

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

Інженерно-хімічний факультет  
Кафедра хімічного полімерного і силікатного машинобудування

«На правах рукопису»  
УДК \_\_\_\_\_

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ О.Л.Сокольський  
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 р.

**Магістерська дисертація**

на здобуття ступеня магістра

за освітньо-професійною програмою «Інжиніринг та комп’ютерно-інтегровані технології проектування інноваційного галузевого обладнання»

зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

на тему: «Лінія для виробництва плівок з ПЕВГ з модернізацією охолоджувального пристрою»

Виконав:

студент VI курсу, групи ЛП-31мп  
Друченко Володимир Сергійович \_\_\_\_\_

Науковий керівник:

доцент, к.т.н.,  
Шилович Тетяна Борисівна \_\_\_\_\_

Консультант з ТМ та Е

ст. викл. Борщик Сергій Олександрович \_\_\_\_\_

Консультант з модернізації

д.т.н., проф. Щербина Валерій Юрійович \_\_\_\_\_

Консультант з розробки стартап-проекту

к.е.н., ст. викл., Юдіна Наталія Володимирівна \_\_\_\_\_

Рецензент:

Посада, науковий ступінь, вчене звання,  
Прізвище, ім’я, по батькові \_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент Друченко В.С. \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2024 рік

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря  
Сікорського» Інженерно-хімічний факультет**

**Кафедра хімічного полімерного і силікатного машинобудування**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 133 «Галузеве машинобудування»

Освітньо-професійна програма – «Інжиніринг та комп'ютерно-інтегровані технології проектування інноваційного галузевого обладнання»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_Олександр СОКОЛЬСЬКИЙ

«\_\_\_»\_\_\_\_\_20\_\_р.

**ЗАВДАННЯ  
на магістерську дисертацію студенту  
Друченко Володимир Сергійович**

1. Тема дисертації «Лінія для виробництва плівок з ПЕВГ з модернізацією охолоджувального пристрою», науковий керівник дисертації Шилович Тетяна Борисівна, доцент, кандидат технічних наук, затверджені наказом по університету від «08» листопада 2024 р. №5029-с
2. Термін подання студентом дисертації 17.12.2024 р.
3. Об'єкт дослідження - лінія для виробництва плівок з поліетилену високого густини (ПЕВГ).
4. Вихідні дані: Ширина плівки 1000мм, довжина рулона 10000мм, габаритні розміри екструдера 4200мм, ширина 1500мм, електродвигун 75квт, маса не більше 4200кг.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити пояснювальна записка повинна включати в себе: вступ, аналіз технологічного процесу виробництва плівок з ПЕВГ, літературно-патентний огляд, обґрунтування вибору модернізації вузлів, розрахунки, які підтверджують працездатність черв'ячного екструдера, розробка модернізованої конструкції охолоджувального пристрою.
6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: технологічна лінія виробництва плівки з ПЕВГ (формат А1); Екструдер для виробництва плівки з ПЕВГ з модернізацією охолоджувального пристрою (формат А1); корпус екструдера (формат А1); черв'як (формат А1); редуктор (формат

A1); плакат – розрахунок тепловіддачі в системі Ansys (формат A1); плакат - розрахунок валика в системі Ansys (формат A1);

7. Орієнтовний перелік публікацій: теза на тему: «Модернізація охолоджувального пристрою».

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Монтаж і експлуатація обладнання	Борщик С.О. ст. викл. каф ХПСМ	20.11	11.12
Стартап	Н.В.Юдіна, к.е.н., ст. викл. ФММ	25.11	16.12
Перевірка	Щербина В.Ю., д.т.н., проф.	24.09	
Загальний	Шилович Т.Б. к.т.н., доцент.		

9. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Отримав завдання на магістерську дисертацію	1.09	
2	Вступ. Опис лінії.	28.09.2024 – 03.10.2024	
3	Літературно-патентний огляд.	04.10.2024 – 10.10.2024	
4	Охорона праці	05.11.2024 – 01.12.2024	
5	Стартап-проект	25.11.2024 – 16.12.2024	
6	Монтаж і експлуатація.	20.11.2024 – 11.12.2024	
7	Розрахунки	02.12.2024 – 08.12.2024	
8	Креслення	09.12.2024 – 12.12.2024	
9	Оформлення	13.12.2024 – 15.12.2024	
10	Виконання розрахунків модернізованої конструкції в ANSYS	21.11.2024 – 16.12.2024	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

В.С. Друченко

(ініціали, прізвище)

Керівник дисертації

\_\_\_\_\_ (підпис)

Т.Б. Шилович

(ініціали, прізвище)

## РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр» за напрямком підготовки 133 – Галузеве машинобудування на тему: «Лінія для виробництва плівок з ПЕВГ з модернізацією охолоджувального пристрою». Виконав – студент групи ЛП-31мп Друченко В.С., керівник - доцент, кандидат технічних наук Шилович Т.Б.

Робота складається текстової і графічної частин. Текстова частина містить сім розділів та додатки, загальний обсяг яких 137 сторінок. Графічна частина містить шість креслень формату А1 і два плакати з результатами розрахунків.

Об'єкт розробки – модернізований охолоджувальний пристрій лінії для виробництва плівок із поліетилену високої густини (ПЕВГ).

Предмет розробки – конструкція та технічні рішення, спрямовані на покращення ефективності та якості роботи охолоджувального пристрою.

Метою магістерської дисертації «Лінія для виробництва плівок з ПЕВГ з модернізацією охолоджувального пристрою» є розробка та впровадження модернізованого охолоджувального пристрою для екструдера, який використовується у виробництві полімерних плівок. Модернізація спрямована на забезпечення рівномірного охолодження екструдованого матеріалу, покращення його структурно-механічних властивостей, що в цілому підвищує якість готової продукції та ефективність виробничого процесу.

У магістерській дисертації було розроблено модернізований охолоджувальний пристрій для лінії виробництва плівок з поліетилену високої густини (ПЕВГ). Проведено повний комплекс інженерних розрахунків, включаючи теплові, міцність розрахунки ключових вузлів та деталей, а також аналіз продуктивності і надійності пристрою. Особливу увагу приділено підвищенню ефективності охолодження для забезпечення високої якості кінцевої продукції.

**Ключові слова:** ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ЕКСТРУДЕР, ПЕВГ, ОХОЛОДЖУВАЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ, ПОЛІМЕРНА ПЛІВКА, МОДЕРНІЗАЦІЯ

## ABSTRACT

Master's thesis of the educational and qualification level "Master" in the direction of training 133 - Industrial mechanical engineering on the topic: "Line for the production of HDPE films with modernization of the cooling device". Completed by - student of the LP-31mp group Druchenko V.S., supervisor - associate professor, candidate of technical sciences Shilovych T.B.

The work consists of text and graphic parts. The text part contains seven sections and appendices, the total volume of which is 137 pages. The graphic part contains six drawings of A1 format and two posters with calculation results.

The object of development is a modernized cooling device of the line for the production of high-density polyethylene (HDPE) films.

The subject of development is the design and technical solutions aimed at improving the efficiency and quality of the cooling device.

The purpose of the master's thesis "Line for the production of HDPE films with modernization of the cooling device" is the development and implementation of a modernized cooling device for an extruder used in the production of polymer films. The modernization is aimed at ensuring uniform cooling of the extruded material, improving its structural and mechanical properties, which generally increases the quality of the finished product and the efficiency of the production process.

In the master's thesis, a modernized cooling device was developed for a high-density polyethylene (HDPE) film production line. A full range of engineering calculations was carried out, including thermal and strength calculations of key components and parts, as well as an analysis of the device's performance and reliability. Particular attention is paid to increasing the cooling efficiency to ensure high quality of the final product.

Keywords: ENERGY EFFICIENCY, EXTRUDER, HDPE, COOLING DEVICE, POLYMER FILM, MODERNIZATION

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ІНДЕКСІВ

### Умовні позначення

- $K_i$  – коефіцієнти ділянки головки,  $\text{мм}^3$  ;  
 $D, d$  – діаметри , м ;  
 $Q$  – об'ємна секунднa продуктивність,  $\text{мм}^3/\text{с}$  ;  
 $K$  – загальний коефіцієнт геометричної форми головки,  $\text{мм}^3$  ;  
 $\alpha$  – коефіцієнт прямого потоку,  $\text{м}^3$  ;  
 $\beta$  – коефіцієнт зворотного потоку,  $\text{м}^3$  ;  
 $\gamma$  – коефіцієнт потоку витoku,  $\text{м}^3$  ;  
 $t$  – крок гвинтової лінії (нарізки) черв'яка, м ;  
 $e$  – товщина гребеня нарізки черв'яка, м ;  
 $\delta$  – висота зазору між черв'яком та корпусом, м ;  
 $\rho$  – густина,  $\text{кг}/\text{м}^3$  ;  
 $\dot{\gamma}_i$  – швидкість зсуву на ділянках,  $\text{с}^{-1}$  ;  
 $\mu_i$  – ефективна в'язкість,  $[\text{Па}\cdot\text{с}]$  ;  
 $\Delta P$  – тиск, Па ;  
 $N$  – потужність, Вт ;  
 $P_{oc}$  – осьове зусилля, Н ;  
 $I$  – полярний момент інерції,  $\text{м}^4$  ;  
 $F$  – площа перерізу,  $\text{м}^2$  ;  
 $\sigma$  – напруження, МПа ;  
 $\eta$  – коефіцієнт корисної дії ;  
 $\tau$  – дотичні напруження,  $\text{Н}/\text{м}^2$  ;  
 $W$  – осьовий момент опору,  $\text{м}^3$  .

### Скорочення

- ПЗ - пояснювальна записка;  
РР – розділ розрахунки  
ТЕ – технології машинобудуванн  
ПЕВГ – поліетилен високої густини

### Індекси

- max – максимальний;  
min – мінімальний;

									ЛПЗ 1мп.067246.000-70.ПЗ	Арк.А
Змн.З	Арк.А	№ докум.№	Підпис	Дата						

**Пояснювальна записка**  
**до магістерської дисертації**  
**на тему: «Лінія для виробництва плівок з ПЕВГ з**  
**модернізацією охолоджувального пристрою»**

Київ – 2024 року

## Зміст

Вступ.....	3
1 Призначення та галузь застосування лінії з виробництва плівок з ПЕВГ .....	4
1.1 Призначення та галузь черв'ячного екструдера .....	8
1.2 Опис конструкції черв'ячного екструдера .....	9
2 Технічна характеристика черв'ячного екструдера .....	12
3 Літературний та патентний огляд, обґрунтування вибраної модернізованої конструкції .....	13
4 Вибір і обґрунтування модернізації .....	25
5 Розрахунки .....	26
5.1 Параметричні розрахунки .....	26
5.1.1 Розрахунок геометричних параметрів шнека .....	26
5.1.2 Розрахунок коефіцієнта геометричної форми головки .....	28
5.2 Розрахунок продуктивності черв'ячної машини .....	31
5.3 Розрахунок перепаду тиску у формуючій головці .....	34
5.4 Розрахунок потужності двигуна черв'ячної машини .....	36
5.5 Розрахунки на міцність.....	38
5.5.1 Розрахунок на міцність.....	38
5.5.2 Розрахунок на стійкість.....	40
5.5.3 Розрахунок на жорсткість .....	41
5.6 Тепловий розрахунок.....	43
6 Монтаж і експлуатація, стартап, охорона праці. ....	46
6.1 Монтаж і експлуатація.....	46
6.1.1 Креслення машини.....	47
6.1.2 Специфікація креслення машини .....	48
6.1.3 Креслення розглянутого вузла.....	49
6.1.4 Специфікація креслення вузла.....	50
6.1.5 Схема збирання вузла .....	52
6.1.6 Операційна карта збирання вузла.....	53
6.1.7 Карта ескізів фундаменту і послідовного монтажу машини .....	56
6.1.8 Операційна карта монтажу машини на фундаменті.....	57
6.1.8 Схема змащування вузлів екструдера.....	60
6.1.9 Таблиця змащування екструдера.....	61

ЛПЗ1мп.067246.000-70.ПЗ				
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>
<i>Розроб.</i>		Друченко		
<i>Перевір.</i>		Шилович Т.Б.		
<i>Керівник</i>				
<i>Н. Контр.</i>				
<i>Затверд.</i>		Сокольський		
Лінія для виробництва плівок з ПЕВГ з модернізацією охолоджувального пристрою				
		<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
			1	
КПІ ім. Ігоря Сікорського				

6.2 Маркетинг стартап-проекту .....	62
6.2.1 Опис ідеї проекту .....	62
6.2.2 Технологічний аудит ідеї проекту .....	65
6.2.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту .....	66
6.2.4 Розробка ринкової стратегії проекту .....	73
6.2.5 Розроблення маркетингової програми проекту .....	76
6.3 Охорона праці та навколишнього середовища .....	82
6.3.1 Виробничий шум .....	83
6.3.2 Освітлення робочих зон .....	84
6.3.3 Пожежна безпека .....	84
6.3.4 Електробезпека .....	85
6.3.5 Повітря робочої зони .....	86
7 Перевірка модернізованого вузла екструдера .....	88
7.1 Перевірка модернізованого охолоджувального пристрою .....	88
8 Очікувані механіко-економічні показники .....	99
ВИСНОВКИ .....	101
Література .....	102
Додаток А      Таблиця розглянутих патентів .....	104
Додаток Б      Копії використаних для модернізації патентів .....	108
Додаток В      Теза .....	120
Додаток В      Специфікації .....	125

					ЛПЗ1мп.067246.000-70.ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Лінія для виробництва плівок з ПЕВГ з модернізацією охолоджувального пристрою	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Розроб.</i>		Друченко					1	
<i>Перевір.</i>		Шилович Т.Б.						
<i>Керівник</i>								
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>		Сокольський						КПІ ім. Ігоря Сікорського

## Вступ

На сучасному етапі розвитку промисловості полімерні плівки посідають ключову роль у багатьох галузях економіки. Їх застосовують у харчовій промисловості, будівництві, автомобілебудуванні, пакуванні, сільському господарстві та багатьох інших сферах завдяки їх легкості, довговічності, еластичності та низькій вартості виробництва.

Процес екструзії полімерної плівки — це технологічно складний і багатоступеневий процес, який включає плавлення полімеру, його перемішування та формування у плівку. Одним з найважливіших етапів є охолодження розплавленого полімеру, яке значною мірою визначає однорідність і механічні властивості кінцевого продукту.

Магістерська дисертація спрямована на розробку черв'ячного екструдера для виробництва плівок з поліетилену високої густини (ПЕВГ), у складі якого було модернізовано охолоджувальний пристрій. Головною метою є підвищення якості охолодження розплаву, що забезпечить кращу однорідність, прозорість та механічну міцність плівки.

У межах виконання магістерської дисертації було розроблено конструкцію охолоджувального валика, виготовленого з алюмінію, з використанням програмного забезпечення ANSYS Workbench. У процесі моделювання виконано розрахунок розподілу температури води та полімерної плівки під час роботи охолоджувального пристрою.

Отримані результати підтвердили, що валик забезпечує рівномірне прогрівання поверхні, необхідне для ефективного охолодження плівки. Крім того, розрахунок показав, що конструкція валика має достатній запас міцності, що гарантує його надійність і довговічність в умовах експлуатації.

## 1 Призначення та галузь застосування лінії з виробництва плівок з ПЕВГ

Поліетилену високої густини (ПЕВГ) – це термопластичний полімер, який часто використовується в галузі машинобудування для виготовлення листів та плівок. Полімерна плівка – суцільний шар (суцільні шари) полімеру (полімерів) завтовшки зазвичай менше 0,5 мм. При цьому розрізняють плоскі й рукавні полімерні плівки.

Полімерні плівки знайшли застосування в різних галузях промисловості і сферах діяльності. Найчастіше вони використовуються для індивідуальної упаковки продуктів, у будівництві, електротехніці та інших сферах виробництва, де потрібна проста і швидка первинна упаковка продукції [2].

Полімерні стрічки як правило, виготовляються з використанням плоскощілинної головки. Стрічки охолоджують на каландрових вузлах. Отримана стрічка використовується головним чином для вакуумного формування, щоб отримати контейнери, наприклад, для харчових продуктів [9].

Основними полімерними матеріалами, що використовуються при виробництві плівки, найчастіше є:

- поліолефіни, в основному поліетилен низької щільності (PE-LD);
- лінійний поліетилен низької щільності (PE-LLD);
- поліетилен високої щільності (PE-HD);
- полістирол (PS);
- поліпропілен (ПП);
- полівінілхлорид (ПВХ);
- поліетилентерефталат (ПЕТ)

Переглянемо на рисунку 1.1, принципову схему виробництва плівок. Полімер подається в екструдер, де він нагрівається до розплавленого стану. Екструдер 1 забезпечує однорідність маси, перемішуючи та відтискуючи матеріал через спіральні шнекові канали. Після екструзії розплавлений полімер проходить через шафи контролю і регулювання температури 2, де температура підтримується на оптимальному рівні для подальшого формування. Це важливо для досягнення стабільних характеристик плівки. Розплавлений полімер надходить до

плоскощільної головки 3, де він розподіляється у вигляді тонкого шару. Головка формує плівку, яка виходить у вигляді плоского листа. Плівка проходить через прасувальні валки 4, які згладжують її поверхню і забезпечують рівномірну товщину, це важливий етап для покращення якості плівки. Після згладжування плівка потрапляє на охолоджувальні валки 5, де вона охолоджується до кімнатної температури. Охолодження стабілізує форму плівки і запобігає її деформації. Тягнучі валки 6 забезпечують стабільний натяг плівки, контролюючи її швидкість переміщення через лінію. Вони також допомагають у подальшому процесі намотування. За необхідності ножі 7 можуть бути використані для обрізки плівки до потрібних розмірів. Це може бути необхідно для отримання рулонів або готових листів. Готова плівка намотується в рулони на намотувальний пристрій 8. Це заключний етап, де плівка упаковується для подальшого транспортування і використання [6].

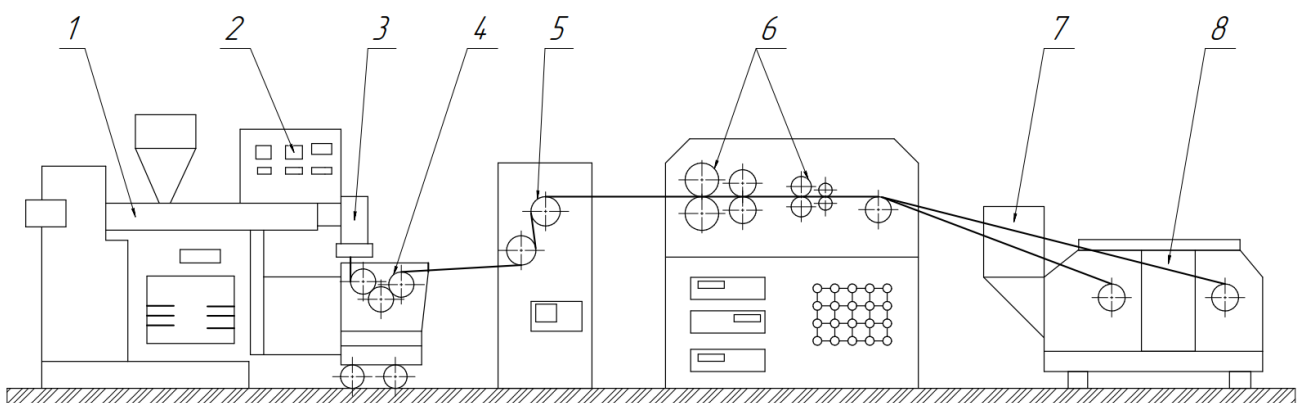


Рисунок 1.1 – Схема лінії виробництва плівки:

- 1 - екструдер, 2 - шафи контролю і регулювання температури,  
3 - плоскощільна головка, 4 - прасувальні валки, 5 – охолоджувальний пристрій з охолоджувальними валками,  
6 - тягнучі валки, 7 - ножі, 8 – намотувальний пристрій

Охолоджуючий пристрій відіграє важливу роль у процесі виробництва плівки, після чого він забезпечує якість готової продукції, слідкуючи за її фізико-механічними властивостями. Правильне охолодження запобігає деформації плівки, забезпечуючи рівномірну товщину, еластичність і міцність матеріалу. Ефективна система охолодження також зменшує час охолодження, що забезпечує

продуктивність і дозволяє виробляти більше продукції за той самий період. Крім того, сучасні охолоджувальні системи оптимізовані для зменшення енергоспоживання, що знижує витрати на виробництво і робить його більш екологічним. Вони забезпечують стабільність процесу екструзії, знижуючи ймовірність утворення дефектів у продукції. Охолоджувальні пристрої також надають гнучкість в налаштуваннях для роботи з відмінними типами сировини та технологічними умовами, що дозволяють адаптувати виробництво до різних вимог. Зрештою, вони сприяють безпеці, уникнувши перегріву обладнання, що може призвести до аварійних ситуацій. Отже, охолоджуючий пристрій є компонентом, що впливає на якість, ефективність і безпеку виробництва плівки, забезпечуючи стабільність та надійність процесу на всіх етапах виробництва. Його правильна експлуатація і модернізація відкривають нові можливості для вдосконалення технологій і підвищення конкурентоспроможності [6].

У лініях для виробництва полімерних матеріалів найпоширенішою є конструкція охолоджувального пристрою барабанного типу. Пристрій (рис. 1.2) складається з рами 3, стійок 4, барабанів 2 і приводу їх обертання. Барабани мають регульовану безступінчасту швидкість обертання, забезпечувану тиристорним електроприводом з електродвигуном постійного струму через редуктор і систему зубчастих передач 5. Синхронізація швидкості барабанів зі швидкістю робочих органів інших одиниць обладнання лінії здійснюється за допомогою сенсорного датчика 8. Кількість води, що надходить у барабани, регулюється відповідними вентилями 6 за заданим режимом охолодження відповідно до показань термометрів, установлених у зливальних патрубках охолоджувальних барабанів. Натяг полотна на барабанах регулюється пристоями 7. Безпека роботи та обслуговування забезпечується аварійними вимикачами тросового типу 1 [5].

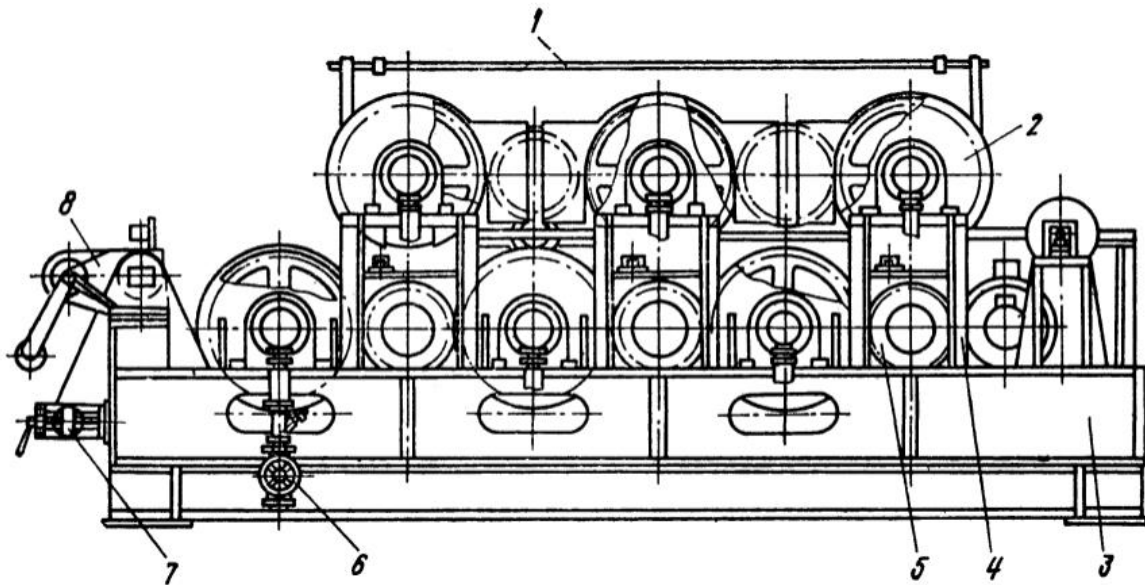


Рис. 1.2 – Схема охолоджувального пристрою барабанного типу:

1 – аварійний вимикач тросового типу; 2 – барабан; 3 – рама; 4 – стійки;  
5 – зубчаста передача; 6 – вентиль; 7 – натяжний пристрій; 8 – сельсинний датчик

Кількість барабанів в охолоджувальному пристрої залежить від потрібної температури матеріалу на виході з нього (зазвичай від двох до шести барабанів). Охолодження кожного барабана здійснюють водою, яку подають у внутрішню порожнину або в оболонку зовнішньої обичайки. Теплоносій в оболонці рухається по спіральних каналах або вздовж твірної. Після потрапляння полотна матеріалу в охолоджувальний пристрій його охолодження здійснюється з однієї сторони внаслідок контакту із зовнішньою поверхнею барабана, охолоджуваного водою в умовах вимушеної конвекції, а з іншої сторони – внаслідок вільної конвекції й променевого теплообміну з навколишнім середовищем. Тривалість охолодження має бути такою, щоб забезпечити задану температуру полотна на виході з останнього барабана [9].

## 1.1 Призначення та галузь черв'ячного екструдера

Черв'ячні машини є популярним технологічним обладнанням для виробництва та обробки термопластичних полімерів і композитів. Перший черв'ячний екструдер був створений наприкінці XIX століття в Німеччині для нанесення електричної ізоляції на кабелі.

Одношнековий екструдер є основною деталлю сучасної лінії з переробки полімерних матеріалів. У середині даного обладнання вихідна продукція змінюється, щоб полімер набув заданих для процедури формоутворення значення щільності, в'язкості та однорідності [7].

Використовується одношнековий екструдер для переробки АБС, ПВХ, ПП та ПЕ пластиків. Ще такий пристрій використовується для грануляції. Перерахуємо коротко найчастіші області застосування ліній, у конструкціях яких широко використовуються одношнекові екструдери.

1. Лінії з випуску одношарових або багатошарових плівок, у тому числі ВОРР-плівки та інших пакувальних плівок, сільськогосподарської плівки, плівок спеціального призначення та ін. Плівкові лінії можуть бути призначені для випуску рукавної плівки, так і для виробництва плівкового полотна.

2. Для виробництва труб, трубок, шлангів та ін. застосовуються класичні горизонтальні лінії, серцем кожної з яких є одношнековий екструдер. Останнім часом у складі таких ліній часто застосовують кілька екструдерів – як для організації випуску багатошарових труб, так екструзійного маркування виробів.

3. За допомогою одношнекових екструдерів також виробляють різноманітні листи та профілі (крім відомих всіх профілів ПВХ (вікон, підвіконь, панелей, водостоків і т.д.) – для їх виробництва зазвичай застосовують не одношнекові, а двошнекові екструдери. Типовим представником таких виробів є стільникові листи (полікарбонат, поліпропілен тощо).

4. Екструзійна техніка також застосовується для випуску іншої продукції, наприклад, кабельно-провідникових виробів, різних плит, кромок та інших.

5. Найважливіша сфера застосування одношнекових екструдерів – вторинна переробка пластмас. Екструдери застосовуються в основному при гранулюванні

попередньо подрібненого або агломерованого полімерного матеріалу в кінці циклу рециркуляції при отриманні повноцінних гранул вторинного полімеру.

Екструдер одношнекового типу має сучасний дизайн, чудову пластифікацію, черв'яковий привод, довгий термін експлуатації і велику пропускну здатність [7].

## 1.2 Опис конструкції черв'ячного екструдера

Основними робочими компонентами одношнекового екструдера є циліндр і обертовий шнек. В екструдерах основний процес полягає в транспортуванні матеріалу вздовж цих компонентів: шнек обертається всередині нерухомого циліндра. У процесі переміщення матеріалу в каналі гвинтової нарізки відбувається його нагрівання за рахунок тепла, що виникає від деформаційної енергії, а також від нагрівальних елементів циліндра. Крім того, в ході транспортування відбувається генерація тиску, ущільнення та монолітне з'єднання гранульованих або сипучих компонентів сировини, а також хімічні та фазові перетворення, видалення рідини або газів та інші важливі процеси [16].

Робота черв'ячного екструдера (рис. 1.3) здійснюється наступним чином. Полімерний матеріал із бункера 3 потрапляє в матеріальний циліндр 2, де його захоплює черв'як 1 і транспортує до формувальної головки, частина якої позначена позицією 7. Для підтримання необхідного температурного режиму та забезпечення процесу транспортування на циліндрі встановлені зональні кільцеві нагрівачі 5 з індивідуальними вентиляційними пристроями. Ділянка циліндра поблизу завантажувальної горловини охолоджується водою через канали 4, а контроль температури здійснюється за допомогою термопар 6. Внутрішнє охолодження черв'яка забезпечується водою, яку подають і відводять через пристрій 10. Черв'як приводиться в рух електромеханічним приводом, що складається з електродвигуна 12 і редуктора 9, а осьове зусилля сприймається підшипниковим вузлом 11. Усі робочі елементи екструдера встановлені в корпусі 8. Основні складові преса включають привід, станину, завантажувальну воронку, корпус, черв'як, системи охолодження та нагрівання [6].

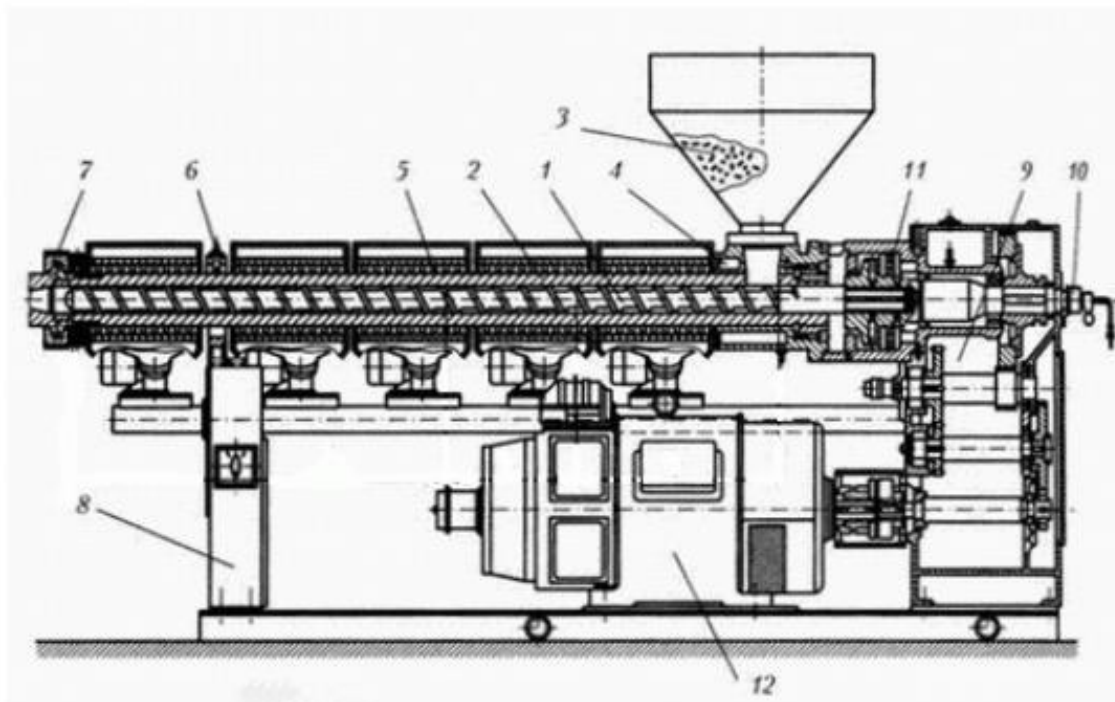


Рисунок 1.3 – Загальний вигляд черв'ячного екструдера:

1 – черв'як, 2 – матеріальний циліндр, 3 – бункер, 4 – охолоджувальні канали,  
 5 – кільцеві нагрівачі, 6 – термопари, 7- формуюча головка, 8 - корпус,  
 9 – редуктор, 10 – вентилятори, 11 – підшипниковий вузол, 12 – електродвигун

*Принцип роботи одношнекового екструдера:*

Полімерні матеріали спочатку завантажуються в бункер, де їх захоплюють лопаті шнека, після чого вони потрапляють у робочу камеру. Шнек поділяється на три зони: живильну, стиснення і дозування. У живильній зоні матеріал починає розм'якшуватись і пресується в щільну масу. У зоні стиснення сировина нагрівається і розплавляється. Далі, у зоні дозування, матеріал піддається гомогенізації та підготовці до подачі у формувальну головку [15].

