1 – Установка заварки стаканчиків кришками УСС-2

Установка виконана у вигляді двох блоків: зварної стійки та електронного блоку Р-5 (рис. 1.2). зварна стійка складається з станини 1, на якій жорстко закріплена направляюча 2.

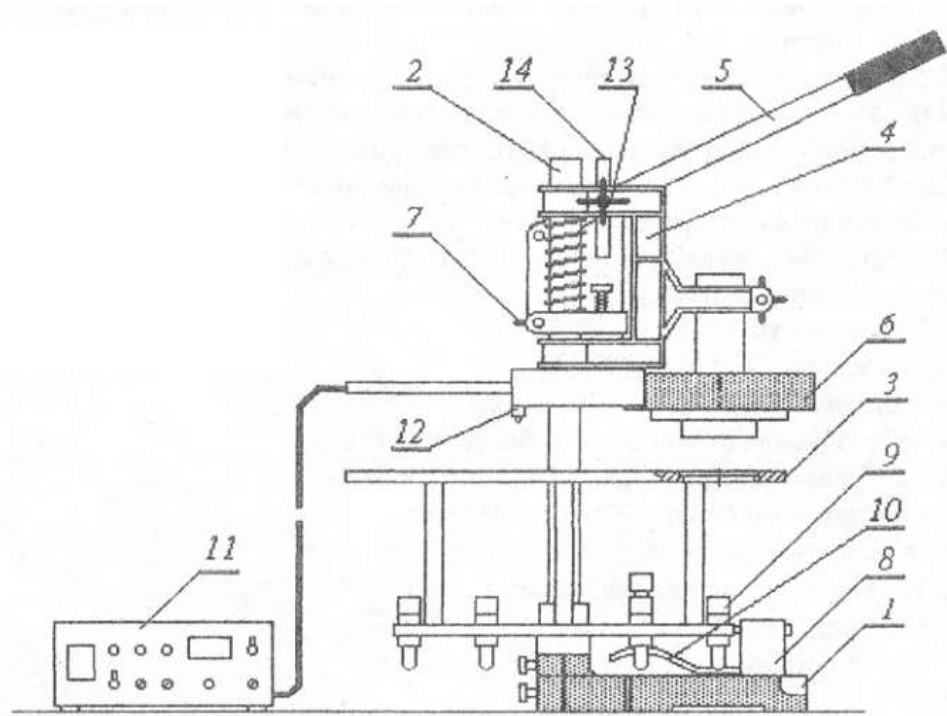


Рисунок 1.2 – Установка заварки стаканчиків кришками УСС-2:

- 1-станина; 2-направляюча; 3-ротор; 4-механізм вертикального переміщення;  
 5-важіль; 6-зварна головка; 7–регулювальний гвинт;  
 8-фіксатор; 9-штовхач; 10-пластина; 11-електроний блок Р-5;  
 12-кінцевий вимикач; 13-стопорний гвинт; 14-регулювальний упор

На направляючій вільно встановлений ротор 3, до якого приєднано механізм вертикального переміщення 4 з важелем 5 та зварювальною головкою 6. Регулювання положення зварювальної головки по висоті та її точне центрування відносно гнізд для стаканчиків у роторі здійснюється за допомогою регулювального гвинта 7. Конструкція ротора передбачає шість отворів для стаканчиків, при цьому він вільно обертається навколо направляючої. На станині закріплений фіксатор 8, який забезпечує точне позиціонування отворів ротора під зварювальною головкою.

Під час натискання на важіль зварювальна головка опускається та виконує герметичне зварювання кришки на стаканчику. У нижній частині ротора розташовані штовхачі 9, що забезпечують виштовхування готових стаканчиків. Це дозволяє оператору однією рукою легко вилучати їх із гнізд

ротора. Виштовхування здійснюється завдяки копіру (10), закріпленому на станині, який координує рух штовхачів

Зварювальна стійка з'єднується кабелем з електронним блоком 11 керування Р-5. Даний блок (рис. 1.3) виконує такі функції: встановлення температури нагрівального елемента; автоматичне підтримання заданої температури; контроль температури або напруги на нагрівальному елементі; задання часових інтервалів процесу заварювання пластикових стаканчиків із додатковим світловим та звуковим сигналом.

Блок керування забезпечує роботу в двох режимах: автоматичного підтримання температури ТЕНу та ручного регулювання температури нагрівального елемента. Перемикання режимів здійснюється за допомогою органів керування, розташованих на передній та задній панелях блоку.

Основним недоліком установки є відсутність вузла дозування, що змушує використовувати додаткове обладнання для наповнення стаканчиків визначеною кількістю продукту. Крім того, через відсутність вирубувального механізму виникає необхідність застосовувати готові кришки, які є дорожчими порівняно з вирубкою із рулону алюмінієвої фольги.

Установка є однопозиційною та призначена для герметичної заварки пластикових стаканчиків алюмінієвими кришками з ручною подачею. Основні технічні характеристики наведені у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Технічна характеристика установки УСС-2

Максимальна продуктивність, шт/год	400
Ємність стаканчиків, мл	до 500
Зовнішній діаметр стаканчиків, мм	75,95
Потужність, кВт, не більш	0,30
Напруга живлення (50 Гц), В	220
Габаритні розміри, мм: вузол зварювання	400×430×650
Маса, кг: вузол зварювання	10

Установка для герметичного заварювання полімерних стаканчиків алюмінієвими кришками представлена моделлю УСС-2В (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 – Установка для приварювання кришок до стаканчиків УСС-2В

Дане обладнання призначене для надійного закупорювання тари з одночасною подачею кришок та забезпечує стабільність технологічного процесу фасування. Модель характеризується компактністю, простотою конструкції та можливістю використання у малосерійних виробництвах, що робить її ефективним рішенням для підприємств харчової промисловості. У процесі роботи оператор вручну встановлює наповнений продуктом стаканчик у комірку вузла зварювання, накриває його кришкою з алюмінієвої фольги та за допомогою повороту транспортного ротора підводить на позицію герметизації. Після цього здійснюється зварювання, що забезпечує надійне закупорювання тари.

Суттєвим недоліком конструкції є відсутність дозувального вузла, що потребує використання додаткового обладнання для наповнення стаканчиків

визначеною кількістю продукту. Крім того, однопозиційність установки обмежує її продуктивність, знижуючи ефективність роботи у виробничих умовах.

### 1.3 Постановка задачі кваліфікаційної роботи магістра

У ході виконання кваліфікаційної роботи магістра було поставлено завдання розробити ручну фасувальну машину для пакування сметани у стаканчики з продуктивністю 120 стаканчиків на годину, використовуючи систему твердотільного моделювання PTC CREO 4.0. Основною метою стало створення установки, яка забезпечує фасування сметани у полімерну тару та її герметичне закупорювання алюмінієвими кришками. Закупорювання здійснюється методом приварювання кришок до стаканчиків із одночасним вирубуванням їх із рулону фольги.

Конструкція установки передбачає наявність таких основних елементів: станина з несучою стійкою; ротор; копір; підйомні столики; механізм вертикального переміщення; вузол зварювання; дозатор; рулонотримачі; електронний блок керування Р-5.

Перевагою розробленої установки є її універсальність: вона дозволяє фасувати сметану у дозах від 100 до 500 мл у стаканчики з зовнішнім діаметром шийки 75 мм та 95 мм. Така конструкція забезпечує гнучкість у використанні та адаптацію до різних виробничих умов, що робить її ефективним рішенням для малосерійного виробництва у фермерських господарствах.

## РОЗДІЛ 2

### ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

#### 2.1 Вибір пакувального матеріалу

Сметана характеризується насамперед вмістом жиру, який може становити від 10 до 25%. Крім того, у її складі присутні білки (2,5–3%), жиророзчинні вітаміни, молочна кислота та інші біологічно активні компоненти. Калорійність продукту варіює в межах від 90 ккал на 100 г (при 10% жирності) до 200–220 ккал (при 25% жирності). Технологічна схема виробництва подібна до процесів виготовлення кисломолочних напоїв. Основною сировиною є вершки, які після нормалізації піддають пастеризації при температурі 85–95 °С. Далі здійснюють гомогенізацію, охолодження та внесення закваски у кількості 2–5%, що містить молочнокислі стрептококи звичайні та ароматоутворюючі. Сквашування проводять при 20–25 °С протягом 10–20 годин до утворення згустку кислотністю 60–90 °Т. Дозрівання відбувається при температурі +2...+8 °С упродовж 24–48 годин, у результаті чого жирові кульки кристалізуються, білки набухають, а консистенція стає густою.

Для фасування сметани застосовують полістирольні стаканчики та алюмінієві кришки. Полістирол є твердим аморфним полімером з густиною 1050–1080 кг/м<sup>3</sup> та температурою розм'якшення 90–95 °С. Його отримують радикальною полімеризацією стиролу, а переробка здійснюється методами термоформування, екструзії та лиття під тиском. У країнах СНД виробляють марки ПСМД і ПСМ (блочна полімеризація), ПСЕ-1 і ПСЕ-2 (емульсійна полімеризація), а також ПСС і ПССП (суспензійна полімеризація). За масштабами виробництва полістирол поступається лише поліолефінам та ПВХ. Його недоліком є низька теплостійкість (70–80 °С), що у випадку пакування сметани є перевагою, оскільки не потребує високих температур при зварюванні. Для підвищення міцності та покращення технологічних властивостей матеріал піддають орієнтуванню.

Орієнтований полістирол характеризується середньою газопроникністю, вищою за поліпропілен, але нижчою за поліетилен низького тиску. Він має значну паропроникність, яка зменшується при температурах нижче 0 °С, що робить його придатним для пакування продуктів, призначених для холодильного зберігання. Жорсткі плівки з орієнтованого ПС є економічнішими порівняно з іншими матеріалами та дозволяють виготовляти вироби складної форми методом термоформування. Двовісноорієнтована плівка відзначається високою прозорістю, тому полістирол товщиною понад 70 мкм застосовують для виробництва стаканчиків одноразового використання, особливо для кисломолочних продуктів, зовнішній вигляд яких важливо оцінити візуально.

Закупорювання стаканчиків здійснюється за допомогою алюмінієвої фольги, яка виконує функцію кришки-етикетки. Вона має товщину близько 30 мкм, покривається лаком з обох сторін та може містити друковану інформацію. Такий матеріал широко використовується для пакування йогуртів, соків та інших харчових продуктів. Алюмінієва фольга завдяки легкості, морозостійкості та можливості вторинної переробки має високий попит. Для пакування застосовують м'яку або напівжорстку фольгу марок А5 і А6, з лаком або без нього. Її товщина може становити від 6 до 250 мкм, а комбіновані варіанти з багатокольоровим друком (до восьми кольорів) забезпечують додаткові захисні та естетичні властивості.

Алюмінієва фольга має комплекс властивостей, що визначають її придатність для пакування харчових продуктів. Вона є водо-, газо- та жиронепроникною завдяки щільній кристалічній структурі металу, яка перешкоджає проникненню більшості газів, окрім водню. Непрозорість і висока здатність відбивати світло забезпечують захист від ультрафіолетового випромінювання, що дозволяє зберігати природне забарвлення м'яса та стабільність структури молочних продуктів.

Матеріал відзначається хімічною інертністю та гігієнічністю, що робить його придатним для контакту з усіма видами харчових продуктів, особливо в

асептичному пакуванні. Водночас використання алюмінієвої тари без спеціального покриття для тривалого зберігання не допускається, оскільки можливе мігрування іонів металу у продукт. Висока пластичність і здатність утримувати задану форму дозволяють застосовувати фольгу для пакування виробів складної конфігурації, зокрема кондитерських.

Алюміній є немагнітним, тому його використання у пакувальних машинах не створює технологічних труднощів. Фольга може комбінуватися з іншими матеріалами, утворюючи багатошарові пакувальні системи, такі як буфлен (папір/фольга/поліетилен), лафолен (лавсан/фольга/поліолефіни), цефлен (целофан/поліетилен/фольга/поліетилен) та ламістер (лак/фольга/поліпропілен).

Завдяки високим бар'єрним характеристикам, стерильності, теплопровідності та жаростійкості алюмінієва фольга сприяє збереженню вітамінів і ароматичних речовин у продуктах. Вона підтримує первинний вигляд і якість упакованої продукції, запобігає її висиханню під час охолодження чи заморожування.

## 2.2 Проектування споживчої і транспортної упаковки

Сметану фасують у споживчу тару об'ємом від 100 до 500 мл, використовуючи полістирольні стаканчики з діаметром шийки 75 або 95 мм. Закупорювання здійснюється за допомогою кришок із алюмінієвої фольги. Конструкція стаканчиків може варіюватися відповідно до технічних вимог та індивідуальних побажань замовника. На рисунку 2.1 наведено приклад пакувальної тари, призначеної для фасування та зберігання сметани.

Для визначення об'єму даної упаковки скористаємося формулою:

$$V = S_c \cdot h$$

де  $V$  – об'єм упаковки;

$S_c$  – середня площа поперечного перерізу упаковки, мм;

$h$  – висота упаковки, м;

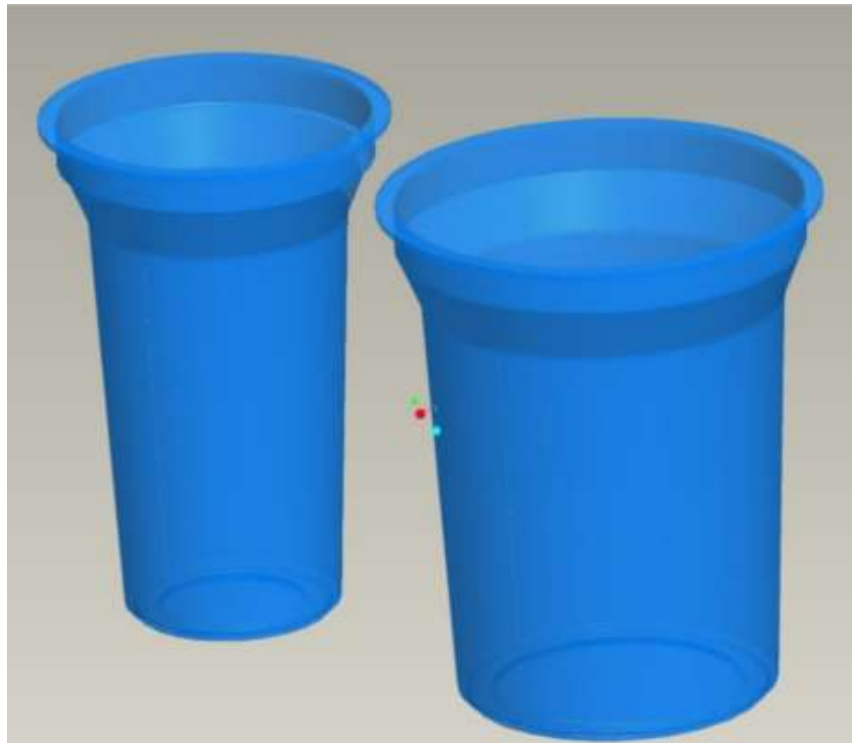


Рисунок 2.1 – Споживча упаковка

Для стаканчика діаметром шийки 75мм при максимальній висоті стаканчика об'єм становитиме:

$$V_{75} = S_{c_{75}} \cdot h_{\max}$$

$$V_{75} = 1963,5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,084 = 165 \text{ мл}$$

Для стаканчика діаметром шийки 95мм при максимальній висоті стаканчика об'єм становитиме:

$$V_{95} = S_{c_{95}} \cdot h_{\max}$$

$$V_{95} = 5944 \cdot 10^{-3} \cdot 0,084 = 500 \text{ мл}$$

Максимальна висота стаканчика  $h_{\max}$  визначається геометрією копіра, що задає траєкторію руху підйомних столиків. У процесі роботи установки столики переміщуються по колу та піднімають тару до граничної висоти, яка відповідає максимальному підйому копіра рис 2.2, тому  $H_{н.к.} = 87 \text{ мм}$ . Враховуючи особливість конструкції підйомних столиків приймаємо  $h_{\max} = 84 \text{ мм}$ .

