

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”
Факультет автоматизації, промислової інженерії та екології
Кафедра хімічного, полімерного і силікатного машинобудування**

До захисту допущено

Завідувач кафедри

_____Олександр Сокольський

«_____» _____2026 р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Інжиніринг пакування та пакувального обладнання»

зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»

на тему: Термоформувальна машина для пакування пастоподібних продуктів з модернізацією вузла формування

Студент (-ка) IV к, групи ЛУ-21

Новохатський Дмитро Олександрович

(шифр групи)

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник проекту:

Сокольський Олександр Леонідович

(вчена ступінь, звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Консультанти з питань

МОДЕРНІЗАЦІЇ:

д.т.н., проф. Щербина В.Ю.

ТЕХ. МАШ.:

ст. викл. Борщик С.О.

ОХОРОНИ ПРАЦІ:

ст. викл. Ковтун А.І.

РЕЦЕНЗЕНТ _____

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Київ 2026 рік

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет автоматизації, промислової інженерії та екології

Кафедра хімічного, полімерного і силікатного машинобудування

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 131 Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ **Олександр
Сокольський**

«___» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Новохатський Дмитро Олександрович

1. Тема проекту «Термоформувальна машина для пакування пастоподібних продуктів з модернізацією вузла формування », керівник проекту Сокольський Олександр Леонідович, д.т.н. доцент затверджена наказом по університету від «19». 05 2026 р. № 1817-с
2. Термін подання студентом проекту 12.06.2026 р.
3. Вихідні дані до проекту
Пакувальна ємність 0,2..0,25, швидкість полотна пакування 1 м/хв.,
продуктивність 180 кг/год. Вид пакувальної тари - Стаканчик. Матеріал тари - Поліетилен
4. Зміст пояснювальної записки

Технічна характеристика термоформувальної машини для пакування пастоподібних продуктів,призначення термоформувальної машини для пастоподібних продуктів,опис конструкції та основних частин термоформувальної машини,літературно патентний огляд термоформувальної машини,розрахунки,охорона праці,технологія машинобудування.
5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)
Термоформувальна машина для пакування пастоподібних продуктів з модернізацією вузла формування,технологічна схема пакування пастоподібних продуктів,пристрій повздовжнього різання,вузол

формування модернізований, вал, фланець, зубчасте колесо, моделювання матриці вузла формування, плакат побудови.

6. Консультанти розділів проекту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
МОДЕРНІЗАЦІЇ	проф.Щербина В.Ю		
ТЕХ. МАШИНОБУД.	ст.викл.Борщик С.О		
ОХОРОНИ ПРАЦІ	ст.викл.Ковтун А.І		

7. Дата видачі завдання 28.05.2026

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Літературно-патентний огляд	27.03.2026	
2	Виконання параметричних розрахунків	06.04.2026	
3	Виконання розрахунків на міцність	15.04.2026	
4	Виконання креслення загального виду термоформувальної машини	19.04.2026	
5	Виконання креслення технологічної лінії	21.04.2026	
6	Виконання креслення форми	23.04.2026	
7	Виконання плакату 3D моделювання	25.04.2026	
8	Виконання плакату результатів розрахунку	01.05.2026	
9	Виконання розділу ТМ	07.05.2026	
10	Виконання розділу ОП	08.05.2026	
11	Загальні висновки. Перелік посилань.		

Студент

Дмитро Новохатський

Керівник проекту

Олександр Сокольський

РЕФЕРАТ

Дипломний проєкт: с., рис., табл., додатків, джерел.

Об'єктом розробки та проєктування є термоформувальна машина для пакування пастоподібних продуктів.

Метою дипломного проєкту є розробка та модернізація термоформувальної машини для пакування пастоподібних продуктів шляхом удосконалення вузла формування на основі аналізу існуючих промислових аналогів, патентних рішень та сучасних технологій термоформування.

У процесі розробки та проєктування були використані аналітичні, розрахункові, проєктувальні та експериментальні методи із застосуванням інженерних методик, комп'ютерного моделювання, нормативно-технічної документації та результатів патентних досліджень.

Під час виконання дипломного проєкту, на основі аналізу науково-технічної літератури, конструкторської документації та патентних матеріалів було виконано такі завдання:

1. досліджено конструкцію та принцип роботи сучасних термоформувальних машин для пакування пастоподібних продуктів, проведено аналіз їх технічних характеристик і параметрів;
2. виконано комплекс інженерних розрахунків, необхідних для проєктування термоформувальної машини відповідно до вимог технічного завдання;
3. проведено патентний аналіз конструкцій вузлів формування та визначено основні напрями їх модернізації;
4. запропоновано модернізацію вузла формування шляхом удосконалення системи нагріву та розподілу температури в зоні формування упаковки;
5. розроблено конструкцію модернізованого вузла формування, що забезпечує рівномірне формування пакувального матеріалу, зменшення деформацій та підвищення якості готової упаковки;
6. виконано аналіз впливу температурних режимів і конструктивних параметрів вузла формування на продуктивність та стабільність роботи термоформувальної машини;
7. розроблено конструкцію термоформувальної машини для пакування пастоподібних продуктів із модернізованим вузлом формування.

Ключові слова: ТЕРМОФОРМУВАЛЬНА МАШИНА, ПАСТОПОДІБНІ ПРОДУКТИ, ВУЗОЛ ФОРМУВАННЯ, ТЕРМОФОРМУВАННЯ, ПАКУВАЛЬНЕ ОБЛАДНАННЯ, МОДЕРНІЗАЦІЯ, СИСТЕМА НАГРІВУ, ТЕМПЕРАТУРНИЙ РЕЖИМ, ІНЖЕНЕРНІ РОЗРАХУНКИ, ПАТЕНТНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.

ABSTRACT

Diploma project: pages, figures, tables, appendices, references.

The object of development and design is a thermoforming machine for packaging paste-like products.

The purpose of the diploma project is the development and modernization of a thermoforming machine for packaging paste-like products by improving the forming unit based on the analysis of existing industrial analogues, patent solutions, and modern thermoforming technologies.

During the development and design process, analytical, calculation, design, and experimental methods were used with the application of engineering techniques, computer modeling, regulatory and technical documentation, and the results of patent research.

During the execution of the diploma project, based on the analysis of scientific and technical literature, design documentation, and patent materials, the following tasks were completed:

1. the design and operating principle of modern thermoforming machines for packaging paste-like products were studied, and an analysis of their technical characteristics and parameters was carried out;
2. a set of engineering calculations required for the design of the thermoforming machine in accordance with the technical assignment was performed;
3. a patent analysis of forming unit designs was conducted and the main directions for their modernization were identified;
4. modernization of the forming unit was proposed by improving the heating system and temperature distribution within the package-forming zone;
5. a design of the modernized forming unit was developed, providing uniform forming of the packaging material, reduction of deformations, and improvement of the quality of the finished package;
6. an analysis of the influence of temperature modes and structural parameters of the forming unit on the productivity and operational stability of the thermoforming machine was performed;
7. a thermoforming machine for packaging paste-like products with a modernized forming unit was developed.

Keywords: THERMOFORMING MACHINE, PASTE-LIKE PRODUCTS, FORMING UNIT, THERMOFORMING, PACKAGING EQUIPMENT, MODERNIZATION, HEATING SYSTEM, TEMPERATURE MODE, ENGINEERING CALCULATIONS, PATENT RESEARCH.

Перелік позначень

B - ширина тари, мм;
 L - довжина кола формувального барабана, мм;
 D - діаметр барабана, мм;
 z - число зубців зірочки;
 t - крок ланцюга, мм;
 n - частота обертання вала, об/хв;
 i - передаточне число;
 M - крутний момент, Н·м;
 N - потужність, кВт;
 F - зусилля, Н;
 Q - продуктивність автомата, кг/год;
 ω - кутова швидкість, рад/с;
 η - коефіцієнт корисної дії;
 μ - коефіцієнт тертя;
 ρ - густина матеріалу, кг/м³;
 c - питома теплоємність, Дж/(кг·К);
 λ - коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К);
 ν - кінематичний коефіцієнт в'язкості, м²/с;
 α - коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м²·К);
 Nu - критерій Нуссельта;
 Pr - критерій Прандтля;
 Gr - критерій Грасгофа;
 Bi - критерій Біо;
 Fo - критерій Фур'є;
 g - прискорення вільного падіння, м/с²;
 H - хід штока кулачкового механізму, мм;
 R - радіус траєкторії переміщення, мм;
 A - міжосьова відстань, мм;
 v - швидкість руху полотна, м/хв;
 T - температура, °С.

ЗМІСТ

Вступ	
1. Технічна характеристика термоформувальної машини для пакування пастоподібних продуктів	
2. Призначення термоформувальної машини для пакування пастоподібних продуктів	
2.1. Галузі застосування термоформувальної машини	
2.2. Технологічний процес пакування пастоподібних продуктів	
3. Опис конструкції та основних частин термоформувальної машини	
4. Літературно патентний огляд термоформувальної машини	
5. Розрахунки	
5.1. Кінематичні розрахунки	
5.1.1. Розрахунки кінематичних характеристик	
5.1.2. Розрахунки швидкості валів тягнучого пристрою	
5.2. Параметричні розрахунків	
5.2.1. Вибір електродвигуна	
5.2.2. Розрахунок клинопасової передачі	
5.2.3. Розрахунок продуктивності	
5.3. Теплові розрахунки	
5.3.1. Розрахунок нагрівання плівки перед формуванням	
5.3.2. Розрахунок охолодження після формування	
5.4. Розрахунок міцності урухомного вала	
5.5. Розрахунок виштовхувача форми на стійкість	

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		Літ.	Арк.	Аркушів	
Розроб.		Новохатський			Термоформувальна машина для пакування пастоподібних п родуктів з модернізацією вузла формування			1	21
Перевір.									
Керівник		Сокольський							
Н. Контр.									
Затверд.		Сокольський							
						КПІ ім. Ігоря Сікорського			

5.6. Розрахунок конструкції за допомогою програмного забезпечення Fusion360 та Ansys	
5.6.1. Розрахунок базової моделі	
5.6.2. Розрахунок модернізованої моделі	
5.6.3. Висновки	
6. Охорона праці	
6.1.Вплив небезпечних і шкідливих факторів	
6.1.1.Повітря робочої зони	
6.1.2.Мікроклімат робочої зони	
6.2.Небезпека рухомих механізмів	
6.3.Виробничий шум	
6.4.Виробниче освітлення	
7.Технологія машинобудування	
7.1.Технологія виготовлення деталі й монтажу вузла	
7.2. Технологічний контроль креслення	
7.3.Аналіз службового призначення деталі та умов її роботи у вузлі	
7.4.Розробка маршрутного технологічного процесу	
7.4.1.Вибір технологічних баз і обґрунтування прийнятної схеми базування	
7.4.2.Вибір обладнання,верстатних пристроїв,різальних та вимірювальних інструментів	
7.5.2.Визначення режимів різання	
5.5.3.Визначення норм часу	
5.5.5. Призначення пристосування для обробки деталі	

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку харчової та переробної промисловості особливого значення набуває використання високопродуктивного та енергоефективного обладнання для пакування продукції. Одним із найбільш поширених видів пакувального обладнання є термоформувальні машини, які забезпечують формування упаковки, дозування продукту та герметичне запаювання в автоматичному режимі. Застосування таких машин дозволяє значно підвищити продуктивність виробництва, забезпечити належний рівень герметичності упаковки, подовжити термін зберігання продукції та покращити її товарний вигляд. Особливо актуальним є використання термоформувальних машин для пакування пастоподібних продуктів, таких як соуси, майонези, молочні десерти, плавлені сири, креми та інші харчові продукти. Для даної категорії продукції важливими є стабільність процесу формування упаковки, точність дозування та надійність герметизації, оскільки навіть незначні порушення технологічного процесу можуть призводити до втрати якості продукції та зменшення терміну її зберігання. В основу дипломного проєкту покладено детальне вивчення конструкції та принципу роботи термоформувальної машини для пакування пастоподібних продуктів, а також розрахунок і модернізацію окремих її вузлів. Машина працює з двома рулонами пакувального матеріалу — нижнім та верхнім. Нижній рулон використовується для формування упаковки методом термоформування, тоді як верхній слугує для герметичного закриття упаковки після дозування продукту.

Розроблювана машина зберігає основні технологічні принципи формування та пакування продукції, проте має ряд конструктивних переваг, серед яких:

- висока надійність роботи обладнання;
- забезпечення стабільної якості упаковки;
- компактність конструкції;
- простота переналагодження під різні типорозміри упаковки;
- підвищення продуктивності обладнання;
- зменшення енерговитрат та навантажень на привідну систему.

Основною особливістю дипломного проєкту є модернізація вузла формування термоформувальної машини. У процесі модернізації передбачено вдосконалення системи формування упаковки та стабілізації температурного режиму робочих елементів. Це дозволяє забезпечити більш рівномірне формування комірок упаковки, знизити ймовірність виникнення дефектів матеріалу та покращити якість готової продукції. При виконанні модернізації враховано сучасні технічні рішення, що застосовуються у світовій практиці пакувального машинобудування. Зокрема, використано окремі конструктивні принципи, описані у патенті US6701695, де розглядається інтеграція декількох технологічних операцій в одному робочому вузлі та застосування системи температурного контролю робочих елементів. Також у патенті описується використання комбінованої робочої станції та температурно-контрольованих вузлів для забезпечення стабільності процесу формування і герметизації упаковки. У результаті проведеної модернізації очікується підвищення продуктивності термоформувальної машини, покращення якості формування упаковки, підвищення довговічності основних вузлів обладнання та зменшення ймовірності виникнення браку під час роботи машини.

Таким чином, тема дипломного проєкту є актуальною та має практичне значення для вдосконалення сучасного пакувального обладнання харчової промисловості.

1. ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРМОФОРМУВАЛЬНОЇ МАШИНИ ДЛЯ ПАКУВАННЯ ПАСТОПОДІБНИХ ПРОДУКТІВ

У даному розділі наведено основні технічні характеристики термоформувної машини для пакування пастоподібних продуктів відповідно до вимог технічного завдання. Основні параметри обладнання наведені нижче.

Параметр	Характеристика
Тип обладнання	Термоформувальна пакувальна машина
Тип продукції	Пастоподібні продукти
Пакувальна ємність	0,2...0,25 кг
Швидкість полотна пакування	1 м/хв
Продуктивність	180 кг/год
Вид пакувальної тари	Стаканчик
Матеріал тари	Поліетилен
Товщина матеріалу тари	0,2 мм
Ширина пакувального полотна	380 мм
Встановлена потужність	6,0 кВт
Напруга живлення	380 В
Тип формування упаковки	Вакуумне термоформування
Тип запаювання	Термічне
Система подачі продукту	Дозуючий пристрій
Довжина машини	3000 мм
Ширина машини	725 мм
Висота машини	1400 мм

Наведені параметри характеризують конструктивні особливості обладнання, його продуктивність та експлуатаційні можливості.

Аналіз технічних характеристик показує, що дана термоформувальна машина має достатню продуктивність та необхідні робочі параметри для ефективного пакування пастоподібних продуктів у полімерну тару. Конструкція обладнання забезпечує стабільне формування упаковки, герметичне запаювання та безперервність технологічного процесу.

Отримані технічні дані були використані як основа для подальшого аналізу конструкції машини та виконання модернізації вузла формування.

2. ПРИЗНАЧЕННЯ ТЕРМОФОРМУВАЛЬНОЇ МАШИНИ ДЛЯ ПАКУВАННЯ ПАСТОПОДІБНИХ ПРОДУКТІВ

Розроблювана термоформувальна машина призначена для пакування різноманітних рідких та пастоподібних продуктів у полімерну тару. До таких продуктів можуть належати харчові вироби, зокрема соуси, майонези, креми, плавлені сири, джеми та молочні десерти, а також продукція побутово-хімічного призначення — герметики, мастики, пасти та інші в'язкі речовини. Універсальність конструкції дозволяє використовувати обладнання для широкого спектра технологічних процесів. Наявність у конструкції автомата термостатованого накопичувача забезпечує можливість пакування густих продуктів, фізичні властивості яких залежать від температури. Під час нагрівання такі матеріали стають більш текучими, що покращує процес дозування та наповнення тари без зміни їхніх основних властивостей, смакових характеристик або запаху. Це дає змогу підтримувати стабільність технологічного процесу та підвищувати якість готової продукції.

Основними споживачами термоформувальних автоматів є підприємства харчової, хімічної та переробної промисловості. Залежно від вимог виробництва обладнання може мати різні конструктивні модифікації, що враховують особливості продукту, тип пакування та необхідну продуктивність. Крім того, подібні машини можуть застосовуватись у медичній, косметичній та парфумерній галузях для фасування кремів, мазей, гелів та інших пастоподібних речовин.

Конструкція машини характеризується компактними габаритами, що забезпечує зручність її транспортування та монтажу. Обладнання може легко перевозитися автомобільним транспортом і встановлюватися безпосередньо на виробничих ділянках підприємств різного профілю. Важливою перевагою термоформувальної машини є високий рівень герметичності упаковки, що дозволяє збільшити термін зберігання продукції та забезпечити її захист від впливу зовнішнього середовища. Використання полімерних матеріалів для формування тари сприяє зменшенню маси упаковки та зниженню витрат на транспортування готової продукції.

Реалізація упакованої продукції здійснюється переважно через торговельні мережі, супермаркети та спеціалізовані організації. Завдяки привабливому зовнішньому вигляду та герметичності упаковки продукція зберігає свої властивості під час транспортування і тривалого зберігання, що підвищує її конкурентоспроможність на ринку.

2.1 Галузі застосування термоформувальної машини

Термоформувальні машини для пакування пастоподібних продуктів широко застосовуються у різних галузях промисловості завдяки універсальності конструкції, високій продуктивності та можливості забезпечення герметичного пакування продукції. Використання такого обладнання дозволяє автоматизувати процес фасування, підвищити якість упаковки та збільшити термін зберігання готової продукції. Найбільшого поширення термоформувальні машини набули у харчовій промисловості. Вони використовуються для пакування майонезів, кетчупів, соусів, плавлених сирів, йогуртів, сметани, джемів, меду, кондитерських кремів та інших пастоподібних продуктів. Герметичне пакування забезпечує захист продукції від зовнішнього впливу, зберігає смакові властивості та покращує санітарно-гігієнічні умови зберігання і транспортування. У хімічній промисловості подібні машини застосовуються для фасування герметиків, мастик, клеїв, паст, миючих та чистячих засобів. Завдяки можливості роботи з в'язкими та густими матеріалами обладнання забезпечує точне дозування продукту та стабільність технологічного процесу. Термоформувальні автомати також використовуються у фармацевтичній та медичній галузях для пакування кремів, мазей, гелів, лікувальних паст та інших препаратів. У даному випадку особливе значення мають герметичність упаковки, точність дозування та відповідність санітарним вимогам. У косметичній та парфумерній промисловості обладнання застосовується для фасування косметичних кремів, масок, гелів, шампунів та інших засобів догляду. Використання полімерної упаковки дозволяє створювати зручну та привабливу тару, що підвищує конкурентоспроможність продукції на ринку.

Крім того, термоформувальні машини можуть використовуватись на малих та середніх підприємствах завдяки компактним габаритам, простоті обслуговування та можливості адаптації конструкції під конкретні виробничі умови. Залежно від вимог замовника обладнання може комплектуватися різними дозуючими пристроями, системами нагріву та вузлами формування упаковки.

Таким чином, термоформувальні машини для пакування пастоподібних продуктів є універсальним обладнанням, яке знаходить широке застосування у багатьох галузях промисловості та забезпечує ефективне виконання процесів фасування і герметичного пакування продукції.

2.2 Технологічний процес пакування пастоподібних продуктів

Термоформувальні машини широко застосовуються на підприємствах харчової, хімічної, медичної та косметичної промисловості для фасування і герметичного пакування рідких та пастоподібних продуктів. Основним технологічним середовищем у процесі роботи машини є полімерне пакувальне полотно, з якого формується тара необхідної конфігурації. Якість пакувального матеріалу, стабільність температурного режиму та точність дозування значною мірою визначають ефективність технологічного процесу та якість готової продукції. На сучасних пакувальних лініях процес термоформування здійснюється безперервно або циклічно із застосуванням автоматизованих систем керування. Продуктивність обладнання залежить від типу продукту, об'єму упаковки та швидкості переміщення пакувального полотна. Для пакування пастоподібних продуктів особливе значення мають стабільність температури продукту та точність його подачі у сформовану тару.

Технологічний процес пакування починається з подачі нижнього рулону полімерного матеріалу до зони нагріву. У нагрівальній камері матеріал доводиться до пластичного стану, після чого надходить у формувальну станцію. У формувальній станції за допомогою вакууму або стисненого повітря відбувається утворення комірок чи стаканчиків необхідної форми та розмірів. Сформована

упаковка переміщується до станції дозування продукту. Перед подачею в тару пастоподібний продукт накопичується у спеціальному бункері або термостатованій ємності. Для забезпечення стабільної плинності густих продуктів використовується система підігріву, яка підтримує необхідну температуру без зміни фізико-хімічних властивостей продукту. Із накопичувальної ємності продукт за допомогою дозуючого пристрою подається у сформовані комірки упаковки (рис. 2.1).