Електричні нагрівачі, розташовані на робочому циліндрі, забезпечують необхідний температурний режим. Система водяних каналів використовується для охолодження робочої камери та шнека, з регулюванням температури за допомогою термопари. Вода подається і відводиться з екструдера за допомогою спеціальних пристроїв [9].

Шнек забезпечує транспортування, подачу і змішування розплавлених полімерів під тиском через формувальну головку. Його рух забезпечується

електродвигуном через механічні передачі. Також шнек обладнаний потужним підшипниковим вузлом, що витримує осьові навантаження [9].

Не менш важливо враховувати механічну та термічну обробку шнека, оскільки це впливає на ефективність і тривалість роботи екструдера. Основними геометричними характеристиками шнека є: ступінь стиснення, діаметр, довжина різьби, крок, глибина гвинтового каналу та кількість витків різьби шнека.

На (рис. 1.4) представлена схема екструдера з класичним тризонним шнеком. Робочий канал такого екструдера має найбільшу глибину константи в зоні живлення, зменшення глибини в зоні плавлення і найменшу глибину константи в зоні гомогенізації [9].

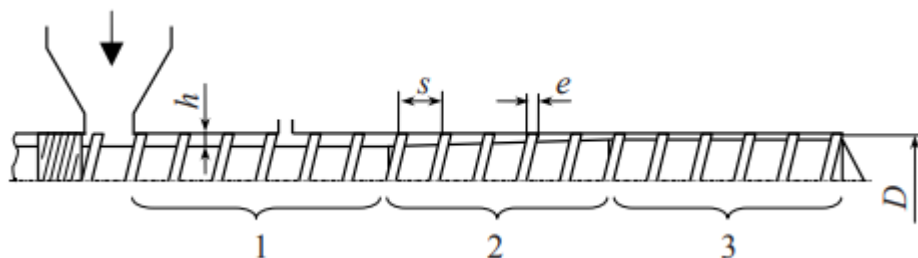


Рисунок 1.4 – Схема класичного тризонного одношнекового екструдера: 1, 2, 3 - зони живлення, плавлення та гомогенізації;  $D$ ,  $h$  and  $e$  - діаметр, висота і ширина гребня різьби гвинта, м;  $s$  крок кутової різьби, м [6].

## 2 Технічна характеристика черв'ячного екструдера

Технічна характеристика будь-якого виробу – це стисла технічна інформація машини.

В технічній характеристиці екструдера 90×25 наведено основні показники для порівняння з іншими моделями. Наведені основні характеристики в табл. 2.

Таблиця 2 Основні характеристики черв'ячного екструдера

№	Назва параметру	Позначення
1	Номінальний діаметр черв'яка	$D - 0,09$ м
2	Відношення робочої довжини до діаметру	$L/D - 25$
3	Загальна довжина черв'яка	$L - 2,572$ м
4	Частота обертання черв'яка	$n - 38,4$ об/хв
5	Об'ємна секундна продуктивність	$Q - 2,31 \cdot 10^{-5}$ м <sup>3</sup> /с
6	Вагова продуктивність	$\Pi - 65,52$ кг/год
7	Обрана сталь для черв'яка	сталь 38ХНЗМА
8	Тип формуючої головки екструдера	плоскощілинна головка
9	Температуру переробки ПЕВГ	200 <sup>0</sup> С
10	Електрообладнання: Потужність двигуна ККД двигуна Число обертів	$N_{дв} - 75$ кВт 91% 3000 об/хв
11	Розміри черв'ячного екструдера, не більше Довжина L Ширина S Висота H	4,8 м 2,07 м 3,562 м
12	Маса, не більше	4200 кг

Було наведено основні характеристика даної машини яка експлуатується.

### **3 Літературний та патентний огляд, обґрунтування вибраної модернізованої конструкції**

У цьому розділі здійснено аналіз науково-технічної літератури та патентних джерел, що стосуються модернізації екструзійного обладнання для виробництва плівок із поліетилену високого тиску (ПЕВГ). Огляд включає дослідження наявних конструкцій екструдерів, методів підвищення їх продуктивності та покращення енергоефективності, за рахунок зміни охолоджувальної системи.

Існують відомі типи конструкцій ліній для виробництва поліетиленових плівок високої густини (ПЕВГ), які мають ряд суттєвих недоліків, а саме:

- нерівномірне охолодження екструдованої плівки, що може привести до дефектів у якості продукції;
- підвищені енерговитрати через низьку ефективність охолоджувальних систем;
- складність обслуговування окремих компонентів екструзійної лінії;
- обмежені можливості автоматизації процесу, що знижує загальну продуктивність лінії;
- високі витрати на заміну зношених деталей, особливо екструзійної головки та шнека.

Для вирішення цих проблем було проведено патентно-літературний огляд, який допоміг відкрити можливості напряду модернізації обладнання, спрямований на підвищення ефективності роботи лінії та зниження витрат на виробництво, було виявлено наступне:

Основною метою даного патенту [10] є створення пристрою для охолодження плівки в системі екструзії(рис. 5.1), який дозволяє регулювати товщину плівки, зменшуючи її варіації, а також підвищити ефективність і функціональність управління потоком і температурою холодоагенту.

Основним недоліком патенту є складність конструкції через використання важільної системи та рухомого клапанного елемента, що може ускладнити виробництво та обслуговування пристрою. Додаткові механізми регулювання потоку та температури холодоагенту можуть призвести до підвищення енерговитрат. Крім того, забезпечення точного регулювання температури та потоку

може вимагати складної системи управління, що підвищує вимоги до налаштувань та експлуатації.

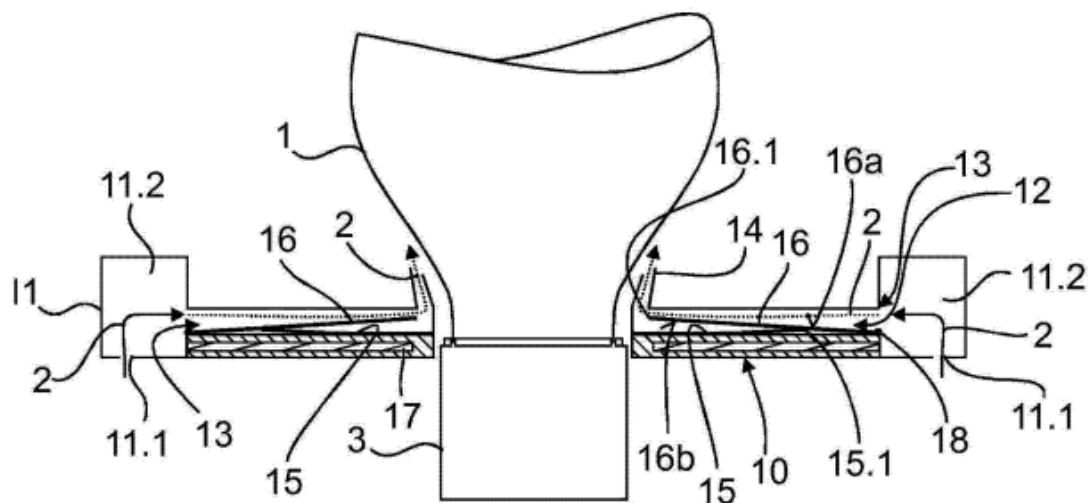


Рисунок 3.1 – Схематичний вид пристрою для охолодження плівки:

- 1 – пристрій для охолодження плівки, 2 – охолоджуючий газ, 3 – головка для видування, 4 – корпус охолоджувального пристрою, 5 – канал для холодоагенту, 6 – вхідний отвір, 7 – вихідний отвір, 8 – регульовальний пристрій, 9 – важільна система, 10 – рухомий привід, 11 – клапанний елемент, 12 – ось клапанного елемента, 13 – регулятор швидкості потоку газу, 14 – термопара для контролю температури, 15 – нагрівальний елемент, 16 – біметалевий елемент, 17 – система зворотного зв'язку для контролю потоку, 18 – елементи кріплення корпусу [10]

Патент має наступні корисні ефекти: забезпечується точне регулювання товщини плівки за рахунок синхронізації швидкості потоку та температури холодоагенту, що сприяє отриманню більш рівномірного продукту. Система дозволяє оперативно змінювати параметри охолодження плівки, що підвищує контроль над процесом виробництва. Також одночасне регулювання потоку і температури газоподібного холодоагенту дозволяє значно покращити функціональність та енергоефективність процесу екструзії.

Основна мета цього патенту [11] полягає в удосконаленні конструкції плівкової головки екструдера для прискорення процесу заміни або очищення фільтрувальної сітки, що зменшує витрати часу та зусиль. Такий підхід забезпечує ефективність роботи, після чого дає можливість замінювати фільтр без необхідного.

Дефекти представленого пристрою можуть включати складність його конструкції, що ускладнює процес виробництва і коштує витрат. Також можливе виникнення проблеми з рівномірністю охолодження плівки через нерівномірний розподіл повітря або інших охолоджуючих елементів. Це може призвести до виникнення дефектів на поверхні плівки та зниження якості кінцевого продукту.

Варіант виконання: Як показано на малюнках (рис. 3.2 – 3.4), плівкова головка екструдера складається з шару 1, формуючої трубки 2, підсилювального вузла 3, фільтра 4 і вузла розбирання 5. Оболонка 1 є горизонтальною циліндричною, що містить проточний отвір 11 для циркуляції сировини, а виступи 12 розташовані по колу і закріплюють фільтр 4 та вузол розбирання 5.

Формуюча трубка 2 розташована в північній частині 1 і забезпечує нагрівальним шаром 21, що сприяє рівномірній пластифікації сировини під час екструзії. Підсилювальний вузол 3 включає пластину 31 із ситкою та блок 32 для обмеження потоку, що забезпечує зміну режиму руху сировини зі спірального на лінійний, що забезпечує її компактність.

Вузол розбирання 5 містить два підйомні циліндри 51, сполучну пластину 52 з підйомними щілинами 521, ковзну канавку 522 для руху фільтра, а також наскрізний порт 523 для демонтажу фільтрувальної сітки. Бокова кришка 524 та герметизуючий шар 525 забезпечують повну герметизацію конструкції, що забезпечує зручний доступ для заміни фільтра без необхідності розібрати всю головку екструдера. Операція знімання фільтра швидка і проста, що значно підвищує ефективність роботи.

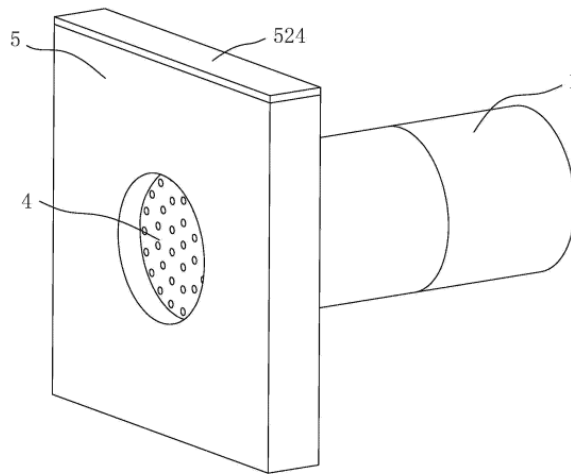


Рисунок 3.2 – Схематична схема загальної структури плівкової головки екструдера(позначення в тексті) [11]

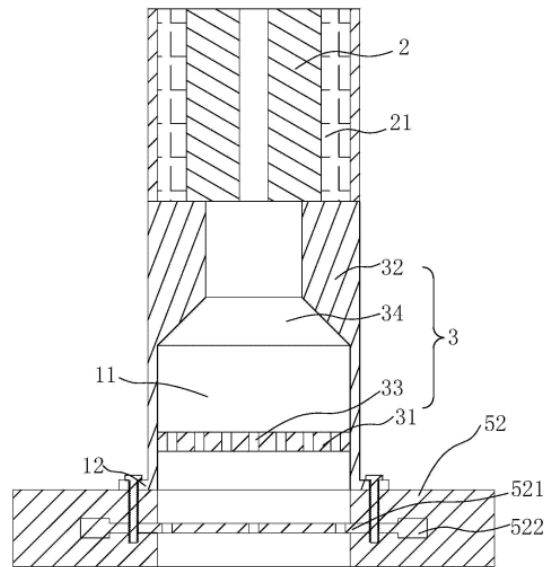


Рисунок 3.3 – Схематична схема загальної структури плівкової головки екструдера(позначення в тексті) [11]

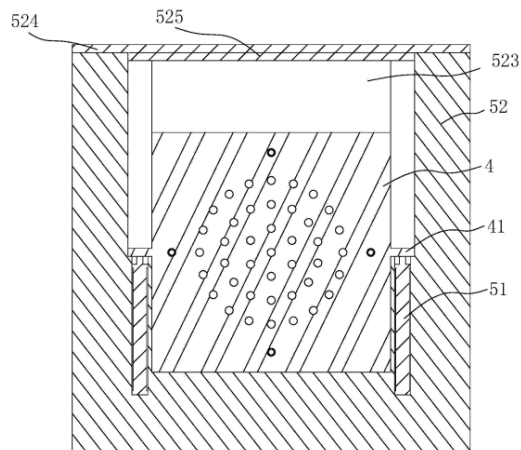


Рисунок 3.4 – Схематична схема загальної структури плівкової головки екструдера(позначення в тексті) [11]

Патент має наступні корисні ефекти: забезпечення ефективного охолодження плівки після виходу з екструдера, що забезпечує якість продукту. Використання ідеальної системи охолодження може зменшити енергоспоживання виробничої лінії. Це також дозволяє знизити ймовірність утворення дефектів на плівці, покращуючи її механічні та оптичні властивості.

Мета патенту [12] полягає в тому, щоб створити високоефективний пристрій для охолодження екструдованого матеріалу пластикового екструдера, який дозволяє поступово охолоджувати матеріал, запобігаючи його пошкодженню через раптовий контакт із холодною водою. Таке рішення забезпечує ефективне охолодження та покращує якість екструдованого матеріалу.

Патент покращує процес охолодження екструдованого матеріалу пластикового екструдера завдяки кільком ключовим аспектам. Він забезпечує поступове охолодження, що дозволяє уникнути різкого контакту між гарячим екструдованим матеріалом і холодною водою, зменшуючи ризик деформації та пошкодження матеріалу. Включення термометра та системи сигналізації рівня води підвищує рівень автоматизації, що забезпечує більш ефективне управління охолодженням і покращує якість продукції. Завдяки контрольованому охолодженню та запобіганню деформації, покращуються механічна міцність, ударостійкість, термостійкість і стійкість до старіння екструдованих матеріалів. Ця технологія також дозволяє швидше проходити етапи охолодження, сприяючи підвищенню продуктивності виробництва. Ці покращення роблять патент важливим внеском у технології охолодження пластикових екструдерів, забезпечуючи високу якість готової продукції та оптимізацію виробничих процесів.

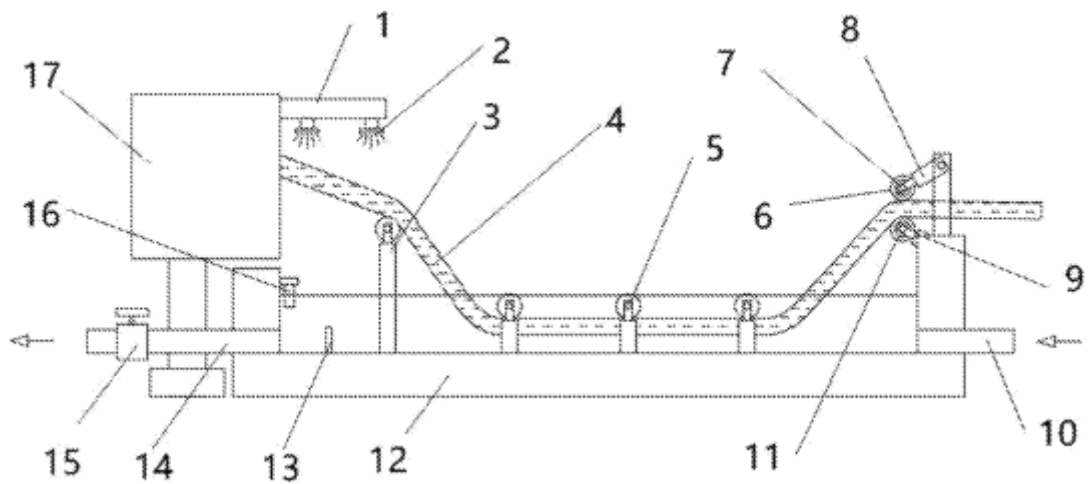


Рисунок 3.5 – Принципова схема структури корисної моделі (позначення в тексті) [12]

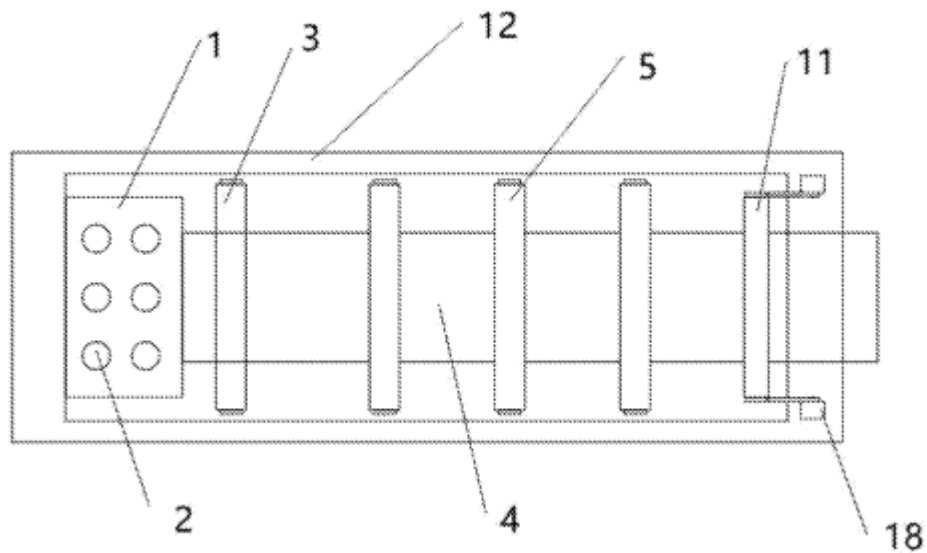


Рисунок 3.6 – Вид зверху конструкції згідно з варіантом здійснення даної корисної моделі (позначення в тексті) [12]

На рисунках (рис. 3.5 – 3.6) позначено: 1 – монтажна рама; 2 – охолоджуюча форсунка; 3 – опорний ролик; 4 – екструдований матеріал; 5 – конвеєрний ролик; 6 – водопоглинаюча губка; 7 – обертовий ролик; 8 – верхня опорна рама водопоглинання; 9 – нижня опорна рама водопоглинання; 10 – труба для введення води; 11 – водопоглинаючий ролик; 12 – охолоджувальний басейн; 13 – термометр; 14 – випускний клапан води; 15 – труба для випуску води; 16 – сигналізація рівня води; 17 – роликів система; 18 – стійка рами.

Принцип роботи охолоджуючого пристрою полягає в наступному: спочатку екструзійна плівка (4) проходить через направляючу роликів систему (17), сам охолоджувальний пристрій складається з монтажної рами (1) та охолоджуючих

сопел (2), які безперервно розпилюють охолоджуючу воду у вигляді туману для попереднього охолодження екструдованого матеріалу (4). Це запобігає його деформації при контакті з охолоджувальним басейном (12) [2].

Екструдований матеріал (4) транспортується через опорний ролик (3) та конвеєрний ролик (5) в охолоджувальному басейні (12). У басейні (12) безліч конвеєрних роликів (5) розташовані під задану товщину плівки таким чином, щоб екструдований матеріал (4) стабільно проходив через охолоджуючу ванну. Водопоглинаючий направляючий блок, що містить верхню (8) та нижню (9) опорні рами, забезпечує стабільне положення екструдованого матеріалу (4) під час його проходження, запобігаючи деформації.

Після охолодження матеріал проходить між двома водопоглинаючими роликами (11) яка закріплена на стійці рами (18), де водопоглинаюча губка (6) всотує надлишки води, готуючи екструдований матеріал до наступної обробки. Обертовий ролик (7) на водопоглинаючому блоку сприяє ефективному поглинанню вологи.

Труба для введення води (10) забезпечує подачу охолоджуючої води до басейну (12), а система контролю (15) працює у тісній взаємодії з термометром (13) та датчиком рівня води (16), контролюючи температуру охолоджувальної води та запобігаючи переповненню охолоджувального басейну (12). Коли температура на виході з охолоджувального басейну (14) перевищує встановлене значення, система автоматично регулює потік води, відкриваючи впускний клапан (15) для забезпечення ефективного охолодження.

Таким чином, корисна модель дозволяє поступово охолоджувати екструдований матеріал, уникаючи раптових змін температури, що підвищує якість кінцевого продукту та автоматизує процес охолодження.

Недоліком цього патенту є те, що необхідність у системі контролю з термометром та сигналізацією рівня води може створити ризики збоїв, що вплине на якість охолодження, а також потребуватиме частого технічного обслуговування рухомих частин, що підвищить експлуатаційні витрати. Залежність від електропостачання для роботи системи контролю та насосів може призвести до неконтрольованих ситуацій під час відключення електрики, впливаючи на охолодження та безпеку процесу. Крім того, проблеми з накопиченням забруднень

у воді можуть знизити ефективність охолодження, а обмежена швидкість потоку охолоджувальної води може бути недостатньою для великих обсягів виробництва, що знизить продуктивність екструзійного процесу.

Даний патенту[13] є створення ефективної системи охолодження для шнекового екструдера, яка здатна підтримувати оптимальну температуру під час роботи навіть за умов високого навантаження. Така система забезпечує належне охолодження як самого екструдера, так і робочої рідини в резервуарі, що дозволяє підвищити загальну продуктивність та якість екструзійного процесу.

Патент описує систему охолодження шнекового екструдера, що складається з кількох ключових компонентів, таких як коробка передач, корпус шнекової коробки, теплообмінник, водяні труби з червоної міді, резервуар для води та терморегулятор. Особливістю системи є використання спірального змійовика в теплообміннику, що збільшує площу контакту між охолоджуваною рідиною та теплоносієм, а також додавання терморегулятора для підтримки оптимальної температури води.

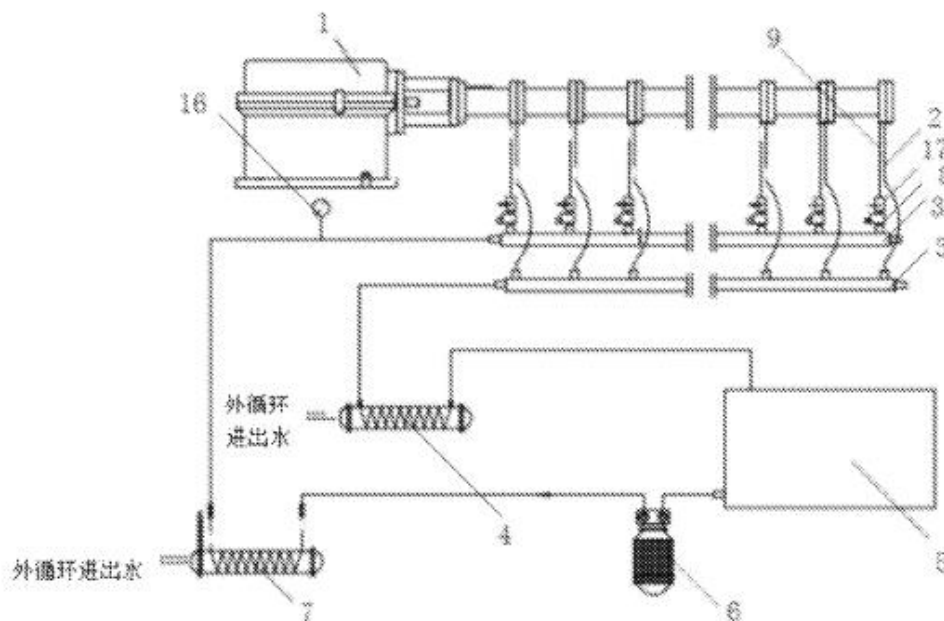


Рисунок 3.7 – Хематична структурна діаграма системи охолодження для шнекового екструдера згідно з цим винаходу [13]

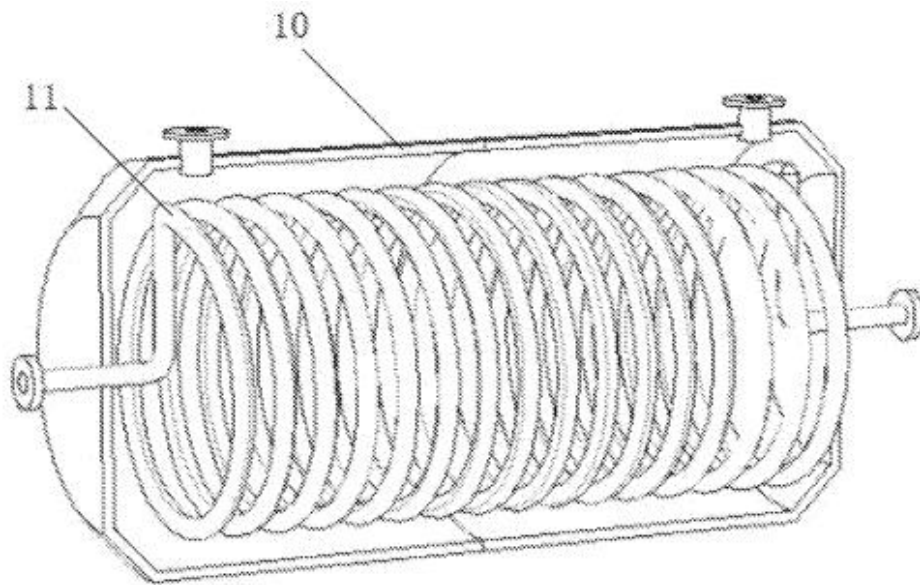


Рисунок 3.8 – Схематична діаграма структури теплообмінника в системі охолодження шнекового екструдера відповідно до корисної моделі [13]

Система охолодження шнекового екструдера (рис. 3.7 – 3.9) працює наступним чином. Коробка передач (1) передає рух і з'єднує основні елементи системи. Вода подається через першу водопровідну трубу (2), виготовлену з міді, що забезпечує хорошу теплопровідність. Вода проходить через теплообмінник (4), де охолодження відбувається завдяки спіральній котушці (11) всередині корпусу теплообмінника (10). Спіральна конструкція збільшує площу контакту між рідиною та теплоносієм, що підвищує ефективність охолодження.

Запропонована система охолодження дозволяє ефективніше підтримувати низьку температуру робочої рідини завдяки використанню мідних труб з високою теплопровідністю та спірального теплообмінника. Впровадження терморегулятора забезпечує можливість точного контролю температури, що дозволяє уникнути перегріву навіть у складних умовах. Це підвищує загальну стабільність і тривалість роботи екструдера, а також покращує якість кінцевого продукту.

Охолоджена рідина накопичується в резервуарі для води (5) і за допомогою водяного насоса (6) циркулює далі системою.

Після виходу з резервуара вода проходить через другу водопровідну трубу (9), обладнану голчастим клапаном (17) та електромагнітним клапаном (8) для регулювання потоку рідини. Тиск контролюється за допомогою манометра (16),

встановленого між терморегулятором (7) і зворотною трубою (3). Терморегулятор містить корпус регулятора (12) та систему трубопроводів. Головний трубопровід (13) з'єднаний зі сполучною пластиною (14), яка розподіляє потік через розділені трубопроводи (15), забезпечуючи кращий тепловий контроль.

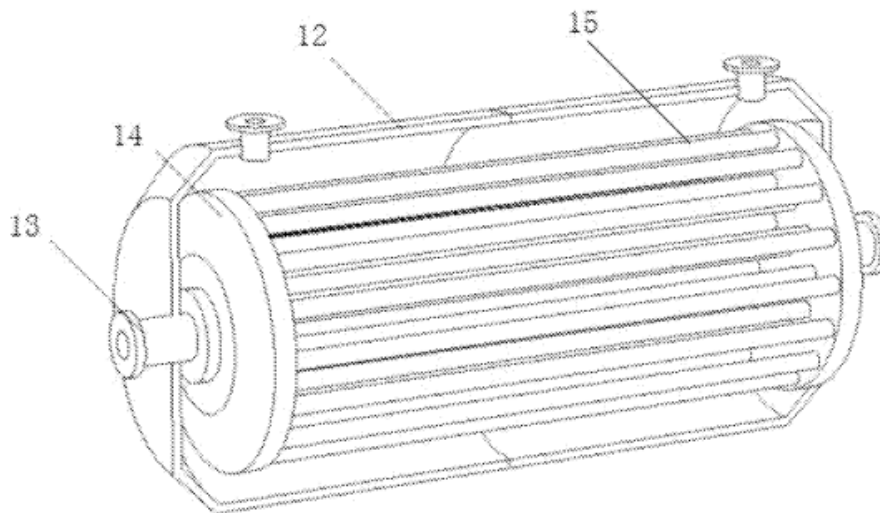


Рисунок 3.9 – Принципова схема структури терморегулятора в системі охолодження шнекового екструдера відповідно до корисної моделі [13]

Крім того, електромагнітний клапан (18) керує потоком рідини для забезпечення точної регуляції. Завдяки цьому система дозволяє підтримувати стабільну температуру, оскільки рідина може бути додатково охолоджена під час високих навантажень за допомогою терморегулятора.

Серед недоліків існуючих систем охолодження шнекових екструдерів виділяється недостатня ефективність охолодження за високих навантажень. Через це температура води у резервуарі може перевищувати оптимальні значення, що призводить до перегріву системи і зниження продуктивності. Існуючі системи також не завжди мають ефективний спосіб контролю температури та розподілу охолоджувальної рідини.