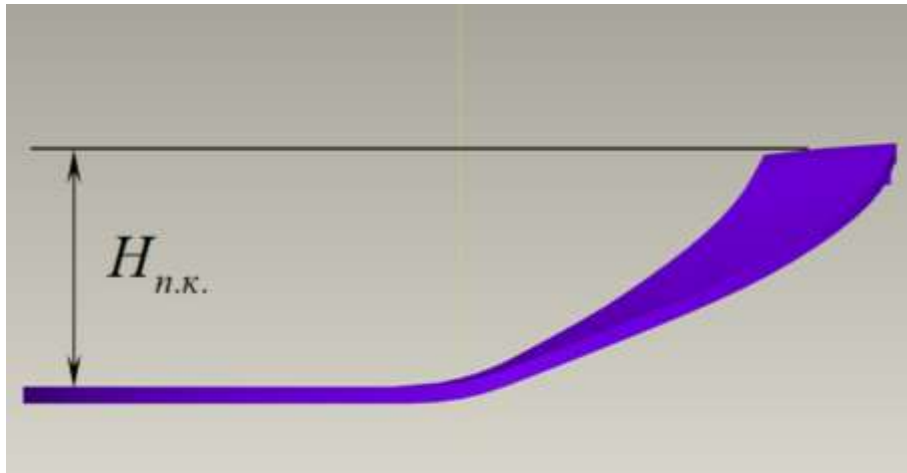


Рисунок 2.2 – Копір

Після заповнення споживчої тари продукція укладається у транспортну упаковку, яка забезпечує можливість перевезення, складування та зберігання. Надійність транспортування безпосередньо залежить від правильного вибору транспортної тари. Геометричні параметри, зокрема довжина та ширина, визначаються з урахуванням розташування бігувальних ліній.

Умовна класифікація транспортної тари здійснюється за такими ознаками:

- за кратністю використання – багатооборотна;
- за видом продукції – призначена для рідин;
- за способом виготовлення – складна конструкція;
- за матеріалом – трьохшаровий гофрокартон типу В;
- за компактністю – розбірна.

Розрахуємо розміри коробки за формулами:

$$L = L' + n \cdot k \cdot s$$

$$B = B' + n \cdot k \cdot s$$

$$H = H' + n \cdot k \cdot s$$

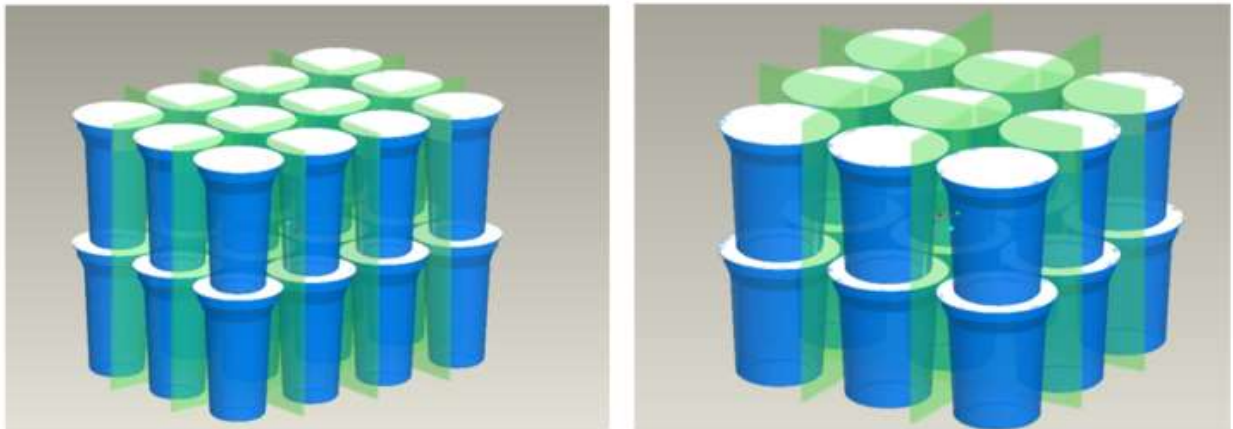
де  $L', B', H'$  – внутрішні розміри упаковки

$s$  – товщина картону

$n$  – кількість ліній фальцювання

$k$  – коефіцієнт, що залежить від способу фальцювання.  $k = 0,25$

Стаканчики з визначеним діаметром шийки 75 мм укладаються у транспортну коробку за схемою розміщення у два ряди, що наведено на рисунку 2.3а. Конструкційна міцність алюмінієвої фольги разом із якісним зварюванням шва забезпечує захист тари від механічного продавлювання під час транспортування та складування. У випадку використання стаканчиків із великою фазою передбачено застосування прокладок між шарами, що дозволяє зберегти цілісність упаковки та запобігти деформації.



а)

б)

Рисунок 2.3 – Схема вкладання стаканчиків у транспортну тару:

- а) стаканчики з діаметром шийки 75мм 3×4 в два ряди;
- б) стаканчики з діаметром шийки 95мм 3×3 в два ряди.

Таким чином визначимо внутрішні розміри коробки для стаканчиків діаметр шийки яких 75мм:

$$L' = 4 \cdot d_c + 3 \cdot h_k; \quad L' = 4 \cdot 75 + 3 \cdot 3,2 = 300 + 9,6 = 309,6 \text{ мм}$$

$$B' = 3 \cdot d_c + 2 \cdot h_k; \quad B' = 3 \cdot 75 + 2 \cdot 3,2 = 225 + 6,4 = 231,4 \text{ мм}$$

$$H' = 2 \cdot h_{\max} = 2 \cdot 84 = 168 \text{ мм};$$

де  $L', B', H'$  – внутрішня довжина, ширина та висота коробки відповідно;

$d_c$  – діаметр стаканчика;

$h_k$  – товщина гофрокартону;

$h_{\max}$  – максимальна висота стаканчика.

Розрахуємо розміри коробки за формулами:

$$L = L' + n \cdot k \cdot s = 309,6 + 2 \cdot 3,2 \cdot 0,25 = 311,2 \text{ мм}$$

$$B = B' + n \cdot k \cdot s = 231,4 + 2 \cdot 3,2 \cdot 0,25 = 233 \text{ мм}$$

$$H = H' + n \cdot k \cdot s = 168 + 2 \cdot 3,2 \cdot 0,25 = 169,6 \text{ мм}$$

Аналогічні розрахунки проводимо для коробок у які вкладатимуть стаканчики діаметр шийки яких 95 мм. Так як ці стаканчики вкладають за схемою 3×3 в два ряди (рис. 2.3.б), то  $L' = B'$ , а відповідно і  $L = B$ .

$$L' = 3 \cdot d_c + 2 \cdot h_k; L' = 3 \cdot 95 + 2 \cdot 3,2 = 285 + 6,4 = 291,4 \text{ мм}$$

$$B' = L' = 291,4 \text{ мм}$$

$$H' = 2 \cdot h_{\max} = 2 \cdot 84 = 168 \text{ мм};$$

Розміри коробки становитимуть:

$$L = L' + n \cdot k \cdot s = 291,4 + 2 \cdot 3,2 \cdot 0,25 = 293 \text{ мм}$$

$$B = L = 293 \text{ мм}$$

$$H = H' + n \cdot k \cdot s = 168 + 2 \cdot 3,2 \cdot 0,25 = 169,6 \text{ мм}$$

На лицевій стороні коробки розміщено найменування продукту, рекомендації щодо зберігання і маніпуляційні знаки, найменування і характеристика яких подані у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Маніпуляційні знаки, що розміщені а коробці

Номер і найменування знака	Зображення знака	Призначення знака
1 Берегти від сонячних променів		Вантаж варто захищати від сонячних променів
2 Штабелювання обмежене		Обмежено можливість штабелювання вантажу

Зворотна сторона коробки містить назву підприємства, телефон і електронну адресу.

### 2.3 Розробка технологічного процесу та операції пакування

Технологічна операція пакування сметани в пластикові стаканчики складається із наступних технологічних і допоміжних переходів:

- подача стаканчиків;
- дозування порції продукту;
- вирубівання з рулону фольги кришечки з одночасним її приварюванням;
- відвід повних стаканчиків та наступна подача порожніх.

Проектована установка роторного типу періодичної дії має шість позицій і її технологічна схема пакування сметани зображена на *рис.2.4*.

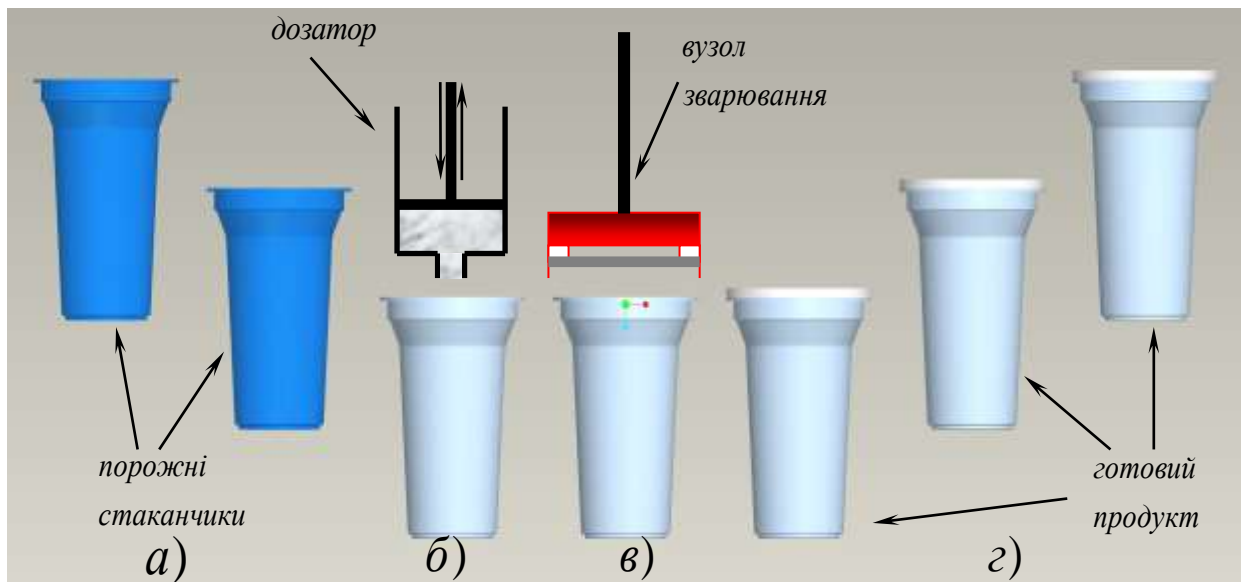


Рисунок 2.4 – Технологічна схема фасування сметани у стаканчики:  
 а – подача стаканчиків, б – дозування порції продукту, в – вирубівання з рулону фольги кришечки з одночасним її приварюванням, г – відвід повних стаканчиків та наступна подача порожніх

Розглянемо детальніше технологічний процес пакування сметани в полімерні стаканчики та заварювання кришечками з фольги розбивши його на операції (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Технологічний процес пакування

№ операції	Назва операції	Функціональний вузол	Допоміжні операції
005	Подача стаканчика	Роторний механізм та підйомний столик	
010	Дозування та герметизація тари шляхом приварення кришечки до стаканчика	Дозатор, рулонотримачі, вузол зварювання	Вирубання з рулону кришечок
015	Підготовка до наступного дозування та зварювання	Механізм вертикального переміщення	
020	Відвід готової продукції	Роторний механізм та підйомний столик	

#### 2.4 Вибір технологічних режимів і нормування операцій технологічного процесу пакування

При роботі автомату, його складові елементи виконують своє функціональне призначення протягом деякого часу, тому важливо мати дані про те скільки часу витрачається на кожну з операцій. Складемо таблицю яка буде відображати трудомісткість виготовлення виробу на всіх його етапах (табл. 2.2.).

Таблиця 2.2 – Трудомісткість виготовлення виробу

№п/п	Зміст технологічної операції	Трудомісткість виробу, сек.	Трудомісткість річної програми, сек
1.	Подача стаканчиків на стіл роторного механізму	2	399360
2.	Дозування та зварювання стаканчика	16	3194880
3.	Набирання нової порції продукту в дозатор	10	1996800
4.	Відвід готової продукції	2	399360

## РОЗДІЛ 3

### КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

#### 3.1 Опис роботи технологічної машини

Ручна установка для пакування сметани у полістирольні стаканчики функціонує за циклічним принципом роторного типу. Перед початком роботи необхідно здійснити підготовчі операції: встановити рулон алюмінієвої фольги на підшипникові опори, провести її через механізм розмотування, а також відрегулювати дозу продукту за допомогою вертикального механізму та затискачів. Після ввімкнення тумблера «Мережа» починається нагрівання зварювального елемента, температура якого задається мікроконтролером.

Робочий цикл виконується одночасно на всіх позиціях ротора. На першій позиції оператор встановлює стаканчик у відповідну комірку. При кожному повороті ротора за годинниковою стрілкою додається новий стаканчик, а порожній переміщується під дозатор. Дозування здійснюється вручну шляхом опускання поршня дозатора та зварювальної головки. Продукт необхідно подавати повільно, протягом приблизно 10 секунд, щоб уникнути розбризкування. Після цього рукоятку натискають до упору, що супроводжується сигналом зеленого індикатора «ПОЧ.» («ЦИКЛ»).

Після завершення витримки зварювання на панелі блоку керування загоряється червоний індикатор «КІН.» («ЦИКЛ») та подається звуковий сигнал, який інформує оператора про необхідність відпустити важіль. Далі ротор повертається на наступну позицію: перший дозований стаканчик потрапляє під вузол зварювання та вирубування кришок, а на попередній позиції повторюються ті самі дії. За три цикли приварена фольга охолоджується до кімнатної температури, після чого оператор виймає готові стаканчики та встановлює нові порожні.

Зварювальна стійка з'єднана кабелем з електронним блоком керування Р-5. Цей блок виконує такі функції:

- встановлення та автоматичне підтримання температури

нагрівального елемента;

- контроль температури або напруги на нагрівальному елементі;
- задання часових інтервалів зварювання із світловим та звуковим супроводом.

Блок керування працює у двох режимах: автоматичного підтримання заданої температури та ручного регулювання. Перемикання режимів здійснюється органами управління, розташованими на передній і задній панелі. Крім того, блок задає інтервали роботи привідного двигуна роторного механізму та двигуна рулонтримача.