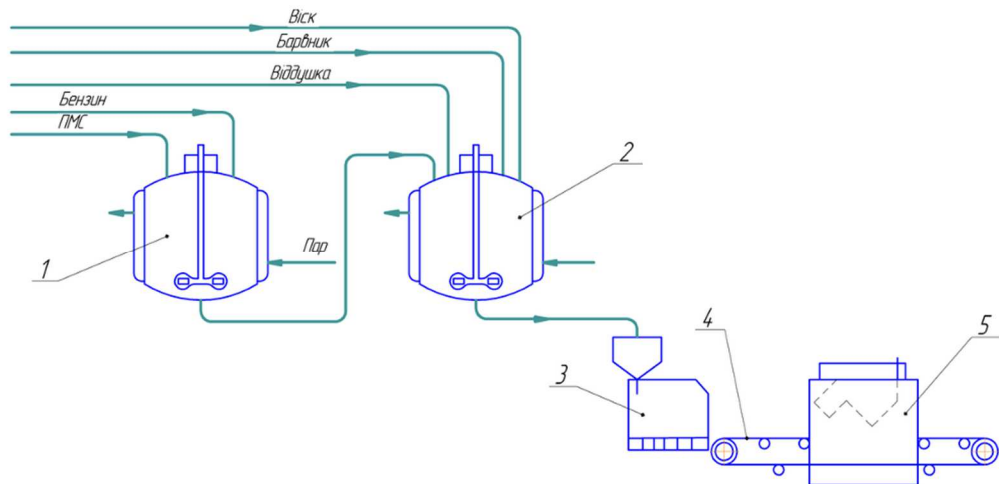


Рисунок 2.1 – Технологічна схема виробництва пастоподібних продуктів
1 - Котел з паровою сорочкою; 2 - Котел з паровою сорочкою і мішалкою; 3 - Апарат для розливу і фасування ; 4 - живильник стрічковий; 5 - Холодильна камера

Після завершення процесу дозування упаковка надходить до станції герметичного запаювання, де на верхню частину тари подається верхнє полімерне полотно. У зоні запаювання під дією температури та тиску здійснюється герметичне з'єднання верхнього та нижнього шарів пакувального матеріалу. У модернізованих термоформувальних машинах одночасно із процесом запаювання може виконуватись установлення багаторазового замка типу «zip-lock», що забезпечує можливість повторного відкривання упаковки без втрати герметичності. У процесі запаювання також може здійснюватись вакуумування або

створення модифікованого газового середовища всередині упаковки для збільшення терміну зберігання продукції.

Після герметичного запаювання упаковка переміщується до станції обрізання та розділення. На цій стадії виконується вирубування окремих упаковок із загального полотна та формування готової продукції. Далі упаковки надходять на ділянку маркування, контролю якості, групового пакування та транспортування до складу готової продукції. Відходи полімерного полотна, що утворюються під час обрізання упаковки, можуть подаватися на повторну переробку або утилізацію. Використання автоматизованих термоформувальних машин забезпечує високу продуктивність, стабільність технологічного процесу, зменшення втрат продукту та підвищення якості пакування.

3. ОПИС КОНСТРУКЦІЇ ТА ОСНОВНИХ ЧАСТИН ТЕРМОФОРМУВАЛЬНОЇ МАШИНИ

Пакувальний автомат (рис. 3.1) являє собою зварну рамну конструкцію 10, у середині якої розміщені основні механічні та приводні вузли машини. Рулон поліетиленової плівки встановлюється на механізм розмотування 4, після чого плівка подається між дозуючим барабаном 2 та дозатором 9. Верхня стрічка пакувального матеріалу подається з рулонотримача 5. Верхня стрічка пакувального матеріалу подається з рулонотримача 5.

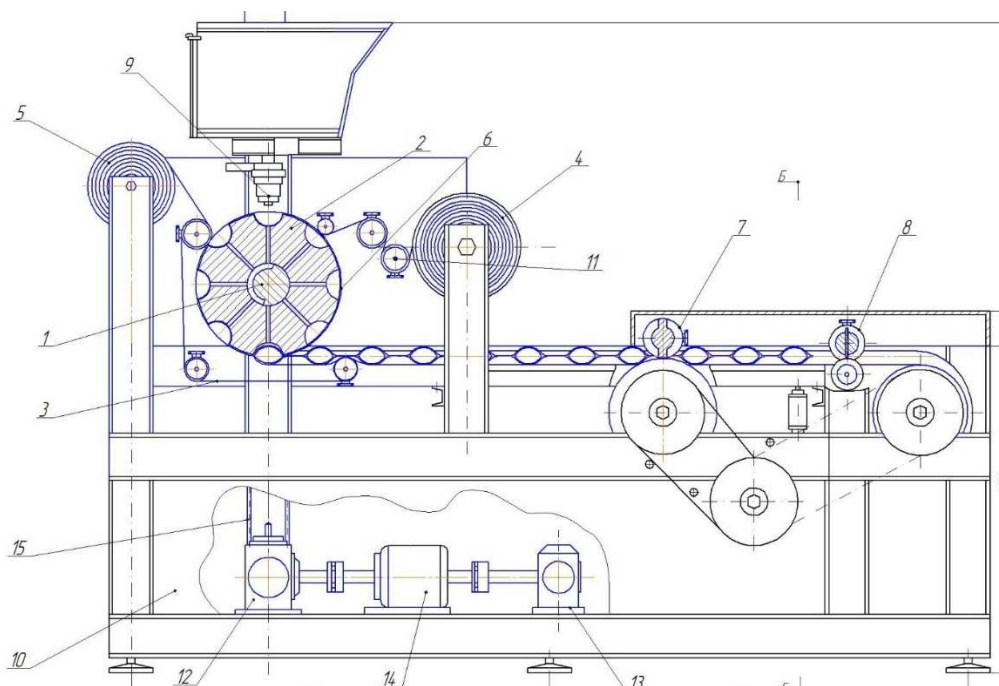


Рисунок 3.1 – Пакувальний автомат

Привід машини здійснюється від електродвигуна 14 через редуктор 12 та пасову передачу 15, які передають обертальний рух на дозуючий барабан 2. Під час проходження комірок барабана під дозатором 9 їх внутрішній об'єм через канали дозуючого пристрою з'єднується з вакуум-насосом 13. У результаті цього безкінечна еластична стрічка 6 разом із термосклеювальним матеріалом втягується у комірки барабана, утворюючи мірні порожнини для дозування продукту.

Заповнення сформованих ємностей відбувається під дією сили тяжіння та різниці тисків. Після виходу комірок із завантажувальної зони вони накриваються верхньою стрічкою, що подається з рулонотримача 5, а транспортер 3 забезпечує її притискання до поверхні барабана.

У процесі подальшого обертання барабана вакуум у його внутрішній порожнині скидається, після чого стрічки з обох рулонотримачів переходять на горизонтальну ділянку транспортера 3. Ролики 7 виконують формування поздовжніх і поперечних термозварних швів між окремими дозами продукту. Подальше розділення пакувального полотна на окремі пакети здійснюється ножами 8 у поздовжньому та поперечному напрямках. Готові пакування після відрізання через скидний жолоб виводяться з автомата.

Автомат оснащений пультом керування, на який надходять сигнали від:

- датчиків температури, що забезпечують підтримання заданого температурного режиму нагрівальних валів;
- термостатичного термометра, призначеного для контролю та стабілізації температури продукту, який пакується.

За допомогою пульта керування здійснюється запуск та зупинка автомата, регулювання роботи дозувального механізму, а також налаштування елементів автоматизації, зокрема шляхових вимикачів, реле часу та інших пристроїв керування. Крім того, машина обладнана системою підрахунку кількості виготовлених пакувань.

4. ЛІТЕРАТУРНО ПАТЕНТНИЙ ОГЛЯД ТЕРМОФОРМУВАЛЬНОЇ МАШИНИ

Розкриття стосується термоформувальної пакувальної машини (1) для виробництва вертикально стоячої упаковки (рис. 4.1) з підрізанням (26), сформованим в упаковці. Машина містить формувальну станцію (2) з нижнім формувальним інструментом (30) та/або станцію запаювання (3) з нижнім запаювальним інструментом (40). Розкриття характеризується тим, що нижній формувальний інструмент (30) та/або нижній запаювальний інструмент (40) містить рухому секцію формувальної стінки (32) або рухому секцію опори запаювального шва (41a) відповідно в області підрізання (26). Розкриття також стосується відповідного способу виробництва упаковки (21).

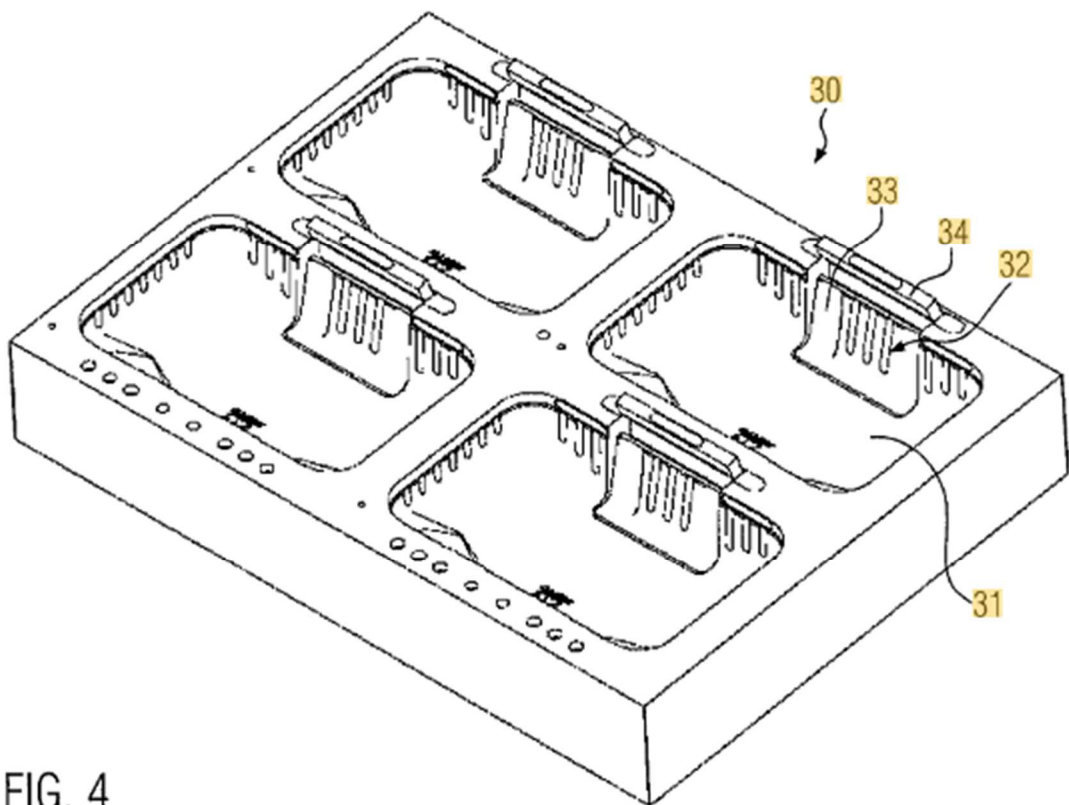


FIG. 4

Рисунок 4.1 – Формувальний інструмент

Обговорюється вузол для вилучення мішків (рис. 4.2) та мішок, який полегшує покриття тюка бавовни або іншого волокнистого матеріалу. Мішок сконфігуровано для використання з вузлом для вилучення мішків, який призначений для переміщення мішка зі штабеленого або складеного стану у відкриту конфігурацію, яку можна підняти та утримувати в положенні для подальшої обробки.

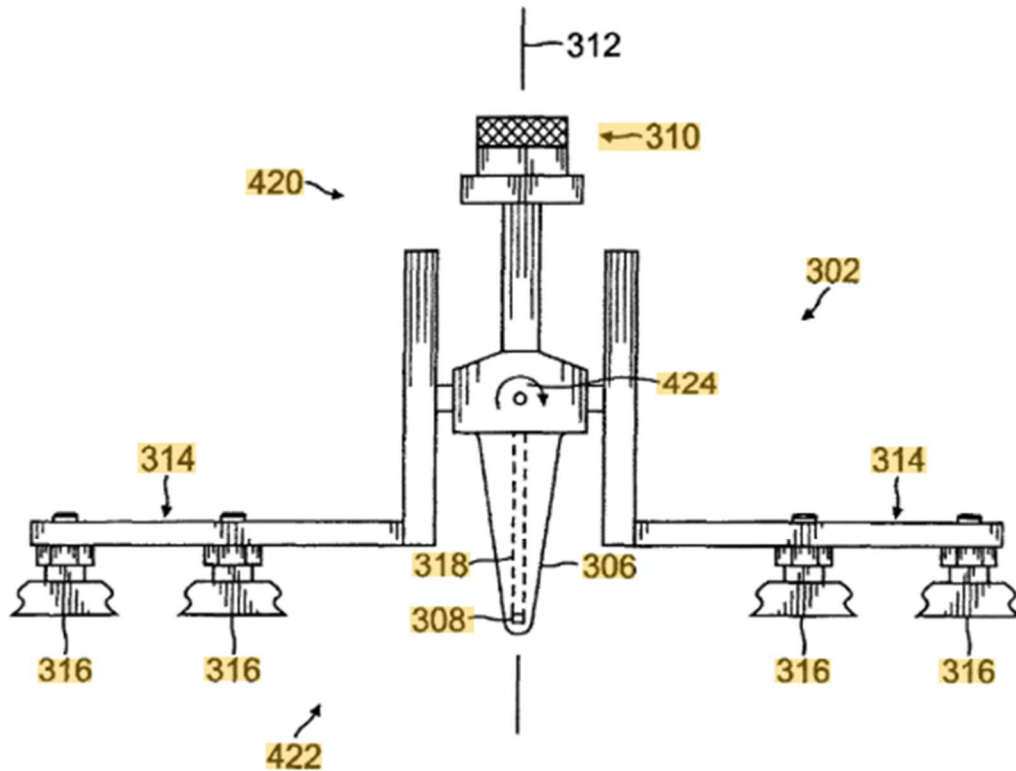


Рисунок 4.2 – Вузол для вилучення мішків

Передбачено різальний пристрій, здатний автоматично встановлювати та переміщувати леза ножів, що використовуються в операції різання. Різальний верстат включає рухомий портал, який оснащений вилками для кріплення тримача ножа, а також засобами блокування та розблокування тримача ножа для його звільнення з оправки. Система адаптована до керування за допомогою ПК або іншого комп'ютеризованого пристрою та дозволяє швидше регулювати ножі різального пристрою (рис. 4.3).

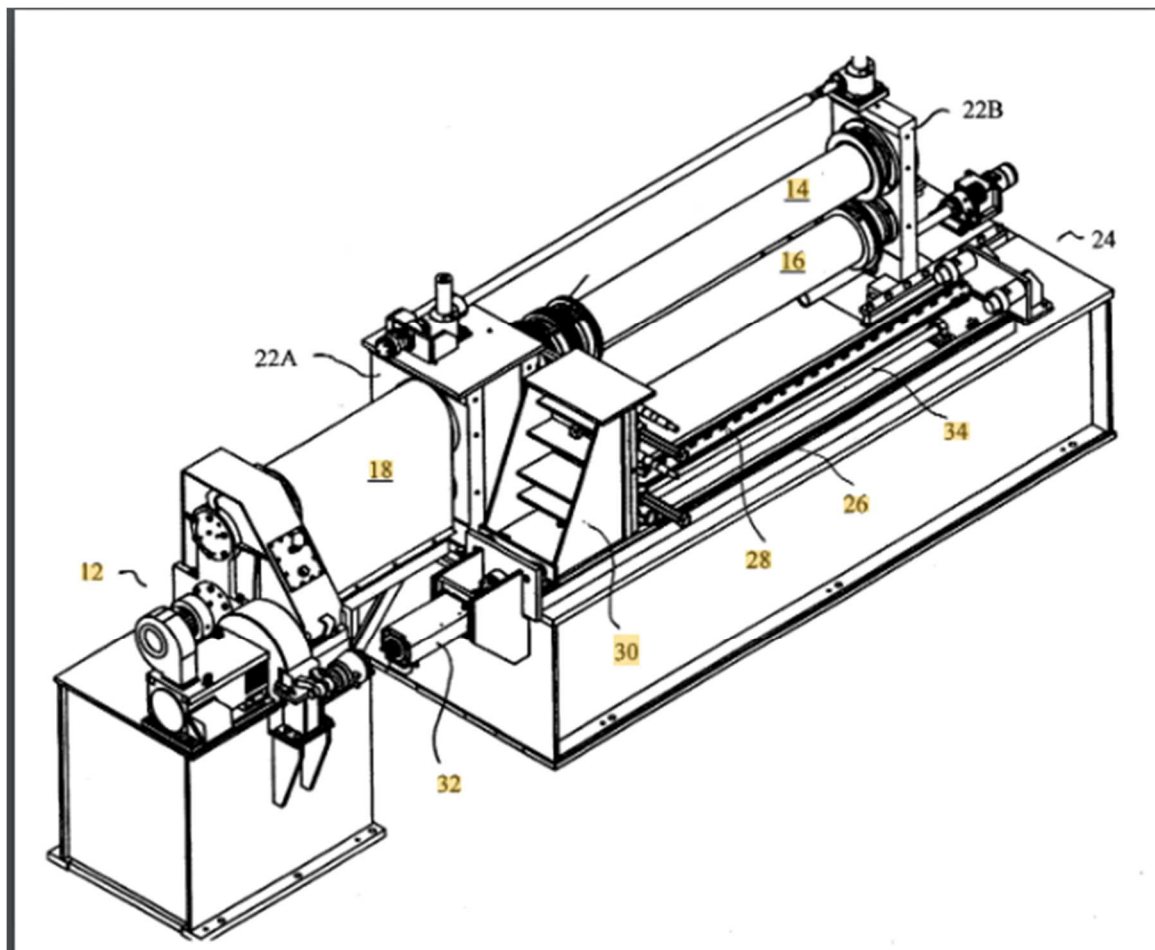


Рисунок 4.3 – Різальний пристрій

Винахід розкриває пристрій для поздовжнього різання стрічки, що містить транспортувальну частину, ріжучу частину та намотувальну частину, закріплені на рухомому сидінні, де транспортувальна частина складається з кількох роликів, що використовуються для утримання стрічок, та кількох пар бічних блокувальних зміщених роликів, розташованих на стрічці; ріжуча частина складається з шпунта та різака; верхня та нижня шпунти закріплені на рухомому сидінні, а між верхньою та нижньою шпунтами є щілина, яка використовується для проходження та затискання стрічки; кілька пар отворів для різаків з різними характеристиками відстані між ними розташовані поздовжньо на шпунті; різак вставляється в будь-яку пару отворів для різаків; намотувальна частина містить опору для намотування стрічки, вал для намотування стрічки, двигун та редуктор, де опора для намотування стрічки встановлена на рухомому нижньому сидінні; вал для намотування стрічки розміщений на опорі для намотування стрічки через

квадратний вал для намотування стрічки; а двигун та редуктор приводять у рух та намотують стрічку. Пристрій поздовжнього різання стрічки значно полегшує трудомісткість працівників та має високі економічні та соціальні переваги.

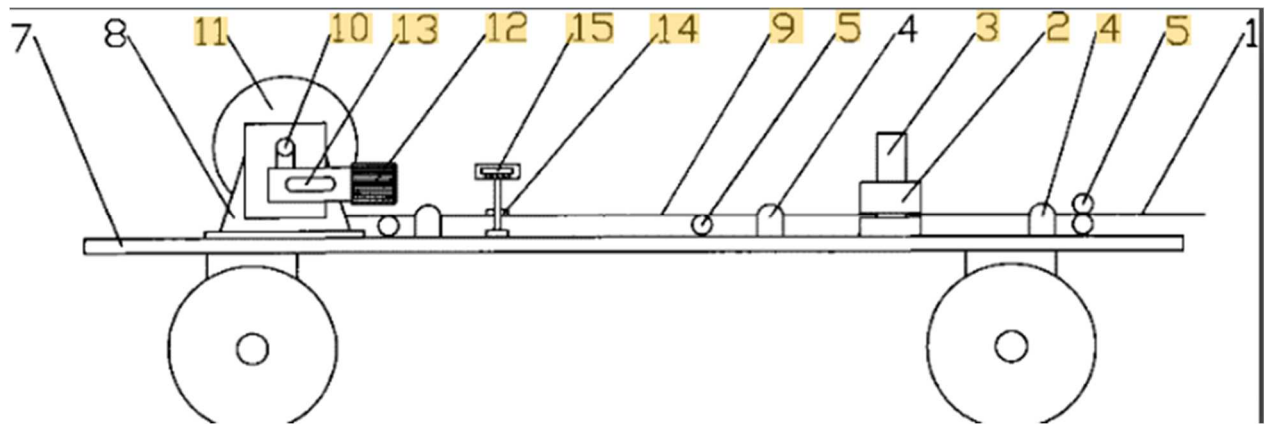


Рисунок 4.4 – Пристрій для поздовжнього різання

Тримач ножа для різальної машини (рис. 4.5), сконфігурований для встановлення на рейці для лінійного переміщення тримача ножа вздовж першої осі, причому тримач ножа містить: раму; носій ножа, з'єднаний з рамою за допомогою механізму переміщення; та кілька електродвигунів, з'єднаних з механізмом переміщення, причому носій ножа може переміщатися відносно рами через три незалежні ступені свободи шляхом роботи механізму переміщення шляхом приведення в дію відповідного одного з кількох електродвигунів.

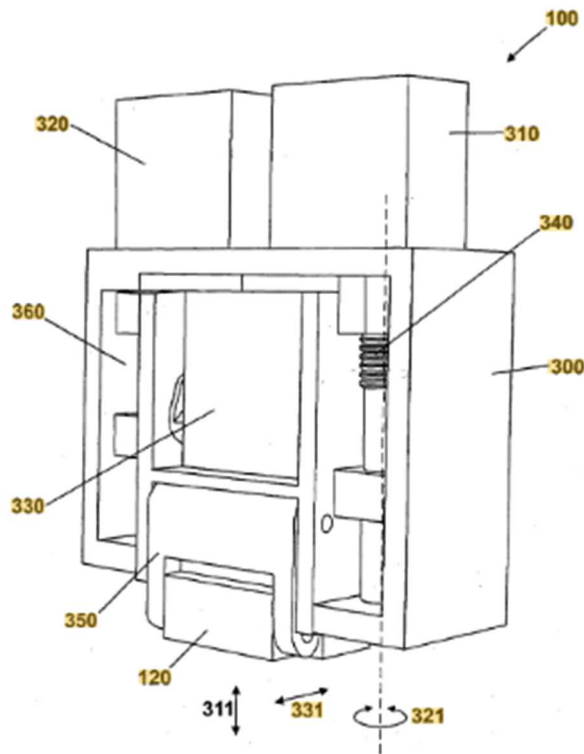


Рисунок 4.5 – Тримач ножа різальної машини

Винахід US6701695B1 відноситься до конструкції термоформувальної пакувальної машини для виготовлення упаковок із повторним закриванням (reclosable packages). Основною особливістю винаходу є інтеграція вузла встановлення застібки типу «zip-lock» безпосередньо у станцію герметизації пакування (рис. 4.6). Такий підхід дозволяє модернізувати стандартні form-fill-seal машини без суттєвої зміни їх загальної конструкції та габаритів.