Головною метою даного патенту [14] є спрощення та прискорення процесу заміни фільтрувальної сітки в пластиковому екструдері, що дозволяє уникнути тривалих зупинок машини та забезпечує безперервність виробництва під час цього процесу.

Патент описує конструкцію пластикового екструдера, яка дозволяє легко замінювати фільтрувальну сітку без потреби в зупинці машини. Це досягається за допомогою спеціальної конструкції з установчими пазами та фіксуючими елементами, які полегшують виймання та встановлення нової сітки. Використання двох монтажних канавок забезпечує безперервність роботи фільтра під час заміни, що зменшує ризик зупинки процесу екструзії.

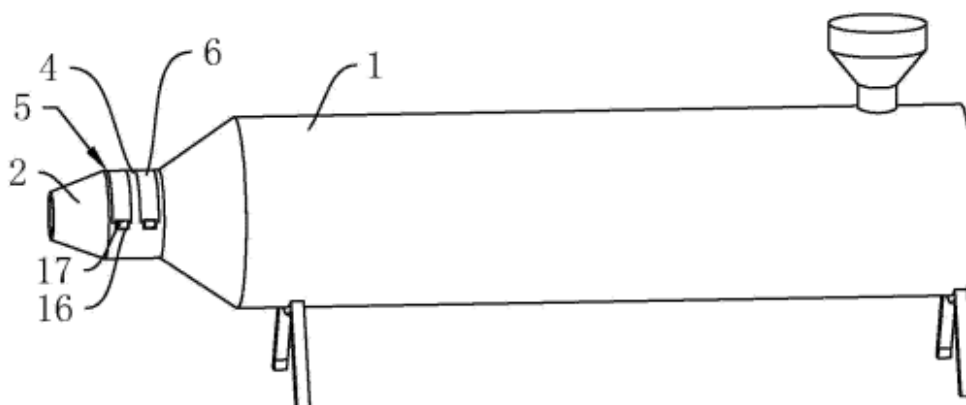


Рисунок 3.10 – Схематична схема предметної структури варіанту здійснення цієї заявки [14]

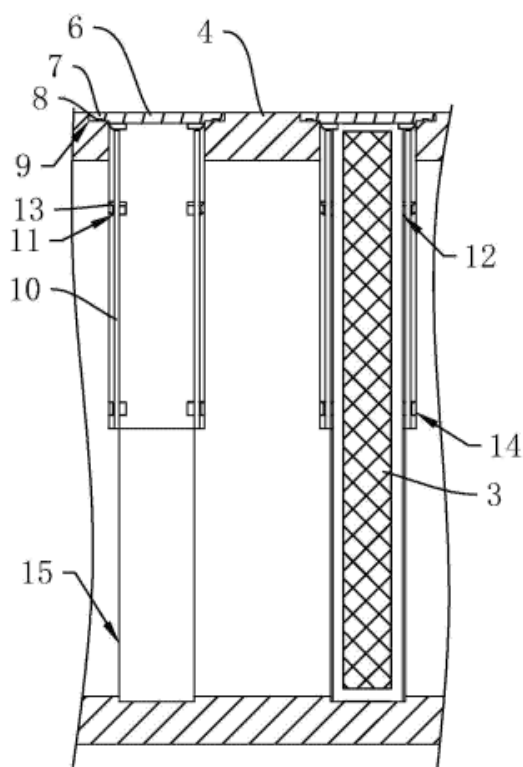


Рисунок 3.11 – Схематична схема внутрішньої структури фіксуючого кільця [14]

Принцип роботи пластикового екструдера, зручного для заміни сітки фільтра, полягає в оптимізації конструкції для швидкого та легкого доступу до фільтрувальної сітки. Екструдер оснащений корпусом, розвантажувальною головкою, фільтрувальною сіткою та фіксуєчим кільцем, яке тримає сітку на місці. Сітка знаходиться між корпусом машини та розвантажувальною головкою й закріплена у спеціальному пазу. Заміна фільтра здійснюється через зручний механізм розблокування, який дозволяє витягнути сітку без зупинки екструдера. Система ущільнювальних елементів забезпечує герметичність і запобігає витокам під час роботи.

Головним недоліком попередніх технологій є необхідність зупинки машини для заміни фільтра, що затягує процес та є незручним для операторів. Це може призводити до простоїв виробництва та втрат часу.

Основним корисним ефектом цього патенту є значне спрощення процесу заміни фільтрувальної сітки, що дозволяє уникнути зупинок обладнання. Завдяки новій конструкції з двома монтажними канавками, фільтр може бути замінений швидше і з мінімальним ризиком виникнення проблем із продуктивністю, що збільшує ефективність виробництва та зменшує втрати часу.

## 4 Вибір і обґрунтування модернізації

*Для модернізації охолоджувального пристрою був вибраний патент CN219381545 (U) [12].*

Охолоджувальний пристрій призначений для забезпечення стабільного охолодження екструдованого матеріалу в процесі виробництва плівки. Його основна функція полягає в підтримці рівномірної температури матеріалу, що дозволяє уникнути деформацій, забезпечити стабільну товщину плівки, її еластичність та міцність. Ефективне охолодження сприяє скороченню часу обробки, підвищенню продуктивності та покращенню якості готового продукту.

Ми використовуємо цей пристрій для поступового охолодження екструдованого матеріалу після виходу з екструзійної головки. Завдяки його конструкції, матеріал не піддається різким перепадам температур, що дозволяє уникнути утворення дефектів, таких як хвилястість, бульбашки чи нерівномірна поверхня. Додатково, пристрій підтримує контроль температури та рівня охолоджуючої рідини, що робить процес охолодження більш керованим і передбачуваним.

Запропонована модернізація охолоджувального пристрою дозволить:

1. Забезпечити рівномірне охолодження матеріалу, що зменшить кількість браку та підвищить якість продукції.
2. Оптимізувати використання ресурсів завдяки вдосконаленим системам подачі та відведення охолоджувальної рідини.
3. Автоматизувати процес за рахунок вбудованих елементів контролю, таких як термометри та сигналізація рівня води, що знизить ризик помилок і покращить стабільність виробничих параметрів.
4. Підвищити продуктивність завдяки зниженню часу на охолодження екструдованого матеріалу та збільшенню обсягів виробництва.

Це вдосконалення сприятиме технологічному розвитку, зниженню витрат на енергію та підвищенню конкурентоспроможності підприємства, дозволяючи адаптувати виробництво до сучасних стандартів якості та екологічності.

## 5 Розрахунки

### 5.1 Параметричні розрахунки

#### 5.1.1 Розрахунок геометричних параметрів шнека

Черв'як є ключовим компонентом черв'ячної машини, який виконує функцію переміщення полімерного матеріалу від завантажувальної воронки до формуючої головки. Він забезпечує пластикацію гранул, ретельне змішування розплаву та створення необхідного тиску для подальшого видавлювання матеріалу через головку.

Діаметр черв'яка є одним з основних параметрів, що характеризують продуктивність черв'ячної машини.

Нижче розглянуто розрахунок екструдера з черв'яком діаметром  $D=90$  мм і відношенням довжини робочої частини до його діаметра  $L/D=25$ .

Інші параметри черв'яка вибираються в залежності від матеріалу, що переробляється. У даному випадку матеріалом, що переробляється, є ПЕВГ і базові параметри черв'яка обчислюються виходячи із залежностей, представлених нижче [1].

Крок гвинтової лінії черв'яка:

$$t = (0,8 \dots 1,2) \cdot D = 0,91 \cdot 90 = 82 \text{ мм.}$$

Кут підйому гвинтової лінії:

$$\varphi = \arctg \frac{t}{\pi D} = \arctg \frac{82}{3,14 \cdot 90} = 16,18^\circ.$$

Товщина гребеня черв'яка:

$$e = (0,06 \dots 0,12) \cdot D = 0,11 \cdot 90 = 10 \text{ мм,}$$

при цьому менші значення приймаються для діаметрів черв'яка більше 125 мм, більші – для діаметрів менше 125 мм.

Зазор між черв'яком і гільзою:

$$\delta = (0,002 \dots 0,003) \cdot D = 0,0027 \cdot 90 = 0,24 \text{ мм,}$$

при цьому менші значення приймаються для більших величин діаметрів черв'яків.

Глибина гвинтового каналу в зоні завантаження:

$$h_1 = (0,12 \dots 0,16) \times D = 0,145 \times 90 = 13 \text{ мм.}$$

Глибина гвинтового каналу в зоні дозування складає :

$$h_3 = 0,5 \left[ D - \sqrt{D^2 - \frac{4 \cdot h_1}{i} \cdot (D - h_1)} \right] =$$

$$= 0,5 \left[ 90 - \sqrt{90^2 - \frac{4 \cdot 13}{4,1} \cdot (90 - 13)} \right] = 2,8 \text{ мм,}$$

де  $i = 4,1$  – ступінь стиску поліетилену

Діаметр стержня під завантажувальною воронкою:

$$d_1 = D - 2 \times h_1 = 90 - 2 \times 13 = 64 \text{ мм.}$$

Діаметр стержня в зоні дозування:

$$d_3 = D - 2 \times h_3 = 90 - 2 \times 2,8 = 84 \text{ мм.}$$

Довжина торпеди з мішалкою:

$$L_{\text{торп}} = (0,6 \dots 0,8) \times D + 70 = 0,61 \times 90 + 70 = 124 \text{ мм.}$$

Довжина робочої частини черв'яка приймається:

$$L_{\text{роб}} = L/D \times D = 25 \times 90 = 2250 \text{ мм.}$$

Довжина зони завантаження приймається:

$$L_{\text{зав}} = (1,5 \dots 3) \times D = 1,8 \times 90 = 162 \text{ мм.}$$

Довжина зони дозування приймається:

$$L_{\text{доз}} = (3 \dots 6) \times D = 3 \times 90 = 270 \text{ мм.}$$

Довжина зони стиснення приймається:

$$L_{\text{ст}} = L_{\text{роб}} - L_{\text{доз}} - L_{\text{зав}} = 2250 - 270 - 162 = 1818 \text{ мм.}$$

Довжина опори і евольвентного зачеплення приймається:  $L_{\text{ев}} = 170 \text{ мм}$ ;

Довжина відбійної частини приймається:

$$L_{\text{відб}} = (0,1 \dots 0,5) \times D = 0,32 \times 90 = 28 \text{ мм.}$$

Загальна довжина черв'яка:

$$L = L_{\text{роб}} + L_{\text{торп}} + L_{\text{ев}} + L_{\text{відб}} = 2250 + 124 + 170 + 28 = 2572 \text{ мм.}$$

Схема червяка наведено на рис. 1.1

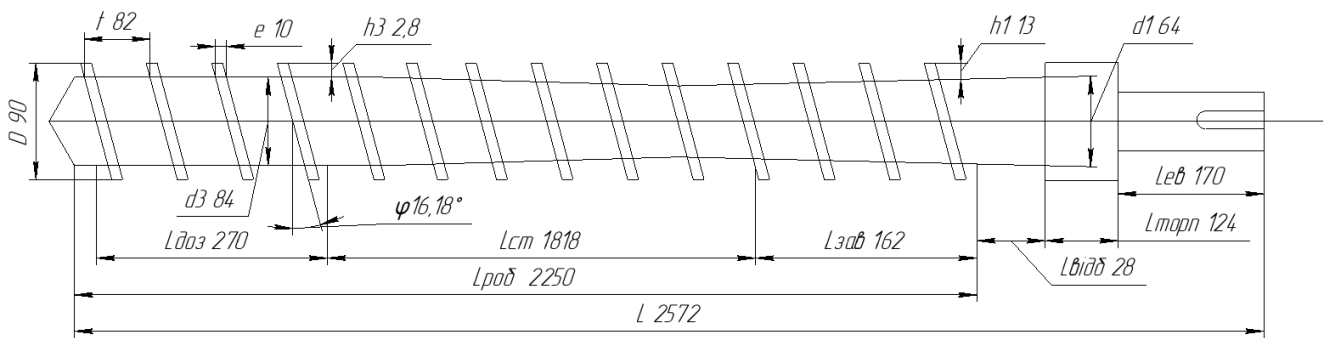


Рисунок 5.1 – Схема черв'яка

Критична частота обертання черв'яка в зоні завантаження може бути визначена по наступному співвідношенню ( $\text{с}^{-1}$ ):

$$n_{\text{кр}} = \frac{42,2}{60\sqrt{D}} = \frac{42,2}{60\sqrt{0,09}} = 2,3 \text{ с}^{-1},$$

де  $D$  – діаметр черв'яка, м.

У зонах стиснення та дозування допустиму частоту обертання черв'яків значно зменшують, для дотримання граничної температури нагріву матеріалів.

Робоча частота обертання черв'яка:

$$n_p = (0,2 \dots 0,7) \cdot n_{\text{кр}} = 0,28 \cdot 2,3 = 0,64 \text{ с}^{-1}$$

при цьому нижчі значення коефіцієнтів приймають для малих діаметрів черв'яків, вищі – для великих.

### 5.1.2 Розрахунок коефіцієнта геометричної форми головки

Канал головки (рис. 5.2) розбивається на ряд послідовних ділянок простої геометрії, для кожного з яких розраховуємо коефіцієнт геометричної форми  $K$ , ( $\text{м}^3$  або  $\text{мм}^3$ ), а потім сумарне значення для всієї головки.

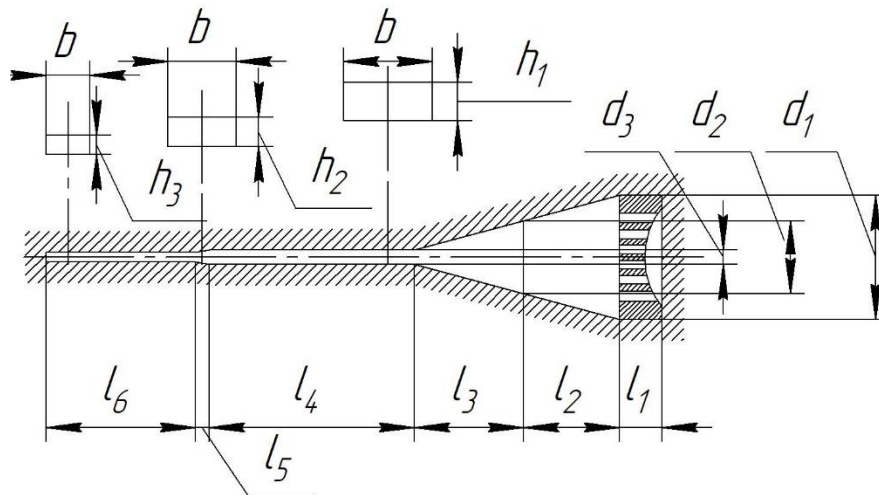


Рисунок 5.2 – Схема головки

Розраховані розміри головки для розмірів черв'яка  $D_{\text{ч}} = 90$  мм і  $L_{\text{ч}}/D_{\text{ч}} = 25$ , (табл 5.3)

Таблиця 5.3 – Розміри головки

$d_1$ , мм	$d_2$ , мм	$d_3$ , мм	$l_1$ , мм	$l_2$ , мм	$l_3$ , мм	$l_4$ , мм	$l_5$ , мм	$l_6$ , мм	$h_1$ , мм	$h_3$ , мм	$b$ , мм
90	30	14	35	70	55	110	15	80	14	3	400

Коефіцієнт  $K_1$  (решітка, рис. 5.4) :

Ділянка решітки: товщину решітки приймаємо рівною  $(1l)\delta_p = 35$  мм; кількість отворів у решітці приймаємо  $z = 46$ , діаметр отворів  $d_o = 40$  мм; [1]

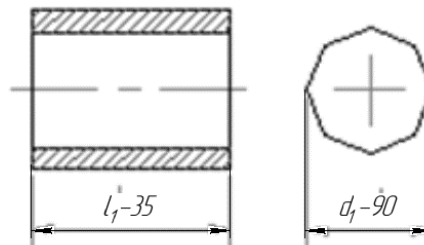


Рисунок 5.4 – Схема ділянки 1 [1]

$$K_1 = \frac{\pi z d_o^4}{128 \delta_p} = \frac{3,14 \cdot 46 \cdot 40^4}{128 \cdot 35} = 82537 \text{ мм}^3$$

Коефіцієнт  $K_2$  (круглий конічний з великим діаметром на виході, рис. 5.5):

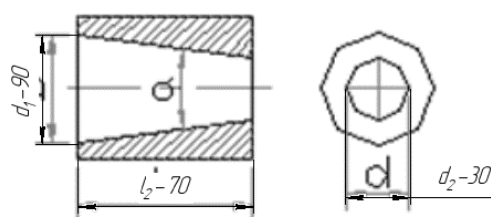


Рисунок 5.5 – Схема ділянки 2 [1]

$$K_2 = \frac{3\pi d_1^3 d_2^3}{128L_2(d_1^2 + d_1 d_2 + d_2^2)} = \frac{3 \cdot 3,14 \cdot 90^3 \cdot 30^3}{128 \cdot 70 \cdot (90^2 + 90 \cdot 30 + 30^2)} = 1768,7 \text{ мм}^3$$

Коефіцієнт  $K_3$  (круглий конічний з великим діаметром на виході, рис. 5.6):

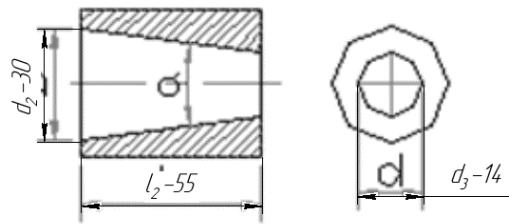


Рисунок 5.6 – Схема ділянки 3 [1]

$$K_3 = \frac{3\pi d_2^3 d_3^3}{128L_2(d_2^2 + d_2 d_3 + d_3^2)} = \frac{3 \cdot 3,14 \cdot 30^3 \cdot 14^3}{128 \cdot 55 \cdot (30^2 + 30 \cdot 14 + 14^2)} = 65,4 \text{ мм}^3$$

Коефіцієнт  $K_4$  (плоский щілинний, рис. 5.7) :

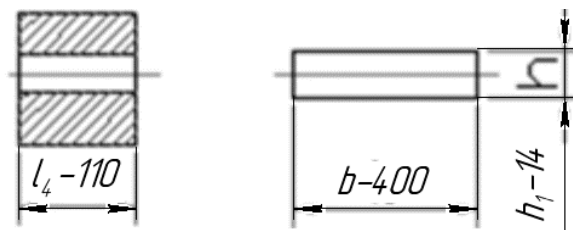


Рисунок 5.7 – Схема ділянки 4 [1]

$$K_4 = \frac{bh_1^3}{12L} = \frac{400 \cdot 14^3}{12 \cdot 110} = 831,5 \text{ мм}^3$$

Коефіцієнт  $K_5$  (щілинний клиноподібний, рис. 5.8) :

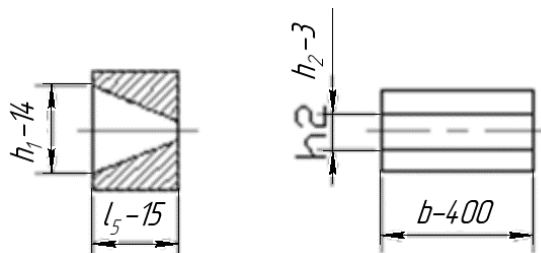


Рисунок 5.8 – Схема ділянки 5 [1]

$$K_5 = \frac{bh_1^2 h_2^2}{6L(h_1 + h_2)} = \frac{400 \cdot 14^2 \cdot 3^2}{6 \cdot 15 \cdot (14 + 3)} = 461,2 \text{ мм}^3$$

Коефіцієнт  $K_6$  (плоский щілинний, рис. 5.9) :

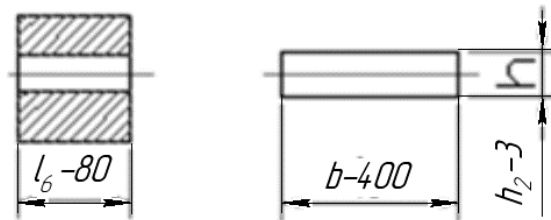


Рисунок 5.9 – Схема ділянки 6 [1]

$$K_6 = \frac{bh_3^3}{12L} = \frac{400 \cdot 3^3}{12 \cdot 80} = 111,25 \text{ мм}^3$$

Сумарне значення для всієї головки  $K_{\text{общ}}$ :

$$K_{\text{общ}} = \frac{1}{\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} + \frac{1}{K_3} + \frac{1}{K_4} + \frac{1}{K_5} + \frac{1}{K_6}} = \frac{1}{\frac{1}{82537} + \frac{1}{1768,7} + \frac{1}{65,4} + \frac{1}{831,5} + \frac{1}{461,2} + \frac{1}{111,25}} = 9,2 \text{ мм}^3$$

## 5.2 Розрахунок продуктивності черв'ячної машини

Зона дозування черв'яка є ключовим елементом, який визначає продуктивність черв'ячної машини. Її ефективність значною мірою обумовлена геометричними характеристиками черв'яка. Продуктивність черв'ячного екструдера залежить не лише від розмірів і швидкості обертання шнека, але й значною мірою визначається конструкцією формуючої головки.

На основі гідродинамічного підходу до аналізу взаємодії робочих органів з матеріалом, що переробляється, в зоні дозування екструдера прийнято розглядати три складові потоку руху розплаву:

1) прямий потік, тобто потік розплаву, що рухається міжвитковим простором у напрямку від зони завантаження до зони дозування вздовж осі черв'яка; виникає внаслідок обертання черв'яка відносно циліндра;

2) зворотній потік, тобто потік розплаву, що рухається у протилежному напрямку, що викликано перепадом тиску  $P$  по довжині шнека;

3) потік витоків, що рухається у зазорі між зовнішньою поверхнею витків черв'яка та внутрішньою поверхнею матеріального циліндра у напрямку від зони дозування.

Подібний поділ на три потоки в каналі шнека слід вважати умовним, так як протитечії практично не існує, а має місце деяке обмеження прямого потоку, що виникає в результаті опору головки.

Об'ємна секундна продуктивність черв'ячної машини для переробки полімерів, в залежності від опору головки і конструкції зони дозування розраховується наступним чином

$$Q = \frac{\alpha \cdot K \cdot n}{K + \beta + \gamma} = \frac{3,61 \cdot 10^{-5} \cdot 27,82 \cdot 0,64}{27,82 + 7,6 \cdot 10^{-10} + 1,04 \cdot 10^{-11}} = 2,31 \cdot 10^{-5} \frac{M^3}{c},$$

де  $n$  – швидкість обертання черв'яка,

$K$  – загальний коефіцієнт геометричної форми головки,

$\alpha$  – коефіцієнт прямого потоку,

$\beta$  – коефіцієнт зворотного потоку,

$\gamma$  – коефіцієнт потоку витоку.

Значення коефіцієнтів прямого потоку  $\alpha$ , зворотного потоку  $\beta$  та потоку витоку  $\gamma$  визначаються наступним чином, для черв'яка з постійними геометричними розмірами нарізки:

Значення коефіцієнтів прямого потоку  $\alpha$ , зворотного потоку  $\beta$  та потоку витоку  $\gamma$  для черв'яка зі змінною глибиною нарізки визначаються таким чином:

$$\alpha = \frac{\pi^3 (t - \lambda e) c}{a + t^2 b} = \frac{3,14^3 \cdot (0,082 - 1 \cdot 0,01) \cdot 121,7}{6,9 \cdot 10^6 + 0,082^2 \cdot 9,54 \cdot 10^7} = 3,61 \cdot 10^{-5} M^3$$

$$\beta = \frac{\pi t (t - \lambda e)}{12 l_0 (a + t^2 b)} = \frac{3,14 \cdot 0,082 \cdot (0,082 - 1 \cdot 0,01)}{12 \cdot 0,27 \cdot (6,9 \cdot 10^6 + 0,082^2 \cdot 9,54 \cdot 10^7)} = 7,6 \cdot 10^{-10} M^3$$

$$\gamma = \frac{\pi^2 D \delta^3 t^2}{10 e l_0 \sqrt{\pi^2 D^2 + t^2}} = \frac{3,14^2 \cdot 0,09 \cdot 0,00024^3 \cdot 0,082^2}{10 \cdot 0,010 \cdot 0,27 \cdot \sqrt{3,14^2 \cdot 0,09^2 + 0,082^2}} = 1,04 \cdot 10^{-11} M^3$$

де  $c$ ,  $a$ ,  $b$  – коефіцієнти, що характеризують шнек зі змінною глибиною нарізки:

$$c = 1 - \frac{6,9D}{2(h_2 - h_3)} \lg \left( \frac{h_2}{h_3} \right) + \frac{D^2}{2h_2 h_3} = 1 - \frac{6,9 \cdot 0,09}{2 \cdot (0,01 - 0,0028)} \lg \left( \frac{0,01}{0,0028} \right) + \frac{0,09^2}{2 \cdot 0,01 \cdot 0,0028} = 121,7;$$

$$a = \frac{\pi^2}{h_2 h_3} \left( \frac{D(h_2 + h_3)}{2h_2 h_3} - 1 \right) = \frac{3,14^2}{0,01 \cdot 0,0028} \cdot \left( \frac{0,09 \cdot (0,01 + 0,0028)}{2 \cdot 0,01 \cdot 0,0028} - 1 \right) = 6,9 \cdot 10^6 M^{-2},$$

$$b = \frac{2,3}{(h_2 - h_3)D^3} \lg \left( \frac{h_2(D + d_3)}{h_3(D + d_1)} \right) + \frac{2h_2h_3 + (h_2 + h_3)D}{2D^2h_2^2h_3^2} = \frac{2,3}{(0,01 - 0,0028) \cdot 0,09^3} \cdot \lg \left( \frac{0,01 \cdot (0,09 + 0,084)}{0,0028 \cdot (0,09 + 0,064)} \right) + \frac{2 \cdot 0,01 \cdot 0,0028 + (0,01 + 0,0028) \cdot 0,09}{2 \cdot 0,09^2 \cdot 0,01^2 \cdot 0,0028^2} = 9,54 \cdot 10^7 \text{ м}^{-4}$$

де  $D$  – зовнішній діаметр черв'яка,

$h_3$  – глибина каналу в зоні дозування,

$t$  – крок гвинтової лінії (нарізки) черв'яка,

$\lambda$  – число заходів гвинтової нарізки (приймаємо  $\lambda = 1$ )

$e$  – товщина гребеня нарізки черв'яка,

$l_0$  – довжина зони дозування,

$\delta$  – висота зазору між черв'яком та корпусом,

$d_1$  – діаметр вала черв'яка під завантажувальною воронкою,

$d_3$  – діаметр вала черв'яка в зоні дозування,

$d_2$  – діаметр вала черв'яка на початку зони стиснення

$$d_2 = D - 2h_2 = 0,09 - 2 \cdot 0,01 = 0,07 \text{ м}$$

де  $h_2$  – глибина гвинтового каналу в зоні стиснення:

$$h_2 = h_1 - \frac{h_1 - h_3}{L} L_0 = 0,013 - \frac{0,013 - 0,0028}{2,572} \cdot 0,754 = 0,01 \text{ м}$$

$$L_0 = L - L_{\text{ст}} = 2,572 - 1,818 = 0,754 \text{ м}$$

де  $L$  – загальна довжина черв'яка,

$L_{\text{ст}}$  – довжина зони стискання черв'яка.

Вагова продуктивність розраховується, знаючи об'ємну продуктивність

$$\Pi = 3600 \cdot Q \cdot \rho \cdot 10^{-9} = 3600 \cdot 2,31 \cdot 10^{-5} \cdot 788,7 = 65,52 \text{ [кг/год]},$$

де  $\rho$  – густина розплаву полімеру при температурі переробки  $t$  (на виході з екструдера). Приймається залежно від перероблюваного матеріалу за таблицями, наведеними в кінці файлу, температуру переробки приймаємо для ПЕВГ листів  $t = 200^\circ \text{ С}$  [1].

### 5.3 Розрахунок перепаду тиску у формуючій головці

Розрахунок перепаду тиску в екструзійній головці виконується наступним чином:

1. розраховується швидкість зсуву  $\dot{\gamma}_i$  для простих ділянок головки, аналогічно до знаходження коефіцієнтів геометричної форми головки  $K_i$  [9];

Коефіцієнт  $K_1$  (решітка) :

$$\dot{\gamma}_1 = \frac{32Q}{\pi d_0^3} = \frac{32 \cdot 230753}{3,14 \cdot 40^3} = 36,7 \text{ c}^{-1}$$

Коефіцієнт  $K_2$  (круглий конічний з великим діаметром на виході) :

$$\dot{\gamma}_2 = \frac{256Q}{\pi(d_1^3 + d_2^3)} = \frac{256 \cdot 230753}{3,14 \cdot (90^3 + 30^3)} = 24,9 \text{ c}^{-1}$$

Коефіцієнт  $K_3$  (круглий конічний з великим діаметром на виході) :

$$\dot{\gamma}_3 = \frac{256Q}{\pi(d_2^3 + d_3^3)} = \frac{256 \cdot 230753}{3,14 \cdot (30^3 + 14^3)} = 632,5 \text{ c}^{-1}$$

Коефіцієнт  $K_4$  (плоский щілинний) :

$$\dot{\gamma}_4 = \frac{6Q}{bh_1^2} = \frac{6 \cdot 230753}{400 \cdot 14^2} = 17,6 \text{ c}^{-1}$$

Коефіцієнт  $K_5$  (щілинний клиноподібний) :

$$\dot{\gamma}_5 = \frac{11,2Q}{b(h_1 + h_3)^2} = \frac{11,2 \cdot 230753}{400 \cdot (14 + 3)^2} = 22,35 \text{ c}^{-1}$$

Коефіцієнт  $K_6$  (плоский щілинний) :

$$\dot{\gamma}_6 = \frac{6Q}{bh_3^2} = \frac{6 \cdot 230753}{400 \cdot 3^2} = 384,6 \text{ c}^{-1}$$

2. визначається ефективна в'язкість  $\mu_i$ , [Па·с] – за графіками для матеріалів;

$$\mu_{\text{ef1}} = 2800 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\mu_{\text{ef2}} = 3200 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\mu_{\text{ef3}} = 320 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\mu_{\text{ef4}} = 4200 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\mu_{ef5} = 3500 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\mu_{ef6} = 480 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

3. за попередньо знайденими продуктивністю і коефіцієнтом геометричної форми за формулою  $\Delta P_i = \frac{Q \cdot \mu_i}{K_i}$  розраховують перепад тиску на простих ділянках головки;

Перепад тиску каналу решітка:

$$\Delta P_1 = \frac{Q \cdot \mu_1}{K_1} = \frac{230753 \cdot 2800}{82537} = 78,3 \text{ кПа}$$

Перепад тиску каналу круглий конічний з великим діаметром на виході:

$$\Delta P_2 = \frac{Q \cdot \mu_2}{K_2} = \frac{230753 \cdot 3200}{1768,7} = 4174,9 \text{ кПа}$$

Перепад тиску каналу круглий конічний з великим діаметром на виході:

$$\Delta P_3 = \frac{Q \cdot \mu_3}{K_3} = \frac{230753 \cdot 320}{65,4} = 11290,7 \text{ кПа}$$

Перепад тиску каналу плоский щілинний:

$$\Delta P_4 = \frac{Q \cdot \mu_4}{K_4} = \frac{230753 \cdot 4200}{831,5} = 11655,6 \text{ кПа}$$

Перепад тиску каналу щілинний клиноподібний:

$$\Delta P_5 = \frac{Q \cdot \mu_5}{K_5} = \frac{230753 \cdot 3500}{461,2} = 17511,6 \text{ кПа}$$

Перепад тиску каналу плоский щілинний:

$$\Delta P_6 = \frac{Q \cdot \mu_6}{K_6} = \frac{230753 \cdot 480}{111,25} = 9956,6 \text{ кПа}$$

4. Загальна сума значення  $\Delta P_i$  для знаходження загального перепаду тиску в головці  $\Delta P$ .

$$\begin{aligned} \Delta P &= \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 + \Delta P_4 + \Delta P_5 + \Delta P_6 = \\ &= 78,3 + 4174,9 + 11290,7 + 11655,6 + 17511,6 + 9956,1 = 54667,1 \text{ кПа} \end{aligned}$$

Розрахований загальний перепад тиску, який дорівнює  $\Delta P = 54667,1 \text{ кПа}$

## 5.4 Розрахунок потужності двигуна черв'ячної машини

### Методика виконання завдання

Знання споживаної черв'ячною машиною потужності необхідне для розрахунку енергетичних витрат за виробництво виробів. При усталеному режимі екструзії, величина споживаної потужності є показником стабільності процесу. Зазвичай контроль ведуть за потужністю, яка споживається приводом.