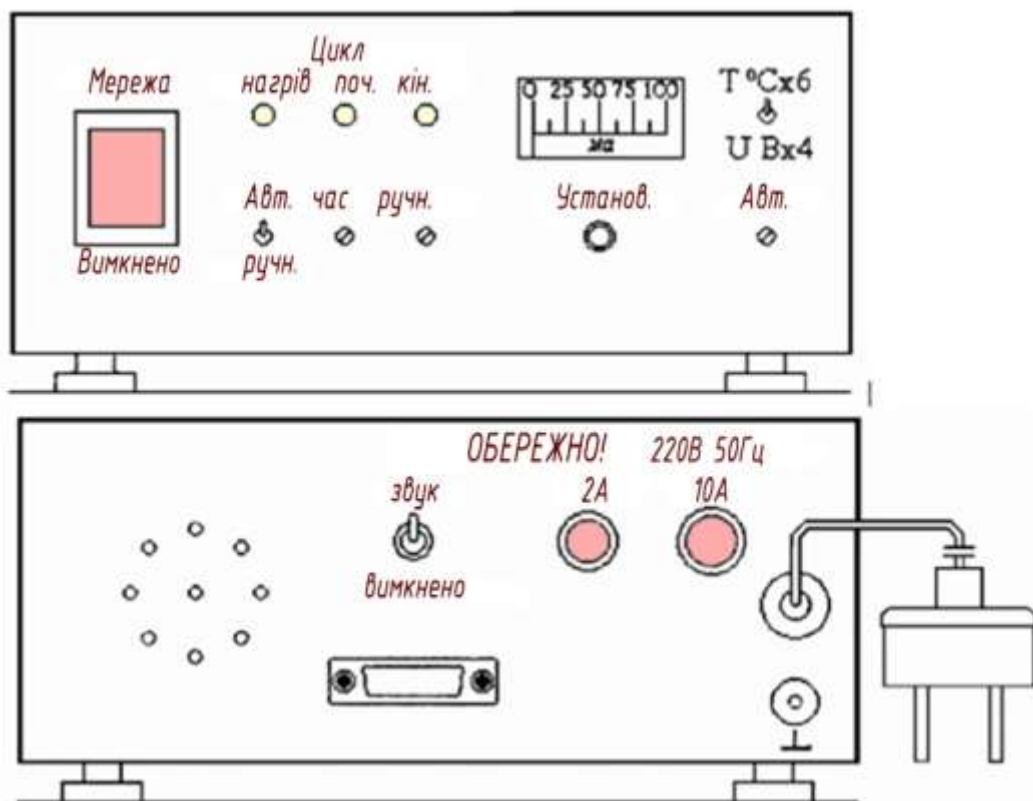


Рисунок 3.1 – Електронний блок керування Р-5

На передній панелі блоку керування розміщені основні органи управління та індикації. Клавіша «Мережа» у ввімкненому стані підсвічується, сигналізуючи про подачу живлення. Потенціометр «Час» використовується для встановлення інтервалу зварювання кришок із алюмінієвої фольги, покритої термолаком. Світлодіод «поч.» («цикл») зеленого кольору повідомляє про початок відліку часу зварювання, а світлодіод «кін.»

(«ЦИКЛ») червоного кольору сигналізує про завершення процесу, супроводжуючись звуковим сигналом. Світлодіод «нагрів.» жовтого кольору контролює зв'язок між блоком керування та первинною обмоткою силового трансформатора; у справному стані він світиться постійно після ввімкнення клавіші «мережа».

Тумблер «АВТ.–РУЧН.» дозволяє вибрати режим нагріву ТЕНа: автоматичний або ручний. У автоматичному режимі температура задається кнопкою «УСТАНОВ.» та потенціометром «АВТ.», у ручному – потенціометром «РУЧН.». Вимірювальний прилад-індикатор забезпечує контроль температури ТЕНа або напруги на ньому. Тумблер «Т°С×6–UB×4» перемикає режими вимірювання: у режимі температури покази множаться на коефіцієнт 6, у режимі напруги – на коефіцієнт 4.

На задній панелі блоку керування розташовані допоміжні елементи. Тумблер «ЗВУК» дозволяє вмикати або вимикати звуковий супровід світлових сигналів. Запобіжник «2А» захищає блок у разі короткого замикання в ланцюгах управління, а запобіжник «5А» – у силових ланцюгах. Передбачено гніздо для захисного заземлення та гніздо РП15-15, яке використовується для підключення блоку керування до установки та її контрольних ланцюгів.

### 3.2 Розрахунок продуктивності машини

Обґрунтування загальної конструкції пакувальної машини ми почнемо з розрахунку її технічної продуктивності:

$$Q_u = \frac{P}{\sum t_p + t_x} = \frac{P}{t_{ycm} + \sum t_p + t_{zn}};$$

де  $T$  – тривалість робочого циклу;

$t_p$  – тривалість робочого ходу – сумарний час виконання всіх операцій;

$t_x = t_{ycm} + t_{zn}$  – тривалість неробочих ходів;

$t_{ycm}$  – час встановлення стаканчика на позицію

$t_{zn}$  – час знімання готового упакування;

$p$  – число виробів, що обробляються одночасно.

При суміщеному виконанні технологічних операцій

$$Q_u = \frac{P}{t_{cm} + t_{nep}}$$

$$Q_u = \frac{2}{28 + 2} \cdot 3600 = 240 \text{ ун/год}$$

Визначимо фактичну продуктивність автомату:

$$Q_\phi = Q_u \cdot \eta_\epsilon$$

де  $\eta_\epsilon$  – коефіцієнт використання.

$$\eta_T = \frac{t_p}{t_p + t_n};$$

де  $t_p$  - час безперебійної роботи;

$t_n$  - час простоювання для відновлення працездатності.

$$\eta_T = \frac{30}{30 + 2 + 10 + 2} = 0,68;$$

$$Q_\phi = 240 \cdot 0,68 = 163 \text{ пак/год}$$

Розрахункові показники продуктивності перевищують значення, визначені у темі кваліфікаційної роботи магістра. Це свідчить про те, що проєктована установка здатна забезпечити вихід на рівень 120 упаковок за годину, що підтверджує її відповідність вимогам виробничої ефективності та надійності.

### 3.3 Опис кінематичної схеми автомату

Автомат функціонує за рахунок двох електродвигунів, що забезпечують привід роторного механізму та валиків рулонотримача. На рисунку 3.2 наведено кінематичну схему, де карусель 5 отримує рух від двигуна 1 через черв'ячний редуктор 2. Передаточне число редуктора відповідає типовим значенням для черв'ячних передач, що гарантує стабільність та плавність роботи. Ведений вал редуктора з'єднаний зі спеціальним гумовим кільцем 3 за допомогою шпонкового з'єднання. Це кільце перебуває у фрикційному контакті з диском каруселі 4, що забезпечує передачу обертального моменту та захист від перевантажень завдяки пружним властивостям матеріалу.

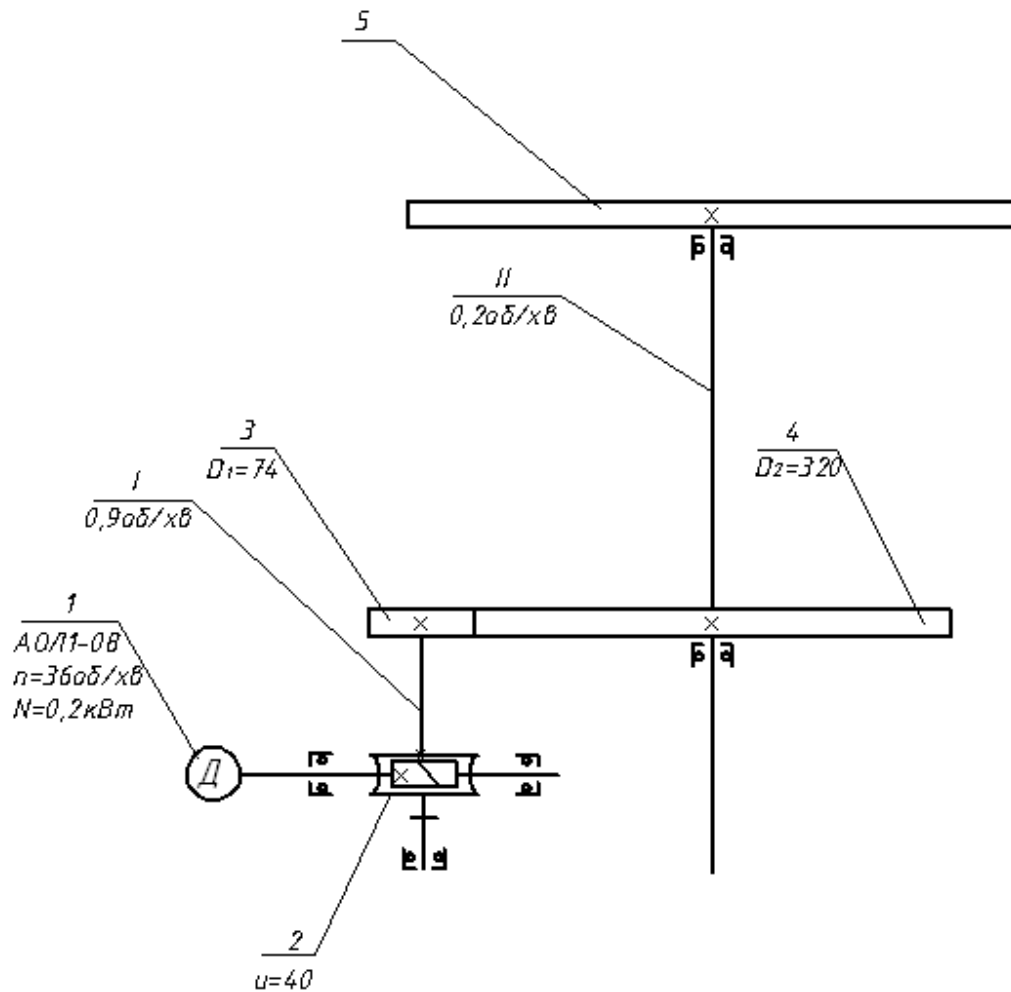


Рисунок 3.2 – Кінематична схема приводу каруселі

Знаючи діаметри гумового кільця та диску каруселі можна вирахувати передаточне число дискової пари за формулою:

$$u = \frac{D_2}{D_1}$$

де  $D_2$  – діаметр диска каруселі, 320мм;

$D_1$  – діаметр гумового кільця, 74мм.

$$u = \frac{320}{74} = 4,5$$

Вал каруселі зафіксований і обертається на кулькових підшипниках 60106 ДСТУ 9079:2021 «Вальниці кочення. Вальниці кулькові радіальні однорядні з захисними шайбами. Технічні умови».

Привід вала рулонотримача показаний на кінематичній схемі рис.3.3.

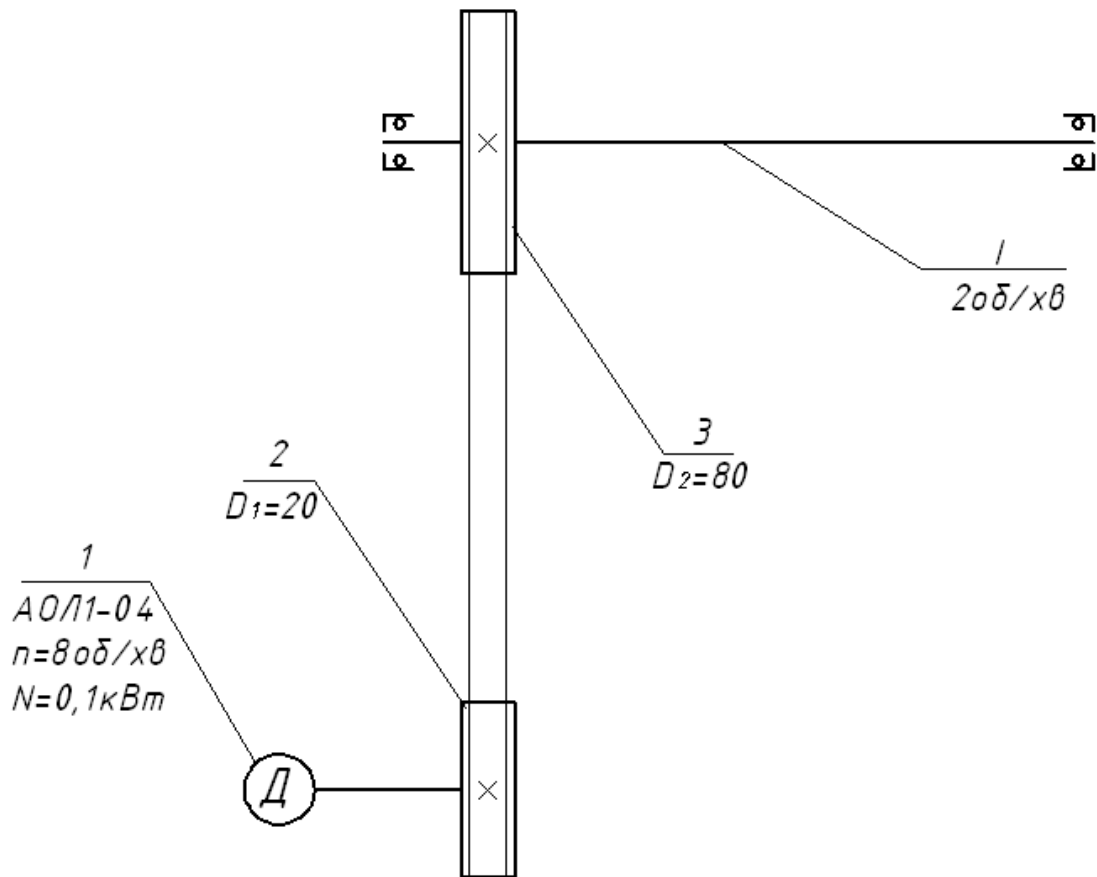


Рисунок 3.3 – Кінематична схема приводу вала рулотримача

Вал двигуна 1 шпоночним з'єднанням приєднаний до ведучого шківa 2. Через пас приводиться в рух ведений шків 3. Знаючи діаметри ведучого та веденого шківів можна за формулою розрахувати передаточне число пасової передачі:

$$u = \frac{D_2}{D_1}$$

де  $D_2$  – діаметр веденого шківa, 80мм ;

$D_1$  – діаметр ведучого шківa, 20мм .

$$u = \frac{80}{20} = 4$$

Вал рулонотримача фіксується і обертається на кулькових підшипниках 60029 ДСТУ 9079:2021.

### 3.4. Опис конструкції вузлів машини

Установка для фасування сметани у полістирольні стаканчики діаметром 75мм рис. 3.4. та стаканчики діаметром 95мм рис. 3.5. складається з наступних основних вузлів:

1. Станина.
2. Роторний механізм.
3. Рулонотримач.
4. Механізм вертикального переміщення.
5. Дозатор.
6. Зварювальний механізм.
7. Живильник
8. Підйомний столик.

Заміна зварювального механізму з одного діаметра на інший з  $\varnothing 75\text{мм}$  на  $\varnothing 95\text{мм}$ , або навпаки, дозволяє адаптувати установку для фасування сметани у два основні типи стаканчиків із різними розмірами шийки. Така модифікація забезпечує універсальність обладнання та його відповідність вимогам виробництва. Регулювання об'єму дозування здійснюється за допомогою фіксаторів дозатора та механізму вертикального переміщення, що дає можливість встановлювати необхідну порцію продукту в діапазоні від 50 до 500 мл.