В основу винаходу поставлено задачу підвищення герметичності упаковки, спрощення конструкції машини та забезпечення стабільного встановлення застібки під час пакування продукції. У традиційних термоформувальних машинах вузол встановлення zip-застібки розташовується на окремій робочій станції між формувальною та запаювальною станціями. Це потребує використання додаткових підйомних механізмів і збільшує довжину машини. Крім того, під час нагрівання застібка деформується, що призводить до перекосу пакувальної плівки та порушення герметичності шва.

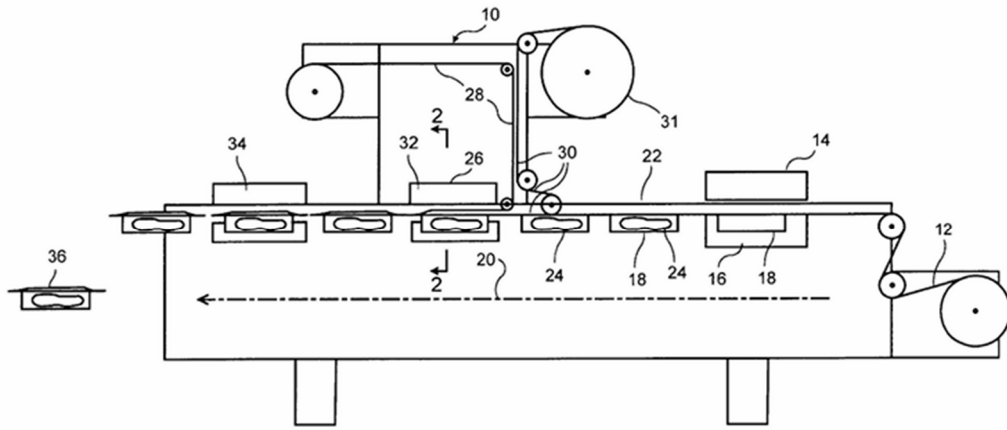


Рисунок 4.6 - Загальна схема термоформувальної пакувальної машини за патентом US6701695B1:

1 - термоформувальна пакувальна машина; 12 - нижня формувальна плівка; 14 - формувальна станція; 18 - сформовані комірки упаковки; 22 - станція завантаження продукту; 24 - продукт; 26 - станція вакуумування та герметизації; 28 - верхня покривна плівка; 30 - зір-застібка; 31 - механізм подачі застібки; 34 - станція приварювання застібки та різання; 36 - готова упаковка

Поставлена задача вирішується тим, що у конструкції машини вузол подачі зір-застібки інтегрований безпосередньо у станцію вакуумування та запаювання. Конструкція містить рулон нижньої формувальної плівки 12, формувальну станцію 14, станцію завантаження продукту 22, станцію вакуумування та герметизації 26, а також станцію приварювання застібки та різання 34. Між верхньою та нижньою плівкою встановлюється застібка 30, яка подається з механізму подачі 31.

Особливістю конструкції є використання каналотворюючої матриці 32 із імпульсним нагрівачем (рис. 4.7). Дана матриця формує спеціальний канал для проходження застібки між шарами пакувальної плівки. Одночасно з процесом герметизації упаковки імпульсний нагрівач здійснює прихоплення (tacking) застібки до пакувальної плівки. Це дозволяє поєднати дві технологічні операції в одній робочій станції та усунути необхідність окремого вузла монтажу застібки.

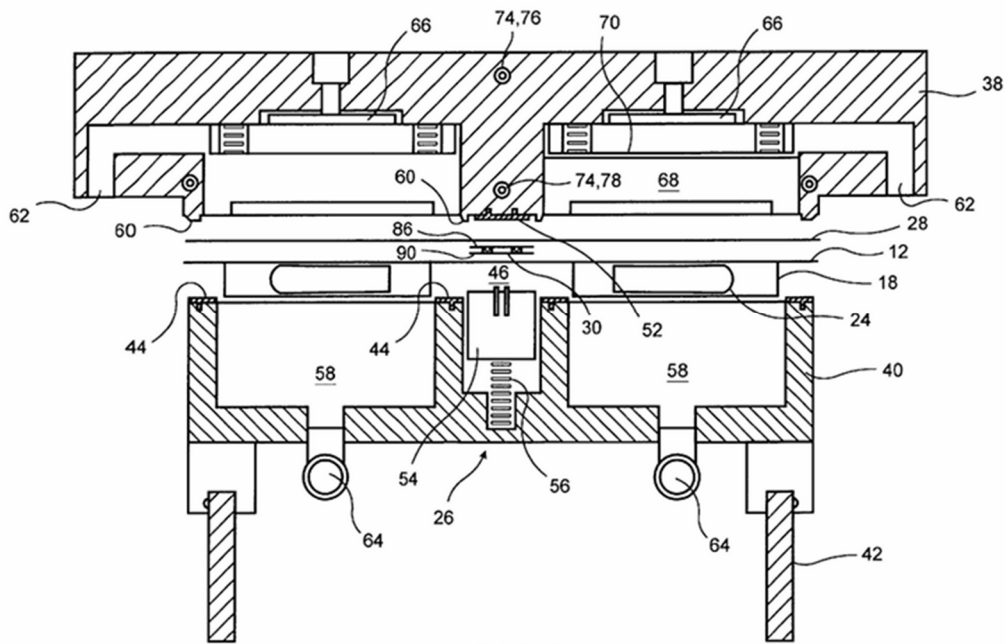


Рисунок 4.7 - Станція вакуумування та герметизації з вузлом встановлення зір-застібки

32 - каналоутворююча матриця; 38 - верхня частина герметизуючої станції; 40 - нижня частина герметизуючої станції; 42 - напрямні підйомного механізму; 44 - ущільнювальний контур; 46 - канал для проходження зір-застібки; 48 - отвір подачі застібки; 50 - шлях переміщення застібки; 52 - ущільнювальна прокладка імпульсного нагрівача; 54 - імпульсний нагрівач; 56 - пружина притискного механізму; 58 - вакуумна камера; 60 - перегородка між вакуумною камерою та каналом застібки; 62, 64 - вакуумні отвори; 66 - пневматична камера; 68 - притискна планка; 70 - пружинна пластина; 74 - система охолодження; 76 - патрубки подачі охолоджувальної рідини; 78 - охолоджувальні канали.

У конструкції передбачено розділення вакуумної камери та каналу встановлення застібки за допомогою перегородки 60. Завдяки цьому процес вакуумування не порушується під час встановлення застібки, а герметичність пакування зберігається навіть при роботі у вакуумному або модифікованому газовому середовищі.

Після проходження станції герметизації упаковка надходить до станції приварювання застібки та різання 34 (рис. 4.8). На даній станції здійснюється поздовжнє приварювання пакувальної плівки до фланців застібки 86 і 90, а також

поперечне запаювання країв застібки 100. Одночасно виконується відрізання готової упаковки від загальної стрічки матеріалу.

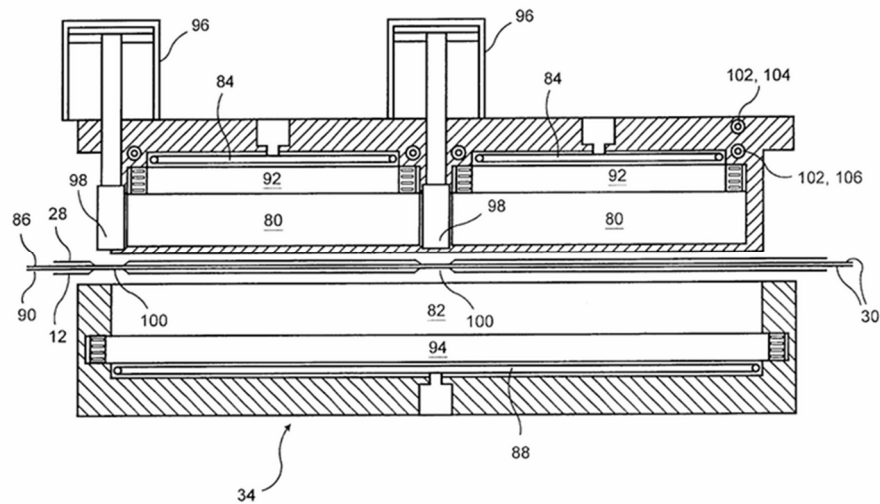


FIG. 4

Рисунок 4.3 - Станція приварювання зір-застібки та різання упаковки
80 - верхня притискна планка; 82 - нижня притискна планка; 84 - пневматичний привід верхньої планки; 86 - верхній фланець зір-застібки; 88 - пневматичний привід нижньої планки; 90 - нижній фланець зір-застібки; 92 - верхня пружинна пластина; 94 - нижня пружинна пластина; 96 - пневмоциліндри поперечного запаювання; 98 - планки поперечного запаювання; 100 - зона поперечного зварювання застібки; 102 - система охолодження; 104 - патрубки охолодження; 106 - охолоджувальні канали.

Важливою особливістю винаходу є система температурної стабілізації вузла формування каналу для застібки. Станція герметизації та станція приварювання застібки мають охолоджувані корпуси з каналами для циркуляції охолоджувальної рідини 74 та 102. Це забезпечує підтримання стабільної температури застібки під час монтажу та запобігає її деформації. У патенті зазначено, що температура охолоджувального середовища підтримується на рівні приблизно 65 ± 15 °F, а повернення застібки до нормальної температури відбувається протягом 20–60 секунд.

5 РОЗРАХУНКИ

5.1 Кінематичні розрахунки

5.1.1 Розрахунки кінематичних характеристик

У даному розділі дипломного проєкту виконано кінематичний розрахунок основних параметрів термоформуальної машини для пакування пастоподібних продуктів.

У процесі розрахунків було визначено основні параметри формувального барабана, геометричні характеристики зірочок ланцюгової передачі, передавальні числа окремих ступенів приводу, а також частоти обертання робочих валів. Розрахунки виконані з урахуванням заданої продуктивності машини та необхідної швидкості переміщення пакувального матеріалу.

На основі отриманих результатів побудовано кінематичну схему машини, яка відображає взаємозв'язок між електродвигуном, редуктором, пасовою та ланцюговою передачами, а також робочими органами обладнання. Отримані значення параметрів забезпечують стабільну та надійну роботу машини в заданих умовах експлуатації.

Ширина тари становить $B=70\text{мм}$.

Довжину кола формувального барабана визначають за такою залежністю:

$$L = B \cdot 14 = 980 \text{ мм}$$

Діаметр барабана розраховується за залежністю:

$$D = \frac{L}{\pi} = \frac{980}{3,14} = 311,94 \text{ мм}$$

Приймаємо діаметр барабана: $D=312 \text{ мм}$

Параметри зірочки барабана визначаються за формулою:

$$D_{зв} = D - 2l$$

Де

l — відстань від кронштейна ланцюга до осі ланцюга,
 $l=17$ мм.

Після підстановки значень отримуємо:

$$D_{зв} = 312 - 2 \cdot 17 = 278 \text{ мм}$$

Число зубців та уточнений діаметр зірочки визначаються за формулою:

$$D_{зв} = t \cdot cosec\left(\frac{180^\circ}{z}\right)$$

де

$t=19,05$ мм — крок ланцюга.

При $z=44$:

$$cosec\left(\frac{180^\circ}{44}\right) = 14,0178$$

Перевірка виконується за умовою:

$$278 \geq 19,05 \cdot 14,0178$$

$$278 \geq 267,032$$

Приймаємо кількість зубців зірочки: $z=44$

Уточнений діаметр циліндричного кола зірочки:

$$D_{зв} = 267,039 \text{ мм}$$

Отже, діаметр циліндричного кола зірочки рухомого вала становить 267,039 мм.

Частота обертання рухомого вала при швидкості: $v=1 \text{ м/хв}$ визначається за формулою:

$$n_1 = \frac{v}{\pi \cdot D}$$

Після підстановки значень:

$$n_1 = \frac{1}{3,14 \cdot 0,312} = 1,0206 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

Загальне передаточне число при 1500 об/хв визначається відповідно до розрахункової залежності.

$$i_{заг} = \frac{n_{двиг}}{n_1} = \frac{1500}{1,02} = 1470,6$$

Передаточне число ланцюга рухомого вала визначається за залежністю:

$$i_{заг} = i_{рем} \cdot i_{ред} \cdot i_{цеп}$$

де:

— передаточне число пасової передачі $i_{рем} = 3$

— передаточне число черв'ячного редуктора $i_{ред} = 40$

Тоді передаточне число ланцюгової передачі становить:

$$i_{цеп} = \frac{i_{заг}}{i_{ред} \cdot i_{рем}} = \frac{1470,6}{3 \cdot 40} = 12,25$$

Кількість зубців зірочки редуктора першого вала приймається: $z = 16$

Крок ланцюга: $t = 12,7$ мм

Число зубців проміжної зірочки визначається за формулою:

$$z_{\text{пр}} = z \cdot i_{\text{пром}}$$

де передаточне число ланцюгової передачі:

$$i_{\text{цеп}} = i_{\text{пром}} \cdot i_{\text{привод}} = 12,25$$

Звідси:

$$i_{\text{пром}} = \sqrt{12,25} = 3,5$$

$$z_{\text{пр}} = 16 \cdot 3,5 = 56$$

Крок ланцюга приймаємо: $t=12,7$ мм

Число зубців зірочки вала перфорації визначається через передаточне число:

$$i_{\text{к}} = \frac{L}{B} = \frac{980}{70} = 14$$

Тоді кількість зубців зірочки:

$$z_{\text{перф}} = z \cdot \frac{i_{\text{цеп}}}{i_{\text{к}}} = \frac{16 \cdot 12,25}{14} = 14$$

Крок ланцюга приймаємо: $t=12,7$ мм

Передаточне число ножового вала визначається за формулою:

$$i_n = \frac{D}{d} = \frac{312}{90} = 3,46$$

Число зубців зірочки ножового вала:

$$z_n = \frac{Z_{np}}{i_n} = \frac{56}{3,46} = 16$$

Параметри суміжної зірочки рухомого вала визначаються за формолою:

$$z_{61} = z_n \cdot i_n = 16 \cdot 3,46 = 56$$

Розрахунок конструктивних елементів зірочок виконується за такими залежностями.

Для діаметра ділильного кола:

$$d_d = t \cdot cosec\left(\frac{180^\circ}{z}\right)$$

Для діаметра кола западин:

$$D_i = d_d - 2r$$

де r — діаметр ролика ланцюга.

Для діаметра кола виступів:

$$D_B = t \cdot \left(K + ctg \left(\frac{180^\circ}{z} \right) \right)$$

Геометричні параметри шестерень визначаються за такими розрахунковими залежностями.

Діаметр ділительного кола обчислюється за формулою:

$$d_d = m \cdot z$$

Діаметр кола виступів розраховується за формулою:

$$D_B = d_d + 2m$$

5.1.2 Розрахунки швидкості валів тягнучого пристрою

Частота обертання рухомого тягнучого вала 6 становить:

$$n_6 = 1,02 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

Частота обертання проміжного вала 5 визначається за формулою:

$$n_5 = n_6 \cdot i_{5,4}$$

Передаточне число передач:

$$i_{5,4} = \frac{56}{16} = 3,5$$

Тоді:

$$n_5 = 1,02 \cdot 3,5 = 3,57 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

Частота обертання вихідного вала редуктора 1 визначається залежністю:

$$n_1 = n_5 \cdot i_{5,1}$$

Передаточне число:

$$i_{5,1} = \frac{56}{16} = 3,5$$

Після підстановки значень:

$$n_1 = 3,57 \cdot 3,5 = 12,495 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

Частота обертання вхідного вала редуктора визначається за формулою:

$$n'_1 = n_1 \cdot i_p$$

де: $i_p = 40$

Тоді:

$$n'_1 = 12,495 \cdot 40 = 499,8 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

Частота обертання вала електродвигуна визначається залежністю:

$$n_{\text{дв}} = n'_1 \cdot i_{\text{рм}}$$

Передаточне число пасової передачі:

$$i_{pm} = \frac{216}{72} = 3$$

Отже:

$$n_{дв} = 499,8 \cdot 3 = 1499,4 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

Частота обертання формувального вала визначається за формулою:

$$n_9 = n_6 \cdot i_{6,9}$$

$$\text{де: } i_{6,9} = 1$$

Після розрахунку:

$$n_9 = 1,02 \cdot 1 = 1,02 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

Частота обертання нагрівальних валів визначається залежністю:

$$n_{10,11,12} = n_9 \cdot i_{9,10}$$

Передаточне число:

$$i_{9,10} = \frac{104}{44} = 2,36$$

Тоді:

$$n_{10,11,12} = 1,02 \cdot 2,36 = 2,4106 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

Частота обертання ножового нижнього вала визначається відповідно до передаточного числа приводу.

$$n_4 = n_6 \cdot i_{6,3}$$

Передаточне число передачі становить:

$$i_{6,3} = \frac{56}{16} = 3,5$$

Після підстановки значень отримуємо:

$$n_4 = 1,02 \cdot 3,5 = 3,57 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

Частота обертання верхнього ножового вала розраховується за залежністю:

$$n_3 = n_4 \cdot i_{4,3}$$

Передаточне число цієї передачі:

$$i_{4,3} = \frac{z_4}{z_3} = \frac{30}{33} = 0,9$$

Тоді частота обертання верхнього ножового вала дорівнює:

$$n_3 = 3,57 \cdot 0,9 = 3,24 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

5.2 Параметричні розрахунки

5.2.1 Вибір електродвигуна

Потужність, що споживається пристроєм паяння, визначається через крутний момент на опорному валу.

Необхідний крутний момент на валу опорного вала розраховується за формулою:

$$M_0 = F_{\text{тяг}} \cdot \frac{D_{\text{оп}}}{2}$$

Приймаємо: $F_{\text{тяг}} = F_{\text{прит}} = 1000 \text{ Н}$

Тоді:

$$M_0 = 1000 \cdot \frac{0,312}{2} = 156 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Потужність на опорному валу визначається за залежністю:

$$N_0 = \frac{M_0 \cdot n}{9,55} = \frac{156 \cdot 1,02}{9,55} = 16,6 \text{ Вт}$$

Необхідна потужність на валу електродвигуна:

$$N_{\text{ел.п}} = \frac{N_0}{\eta_{\text{заг}}}$$

де загальний ККД приводу:

$$\eta_{\text{заг}} = \eta_{\text{підш}}^6 \cdot \eta_{\text{зуб}} \cdot \eta_{\text{цеп}}^2 \cdot \eta_{\text{ред}} \cdot \eta_{\text{рем}}$$

Приймаємо: $\eta_{\text{підш}} = 0,99$; $\eta_{\text{зуб}} = 0,96$; $\eta_{\text{цеп}} = 0,93$; $\eta_{\text{ред}} = 0,75$; $\eta_{\text{рем}} = 0,95$

Тоді:

$$\eta_{\text{заг}} = 0,99^6 \cdot 0,96 \cdot 0,93^2 \cdot 0,75 \cdot 0,95 = 0,562$$

Потужність електродвигуна для пристрою паяння становить:

$$N_{\text{ел.п}} = \frac{16,6}{0,562} = 29,55 \text{ Вт} = 0,0296 \text{ кВт}$$

Потужність, що споживається пристроєм різання полотна, визначається через крутний момент на верхньому ножовому валу.

Необхідний крутний момент на верхньому ножовому валу розраховується за формулою:

$$M = F_{\text{різ}} \cdot K \cdot \frac{D_{\text{нож}}}{2}$$

де:

— зусилля різання одного ножа; $F_{\text{різ}} = 40 \text{ Н}$

— максимальна кількість ножів; $K = 9$

— діаметр дискового ножа. $D_{\text{нож}} = 0,104 \text{ м}$

Після підстановки значень:

$$M = 40 \cdot 9 \cdot \frac{0,104}{2} = 18,72 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Потужність на валу електродвигуна для приводу ножового механізму визначається за формулою:

$$N_p = \frac{M \cdot n}{9,55} = \frac{18,72 \cdot 3,927}{9,55} = 7,69 \text{ Вт}$$

Необхідна потужність на валу електродвигуна визначається за формулою:

$$N_{\text{ел.р}} = \frac{N_p}{\eta_{\text{заг}}}$$

де загальний коефіцієнт корисної дії приводу:

$$\eta_{\text{заг}} = \eta_{\text{підш}}^8 \cdot \eta_{\text{зуб}} \cdot \eta_{\text{цеп}}^3 \cdot \eta_{\text{ред}} \cdot \eta_{\text{рем}}$$

Після підстановки значень отримуємо:

$$\eta_{\text{заг}} = 0,99^8 \cdot 0,96 \cdot 0,93^3 \cdot 0,75 \cdot 0,95 = 0,545$$

Тоді необхідна потужність електродвигуна становить:

$$N_{\text{ел.р}} = \frac{7,69}{0,545} = 14,2 \text{ Вт} = 0,0142 \text{ кВт}$$

5.2.2 Розрахунок клинопасової передачі

Передача крутного моменту від електродвигуна до редуктора здійснюється за допомогою клинопасової передачі.

Згідно з кінематичною схемою, передаточне число клинопасової передачі становить: $i_{\text{кп}} = 3$

Діаметр малого шківa приймасмо: $D_1 = 72 \text{ мм}$

Діаметр великого шківa визначається за формулою: $D_2 = i_{\text{кп}} \cdot D_1 = 3 \cdot 72 = 216 \text{ мм}$

Швидкість паса розраховується за залежністю:

$$U = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot n}{60} = \frac{3,14 \cdot 0,072 \cdot 1500}{60} = 5,65 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Подальший розрахунок виконуємо для паса типу А.

Попередню міжосьову відстань приймаємо з урахуванням половини ширини електродвигуна та половини ширини редуктора:

$$A_{\text{попер}} = \frac{B_1}{2} + \frac{B_2}{2} = 283 + 173 = 456 \text{ мм}$$

Приймаємо міжосьову відстань: $A_{\text{попер}} = 500 \text{ мм}$

Довжина паса визначається за формулою:

$$h = 2A + \frac{\pi}{2} \cdot (D_1 + D_2) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4A}$$

Після підстановки значень:

$$h = 2 \cdot 500 + \frac{3,14}{2} \cdot (72 + 216) + \frac{(216 - 72)^2}{4 \cdot 500} = 1462,758 \text{ мм}$$

За ГОСТ 1284 – 84 приймаємо довжину паса $h_0 = 1500 \text{ мм}$.