Потужність, споживана екструдером ( $N$ , Вт) для переробки пластичних мас, йде на переміщення матеріалу в гвинтовому каналі черв'яка ( $N_1$ ) і на зріз матеріалу в зазорі між гребенем черв'яка і внутрішньою стінкою циліндра або гільзи ( $N_2$ ).

Потужність, що витрачається на переміщення матеріалу в гвинтовому каналі, для черв'яка зі змінною глибиною нарізки

$$N_1 = \frac{\pi^3(t-e)LJ\mu_{\text{эф1}}}{t} n^2 + \alpha \cdot \Delta P \cdot n =$$

$$= \frac{3,14^3 \cdot (0,082 - 0,01) \cdot 2,572 \cdot 0,307 \cdot 3200}{0,082} \cdot 0,64^2 + 3,61 \cdot 54667128 \cdot 0,64 = 29252 \text{ Вт}$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт прямого потоку, мЗ,

$\Delta P$  – загальний перепад тиску в головці, Па,

$n$  – швидкість обертання черв'яка, с-1,

$\mu_{\text{эф}}$  – визначається ефективна в'язкість  $\mu_i$ , [Па·с] – за графіками для матеріалів,

$J$  – коефіцієнт, м<sup>2</sup>

$$J = \frac{\pi^2 D^2 - 4t^2}{\pi^2} + \frac{(D + d_3)^3 - (D + d_2)^3}{3(d_3 - d_2)} + \frac{2,3\pi^2 D^5 \ln \frac{h_2}{h_3}}{(t^2 + \pi^2 D^2)(h_2 - h_3)} =$$

$$= \frac{3,14^2 \cdot 0,09^2 - 4 \cdot 0,082^2}{3,14^2} + \frac{(0,09 + 0,084)^3 - (0,09 + 0,07)^3}{3 \cdot (0,084 - 0,07)} +$$

$$+ \frac{2,3 \cdot 3,14^2 \cdot 0,09^5 \cdot \ln \frac{0,01}{0,0028}}{(0,082^2 + 3,14^2 \cdot 0,09^2)(0,01 - 0,0028)} = 0,307 \text{ м}^2$$

де  $d_2$  – діаметр вала черв'яка на початку зони стиснення

$$d_2 = D - 2h_2 = 0,09 - 2 \cdot 0,01 = 0,07 \text{ м},$$

де  $h_2$  – глибина гвинтового каналу в зоні стиснення:

$$h_2 = h_1 - \frac{h_1 - h_3}{L} L_0 = 0,013 - \frac{0,013 - 0,0028}{2,572} 0,754 = 0,01 \text{ м},$$

$$L_0 = L - L_{\text{ст}} = 2,572 - 1,818 = 0,754 \text{ м}$$

де  $L$  – загальна довжина черв'яка,

$L_{\text{ст}}$  – довжина зони стискання черв'яка.

Потужність, що витрачається на зріз матеріалу в зазорі між гребенем черв'яка і внутрішньою стінкою циліндра або гільзи, для черв'яка зі змінною глибиною нарізки

$$N_2 = \frac{\pi^3 D^3 e L \mu_{\text{эф}} n^2}{\delta t} = \frac{3,14^3 \cdot 0,09^3 \cdot 0,01 \cdot 2,572 \cdot 280}{0,00024 \cdot 0,082} \cdot 0,64^2 = 3383 \text{ Вт}$$

У вищенаведених формулах також фігурує ефективна в'язкість  $\mu_{\text{эф}1,2}$ , Па·с, що визначається за графічними залежностями для матеріалів залежно від швидкості зсуву  $\dot{\gamma}_{1,2}$ ,  $\text{с}^{-1}$ , наступним чином:

$$\begin{aligned} \dot{\gamma}_1 &= \frac{\pi^2 (D - h_{\text{cep}})(D - 2h_{\text{cep}})n}{h_{\text{cep}} \sqrt{\pi^2 (D - 2h_{\text{cep}})^2 + t^2}} = \\ &= \frac{3,14^2 (0,09 - 0,0064)(0,09 - 2 \cdot 0,0064) \cdot 0,64}{0,064 \cdot \sqrt{3,14^2 \cdot (0,09 - 2 \cdot 0,0064)^2 + 0,082^2}} = 24,8 \text{ с}^{-1}, \\ \dot{\gamma}_2 &= \frac{\pi^2 D^2 n}{\delta \sqrt{\pi^2 D^2 + t^2}} = \frac{3,14^2 \cdot 0,09^2 \cdot 0,64}{0,00024 \cdot \sqrt{3,14^2 \cdot 0,09^2 + 0,082^2}} = 723,7 \text{ с}^{-1}, \end{aligned}$$

Де

$$h_{\text{cep}} = \frac{(h_2 + h_3)}{2} = \frac{(0,01 + 0,0028)}{2} = 0,0064 \text{ м}.$$

Потужність, споживана екструдером для переробки пластичних мас

$$N = N_1 + N_2 = 29352 + 3383 = 32736 \text{ Вт}$$

Потужність двигуна  $N_{\text{дв}}$  приводу екструдера повинна бути вищою на величину ККД = 0,4...0,6, щоб компенсувати невраховані втрати: на подолання сил тертя, на механічні втрати в приводі екструдера та ін., тобто

$$N_{\text{дв}} = \frac{N}{0,4 \dots 0,6} = \frac{32736}{0,5} = 65472 \text{ Вт} = 65 \text{ кВт}$$

За знайденою потужністю, обираємо для приводу екструдера електродвигун постійного струму 4A250S2УЗ потужністю 75 кВт, який має ККД – 91%.

## 5.5 Розрахунки на міцність

### 5.5.1 Розрахунок на міцність

Метою розрахунку черв'яка є визначення його працездатності.

Базовий варіант розрахункової схеми черв'яка зображено на рис. 5.10. Першу точку опори прийнято на кінці хвостовика, а другу – в точці переходу гвинтової нарізки в циліндричну частину, яка працює як підшипник ковзання і зношується менше, ніж зовнішні поверхні витків черв'яка [9].

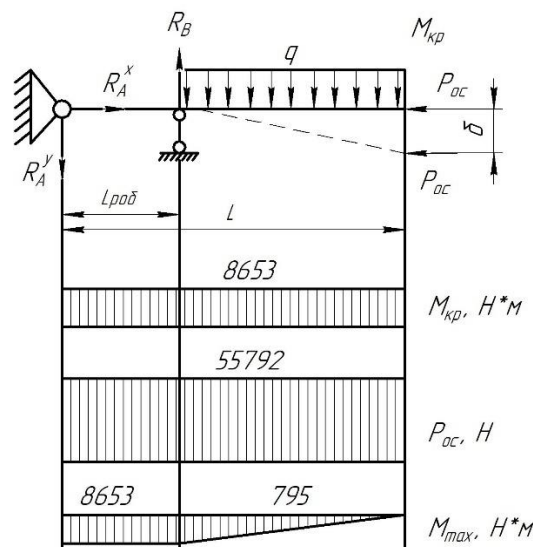


Рисунок 5.10 Розрахункова схема черв'яка

Крутний момент (Н·м) становить

$$M_{\text{кр}} = \frac{30N}{\pi n} = \frac{30 \cdot 34778}{3,14 \cdot 38,4} = 8653 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

де  $N$  – потужність, яка споживається черв'яком, Вт;  $n$  – швидкість обертання черв'яка, об/хв.

Осьове зусилля

$$P_{\text{ос}} = \frac{2M_{\text{кр}}}{D} \text{tg} \varphi = \frac{2 \cdot 8653}{0,09} \cdot \text{tg}(16,18) = 55792 \text{ Н}$$

де  $D$  – зовнішній діаметр черв'яка, м;  $\varphi$  – кут підйому нарізки

Розподілене навантаження від власної ваги черв'яка (Н/м)

$$q = \frac{9,8G}{l_p} = \frac{9,8 \cdot 72}{2,25} = 314 \text{ Н / м}$$

де  $G$  – маса черв'яка, кг,  $l_p$  – довжина робочої частини, м.

$$G = \frac{\pi(D-d_0)^2}{4} \rho l_p = \frac{3,14 \cdot (0,09 - 0,018)^2}{4} 7850 \cdot 2,25 = 72 \text{ кг}$$

$d_0$  – діаметр каналу для охолодження, м.

$$d_0 = (0,15 \dots 0,25) \cdot D = (0,15 \dots 0,25) \cdot 0,09 = 0,018 \text{ м}$$

$\rho = 7850 \text{ кг/м}^3$  для сталі 38ХН3МА [21].

Стискальне напруження в тілі черв'яка виникає від осьової сили та згинального моменту, спричиненого його вагою. Перша складова напруження рівномірна по перерізу, а друга змінюється від розтягувальної у верхній частині перерізу до стискальної в нижній. Тому величина стискального напруження має найбільше значення на нижніх волокнах і розраховується за формулою

$$\sigma_{cm} = \frac{p_{oc}}{F} + \frac{M_{max}}{W_x} = \frac{55792}{2,96 \cdot 10^{-3}} + \frac{795}{2,56 \cdot 10^{-5}} = 49842875 \text{ Па} = 49,8 \text{ МПа}$$

де  $F$  – площа небезпечного перерізу (під завантажувальною лійкою, у місці початку нарізки, де найбільші навантаження та найменша площа, без урахування площі перерізу витків),  $\text{м}^2$

$$F = \frac{\pi d_1^2}{4} (1 - \alpha^2) = \frac{3,14 \cdot 0,064^2}{4} (1 - 0,28^2) = 2,96 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

$\alpha = d_0 / d_1 = 0,018 / 0,064 = 0,28$  (м),  $d_1$  – діаметр осердя в зоні завантаження, м;

$M_{max}$  – максимальний згинальний момент від власної ваги (у місці початку нарізки), Н·м,

$$M_{max} = \frac{1}{2} q l_p^2 = \frac{1}{2} \cdot 314 \cdot 2,25^2 = 795 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$W_x$  – осьовий момент опору,  $\text{м}^3$

$$W_x = \frac{\pi d_1^3 (1 - \alpha^4)}{32} = \frac{3,14 \cdot 0,064^3 \cdot (1 - 0,281^4)}{32} = 2,56 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$$

Дотичні напруження

$$\tau = \frac{M_{kp}}{W_p} = \frac{8653}{5,11 \cdot 10^{-5}} = 169255605 \text{ Па} = 169,3 \text{ МПа}$$

де  $W_p$  – полярний момент опору,  $\text{м}^3$

$$W_p = \frac{\pi d_1^3 (1 - \alpha^4)}{16} = \frac{3,14 \cdot 0,064^3 \cdot (1 - 0,281^4)}{16} = 5,11 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$$

Еквівалентне напруження за III теорією міцності

$$\sigma_{екв} = \sqrt{\sigma_{cm}^2 + 4\tau^2} = \sqrt{49,8^2 + 4 \cdot 169,3^2} = 342 \text{ МПа}$$

Коефіцієнт запасу не повинен перевищувати допустиме значення

$$n = \frac{\sigma_m}{\sigma_{екв}} \geq [n] = \frac{980}{342} = 2,86 \geq [2]$$

де  $\sigma_m$  – допустима величина текучості сталі,  $\sigma_m = 980$  МПа [9],  
допустимий коефіцієнт запасу  $[n]$  зазвичай беруть рівним 1,6...2,0,

### 5.5.2 Розрахунок на стійкість

Оскільки черв'як витримує згинальний момент від циклічної дії власної ваги, то доцільна його перевірка на тривкість

$$n_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{(k_\sigma)_d \sigma_a + \psi_\sigma \sigma_c} = \frac{432000000}{4,3 \cdot 31 + 0,25 \cdot 0} = 3245 \cdot 10^6$$

де  $n_\sigma$  – коефіцієнт запасу міцності під час циклічного навантаження;

$\sigma_{-1}$  – допустиме напруження під час циклічного навантаження:

$$\sigma_{-1} = 0,4 \cdot \sigma_\sigma = 0,4 \cdot 1080 = 432 \text{ МПа}$$

де  $\sigma_\sigma$  – границя міцності сталі,  $\sigma_\sigma = 1080$  МПа

$\sigma_a$  – амплітуда змінення напружень (у цьому випадку вони змінюються від  $+\sigma_{тах}$  до  $-\sigma_{тах}$ ;  $\sigma_{тах}$  – найбільше напруження від дії згинального моменту);

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W_x} = \frac{795}{2,56 \cdot 10^5} = 31 \text{ Па}$$

$\sigma_c$  – середнє циклове напруження ( $\sigma_c = 0$ , оскільки цикл симетричний);

$\psi_\sigma$  – коефіцієнт, що залежить від матеріалу (для сталей з  $\psi_\sigma = 0,25$ );

$(k_\sigma)_d$  – ефективний коефіцієнт концентрації напружень, який можна визначити за формулою

$$(k_\sigma)_d = \frac{k_\sigma}{\beta \varepsilon} = \frac{1,92}{1 \cdot 0,45} = 4,3$$

де  $k_\sigma$  – коефіцієнт концентрації напружень (для даного випадку

$k_{\sigma} = 1,9 - 2,0$ ;  $\beta$  – коефіцієнт, який враховує якість поверхні деталі, для полірованої поверхні черв'яка  $\beta = 1$ ;  $\varepsilon$  – коефіцієнт, який враховує розмір перерізу деталі, для деталей з легуваних сталей за наявності концентрації напружень значення, беремо  $\varepsilon = 0,45$ .

### 5.5.3 Розрахунок на жорсткість

Окрім розрахунку на міцність, черв'як також піддається перевірці на жорсткість. Основною метою такого аналізу є оцінка, чи відповідає прогин черв'яка допустимому конструкційному зазору. Особливе значення цей параметр має під час холостого ходу, адже при роботі екструдера канали черв'яка та зазори заповнюються розплавом під тиском, який мінімізує прогин і знижує тертя об корпус.

Полярний момент інерції перерізу,  $m^4$

$$I = \frac{\pi d_1^4}{64} (1 - \alpha^4) = \frac{3,14 \cdot 0,064^4}{64} (1 - 0,281^4) = 8,2 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4$$

Радіус інерції, м

$$i = \sqrt{\frac{I}{F}} = \sqrt{\frac{8,2 \cdot 10^{-7}}{2,96 \cdot 10^{-3}}} = 0,017 \text{ м}$$

Ступінь жорсткості

$$\lambda = \frac{\mu l_p}{i} = \frac{2 \cdot 2,25}{0,017} = 265$$

де  $\mu$  – коефіцієнт замурування (у цьому випадку  $\mu = 2$ ).

Якщо  $\lambda \leq 50$ , то найбільший прогин черв'яка визначають як для жорсткої балки

Якщо  $\lambda > 50$ , то черв'як вважають нежорстким і перевіряють на найбільший прогин за формулою

$$\delta_p = \frac{1}{EI} \left[ \frac{q}{k^2} \left( \frac{1}{k^2} \left( \frac{1}{k^2} + \frac{l_p^2}{2} \right) \right) - \frac{1}{k} \left( \frac{q}{k^3} - Al_p \right) \cos(kl_p) - \frac{1}{k^2} \left( \frac{ql_p}{k} - A \right) \sin(kl_p) \right] =$$

$$= \frac{1}{2,718 \cdot 8,2 \cdot 10^{-7}} \cdot \left[ \frac{314}{158412^2} \left( \frac{1}{158412^2} \left( \frac{1}{158412^2} + \frac{2,25^2}{2} \right) \right) - \frac{1}{158412} \left( \frac{314}{158412^3} - 3,6 \cdot 10^{-2} \cdot 2,25 \right) \right] \cdot \cos(158412 \cdot 2,25) - \frac{1}{158412^2} \left( \frac{314 \cdot 2,25}{158412} - 3,6 \cdot 10^{-2} \right) \cdot \sin(158412 \cdot 2,25) \Bigg] =$$

$$= 0,04 \text{ м}$$

де

$$k = \sqrt{\frac{P_{oc}}{EI}} = \sqrt{\frac{55792}{2,718 \cdot 8,2 \cdot 10^{-7}}} = 158412;$$

$$A = \frac{q \left( l_p - \frac{1}{k} \sin(kl_p) \right)}{k \cos(kl_p)} = \frac{314 \cdot \left( 2,25 - \frac{1}{158412} \cdot \sin(158412 \cdot 2,25) \right)}{158412 \cdot \cos(158412 \cdot 2,25)} = 1,6 \cdot 10^{-2}.$$

На початковій стадії проектного розрахунку черв'як можна вибирати з урахуванням дії крутного моменту та осьового зусилля. Після розрахунку геометричних параметрів проводиться повний розрахунок черв'яка.

Для більш точного обчислення силових факторів, що діють на черв'як, враховується позacentровий характер осьового зусилля, що виникає від прогину кінця черв'яка  $\delta_p$

$$\sigma = \frac{P_{oc}}{F} \left( 1 + \frac{\delta_p F}{I} d_1 \right) + \frac{M_{max}}{W_x} = \frac{55792}{2,96 \cdot 10^{-3}} \left( 1 + \frac{0,04 \cdot 2,96 \cdot 10^{-3}}{8,2 \cdot 10^{-7}} \cdot 0,064 \right) + \frac{795}{2,56 \cdot 10^{-5}} =$$

$$224083238 \text{ Па} = 224,1 \text{ МПа}$$

Еквівалентне напруження за III теорією міцності

$$\sigma_{екв} = \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} = \sqrt{224,1^2 + 4 \cdot 169,3^2} = 406 \text{ МПа}$$

Коефіцієнт запасу не повинен перевищувати допустиме значення

$$n = \frac{\sigma_m}{\sigma_{екв}} \geq [n] = \frac{980}{406} = 2,41 \geq [2]$$

де  $\sigma_m$  – допустима величина текучості сталі,  $\sigma_m = 980$  МПа [5].  
допустимий коефіцієнт запасу  $[n]$  зазвичай беруть рівним 1,6...2,0.

## 5.6 Тепловий розрахунок

В основі переробки полімерних матеріалів виробу лежать складні теплові процеси. Правильне уявлення про тепловий баланс процесу переробки, тобто про рівність теплоти, що підводиться і відводиться, дозволяє встановити найбільш оптимальні режими переробки, можливість зрозуміти вплив технологічних параметрів на продуктивність обладнання та якість готової продукції, отримати дані для економічних розрахунків [2].

Для проведення теплового розрахунку необхідне знання теплофізичних властивостей полімерів.

До них відносяться:

- 1) коефіцієнт температуропровідності  $\alpha$ , м<sup>2</sup>/с;
- 2) коефіцієнт теплопровідності  $\lambda$ , кДж/м·ч·С;
- 3) теплоємність  $C$ , кДж/кг·С;
- 4) щільність розплаву полімеру  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>.

Тепловий баланс екструдера визначається рівнянням:

$$E_n + E_{ш} = E_m + E_o + E_{п} = (11,1) + 26,9 = 7,6 + 18,4 + 12 = [38 = 38] \text{ кВт}$$

де  $E_n$  - теплота, що надходить від зовнішніх обігрівачів, кВт;

$E_{ш}$  – теплота, що виділяється під час роботи шнека (так званий дис-сипативний нагрівання – внутрішня теплота тертя), кВт;

$E_m$  – теплота, що йде з нагрітим матеріалом, кВт;

$E_o$  – теплота, що забирається системою охолодження (водою, повітрям та ін), кВт;

$E_{п}$  – втрати тепла у довкілля, через кожух екструдера, кВт.

З рівняння теплового балансу можна розрахувати кількість теплоти, яку необхідно підвести до екструдера через систему обігріву отримуємо:

$$E_n = E_m + E_o + E_{п} - E_{ш} = 7,6 + 18,4 + 12 - 11,1 = 26,9 \text{ кВт}$$

Складові рівняння балансу визначаються так:

$$E_m = G_m \cdot c_m \cdot (t_k - t_n) = 0,018 \cdot 2,346 \cdot (200 - 20) = 7,6 \text{ кВт}$$

де  $G_m$  – кількість матеріалу, що переробляється, кг/с;

$c_m$  - питома теплоємність полімеру, кДж/(кг·К);

$t_k, t_n$  - кінцева та початкова температура полімеру, К.

$$G_m = \frac{Q}{3600} = \frac{65,52}{3600} = 0,018 \text{ кг/с}$$

де  $Q$  – масова продуктивність екструдера, кг/год.

$$E_o = G_m \cdot c_m (t_{e2} - t_{e1}) = 0,018 \cdot 4,18 \cdot (25 - 20) = 18,4 \text{ кВт}$$

де  $c_m$  – питома теплоємність води, кДж/(кг·К);

$t_{e2}, t_{e1}$  - кінцева та початкова температури води, С.

Кількість води  $G_6$ , що надходить на охолодження шнека, кг/с:

$$G_6 = \rho F v = 997 \cdot 0,000314 \cdot 0,7 = 0,22 \text{ кг/с}$$

де  $\rho$  – щільність води, кг/м<sup>3</sup>;

$F$  – площа поперечного перерізу, м<sup>2</sup>;

$v$  – швидкість течії води, м/с.

$$F = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,02^2}{4} = 0,000314 \text{ м}^2$$

де  $d$  - діаметр трубки в тілі шнека, м.

$$E_{II} = F_k \alpha (t_{II} - t_c) = 1,51 \cdot 0,029 (300 - 25) = 12 \text{ кВт}$$

$$F_k = \pi d_k L_k = 3,14 \cdot 0,13 \cdot 3,7 = 1,51$$

$$\alpha = (9,74 + 0,07 \Delta t) 10^{-3} = (9,74 + 0,07 \cdot 275) \cdot 10^{-3} = 0,029 \text{ кВт/м}^2 \cdot \text{К}$$

$$\Delta t = t_n - t_c = 300 - 25 = 275 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$L_k = L = 3,7 \text{ м}$$

де  $F_k$  - площа зовнішньої поверхні корпусу екструдера;

$\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі, кВт/(м<sup>2</sup>·С);

$t_n$  – температура зовнішньої поверхні ізольованого корпусу; С;

$t_c$  – температура довкілля, °С;

$d_k$  – діаметр корпусу із ізоляцією, м;

$L_k$  - довжина корпусу, м.

$$E_{III} = \left( \frac{\pi^3 D^3 \eta_1 L_n}{h_3} + \frac{QP}{\cos^2 \varphi} + \frac{\pi^2 D^2 n^2 \eta_2 e L_n}{\delta \operatorname{tg} \varphi} \right) 9,8 \cdot 10^{-10} =$$
$$= \left( \frac{3,14^3 \cdot 9^3 \cdot 24,8 \cdot 128,6}{0,28} + \frac{65,52}{\cos^2 16,18} + \frac{3,14^2 \cdot 9^2 \cdot 38,4^2 \cdot 723,7 \cdot 0,01 \cdot 128,6}{0,024 \cdot \operatorname{tg} 16,18} \right) \cdot 9,8 \cdot 10^{-10} = 11,1 \text{ кВт}$$

де  $D$  - Діаметр шнека, см;

$n$  – частота обертання шнека, об/с;

$P$  – тиск у циліндрі, Па;

$\eta_1$  – в'язкість розплаву полімеру у спіральному каналі шнека, Па·с;

$\eta_2$  – в'язкість розплаву полімеру в зазорі між гребенем шнека та стінкою циліндра, Па·с;

$h_3$  – глибина нарізки каналу напірної частини шнека, см

$\varphi$  – кут підйому гвинтової нарізки шнека, град;

$e$  – ширина гребеня витка, см;

$\delta$  – величина зазору між гребенем шнека та циліндром, см.

Довжина напірної зони шнека  $L_n$ , див:

$$L_n = (0,4 \dots 0,6)L = 0,5 \cdot 257,2 = 128,6 \text{ см}$$

де  $L$  - довжина шнека, см;

$$Q_o = \frac{1000Q}{3600\rho_p} = \frac{1000 \cdot 65,52}{3600 \cdot 788,7} = 0,023 \text{ см}^3 / \text{с}$$

де  $Q_o$  - об'ємна продуктивність екструдера, см<sup>3</sup>/с;

$Q$  – масова продуктивність екструдера, кг/год;

$\rho_p$  – щільність розплаву полімеру, г/см<sup>3</sup>.

Для підводу даної кількості тепла пропоную встановити 6 нагрівачів потужністю 4,5 кВт.

## Висновок

Проведено ряд розрахунків: параметричний, продуктивності екструдера, потужності привода, на міцність та на стійкість, тепловий, розрахунок на жорсткість, теплопередача, розрахунок коефіцієнта геометричної форми та тиску формуючої головки, геометрії шнека.

## **6 Монтаж і експлуатація, стартап, охорона праці.**

### **6.1 Монтаж і експлуатація**

Даний розділ спрямований на вдосконалення технологічного процесу виробництва. Він включає аналіз інструментального механізму для компонентів, таких як редуктор, та процесу виготовлення його складових частин. У межах цього дослідження розробляється технологія проектування деталей редуктора, що охоплює відбір необхідних допусків, підбір обладнання та інструментів для кожної операції, а також розрахунок методу обробки, сили різання та термінів виготовлення.

Редуктор використовується для передачі крутного моменту та зміни швидкості обертання в системі, забезпечуючи ефективну роботу всіх механізмів. Його конструкція дозволяє використовувати високопродуктивне обладнання для виготовлення складних і точних компонентів. У даному випадку застосовується сталь марки 40X, яка забезпечує високу зносостійкість та міцність.

Отже, на основі викладеного можна зробити висновок, що редуктор працює під значними навантаженнями, не зазнає впливу агресивного середовища та має високу жорсткість. Матеріал деталей редуктора відповідає всім вимогам і забезпечує його надійну працездатність у виробничих умовах. Конструкція редуктора складається з уніфікованих елементів дизайну, які забезпечують високий рівень точності та дозволяють використовувати стандартні інструменти й високопродуктивне обладнання для його виготовлення.