Унікальна конструкція підйомних столиків надає можливість використовувати стаканчики різної висоти від 24 до 84мм.

$$h_{\min} = h_{\max} - h$$

де  $h_{\max}$  – визначається формою копіра, 84мм ;

$h$  – допустима висота розсування підйомного столика.

$$h_{\min} = 84 - 60 = 24\text{мм}$$

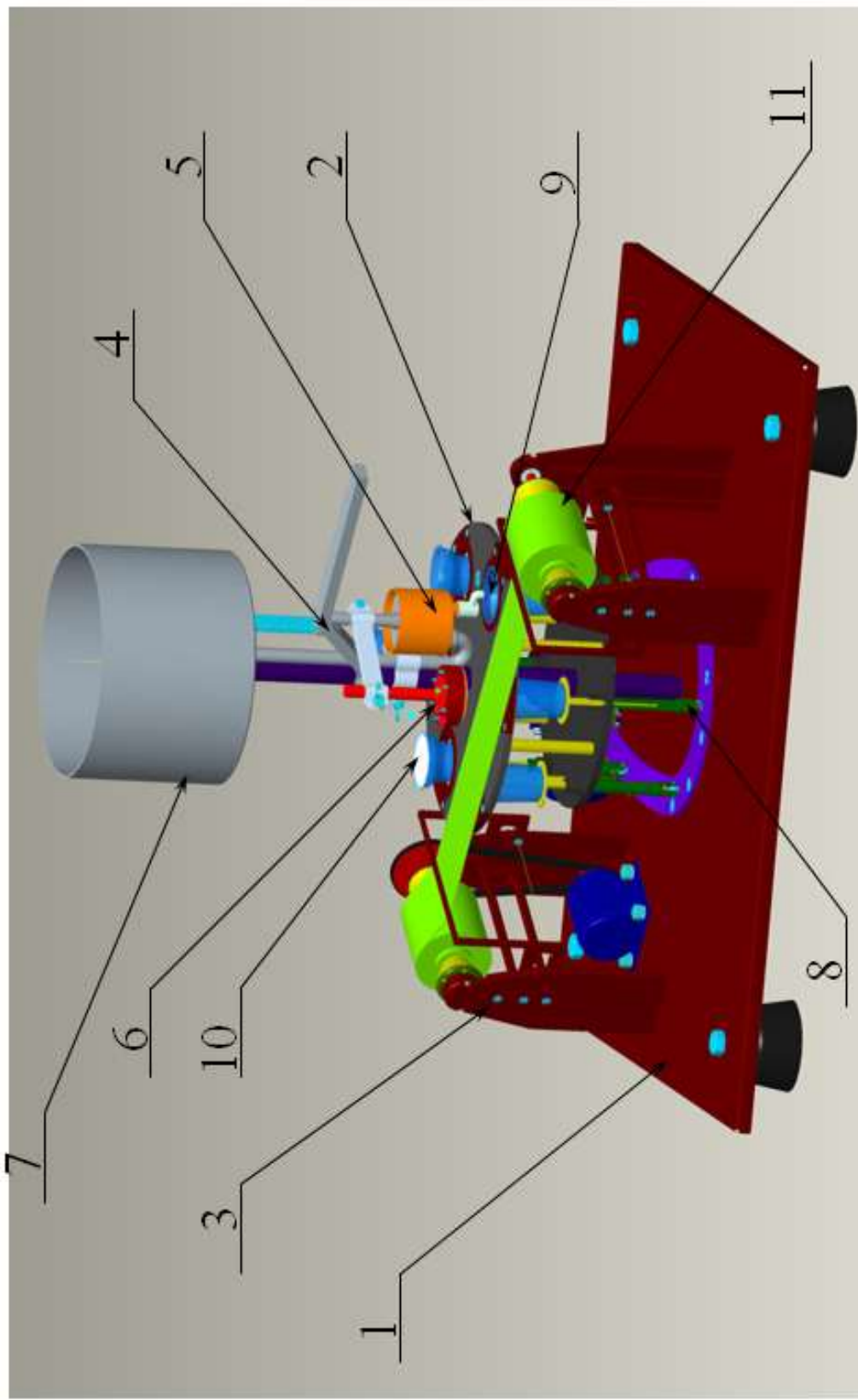


Рисунок.3.4 а – Модифікація установки для фасування сметани для стаканчиків діаметр шийки яких 75мм.  
 1-станина, 2- роторний механізм, 3-рулонотримач, 4-механізм вертикального переміщення., 5-дозатор,  
 6-зварювальний механізм Ø75мм, 7-живильник, 8-підйомний столик, 9-порожній стаканчик Ø75мм,  
 10-запакований стаканчик, 11-рулон алюмінієвої фольги.

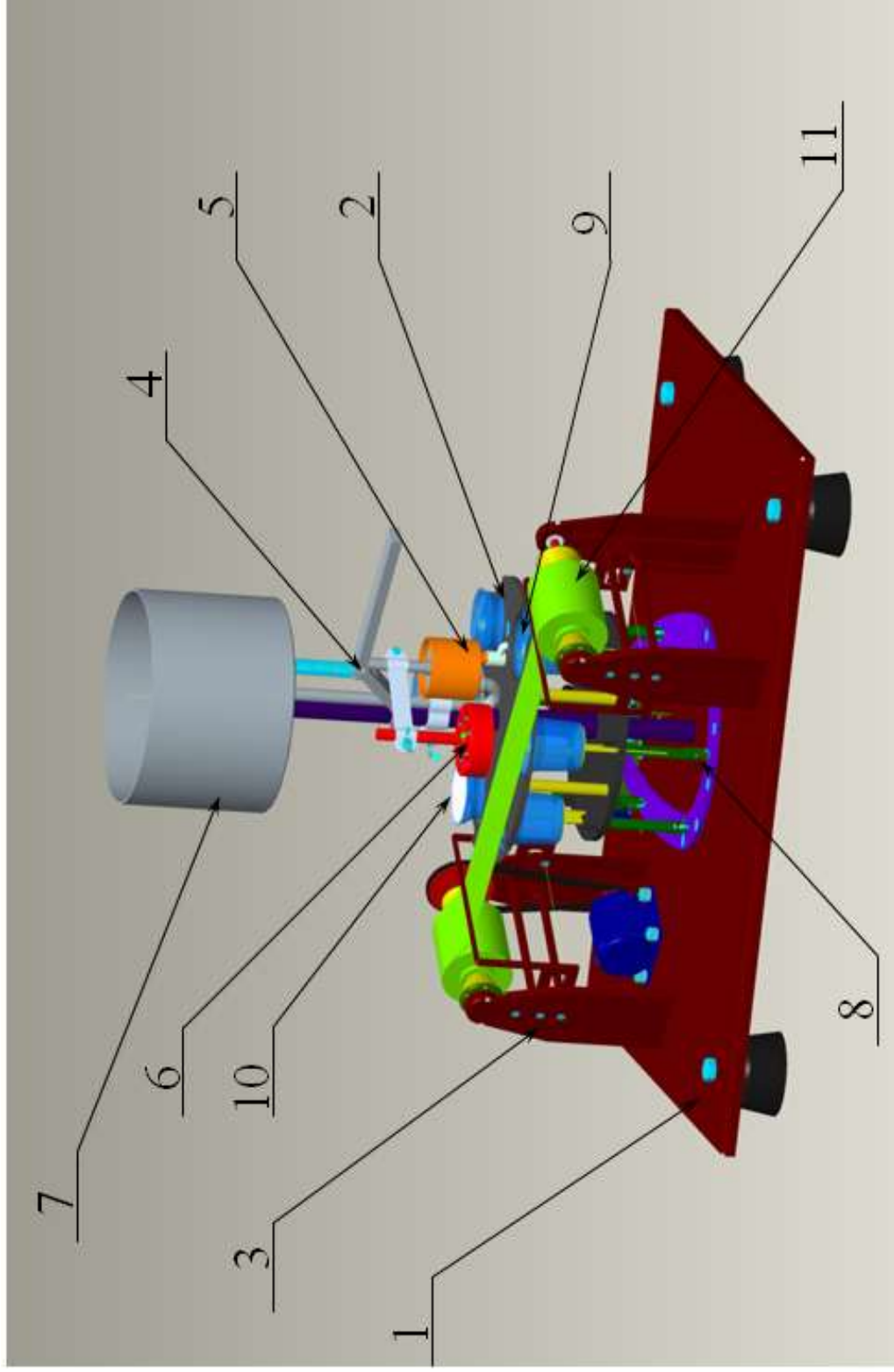


Рисунок 3.4, б – Модифікація установки для фасування сметани для стаканчиків діаметр шийки 95мм.  
 1-станина, 2- роторний механізм, 3-рулонотримач, 4-механізм вертикального переміщення., 5-дозатор,  
 6-зварювальний механізм Ø95мм, 7-живильник, 8-підйомний столик, 9-порожній стаканчик Ø95мм,  
 10-запакований стаканчик, 11-рулон алюмінієвої фольги.

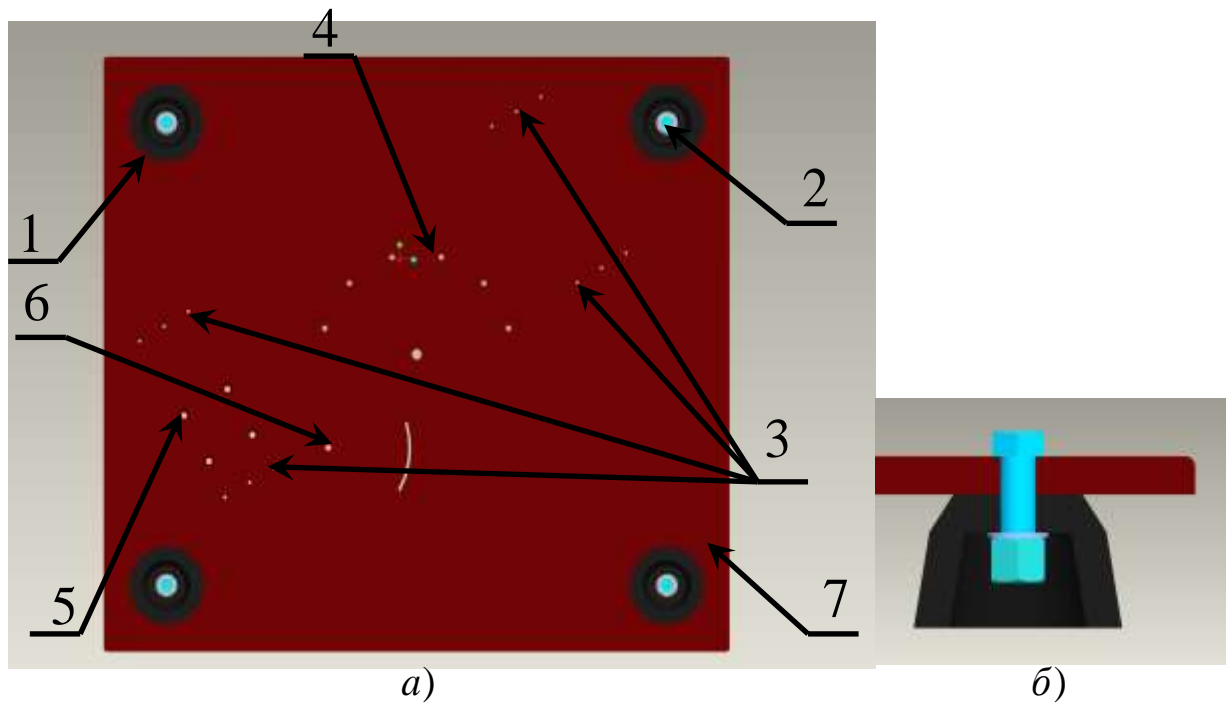


Рисунок 3.5 – Станина з основними кріпильними елементами: а) станина, б) болтове з'єднання ніжок, 1-ніжка, 2- кріплення ніжок, 3-кріпильні отвори для рулотримача, 4- кріпильні отвори для копіра, 5- кріпильні отвори для приводу рулонотримача, 6- кріпильні отвори для приводу ротора, 7-плита.

Станина (рис. 3.5а) являє собою плиту із сірого чавуну марки СЧ25 за ДСТУ ГОСТ 1412:2009, обладнану чотирма ніжками, які з'єднані між собою болтовим кріпленням (рис. 3.5б). Така конструкція забезпечує жорсткість та стійкість установки.

Роторний механізм (рис. 3.6) закріплюється за допомогою двох кулькових підшипників типу 60106 згідно з ДСТУ 9078:2021 і приєднується до станини через диск 1, який фіксується гвинтом 2 на осі 3. Підшипники встановлені у верхньому столику 5 та нижньому столику 4, що стягнуті між собою стяжками 6. До верхнього столика можуть кріпитися скоби 8, які забезпечують можливість дозування продукту у стаканчики з різним діаметром шийки. Копір 9 закріплюється шістьма гвинтами М10×25 за DIN 7981 та виконує функцію направлення руху підйомних столиків.

Гумове колесо 15 притискається до нижнього столика за допомогою пружини 13 і отримує обертання від двигуна 11 через редуктор 10. Двигун та редуктор закріплені на кронштейні 12, який фіксується на стійці 14, що у свою чергу кріпиться до станини. Така кінематична схема забезпечує стабільну роботу роторного механізму та передачу руху від приводу до робочих органів установки.

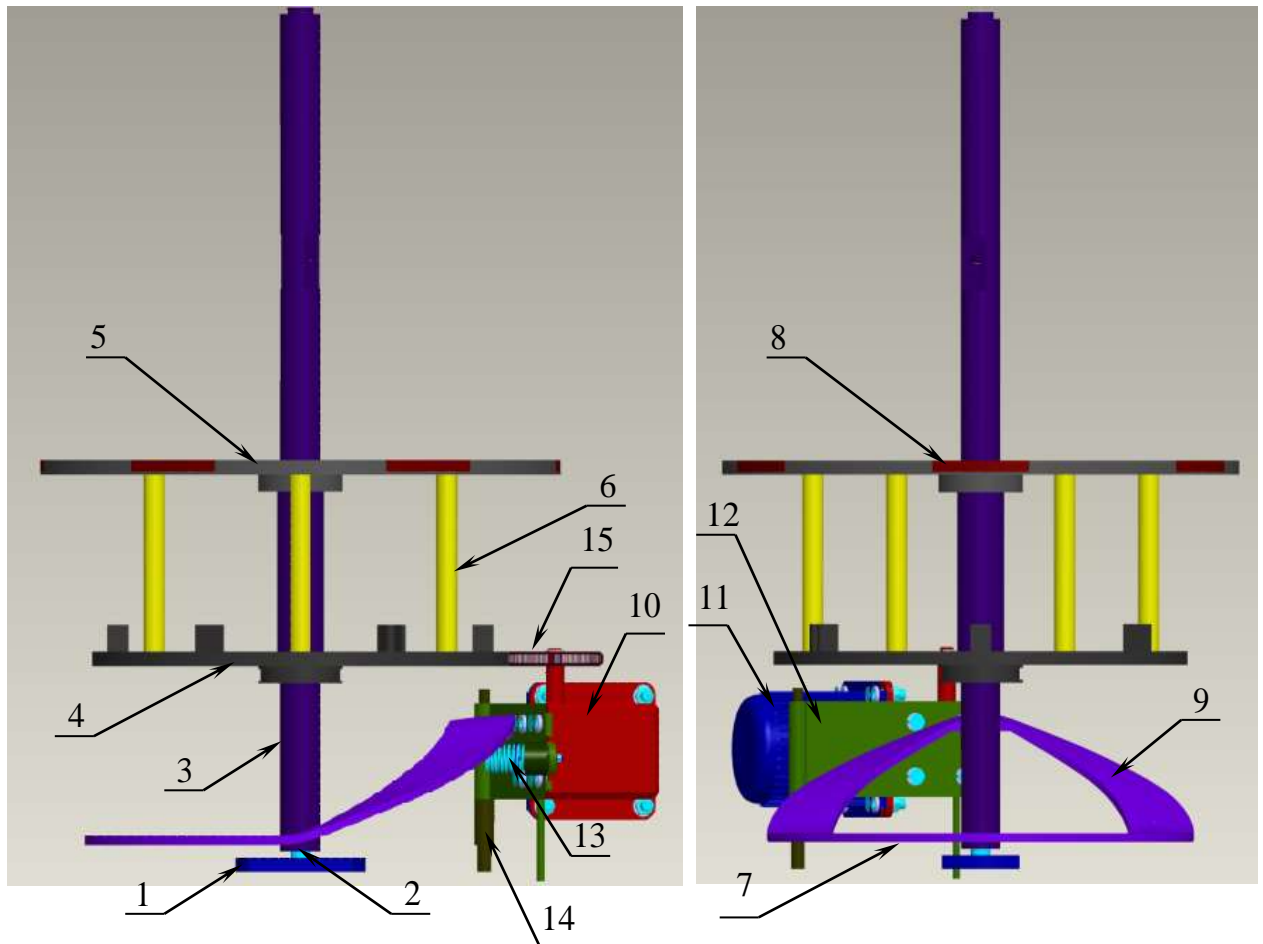


Рисунок 3.6 – Роторний механізм: 1-диск, 2-гвинт, 3-вісь, 4-верхній стіл, 5-нижній стіл, 6-стяжка, 7-копір, 8-скоба, 9-копір, 10-редуктор, 11-двигун, 12-кронштейн, 13-прижимна пружина, 14- стійка, 15-гумове колесо

Рулонотримач (рис. 3.7) виконує функцію протягування алюмінієвої фольги та закріплюється на станині. Рулон встановлюється на вал 7 і фіксується за допомогою прижимного конусного вала 11, який притискає його до нерухомого конусного вала 10. У процесі розмотування або

намотування змінюється діаметр рулону, що призводить до зміни висоти протягування. Для компенсації цього ефекту фольга пропускається через спеціальний натяг 8.