Уточнена міжосьова відстань визначається за формулою:

$$A = \left(\frac{1}{8}\right) \cdot \left(2h - \pi \cdot (D_1 + D_2) + \sqrt{(2h - \pi \cdot (D_1 + D_2))^2 - 8 \cdot (D_2 - D_1)^2}\right)$$

Після підстановки значень отримуємо:

$$A = \left(\frac{1}{8}\right) \cdot \left(2 \cdot 1500 - 3,14 \cdot (72 + 216) + \sqrt{(2 \cdot 1500 - 3,14 \cdot (72 + 216))^2 - 8 \cdot (216 - 72)^2}\right)$$

$$A = 530 \text{ мм}$$

Кут охоплення малого шківa визначається за залежністю:

$$\alpha_1 = 180 - 60 \cdot \left(\frac{D_2 - D_1}{A}\right)$$

Після розрахунку:

$$\alpha_1 = 180 - 60 \cdot \frac{216 - 72}{530} = 159,7^\circ$$

Коефіцієнт кута охоплення:

$$C_d = 1 - 0,003 \cdot (180 - \alpha_1)$$

Тоді:

$$C_d = 1 - 0,003 \cdot (180 - 159,7) = 0,939$$

Приймаємо: $C_d = 0,939$

Швидкісний коефіцієнт визначається за формулою:

$$C_v = 1,05 - 0,0005 \cdot V^2$$

Після підстановки швидкості паса:

$$C_v = 1,05 - 0,0005 \cdot 5,65^2$$

$$C_v = 0,984$$

Коефіцієнт режиму роботи приймається: $C_p = 0,9$

Число перебігів паса визначається за формулою:

$$n = \frac{U}{L_0} = \frac{5,65}{1,5} = 3,76$$

Для паса типу А питомий опір становить: $S_0 = 120000 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$

Окружне зусилля визначається залежністю:

$$P = \frac{10^2 \cdot N}{V} = \frac{10^2 \cdot 0,5}{5,65} = 9,03 \text{ Н}$$

Площа поперечного перерізу паса:

$$F = 0,81 \text{ см}^2 = 8,1 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$$

Кількість ременів визначається за формулою:

$$Z = \frac{P}{S_0 \cdot F} = \frac{9,03}{120000 \cdot 8,1 \cdot 10^{-5}} = 0,929$$

Приймаємо число пасків: $Z = 1$

5.2.3 Розрахунок продуктивності

Швидкість руху полотна приймається: $U = 1 \frac{\text{м}}{\text{хв}}$

Крок розміщення стаканчиків на полотні становить: $t = 70 \text{ мм} = 0,07 \text{ м}$

Маса одного стаканчика: $q = 0,2 \text{ кг}$

Кількість стаканчиків в одному ряді: $n = 2$

Загальна кількість кроків на одному метрі полотна визначається за формулою:

$$n_{\text{кр}} = \frac{1}{t} = \frac{1}{0,07} = 14$$

Кількість стаканчиків на одному метрі полотна:

$$n_y = n_{\text{кр}} \cdot 2 = 14 \cdot 2 = 28$$

Маса упакованого продукту на одному метрі полотна:

$$Q_{\text{пр}} = n_y \cdot q = 28 \cdot 0,2 = 5,6 \text{ кг}$$

Кількість упакованого продукту за одну годину роботи автомата:

$$Q = Q_{\text{пр}} \cdot U \cdot 60 = 5,6 \cdot 1 \cdot 60 = 336 \frac{\text{кг}}{\text{год}}$$

Кількість продукту, що переробляється автоматом за одну зміну тривалістю 8 годин:

$$\varphi = Q \cdot t_{\text{зм}} = 336 \cdot 8 = 2688 \text{ кг}$$

5.3 Теплові розрахунки

5.3.1 Розрахунок нагрівання плівки перед формуванням

Питома теплоємність поліетилену визначається за формулою:

$$C_p = \frac{\lambda}{a \cdot \rho} = \frac{0,247}{0,972 \cdot 10^{-7} \cdot 935} = 2718 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} = 2,718 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$$

Ентальпія поліетилену при температурі 20°C:

$$i'_n = C_p \cdot t_n = 2,718 \cdot 20 = 54,36 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Ентальпія поліетилену при температурі 160°C:

$$i''_n = C_p \cdot t_p = 2,718 \cdot 160 = 434,88 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$$

Маса плівки, що нагрівається, визначається за формулою:

$$m = L \cdot \delta \cdot h \cdot \rho = 1,5 \cdot 3,14 \cdot 0,12 \cdot 0,38 \cdot 2 \cdot 10^{-4} \cdot 935 = 0,04 \text{ кг}$$

Щільність теплового потоку:

$$q_T = m \cdot (i''_n - i'_n) = 0,04 \cdot (434,88 - 54,36) = 15,22 \text{ кДж}$$

Тепловий потік визначається за залежністю:

$$Q = q_T \cdot F = q_T \cdot 1,5 \cdot \pi \cdot d \cdot b = 15,22 \cdot 1,5 \cdot 3,14 \cdot 0,12 \cdot 0,38 = 3,27 \text{ кВт}$$

Потужність нагрівачів визначається з урахуванням коефіцієнта запасу:

$$W = \eta \cdot Q = 1,15 \cdot 3,27 = 3,76 \text{ кВт}$$

5.3.2 Розрахунок охолодження після формування

Безрозмірна температура визначається за формулою:

$$\theta = \frac{t_k - t_{cp}}{t_p - t_{cp}} = \frac{40 - 20}{160 - 20} = 0,143$$

Критерій Прандтля приймається: $Pr = 0,696$

Визначальна температура розраховується за залежністю:

$$t_{опр} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{t_p + t_k}{2} + t_{cp} \right)$$

Після підстановки значень:

$$t_{опр} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{160 + 40}{2} + 20 \right) = 60^\circ C$$

Критерій Грасгофа визначається за формулою:

$$Gr = \frac{g \cdot d^3 \cdot \beta \cdot \Delta t}{\nu^2}$$

де температурний напір:

$$\Delta t = \frac{t_p + t_k}{2} - t_{cp} = \frac{160 + 40}{2} - 20 = 80^\circ C$$

Температурний коефіцієнт об'ємного розширення:

$$\beta = \frac{1}{t_{опр} + 273} = \frac{1}{60 + 273} = 3 \cdot 10^{-3}$$

Коефіцієнт теплопровідності повітря:

$$\lambda_{60} = 0,029 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}$$

Кінематичний коефіцієнт в'язкості:

$$\nu_{60} = 18,97 \cdot \frac{10^{-6} \text{м}^2}{\text{с}}$$

Прискорення вільного падіння: $g = 9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

Діаметр стаканчика: $d = 0,065 \text{ м}$

Після підстановки значень критерій Грасгофа становить:

$$Gr = \frac{9,81 \cdot 0,065^3 \cdot 3 \cdot 10^{-3} \cdot 80}{(18,97 \cdot 10^{-6})^2} = 1796736$$

Добуток критеріїв Грасгофа та Прандтля:

$$Gr \cdot Pr = 1796736 \cdot 0,696 = 1250528$$

Критерій Нуссельта визначається за формулою:

$$Nu = 0,5 \cdot (Gr \cdot Pr)^{0,25} = 0,5 \cdot (1250528)^{0,25} = 16,72$$

Коефіцієнт теплопередачі визначається за формулою:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{d} = \frac{16,72 \cdot 0,029}{0,065} = 7,46 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$$

Критерій Біо розраховується за залежністю:

$$Bi = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda_c} = 7,46 \cdot \frac{0,0002}{0,247} = 0,6 \cdot 10^{-2}$$

За графічною залежністю: $\theta = f(Bi, Fo)$

визначаємо критерій Фур'є: $Fo = 16$

Час охолодження стаканчика визначається за формулою:

$$\tau = \frac{Fo \cdot l^2}{a} = \frac{16 \cdot (0,2 \cdot 10^{-3})^2}{0,972 \cdot 10^{-7}} = 6,584 \text{ с}$$

5.4 Розрахунок міцності урухомного вала

Визначаємо крутний момент на валу електродвигуна за формулою:

$$M_{\text{дв}} = 9,55 \cdot \frac{N}{n} = 9,55 \cdot \frac{500}{1500} = 3,18 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Передаточне число від електродвигуна до рухомого вала визначається залежністю:

$$i_{\text{заг}} = \frac{n}{n_{\text{в}}} = \frac{1500}{1,02} = 1470$$

Крутний момент на рухомому валу розраховується за формулою:

$$M_{\text{пр}} = M_{\text{дв}} \cdot i_{\text{заг}} \cdot \eta_{\text{заг}}$$

де загальний коефіцієнт корисної дії приводу:

$$\eta_{\text{заг}} = \eta_{\text{рем}} \cdot \eta_{\text{ред}} \cdot \eta_{\text{цеп}}^2 \cdot \eta_{\text{підш}}^4$$

Після підстановки значень:

$$\eta_{\text{заг}} = 0,95 \cdot 0,75 \cdot 0,93^2 \cdot 0,99^4 = 0,59$$

Тоді:

$$M_{\text{пр}} = 3,18 \cdot 1470 \cdot 0,59 = 2758 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Орієнтовний розрахунок вала виконується за умовою міцності на кручення:

$$\tau_{\text{к}} = \frac{M_{\text{к}}}{W_p} \leq [\tau_{\text{к}}]$$

Полярний момент опору круглого вала:

$$W_p = \pi \cdot \frac{d^3}{16}$$

Допустиме напруження при крученні:

$$[\tau_{\text{к}}] = 25 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$$

Тоді діаметр вала визначається за формулою:

$$d = \sqrt[3]{16 \cdot \frac{M}{\pi \cdot [\tau_{\text{к}}]}}$$

Після підстановки значень:

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 2758 \cdot 10^3}{25 \cdot 3,14}} = 78 \text{ мм} = 0,078 \text{ м}$$

Приймаємо попередній діаметр вала: $d = 0,08 \text{ м}$

Далі виконуємо уточнений розрахунок діаметра рухомого вала.

Окружне зусилля визначається за формулою:

$$P = \frac{2M}{d_3}$$

де:

— діаметр вантажної зірочки; $d_{\text{з.вант}} = 267,04 \text{ мм}$

— діаметр передавальної зірочки. $d_{\text{з.перед}} = 226,51 \text{ мм}$

Тоді окружні зусилля становлять:

$$P_1 = \frac{2 \cdot 2758 \cdot 10^3}{267,04} = 20656 \text{ Н}$$

$$P_2 = \frac{2 \cdot 2758 \cdot 10^3}{226,51} = 24352 \text{ Н}$$

Визначаємо опорні реакції вала.

З рівняння моментів відносно опори В:

$$\Sigma M_B = 0$$

$$-R_A \cdot 0,57 + P_2 \cdot 0,535 - P_1 \cdot 0,475 - P_1 \cdot 0,095 = 0$$

$$R_A = \frac{-20656 \cdot 0,475 - 20656 \cdot 0,095 + 24352 \cdot 0,535}{0,57} = 2200,7 \text{ Н}$$

З рівняння моментів відносно опори А:

$$\Sigma M_A = 0$$

$$-R_B \cdot 0,57 + P_2 \cdot 0,475 - P_1 \cdot 0,095 - P_1 \cdot 0,035 = 0$$

$$R_B = \frac{-20656 \cdot 0,475 + 20656 \cdot 0,095 + 24352 \cdot 0,035}{0,57} = 19160,7 \text{ Н}$$

Перевірка рівноваги за сумою сил:

$$\Sigma P = 0$$

$$-R_A + P_2 - P_1 - P_1 + R_B = 0$$

$$-2200,7 + 24352 - 20656 - 20656 + 19160,7 = 0$$

Далі визначаємо згинальні моменти у характерних перерізах вала:

$$M_{зг1} = -R_A \cdot 0,035 = -2200,7 \cdot 0,035 = 77,0245 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{зг2} = -R_A \cdot 0,095 + P_2 \cdot 0,06 = -2200,7 \cdot 0,095 + 24352 \cdot 0,06 = 1252,06 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{зг3} = -R_A \cdot 0,475 + P_2 \cdot 0,446 - P_1 \cdot 0,38 = -2200,7 \cdot 0,475 + 24352 \cdot 0,446 - 20656 \cdot 0,38 = 1802,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{зг4} = -R_B \cdot 0,095 = -19160,7 \cdot 0,095 = 1820,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Уточнений діаметр вала у небезпечному перерізі визначається за формулою:

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_{\text{екв}}}{0,1 \cdot [\tau_{-1}]}}$$

де $M(\text{екв})$ — еквівалентний, або розрахунковий, момент.

Еквівалентний момент визначається за залежністю:

$$M_{\text{екв}} = \sqrt{M_x^2 + M_y^2 + 0,75 \cdot M_{\text{кр}}^2}$$

Після підстановки значень:

$$M_{\text{екв}} = \sqrt{0 + 1820,3^2 + 0,75 \cdot 2758^2} = 3003 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Допустиме напруження для сталі 45 приймається:

$$[\tau_{-1}] = 60 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$$

Тоді уточнений діаметр вала становить:

$$d = \sqrt[3]{\frac{3003 \cdot 10^3}{0,1 \cdot 60}} = 79,4 \text{ мм} = 0,0794 \text{ м}$$

Діаметр вала 0,08 м.

5.5 Розрахунок виштовхувача форми на стійкість

Розрахунок має за мету перевірити, чи є виштовхувачі форми стійкими на осьове навантаження і виконується за допомогою програми, написаної на VBA.

Методика розрахунку за [].

1. Довжина небезпечного перерізу:

$$l_{оп} = L - l_6 - l_2 - l$$

де довжина бурта $l_6 = 15$ мм; довжина галтелі $l_2 = 12$ мм.

2. Момент інерції перерізу:

$$I = \frac{\pi * d_{on}^4}{64}$$

3. Критичне зусилля небезпечного перерізу на стійкість:

$$P_{кр} = \frac{\pi^4 * E * I}{(k * l_{on})^2},$$

де k – коефіцієнт закладання, для даного випадку $k=0.7$.

4. Площа небезпечного перерізу:

$$F_{on.c} = \frac{\pi * D^2}{4}.$$

5. Умова, коли виштовхувач вважається стійким - небезпечне напруження на стійкість не менше допустимого на міцність:

$$\frac{P_{кр}}{F_{on.c}} \succ [\sigma].$$

6. Перевірка небезпечного перерізу виштовхувача на міцність від дії тиску

$$P_{\phi} < [\sigma]$$

Текст програми наведено у Додатку В.

Вихідні дані і результат роботи програми:

Параметр (Вихідні дані)	
L, мм	120
l, мм	40
d, мм	3
d1, мм	3,5
Pф, МПа	80
[?], МПа	330
Результати розрахунку	

I оп, мм	53
I, мм ⁴	3,976078202
P кр, Н	5987,23271
F, мм ²	7,068583471
Sigma кр, МПа	847,0201611
Умова стійкості	Стійкий
Умова міцності	Міцний

Згідно наведеного результату розрахунку, виштовхувач є стійким.

5.6 Розрахунок конструкції за допомогою програмного забезпечення Fusion360 та Ansys

5.6.1 Розрахунок базової моделі

Для аналізу напружено-деформованого стану конструктивних елементів було застосовано програмний комплекс ANSYS, що забезпечує проведення інженерних розрахунків деталей і вузлів за методом скінченних елементів. Використання даного програмного забезпечення дало змогу визначити розподіл напружень, деформацій і переміщень у досліджуваній конструкції.

Під час проведення моделювання було задано граничні умови, що найбільш точно відповідали фактичним умовам експлуатації конструкції.

Геометричну модель було побудовано у програмі Fusion 360 (рис. 5.1).

Застосування програмного комплексу ANSYS надало можливість виконати оцінку працездатності конструкції ще на стадії проєктування без виготовлення експериментального зразка. Це сприяє значному зменшенню витрат часу й матеріальних ресурсів, а також забезпечує можливість оперативного коригування конструкції для підвищення показників міцності, жорсткості та надійності.

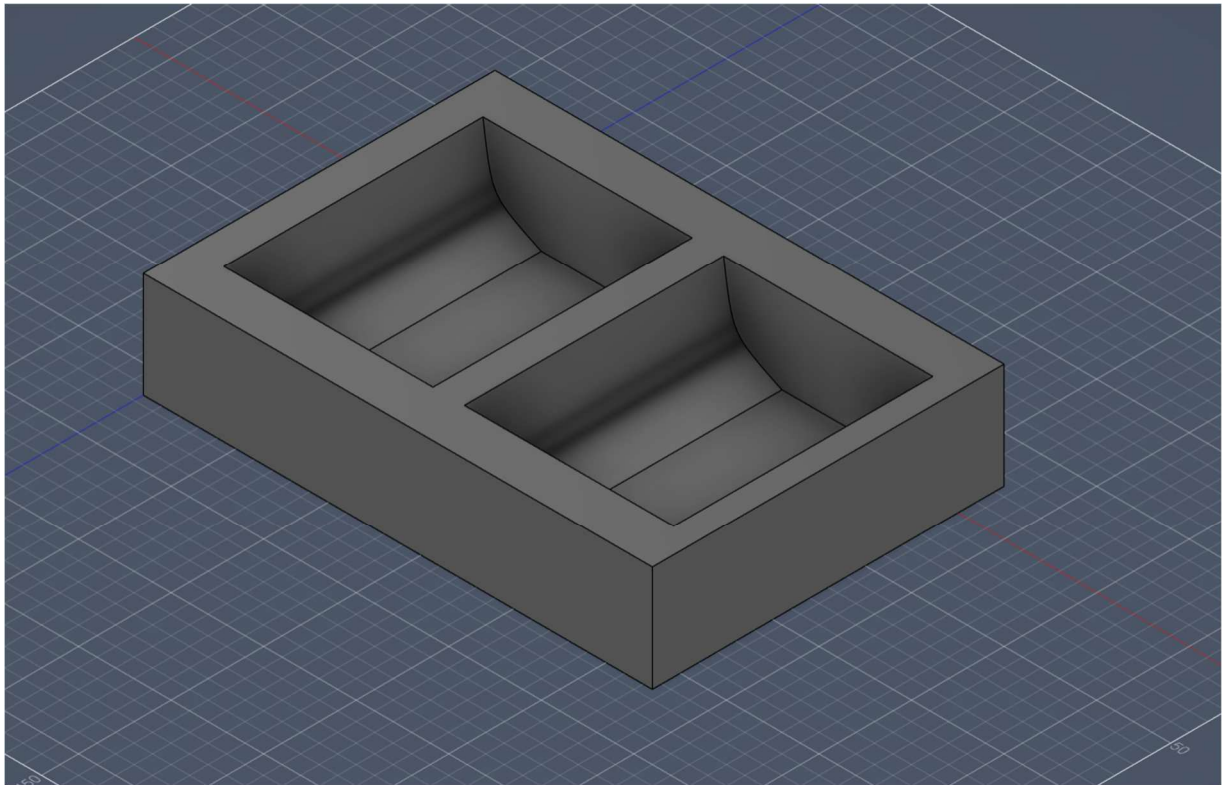


Рисунок 5.1 – Скріншот базової моделі

У зв'язку з тим, що під час експлуатації агрегат зазнає впливу температурних навантажень, у середовищі ANSYS було створено модуль «Steady-State Thermal», до якого в розділ геометрії імпортовано розроблену 3D-модель.

Для виконання розрахунку термопружного стану моделі було застосовано поєднання модулів Steady-State Thermal і Static Structural (рисунок 5.2.).

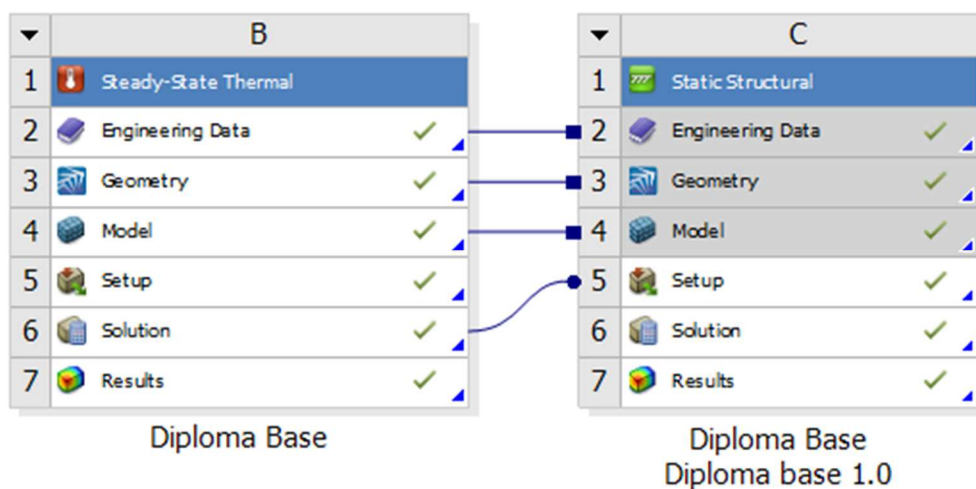


Рисунок 5.2 – Зображення об'єднаних модулів Steady-State Thermal та Static Structural

Геометрична модель базової конструкції представлена на рисунку 5.3, а відповідна розрахункова сітка наведена на рисунку 5.4.