### 6.1.2 Специфікація креслення машини

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Наменування	Кіль-ть	Примітки
				Документація		
A1			ЛПЗ1мп.067243.001-70В3	Черв'ячний екструдер		
				Складальні одиниці		
		1	ЛПЗ1мп.067243.001.01-70	Завантажувальна горловина	1	
		2	ЛПЗ1мп.067243.001.02-70	Корпус	1	
		3	ЛПЗ1мп.067243.001.03-70	Черв'як	1	
		4	ЛПЗ1мп.067243.001.04-70	Кожух	1	
		5	ЛПЗ1мп.067243.001.05-70	Воронка	1	
		6	ЛПЗ1мп.067243.001.06-70	Головка	1	
		7	ЛПЗ1мп.067243.001.07-70	Редуктор	1	
		8	ЛПЗ1мп.067243.001.08-70	Канал охолодження	1	
		9	ЛПЗ1мп.067243.001.09-70	Нагрівач	2	
		10	ЛПЗ1мп.067243.001.10-70	Вентилятори	4	
<b>ЛПЗ1мп.067243.001-70СП</b>						
Зм.	Арк.	№ докцм.	Підп.	Дата		
Разроб.		Друченко В.С.			Літ.	Аркцш
Перев.		Шилович Т.Б.				Аркцшв
Н.контр.					1	
Затв.		Сокольський			КПІ ім. Ізгоря Сікорського ІХФ	

Формат А4

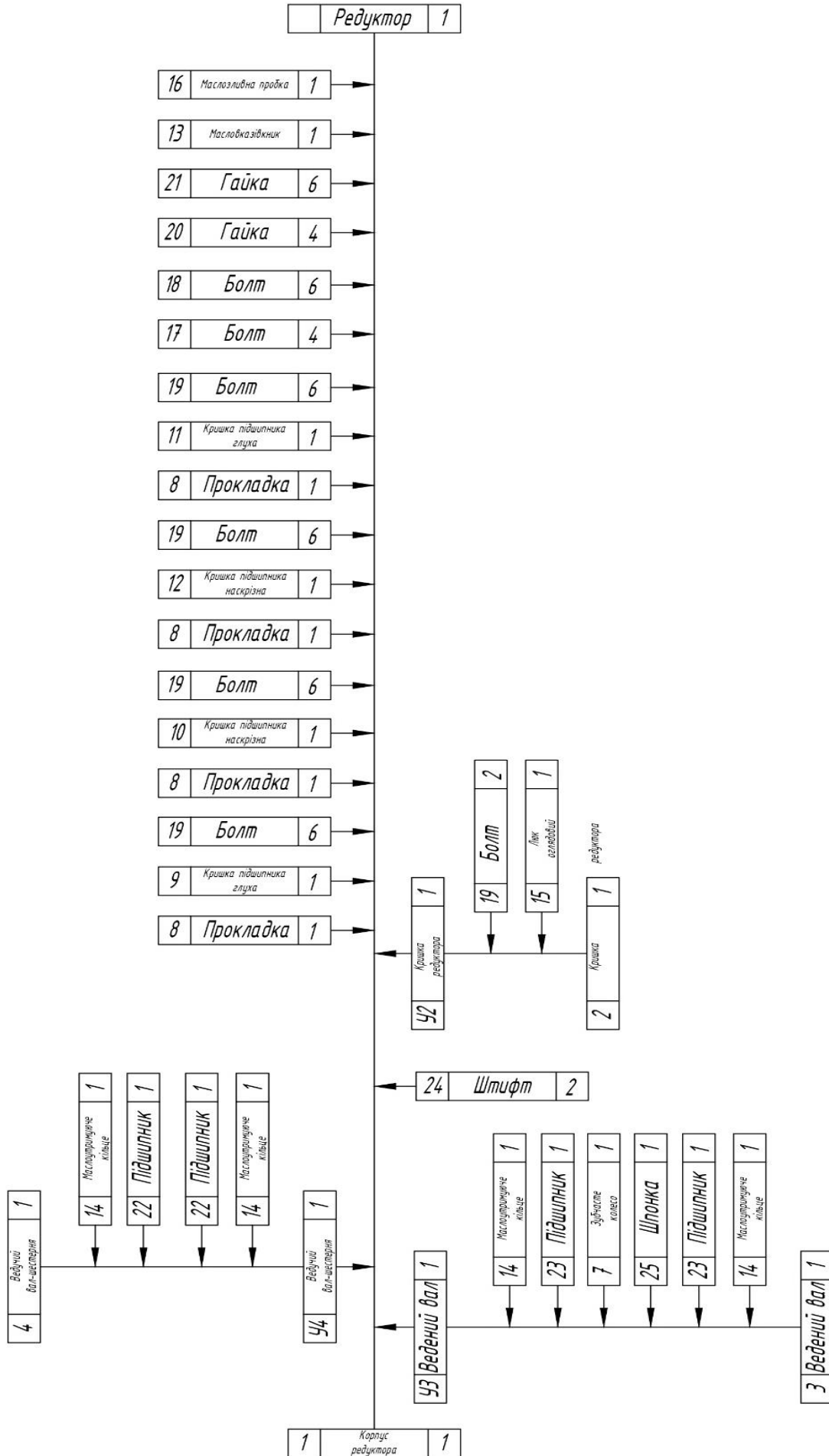


### 6.1.4 Специфікація креслення вузла

Формат	Зона	Поз.	Познака	Найменування	Кіл.	Примітка
				<u>Документація</u>		
			ЛПЗ1мп.067243.001.07СК	Редуктор		
				<u>Деталі</u>		
		1	ЛПЗ1мп.067243.001.07.01-70	Вал ведучий	1	
		2	ЛПЗ1мп.067243.001.07.02-70	Накривка підшипника	1	
		3	ЛПЗ1мп.067243.001.07.03-70	Втулка розпірна	1	
		4	ЛПЗ1мп.067243.001.07.04-70	Кільце стримуюче	1	
		5	ЛПЗ1мп.067243.001.07.05-70	Накривка підшипника глуха	1	
		6	ЛПЗ1мп.067243.001.07.06-70	Накривка підшипника глуха	1	
		7	ЛПЗ1мп.067243.001.07.07-70	Кільце стримуюче		
		8	ЛПЗ1мп.067243.001.07.08-70	Прокладка	1	
		9	ЛПЗ1мп.067243.001.07.09-70	Колесо зубчате циліндричне	1	
		10	ЛПЗ1мп.067243.001.07.10-70	Вал ведений	1	
		11	ЛПЗ1мп.067243.001.07.11-70	Масловказівник жезловий	1	
		12	ЛПЗ1мп.067243.001.07.12-70	Корпус редуктора	1	
		13	ЛПЗ1мп.067243.001.07.3-70	Накривна корпусу	1	
		14	ЛПЗ1мп.067243.001.07.14-70	Накривка підшипника	1	
		15	ЛПЗ1мп.067243.001.07.15-70	Люк	1	
		16	ЛПЗ1мп.067243.001.07.16-70	Прокладка	1	
		17	ЛПЗ1мп.067243.001.07.17-70	Корок		
				<u>Стандартні вироби</u>		
		19		Болт М8-6д x 108.58 ГОСТ 7798-70	4	
		20		Болт М8-6д x 38.58 ГОСТ 7798-70	2	
		21		Болт М8-6д x 80.58 ГОСТ 7798-70	2	
				<b>ЛПЗ1мп.067243.001.07-70СП</b>		
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		
Розроб.	Друченко				Літ.	Аркуш
Перев.	Шилович					1 2
Керівник					КПІ ім. Ігоря Сікорського	
Н.Конт.						
Затв.	Сокольський					
				<b>Редуктор</b>		



### 6.1.5 Схема збирання вузла



## 6.1.6 Операційна карта збирання вузла

Інд. № дубл.	Підпис і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підпис і дата												
<b>НТУУ «КПІ»</b>					<b>Операційна карта слюсарних, слюсарно-складальних та електромонтажних робіт</b>											
№ пеха	№ участ	№ опер	Найменування операції			Обладнання (найменування, модель)										
<b>Збирання редуктора</b>																
<b>Зміст переходу</b>					Технологічний режим	Кіл.	Пристосування (код та найменування)	Інструмент (код та найменування)	Т <sub>0</sub>							
1 Беремо вал вихідний 3 та запресовуємо шпонку 25, напресовуємо зубчасте колесо 7, напресовуємо масловідбійне кільце 14, напресовуємо підшипник 23. Вал у зборі встановлюємо в корпус редуктора 1.					вал вихідний 3	1										
					шпонка 25	1										
					зубчасте колесо 7	1										
					масловідбійне кільце 14	2										
					підшипник 23	2										
					корпус редуктора 1	1										
					2 Беремо вхідний вал-шестерню 4 напресовуємо масловідбійне кільце 14, напресовуємо підшипник 22. Вал у зборі встановлюємо в корпус редуктора 1.					вал-шестерня 4	1					
										масловідбійне кільце 14	2					
										підшипник 22	2					
					3 Встановити в корпус редуктора 1 у зборі штифти 24 та згодом встановити кришку редуктора 2 на штифти 24.					корпус редуктора 1	1					
штифт 24	2															
					кришка редуктора 2	1										
					Розроб.	Друченко В.С.			Арк.							
						Перевір.	Борщук С. О.			3						
					Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Н.контр.	Арк.

Інд. № дубл.	Підпис і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підпис і дата	Номер операції				
<b>Зміст переходу</b>									
Номер переходу					Технологічний режим	Кіл.	Присвоєння (код та найменування)	Інструмент (код та найменування)	T <sub>0</sub>
4	Встановити болти 17, 18 в кришку редуктора 2, встановити гайки 20, 21 на болти 17, 18.				корпус редуктора 1	1			
					болт 17	4			
					болт 18	6			
					кришка редуктора 2	1			
					гайка 20	4			
					гайка 21	6			
5	Встановити прокладку 8 та кришку глуху 9 в корпус редуктора 1, закрити гвинти 19 в кришку глуху 9.				прокладка 8	1			
					кришка глуха 9	1			
					корпус редуктора 1	1			
					гвинт 19	6			
6	Встановити прокладку 8 та кришку наскрізну 10 в корпус редуктора 1, закрити гвинти 19 в кришку наскрізну 10.				прокладка 8	1			
					кришка наскрізна 10	1			
					корпус редуктора 1	1			
	Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Н.контр.	Арк.	2	

Інд. № дубл.	Підпис і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підпис і дата	Номер операції								
<b>Зміст переходу</b>						Технологічний режим	Кіл.	Пристосування (код та найменування)	Інструмент (код та найменування)	Г <sub>0</sub>			
8	Встановити прокладку 8 та кришку глуху 11 в корпус редуктора 1, закрити гвинти 19 в кришку глуху 11.					гвинт 19 прокладка 8 кришка глуха 11 корпус редуктора 1 гвинт 19	6 1 1 1 6						
9	Встановити прокладку 8 та кришку наскрізну 12 в корпус редуктора 1, закрити гвинти 19 в кришку наскрізну 12.					прокладка 8 кришка наскрізна 12 корпус редуктора 1 гвинт 19	1 1 1 6						
10	Встановити лок 15 та закрити гвинти 19 в лок 15.					лок 15 гвинт 19	1 2						
11	Встановити пробку рівня 13.					пробка рівня 13	1						
12	Встановити маслозливну пробку 16.					маслозливна пробка 16	1			Арк			
		Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Н.контр.	3

### 6.1.7 Карта ескізів фундаменту і послідовного монтажу машини

Інд. №Підп.	Підпис та дата	Взнос. інв. №	Інд. №вдодл.	Підпис та дата	
<h2>Карта ескізів</h2>					
					Літера
					Номер операції
					Літера
					Номер операції

Студент	Друченко В.С.		
Консульт.	Борщук С.О.		
Прізвище І.Б.	Підп.	Дата	Листів

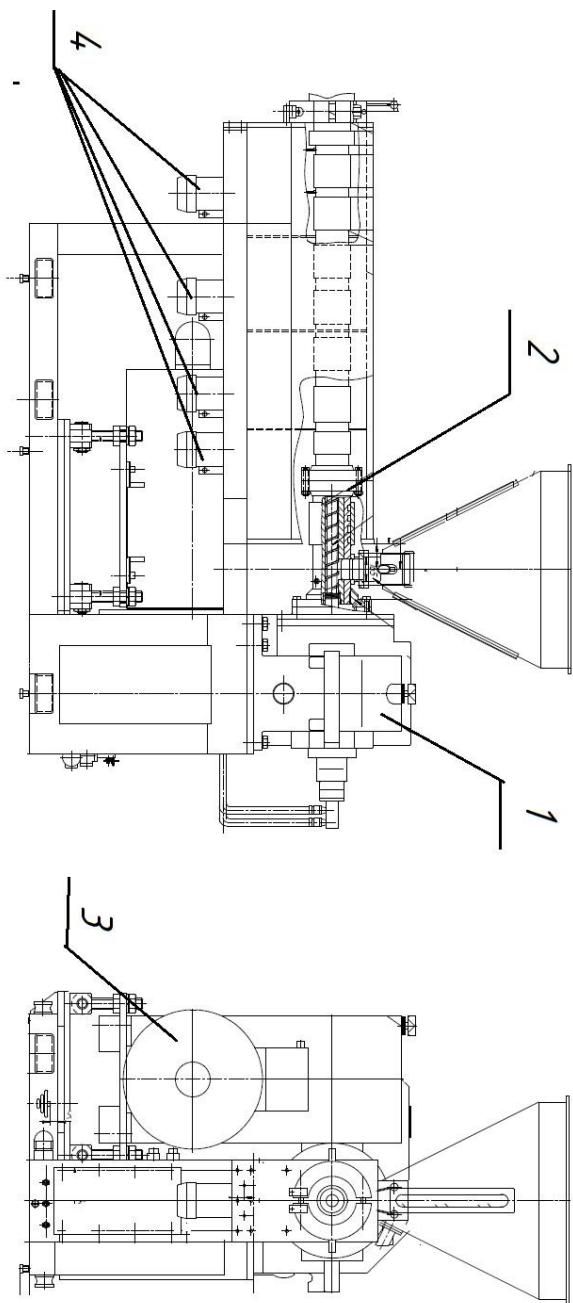
### 6.1.8 Операційна карта монтажу машини на фундаменті

Інв.№Підп.	Підпис та дата	Взюн.інв.№	Інв.№вдійл.	Підпис та дата											
Карта ескізів															
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">Номер операції</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px;">1</td> <td style="width: 20px;">2</td> <td style="width: 20px;">3</td> <td style="width: 20px;">4</td> <td style="width: 20px;">5</td> </tr> </table>					Номер операції					1	2	3	4	5	
Номер операції															
1	2	3	4	5											
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">Літера</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px;"> </td> <td style="width: 20px;"> </td> <td style="width: 20px;"> </td> <td style="width: 20px;"> </td> <td style="width: 20px;"> </td> </tr> </table>					Літера										
Літера															
Студент	Друченко В.С.	Консулт.	Борщук С.О.	Прізвище І.Б.	Підп.										
					Дата										
					Лист										
					Листів										





## 6.1.8 Схема змащування вузлів екструдера

Інв.№Підп.	Підпис та дата	Взон.Інв.№	Інв.№вдодл.	Підпис та дата																														
<b>Карта ескізів</b>																																		
																																		
<table border="1"> <tr> <td>літера</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="10" style="text-align: center;">Номер операції</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>					літера										Номер операції																			
літера																																		
Номер операції																																		
Студент	Друченко В.С.								Лист																									
Консульт.	Боршук С.О.								Листів																									
	Прізвище І.Б.	Підп.		Дата																														

## 6.1.9 Таблиця змащування екструдера

Таблиця 6.1 – Змащення

№	Змащуванні місця	Кількість точок змащення	Змазка	Метод Змащування	Періоди Змащування
1	Редуктор	5	Солідол М та мастило індустріальне 30, ГОСТ 20799-75	Підшипники редуктора  змащуються за допомогою  пресмастилок, для змащування зубчастих коліс мастило  заливається у порожнину редуктора крізь оглядове вікно	Перший раз після  місячної експлуатації, потім 1 раз в 6  місяців
2	Вузол опірною підшипника	3	Мастило ТАП -15  ГОСТ23652- 79	До місць змащування мастило потрапляє по системі вимушеного змащування від насоса типу 12С76- НМ	Перший раз після  місячної експлуатації, потім 1 раз в 4 місяці
3	Підшипники електродвигуна	Згідно інструкції заводу-виробника			
4	Підшипники вентиляторів	Згідно інструкції заводу-виробника			

## 6.2 Маркетинг стартап-проекту

### 6.2.1 Опис ідеї проекту

Стартап FlexTech PEHD спрямований на виробництво полімерної плівки з поліетилену високої густини (ПЕВГ) з використанням вдосконаленої технології охолодження та сучасних методів контролю якості. Основна мета — створення високоякісної, стійкої до деформацій плівки, яка відповідає вимогам сучасного ринку завдяки рівномірному охолодженню, оптимізації технологічного процесу та зниженню витрат на виробництво.

Ідея полягає у впровадженні інноваційної системи охолодження, яка забезпечує рівномірне охолодження плівки, що значно знижує ризик деформацій і покращує механічні властивості кінцевого продукту. Такі плівки мають широкий спектр застосування: у пакувальній промисловості, виробництві будівельних матеріалів, агросекторі та інших сферах, де необхідна міцна і стійка до зовнішніх впливів полімерна продукція.

Компанія «FlexTech PEHD» зосередиться на впровадженні новітніх технологій, які забезпечать підвищення продуктивності виробництва та зниження енергоспоживання. Це дозволить пропонувати конкурентоспроможний продукт високої якості за доступною ціною.

Окрім технічних переваг, стартап акцентуватиме увагу на екологічних аспектах виробництва, сприяючи зниженню кількості відходів і покращенню екологічної ситуації за рахунок ефективного використання ресурсів. Ідея має потенціал не лише створити успішний бізнес, але й забезпечити стабільне зростання у сфері виробництва полімерних матеріалів.

Комерціалізація: Реалізація продукції планується через прямий продаж компаніям, встановлення партнерських відносин із великими дистриб'юторами та активну участь у галузевих виставках для залучення клієнтів і партнерів.

Таблиця 6.2.1 – Опис ідеї стартап-проекту

<i>Зміст ідеї</i>	<i>Напрямки застосування</i>	<i>Опис напрямку</i>
<p>Стартап FlexTech PENDING спрямований на виробництво полімерної плівки з ПЕВГ, яка вирізняється широким асортиментом, включаючи стандартні та спеціалізовані варіанти для пакування, будівництва та агросектору. Продукція відзначається високою якістю завдяки впровадженню сучасних методів контролю та рівномірному охолодженню під час виробництва. Оптимізація процесу дозволяє зменшити витрати на виробництво, забезпечуючи конкурентоспроможність. Доступність на ринку досягається через партнерство з дистриб'юторами, прямі продажі та маркетингові активності. Ключовою інновацією є модернізована система охолодження, яка підвищує якість плівки та розширює її застосування.</p>	1. Пакувальна промисловість:	Виробництво міцної, гнучкої упаковки для продуктів харчування, промислових товарів та побутової хімії.
	2. Будівельна галузь	Виготовлення гідроізоляційних плівок для захисту будівельних конструкцій від вологи, пилу та механічних пошкоджень.
	3. Агросектор	Виробництво агроплівки для теплиць, мульчування ґрунту та захисту врожаю від несприятливих погодних умов.
	4. Логістика та транспорт	Використання для створення захисних плівок, що застосовуються при транспортуванні великогабаритних товарів та обладнання.
	5. Медична галузь	Виробництво стерильних пакувальних матеріалів для медичних приладів і витратних матеріалів.
	6. Електроніка	Захисна плівка для електронних пристроїв, що запобігає механічним пошкодженням і впливу електростатичних зарядів.

Цей проект також сприяє зменшенню негативного впливу на довкілля шляхом оптимізації використання ресурсів і підвищення екологічної відповідальності виробництва.

У сучасному світі інновацій та стартапів ключовим етапом на шляху до успіху є оцінка сильних, слабких і нейтральних характеристик проектної ідеї. Проведення техніко-економічного аналізу, зіставлення з конкурентами та виявлення ключових аспектів, зображених у таблиці 6.2.2, допомагають глибше усвідомити потенціал проекту та виклики, які можуть виникнути під час його реалізації [17].

Таблиця 6.2.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту.

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	Концепція конкурентів				W	N	S
		Мій проект («FlexTech PEHD»)	«Plastchim Ua»	«Полімер»	«Micron»			
1	Асортимент продукції	Поліетиленова плівка з ПЕВГ, полімерні мішки, гідроізоляційні полімерні мембрани	Плівки ВОРР, Тютюнові плівки, плівки ВОРЕ	Будівельні, тепличні, термозбіжн, сигнальні плівки	Плівка різного асортименту: поліетиленова, термозбіжна, стреч-плівка			+
2	Якість плівки	Контроль якості на кожному етапі виробництва	Контроль якості на кожному етапі виробництва	Контроль якості на кожному етапі виробництва	Контроль якості на кожному етапі виробництва		+	
3	Вартість виробництва	Середні ціни. Зменшення відносно оптових закупок.	Ціни на рівні Європи, розрахунок у валюті	Середні ціни. Оптові продажі	Ціни вище ринкових		+	
4	Доступність на ринку	Широке застосування реклами в мережі інтернет. Та вивіски на LED екранах.	Реклама у мережі. Розсилка потенційним клієнтам.	Реклама у мережі. Пошук по гарячих лідах.	Реклама у мережі. Та наліпки на парканах			+
5	Інноваційність	На старті етапи модернізації сильно відстають, але швидко набираємо оберти	Використання сучасного обладнання.	Використання сучасного обладнання.	Використання сучасного обладнання.	+		

На основі аналізу техніко-економічних характеристик та порівняння з конкурентами, стартап FlexTech PEHD має низку сильних сторін і перспектив. Асортимент продукції включає широкий вибір полімерних матеріалів, таких як поліетиленова плівка з ПЕВГ, полімерні мішки та гідроізоляційні мембрани, що розширює ринкові можливості. Якість продукції забезпечується контролем на кожному етапі виробництва, аналогічно до конкурентів.

Серед переваг проекту — оптимізація витрат на виробництво, що дозволяє підтримувати конкурентоспроможну цінову політику. Доступність продукції на

ринку підсилюється активним використанням сучасних рекламних каналів, зокрема онлайн-реклами та LED-екранів. Щодо інноваційності, хоча на старті компанія може відставати за рівнем технологій, модернізація виробничих процесів дозволить швидко досягти конкурентного рівня.

Слабкою стороною проекту є початковий етап розвитку, що потребує значних інвестицій для впровадження інноваційних рішень та розширення асортименту. Водночас, конкуренти вже використовують сучасне обладнання, що створює певну перевагу. Проте акцент на інновації, оптимізацію процесів і маркетингові активності дає FlexTech PEHD потенціал для успішного виходу на ринок і подальшого зростання .

### 6.2.2 Технологічний аудит ідеї проекту

У сучасних умовах стрімкого технологічного розвитку та зростаючого попиту на інновації ключову роль у успішній реалізації проекту відіграє ретельний аналіз і вибір найбільш ефективних технологій, представлених у таблиці 6.2.3 [17].

Таблиця 6.2.3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту.

<i>№ п\п</i>	<i>Ідея проекту</i>	<i>Технології її реалізації</i>	<i>Наявність технології</i>	<i>Доступність технологій</i>
1	Технологія виробництва полімерної плівки з ПЕВГ	Модернізована система охолодження для рівномірності якості плівки	Наявні, проте потребують доопрацювання під сучасні стандарти та вимоги ринку	Доступні авторам проекту через партнерство з постачальниками обладнання
2	Технологія пакування	Сучасні методи контролю якості та гнучке налаштування виробничих процесів	Технології доступні, однак потрібна адаптація до спеціалізованих вимог	Доступні авторам проекту після адаптації процесів
3	Технологія виготовлення гідроізоляційних мембран	Системи термозварювання та багатошарової екструзії	Наявні технології, але потребують інтеграції з інноваційними охолоджувальними системами	Можливість впровадження через модернізацію
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: модернізована система охолодження, яка дозволяє виготовляти високоякісну полімерну плівку та забезпечує її багатофункціональність у різних напрямках.				

Висновок: На основі проведеного аналізу технологічної здійсненності ідеї проекту, можна зробити висновок, що для реалізації стартапу «FlexTech PEHD» технології доступні, проте деякі з них потребують адаптації та доопрацювання. Ключовою технологією для успішної реалізації проекту є модернізована система охолодження, яка забезпечує високу якість продукції та розширює її застосування. Доступність цих технологій авторам проекту можлива завдяки партнерству з постачальниками обладнання, що створює сприятливі умови для подальшого впровадження та розвитку.

### **6.2.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту**

Зважаючи на порівняння середньої рентабельності відносно банківських відсотків, проєкт FlexTech PEHD впевнено розпочинає свою діяльність із початковим очікуваним обсягом вартості близько 550 тис. грн. Незважаючи на щомісячні витрати на закупівлю полімерної сировини, проєкт має високий потенціал швидкої окупності, що становить близько 60%, завдяки постійному зростанню попиту на полімерні матеріали. Хоча бар'єри для входження на ринок досить високі, «FlexTech PEHD» має значні переваги у вигляді інноваційного підходу до виробництва, що дозволяє перевершити конкурентів у перспективі розвитку та прибутковості. При порівняно невеликих початкових вкладеннях проєкт демонструє значний потенціал для подальшої масштабної реалізації.

Потенційні клієнти та ринки збуту «FlexTech PEHD»:

*Пакувальні компанії:* Основні споживачі поліетиленових плівок для виробництва упаковки продуктів харчування, побутової хімії та промислових товарів. Висока якість плівки забезпечує надійний захист товарів та довговічність, що робить продукцію конкурентоспроможною на ринку.

*Будівельні компанії:* Полімерні плівки використовуються для гідроізоляції, захисних покриттів, будівельних мембран та інших матеріалів. Ця галузь постійно зростає, що відкриває нові можливості для збуту продукції, особливо в умовах будівельного буму в інфраструктурних проєктах.

*Агропромислові підприємства:* Фермерські господарства зацікавлені у використанні агроплівки для теплиць, мульчування ґрунту та захисту сільськогосподарських культур. Якісна плівка з ПЕВГ забезпечує довговічність і стійкість до впливу агресивних середовищ.

*Логістичні компанії та склади:* Використання міцної та зносостійкої плівки для обгортання та транспортування вантажів. Поліетиленові стрейч-плівки забезпечують збереження продукції під час транспортування, що є важливим для логістичних компаній.

*Екологічні проєкти та компанії:* Організації, що працюють у сфері екології та утилізації відходів, можуть використовувати полімерну плівку для створення бар'єрів у системах збору відходів чи для ізоляції звалищ.

*Дистриб'ютори та мережі будівельних матеріалів:* Реалізація поліетиленових плівок через великі торговельні мережі дозволяє швидко охопити широку аудиторію покупців.

Ці напрями забезпечують стабільний попит на продукцію «FlexTech PEHD» і створюють можливість для масштабування виробництва та виходу на нові ринки.

У сучасному динамічному та конкурентному бізнес-середовищі важливо не лише розробити інноваційний продукт, але й ідентифікувати та врахувати потенційні загрози (табл. 6.2.4) і можливості (табл. 6.2.5), що можуть вплинути на успішну реалізацію проєкту.

Таблиця 6.2.4 – Фактори загроз

<i>№ n\n</i>	<i>Фактори</i>	<i>Зміст загрози</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
<b>1</b>	Конкуренція на ринку	Посилення конкуренції з боку існуючих компаній або нових гравців, які пропонують аналогічну чи альтернативну продукцію.	Створення унікальних продуктів, впровадження інновацій та покращення якості для виділення серед конкурентів.
<b>2</b>	Зміни у законодавстві та регулюванні	Оновлення законодавчої бази або введення нових стандартів, що можуть вимагати адаптації виробництва та додаткових витрат.	Швидке впровадження змін, відповідність новим нормам та регулярний моніторинг законодавчих нововведень.

3	Нестабільність вартості сировини	Зростання цін на сировину та перебої з її постачанням можуть збільшити виробничі витрати та створити ризик зупинки виробництва.	Диверсифікація постачальників, використання альтернативних матеріалів та укладення довгострокових контрактів.
4	Вплив війни	Військові дії можуть спричинити пошкодження логістичних шляхів, нестабільність постачання сировини та підвищення виробничих витрат.	Оптимізація ланцюгів постачання, створення резервних запасів та диверсифікація логістичних маршрутів.
5	Стан енергетичної системи	Перебої в енергопостачанні, зростання тарифів або аварійні відключення можуть спричинити зупинку виробництва.	Інвестиції у автономні джерела енергії (генератори, сонячні панелі) та оптимізація споживання енергії.
6	Процес мобілізації	Втрата кваліфікованих працівників через мобілізацію може спричинити кадровий дефіцит та уповільнення виробничих процесів.	Налагодження програм навчання нових працівників та залучення кваліфікованих фахівців з інших регіонів або країн.
7	Технологічні проблеми	Збої у роботі обладнання або труднощі зі збільшенням обсягів виробництва можуть уповільнити розвиток стартапу.	Модернізація обладнання, оптимізація виробничих процесів та регулярне технічне обслуговування.
8	Фінансові труднощі	Брак фінансування або зростання витрат можуть обмежити можливості розвитку та впровадження інновацій.	Залучення інвесторів, пошук грантів та оптимізація витрат.

Висновок: Проведений аналіз факторів загроз вказує на основні ризики, які можуть вплинути на діяльність компанії. Зокрема, значний вплив мають зовнішні виклики, пов'язані з військовими діями, нестабільністю енергетичної системи та процесом мобілізації, які є актуальними для українських підприємств. Також важливими залишаються фактори конкуренції, нестабільності сировинного ринку та технологічні ризики. Для мінімізації негативного впливу компанія має зосередитися на диверсифікації постачальників, інвестуванні у автономні джерела енергії, модернізації обладнання та залученні додаткових фінансових ресурсів.

Таблиця 6.2.5 – Фактори можливостей

№ n\п	Фактори	Зміст можливості
1	Інноваційність продукту	Впровадження передових технологій або унікальних характеристик продукту може прискорити вихід на ринок і підвищити зацікавленість потенційних клієнтів.

2	Зростаючий попит	Здатність стартапу задовольнити високий або зростаючий попит на продукцію чи послуги сприятиме швидкому розвитку бізнесу та його масштабуванню.
3	Сприятлива ринкова кон'юнктура	Сприятливе ринкове середовище, де попит перевищує пропозицію, створює умови для зростання бізнесу та розширення його частки на ринку.
4	Швидке масштабування на ринку України	Можливість оперативно збільшити виробничі потужності або розширити послуги без втрати якості створює передумови для швидкого зростання компанії.
65	Інвестиції та фінансування	Доступ до додаткового фінансування або залучення інвестицій сприяє розвитку бізнесу, стимулюючи його стійке зростання.

Висновок: Ці фактори, якщо такі є, в сукупності можуть сприяти швидкому зростанню і вдосконаленню технології створення стартапу «FlexTech РЕНД».

Далі здійснюється поетапний аналіз конкурентного середовища (табл. 6.2.6), що є ключовим елементом стратегічного управління компанією, оскільки багатогранність ринкової конкуренції здатна по-різному впливати на ефективність її діяльності [18].

Таблиця 6.2.6 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

<i>Особливості конкурентного середовища</i>	<i>В чому проявляється дана характеристика</i>	<i>Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)</i>
1. Тип конкуренції - Олігополія	Декілька великих гравців контролюють основну частину ринку виробництва полімерної плівки.	Компанія повинна зосередитись на інноваційних рішеннях, поліпшенні якості продукції та побудові унікальної пропозиції.
2. Рівень конкурентної боротьби - Національний	Основна конкуренція відбувається між національними виробниками.	Акцент на створенні сильної позиції на внутрішньому ринку, розвиток бренду та встановлення довгострокових партнерств.
3. Галузева ознака - Внутрішньогалузева	Конкуренція з іншими виробниками полімерної продукції в межах галузі.	Розширення асортименту, оптимізація витрат виробництва та впровадження нових технологій для підвищення конкурентоспроможності.
4. Конкуренція за видами товарів - Товарно-видова	Конкуренція між різними видами полімерної плівки, які відрізняються характеристиками та властивостями.	Впровадження високоякісних продуктів з унікальними характеристиками, орієнтація на різні сегменти ринку.
5. Характер конкурентних переваг - Цінова	Конкуренція зосереджена на вартості продукції, з урахуванням ринкової чутливості до цін.	Зниження собівартості за рахунок оптимізації процесів виробництва, створення вигідних цінових пропозицій для клієнтів.

6. Інтенсивність конкуренції - Марочна	Конкуренція між брендами за рахунок репутації та впізнаваності торгової марки.	Створення сильної маркетингової стратегії, покращення іміджу бренду «FlexTech PENDING» та забезпечення високої якості продукції.
--	--	--

Висновок: Ступеневий аналіз конкуренції на ринку свідчить про багатогранність конкурентного середовища. Для успішної діяльності компанія повинна адаптуватися до різних типів конкуренції, впроваджуючи інновації, оптимізуючи витрати та зміцнюючи бренд. Такий підхід забезпечить стабільну конкурентоспроможність на ринку полімерної продукції.

На основі аналізу вище вказаних таблиць, з урахуванням ідеї стартапу можна визначити фактори конкурентоспроможності (табл. 6.2.7) [19].

Таблиця 6.2.7 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

<i>№ п/п</i>	<i>Фактори конкурентоспроможності</i>	<i>Обґрунтування</i>
1	Якість продукції: Товщина плівки	Клієнти обирають плівку з рівномірною товщиною, що забезпечує надійну міцність та зменшує ризик дефектів у використанні.
2	Якість продукції: Прозорість	Висока прозорість є ключовою вимогою для клієнтів, які використовують плівку для упаковки товарів, де потрібен привабливий зовнішній вигляд.
3	Якість продукції: Механічна міцність	Важливим фактором є стійкість до розтягування та проколів, що впливає на тривалість використання плівки в інтенсивних умовах.
4	Якість продукції: Однорідність матеріалу	Однорідний матеріал плівки гарантує стабільні властивості на всіх ділянках, що забезпечує якість кінцевого продукту.
5	Надійність постачальника	Постійна доступність продукції та точне дотримання умов поставки формують довіру клієнтів до компанії.
6	Ціна продукції	Споживачі орієнтуються на конкурентну ціну, що поєднує високу якість із доступністю.
7	Термін виконання замовлення	Швидке виконання замовлень є вирішальним для клієнтів, які працюють у рамках жорстких дедлайнів.
8	Індивідуальний підхід до клієнта	Гнучкість у виконанні специфічних замовлень та індивідуальні консультації додають додаткову цінність для споживачів.

Ці фактори допоможуть стартапу «FlexTech PENDING» залишатися конкурентоспроможним і зайняти свою нішу на ринку полімерної плівки.