Конусні вали кріпляться до основного вала за допомогою диска 12 та прижимного диска 13. Вся конструкція встановлена на підшипниках типу 60026 згідно з ДСТУ 9079:2021, які розміщені у розбірній та нерозбірній стійці 4. Розбірна стійка складається з верхньої частини 5 та нижньої частини 6, що з'єднані між собою різьбовим з'єднанням. Стійка додатково фіксується стяжкою 1.

Привід рулонотримача здійснюється від двигуна 14 через пасову передачу. Пасова передача включає пас 15, ведений шків 9 та ведучий шків 2. Ведений шків закріплюється на валу двигуна за допомогою затискача 3. Така конструкція забезпечує стабільне протягування фольги та надійність роботи механізму.

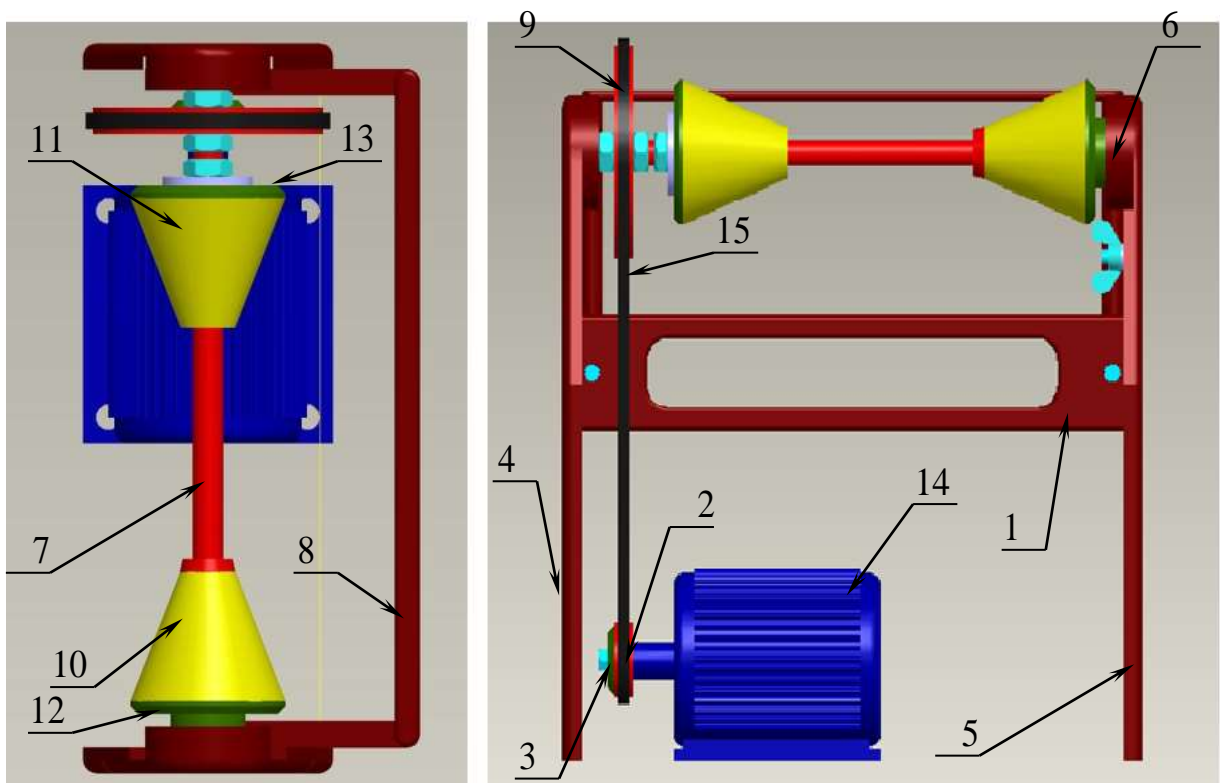


Рисунок 3.7 – Рулонотримач: 1-стяжка, 2-шків ведучий, 3-зжим, 4-стійка, 5-стійка розбірна нижня, 6- стійка розбірна верхня, 7-вал,

8-натяг, 9-шків ведений, 10-конусний вал фіксований, 11-конусний вал прижимний, 12-диск, 13-диск прижимний, 14-двигун, 15-пас

Механізм вертикального переміщення (рис. 3.8) призначений для роботи з поршнем дозатора 7 та зварювальним вузлом, які взаємодіють через фіксатор 6. Об'єм фасування регулюється шляхом затискання фіксатора гвинтовою парою 5. Шарнірний рух конструкції забезпечується роликами 4, що гарантують плавність переміщення.

При натисканні ручки 1 вниз активуються механізми дозування та зварювання. Для компенсації зусилля ручка оснащена зрівноважувальною пружиною 2, другий кінець якої закріплений на зачепі 3. Зачеп жорстко приварений до живильника, що забезпечує надійність та стабільність роботи вузла.

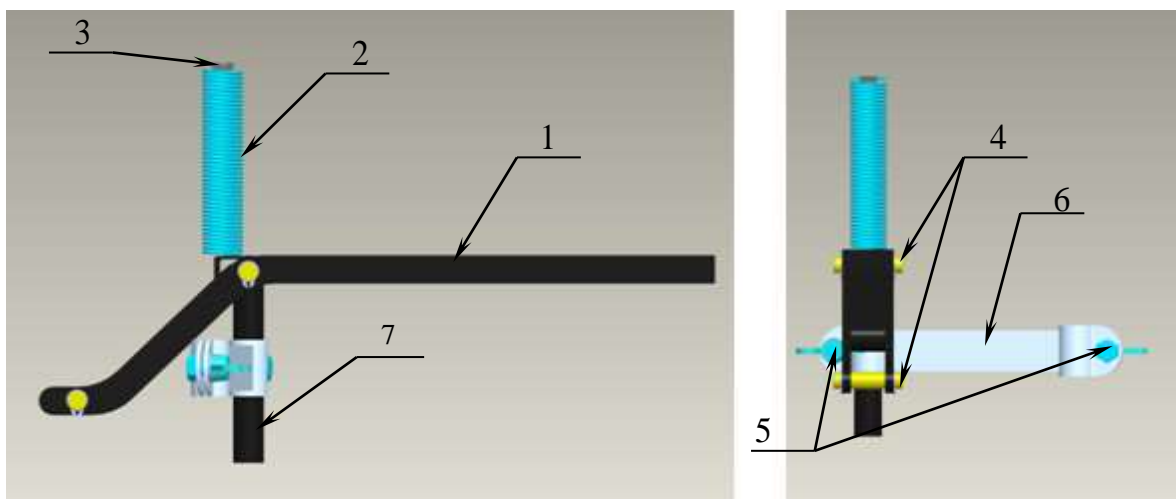


Рисунок 3.8 – Механізм вертикального переміщення: 1-ручка, 2-зрівноважувальна пружина, 3-зачеп, 4-ролики, 5-гвинтова пара, 6-фіксатор, 7-поршень дозатора

Дозатор (рис. 3.9) закріплюється на осі автомату за допомогою затискача 5 та гвинтової пари 6, що дозволяє встановлювати його на необхідній висоті та регулювати об'єм фасованого продукту. Продукт із живильника надходить у циліндр 1 через вхідний клапан 4 під дією руху поршня 3. При опусканні поршня вхідний клапан закривається, і продукт

витісняється через вихідний клапан 2 у споживчу тару. Герметичність роботи дозатора забезпечується гумовими ущільнювачами 7, які запобігають витіканню та гарантують точність дозування.

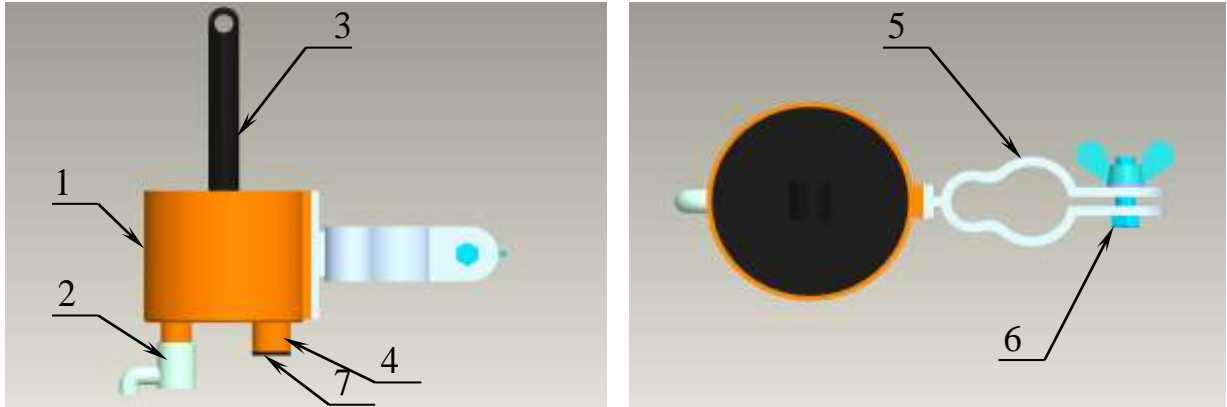


Рисунок 3.9. Дозатор: 1-циліндр, 2-вихідний клапан, 3-поршень, 4-вхідний клапан, 5-затискач, 6-гвинтова пара, 7-гумовий ущільнювач.

Зварювальний механізм (рис. 3.10) закріплюється на механізмі поперечного переміщення за допомогою затискачів, що фіксуються на осі 1. У процесі роботи до алюмінієвої фольги спочатку торкається нагрівальний елемент 2, який забезпечує термічне з'єднання. При подальшому зусиллі відбувається стискання пружини 4, після чого опускається ніж 2 для остаточного формування шва.

Піднімання механізму здійснюється у зворотній послідовності: спочатку відводиться ніж, а потім нагрівальний елемент. Така конструктивна схема виключає можливість прилипання або присмоктування кришки до робочих елементів зварювального вузла, що забезпечує стабільність процесу та високу якість закупорювання стаканчиків.

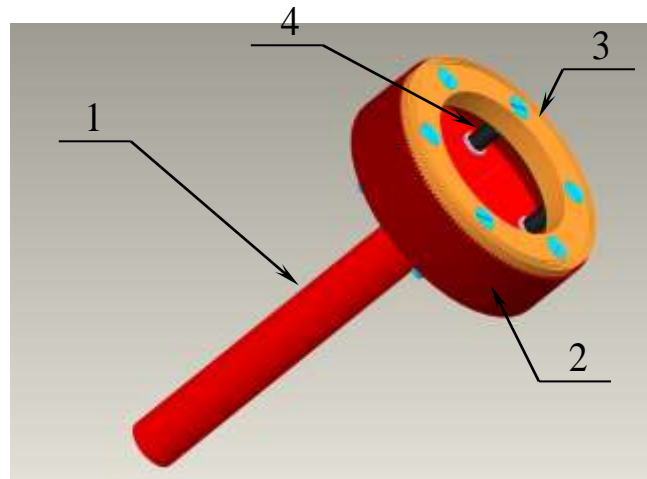


Рисунок 3.10 – Механізм зварювання:  
1-вісь, 2-ніж, 3-нагрівний елемент, 4-пружини

7. Живильник до складу, якого входять бункер, шланг та шланговий затискач зображено на рис. 3.11.

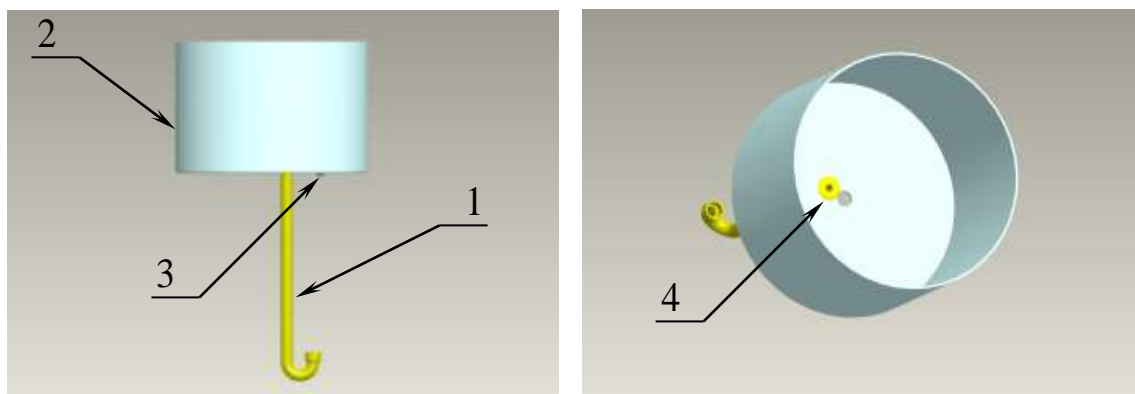


Рисунок 3.11 – Живильник: 1-ланг, 2-бункер, 3-зачеп, 4-шланговий затискач

Всі поверхні які контактують з продуктом виготовлені з харчового алюмінію, або покриті спеціальним лаковим покриттям.

### 3.5 Розрахунок основних виконавчих механізмів.

Визначення потужності приводу каруселі багатопозиційної машини періодичної дії і вибрати електродвигун.

Вихідні дані:

$q = 6$  – кількість позицій каруселі;

$m_{\text{в. max}} = 0,5 \text{ кг}$  – маса виробу;

$t_{po} = 16 \text{ с}$  – тривалість технологічної дії;

$t_n = 2c$  – тривалість переміщення виробу;

$Q = 120 \text{ шт/год}$  - продуктивність;

$d_g = 95 \text{ мм}$  – діаметр виробу;

У підшипниковому вузлі використано упорний кульковий підшипник 60106 ДСТУ 9079:2021;

$K = 0,005$  – коефіцієнт тертя кочення.

Розрахунок.

Вибираємо розміри упорного кулькового підшипника 60106:

$d = 30 \text{ мм}$  – внутрішній діаметр;

$D_{\text{вн}} = 55 \text{ мм}$  – зовнішній діаметр;

$d_u = 7,14 \text{ мм}$  – діаметр кульки упорного кулькового підшипника 8311.

Визначаємо діаметр розташування кульок:

$$D_u = \frac{D_{\text{вн}} + d}{2} = \frac{55 + 30}{2} = 42,5 \text{ мм}$$

Маса роторного механізму разом із підйомними столика та стаканчиками порожніми та заповненими становить  $m_{\text{кз}} = 10 \text{ кг}$

Необхідна для приводу каруселі потужність:

$$N_k = M_{\text{max}} \cdot \omega_{\text{max}}$$

де  $M_{\text{max}}$  – максимальний сумарний момент опору руху;

$\omega_{\text{max}}$  – максимальна кутова швидкість руху каруселі.