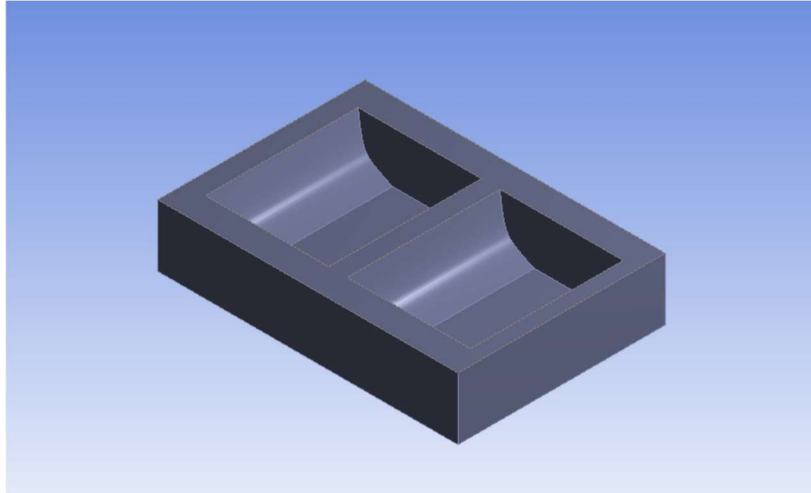
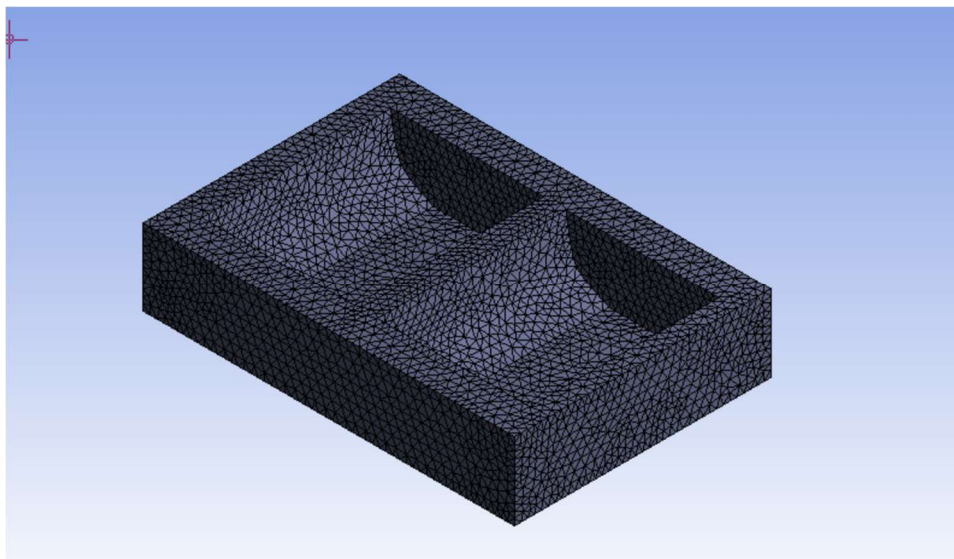


Рисунок 5.3 – Базова геометрія



кількість скінченних елементів – 48964

Рисунок 5.4 – Розрахункова сітка

Граничні умови числової моделі включали жорстке закріплення конструкції та прикладення внутрішнього тиску величиною 1 МПа до робочих поверхонь елементів. Закріплення моделі та схема прикладення навантаження, використані під час розрахунку напружено-деформованого стану конструкції, наведені на рисунку 5.5.

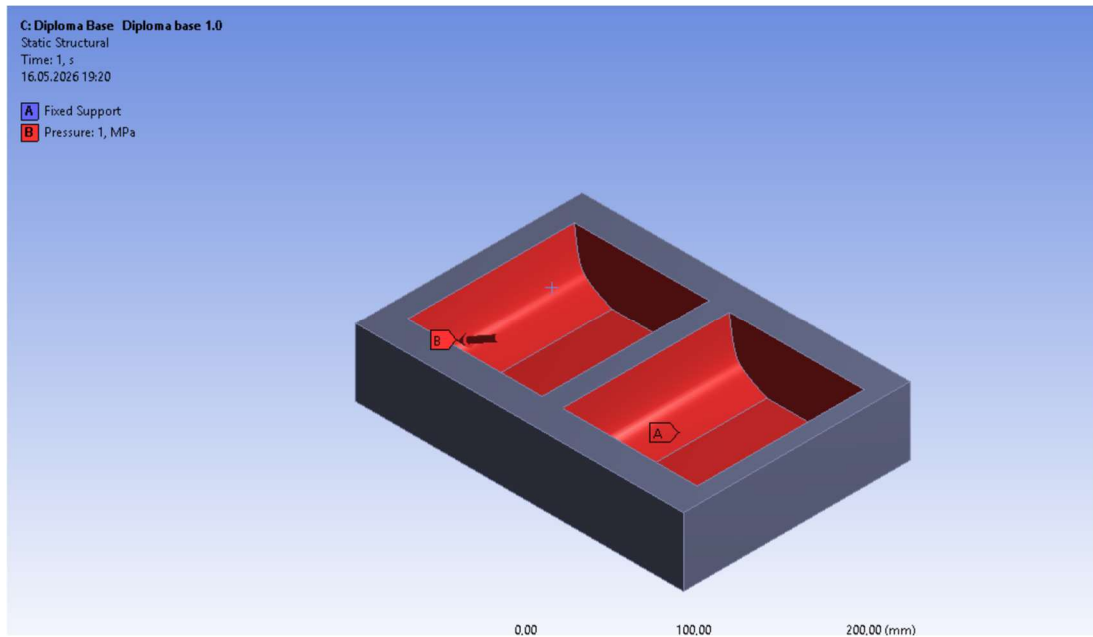


Рисунок 5.5 – Схема закріплення та прикладення силового навантаження до моделі з базовою конструкцією в середовищі Static Structural.

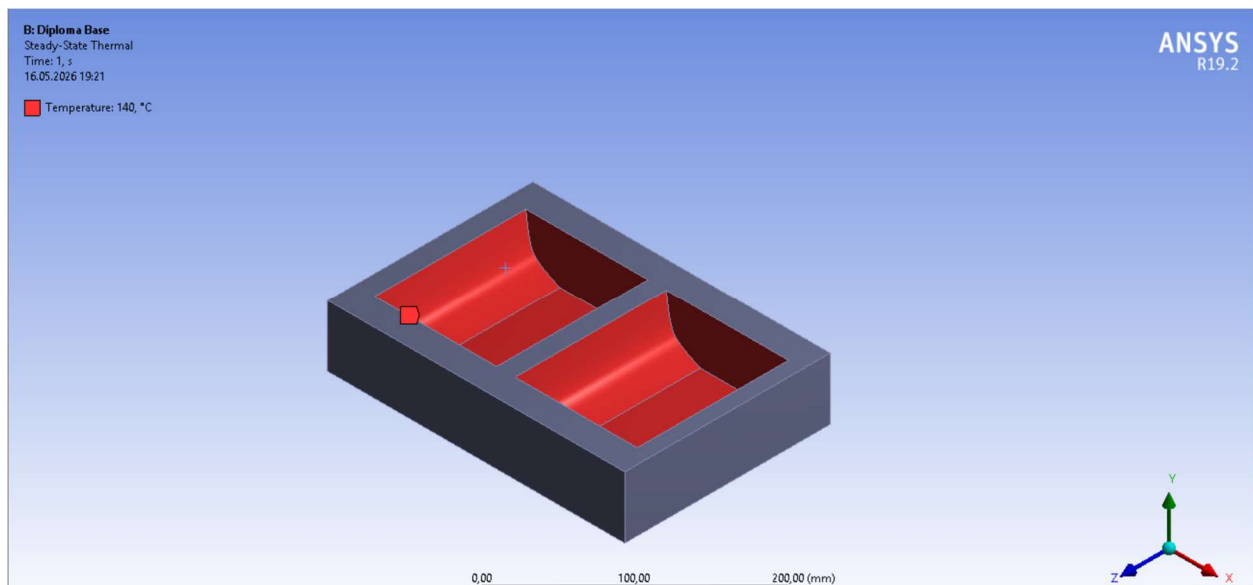


Рисунок 5.6 – Схема прикладення теплового навантаження до моделі з базовою конструкцією в середовищі Steady State Thermal.

Після завершення розрахунку були отримані результати розподілу температури, сумарних переміщень, еквівалентних напружень за Мізесом, а також коефіцієнта запасу міцності конструкції. Отримані результати наведено на рисунках 5.7–5.9.

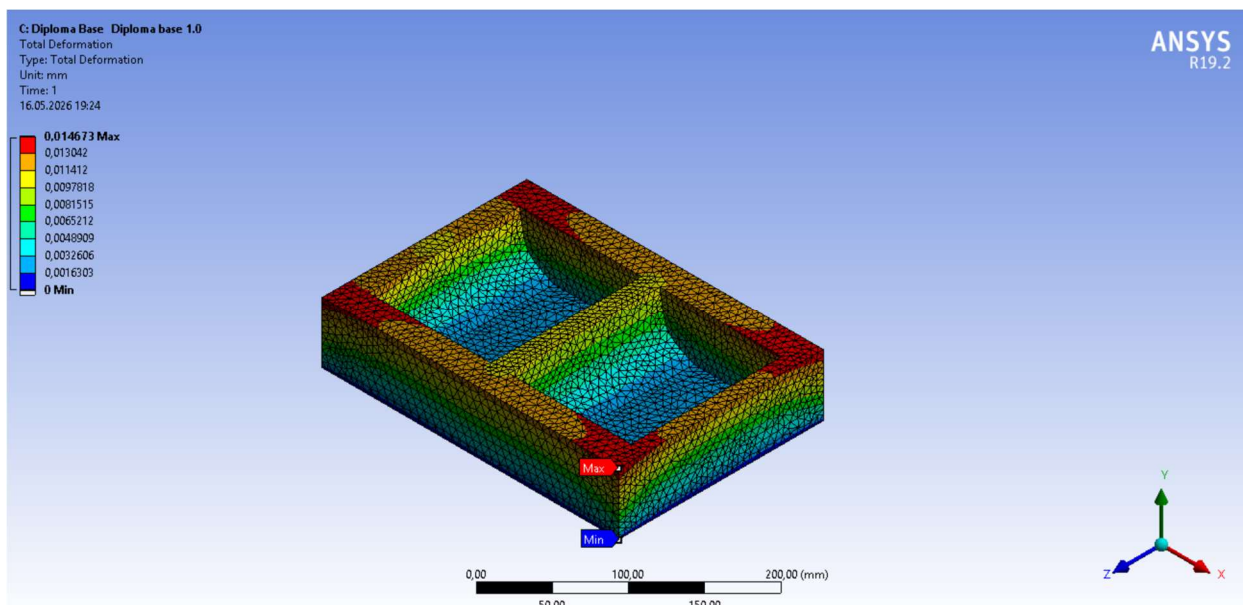


Рисунок 5.7 – Поле результируючих переміщень моделі

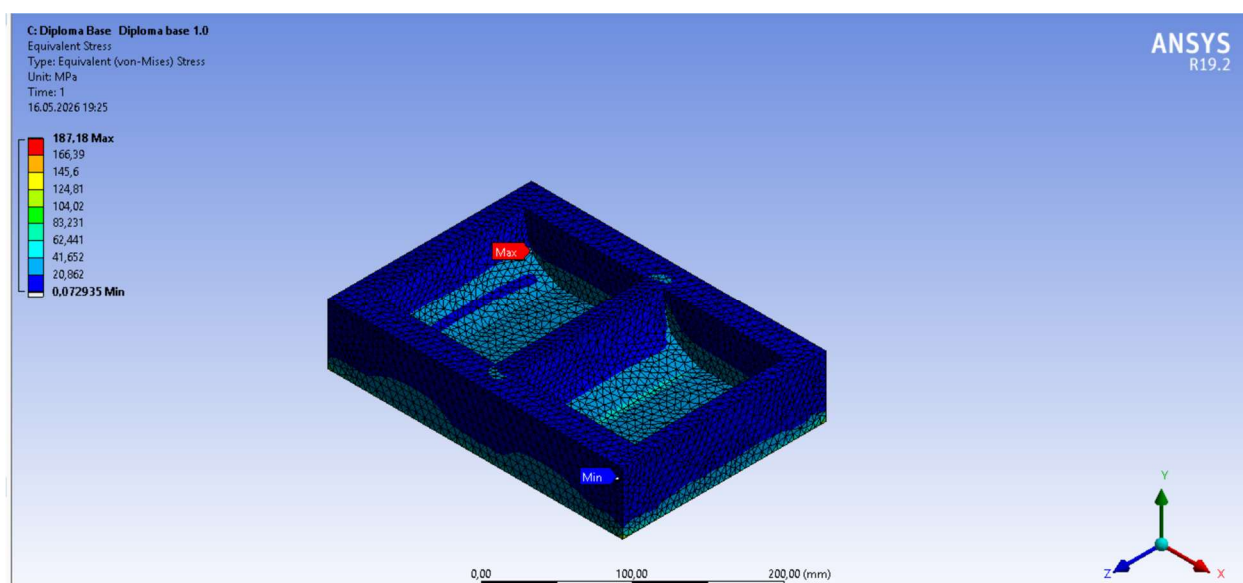


Рисунок 5.8. - Скріншот еквівалентних напружень по Мізесу

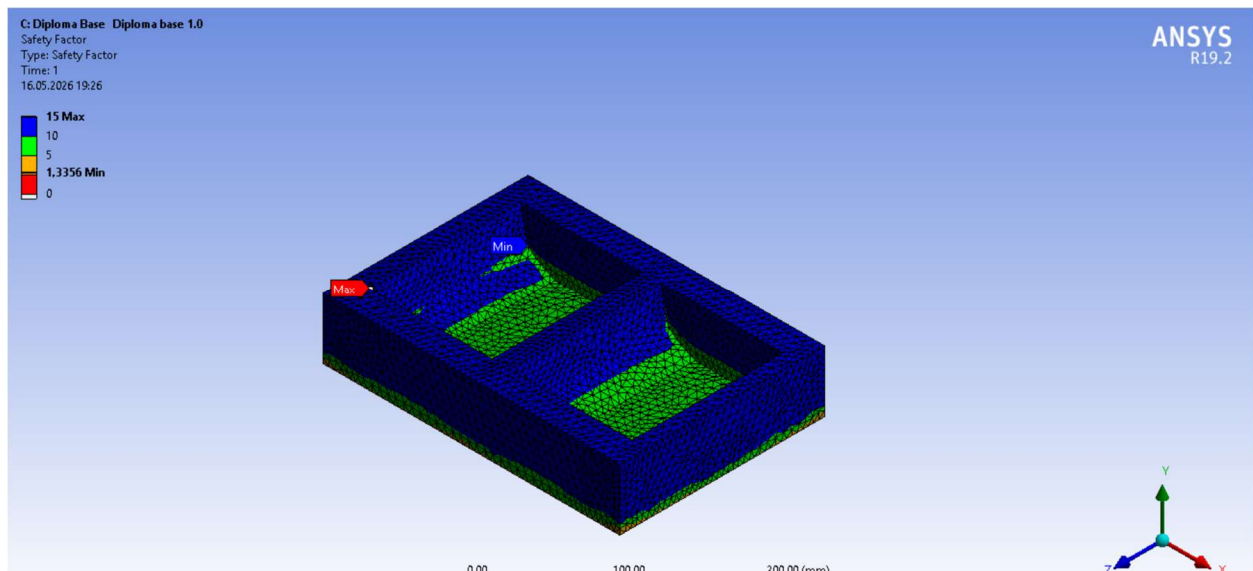


Рисунок 5.9 – Поле запасу міцності моделі

5.6.2 Розрахунок модернізованої моделі

У зв'язку з тим, що під час експлуатації агрегат зазнає впливу температурних навантажень, у середовищі ANSYS було створено модуль «Steady-State Thermal», до якого в розділ геометрії імпортовано розроблену 3D-модель. Для виконання розрахунку термопружного стану моделі було застосовано поєднання модулів Steady-State Thermal і Static Structural (рисунок 5.10).

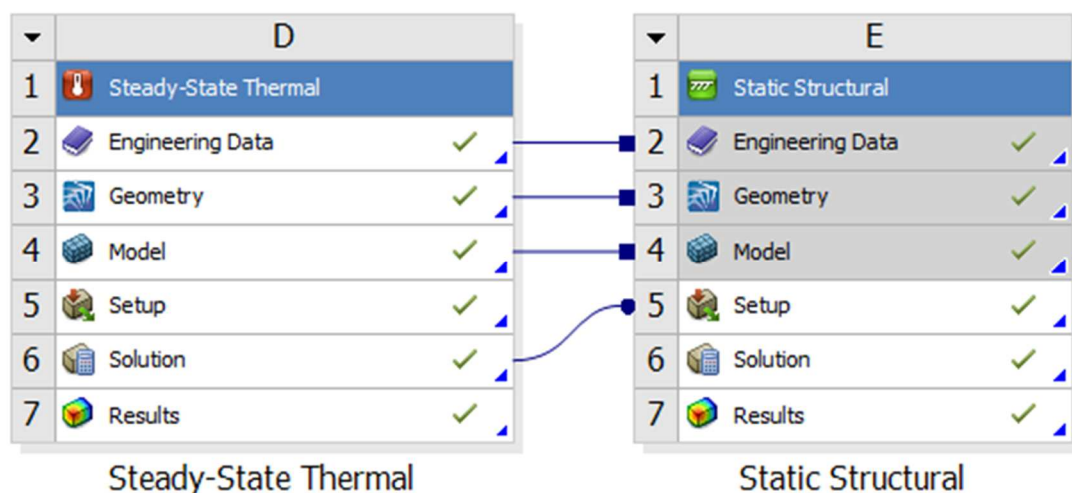


Рисунок 5.10 – Зображення об'єднаних модулів Steady-State Thermal та Static Structural.

Геометрична модель базової конструкції представлена на рисунку 5.11, а відповідна розрахункова сітка наведена на рисунку 5.12.

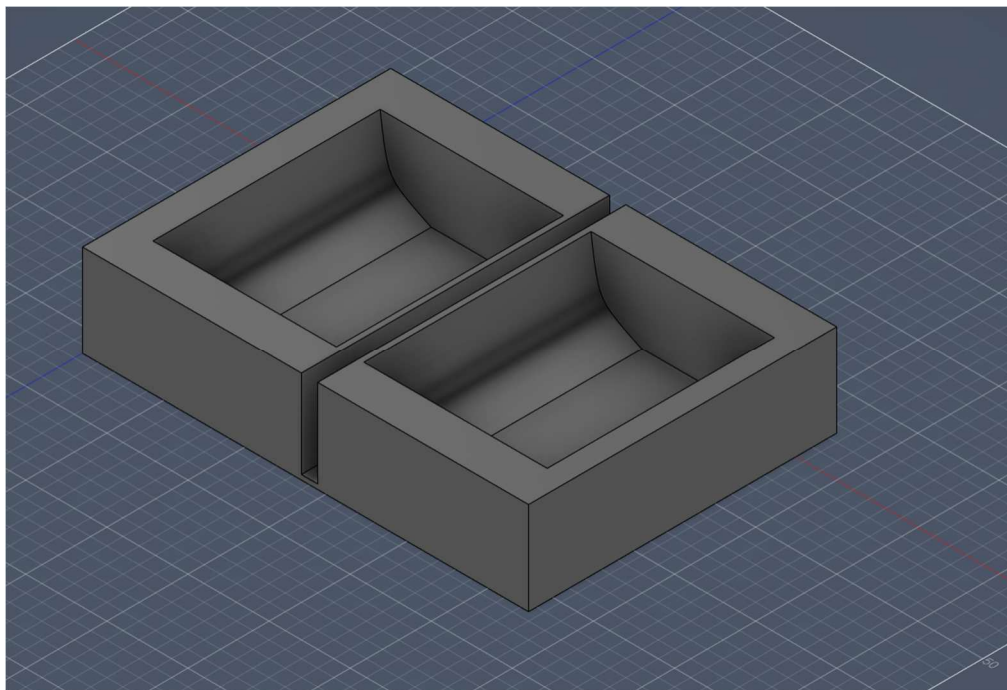
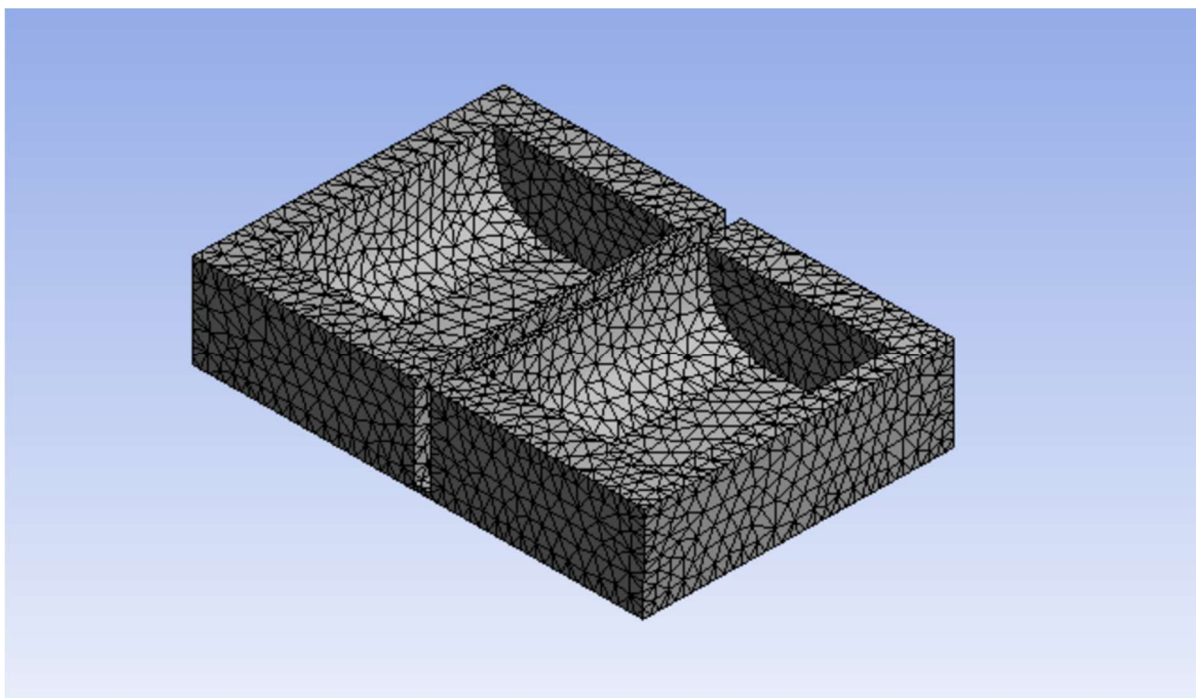


Рисунок 5.11 – Модернізована геометрія



кількість скінченних елементів – 13918

Рисунок 5.12 – Розрахункова сітка

Граничні умови числової моделі включали жорстке закріплення конструкції та прикладення внутрішнього тиску величиною 1 МПа до робочих поверхонь елементів. Закріплення моделі та схема прикладення навантаження, використані під час розрахунку напружено-деформованого стану конструкції, наведені на рисунку 5.13.