Висновок: На основі аналізу обґрунтувань факторів конкурентоспроможності можна зробити висновок, що головними критеріями вибору постачальника на ринку є якість продукції, яка включає рівномірну товщину плівки, високу прозорість, механічну міцність та однорідність матеріалу. Крім того, важливу роль відіграють ціна продукції, терміни виконання замовлень, надійність постачальника та індивідуальний підхід до клієнтів. Орієнтація на ці фактори дозволяє компанії FlexTech PEHD ефективно конкурувати на ринку та задовольняти потреби споживачів.

Таблиця 6.2.8 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «FlexTech PEHD»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали /1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з «FlexTech PEHD»							
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	
1	Якість продукції: Товщина плівки							1	2,3	
2	Якість продукції: Прозорість			3			1,2			
3	Якість продукції: Механічна міцність				1,3		2			
4	Якість продукції: Однорідність матеріалу						1,2,3			
5	Надійність постачальника			2,3			1			
6	Ціна продукції									
7	Термін виконання замовлення				1		3	2		
8	Індивідуальний підхід до клієнта		2		3			1		

1 – перший конкурент (Plastchim Ua)

2 – другий конкурент (Полімер)

3 – третій конкурент (Micron)

Висновок: Результати порівняльного аналізу сильних та слабких сторін стартап-проєкту FlexTech PEHD показують, що компанія має конкурентні переваги у ключових факторах якості: **товщина плівки, прозорість, механічна міцність та однорідність матеріалу**, де оцінки є найвищими порівняно з конкурентами. Водночас **ціна продукції** залишається на середньому рівні, що вимагає подальшого стратегічного аналізу для збереження балансу між якістю та вартістю. Загалом,

компанія демонструє високі позиції на ринку завдяки сильним сторонам, які дозволяють залучати нових клієнтів та підтримувати лояльність існуючих.

Останнім кроком у вивченні можливостей реалізації проекту на ринку є створення SWOT-аналізу. Ця матриця включає аналіз сильних (Strengths) і слабких (Weaknesses) сторін, а також опис загроз (Threats) і можливостей (Opportunities) [19].

Таблиця 6.2.8 – SWOT-аналіз стартапу «FlexTech PEHD»

<i>Сильні сторони</i>	<i>Слабкі сторони</i>
1. Висока якість продукції: - рівномірна товщина плівки, - прозорість, - міцність.	1. Відсутність великого досвіду на ринку.
2. Екологічність виробництва та матеріалів.	2. Обмежені фінансові ресурси для масштабного маркетингу.
3. Сучасне обладнання та інноваційні технології.	3. Залежність від постачальників сировини.
4. Індивідуальний підхід до клієнтів.	
<i>Можливості</i>	<i>Загрози</i>
1. Зростання попиту на екологічно безпечну продукцію.	1. Сильна конкуренція на ринку з боку усталених гравців.
2. Розширення ринків збуту в Україні та Європі.	2. Коливання цін на сировину та нестабільність постачання.
3. Підвищення поінформованості клієнтів про переваги продукції.	3. Зміни у законодавстві щодо виробництва пластикової продукції.
4. Створення нових продуктів з додатковою цінністю для клієнтів.	4. Технологічне старіння обладнання та методів виробництва.

Висновок: SWOT-аналіз проекту FlexTech PEHD показав, що сильні сторони, як-от висока якість та інноваційність, створюють конкурентні переваги, а можливості для розширення ринку відкривають перспективи розвитку. Водночас слабкі сторони та загрози, такі як обмежені ресурси й сильна конкуренція, потребують стратегічного підходу для їх мінімізації.

На підставі SWOT-аналізу створюються можливі варіанти дій на ринку (список заходів), які дозволять впровадити стартап-проект на ринку в найбільш вигідний момент, враховуючи потенційні проекти конкурентів, які можуть також вийти на ринок.

На основі SWOT-аналізу ми розробляємо та оцінюємо альтернативи ринкової стратегії, враховуючи терміни та ймовірність отримання необхідних ресурсів (табл. 6.2.9) [18].

Таблиця 6.2.9 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

<i>№ n/n</i>	<i>Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки</i>	<i>Ймовірність отримання ресурсів</i>	<i>Строки реалізації</i>
1	Розвиток онлайн-присутності	Створення веб-сайту та профілів у соціальних мережах для просування продукції.	до 1 міс.
2	Участь у виставках і конференціях	Демонстрація продукції на галузевих заходах для залучення уваги та партнерств.	від 6 до 8 міс.
3	Рекламні кампанії	Запуск цільових рекламних проблем через інтернет та соціальні медіа.	від 4 до 6 міс.
4	Створення стратегічних партнерств	Пошук партнерів або дистриб'юторів для розширення каналів збуту.	від 10 до 12 міс.
5	Розвиток міжнародних ринків	Дослідження можливостей для експорту на зовнішні ринки.	від 12 до 18 міс.

Висновок: Таким чином, обираємо альтернативу розвитку онлайн-присутності, оскільки отримання необхідних ресурсів для цієї стратегії є найбільш ймовірним, а строки реалізації є найкоротшими.

#### **6.2.4 Розробка ринкової стратегії проекту**

Цільові групи мають різні потреби та вимоги до своєї продукції, тому важливо враховувати власні потреби та розробляти маркетингову стратегію, яка відповідає їх характеристикам (табл. 6.2.10)

Таблиця 6.2.10 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

<i>№ n\p</i>	<i>Цільова група потенційних клієнтів</i>	<i>Готовність споживачів сприйняти продукт</i>	<i>Орієнтовний попит в межах сегменту</i>	<i>Інтенсивність конкуренції в сегменті</i>	<i>Простота входу у сегмент</i>
1	Будівельні компанії	Середня	Високий (залежність від об'ємів)	Висока	Складно
2	Агропромислові підприємства	Середня	Високий (залежність від об'ємів і якості)	Висока	Складно
3	Комунальні підприємства (водопостачання, каналізація)	Середня	Високий (залежність від об'ємів і ціни)	Висока	Складно
4	Підприємства з виробництва полімерної плівки	Висока	Середній (залежність від специфікацій)	Середня	Помірно складно
5	Приватні споживачі для будівництва	Висока	Середній	Середня	Легко

Висновок: За результатами аналізу потенційних груп споживачів ми зосереджуємось на підприємствах, що займаються виробництвом полімерної плівки, оскільки вони мають високу готовність сприймати продукт і середній попит на продукцію. Подальші стратегії будуть орієнтовані на цей сегмент.

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку (табл. 6.2.11) [18].

Таблиця 6.2.11 – Визначення базової стратегії розвитку

<i>№ n/p</i>	<i>Обрана альтернатива розвитку проекту</i>	<i>Стратегія охоп- лення ринку</i>	<i>Ключові конкуренто- спроможні позиції відповідно до обраної альтернативи</i>	<i>Базова стратегія розвитку</i>
1	Вихід на будівельний та агропромисловий сегменти	Фокусування на ключових цільових групах	Висока якість продукції, екологічність, довговічність	Диференціація

Висновок: Обрана альтернатива розвитку проекту — «Вихід на будівельний та агропромисловий сегменти» — визначає стратегію розвитку як диференціацію. Ця стратегія передбачає створення продукції з високими екологічними стандартами, довговічністю та відмінною якістю, що дозволяє виділитися серед конкурентів.

Наступним нашим кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 6.2.12).

Таблиця 6.2.12 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

<i>№ n/n</i>	<i>Чи є проєкт «першопрохідцем» на ринку?</i>	<i>Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?</i>	<i>Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?</i>	<i>Стратегія конку- рентної поведінки</i>
1	Ні	Орієнтація на частку конкурентів	Ні, у фокусі — унікальні характеристики (екологічність та якість)	Конкуренція через диференціацію

Висновок: Обрана альтернатива розвитку проєкту — «Орієнтація на частку конкурентів» — веде до вибору стратегії конкурентної поведінки через диференціацію. Це передбачає фокус на унікальних характеристиках продукції, таких як екологічність та висока якість, що дозволяє компанії виділитися серед конкурентів і здобути частку ринку.

Згідно з вимогами споживачів обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та продукту, а також з урахуванням обраної стратегії розвитку та конкурентної поведінки, розробляється стратегія позиціонування (табл. 6.2.13). Вона передбачає формування ринкової позиції, за якою споживачі зможуть ідентифікувати торговельний проєкт [17].

Таблиця 6.2.13 – Визначення стратегії позиціонування

<i>№ n/n</i>	<i>Вимоги до товару цільової аудиторії</i>	<i>Базова стратегія розвитку</i>	<i>Ключові конкурентоспромож- ні позиції власного стартап-проєкту</i>	<i>Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проєкту (три ключових)</i>
1	Екологічність та безпечність матеріалів	Диференціація	Використання екологічно чистої сировини, відповідність стандартам якості	Інноваційність, екологічність, якість

2	Конкурентна ціна та зручність використання	Цінове лідерство	Оптимізація виробничих витрат, доступна ціна	Економічність, надійність, практичність
3	Стабільність характеристик продукції	Диверсифікація	Гарантована якість продукції, відповідність потребам різних сегментів	Універсальність, довговічність, сучасність
4	Дотримання стандартів	Стратегії диференціації та наслідування лідеру	Надання високоякісних сертифікатів щодо якості води	Надійність, професійність, авторитетність

Висновок: Стратегія позиціонування для стартап-проекту базується на поєднанні стратегій диференціації та цінового лідерства. Основні елементи позиціонування орієнтовані на задоволення ключових вимог цільової аудиторії, включаючи екологічність, безпеку матеріалів та високу якість. Це дозволяє стартапу виділитися на ринку завдяки інноваційності та надійності, забезпечуючи при цьому економічність і практичність продукції.

### 6.2.5 Розроблення маркетингової програми проекту

Першим етапом у розробці маркетингової програми стартап-проекту є створення маркетингової концепції товару, який буде запропонований споживачеві (табл. 6.2.14) [18].

Таблиця 6.2.14 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Екологічна безпечність продукції	Використання екологічно чистих матеріалів	Перевага у відповідності до сучасних екологічних стандартів
2	Довговічність та міцність матеріалу	Стійкість до фізичних та хімічних впливів	Більш тривалий термін експлуатації порівняно з аналогами

3	Економічна ефективність	Конкурентна ціна при високій якості продукції	Збалансоване співвідношення ціна/якість, яке приваблює клієнтів у будівельній галузі
4	Універсальність застосування	Придатність для різних галузей: будівництво, агропромисловість, комунальні потреби	Ширший спектр застосування порівняно з конкурентами

Висновок: Ключовими перевагами концепції потенційного товару є екологічна безпечність, висока довговічність і економічна ефективність продукції. Використання екологічно чистих матеріалів, збалансоване співвідношення ціни та якості, а також широкий спектр застосування товару на різних ринках надають конкурентні переваги. Це дозволяє товару зайняти лідируючі позиції в галузях будівництва, агропромисловості та комунальних послуг.

Далі розробляємо трирівневу маркетингову модель товару, а саме: уточнюємо ідея продукту та/або послуги, його фізичні складові, особливості процесу його надання (табл. 6.2.15)

Таблиця 6.2.15 – Опис трьох рівнів моделі товару

<i>Рівні товару</i>	<i>Сутність та складові</i>		
I. Товар за задумом	Опис базової потреби споживача: забезпечення екологічного, міцного та довговічного пакувального рішення для будівельної, агропромислової та комунальної сфер. Основна функціональна вигода: стійкість до фізичних, хімічних і механічних впливів, що збільшує термін служби продукції та мінімізує витрати на обслуговування.		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості	М/Нм	Вр/Тх/Тл/Е/Ор
	- Механічна міцність	М	
	- Невелика маса	Нм	
	- Висока термостійкість		Тх
	- Екологічність (Е)		Е
	- Опір розриву (Ор)		Ор
Якість: відповідає стандартам ISO 14001, проходить тестування на розтягнення, ударну міцність та стійкість до ультрафіолетового випромінювання. Пакування: рулони або листи з маркуванням, що забезпечує зручність транспортування та зберігання.			

III. Товар із підкріпленням	До продажу: - Гарантія на якість продукції (до 5 років залежно від умов використання). - Консультації з вибору плівки та налаштувань обладнання для її використання. Після продажу: - Технічна підтримка, включаючи рекомендації з оптимального використання. - Можливість замовлення додаткових послуг, таких як утилізація або переробка відпрацьованої плівки.
Потенційний товар FlexTech РЕНД буде захищено завдяки патентуванню інноваційних технологій виробництва, унікальному складу матеріалів та реєстрації торговельної марки. Також передбачено конфіденційність технічних процесів і маркування продукції для підтвердження автентичності. Це ускладнює копіювання для конкурентів.	

Висновок: Потенційний товар FlexTech РЕНД буде мати надійний захист від копіювання, що забезпечуватиметься патентуванням інноваційних технологій, унікальним складом матеріалів і реєстрацією торговельної марки. Це ускладнює конкуренцію і створює конкурентоспроможну перевагу. Підхід, що включає технічну підтримку, гарантії на продукцію та можливість додаткових послуг після продажу, робить товар привабливим для різних ринкових сегментів і забезпечує високий рівень задоволення потреб споживачів.

Наступним етапом є швидке визначення цінових меж (табл. 6.2.16), які повинні бути враховані при встановленні ціни на потенційний товар. Це передбачає аналіз цін на подібні товари та оцінку рівня доходів цільової аудиторії споживачів.

Таблиця 6.2.16 – Визначення меж встановлення ціни

<i>№ п/п</i>	<i>Рівень цін на товари-замінники</i>	<i>Рівень цін на товари-аналоги</i>	<i>Рівень доходів цільової групи споживачів</i>	<i>Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу</i>
1	Середній (50-70 грн/м <sup>2</sup> ): наприклад, пластикові плівки, пропонувані компаніями "А", "Б". Вартість залежить від обсягу закупівлі та типу плівки.	Високий (80-100 грн/м <sup>2</sup> ): плівки преміум-класу, які пропонують компанії "Х", "У". Включають додаткові характеристики.	Середній (підприємства середнього рівня доходів): середній рівень доходів 15,000-30,000 грн/міс.	60-90 грн/м <sup>2</sup> : ціна включає вартість матеріалу та мінімальний обсяг (10-20 м <sup>2</sup> )

2	Низький (30-50 грн/м <sup>2</sup> ): плівки з меншою товщиною, пропонувані підприємствами "С", "D". Вартість залежить від матеріалу та довжини плівки.	Середній (60-80 грн/м <sup>2</sup> ): плівки середнього класу, пропонувані компаніями "Е", "F". Включають основні характеристики без додаткових функцій.	Низький (комунальні підприємства): середній рівень доходів 5,000-15,000 грн/міс.	40-70 грн/м <sup>2</sup> : ціна включає базову товщину плівки та обсяг до 10 м <sup>2</sup>
---	--	---	---	--

Висновок: отже, межі встановлення ціни на товар/послугу можуть варіюватися в межах від 40 до 90 гривень за квадратний метр, залежно від рівня доходів цільової групи споживачів та цін на замітники й аналоги. Це дозволяє стартапу підтримувати конкурентоспроможність на ринку, пропонуючи оптимальне співвідношення ціни та якості для різних сегментів споживачів.

Наступним кроком визначаємо оптимальну систему збуту, в межах якого приймається рішення (табл. 6.2.17) [19].

Таблиця 6.2.17 – Формування системи збуту

<i>№ п/п</i>	<i>Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів</i>	<i>Функції збуту, які має виконувати постачальник товару</i>	<i>Глибина каналу збуту</i>	<i>Оптимальна система збуту</i>
1	Комунальні підприємства: закупівля великими партіями	Постачання на умовах довгострокових контрактів	1 рівень	Прямі продажі через представників
2	Приватні виробники: регулярні невеликі обсяги закупівель	Швидка доставка та технічний супровід	2 рівні	Дистриб'ютори + регіональні посередники

Висновок: найефективнішою стратегією є впровадження комбінованої системи збуту, де для комунальних підприємств застосовуються прямі продажі через представників, а для приватних виробників — використання дистриб'юторів та регіональних посередників. Такий підхід дозволяє оптимізувати ланцюг постачання та забезпечити надійну і своєчасну доставку продукції, що підвищує конкурентоспроможність стартапу на ринку.

Останнім етапом маркетингової програми є розробка концепції маркетингових комунікацій (табл. 6.2.18), що ґрунтується на обраній стратегії позиціонування та враховує особливості поведінки цільових клієнтів.

Таблиця 6.2.18 – Концепція маркетингових комунікацій

<i>№ п/п</i>	<i>Специфіка поведінки цільових клієнтів</i>	<i>Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти</i>	<i>Ключові позиції, обрані для позиціонування</i>	<i>Завдання рекламного повідомлення</i>	<i>Концепція рекламного звернення</i>
1	Потреба в екологічно чистих матеріалах для виробництва	Онлайн платформи (соціальні мережі, веб-сайти, email-маркетинг), спеціалізовані виставки та конференції	Екологічність продукції, інноваційність виробничих процесів	Підвищення обізнаності про переваги використання екологічних матеріалів	Виділення переваг продукції на основі її екологічних характеристик та інноваційних технологій
2	Пошук ефективних, довговічних та економічних рішень для виробництва	Цифрові канали: PPC-реклама, SEO, таргетована реклама в соцмережах	Якість продукції, економічність і довговічність	Визначити, як продукція покращує процеси виробництва і знижує витрати	Створення концепції рекламного звернення, що акцентує на високій якості та витратній ефективності продукції

Висновок: Ринкова стратегія для стартапу, що виробляє екологічно чисту плівку, повинна включати цільові комунікаційні канали, такі як онлайн-платформи та спеціалізовані заходи, як виставки і конференції. Рекламні кампанії повинні підкреслювати переваги екологічності та інноваційних виробничих процесів, а також ефективність та довговічність продукції. Це дозволить стартапу виділити свою продукцію на ринку, орієнтуючись на ключові потреби клієнтів та демонструючи реальні переваги використання екологічної та економічно вигідної плівки.

## Висновки

На основі проведеного аналізу ринку та маркетингової стратегії для стартапу «FlexTech PЕHD», можна зробити кілька основних висновків:

*Можливість ринкової комерціалізації проекту:* Ринок полімерної плівки, зокрема в сегменті екологічних матеріалів, демонструє позитивну динаміку зростання. Попит на екологічно чисті та економічні матеріали для виробництва, зокрема в будівельній, агропромисловій та муніципальній сферах, є стабільним і зростаючим. Прогнозується також збільшення попиту на екологічні продукти, що сприяє рентабельності та комерціалізації проекту.

*Перспективи впровадження:* Перспективи впровадження проекту є значними завдяки широким можливостям для залучення різних груп клієнтів, таких як будівельні компанії, агропромислові підприємства, муніципальні установи та приватні клієнти. Бар'єри для входження в ринок включають високу конкуренцію та потребу у значних інвестиціях для налагодження виробничих потужностей. Однак з огляду на конкурентоспроможність проекту та використання інноваційних технологій у виробництві, перспективи впровадження є позитивними.

*Альтернатива впровадження:* Зважаючи на дослідження конкурентів і аналіз попиту, найбільш доцільним варіантом для ринкової реалізації проекту є стратегія, орієнтована на розширення онлайн-присутності, запуск рекламних кампаній і участь у виставках та конференціях. Це дозволить ефективно привернути увагу до нових інноваційних продуктів, забезпечити зростання обсягів продажу і створити стійкі партнерські відносини.

*Доцільність подальшої імплементації проекту:* З огляду на оцінку попиту, конкурентоспроможності та стратегію маркетингових комунікацій, подальша імплементація проекту є доцільною. Враховуючи переваги екологічності продукції, високий попит на матеріали, а також ефективні канали збуту та комунікаційні стратегії, проект має значний потенціал для успішної реалізації на ринку.

Отже, стартап «FlexTech PЕHD» має високий потенціал для успішної комерціалізації та впровадження на ринку, за умови дотримання правильно вибраної стратегії маркетингу та належної оцінки ринкових умов.

### 6.3 Охорона праці та навколишнього середовища

Охорона праці — це система заходів і правил, що включає законодавчі акти, соціально-економічні, організаційні, технічні, гігієнічні та медико-профілактичні аспекти, спрямовані на забезпечення безпеки, збереження здоров'я та працездатності працівників під час трудової діяльності. У реальних умовах неможливо досягти повної безпеки на виробництві, але основним завданням охорони праці є мінімізація ризику травм та захворювань при одночасному забезпеченні комфорту і високої продуктивності праці. Виробниче середовище часто містить потенційно небезпечні або шкідливі фактори.

Основним нормативним актом у сфері охорони праці є Закон України "Про охорону праці", прийнятий Верховною Радою України 14 жовтня 1992 року. Цей закон визначає права громадян щодо охорони здоров'я під час праці, регулює взаємодію з державними органами щодо забезпечення безпеки праці та екології виробничого середовища, а також встановлює порядок організації охорони праці в Україні.

Згідно з темою дипломного проекту «Лінія для виробництва плівок з ПЕВГ з модернізацією охолоджувального пристрою», для безпеки працівників підприємства хімічної промисловості забезпечені умови, що відповідають державним і галузевим стандартам, а також санітарним нормам і вимогам [3].

Недотримання норм техніки безпеки, санітарії та пожежної безпеки при проектуванні технологічних процесів і обладнання може призвести до нещасних випадків, травматизму та професійних захворювань. Навіть незначні помилки у проектуванні здатні спричинити аварії, вибухи чи пожежі. Тому розробка комплексу заходів з охорони праці є обов'язковою на кожному етапі проектування.

Для зниження ризику травм на робочих місцях було проведено науковий аналіз умов праці, що виявив небезпечні фактори, пов'язані з експлуатацією черв'ячного екструдера. До них відносяться ризик ураження електричним струмом, пожежна небезпека, виробничий шум, якість освітлення та повітря в робочій зоні. Оператор працює в приміщенні площею 120 квадратних метрів і об'ємом 720 кубічних метрів під час експлуатації та обслуговування обладнання.

Основними шкідливими та небезпечними виробничими факторами є:

- виробничий шум;
- освітлення робочої зони;
- пожежна безпека;
- небезпека ураження електричним струмом;
- повітря робочої зони.

### **6.3.1 Виробничий шум**

Шум, що утворюється під час роботи екструдера та іншого обладнання на лінії, є постійним явищем. Основними джерелами шуму є обертання валів, черв'яків, електродвигунів, вентиляторів та інших механізмів, де рівень шуму може досягати 90 дБА. Такий шум має механічно-гідроаеродинамічну природу. Згідно з нормативами, визначеними у ДСН 3.3.6.037-99 для виробничих приміщень, максимальний рівень шуму не повинен перевищувати 80 дБА [3,4].

Для зниження рівня шуму застосовуються методи шумопоглинання, зокрема, обробка стін перфорованими покриттями та плитами. Для досягнення максимальної ефективності шумопоглинання покриття повинно охоплювати не менше 60% площі приміщення. Вихлопні патрубки насосів з'єднані з герметичним каналом для ізоляції шуму від вихлопу.

Звукоізолююча здатність дверних проходів повинна бути не менше 30 дБА. Для зменшення шуму від рухомих елементів необхідно контролювати рівень мастила у підшипникових вузлах. Мікрофон для вимірювання рівня звуку розташовують на висоті 1,6-1,9 м від підлоги. Завдяки вжитим заходам рівень шуму був знижений до 75 дБА, що відповідає вимогам ДСН 3.3.6.037-99.

Загальний рівень вібрацій на робочих місцях при роботі лінії не повинен перевищувати гігієнічних норм, визначених у ДСН 3.3.6.037-99 "Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації"[3,4].

### 6.3.2 Освітлення робочих зон

Для цеху висотою 6 м, в якому розміщується лінія для виробництва ПЕВГ профілю, передбачене як природне, так і штучне освітлення. Для штучного освітлення використовуються світильники типу ДРЛ 400 (діаметр: 120 мм; висота: 290 мм; потужність: 400 Вт; кількість: 12 шт.; світловий потік:  $\Phi = 24000$  Лм; ефективність: 300 лк). Розміщення ламп має забезпечувати їх надійне кріплення, безпеку та зручність в обслуговуванні, а також рівномірне освітлення на всій площі. Лампи повинні створювати світло, яке максимально наближається за яскравістю до природного. Додатково, приміщення передбачає бічне освітлення через отвори в зовнішніх стінах. Усі освітлювальні системи повинні відповідати вимогам, встановленим у ДБН В.2.5-28:2018 [3,4].

### 6.3.3 Пожежна безпека

Під час роботи черв'ячного екструдера використовуються змащувальні матеріали, які є горючими, а плавлення поліетилену здійснюється при високій температурі ( $T=200^{\circ}\text{C}$ ). Тому серед можливих причин виникнення пожежі можуть бути:

- Порушення технологічного процесу, що може спричинити неконтрольоване нагрівання або перегрів матеріалів.
- Поломка електрообладнання чи електромережі, яка може призвести до короткого замикання або перегріву.
- Куріння в невизначених місцях, що може сприяти виникненню загоряння через наявність горючих матеріалів та високу температуру.

Згідно з ДСТУ Б В.1.1-36:2016, приміщення, в якому розміщується лінія для виробництва плівки, відноситься до категорії В, що вказує на пожежонебезпечне середовище через наявність горючих речовин. Також воно класифікується як зона П-Па згідно з Правилами улаштування електроустановок (ПУЕ). Відповідно до ДБН В.1.1-7:2016, це приміщення має перший ступінь вогнетривкості. Площа поверхонь не обмежена, так само як і кількість поверхів. Ширина евакуаційних виходів

становить 0,9 м, що відповідає вимогам ДБН В.1.1-7:2016. У приміщенні встановлені пожежні гідранти та теплові вловлювачі, які спрацьовують при досягненні температури 73°C. Заземлення забезпечує захист від статичної електрики. Для гасіння пожежі передбачено використання поромислових вогнегасників (4 шт.), ящиків з піском (2 шт.) та пожежних гідрантів (2 шт.). Відповідність протипожежних заходів екструдера вимогам ДБН В.1.1-7:2016 підтверджена [20].

#### **6.3.4 Електробезпека.**

Електробезпека забезпечує захист людей від небезпеки, пов'язаної з електричним струмом, електричною дугою та електромагнітними полями, включаючи статичну електрику. Згідно з класифікацією приміщень за ризиком ураження електричним струмом, цех, де встановлена лінія для виробництва плівки, відноситься до класу приміщень з підвищеною небезпекою. Це приміщення характеризується як вологе з відносною вологістю близько 70%.

На панелі керування встановлено напругу 220 В з частотою 50 Гц, а для електродвигунів на лінії — 380 В з тією ж частотою. Тип електричної мережі — різноманітний з глухо заземленою нейтраллю, що знижує ризик при контакті з фазовим дротом [3].

Для забезпечення електробезпеки використовуються такі засоби:

а) у робочому режимі:

*Ізоляція:* Використовуються ізоляційні матеріали та оболонки для запобігання прямому контакту з проводами та частинами електричних систем.

*Знаки безпеки:* Розміщуються інформаційні плакати та знаки, що позначають небезпеки, а також кольорові позначення проводів (жовтий — фаза А, зелений — фаза В, червоний — фаза С, жовтий із зеленими смугами — нульовий захисний).

*Навчання та інструктажі:* Проводяться регулярні інструктажі та навчання для персоналу з правил користування електрообладнанням та реагування на електричні аварії.

б) у аварійному режимі:

*Заземлення:* Належне заземлення електричних систем і обладнання для запобігання ризику ураження струмом. Це важливий елемент безпеки в експлуатації.

*Захисні пристрої:* Використовуються автоматичні вимикачі, пристрої для захисту від перевантажень і короткого замикання, а також засоби захисту від струмів з коротким часом вимикання (RCD) [8].

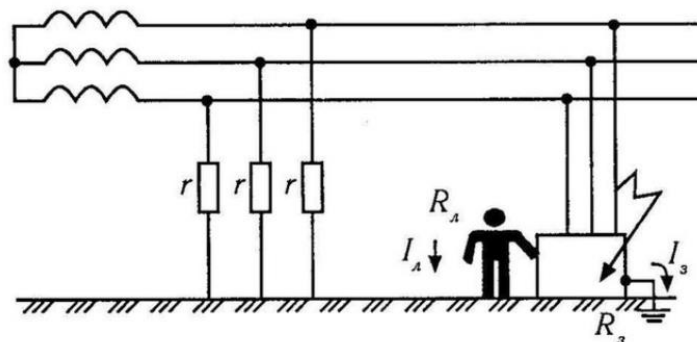


Рисунок 6.3.1 – Схема захисного заземлення[10]

Захисне заземлення металевих конструкцій обладнання покращує безпеку, знижуючи ризик ураження електричним струмом. Навіть при використанні автоматичних пристроїв для захисту, їх швидкодія не завжди може гарантувати повний захист [20].

Дотримання норм електробезпеки при проектуванні цієї лінії є важливим аспектом для зниження травматизму та смертності серед працівників. Ці заходи були реалізовані згідно з вимогами ДСТУ Б В.2.5-82:2016 та інших нормативних документів, зокрема ДБН В.2.5-23:2010, ДСТУ 3225-95, ДСТУ ІЕС 61140:2005 і ГОСТ 14254-96 [8].

### 6.3.5 Повітря робочої зони

Для забезпечення оптимальних умов праці необхідно створити не тільки комфортні метеорологічні умови, але й підтримувати необхідний рівень чистоти повітря. Під час виробничої діяльності в атмосферу приміщень можуть потрапляти різні шкідливі речовини, що використовуються в технологічних процесах [3].

Ці речовини можуть потрапити в організм людини через дихальні шляхи, шкіру, слизові оболонки або травний тракт. Пари, гази та пил проникають через дихальні шляхи, рідини через шкіру, а через травну систему — при ковтанні або контакті з забрудненими руками.

Найбільше шкідливих речовин потрапляє в організм через органи дихання, оскільки завдяки великій всмоктувальній поверхні легень (понад 90 м<sup>2</sup>) створюються умови для потрапляння токсичних речовин у кров, яка розносить їх по всьому організму.

Умови праці на екструдері та лінії загалом визначаються згідно з ДСТУ EN 1114-3:2010 і відносяться до категорії середньої важкості (категорія IIa) з витратою енергії від 176 до 232 Вт (151–200 ккал/год). Склад повітря в робочій зоні залежить від таких метеорологічних умов, як температура, вологість і рівень шкідливих речовин, що виділяються під час роботи обладнання. Для видалення шкідливих газів і пар в приміщенні встановлена система вентиляції, що включає очищення повітря відповідно до вимог ДСТУ EN 482:2016 [20].

## 7 Перевірка модернізованого вузла екструдера

### 7.1 Перевірка модернізованого охолоджувального пристрою

Мета: перевірити на міцність модернізований валик охолоджувального пристрою в робочих та екстремальних умовах, оцінити його здатність до ефективного охолодження екструдованого матеріалу та забезпечення стабільної роботи в різних температурних режимах.

Розрахунки проведено в системі ANSYS 2024 R2, Для розрахунку теплового , створюємо модель в програмі Fusion 360.