Максимальний сумарний момент  $M_{\text{max}}$  опору руху складається із статичного і динамічного моментів:

$$M_{\text{max}} = M_{\text{ст}} + M_{\text{дин. max}}$$

де  $M_{\text{ст}}$  – статичний момент сили тертя в опорі каруселі;

$M_{\text{дин. max}}$  – максимальний динамічний момент опору.

Визначаємо статичний момент опору  $M_{\text{ст}}$  каруселі:

$$M_{\text{ст}} = K \cdot \frac{D_k}{d_k} \cdot Mg = 5 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{42,5}{7,14} \cdot 9,8 \cdot 10 = 3,41 \text{ Н} \cdot \text{м} ,$$

де  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$  – прискорення земного тяжіння.

Визначаємо максимальний динамічний момент  $M_{\text{дин. max}}$  опору. Для цього потрібно визначити загальний момент інерції каруселі разом з виробами і максимальне кутове прискорення каруселі.

Визначаємо загальний момент інерції каруселі:

$$j_{\text{к.з}} = j_1 + j_{\text{во}} \cdot q$$

де  $j_1$  – момент інерції роторного механізму;

$j_{\text{во}}$  – момент інерції виробу відносно осі обертання каруселі;

$q$  – кількість виробів на каруселі.

Момент роторного механізму:

$$j_1 = 0,5m_1 \cdot \left(\frac{D_2}{2}\right)^2 = 0,5 \cdot 10 \cdot \left(\frac{0,32}{2}\right)^2 = 816 \text{ Н} \cdot \text{м}^2$$

Момент інерції виробу відносно осі обертання каруселі за теоремою Гюйгенса:

$$j_{\text{во}} = j_{\text{с}} + m_{\text{с}} \cdot \left(\frac{D_0}{2}\right)^2$$

де  $j_{\text{с}}$  – момент інерції виробу відносно осі, що проходить через його центр мас.

$$j_{\text{с}} = m_{\text{с}} \cdot \left(\frac{d_{\text{с}}}{2}\right)^2 = 1,4 \cdot \left(\frac{0,095}{2}\right)^2 = 0,0031 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Тоді  $j_{\text{во}} = 0,0031 + 1,4 \cdot \left(\frac{0,14}{2}\right)^2 = 0,1 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$

Загальний момент інерції каруселі:

$$j_{\text{к.з}} = j_1 + j_{\text{во}} \cdot q = 816 + 0,1 \cdot 6 = 822 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Максимальне кутове прискорення каруселі:

$$\varepsilon_{\text{max}} = \frac{\pi^2 \cdot \varphi}{2 \cdot t_n^2};$$

де  $\varphi$  – кут повороту каруселі на крок;

$t_n$  – час повороту диска з роликами.

Кут повороту  $\varphi$  каруселі на крок за:

$$\varphi = \frac{360^0}{q} = \frac{360^0}{6} = 60^0$$

Час  $t_n$  повороту диска з роликами повинен становити  $2c$ , таким чином:

$$\varepsilon_{\max} = \frac{3,14^2 \cdot 1}{2 \cdot 2^2} = 1,2c^{-2}$$

Максимальний динамічний момент опору каруселі:

$$M_{\text{дин.макс}} = j_{\text{кз}} \cdot \varepsilon_{\max} = 822 \cdot 1,2 = 986,59 \text{ Нм}$$

Визначаємо максимальний сумарний момент опору каруселі:

$$M_{\max} = M_{\text{ст}} + M_{\text{дин.макс}} = 3,41 + 986,59 = 990 \text{ Нм}$$

Визначаємо потужність, необхідну для приводу каруселі:

$$N_{\kappa} = M_{\max} \cdot \omega_{\max} = 990 \cdot 0,4 = 396 \text{ Вт}$$

Визначаємо потужність приводу каруселі, приведену до вала двигуна:

$$N_{\kappa.д} = \frac{N_{\kappa}}{\eta_0} = \frac{396}{0,5} = 792 = 0,2 \text{ кВт}$$

$$\eta = \eta_{\text{ч}} \cdot \eta_{\text{ф}} \cdot \eta_{\text{ш}} = 0,75 \cdot 0,68 \cdot 0,99 = 0,5$$

де  $\eta_n$  – ККД пасової передачі;

$\eta_{\text{ч}}$  – ККД черв'ячної передачі;

$\eta_{\text{ш}}$  – ККД підшипника кочення.

Вибираємо двигун з найбільш більшою потужністю – АОЛ1-08

$N_{\text{дин.ном}} = 0,2 \text{ кВт}$  – номінальна потужність двигуна;

$n_c = 36 \text{ хв}^{-1}$  – синхронна частота обертання.

Визначення потужності приводу рулонотримачів і вибрати електродвигун.

Вихідні дані:

$q = 2$  – кількість рулонотримачів;

$m_p = 0,6 \text{ кг}$  – маса виробу;

$Q = 120 \text{ шт/год}$  – продуктивність;

У підшипниковому вузлі використано упорний кульковий підшипник 60106 ДСТУ 9079:2021;

$K = 0,005$  – коефіцієнт тертя кочення.

Розрахунок.

Вибираємо розміри упорного кулькового підшипника 60026 ДСТУ 9079:2021:

$d = 9\text{мм}$  – внутрішній діаметр;

$D_{\text{ун}} = 26\text{мм}$  – зовнішній діаметр;

$d_{\text{ш}} = 4,76\text{мм}$  – діаметр кульки упорного кулькового підшипника .

Визначаємо діаметр розташування кульок:

$$D_{\text{ш}} = \frac{D_{\text{ун}} + d}{2} = \frac{26 + 9}{2} = 17,5\text{мм}$$

Маса, що обертається на рулонотримачах становить  $m_m \approx 2,2\text{кг}$

Маса булана алюмінієвої фольги разом із бухтою становить  $m_p \approx 0,6\text{кг}$

Визначимо загальну масу:

$$M = m_p + m_m \cdot n$$

де  $n$  – кількість рулонотримачів.

$$M = 0,6 + 2,2 \cdot 2 \approx 5\text{кг}$$

Необхідна для приводу рулонотримачів потужність:

$$N_k = M_{\text{max}} \cdot w_{\text{max}}$$

де  $M_{\text{max}}$  – максимальний сумарний момент опору руху;

$w_{\text{max}}$  – максимальна кутова швидкість рулотримача.

Максимальний сумарний момент  $M_{\text{max}}$  опору руху складається із статичного і динамічного моментів:

$$M_{\text{max}} = M_{\text{ст}} + M_{\text{дин. max}}$$

де  $M_{\text{ст}}$  – статичний момент сили тертя в опорах підшипників;

$M_{\text{дин. max}}$  – максимальний динамічний момент опору.

Визначаємо статичний момент опору  $M_{\text{ст}}$  каруселі:

$$M_{cm} = K \cdot \frac{D_k}{d_k} \cdot M \cdot g,$$

де  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$  – прискорення земного тяжіння;

$$M_{cm} = 5 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{17,5}{4,76} \cdot 9,8 \cdot 5 = 0,036 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Визначаємо максимальний динамічний момент  $M_{дин.макс}$  опору. Для цього потрібно визначити загальний момент інерції каруселі разом з виробами і максимальне кутове прискорення каруселі.

Визначаємо загальний момент інерції каруселі:

$$j_{к.з} = j_1 \cdot 2$$

де  $j_1$  – момент інерції рулотримача;

$q$  – кількість рулонотримачів.

Момент роторного механізму:

$$j_1 = 0,5 m_1 \cdot \left( \frac{D_2}{2} \right)^2 = 0,5 \cdot 10 \cdot \left( \frac{6,2}{2} \right)^2 = 48 \text{ Н} \cdot \text{м}^2$$

$$j_{к.з} = 48 \cdot 2 = 96 \text{ Н} \cdot \text{м}^2$$

Оскільки всі інші моменти незначні ними нехтуємо.

Максимальний динамічний момент опору каруселі:

$$M_{дин.макс} = j_{кз} \cdot \varepsilon_{макс} = 96 \cdot 1,89 = 182,19 \text{ Нм}$$

Визначаємо максимальний сумарний момент опору каруселі:

$$M_{макс} = M_{cm} + M_{дин.макс} = 0,036 + 182,19 = 182,2 \text{ Нм}$$

Визначаємо потужність, необхідну для приводу каруселі:

$$N_{к} = M_{макс} \cdot \omega_{макс} = 182,8 \cdot 0,4 = 73,12 \text{ Вт}$$

Визначаємо потужність приводу каруселі, приведену до вала двигуна:

$$N_{к.д} = \frac{N_{к}}{\eta_0} = \frac{73,12}{0,74} = 98,8 \text{ Вт} = 0,1 \text{ кВт}$$

$$\eta = \eta_n \cdot \eta_{ш} = 0,75 \cdot 0,99 = 0,74$$

де  $\eta_n$  – ККД пасової передачі;

$\eta_{ш}$  – ККД підшипника кочення.

Вибираємо двигун з найбільш більшою потужністю – АОЛ1-04

$N_{\text{дин.ном}} = 0,1 \text{ кВт}$  – номінальна потужність двигуна;

$n_c = 36 \text{ хв}^{-1}$  – синхронна частота обертання.

Розрахунок дозатора:

Вихідні дані:

Зусилля штовхання  $P_{\text{кш}} = 3610 \text{ Н}$

Тягнуче зусилля  $P_{\text{кт}} = 2300 \text{ Н}$

Тиск в  $P_0 = P_a = 1 \text{ МПа}$

Втрата тиску в мережі  $\Delta p = 0,1 \text{ МПа}$

Довжина ходу поршня дозатора  $L = 50 \text{ мм}$

Час дозування  $t_{\text{сн}} = 10 \text{ с}$

Коефіцієнт корисної дії дозатора  $\eta = 0,8$

Діаметр поршня дозатора за визначається за формулою:

$$D = 2 \sqrt{\frac{P_{\text{кш}}}{\pi \cdot p \cdot \eta}}$$

Тиск в мережі становитиме:

$$p = P_0 - \Delta p$$

$$p = 1 - 0,1 = 0,9 \text{ МПа} = 9 \text{ кгс/см}^2$$

Визначимо діаметр поршня дозатора:

$$D = 2 \sqrt{\frac{361}{3,14 \cdot 9 \cdot 0,8}} = 7,99 \text{ см}$$

Рекомендовані значення  $D, d$  за ДСТУ таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Стандартні значення діаметрів циліндрів та їх штоків

D	Основний	25	32	40	50	60	80	100	120	160	200
	Додатковий	-	36	45	55	70	90	110	140	180	220
d	Основний	8	10	12	16	20	25	32	40	50	60
	Додатковий	-	-	14	18	22	28	36	45	55	70

$$D = 80$$

$$d = 25$$

Перевірка тягнучого зусилля:

$$P_{км} = \frac{\pi D^2 p (1 - \frac{d}{D}) \cdot \eta}{4} = \frac{3,14 \cdot 8^2 \cdot 9 \cdot (1 - \frac{2,5}{8}) \cdot 0,8}{4} = 248dH = 2480 \geq 2300H ,$$

умова витримана.

Визначимо внутрішній діаметр трубопроводу  $d_{mp}$  для заданого часу спрацювання  $t_{cn} = 10c$  при ході поршня дозатора  $L = 50mm$ .

$$d_{mp} = \sqrt{\frac{D^2 \cdot L}{V_m \cdot t_{cn}}}$$

де  $V_m$  – швидкість руху продукту в трубопроводі  $V_m = 0,2m/c$ .

$$d_{mp} = \sqrt{\frac{0,08^2 \cdot 0,05}{0,3 \cdot 10}} = 0,01032 \cdot 10^{-3} m \approx 10mm$$

З розрахунків дозатора видно, що при його проектуванні січення поперечного перерізу де проходить продукт не повинне бути менш як 10мм. При заданому максимальному об'ємі дозування встановили  $D = 80, d = 25$ ; зусилля штовхання  $P_{ки} = 3610H$  та тягнуче зусилля  $P_{км} = 2300H$ .

Всі технічні дані дозатора занесемо в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Розрахункові значення пневоциліндра

№	Параметр	Задане	Розраховане	Прийняте
1	Штовхаюча сила	3610H	-----	3610H
2	Тягнуча сила	2300H	2480H	2480H
3	ККД	-----	-----	0,8
4	Тиск в мережі	1атм = 1МПа	-----	1атм = 1МПа
5	Час спрацювання	10с	-----	10с
6	Частота спрацювання	6хв <sup>-1</sup>	-----	6хв <sup>-1</sup>
7	Діаметр гільзи циліндра	-----	79,9мм	80мм
8	Діаметр штока поршня	-----	-----	25мм
9	Хід штока поршня L	50мм	-----	50мм
10	Діаметр трубопроводу $d_{тр}$	-----	10мм	10мм

## РОЗДІЛ 4

### ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ЧАСТИНА

#### 4.1 Монтаж, ремонт і умови експлуатації машини або лінії

*Умови експлуатації.* Перед початком роботи перевіряється:

Санітарний огляд – відсутність пошкоджень та наявність усіх елементів;

Робоче місце – відсутність сторонніх предметів;

Обладнання – робота в холостому режимі при кроковому переміщенні на мінімальній швидкості, робота в автоматичному режимі на робочій швидкості, справність кнопки аварійної зупинки, наявність та цілісність заземлення.

Промити підлогу від залишків суміші та миючих засобів.

При наявності зауважень чи запитань звертатися до майстра, а при його відсутності – до посадової особи.

При відхиленнях у роботі обладнання звертатися до чергового механіка (слюсаря-налагоджувальника).

Виконувати лише роботу, що входить до функціональних обов'язків.

Забороняється робота без захисного кожуха на нагрівному елементі.

Забороняється допускати сторонніх осіб до управління обладнанням.

Не залишати працюючий автомат без нагляду. У разі відлучення – залишити працівника з допуском або завершити цикл фасування.

Не виконувати самостійно ремонтів обладнання.

При митті не допускати попадання води чи миючих засобів на електричні з'єднання.

Про відхилення від нормальної роботи повідомляти майстра або чергового механіка.

Перед початком роботи пересвідчитись у нормальній роботі обладнання.

При передачі зміни інформувати наступника про особливості роботи автомату та фасування продукції.

Повідомляти майстра про всі зауваження, що виникли в процесі роботи.

*Порядок установки.* Оглянути зовнішній вигляд машини, очистити поверхні від пилу.

Заземлити машину (під'єднати контур заземлення до болта).

Підключити машину до електромережі 220 В; 50 Гц.

Перевірити наявність масла в редукторі, при потребі залити 100 г.

Підготовка до роботи і порядок роботи

Перевірити міцність з'єднання конструктивних вузлів.

Перевірити надійність заземлення.

Встановити рулон фольги на вал рулонотримача та закріпити конусами.

Вал з рулоном встановити на підшипникові опори та завести фольгу через механізм розмотування.

Увімкнути тумблер «Мережа» – починається нагрівання зварювального елемента (температура задається мікроконтролером).

Встановити стаканчик у комірку ротора.

Повернути ротор на одну позицію за годинниковою стрілкою та встановити другий стаканчик.

При повороті ротора опустити поршень дозатора та зварювальну головку до упору. Загоряється зелений індикатор «ПОЧ.» («ЦИКЛ»).

Після витримки зварювання загоряється червоний індикатор «КІН.» («ЦИКЛ») та подається звуковий сигнал – відпустити важіль.

Ротор повертається на наступну позицію: перший стаканчик стає під вузол зварювання та вирубування кришок.

Ротор обертається циклічно до першої позиції. За три цикли фольга охолоджується до кімнатної температури.