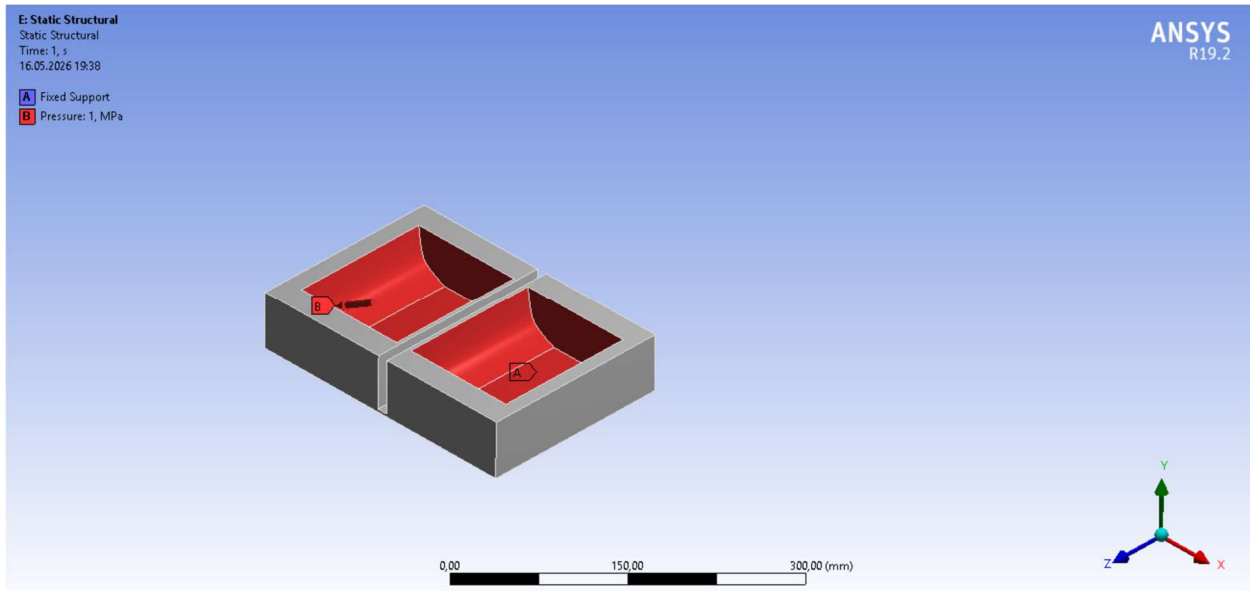


Рисунок 5.13 – Схема закріплення та прикладення силового навантаження до моделі з модернізованою конструкцією в середовищі Static Structural.

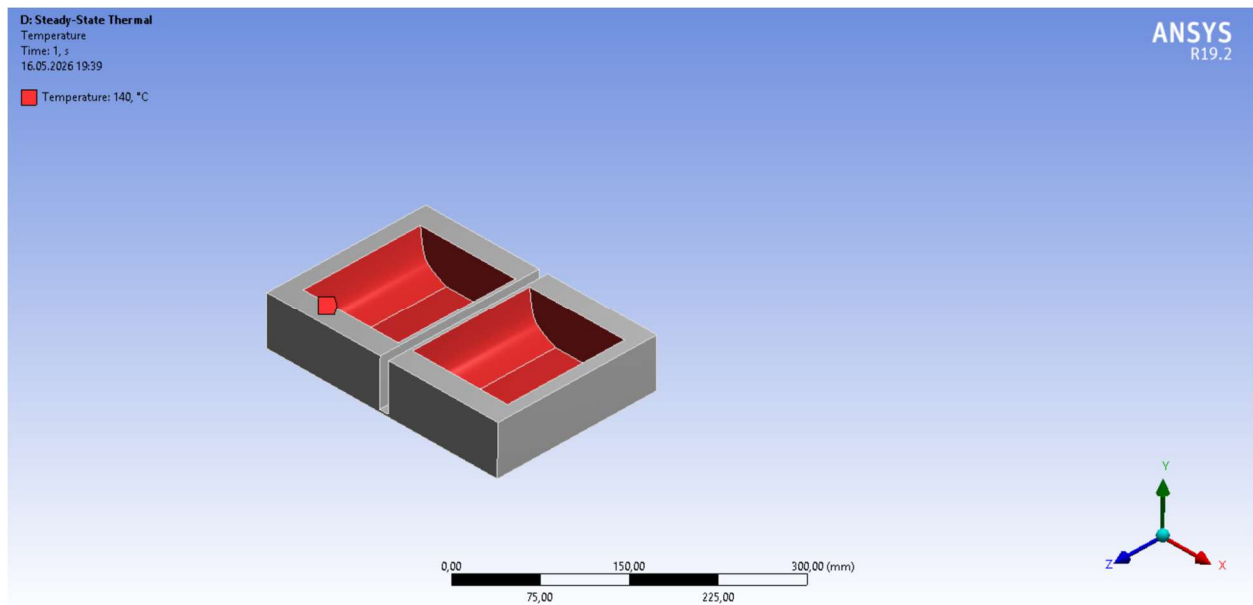


Рисунок 5.14 – Схема прикладення теплового навантаження до моделі з модернізованою в середовищі Steady State Thermal

Після завершення розрахунку були отримані результати розподілу температури, сумарних переміщень, еквівалентних напружень за Мізесом, а також коефіцієнта запасу міцності конструкції. Отримані результати наведено на рисунках 5.15–5.17.

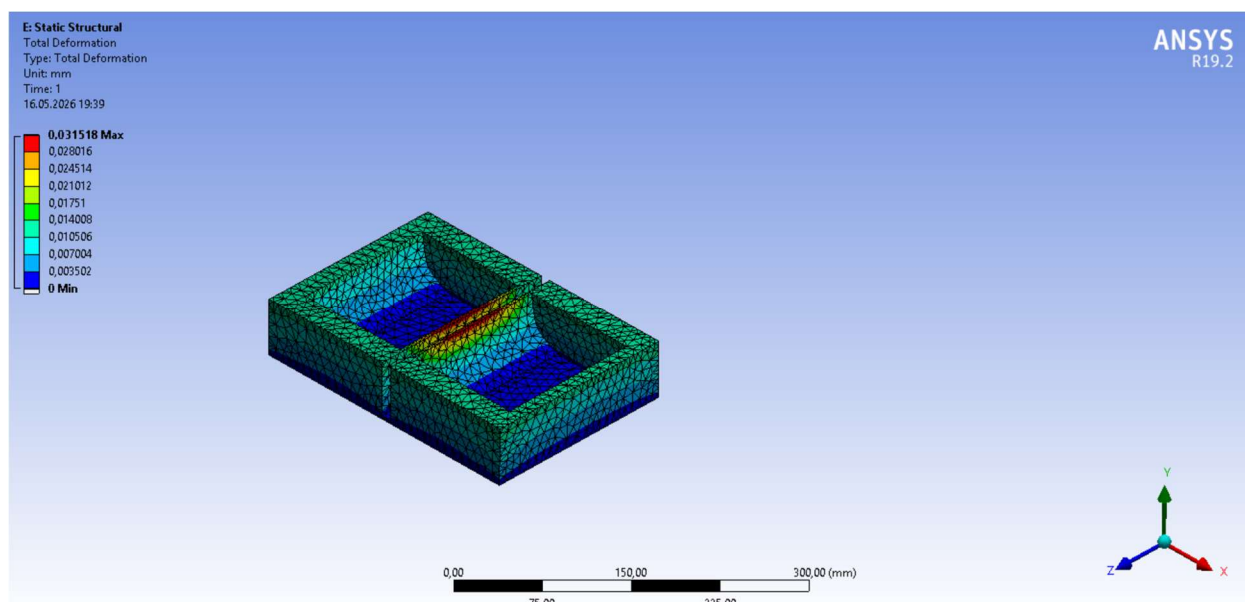


Рисунок 5.15 – Поле результуючих переміщень моделі

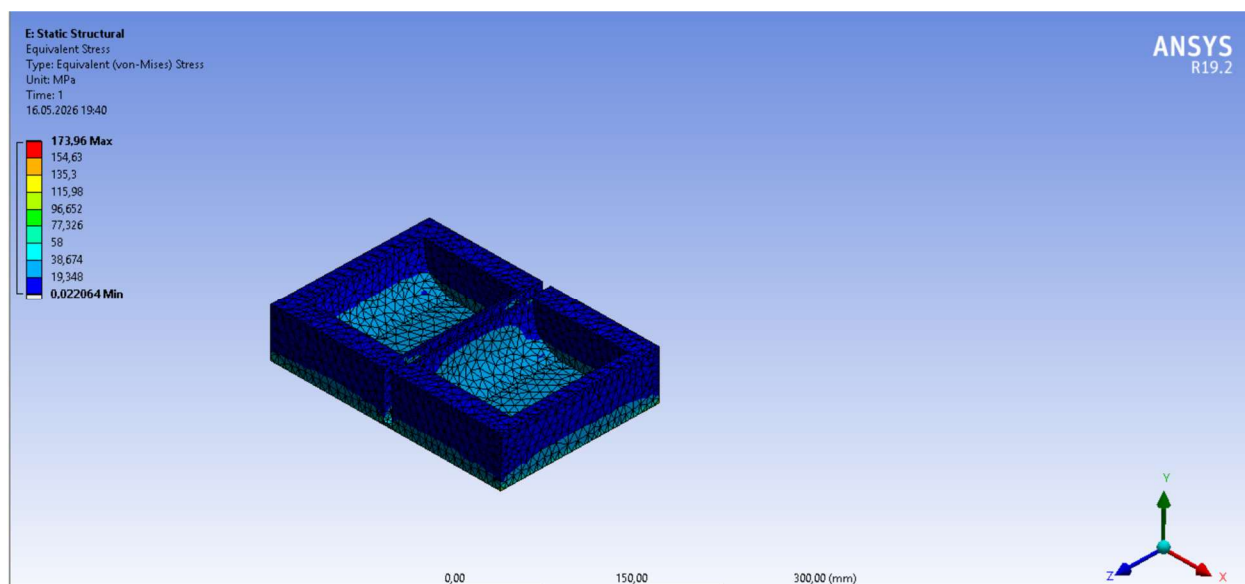


Рисунок 5.16 - Скріншот еквівалентних напружень по Мізесу

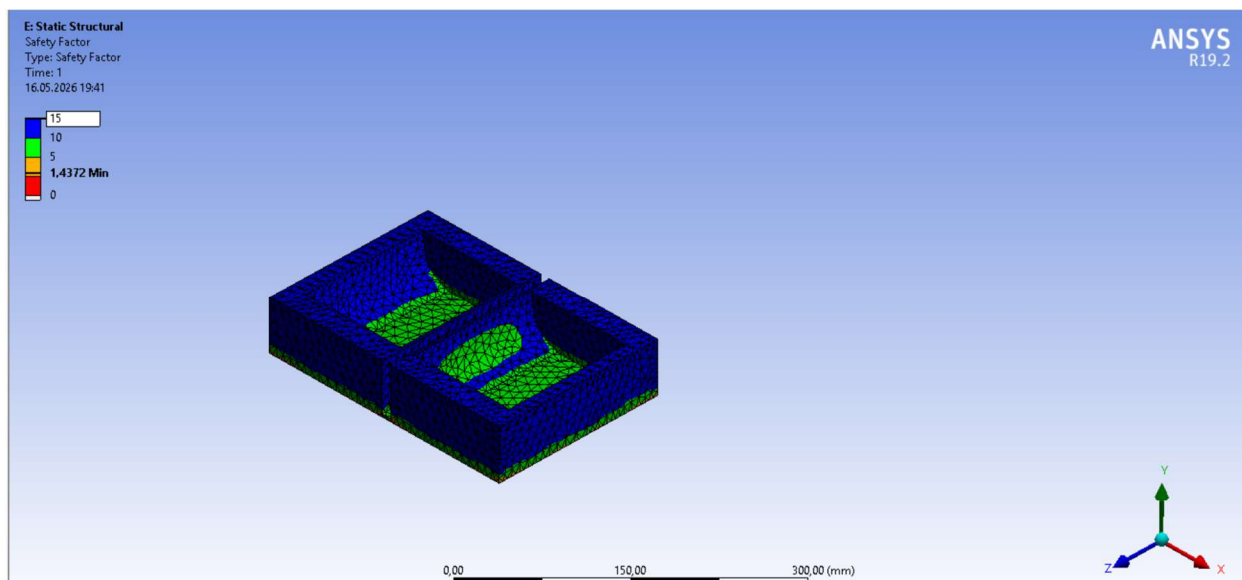


Рисунок 5.17 - Скріншот поля запасу міцності

5.6.3 Висновки

Проведені числові дослідження термонапруженого стану базової та модернізованої конструкцій показали, що найбільш навантаженими зонами моделей є внутрішні робочі поверхні та ділянки переходів між стінками конструкції. Саме в цих областях спостерігається концентрація еквівалентних напружень та максимальні результуючі переміщення.

За результатами розрахунку встановлено, що максимальні еквівалентні напруження за Мізесом для базової конструкції становлять 187,18 МПа (рисунок 4.2.6), тоді як для модернізованої моделі даний показник зменшився до 173,96 МПа (рисунок 4.2.14). Це свідчить про більш рівномірний розподіл навантажень у модернізованій конструкції та зниження рівня локальних перенапружень під час експлуатації.

Коефіцієнт запасу міцності базової конструкції становить 1,3156 (рисунок 4.2.7), а модернізованої — 1,4372 (рисунок 4.2.15), що підтверджує підвищення міцності конструкції після внесення змін. Отримані значення показують, що обидві конструкції здатні витримувати задані силові та температурні навантаження, однак модернізована модель має вищий рівень надійності та експлуатаційної стійкості.

У результаті проведеного термічного аналізу встановлено, що температурне навантаження $140\text{ }^{\circ}\text{C}$ не призводить до критичних деформацій конструкції. Максимальні результуючі переміщення для базової моделі становлять $0,0416\text{ мм}$ (рисунок 4.2.5), тоді як для модернізованої конструкції цей показник зменшився до $0,0315\text{ мм}$ (рисунок 4.2.13), що свідчить про підвищення жорсткості модернізованої моделі.

Таким чином, проведена модернізація конструкції забезпечує зменшення еквівалентних напружень приблизно на 7% , підвищення коефіцієнта запасу міцності та зниження деформацій під дією температурних і силових навантажень. Це дає змогу підвищити довговічність конструкції, зменшити ймовірність виникнення пошкоджень та збільшити експлуатаційний ресурс обладнання.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ

Згідно Кодексу законів про працю України від 20.04.92 на всіх підприємствах повинні створюватися здорові і безпечні умови праці (ст. 153).

Ці умови включають раціональне використання площі виробничих приміщень та місць розташування обладнання, вірну експлуатацію обладнання і організацію технологічних процесів, захист працюючих від впливу шкідливих умов праці, додержання в виробничих приміщеннях, місцях розташування обладнання та на робочих місцях санітарно-гігієнічних норм та правил.

Відповідно до теми дипломного проекту «Термоформувальна пакувальна машина для пастоподібних продуктів з модернізацією вузла формування» розроблено оптимальні і безпечні умови праці для оператора, який обслуговує дану лінію.

Основою створення безпечних умов праці є чіткі знання небезпечних і шкідливих факторів, пов'язаних з конкретним виробництвом, їх впливу на організм людини, вимог нормативних документів щодо обмеження цього впливу і методів захисту працюючих.

Метою даного розділу є виявлення шкідливих і небезпечних факторів в цеху пакувальної машини. Оператор термоформувальної машини працює на лінії, в кабіні, де знаходиться пульт керування, площею $S = 20\text{м}^2$ і об'ємом $V = 70\text{м}^3$. При роботі на пакувальній лінії на оператора діють наступні шкідливі та небезпечні фактори:

- повітря робочої зони і метеорологічні умови;
- небезпека механізмів, що рухаються;
- виробничий шум;
- небезпека ураження електричним струмом;
- надзвичайні ситуації.

6.1 Вплив небезпечних і шкідливих факторів

6.1.1 Повітря робочої зони

Пакувальним матеріалом у розроблювальному автоматі є поліетилен. У процесі переробки він виділяє в повітряне середовище летучі продукти термоокислювальної дисперсії, що містять органічні кислоти, карбональні сполуки, у тому числі формальдегід, окис вуглецю.

Продукти окислювання поліетилену викликають наркотична дія, викликають роздратування слизової оболонки ока, носу, гортані, порушують функції центральної нервової системи, печінки, викликають удущня, різкий кашель, сухість і тріщини шкіри.

Наявність настільки несприятливих для організму людини шкідливих речовин у повітряному середовищі робочої зони вимагає здійснення ряду заходів шкідливих речовин, що забезпечують зміст, у межах норми відповідно ГОСТ 12.1. 005-88.

До них відносяться:

1. Періодичний контроль стану повітряного середовища робочої зони шляхом узяття проб повітря й аналіз його стану в лабораторних умовах.
2. Для усунення пар шкідливих речовин у місцях їхнього виділення й недопускання їхнього поширення в приміщенні встановлюються зони витяжної вентиляції над автоматом.
3. Виробниче приміщення обладнане протяжно - витяжною вентиляцією, що забезпечує видалення забрудненого повітря із приміщення й подачі в нього свіжого повітря.
4. Дотримання працівником правил експлуатації встаткування й норм техніки безпеки.

6.1.2 Мікроклімат робочої зони

Метереологічні умови в робочій зоні визначаються наступними факторами: температурою повітря $t^{\circ}\text{C}$, відносною вологістю повітря $\vartheta(\%)$, швидкістю руху повітря в робочому місці.

Необхідність обліку основних параметрів мікроклімату пояснюється необхідністю дотримання теплового балансу між організмом людини й навколишнім середовищем виробничих приміщень. Величина тепловиділення організму людини залежить від ступеня фізичної напруги в певних метереологічних умовах. Оптимальні норми температур, відносній вологості й швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень наведені в таблиці 7.2. Енерго витрати до 139Вт

Таблиця 6.1 - Граничні метереологічні умови в робочій зоні

Сезон року	Категорія робіт	температура $t^{\circ}\text{C}$	Відносна вологість $\vartheta(\%)$	Швидкість руху повітря
Холодний і перехідний періоди року	1а	20-23	40-60	Не більше 0,2
Теплий період року	Легка	22-25	40-60	Не більше 0,2

Наведені вище параметри метереологічних умов робочої зони забезпечуються наступними заходами:

1. Джерела теплового випромінювання мають теплозахистні кожуха.
2. Підтримка необхідної температури в холодну пору року здійснюється подачею теплого повітря через систему калориферів.

Вологість і швидкість повітря регулюються об'ємом подаваного повітря за допомогою вентиляторів. Відповідно ДСН 3.3.6.042-99, встановлюються оптимальні умови для робочої зони приміщення при виборі яких ураховується пора року й категорія роботи.

6.2 Небезпека рухомих механізмів

При роботі пакувального автомата підвищену небезпеку представляють робочі частини механізмів різання й перфорації плівки, рухомий ланцюг, що підтримує плівку на ділянках дозування, пайки, перфорації й різання й інші частини, що рухаються, урухомники.

Для виключення можливості травмування пакувальний автомат обладнаний захисними щитками й аварійними вимикачами.

Безпека працюючі гарантується дотриманням їм правил техніки безпеки, до роботи й після її.

До початку роботи:

1. Зробити зовнішній огляд устаткування й перевірити
 - а) наявність і справність огорожувальних щитів.
 - б) справність пристроїв, що блокують.
2. Правильність дії аварійних вимикачів.

Під час роботи:

1. Працювати тільки при закритих огорожувальних екранах. Робота з несправною системою, що блокує, не допускається.
2. Не заносити руки в район робочих частин механізмів різання й перфорації.
3. Не доторкатися до частин, що рухаються.

6.3 Виробничий шум

Джерелом виробничого шуму при роботі пакувального автомата є: електроурухомник, ланцюгова передача механізм перфорації, шум у наслідку коливань усього автомата й окремих його частин.

Шумові характеристики даного пакувального автомата зазначені в паспорті. Вони відповідають 65 дБ. Припустимі норми, для малонапруженої праці й даного виду трудової діяльності відповідають до 80дБ.

Для контролю відповідності фактичних рівнів шумів на робочих місцях виробляються виміри при найбільш характерному режимі роботи. Індивідуальні

засоби захисту від шуму - застосування шумозахисних навушників. Нормування рівня шуму здійснюється відповідно до «Державних санітарних норм» ДСН 3.3.6.037-99.

6.4 Виробниче освітлення

Правильно спроектоване й виконане виробниче освітлення забезпечує можливість нормальної виробничої діяльності. Від освітлення залежить схоронність зору людини, стан його нервової системи, безпека на виробництві, продуктивність праці і якість випускаємої продукції.

При висвітленні ділянки пакувального автомата використовується природне висвітлення, здійснюване через світлові прорізи по периметрі будинку в районі даху й здійснюване через ліхтарі в перекриттях даху будинку. Застосовується також штучне висвітлення за допомогою електричних світильників, розміщених на стелі приміщення й місцеве висвітлення в районі робочого місця оператора пакувального автомата. У світлий час доби, якщо природне висвітлення є недостатнім застосовується сполучене висвітлення, при якому природне висвітлення доповнюється штучним.

Основні вимоги до виробничого висвітлення:

1. Висвітлення на робочому місці повинне відповідати характеру зорової роботи.
2. Необхідне забезпечення достатнього розподілу яскравості на робочій поверхні.
3. Повинні бути відсутні різкі тіні.
4. Видимість - характеризує здатність очей сприймати об'єкт.

Створення у виробничих приміщеннях якісного й ефективного висвітлення неможливо без застосування раціональних світильників. В умовах базової ділянки пакувального автомата застосовуються відкриті світильники з лампами накаливання. Згідно ПУЕ для приміщення класу П - Па допускаються відкриті світильники.

Робота оператора пакувального автомата характеризується точністю зорової роботи, що відповідає V розряду зорової роботи. Його характеристики:

- контакт об'єкта розміщення із тлом -середній, тло темний.
- Штучне висвітлення: комбіноване $E_n = 200$ лк, $E_f = 250$ лк

У цеху застосовуються газорозрядні люмінесцентні лампи низького тиску типу ЛБ (лампа біла), тому що висота стелі $h \leq 6$ м, і вони найбільш сприятливі з гігієнічної точки зору. У кількості 12 штук, потужністю 80 Вт, лампи ІР-65 забезпечують потрібний світловий потік що відповідає ДБН В 2.5.28-2018.