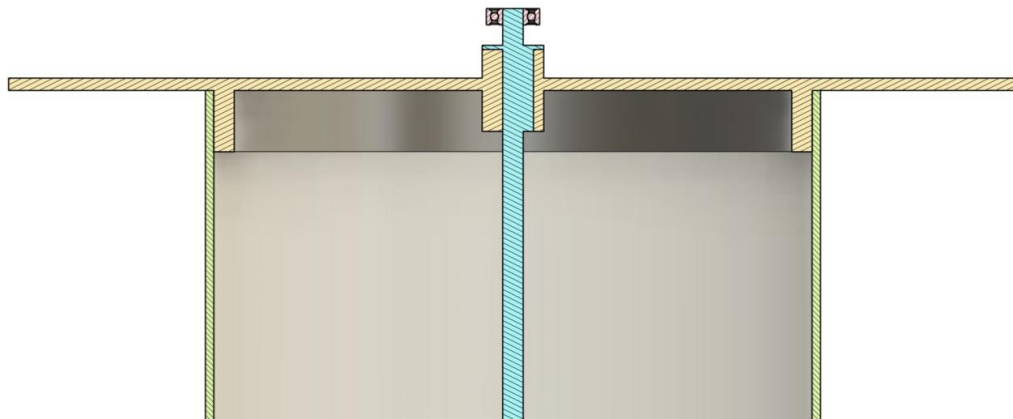


Рисунок 7.1 – Модель валика в перерізі

Імпортуємо її (для спрощення розрахунків відкидаємо моделі підшипників) в Static Structural проєкт ANSYS.

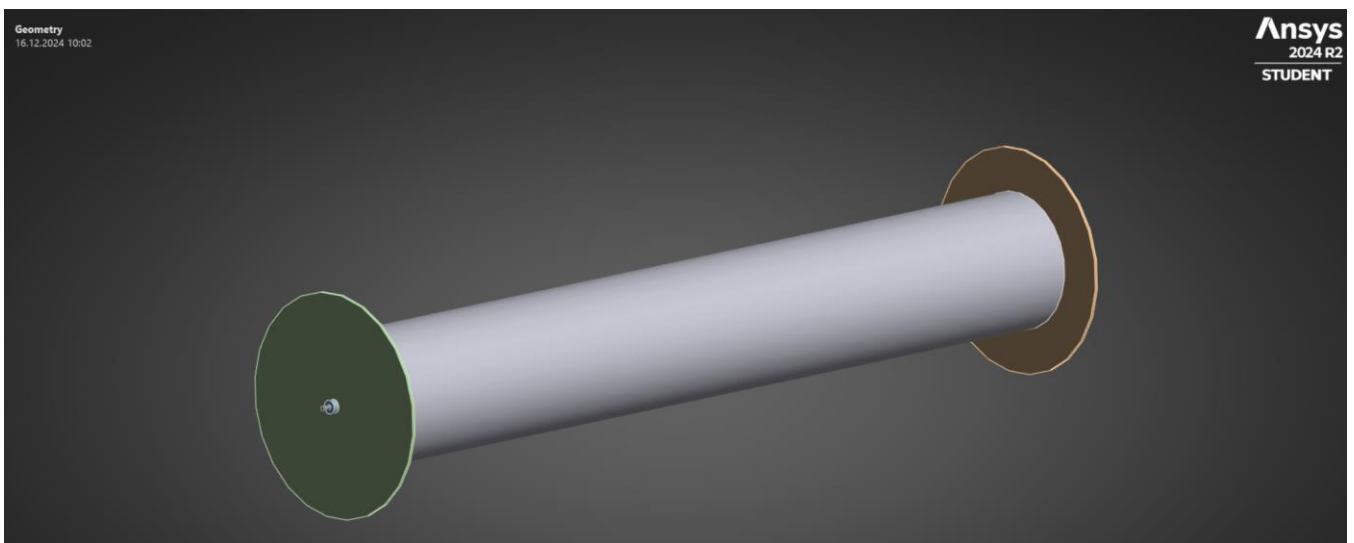


Рисунок 7.2 – 3-D модель охолоджувального валика

Для моделювання процесу прокочування плівки по барабану при одночасному охолодженні барабану рідиною приймається наступне спрощення:

1. Спочатку моделюється теплообмін між валиком – плівкою та валиком – рідиною.
2. Потім результат моделювання тепловіддачі – розподіл температур у валику – експортується в модуль розрахунку механічного навантаження на валик. В якості матеріалу валика обрано сплав Алюміній 6061.

Для моделювання процесу теплообміну між валиком – плівкою та валиком – рідиною використано модуль Transient Thermal.

Щоб зменшити час розрахунку процесу, математичну модель було спрощено: замість побудови 3д моделей плівки та рідини, теплообмін було задано через межові умови на валику, використавши функцію модуля Transient Thermal - Convection.

Однак, такий спосіб потребує обрахування **коефіцієнту тепловіддачі** між згаданими тілами. Тому попередньо було проведено моделювання тепловіддачі між парами тіл. Тіла були взяті у вигляді пластин товщиною 2 мм, жорстко з'єднаних між собою.

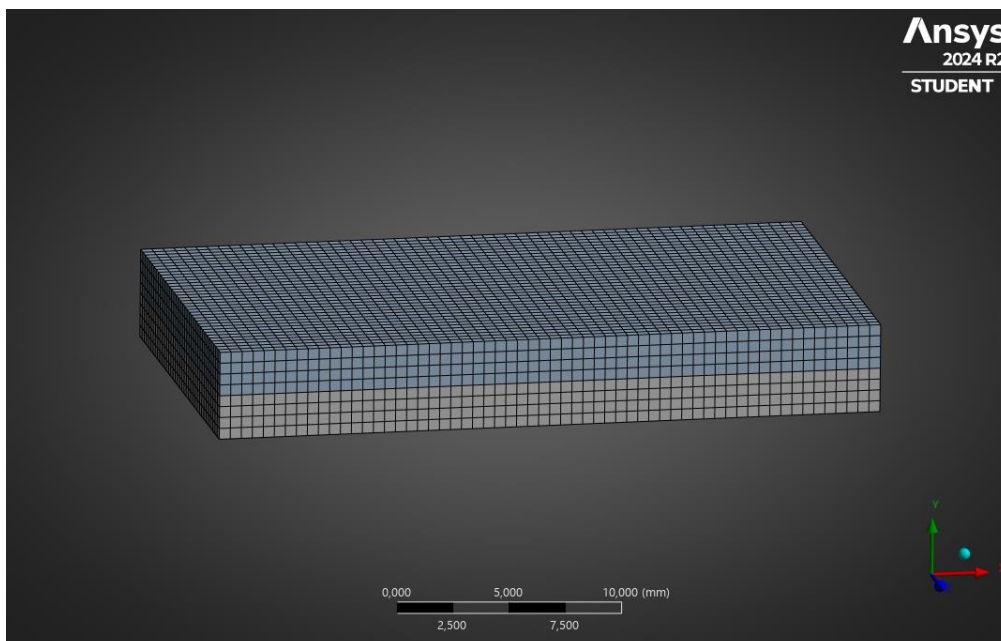


Рисунок 7.3 – 3D модель пластин які жорстко з'єднані між собою

Початкова температура тіл (валик(Al) – 30 °С, вода(water) – 20 °С, плівка(hdpe) – 100 °С) задавалась в блоці Commands(APDL).

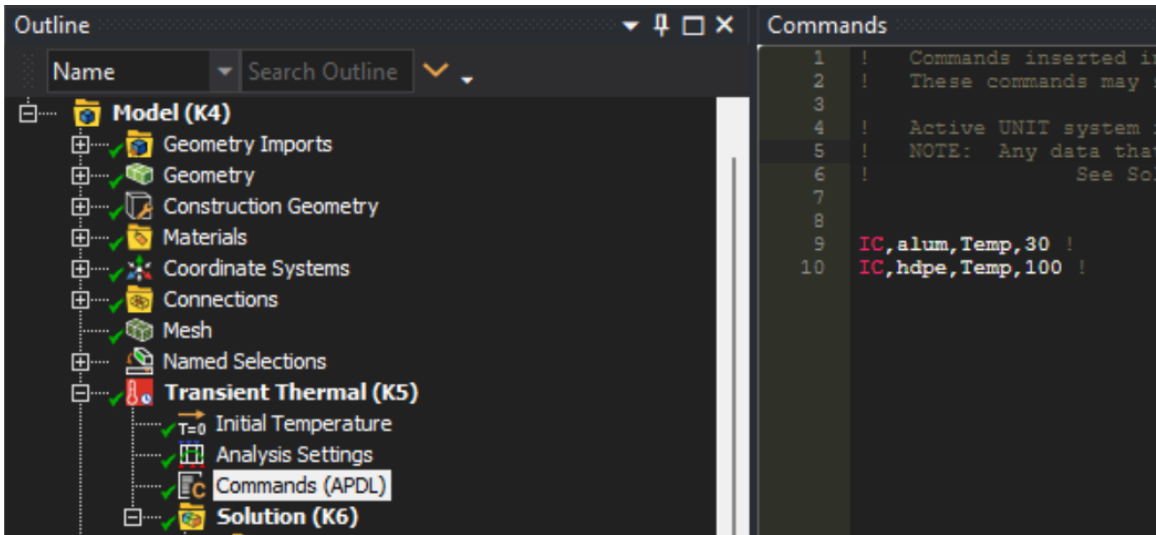


Рисунок 7.4 – Задана температура пластин

Для пари матеріалів HDPE-Aluminium отримано залежність температур контактних поверхонь та теплових потоків від часу. Поділивши значення потоків на відповідні різниці температур та побудувавши залежність такого відношення від час, можна побачити великі значення потоків на початку через різкий перепад температур, а потім інтенсивність охолодження/нагрівання стабілізується. Тоді коефіцієнт тепловіддачі для таких тіл буде відношенням врівноваженого значення потоку теплоти до відповідної різниці температур.

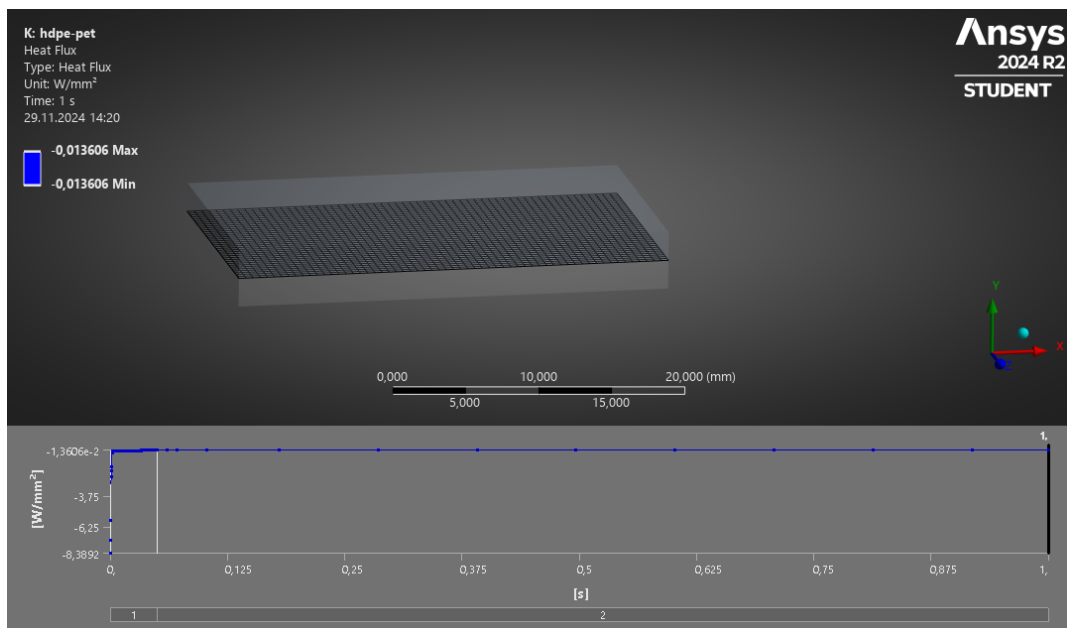


Рисунок 7.5 – Залежність потоку теплоти (heat flux) від часу через поверхню дотику тіл HDPE-PET

Завдяки проведеному аналізу в ANSYS вдалося визначити коефіцієнт тепловіддачі для пари матеріалів HDPE-Aluminium. Розрахунки показали, що на початковому етапі через значний перепад температур тепловий потік через контактні поверхні є максимальним, але з часом інтенсивність охолодження/нагрівання стабілізується. Для стабілізованого режиму коефіцієнт тепловіддачі можна визначити як відношення врівноваженого значення теплового потоку до відповідної різниці температур між поверхнями матеріалів.

Отриманий коефіцієнт:

$$\text{HDPE-Aluminium} \text{ — } 0,01 \frac{\text{Вт}}{\text{мм}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

При конвекційному охолодженні валика водою коефіцієнт тепловіддачі візьмемо:

$$\text{Water-Aluminium} \text{ — } 0,00003 \frac{\text{Вт}}{\text{мм}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

На основі розрахунків, проведених у ANSYS, було побудовано графік залежності теплового потоку (heat flux) через контактну поверхню від різниці температур для пари матеріалів HDPE-Aluminium 6061. Графік демонструє динаміку зміни теплового потоку залежно від перепаду температур, що дозволяє детально оцінити теплову взаємодію між цими матеріалами. Отримані дані дозволяють визначити ключові характеристики теплопередачі та розрахувати коефіцієнт тепловіддачі для цієї матеріальної пари.

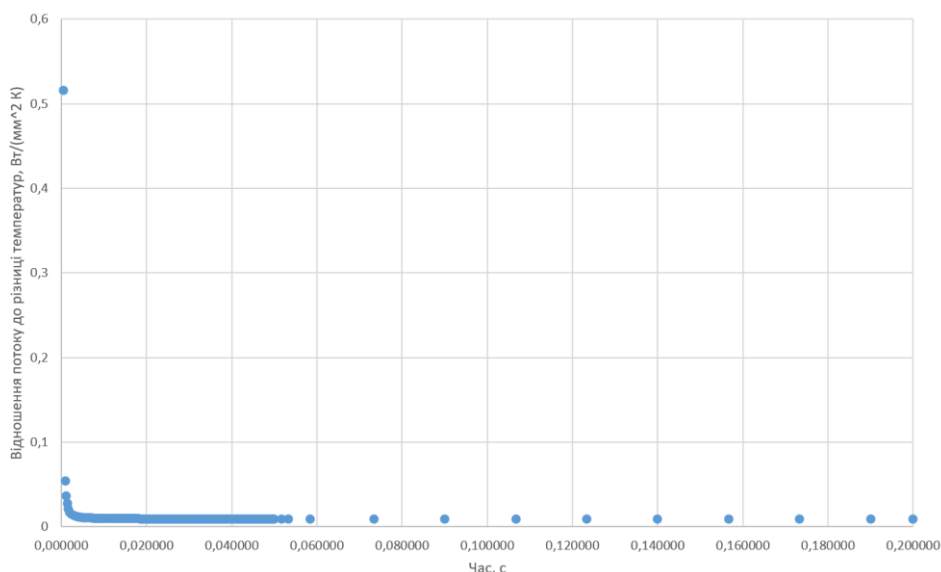


Рисунок 7.6 – Залежності потоку теплоти від різниці температур (HDPE – Aluminium6061)

Наступним кроком було досліджено одночасний нагрів та охолодження валика в модулі Transient Thermal.

Для цього поверхню валика було розбито на сітку методом Sweep і до кожного рядка елементів поверхні прикладено межу умову, яка задає змінний з часом потік теплоти, залежний від коефіцієнта теплопередачі та різниці між температурою валика і середовища (охолоджуючого чи нагріваючого). При таких умовах валик залишається нерухомим, а площа контакту (1/8 всієї площі валика) з плівкою, тобто поверхня нагріву, постійно переміщується (2 обороти за 3 с).

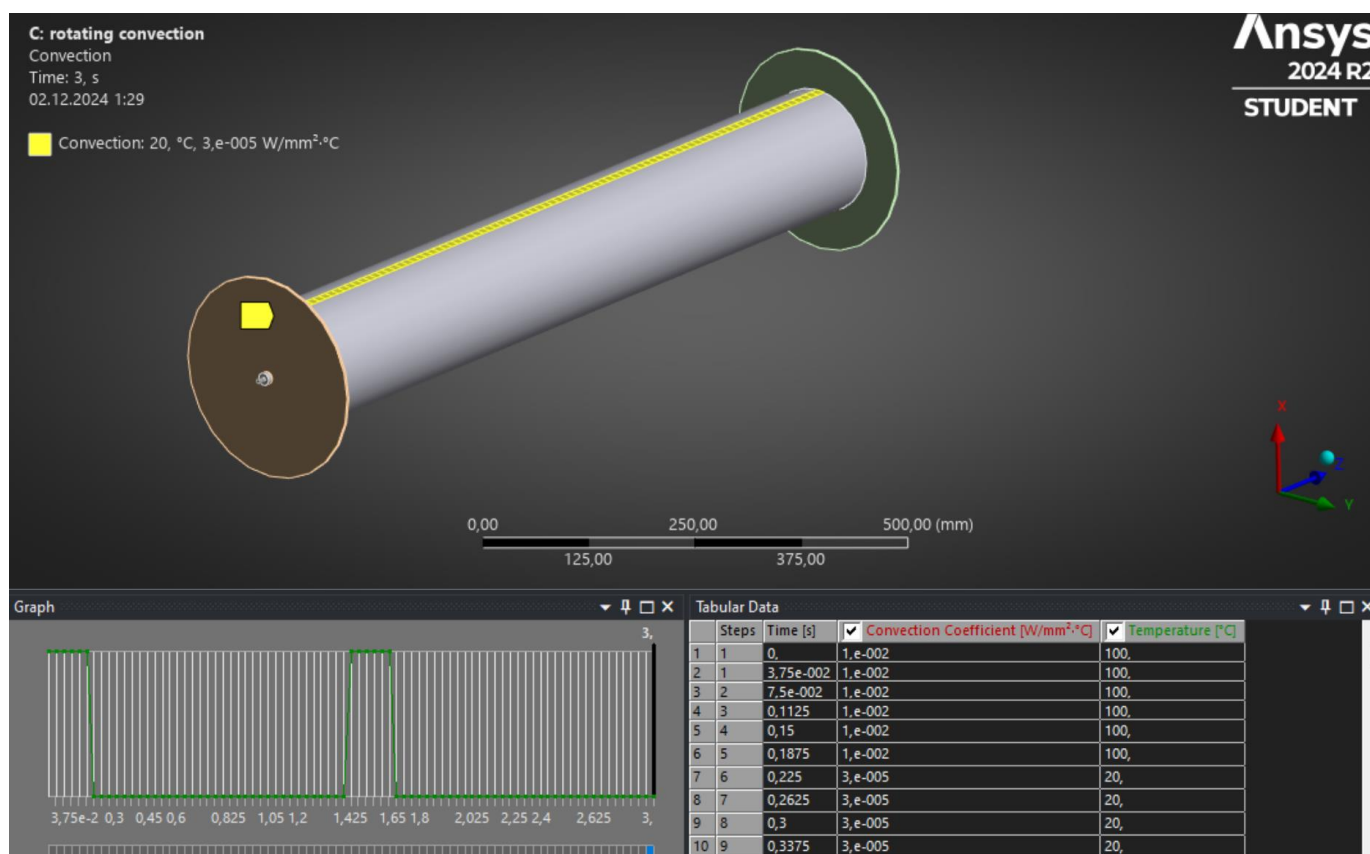


Рисунок 7.7 – Побудова сітки за допомогою метода Sweep

При цьому використано припущення, що температура плівки залишається сталою.

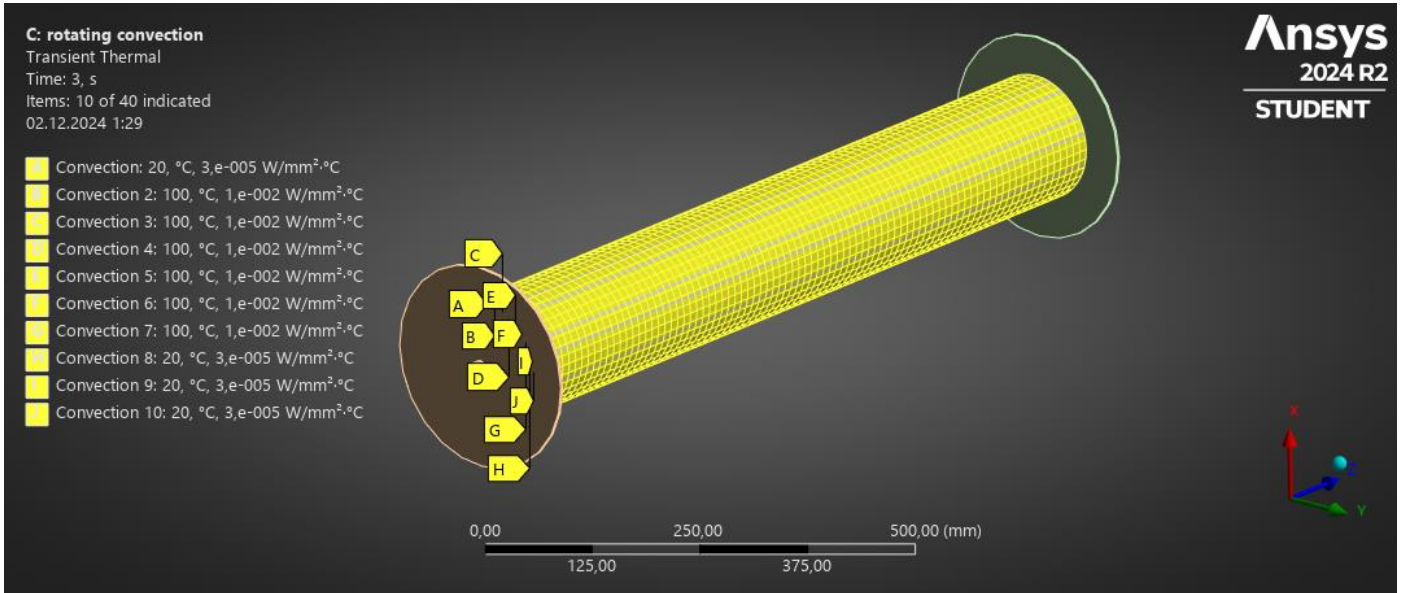


Рисунок 7.8 – Поверхня валика розбита на сітку методом Sweep на 40 однакових елементів і до кожного рядка елементів поверхні прикладено межу умову

Далі робимо розподіл температури на поверхні валика та в його поперечному перерізі можна побачити на (рис. 7.9 і рис. 7.10). Можна помітити, що валик з часом прогрівається. Тому використовуємо розподіл температур в кінцевий час та експортуємо його в модуль Static Structural.

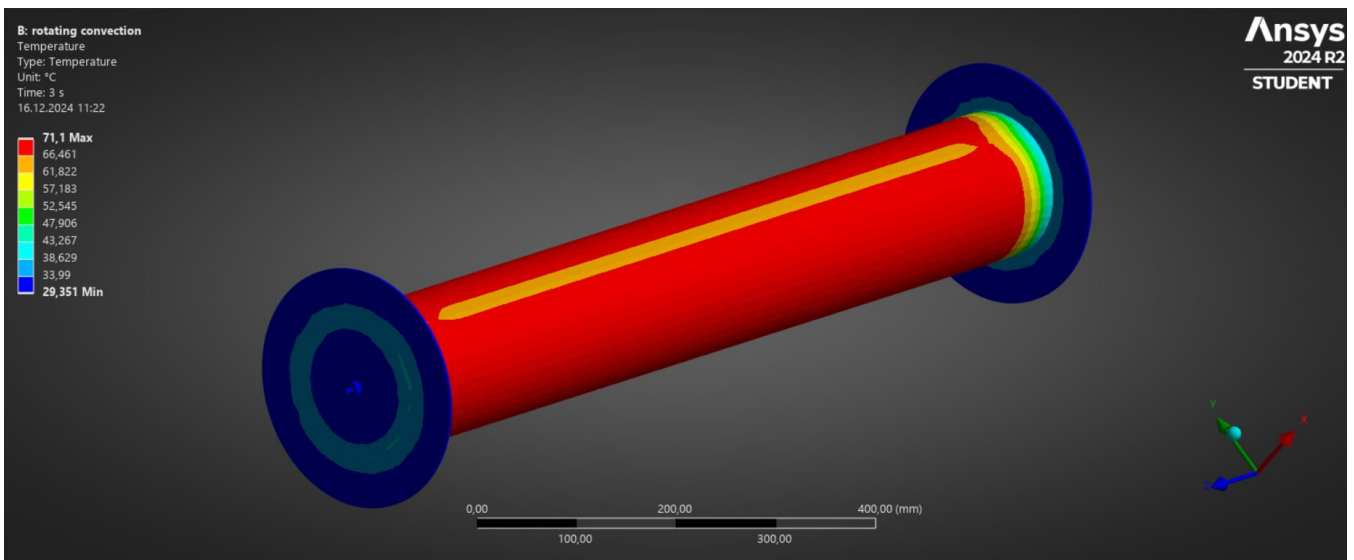


Рисунок 7.9 – Розрахунок розподіл температур валика

Також додаємо рисунок поперечного перерізу валика з відкидання бокових частин валику.

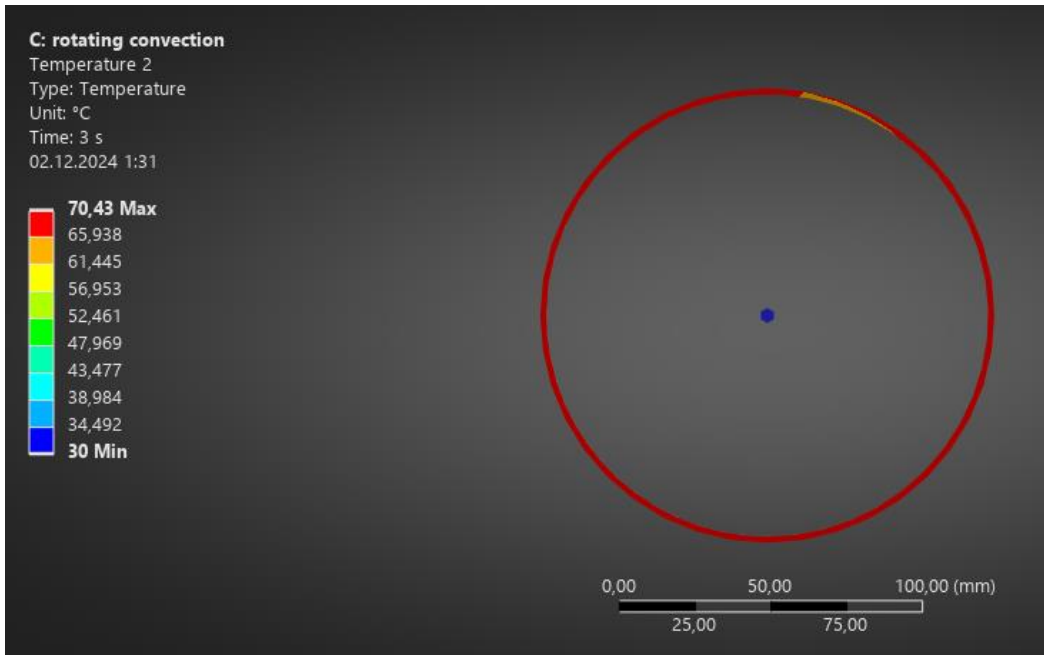


Рисунок 7.10 – Поперечний переріз валика після розподілу температур

Імпортуємо в модуль Static Structural розподіл температури у валику в момент 3 с.

Закріплюємо валик на кінцях осьового прутка жорстким защемленням та прикладаємо тиск в області максимальної температури – 1,7 кПа.

При цьому один кінець валика жорстко закріплено до осьового прутка, інший – може ковзати вздовж нього (це дозволить вільно розширюватись валику в осьовому напрямку).

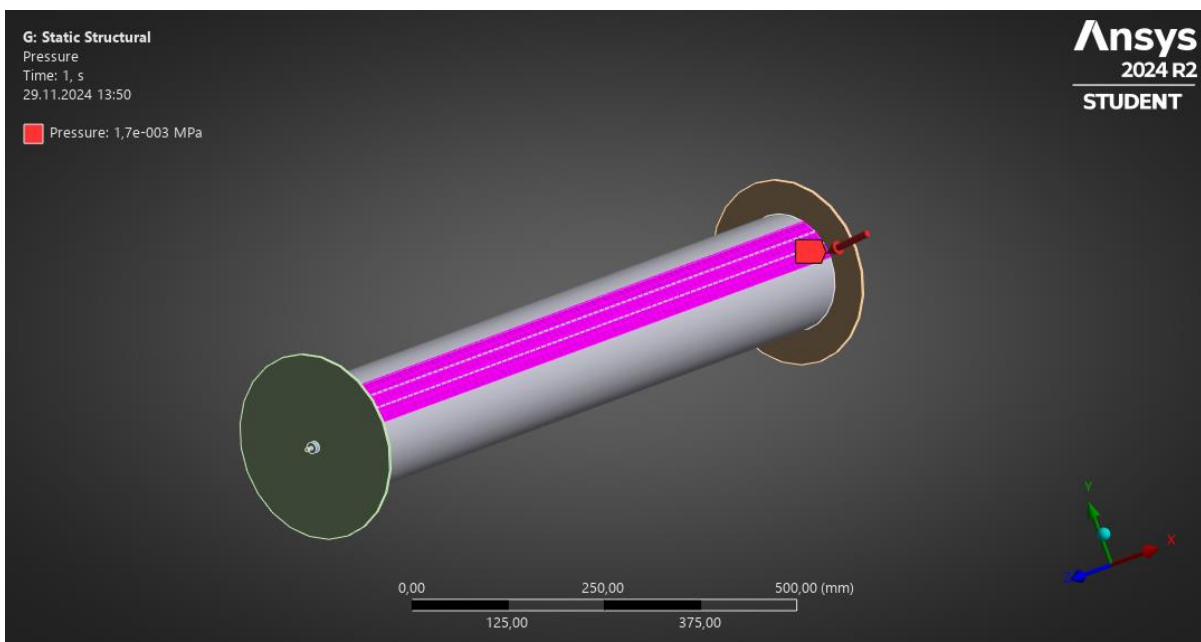


Рисунок 7.11 – Закріплений та прикладений тиск на поверхню валика

Після закріплення та навантаження валика імпортуємо в дерево ANSYS попередній розподіл температур щоб отримати наступні розрахунки: Total Deformation, Equivalent Stress, Directional Deformation, Safety Factor.