Порожні стаканчики встановлювати кожного циклу, замінюючи закупорені.

У разі незапланованого вимкнення натиснути кнопку «Стоп» – автомат завершить цикл і зупиниться у початковому стані.

Технічне обслуговування автомату.

Регламентно-технічне обслуговування автомату проводиться з періодом і в обсязі, які вказані в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Технічне обслуговування установки для фасування сметани

Вид технічного обслуговування	Спосіб проведення технічного обслуговування	Періодичність
Огляд зовнішнього виду автомата	Візуально	Щоденно
Заміна масла в редукторі підвідного транспортера	Відкрити зливну і заливну пробку, злити масло, закрутити зливну пробку, залити 100 грамів масла «Трансол – 200» або ТС – 9 закрутити заливну пробку.	Через 10 тис. годин напрацювання, чи 2 роки роботи.

#### 4.2 Розрахунок матеріальних потоків в лінії

Розрахунок трубопроводу для подачі рідини

Швидкість руху рідини трубопроводом визначається із рівняння витрат,  $m/c$ .

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

де  $V$  – кількість рідини,  $m^3/год$

$v$  – швидкість руху рідини,  $m/c$

$s = \pi \cdot d^2 / 4$  – площа перерізу трубопроводу,  $m^2$

$d$  – діаметр трубопроводу,  $m$ .

Діаметр трубопроводу, що задовольняє технологічним вимогам, розраховується за формулою:

$$d = \sqrt{\frac{V}{900\pi v}}, m$$

Автомат, який розглядаємо призначений для фасування сметани. Для даного продукту рекомендована швидкість руху по трубопроводі 0,2-0,3  $m/c$ .

Кількість рідини, що пропускається за одиницю часу, визначається фасувальним автоматом і дорівнює:

$$V = Q_T \cdot V_m = 120 \cdot 0,5 = 60 \text{ л} / \text{год} = 0,06 \text{ м}^3 / \text{год}$$

де  $Q_T$  – продуктивність автомату;

$V_c$  – об'єм дозованого продукту. Приймаємо  $V_c = 0,5 \text{ л}$ , – максимальний об'єм, який можна дозувати на установці для фасування сметани.

При чому діаметр трубопроводу дорівнює:

$$d = \sqrt{\frac{V}{900 \cdot \pi \cdot v}} = \sqrt{\frac{0,06}{900 \cdot 3,14 \cdot 0,2}} = 0,01 \text{ м}$$

Оскільки найменше січення трубовідної системи установки для фасування сметани розраховувалось в пункті 3.5 атестаційної роботи магістра і становить  $d_{mp} = 10 \text{ мм}$ , то це значення відповідає заданим вимогам.

#### 4.3 Розрахунок періодичності поповнення запасів матеріалів

Періодичність поповнення запасів нагромадження станкачів визначає час безперебійної роботи справної машини, величина, якого визначається:

$$T = E / Q_u$$

де  $Q_u$  – циклова продуктивність машини,

$E$  – ємність нагромаджувача упаковка стаканчиків 200шт в одній упаковці.

$$T = 200 / 120 = 1,67 \text{ год}$$

Отже, через кожні 1,67 год потрібно подавати до установки для фасування сметани.

#### Періодичність заміни рулонних матеріалів

Для вирубання та приварення кришечок в установці для фасування сметани використовується рулон алюмінієвої фольги. Ширина рулону визначається необхідністю її використання відповідно до стаканчиків діаметром шийки 75 мм та 95 мм.

Визначимо періодичність заміни рулону алюмінієвої фольги, що використовується для виготовлення та зварювання кришечок. Стандартний

рулон алюмінієвої фольги товщиною 30мм має зовнішній діаметр намотки 100мм, а саме плівка намотана на гільзу діаметром 50мм.

Визначаємо спочатку довжину плівки в рулоні за формулою:

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

де  $n$  – кількість шарів плівки в рулоні

$$n = (R - r) / h = (100 - 50) / 0,03 = 833$$

де  $h = 0,03\text{мм}$  – товщина алюмінієвої фольги

$R_m$  – середній радіус рулону, мм

$$R_m = (R + r) / 2 = (100 + 50) / 2 = 75\text{мм}$$

Тоді довжина плівки в рулоні:

$$L = 2\pi \cdot R_m \cdot n = 2 \cdot 3,14 \cdot 75 \cdot 833 = 392343\text{мм} = 392\text{м}$$

Швидкість використання фольги буде становити:

$$v = Q_u \cdot l,$$

де  $Q_u$  – теоретична продуктивність машини

$l$  – довжина, яка необхідна для виготовлення однієї кришечки.

Якщо установка для фасування сметани має продуктивність 120уп/год, а довжина фольги, яка необхідна для виготовлення однієї кришечки становить 110мм для стаканчиків з діаметром шийки 95мм, то швидкість розмотування рулону буде рівною:

$$v = Q_u \cdot l = 120 \cdot 0,11 = 13,2\text{м/год}$$

Для стаканчиків діаметр шийки, яких становить 75мм, довжина фольги для виготовлення однієї кришечки становитиме 95мм. Швидкість розмотування рулону буде рівною:

$$v = Q_u \cdot l = 120 \cdot 0,095 = 11,4\text{м/год}$$

Тоді тривалість використання одного рулону для стаканчиків  $d = 95\text{мм}$  становитиме:

$$T_{зам} = L/v = 392/13,2 = 29,7 год$$

Тривалість використання одного рулону для стаканчиків  $d = 75 мм$  становитиме:

$$T_{зам} = L/v = 392/11,4 = 34,38 год$$

Із одного рулону фольги може бути виготовлено  $N$  упаковок з готовою продукцією:

- для стаканчиків  $d = 95 мм$   $N = L/l = 392/0,11 = 3564$  стаканчика
- для стаканчиків  $d = 75 мм$   $N = L/l = 392/0,095 = 4126$  стаканчиків

Тривалість роботи установки для пакування сметани складає час заміни рулону:

- для стаканчиків  $d = 95 мм$   $T_{зам} = N/Q_{ц} = 3564/120 = 29,7 год$
- для стаканчиків  $d = 75 мм$   $T_{зам} = N/Q_{ц} = 4126/120 = 34,38 год$

Таким чином, встановлення нового рулону для стаканчиків  $d = 95 мм$  потрібно проводити кожні 29,7 та для стаканчиків  $d = 75 мм$  кожні 34,38 години роботи установки відповідно.

Визначимо періодичність поповнення живильника продуктом, що фасується в полістирольні стаканчики.

Максимальна доза дозування становить  $V_{max} = 0,5 л$ . З рис.4.1. видно, що об'єм живильника можна вирахувати прийнявши його форму за циліндричну нехтуючи радіусами округлення та конусним затискачем шланга.

$$D = 300 мм$$

$$H = 205 мм$$

Вирахуємо внутрішній діаметр живильника за формулою:

$$d = D - 2b$$

де  $b$  – товщина стінки живильника, 3 мм.

$$d = 300 - 2 \cdot 3 = 296 мм$$

Визначимо висоту живильника:

$$h = H - k$$

де  $k$  – товщина дна живильника, 5мм.

$$h = 205 - 5 = 200\text{мм}$$

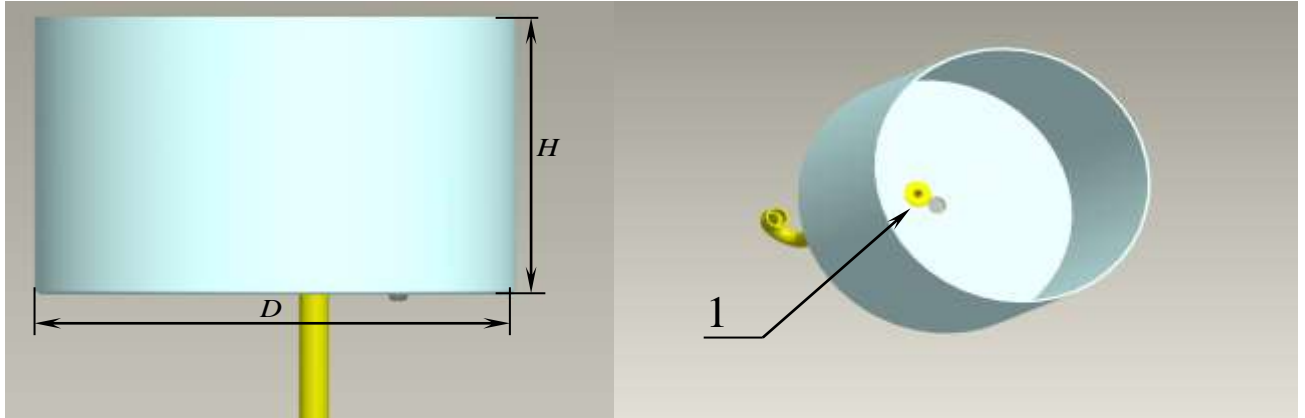


Рисунок 4.1 – Конструкція живильника

Тоді максимальний об'єм живильника становитиме:

$$V = S \cdot h$$

де  $s$  – площа поперечного перерізу живильника.

$$S = \pi d^2 / 4$$

$$S = 3,14 \cdot 0,296^2 / 4 = 0,069\text{м}^2$$

$$V = 0,069 \cdot 0,2 = 0,0138\text{м}^3 \cdot 1000 = 13,8\text{л}$$

Періодичність поповнення запасів живильника визначає час безперебійної роботи справної машини, величина, якого визначається:

$$T = V / V_{\max} \cdot Q_{\text{ц}}$$

де  $Q_{\text{ц}}$  – циклова продуктивність машини,

$V$  – ємність живильника.

$$T = 13,8 / 0,5 \cdot 120 = 0,23\text{год}$$

Отже, через кожні 0,23год потрібно поповнювати живильник сметаною.

## РОЗДІЛ 5

## ПОБУДОВА 3D МОДЕЛІ У СИСТЕМІ PTC CREO 4.0

PTC Creo 4.0 є інтегрованою системою тривимірного твердотільного та поверхневого моделювання, призначеною для створення електронних геометричних моделей деталей і складальних одиниць. Програмне середовище забезпечує можливість формування креслень у необхідних проекціях та аксонометрії, виконання розкрою листових матеріалів, а також розроблення технологічних процесів виготовлення деталей на верстатах із числовим програмним керуванням.

У процесі проектування допускається використання різних типів геометрії – твердотільної, поверхневої або комбінованої. Геометрична модель формується з окремих елементів, які виступають базовими конструктивними одиницями (геометричні елементи, або фічери). Для складальних моделей ці елементи організуються у вигляді деталей та підвузлів, що утворюють цілісну структуру.

Функціонування системи базується на таких принципах:

- твердотільне моделювання об'єктів;
- побудова геометрії на основі геометричних елементів;
- параметризація моделей;
- ієрархічні залежності між елементами за типом «батько–нащадок»;
- асоціативність;
- використання моделі як основного носія конструкторської інформації.

Організація роботи передбачає визначення робочої директорії, у якій зберігаються всі створені файли. Під час редагування вони завантажуються в оперативну пам'ять комп'ютера та залишаються там до моменту завершення роботи. Команда «Мої документи» забезпечує перехід до системної папки користувача, проте збереження на диск відбувається лише після явного виконання відповідної операції.

Очищення оперативної пам'яті є необхідним етапом роботи, оскільки моделі залишаються активними навіть після закриття у програмі. Це особливо

актуально при використанні файлів з однаковими назвами, що розташовані у різних директоріях. Видалення з пам'яті не впливає на наявність файлів на жорсткому диску.

Твердотільне моделювання забезпечує відображення конструктивних ідей у тривимірному просторі з реалістичним відтворенням деталей та вузлів. Окрім геометричних параметрів, моделі характеризуються фізичними властивостями – масою, об'ємом, положенням центра ваги, площею поверхонь. Система дозволяє виконувати аналіз допусків і зазорів у з'єднаннях. Зміна геометрії шляхом додавання або вилучення елементів автоматично коригує властивості моделі. Наприклад, видалення отвору з деталі призводить до зменшення її маси.

Побудова геометричної моделі на основі геометричних елементів передбачає використання простих об'єктів, які у поєднанні формують складні за конфігурацією деталі. Кожен окремий елемент є базовою конструктивною одиницею, проте їх комбінація дозволяє отримати вироби з високим рівнем геометричної складності.

Прикладом може слугувати процес моделювання диска, що включає послідовні етапи:

- задання основних габаритних параметрів та формоутворення деталі шляхом операції видавлювання;
- формування другого циліндричного сегмента методом видавлювання;
- створення третього циліндричного сегмента аналогічною операцією;
- виконання фаски для забезпечення необхідної геометрії;
- внесення отвору для кріпильних гвинтів;
- формування фаски під потай гвинта;
- побудова масиву, що складається з повторюваних геометричних елементів, утворених на попередніх етапах.

Таким чином, послідовне додавання та модифікація геометричних елементів забезпечує отримання цілісної моделі деталі з необхідними конструктивними характеристиками.

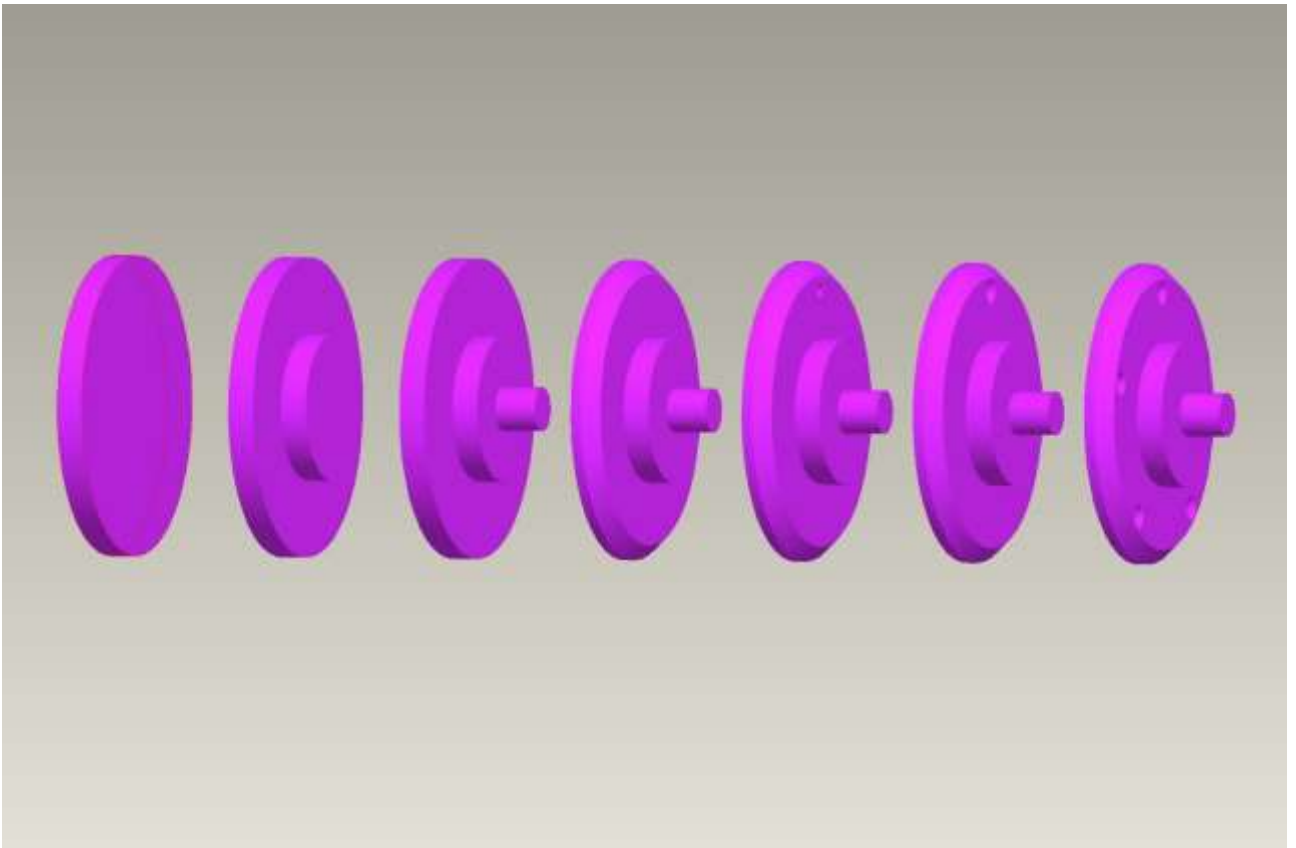


Рисунок 5.1 – Приклад формування геометричної моделі диска із використанням різних ГЕ

Процес формування ескізу включає вибір ескізної площини, визначення її орієнтації, побудову геометричних контурів, а також накладання розмірів і геометричних обмежень. Ескіз зазвичай має плоску структуру та використовується як базовий етап для створення більш складних ескізних геометричних елементів.