7 ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ

1. Технологія виготовлення деталі й монтажу вузла	
1.1. Технологічний контроль креслення	
1.2. Аналіз службового призначення деталі та умов її роботи у вузлі. Визначення класу деталі	
1.3 Розробка маршрутного технологічного процесу	
1.3.1 Вибір технологічних баз і обґрунтування прийнятої схеми базування	
1.3.2. Вибір обладнання, верстатних пристроїв, різальних та вимірювальних інструментів	
1.4 Розробка операційного технологічного процесу	
1.4.1 Визначення припусків на механічну обробку	
1.4.2 Визначення режимів різання	

7.1 Технологія виготовлення деталі й монтажу вузла

7.2 Технологічний контроль креслення

У результаті проведення технічного аналізу креслень фланців, наведених у роботі, було встановлено таке:

- на кресленнях нанесені всі необхідні розміри, що забезпечують можливість виготовлення деталі відповідно до конструкторської документації;
- параметри шорсткості поверхонь деталей відповідають вимогам ГОСТ 2789-73;
- допуски розмірів і граничні відхилення призначені згідно з вимогами ГОСТ 25346-89 та ГОСТ 25347-82;
- допуски форми та взаємного розташування поверхонь указані відповідно до ГОСТ 24643-81;
- вимоги до точності обробки поверхонь фланця узгоджуються з установленними параметрами шорсткості поверхні.

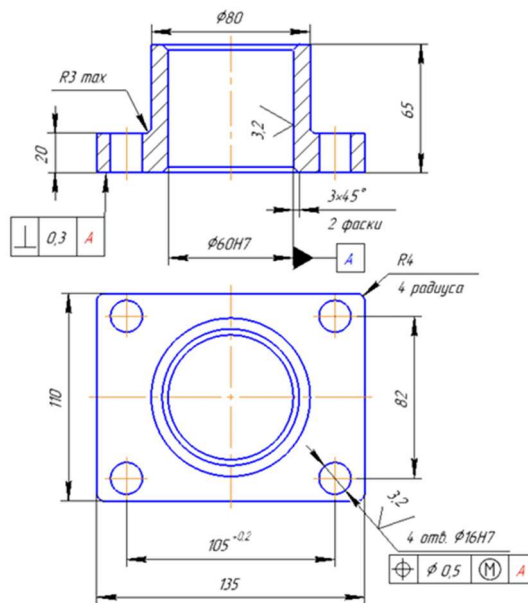


Рисунок 7.1- Креслення деталі

7.3 Аналіз службового призначення деталі та умов її роботи у вузлі.

Визначення класу деталі

У зв'язку з відсутністю складальних креслень вузлів, до складу яких входить фланець, а також офіційної інформації щодо сфери застосування виробу, однозначно встановити призначення даної деталі складно. Проте, зважаючи на конструктивне виконання та геометричні параметри, можна зробити висновок, що фланець належить до деталей загальномашинобудівного призначення.

Фланці набули широкого поширення у трубопровідних системах різного призначення — від комунальних мереж до магістральних нафто- та газопроводів високого тиску. Така популярність пояснюється універсальністю їх використання, а також можливістю створення надійних і герметичних з'єднань трубопровідної арматури, обладнання та інших елементів системи. Фланці можуть входити до складу труб, валів, корпусних деталей, фітінгів та інших конструктивних елементів.

Як окремі деталі фланці зазвичай приєднуються до з'єднуваних елементів методом зварювання або нагвинчування. При цьому різьбове кріплення застосовується порівняно рідко. Конструкція ущільнювальної поверхні фланця

визначається робочим тиском середовища, типом ущільнення та характеристиками ущільнювального матеріалу.

Матеріалом досліджуваного фланця є сірий чавун марки СЧ20, який характеризується відповідними хімічними та фізико-механічними властивостями:

Хімічний склад матеріалу СЧ20 ГОСТ 1412 – 85

C	Si	Mn	S	P	F e
3.5 - 3.7	2 - 2.4	0.5 - 0.8	до 0.15	до 0.2	~ 93

Механічні властивості при T = 20 оС

Сортамент	Р азмер	І апр.	в	т	5	К CU	Тер мообр.
-	м м	-	Па	Па		кД ж / м ²	-
Отливки, ГОСТ 1412-85			50				

Фізичні властивості

T	E 10 ⁻⁵	α 10 ⁶	λ	ρ	C	R 10 ⁹
Г рад	М Па	1/Г рад	Вт/(м·гра д)	кг /м ³	Дж/(кг·г рад)	О м·м
2 0	0. 9		59	70 00		
1 00		9			460	

Позначення:

Механічні характеристики:

- межа тимчасового опору матеріалу, [МПа];
- межа текучості (або межа пропорційності при залишковій деформації), [МПа];
- відносне подовження після розриву, [%];
- відносне звуження перерізу, [%];
- ударна в'язкість матеріалу, [кДж/м²];
- твердість за Брінеллем, [МПа].

Фізичні характеристики:

- температура, при якій визначалися властивості матеріалу, [°C];
- модуль пружності першого роду, [МПа];
- коефіцієнт лінійного температурного розширення в діапазоні температур 20°–Т, [1/°C];
- коефіцієнт теплопровідності матеріалу, [Вт/(м·°C)];
- густина матеріалу, [кг/м³];
- питома теплоємність у температурному діапазоні 20°–Т, [Дж/(кг·°C)];
- питомий електричний опір матеріалу, [Ом·м].

7.4 Розробка маршрутного технологічного процесу

7.4.1 Вибір технологічних баз і обґрунтування прийнятої схеми базування

На підставі аналізу креслень фланця та характерного технологічного маршруту виготовлення здійснюється вибір базової схеми технологічного процесу й розробляється послідовність механічної обробки деталі. Під час проєктування технологічного процесу необхідно забезпечити скорочення кількості операцій, установок і технологічних переходів.

Операція 005. Фрезерна

Деталь установлюється у патроні ділильної головки по поверхні $\varnothing 80$ у горизонтальному положенні. Торцева поверхня $\varnothing 80$ використовується як установча база для забезпечення трьох опорних точок, а зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 80$ слугує напрямною базою, що забезпечує дві опорні точки.

Механічна обробка виконується набором фрез із дотриманням заданих розмірів 110 та 135 мм.

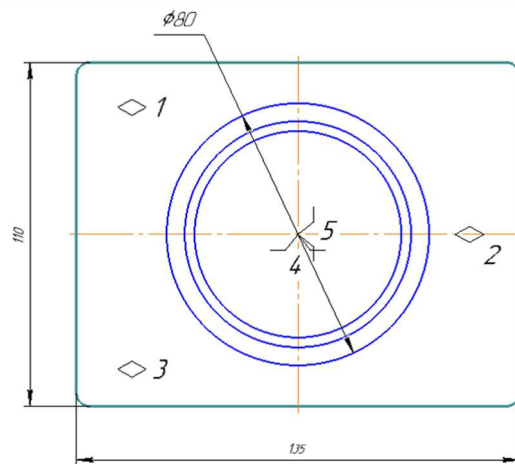


Схема базування при операції 005

Операція 010: Токарна

Заготівка закріплюється у трикулачковому поворотному патроні по поверхні $\varnothing 80$. Торцева поверхня $\varnothing 80$ використовується як установча база та забезпечує три точки опори, а зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 80$ виконує функцію напрямної бази, створюючи дві додаткові опорні точки.

У процесі токарної обробки виконуються такі переходи:

- Обточування поверхні $\varnothing 135$;
- Підрізання торцевої поверхні $\varnothing 135$;
- Виконання фаски розміром $3 \times 45^\circ$.

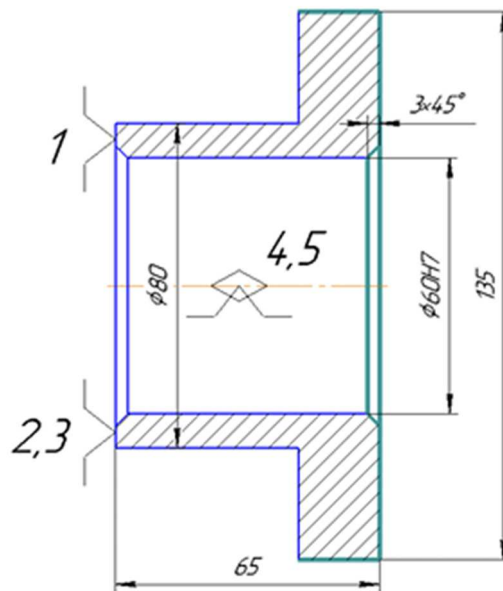


Схема базування для операції 010

Операція 015: Токарна

Заготівка встановлюється та закріплюється у трикулачковому патроні токарного верстата по попередньо обробленій поверхні $\text{Ø}135$. Торцева поверхня $\text{Ø}135$ використовується як установча база та забезпечує три опорні точки, а зовнішня циліндрична поверхня $\text{Ø}135$ виконує роль напрямної бази, створюючи дві додаткові опорні точки.

У ході обробки виконуються такі технологічні переходи:

1. Чорнове та чистове точіння поверхні $\text{Ø}80$;
2. Підрізання торцевих поверхонь $\text{Ø}135$ і $\text{Ø}80$;
3. Чорнове, напівчистове та чистове точіння поверхні $\text{Ø}60\text{H}7$.

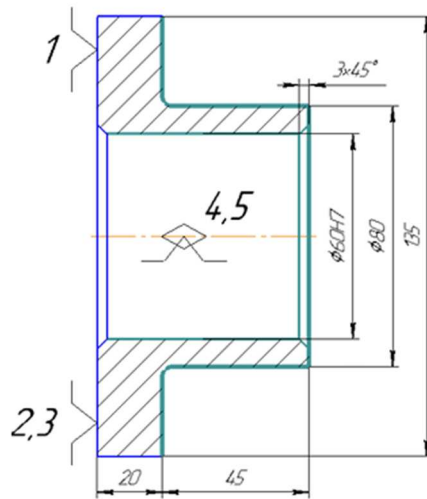


Схема базування для операції 015

Операція 020: Вертикально-свердлильна

Заготівка встановлюється та закріплюється у лецатах на столі верстата. Торцева поверхня деталі використовується як установча база та забезпечує три точки опори. Одна з бічних поверхонь виконує функцію напрямної бази, створюючи дві опорні точки, а інша бічна поверхня використовується як упорна база та забезпечує одну додаткову точку опори.

У процесі обробки виконуються такі переходи:

1. Свердління чотирьох отворів Ø16H7;
2. Зенкерування чотирьох отворів Ø16H7;
3. Чорнове розгортання чотирьох отворів Ø16H7;
4. Чистове розгортання чотирьох отворів Ø16H7.

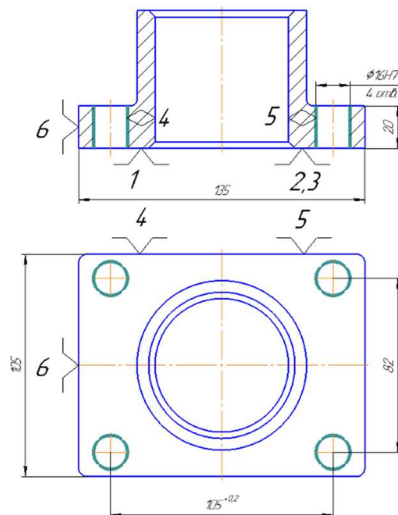


Схема базування для операції 020

7.4.2. Вибір обладнання, верстатних пристроїв, різальних та вимірювальних інструментів

Підбір моделі металорізального обладнання, а також встановлення оптимальних режимів різання — швидкості обробки та подачі — здійснюється відповідно до нормативних рекомендацій і технологічних вимог. Для умов середньосерійного виробництва доцільно застосовувати високопродуктивне універсальне обладнання загального призначення.

Під час вибору верстатів необхідно враховувати відповідність основних параметрів робочих органів габаритним розмірам заготовки, забезпечення необхідної точності обробки та раціональне скорочення номенклатури використовуваних моделей обладнання. Для виконання технологічних операцій рекомендується застосовувати стандартний різальний інструмент.

Операція 005. Фрезерна

Для виконання фрезерних операцій використовується вертикально-консольний фрезерний верстат моделі 6P13. Цей верстат використовується для виконання фрезерних, свердлильних і розточувальних операцій при механічній обробці деталей із сталі, чавуну, кольорових металів, сплавів та інших конструкційних матеріалів.

Операції 010, 015. Токарна

Токарна обробка виконується на універсальному токарно-гвинторізному верстаті моделі 16K20, який призначений для виконання широкого спектра токарних операцій при обробці деталей із різних конструкційних матеріалів.

Операція 020. Вертикально-свердлильна

Свердління отворів здійснюється на вертикально-свердлильному верстаті моделі 2Н125, який призначений для виконання свердлильних, зенкерувальних та розгортальних операцій.

Для закріплення заготовки використовується одномісний кондуктор із ручним затисканням.

025. Контрольна

Контроль обробленої деталі здійснюється шляхом перевірки всіх розмірів відповідно до вимог робочого креслення. Особлива увага приділяється контролю найбільш відповідальних поверхонь та елементів деталі. Перевірка точності обробки виконується на контрольному столі із застосуванням відповідних вимірювальних засобів.

1.4 Розробка операційного технологічного процесу

1.4.1 Визначення припусків на механічну обробку

Обробка отвору Ø16H7+0,018

Технологічний процес обробки отвору включає такі операції: свердління, зенкерування, чорнове та чистове розгортання.

Розрахунок припусків на механічну обробку наведений у відповідній таблиці, де послідовно відображено маршрут обробки отвору та значення всіх складових припуску.

Мінімальний припуск на обробку отвору визначається за формулою:

$$Z_{imin} = 2[(Rz + h)_{i-1} + \sqrt{\Delta \Sigma_{i-1}^2 + \varepsilon_{yi}^2}]$$

де R_{zi-1} — висота нерівностей профілю після попереднього переходу;

h_{i-1} — глибина дефектного поверхневого шару після попередньої операції;

$\Delta \Sigma_{i-1}$ — сумарне просторове відхилення поверхні;

ε_{yi} — похибка встановлення заготовки при виконанні технологічного переходу.

Сумарне просторове відхилення для операції свердління визначається за залежністю:

$$\Delta_{\Sigma 3} = \Delta_{\text{кор}} = \sqrt{(\Delta_k * l)^2 + (\Delta_k * b)^2} = \sqrt{(0,3 * 135)^2 + (0,3 * 20)^2} = 41$$

Залишкові просторові відхилення після виконання окремих операцій становлять:

– після зенкерування:

$$\Delta_{\Sigma 1} = 0,06 * \Delta_{\Sigma 3} = 0,06 * 41 = 2,46 \text{ мкм}$$

– після чорнового розгортання:

$$\Delta_{\Sigma 1} = 0,05 * \Delta_{\Sigma 3} = 0,05 * 2,46 = 0,12 \text{ мкм}$$

Визначення похибки встановлення при зенкеруванні здійснюється за формулою:

$$\varepsilon_1 = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2} = \sqrt{0 + 200^2} = 200 \text{ мкм}$$

Похибка встановлення при чорновому розгортанні визначається залежністю:

$$\varepsilon_2 = 0,06 * \varepsilon_1 = 0,06 * 300 = 18 \text{ мкм}$$

Кінцева похибка встановлення при чистовому розгортанні становить:

$$\varepsilon_3 = 0,05 * \varepsilon_2 = 0,05 * 18 = 0,9 \text{ мкм}$$

На основі отриманих даних виконується розрахунок мінімальних міжопераційних припусків.

Для зенкерування:

$$2Z_{imin} = 2 * (40 + 60 + \sqrt{41^2 + 300^2}) = 806 \text{ мкм}$$

Для чорнового розгортання:

$$2Z_{imin} = 2 * (30 + 40 + \sqrt{2,46^2 + 18^2}) = 176 \text{ мкм}$$

Для чистового розгортання:

$$2Z_{imin} = 2 * (10 + 25 + \sqrt{0,12^2 + 0,9^2}) = 72 \text{ мкм}$$

Розрахункові розміри отвору по переходах становлять:

– для зенкерування:

$$d_{p1} = 16,018 - 0,072 = 15,946 \text{ мм}$$

– для чорнового розгортання:

$$d_{p2} = 15,946 - 0,176 = 15,77 \text{ мм}$$

– для чистового розгортання:

$$d_{p3} = 15,77 - 0,806 = 14,964 \text{ мм}$$

Допуски для кожного переходу приймаються відповідно до довідкових даних та якості точності обробки:

- для чистового розгортання $T_{d1}=18 \text{ мкм}$;
- для чорнового розгортання $T_{d2}=27 \text{ мкм}$;
- для зенкерування $T_{d3}=70 \text{ мкм}$;
- для свердління $T_{d4}=180 \text{ мкм}$.

Граничні розміри визначаються окремо для кожного технологічного переходу.

$$d_{max1} = 16,018 \text{ мм}$$

$$d_{min1} = d_{max1} - T_{d1} = 16,018 - 0,018 = 16 \text{ мм}$$

Для чорнового розгортання:

$$d_{max2} = 15,946 \text{ мм}$$
$$d_{min2} = d_{max2} - T_{d2} = 15,946 - 0,027 = 15,919 \text{ мм}$$

Для зенкерування:

$$d_{max3} = 15,77 \text{ мм}$$
$$d_{min3} = d_{max3} - T_{d3} = 15,77 - 0,070 = 15,7 \text{ мм}$$

Для свердління:

$$d_{max4} = 14,964 \text{ мм}$$
$$d_{min4} = d_{max4} - T_{d4} = 14,964 - 0,18 = 14,784 \text{ мм}$$

Мінімальні та максимальні граничні значення припусків становлять:

Для чистового розгортання:

$$2Z_{1min}^{гран} = d_{max1} - d_{max2} = 16,018 - 15,946 = 0,072 \text{ мм} = 72 \text{ мкм}$$
$$2Z_{1max}^{гран} = d_{min1} - d_{min2} = 16 - 15,919 = 0,081 \text{ мм} = 81 \text{ мкм}$$

Для чорнового розгортання:

$$2Z_{2min}^{гран} = d_{max2} - d_{max3} = 15,946 - 15,77 = 0,176 \text{ мм} = 176 \text{ мкм}$$
$$2Z_{2max}^{гран} = d_{min2} - d_{min3} = 15,919 - 15,7 = 0,219 \text{ мм} = 219 \text{ мкм}$$

Для зенкерування:

$$2Z_{3min}^{гран} = d_{max3} - d_{max4} = 15,77 - 14,964 = 0,806 \text{ мм} = 806 \text{ мкм}$$
$$2Z_{3max}^{гран} = d_{min3} - d_{min4} = 15,7 - 14,784 = 0,915 \text{ мм} = 915 \text{ мкм}$$

Усі результати виконаних розрахунків зведені у відповідну таблицю, після якої наведено схему розташування проміжних припусків і допусків.

Таблиця 1. Припуски і допуски на обробку отвору $\varnothing 16H7^{+0,018}$

Технологічні і переходи обробки отвору $\varnothing 16H7^{+0,018}$	Елементи припуску, мкм				Розрахунковий припуск, $2Z_{\text{min}}$, мкм	Розрахунковий розмір d_p , мм	Допуск, T_d , мкм	Граничні розміри по переходах, мм		Граничні значення припусків, мкм	
	$\Delta_{\Sigma I}$	$\Delta_{\Sigma II}$	$\Delta_{\Sigma III}$	$\Delta_{\Sigma IV}$				D_{min}	D_{max}	$2Z_{\text{min}}^{\text{гран}}$	$2Z_{\text{max}}$
Свердління	40	60	4	1		1	10	1	1	—	—
Зенкерування	30	40	2	,46	00	06	4	1	1	9	8
Чорнове розгортання	10	25	0	,12	8	76	3	1	1	2	1
Чистове розгортання	5	10	—	,9	2		1	1	1	8	7

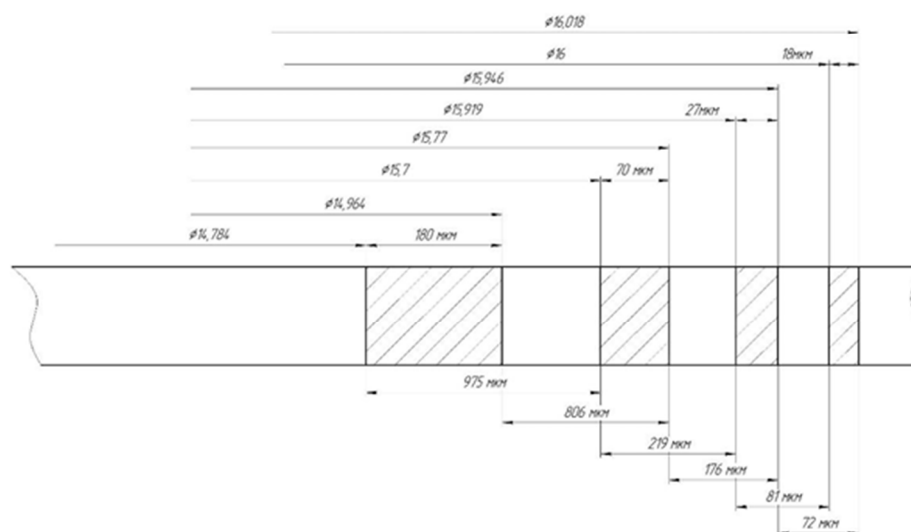


Рис.3. Схема розташування припусків і допусків на обробку отвору $\varnothing 16H7^{+0,018}$

Перевірка правильності виконаних розрахунків здійснюється шляхом порівняння різниці граничних припусків із відповідними значеннями допусків:

$$\begin{aligned}2Z_{1max}^{гран} - 2Z_{1min}^{гран} &= T_{d2} - T_{d1}; 81 - 72 = 27 - 18 = 9 \text{ мкм} \\2Z_{2max}^{гран} - 2Z_{2min}^{гран} &= T_{d3} - T_{d2}; 219 - 176 = 70 - 27 = 43 \text{ мкм} \\2Z_{3max}^{гран} - 2Z_{3min}^{гран} &= T_{d4} - T_{d3}; 915 - 805 = 180 - 70 = 110 \text{ мкм}\end{aligned}$$

7.5.2 Визначення режимів різання

Свердління отвору Ø16H7+0,018

Глибина різання t_1 визначається за формулою:

$$t_1 = D * 0,5 = 16 * 0,5 = 8 \text{ мм}$$

Подачу S_1 приймають максимально допустимою за умовами міцності:

$$S_1 = 0,33 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$$

Швидкість різання V_i визначається за залежністю:

$$V_i = \frac{C_v * D^q}{T^m * S_y} * K_v$$

Загальний поправочний коефіцієнт на швидкість різання визначається за формулою:

$$\begin{aligned}K_v &= K_{mv} * K_{nv} * K_{lv} \\K_{mv} &= K_\Gamma * \left(\frac{750}{\sigma_B}\right)^{n_v} = 1 * \left(\frac{750}{600}\right)^{1,75} = 1,48\end{aligned}$$

Тоді загальний поправочний коефіцієнт становить:

$$K_v = 1,48 * 1 * 1 = 1,48$$

Після підстановки розрахункових значень швидкість різання становить:

$$V_1 = \frac{9,8 * 16^{0,4}}{50^{0,2} * 0,33^{0,5}} * 1,48 = 35 \frac{\text{м}}{\text{хв}}$$

Обертний момент $M_{\text{кр}}$ та осьову силу P_0 визначають за формулами:

$$M_{\text{кр}} = 10 * C_M * D^q * S^y * K_p$$

Осьова сила визначається залежністю:

$$P_0 = 10 * C_p * D^q * S^y * K_p$$

Тоді остаточно отримуємо:

$$M_{\text{кр}} = 10 * 0,0345 * 16^2 * 0,33^{0,8} * 0,62 = 22,6 \text{ Нм}$$

$$P_0 = 10 * 68 * 16^1 * 0,33^{0,7} * 0,62 = 3104 \text{ Н}$$

Частота обертання інструменту визначається за формулою:

$$n = \frac{1000 * V}{\pi * D} = \frac{1000 * 35}{3,14 * 16} = 696 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

Для подальших розрахунків приймаємо: $n = 650 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$

Потужність різання визначається залежністю:

$$N = \frac{M_{\text{кр}} * n}{9750} = \frac{22,6 * 650}{9750} = 1,5 \text{ кВт}$$

Отримане значення потужності значно менше ефективної потужності верстата, що свідчить про можливість виконання даної операції на обраному обладнанні.