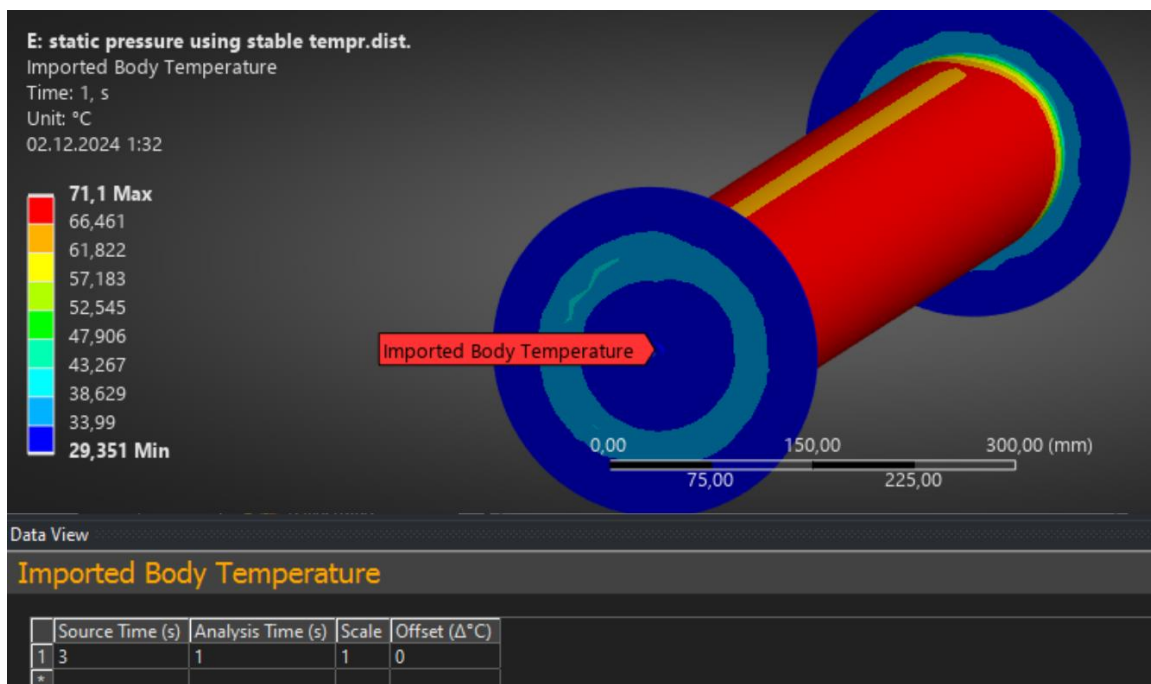


Рисунок 7.11 – Імпорт розподілу температур після навантаження

На рис. 7.12 показано розподіл еквівалентних напружень у валку, з урахуванням впливу напружень в осьовому прутку, отриманий за результатами розрахунку в ANSYS.

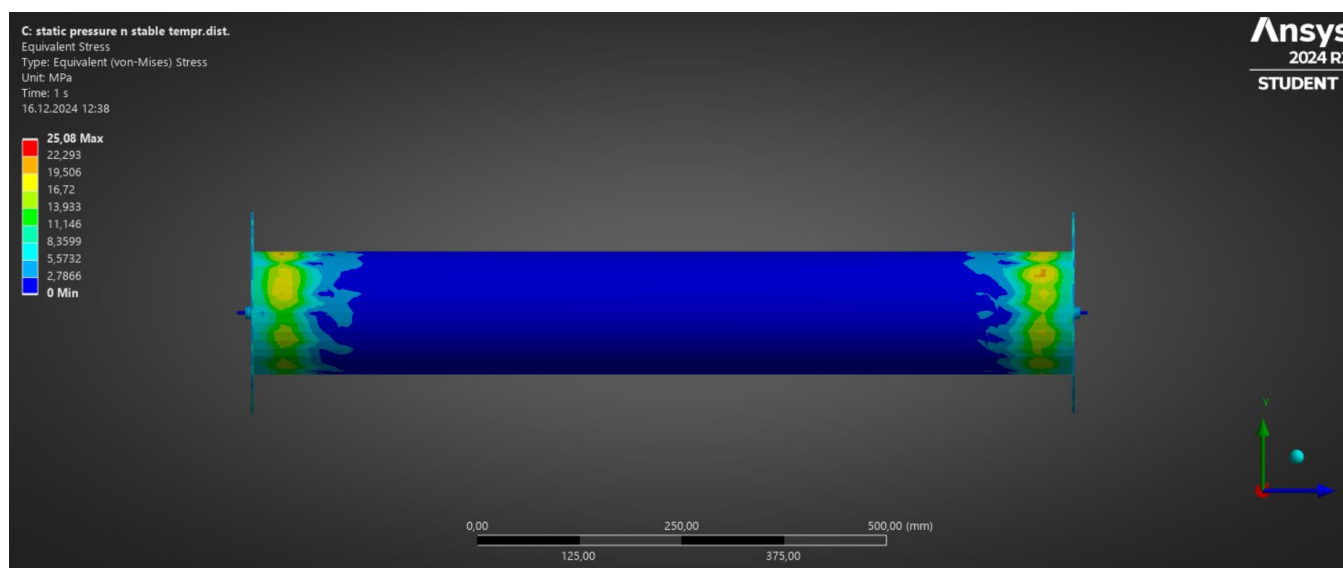


Рисунок 7.12 – Еквівалентні напруження валику

Далі отримуємо розрахунок розподілу повної деформації валика можна помітити, що він витягується вздовж своєї осі на 1 мм, що потрібно буде врахувати при подальшому конструюванні.

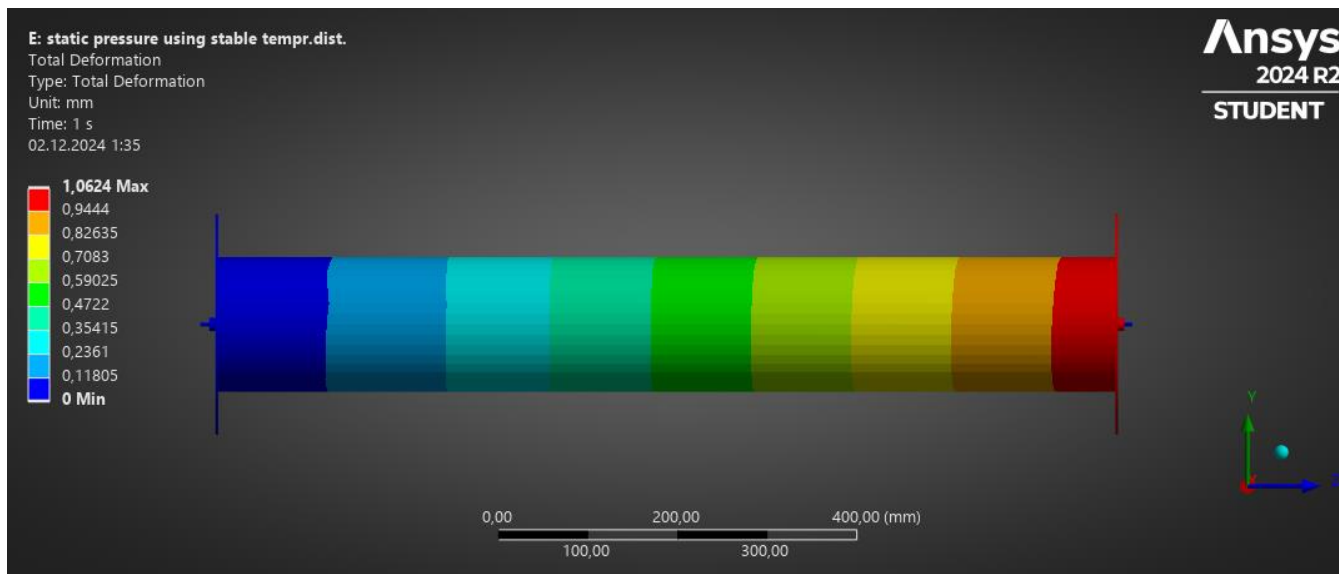


Рисунок 7.13 – Розрахунок розподілу повної деформації валика

Отримана максимальна деформація валика в радіальному напрямку – 0,08 мм. Така деформація в радіальному напрямку є допустимою.

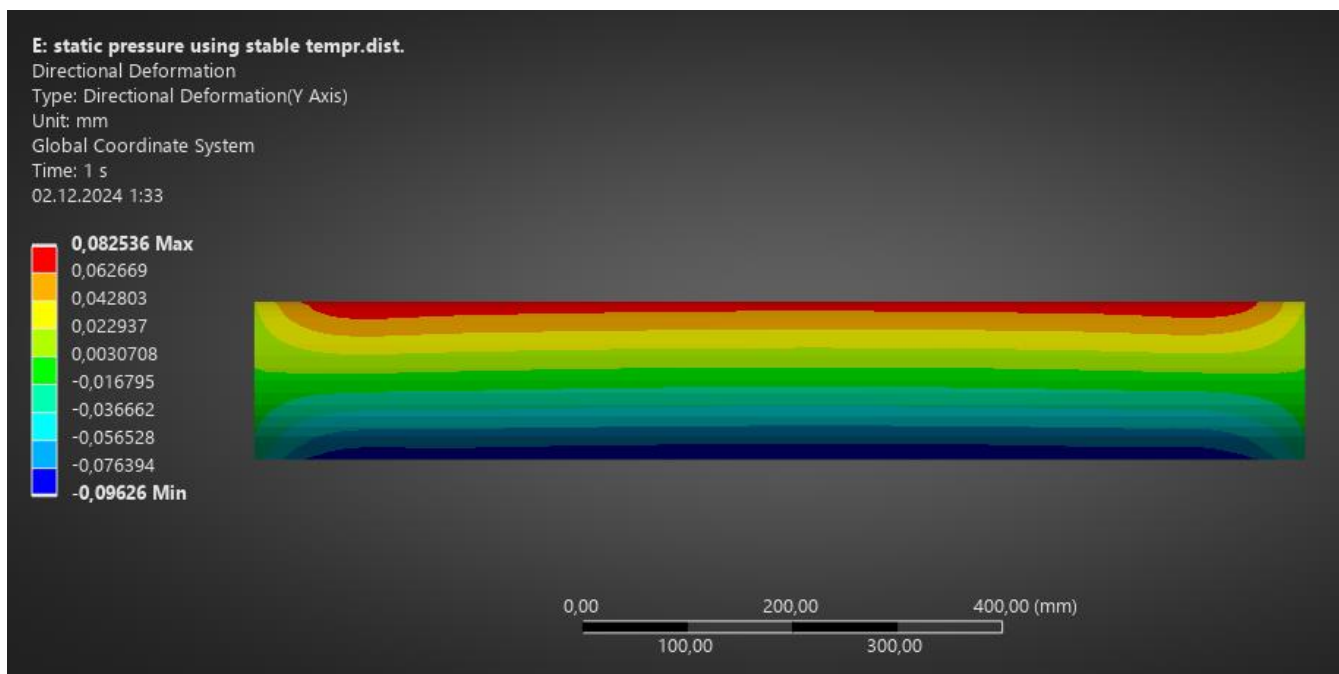


Рисунок 7.14 – Розрахунок максимальної деформації валика

Отримуємо розрахунок коефіцієнту запасу міцності валика під час навантаження плівки та розподіл температур, можна побачити на рис. 7.15.

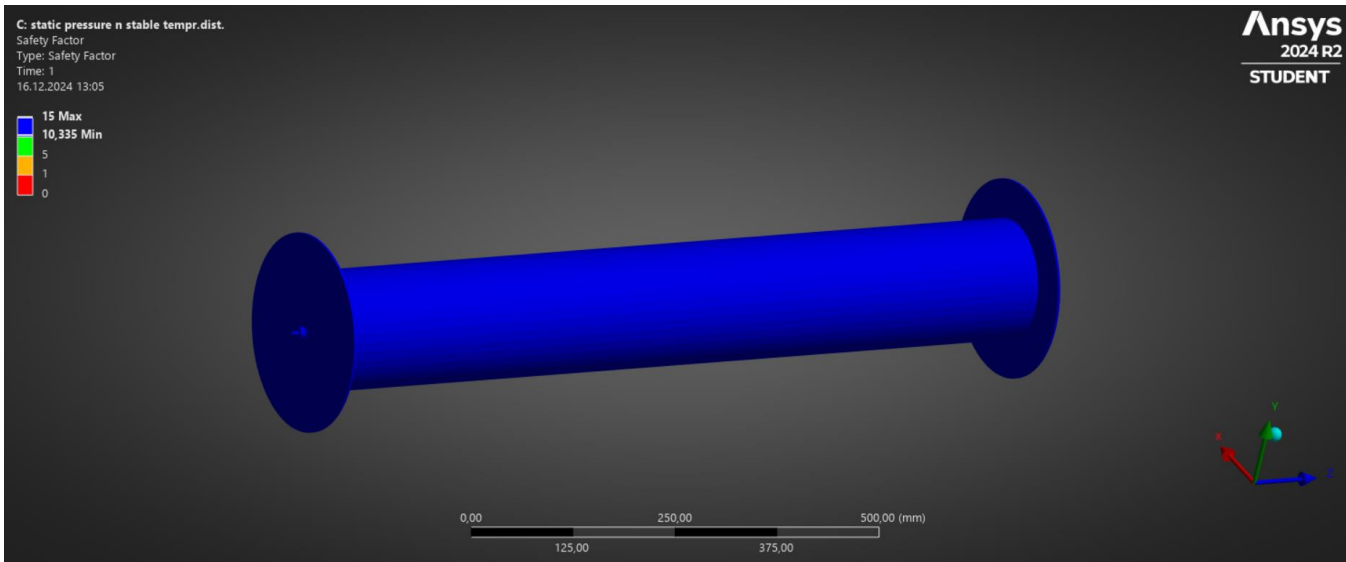


Рисунок 7.15 – Коефіцієнт запасу міцності валику під навантаженням

По результатах, наведених на рис. 7.12 – 7.15, можна прийти до висновку, що проведений аналіз еквівалентних напружень, повної деформації та коефіцієнта запасу міцності валика показав, що максимальна деформація в радіальному напрямку становить 0,08 мм і є допустимою для забезпечення стабільності конструкції. Водночас деформація в осьовому напрямку на 1 мм потребує врахування під час подальшого проєктування. Отримані результати розрахунків підтверджують достатню міцність конструкції валика під навантаженням плівки, а також рівномірність розподілу напружень і температур. Це дозволяє зробити висновок про відповідність валика умовам експлуатації.

Додатково на рисунках 7.16–7.17 наведено властивості матеріалів Aluminum alloy, wrought, 6061 та Plastic, HDPE, які використовуються в конструкції. Алюмінієвий сплав 6061 було обрано як матеріал для валика завдяки його високій стійкості до корозії, що є критично важливим через постійний контакт із водою. Крім того, цей сплав характеризується високою теплопровідністю, що забезпечує ефективне охолодження плівки, достатньою механічною міцністю та малою густиною, що полегшує конструкцію валика.

Aluminum alloy, wrought, 6061, T6	
Aluminum, 6061, T6, wrought	
Data compiled by <b>Ansys Granta</b> , incorporating various sources including JAHM and MagWeb. ANSYS, Inc. provides no warranty for this data.	
Density	2,713e-06 kg/mm <sup>3</sup>
<b>Structural</b>	
▼ Isotropic Elasticity	
Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio
Young's Modulus	69040 MPa
Poisson's Ratio	0,33000
Bulk Modulus	67686 MPa
Shear Modulus	25955 MPa
Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion	2,278e-05 1/°C
Tensile Ultimate Strength	313,10 MPa
Tensile Yield Strength	259,20 MPa
<b>Thermal</b>	
Isotropic Thermal Conductivity	0,15530 W/mm·°C
Specific Heat Constant Pressure	9,157e+05 mJ/kg·°C
<b>Electric</b>	
Isotropic Resistivity	3,999e-05 ohm-mm
<b>Other</b>	
Climate change CO2-eq	9,1370 dBA
Embodied energy	1,265e+08 J/kg
Recycle	1,0000

Рисунок 7.16 – Властивості матеріалу Aluminum alloy, wrought, 6061

Plastic, HDPE	
High density polyethylene / HDPE / PE-HD (homopolymer, general purpose, molding & extrusion)	
Data compiled by <b>Ansys Granta</b> , incorporating various sources including JAHM and MagWeb. ANSYS, Inc. provides no warranty for this data.	
Density	9,585e-07 kg/mm <sup>3</sup>
<b>Structural</b>	
▼ Isotropic Elasticity	
Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio
Young's Modulus	1080,0 MPa
Poisson's Ratio	0,41830
Bulk Modulus	2203,2 MPa
Shear Modulus	380,74 MPa
Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion	0,00014500 1/°C
Tensile Ultimate Strength	28,390 MPa
Tensile Yield Strength	28,390 MPa
<b>Thermal</b>	
Isotropic Thermal Conductivity	0,00048110 W/mm·°C
Specific Heat Constant Pressure	1,78e+06 mJ/kg·°C
<b>Electric</b>	
Isotropic Resistivity	9,95e+19 ohm-mm
Isotropic Relative Permittivity	2,2980
Isotropic Electric Loss Tangent	0,00048990
<b>Other</b>	
Climate change CO2-eq	2,1750 dBA
Embodied energy	7,603e+07 J/kg
Recycle	1,0000

Рисунок 7.16 – Властивості матеріалу Plastic, HDPE.

## 8 Очікувані механіко-економічні показники

Очікується, що модернізація охолоджувального пристрою екструдера сприятиме підвищенню продуктивності обладнання, покращенню якості готової продукції та зниженню витрат на енергоспоживання. Завдяки вдосконаленню конструкції охолоджувальних валків буде забезпечено рівномірне охолодження плівки, що мінімізує внутрішні напруження та зменшує кількість дефектів. Це дозволить підприємству знизити експлуатаційні витрати, скоротити простої обладнання та підвищити конкурентоспроможність на ринку. Окупність проекту очікується в короткостроковій перспективі, що робить модернізацію економічно доцільною.

### ***Механічні показники:***

*Підвищення продуктивності:* Очікується збільшення швидкості охолодження плівки, що дозволить підвищити загальну продуктивність екструдера на 15–20%.

*Якість продукції:* Завдяки рівномірному охолодженню знизиться ймовірність утворення дефектів (наприклад, нерівностей чи внутрішніх напружень), що сприятиме підвищенню міцності та гнучкості плівки на 10–15%.

*Зменшення енергоспоживання:* Оптимізована конструкція охолоджувальних валків забезпечить зниження енергоспоживання охолоджувальної системи на 5–10%.

*Зменшення напружень у плівці:* Новий валок дозволить знизити внутрішні напруження в плівці, підвищуючи її експлуатаційні властивості.

### ***Економічні показники:***

*Скорочення витрат на енергоспоживання:* Завдяки модернізації очікується економія електроенергії, що дозволить зменшити витрати виробництва на 2–5% у середньому.

*Підвищення конкурентоспроможності:* Вдосконалення технологічного процесу підвищить якість продукції, що сприятиме збільшенню попиту на продукцію підприємства.

*Зменшення простоїв обладнання:* Надійніша конструкція охолоджувальних валків зменшить частоту обслуговування та ризик поломок, що дозволить скоротити простої на 15–20%.

*Окупність модернізації:* Очікується, що вдосконалення окупиться протягом 6–12 місяців залежно від обсягу виробництва.

*Розширення ринку збуту:* Завдяки можливості випуску продукції високої якості підприємство зможе вийти на нові ринки, збільшивши рентабельність бізнесу.

## ВИСНОВКИ

Магістерська дисертація виконана за темою «Лінія для виробництва полімерних плівок з ПЕВГ із вдосконаленням охолоджувального пристрою». У роботі досліджено виробничу лінію для виготовлення полімерної плівки, запропоновано модернізацію окремих вузлів і підтверджено їхню ефективність.

Дисертація включає вступ, розгляд призначення та сфери застосування екструдера і виробничої лінії, детальний опис їх конструкції, технічні характеристики моделі 90x25, аналіз патентів щодо модернізацій, а також оцінку відповідності вимогам охорони праці.

Результати розрахунків підтвердили працездатність і надійність конструкції черв'ячного екструдера 90x25, зокрема, оптимізацію його конструктивних елементів.

Модернізація полягає у вдосконаленні конструкції охолоджувального пристрою, що включає розробку більш ефективної системи подачі охолоджувальної води для забезпечення рівномірного розподілу потоку та стабільного температурного режиму по всій поверхні плівки. Передбачено інтеграцію системи автоматичного регулювання температури, що дозволяє адаптувати процес охолодження залежно від властивостей екструдованого матеріалу. Окрім цього, впроваджено механізми очищення води, які запобігають накопиченню забруднень, забезпечуючи тривалу експлуатацію пристрою. Завдяки цим заходам досягається зменшення дефектів плівки, підвищення її якості, зниження енерговитрат та поліпшення економічної ефективності процесу.

Проєкт включає: креслення технологічної лінії виробництва плівки з ПЕВГ, креслення екструдера 90x25, креслення корпусу екструдера, креслення черв'яка, креслення редуктора, схему навантажень і фіксацій валка (ANSYS), розрахунок тепловіддачі в охолоджувальному пристрої (ANSYS).

## Література

1. Басов Н.І., Козаков Ю.Ю., Любартович В.А. – Розрахунок та конструювання обладнання для виробництва і переробки полімерних матеріалів – М.: 1986. – 486с.
2. Методи отримання листів та плівок: веб-сайт. URL: [https://studme.org/320572/tehnika/metody\\_polucheniya\\_listov\\_plenok](https://studme.org/320572/tehnika/metody_polucheniya_listov_plenok) (дата звернення 15.11.2024).
3. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці: Підручник для студ. вищих навч. закладів. За ред. М.П. Гандзюка – К. Каравела, 2004 – 408 с.
4. Жидецький В.Ц., Джигирей В.С., Сторожук В.М. – Практикум із охорони праці – Л.: Афіша, 2000 – 352 с.
5. Коваленко І.В. Основні процеси, машини та апарати хімічних виробництв.: навч. посібник /І.В. Коваленко, В.В. Малиновский. К.: «Воля-Інрес»2006.-100с
6. Щербина В.Ю., Сівецький В.І., Гондляр О.В. Механічні процеси і обладнання виробництва полімерних та будівельних матеріалів і виробів. Підготовка сировинних матеріалів і устаткування для змішування та формування [Електронний ресурс] / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2022. – 131с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/4573>
7. Основи проектування одночерв'ячних екструдерів : навч. посіб. / І. О. Мікульонок, О. Л. Сокольський, В. І. Сівецький, Л. Б. Радченко . – К. : НТУУ «КПІ», 2015. – 200 с. : іл. – Бібліогр. : с. 196. – 300 прим.
8. Пристрій для охолодження плівки, який містить важельну систему: пат. СА2875438 (A1) Китай: В29С48/10; В29С48/92; заявл. 31.05.2013; опубл. 12.12.2013
9. Плівкова головка екструдера: пат. CN220008766 (U) Китай: В29С48/693;заявл. 25.06.2023; опубл. 14.11.2023
10. Ефективний охолоджуючий пристрій для екструдованого матеріалу пластикового екструдера: пат. CN219381545 (U) Китай: В29В9/06; В29С48/355; В29С48/885; заявл. 14.12.2022; опубл. 21.07.2023

11. Система охолодження шнекового екструдера: пат. CN221518740 (U) Китай: В29С48/82 ; заявл. 20.11.2023; опубл. 13.08.2024
14. Пластиковий екструдер зручний для заміни сітки фільтра: пат. CN219789225 (U) Китай: В29С48/691 ; заявл. 24.04.2023; опубл. 03.10.2023
15. Рябінін Д.Д., Лукач Ю.Є. Червячні машини для переробки пластичних мас і гумових сумішей, М.Машинобудування, 1965 – 345.
16. Конструкція та принцип роботи одношнекових екструдерів: веб-сайт. URL: [https://studme.org/252469/tehnika/ekstruzionnye\\_mashiny\\_ekstrudery](https://studme.org/252469/tehnika/ekstruzionnye_mashiny_ekstrudery) (дата звернення 16.09.2024).
17. Маркетинг стартап-проектів [Електронний ресурс] : навчальний посібник для усіх спеціальностей другого освітнього ступеню «магістр» / С. О. Солнцев, О. В. Зозульов, Н. В. Юдіна, Т. О. Царьова, Н. В. Язвінська ; за заг. ред. С.О. Солнцева ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 3,2 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 218 с. URL : <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/27437>
18. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс]: Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.
19. Yudina N.V. Methods of the Startup-Project Developing Based on ‘the Four-Dimensional Thinking’ in Information Society // Marketing and Management of innovations. – 3’2017. – P.245-256.-DOI:10.21272/mmi.2017.3-23 Access mode : <http://mmi.fem.sumdu.edu.ua/journals/2017/3/245-256>.
20. К.Н.Ткачук, М.О.Халімовський, В.В.Зацарний Основи охорони праці: Підручник. 2-ге видання: Основа, 2006 – 448 с.
21. Характеристика матеріалу 38ХН3МА: веб-сайт. URL: [http://www.splav-kharkov.com/mat\\_start.php?name\\_id=193](http://www.splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=193)
22. Ілля Усюк, Валерій Щербина. Автоматизоване проектування черв’ячного валу екструдера, Прикладні науково-технічні дослідження : матеріали VI міжнар. наук.-прак. конф., 14-16 трав. 2024р. – Академія технічних наук України. – Івано-Франківськ. ст. 15-17 <https://ukrtsa.org.ua/wp-content/uploads/2024/05/conf2024.pdf>

**Додаток А      Таблиця розглянутих патентів**

№ п/п	Предмет пошуку	Країна видачі, вид і номер документа	Мета заявленого технічного рішення і спосіб його виконання
1	Пристрій для охолодження плівки, який містить важельну систему	Патент: CA2875438 (A1) Китай: B29C48/10; B29C48/92; Автор: RUBBELKE INGO; JOPPE MARKUS	Метою є підвищення ефективності охолодження плівки в екструзійному процесі шляхом використання важільної системи для регулювання положення охолоджувальних валків, що дозволяє забезпечити рівномірний розподіл охолоджуючого потоку по всій поверхні плівки. <i>Спосіб виконання:</i> Спосіб передбачає використання корпусу з інтегрованими охолоджувальними валками, які регулюються важільною системою для змінення їхнього положення відносно плівки. Система циркуляції охолоджуючого середовища забезпечує рівномірне охолодження, а механізм натягу плівки, інтегрований із важільною системою, дозволяє контролювати натяг плівки для запобігання її деформації.
2	Плівкова головка екструдера	Патент: CN220008766 (U) Китай: B29C48/693; Автор: LIU SHIPING; TENG XINCHAO; LI ZEJIN	Метою цього технічного рішення є вдосконалення конструкції плівкової головки екструдера для спрощення та прискорення процесу заміни або очищення фільтрувальної сітки без необхідності розбирання всієї головки, що дозволяє значно підвищити ефективність виробництва. <i>Спосіб виконання:</i> Зазначене рішення реалізується за допомогою плівкової головки екструдера, яка включає циліндричну оболонку, вертикальну сполучну пластину з знімним фільтром, який можна вивести через наскрізний отвір сполучної пластини за допомогою підйомних циліндрів. Підйомний

			механізм дозволяє ковзати фільтрувальну сітку вздовж сполучної пластини, що забезпечує простоту та швидкість процесу заміни без демонтажу головки екструдера.
3	Ефективний охолоджуючий пристрій для екструдованого матеріалу пластикового екструдера	<p>Патент: CN219381545 (U) Китай: B29B9/06; B29C48/355; B29C48/885; Автор: GAO XIANG</p>	<p>Метою заявленого технічного рішення є створення високоефективного охолоджувального пристрою для екструдованого матеріалу пластикового екструдера, який дозволяє усунути недоліки традиційних методів охолодження. Зокрема, в конструкції передбачається поступове охолодження екструдованого матеріалу, що зменшує ймовірність деформації та пошкодження пластика, що виникає внаслідок різкої температурної різниці між високотемпературним екструдованим матеріалом і охолоджувальною водою.</p> <p><i>Спосіб виконання технічного рішення:</i></p> <p>Спосіб виконання заявленого технічного рішення полягає в тому, що для охолодження екструдованого матеріалу в пластиковому екструдері використовують охолоджувальний басейн, що розташований в безпосередній близькості до екструзійного порту, з попереднім охолодженням екструдованого матеріалу за допомогою системи охолоджувальних форсунок, які розпилюють охолоджувальну воду у вигляді туману. Це дозволяє запобігти різкому температурному шоку та деформації пластика, забезпечуючи рівномірне охолодження. Далі екструдований матеріал транспортується через конвеєрні ролики у басейні, де він стабільно охолоджується. Водопоглинаючі вузли, оснащені обертовими роликами, забезпечують стабільний рух матеріалу до наступного</p>

			етапу обробки. Система автоматичного контролю температури та рівня води забезпечує ефективність процесу охолодження.
4	Система охолодження шнекового екструдера	<p>Патент: CN221518740 (U) Китай: B29C48/82;</p> <p>Автор: YU YONG; TENG MINGCAI; CHENG QIAN; TAO LI; WANG BO; GUO XUANMENG</p>	<p>Метою заявленого технічного рішення є удосконалення системи охолодження шнекового екструдера з метою підвищення ефективності охолодження при високих навантаженнях та покращення стабільності температури в процесі екструзії, що дозволяє запобігти перегріву та забезпечити якість готової продукції.</p> <p><i>Спосіб виконання заявленого технічного рішення:</i></p> <p>Спосіб виконання передбачає використання вдосконаленої системи охолодження, що складається з першої та другої водяних труб, теплообмінника, резервуара для води, водяного насоса та терморегулятора, які послідовно з'єднані в єдину систему. Для ефективного охолодження застосовується спіральний змійовик у теплообміннику, що збільшує площу контакту між рідиною та теплоносієм. Терморегулятор регулює температуру рідини, а манометр забезпечує моніторинг тиску в системі. Система також включає клапани для керування потоком води, що дозволяє знижувати температуру рідини під час високих навантажень. Це рішення забезпечує стабільну роботу шнекового екструдера та покращує ефективність охолодження екструдованого матеріалу.</p>
5	Пластиковий екструдер зручний для	<p>Патент: CN219789225 (U) Китай: B29C48/691;</p> <p>Автор:</p>	<p>Метою цього технічного рішення є створення пластикового екструдера, що забезпечує зручність та швидкість заміни фільтрувальної сітки, мінімізуючи час</p>

	<p>заміни сітки фільтра</p>	<p>TANG QINGZHONG; TANG WENCHENG</p>	<p>зупинки обладнання та підвищуючи ефективність процесу екструзії. Технічне рішення сприяє спрощенню обслуговування екструдера, зменшенню можливих помилок при установці сітки, а також підвищенню стабільності фільтрації під час роботи екструдера.</p> <p><i>Спосіб виконання:</i></p> <p>Заявлене технічне рішення реалізується шляхом вдосконалення конструкції екструдера, зокрема, шляхом включення монтажних пазів і фіксуючих елементів, що дозволяють швидко й ефективно замінювати фільтрувальну сітку. Сітка фільтра вставляється в монтажний паз і фіксується за допомогою фіксуючого кільця, яке забезпечує її надійне закріплення. Під час заміни сітки, достатньо просто вийняти стару сітку та вставити нову, що значно спрощує обслуговування.</p> <p>Доповненням до конструкції є можливість розміщення сітки фільтра в двох паралельних монтажних канавках, що гарантує стабільність її позиції під час роботи. Для забезпечення герметичності в конструкцію входять ущільнювальні елементи, які додатково посилюють фіксацію та мінімізують можливі витoki матеріалу під час екструзії.</p> <p>Завдяки такому технічному рішення, процес заміни фільтрувальної сітки значно спрощується, що сприяє підвищенню продуктивності і зниженню витрат часу на обслуговування екструдера.</p>
--	---------------------------------	--	---