Габаритні параметри та форма ескізних елементів задаються шляхом створення внутрішнього ескізу або використання вже наявного зовнішнього. У випадках підвищеної складності або специфічного призначення елемента можуть застосовуватися додаткові опорні об'єкти.

Таким чином, побудова ескізу зводиться до вибору площини, формування на ній необхідної геометрії та визначення її розмірних характеристик. Основні складові ескізу систематизовані у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1. – Основні елементи ескізу

	Вибрати елементи		Побудувати скруглення між елементами
	Визначити бази		Побудувати сплайн
	Побудувати пряму по двох точках		Побудувати точку
	Побудувати пряму дотичну до 2-ох елементів		Побудувати систему координат прив'язки
	Побудувати центральну лінію		Побудувати елемент по ребру
	Побудувати прямокутник		Побудувати елемент із зміщенням від ребра
	Побудувати коло за центром і точкою на ньому		Поставити розмір
	Створити концентричне коло		Змінити значення розмірів, геометрію сплайну чи текст
	Створити коло по 3-м точках		Задати зв'язок між елементами ескізу
	Побудувати коло дотичне до 3-ох елементів		Створити текст, як елемент січення
	Побудувати повний еліпс		Динамічна обрізка елементів січення
	Побудувати дугу за 3-ма точками		Відрізати об'єкти до інших елементів
	Побудувати дугу за центром і кінцевим точкам		Розділити об'єкти у вказаній точці
	Побудувати концентричну дугу		Дзеркально відобразити виділений елемент
	Побудувати дугу дотичну до 3-ох елементів		Масштабувати та повертати виділенні елементи
	Побудувати конічну дугу		Копіювати виділений об'єкт
	Побудувати кругове округлення між елементами		Вставити сторонню інформацію

Більшість промислових виробів складаються не з окремих деталей, а з комплексних сукупностей компонентів. Система PTC Creo 4.0 забезпечує можливість автоматичного або ручного розміщення елементів у складальних вузлах із використанням різних типів прив'язок.

Одним із базових способів формування з'єднань є застосування твердих прив'язок. При їх використанні компонент втрачає всі ступені свободи та фіксується у вузлі жорстко. Поряд із цим існують «м'які» прив'язки, що позначаються терміном «закріплення». Вони дозволяють залишати одну чи кілька ступенів свободи, що необхідно для створення механічно рухомих з'єднань.

Як і окремі деталі, складальні вузли мають власні характеристики. Використання шаблонів при їх створенні значно скорочує час проектування, оскільки інженер звільняється від необхідності повторного введення стандартної інформації. Шаблони, адаптовані під вимоги конкретного підприємства, забезпечують єдину вихідну точку для всіх конструкторів.

Після формування вузла та присвоєння йому назви до складу додаються необхідні компоненти. Процес їхнього сполучення має відтворювати реальні умови збирання виробу, що дозволяє виявити можливі проблеми ще на етапі проектування.

Система підтримує різні типи прив'язок: накладення, сполучення, вставлення, а також автоматичну прив'язку. Остання значно спрощує процес, оскільки достатньо лише вказати відповідні посилання на об'єктах, а програма самостійно інтерпретує їх залежно від геометрії та взаємного розташування деталей.

Шаблони складальних файлів аналогічні шаблонам деталей: вони забезпечують автоматичне створення опорних площин, збережених видів та можуть містити специфічні параметри й шари, що відповідають вимогам компанії. Новий складальний файл успадковує налаштування шаблону.

Прив'язки визначають положення компонентів у вузлі. Найбільш поширеними є такі: автоматична, накладення, сполучення, вставлення,

координатна система, за замовчуванням, зафіксувати. Коректне застосування прив'язок забезпечує передбачувану реакцію складальної моделі на будь-які зміни, внесені у процесі проектування.

Зразок виконання збірки рулонотримача наведений на рис. 5.2 та 5.3.

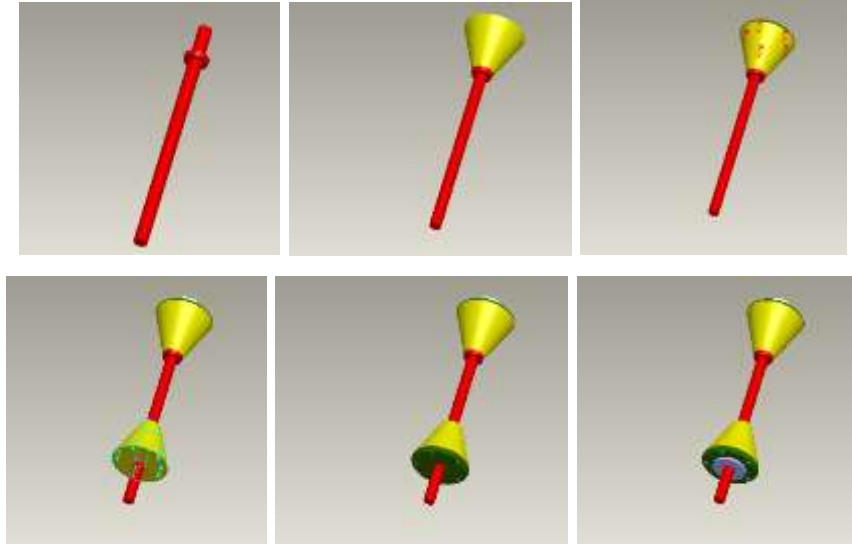


Рисунок 5.2 – Збирання рулонотримача

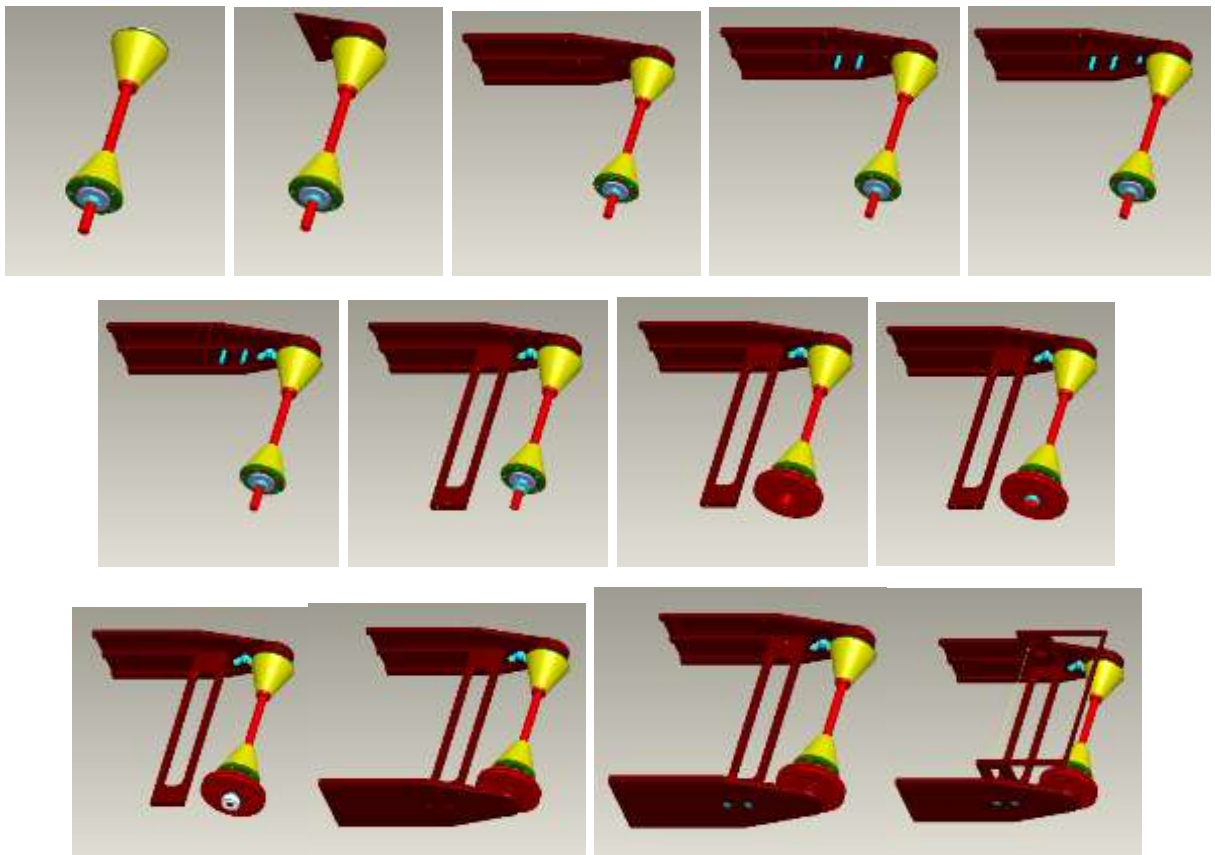


Рисунок 5.3 – Встановлення рулонотримача на стійки.

## ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

У ході виконання кваліфікаційної роботи магістра було здійснено проектування ручної фасувальної машини для пакування сметани у полімерні стаканчики з продуктивністю 120 шт/год. Проектування здійснювалося із застосуванням системи твердотільного моделювання PTC Creo 4.0, що дало змогу створити повноцінну тривимірну модель установки та оптимізувати її конструктивні параметри.

Розроблена машина забезпечує фасування сметани у полімерну тару з подальшим герметичним закупорюванням алюмінієвими кришками. Закупорювання реалізується методом термічного приварювання кришок до стаканчиків із одночасним вирубуванням їх із рулону фольги, що гарантує надійність та герметичність пакування.

Конструкція установки включає основні функціональні вузли: станину з несучою стійкою, ротор, копір, підйомні столики, механізм вертикального переміщення, зварювальний вузол, дозатор, рулонотримачі та електронний блок керування типу P5. Така структурна організація забезпечує узгоджену роботу всіх механізмів та стабільність технологічного процесу.

Важливою перевагою розробленої машини є її універсальність. Вона дозволяє фасувати сметану у дозах від 100 до 500 мл у стаканчики з діаметром шийки 75 мм та 95 мм, що забезпечує гнучкість у використанні та можливість адаптації до різних виробничих умов. Це робить установку ефективним рішенням для малосерійного виробництва, зокрема у фермерських господарствах та невеликих переробних підприємствах.

Таким чином, виконана робота підтвердила доцільність застосування сучасних систем тривимірного моделювання для проектування пакувального обладнання, а також продемонструвала перспективність розробленої конструкції як практичного інструменту для підвищення ефективності та гнучкості виробничих процесів у харчовій промисловості.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Автоматизація виробництва в машинобудуванні. Частина II : навчальний посібник / Ю. І. Муляр, С. В. Репінський. – Вінниця : ВНТУ, 2020. – 123 с.
2. Іскович-Лотоцький, Р. Д. Обладнання автоматизованих виробництв. Частина 1. Верстати-автомати : навчальний посібник / Р. Д. Іскович-Лотоцький, О. Д. Манжілевський – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 91 с.
3. Проць Я.І. Автоматизація виробничих процесів. Навчальний посібник для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. /Я.І. Проць, В.Б. Савків, О.К. Шкодзінський, О.Л. Лящук – Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. – 344 с.
4. Гідропневмоприводи та пристрої автоматики: Навчальний посібник / А. В. Люта, Є. Ф. Чекулаєв. – 2-е видання (перероблене). – Краматорськ: ДДМА, 2020. – 172 с
5. Пакувальне обладнання : підручник / О. М. Гавва [та ін.]. – К. : ІАЦ «Упаковка», 2010. – 744 с.
6. Гавва, О. М. Пакувальне обладнання в 3 кн. Кн. 1. Обладнання для пакування продукції в споживчу тару / О. М. Гавва, А. П. Беспалько, А. І. Волчко. - К. : «Упаковка», 2008. – 436 с.
7. Розрахунки і конструювання обладнання. Частина 3. Розрахунок і конструювання елементів спеціального обладнання. Практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за спеціалізацією G11.03 Технологічні машини та обладнання спец. G11 Машинобудування / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад. І. А. Андреев. – Електрон. текст. дані (1 файл: 5,16 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. – 65 с
8. Сирохман І.В. Товарознавство продовольчих товарів: підручник / І.В. Сирохман, І.М. Задорожній, П.Х. Пономарьов. - 4-е вид., переробл. і допов. К.: Лібра, 2017. 660 с.
9. Процеси і апарати харчових виробництв: підручник / О. І. Черевко, А. М. Поперечний. – 2-е видання, доп. та випр. – Х.: Світ Книг, 2014. – 495 с.
10. Проектування ручної машини для фасування сметани / Новосад В.,

Валецький Б. // Тези V студентської науково-технічної конференції факультету транспорту та механічної інженерії «Інноваційні технології в транспорті та механічній інженерії». Луцьк: ЛНТУ – 2025р.– С.191-193

11. Інжиніринг планетарного редуктора у SOLIDWORKS /Б.П. Валецький, Т.І. Четвержук, В.А Єрьомін, С.П. Шимчук // Міжвузівський збірник «НАУКОВІ НОТАТКИ». Луцьк, 2025, №81 с.127-132  
URL: <https://doi.org/10.36910/775.24153966.2025.81.19>

12. Валецький Б.П. Автоматизовані розрахунки параметрів складів// Тези доповідей IX Міжнародної науково-практичної конференції з проблем вищої освіти і науки «Інформаційні технології в освіті, науці і виробництві (ІТОНВ-2023) 25-26 травня 2023 р. . Луцьк: відділ іміджу та промоції ЛНТУ, 2023. С.148-150.

13. Автоматизоване групове пакування / Б.П. Валецький // Тези доповідей IV Всеукраїнської науково-технічної конференції «Актуальні проблеми конструювання, експлуатації та ремонту обладнання лісового комплексу» (16-17 листопада 2017 року). – Луцьк: інф. -вид. відділ Луцького НТУ, 2017. – с.7-9.

14. Bohdan Valetskyi, Mykola Tolstushko, Nataliya Tolstushko, Yurii Fedorus. RESEARCH ON OVERSIZED LOAD PACKAGING. 23 rd International Scientific Conference «ENGINEERING FOR RURAL DEVELOPMENT» Proceedings, Volume 23, May 22-24, 2024, pp.927-932/  
<https://doi.org/10.22616/ERDev.2024.23.TF185>

15. Оптимізація характеристик автоматизованого керування процесом великогабаритного пакування / Б.П. Валецький, Т.І. Четвержук, Ю.В. Федорусь, С.П. Шимчук // Міжвузівський збірник «НАУКОВІ НОТАТКИ». Луцьк, 2025, №81 с.87-91 <https://doi.org/10.36910/775.24153966.2025.81.13>.

# ДОДАТКИ