5.5.3 Визначення норм часу

Технічна норма часу на обробку заготовки є одним із основних показників, що використовується під час визначення собівартості виготовлення деталі, розрахунку необхідної кількості виробничого обладнання, нарахування заробітної плати робітникам, а також при плануванні виробничого процесу.

Для умов великосерійного та масового виробництва загальна норма часу на механічну обробку однієї заготовки визначається у хвилинах і включає витрати часу на виконання всіх технологічних операцій та допоміжних переходів.

Загальна технічна норма часу визначається за формулою:

$$T_{\text{шт}} = T_o + T_v + T_{\text{т.о.}} + T_{\text{от}}$$

де:

T_o — основний технологічний час, хв;

T_v — допоміжний час, хв;

$T_{\text{т.о.}}$ — час на технічне обслуговування робочого місця, хв;

$T_{\text{от}}$ — час на відпочинок і особисті потреби, хв.

Основний технологічний час орієнтовно визначається за довідковими залежностями та нормативними матеріалами. Допоміжний час залежить від ступеня механізації виробництва, маси заготовки, складності встановлення та інших факторів. Його значення приймають за нормативними таблицями або визначають на основі хронометражних спостережень.

Сума основного та допоміжного часу утворює оперативний час обробки. Час на технічне обслуговування робочого місця та час на відпочинок встановлюються у відсотках від оперативного часу згідно з нормативними довідковими таблицями. У розрахунках приймається:

$$(T_{\text{т.о.}} + T_{\text{от}}) = 0,03 \dots 0,04 * (T_o + T_v)$$

Усі технологічні операції відносяться до певних тарифно-кваліфікаційних розрядів відповідно до тарифно-кваліфікаційного довідника.

На основі наведених залежностей виконують розрахунок технічних норм часу для окремих операцій технологічного процесу.

5.5.5 Призначення пристосування для обробки деталі

Встановлення фланцю з метою подальшого свердління отворів здійснюється за допомогою кондуктора, конструкція якого наведена на рис. 4.

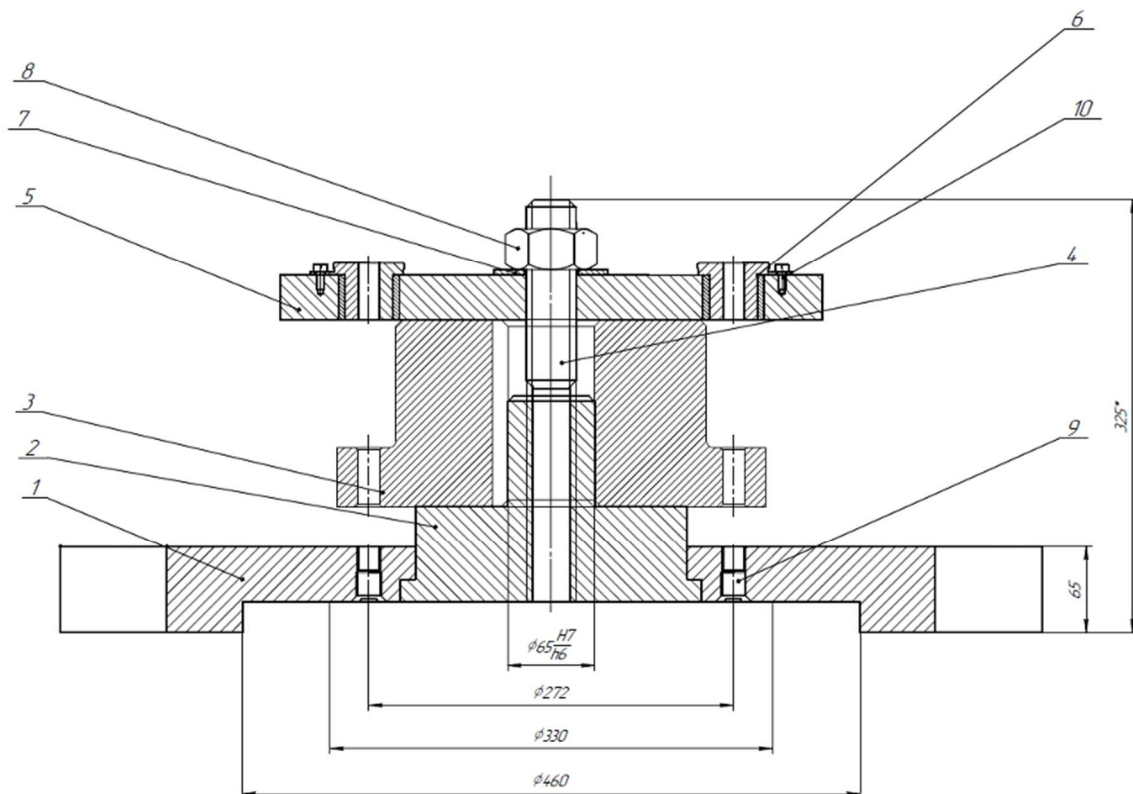


Рисунок 4 – Кондуктор

Кондуктор являє собою пристрій-шаблон із системою напрямних отворів, призначений для точного базування та фіксації деталі під час свердильних

операцій. Заготовка закріплюється на кондукторі, після чого вся конструкція встановлюється на стіл свердлильного верстата. Напрямні отвори кондуктора забезпечують точне центрування свердла в процесі обробки, що дозволяє досягти високої точності як розмірів отворів, так і їх взаємного розташування.

Деталь 3 базується на пальці 2, який закріплений на станині 1 за допомогою болтів 9. Кондукторна плита 5, оснащена швидкозмінними втулками 6, встановлена на шпильці 4. Закріплення деталі та кондукторної плити виконується гайкою 8, що забезпечує надійну фіксацію елементів під час свердління.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Гавва О.М., Беспалько А.П., Волочко А.І. Пакувальне обладнання в 3 кн. – 1кн. Обладнання для пакування продукції у споживчу тару. – Київ: ІАЦ «Упаковка», 2008.
2. Мусійчук В.М., Гавва О.М.. Обладнання для дозування в'язких продуктів // «Упаковка». – 2002. - №2.
3. Сокольський О.Л. Герасименко Ю.Ю. Пакувальні технології та обладнання [Електронний ресурс] : навч. посіб. КПІ ім. Ігоря Сікорського. Електронні текстові дані Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2026. 122 с.
URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/79589>
4. Сокольський О. Л., Сівецький В. І., Мікульонок І. О. Проектування формуючих пристроїв обладнання для переробки пластмас: навч. посіб. Київ: НТУУ «КПІ», 2014. 148 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/25307>
3. Сівко В.І. Механічне устаткування підприємств будівельних виробів: Підручник / В.І. Сівко. – К.: ІСДО, 1994.
4. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-ХІІ (зі змінами і доповненнями).
5. ДСТУ ISO 45001:2019 «Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування».
6. ДНАОП 0.00-1.28-10 «Правила охорони праці під час експлуатації електроустановок споживачів».
7. ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення».
8. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень та будівель за вибухопожежною та пожежною небезпекою».
9. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). Наказ Мінпаливенерго України №258 від 25.07.2006.
10. ДСТУ EN 61140:2017 «Захист від ураження електричним струмом. Загальні вимоги щодо безпеки електроустановок».

11. Методичні рекомендації до виконання курсових і дипломних проєктів із транспортувальних машин. Навчальний посібник / Укл. С.В. Іваненко, О.В. Кравченко, І.А. Петренко. – К.: НТУУ "КПІ", 2021. – 68 с.

12. Транспортні системи електромеханічних комплексів. Лабораторні роботи : навч. посіб. / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; Зайченко С.В., Побігайло В.А., Волошко А.В. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022.

13. <https://patents.google.com/patent/US20090151533A1/en>
<https://patents.google.com/patent/US20130152750A1/>
<https://patents.google.com/patent/CN101844704B/en>
<https://patents.google.com/patent/US9126363B2/en>
<https://patents.google.com/patent/US9193490B2/en>

Додатки

Таблиця розглянутих патентів

№ п.п.	Предмет пошуку	№ свідоцтва, МПК, країна, автор	Сутність заявки, технічного рішення і ціль його створення
1	Машина для різання	20090151533A1 США	Передбачено різальний пристрій, здатний автоматично встановлювати та переміщувати леза ножів, що використовуються в операції різання. Різальний пристрій включає рухомий портал, який оснащений вилками для кріплення тримача ножа, а також засобами блокування та розблокування тримача ножа для його звільнення з оправки. Система адаптована до керування за допомогою ПК або іншого комп'ютеризованого пристрою та дозволяє швидше регулювати ножі різального верстата.
2	Тримач для ножа	20130152750A1 США	Тримач ножа для різальної машини, сконфігурований для встановлення на рейці для лінійного переміщення тримача ножа вздовж першої осі, причому тримач ножа містить: раму; носій ножа, з'єднаний з рамою за допомогою механізму переміщення; та кілька електродвигунів, з'єднаних з механізмом переміщення, причому носій ножа може переміщатися відносно рами через три незалежні ступені свободи шляхом роботи механізму переміщення шляхом приведення в дію відповідного одного з кількох електродвигунів.

№ п.п.	Предмет пошуку	№ свідоцтва, МПК, країна, автор	Сутність заявки, технічного рішення і ціль його створення
3	Пристрій поздовжнього різання конвеєрної стрічки	CN101844704В КНР	Винахід розкриває пристрій для поздовжнього різання конвеєрної стрічки, що містить транспортувальну частину, ріжучу частину та намотувальну частину, закріплені на рухомому сидінні, де транспортувальна частина складається з кількох роликів, що використовуються для утримання стрічок, та кількох пар бічних блокувальних зміщених роликів, розташованих на стрічці; ріжуча частина складається з шпунта та різача; верхня та нижня шпунти закріплені на рухомому сидінні, а між верхньою та нижньою шпунтами є щілина, яка використовується для проходження та затискання стрічки. Пристрій поздовжнього різання конвеєрної стрічки значно полегшує трудомісткість працівників та має високі економічні та соціальні переваги.
4	Термоформувальна пакувальна машина для виробництва вертикальних упаковок з підрізанням	US9126363B2 США	Розкриття стосується термоформувальної пакувальної машини для виробництва вертикально стоячої упаковки з підрізанням, сформованим в упаковці. Машина містить формувальну станцію з нижнім формувальним інструментом та/або станцію запаювання з нижнім запаювальним інструментом. Розкриття характеризується тим, що нижній формувальний

№ п.п.	Предмет пошуку	№ свідоцтва, МПК, країна, автор	Сутність заявки, технічного рішення і ціль його створення
			інструмент та/або нижній запаювальний інструмент містить рухому секцію формувальної стінки або рухому секцію опори запаювального шва відповідно в області підрізання. Розкриття також стосується відповідного способу виробництва упаковки.
5	Вузол вилучення мішків та мішок для пресованих тюків	US9193490B2 США	Обговорюється вузол для вилучення мішків та мішок, який полегшує покриття тюка бавовни або іншого волокнистого матеріалу. Мішок сконфігуровано для використання з вузлом для вилучення мішків, який призначений для переміщення мішка зі штабеленого або складеного стану у відкриту конфігурацію, яку можна підняти та утримувати в положенні для подальшої обробки.

Тези доповіді

XXIII Всеукраїнська конференція «Ефективні процеси та обладнання хімічних виробництв та пакувальної техніки»

Форма для термоформування ємностей з багаторазовим відкриванням

Новохатський Д.О., студ., Сокольський О.Л., д.т.н., доц., Коцюба З.М., студ.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Розглянуто використання термоформувальних машин для автоматичного формування упаковки, дозування та герметичного запаювання, зокрема для пастоподібних продуктів. На основі аналізу патентних рішень розроблено конструкцію модернізованої форми для термоформування ємностей. Головною конструктивною особливістю є застосування каналотворювальної матриці з імпульсним нагрівачем, яка забезпечує приварювання гір-застібки між шарами пакувальної плівки одночасно з процесом герметизації. Впровадження такого рішення дозволяє створювати упаковку з можливістю багаторазового відкривання для зручного користування.

Ключові слова: Термоформувальна машина, форма, гір-застібка, герметизація, пакувальне обладнання.

Вступ. У сучасних умовах розвитку харчової та переробної промисловості особливого значення набуває використання високопродуктивного та енергоефективного обладнання для пакування продукції. Одним із найбільш поширених видів пакувального обладнання є термоформувальні машини, які забезпечують формування упаковки, дозування продукту та герметичне запаювання в автоматичному режимі [1]. Застосування таких машин дозволяє значно підвищити продуктивність виробництва, забезпечити належний рівень герметичності упаковки, подовжити термін зберігання продукції та покращити її товарний вигляд. Особливо актуальним є використання термоформувальних машин для пакування пастоподібних продуктів, таких як соуси, майонези, молочні десерти, плавлені сири, креми та інші харчові продукти. Для даної категорії продукції важливими є стабільність процесу формування упаковки, точність дозування та надійність герметизації, оскільки навіть незначні порушення технологічного процесу можуть призводити до втрати якості продукції та зменшення терміну її зберігання.

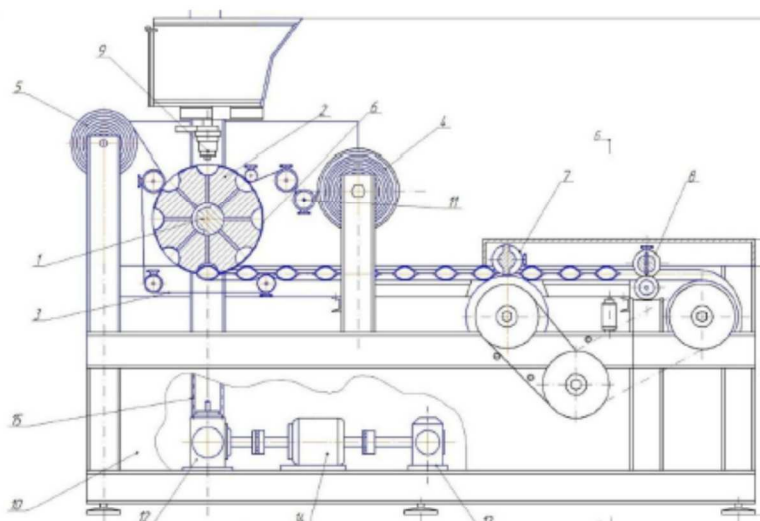


Рисунок 1 – Термоформувальна машина: 1 – бункер; 2 – дозувальний барабан; 3 – транспортер; 4 – механізм розмотування нижнього рулону плівки; 5 – рулонотримач верхньої стрічки; 6 – безкінечна еластична стрічка; 7 – ролики; 8 – ножі; 9 – дозатор; 10 – зварна рама; 11 – форма; 12 – редуктор; 13 – вакуум-насос; 14 – електродвигун; 15 – пасова передача

Одним із основних конструктивних частин подібних машин є вузол формування, який являє собою форму, в якій плоску листову або плівкову полімерну заготовку нагрівають до певної температури, а потім, деформуючи її вакуумуванням або подачею стисненого повітря, надають останньої необхідну форму, фіксація якої здійснюється шляхом охолодження відформованого виробу [2, 3]. Для точнішого формування заготовок і глибшого та рівномірнішого витягування листових заготовок застосовується їх попереднє деформування пуансоном.

Конструкція модернізованої форми

На основі аналізу патентних рішень для модернізації було обрано форму за патентом [4] (рис. 2). За обраним патентним рішенням було розроблено конструкцію модернізованої форми.

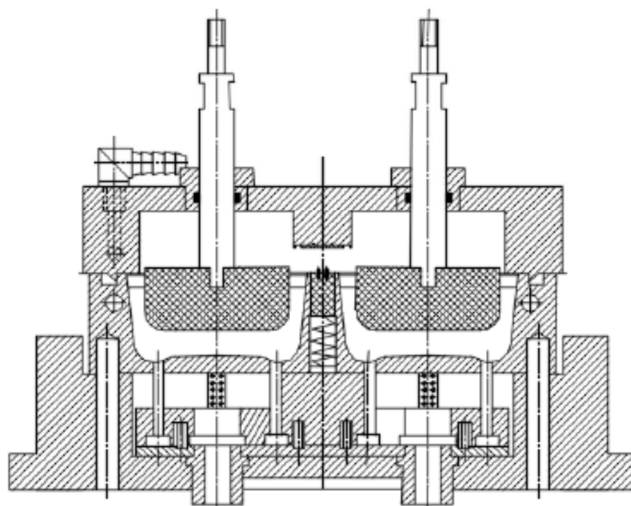


Рисунок 2 – Конструкція модернізованої форми

Особливістю конструкції є використання каналоутворювальної матриці із імпульсним нагрівачем. Дана матриця формує спеціальний канал для проходження зір-застібки між шарами пакувальної плівки. Одночасно з процесом герметизації упаковки імпульсний нагрівач здійснює приварювання зір-застібки до пакувальної плівки. Це дасть змогу споживачу неодноразово використовувати паковану продукцію зі зручним засобом герметизації.

Висновок. Запропонована конструкція модернізованої форми не потребує значного втручання у конструкцію і збільшення її габаритів. Отже, модернізована форма може бути встановлена на діючому обладнанні. Використання даної конструкції дозволить поліпшити зручність користування пакованою продукцією.

Перелік посилань

1. Пакувальні технології та обладнання [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за спеціальностями 131 Прикладна механіка, 133 Галузеве машинобудування / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: О. Л. Сокольський, Ю. Ю. Герасименко. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2026. – 123 с. Доступ: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/79589>
2. Мікульонюк І.О. Технологія перероблення полімерів : підруч. 5-те вид., переробл. та доповн. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. – 314 с. Доступ: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/74268>
3. Сокольський О. Л., Сівецький В. І., Мікульонюк І. О. Проектування формувальних пристроїв обладнання для перероблення пластмас: навч. посіб. – 2-ге вид., переробл. та доповн. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 160 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/64996>
4. Patent US6701695B1 USA. МПК B65B61/188. Packaging machine for producing reclosable packages. 09.03.2004.

Програма розрахунку

Sub РозрахунокВиштовхувачів ()

Dim L As Double, l_small As Double, d As Double, d1 As Double

Dim Pf As Double, Sigma_allowable As Double

' Зчитування вихідних даних із стовпчика В

L = ws.Range("B2").Value

l_small = ws.Range("B3").Value

d = ws.Range("B4").Value

d1 = ws.Range("B5").Value

Pf = ws.Range("B6").Value

Sigma_allowable = ws.Range("B7").Value

' Константи

Dim pi As Double, E As Double, k As Double

pi = Application.WorksheetFunction.pi()

E = 210000 ' Модуль пружності сталі, МПа

k = 0.7 ' Коефіцієнт закладання

' 1. Довжина небезпечного перерізу

Dim l_op As Double

l_op = L - 15 - 12 - l_small

' 2. Момент інерції

Dim I As Double

$I = (\pi * d^4) / 64$

' 3. Критичне зусилля на стійкість

Dim P_kr As Double

$$P_{kr} = (\pi^2 * E * I) / (k * l_{op})^2$$

' 4. Площина небезпечного перерізу

Dim F As Double

$$F = (\pi * d^2) / 4$$

' 5. Небезпечне напруження на стійкість

Dim Sigma_kr As Double

$$\text{Sigma}_{kr} = P_{kr} / F$$

' Перевірка стійкості

Dim isStable As String

If Sigma_kr >= Sigma_allowable Then

isStable = "Стійкий"

Else

isStable = "Не стійкий"

End If

' 6. Перевірка на міцність

Dim isStrong As String

If Pf < Sigma_allowable Then

isStrong = "Міцний"

Else

isStrong = "Не міцний"

End If

ws.Range("A1").Value = "Параметр (Вихідні дані)"

```
ws.Range("A1").Font.Bold = True
ws.Range("A2").Value = "L, мм"
ws.Range("A3").Value = "l, мм"
ws.Range("A4").Value = "d, мм"
ws.Range("A5").Value = "d1, мм"
ws.Range("A6").Value = "Рф, МПа"
ws.Range("A7").Value = "[σ], МПа"
```

' Заповнення підписів для результатів

```
ws.Range("A9").Value = "Результати розрахунку"
ws.Range("A9").Font.Bold = True
ws.Range("A10").Value = "l оп, мм"
ws.Range("A11").Value = "I, мм^4"
ws.Range("A12").Value = "P кр, Н"
ws.Range("A13").Value = "F, мм^2"
ws.Range("A14").Value = "Sigma кр, МПа"
ws.Range("A15").Value = "Умова стійкості"
ws.Range("A16").Value = "Умова міцності"
```

' Запис обчислених значень у стовпчик В

```
ws.Range("B10").Value = l_op
ws.Range("B11").Value = I
ws.Range("B12").Value = P_kr
ws.Range("B13").Value = F
ws.Range("B14").Value = Sigma_kr
ws.Range("B15").Value = isStable
ws.Range("B16").Value = isStrong
```

MsgBox "Розрахунок успішно завершено!", vbInformation, "Результат"

End Sub

Додаток Г
Специфікації

[illegible]