

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”
Інженерно-хімічний факультет
Кафедра хімічного, полімерного і силікатного машинобудування

До захисту допущено

Завідувач кафедри

_____ **Олександр Сокольський**
« _____ » _____ 2025 р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Інжиніринг обладнання виробництва
полімерних та будівельних матеріалів і виробів»

зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

на тему: Агрегат для накладення ізоляції на кабель з модернізацією

екструдера

Студент (-ка) IV к, групи ЛП-12 Мельник Дмитро Сергійович _____
(шифр групи) (прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Керівник проекту:

_____ **PhD, асистент Витвицький В.М.** _____
(вчена ступінь, звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Консультанти з питань

МОДЕРНІЗАЦІЇ: _____ **д.т.н., проф. Щербина В.Ю.**

ТЕХ. МАШ.: _____ **ст. викл. Борщик С.О.**

ОХОРОНИ ПРАЦІ: _____ **ст. викл. Ковтун А.І.**

РЕЦЕНЗЕНТ _____

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

Студент (-ка) _____

Київ 2025 рік

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

Інженерно-хімічний факультет

Кафедра хімічного, полімерного і силікатного машинобудування

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – *133 Галузеве машинобудування*

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ **Олександр Сокольський**

«__» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Мельнику Дмитру Сергійовичу

1. Тема проекту «Агрегат для накладення ізоляції на кабель з модернізацією екструдера», керівник проекту Витвицький Віктор Миронович, асистент, затверджені наказом по університету від « 20.05 » 2025 р. № 1653-С
2. Термін подання студентом проекту 15.06.2025 р.
3. Вихідні дані до проекту: Діаметр черв'яка – 45 мм, відношення робочої довжини до діаметру – 30, матеріал поліпропілен, швидкість обертання шнеку – 150 об/хв, матеріал черв'яка сталь 38Х2МЮА.
4. Зміст пояснювальної записки: Реферат, Перелік умовних позначень. Пояснювальна записка: Вступ, 1 Призначення та область застосування черв'ячного екструдера, 2 Технічна характеристика черв'ячного екструдера, 3 Опис конструкції агрегата і основних частин та принцип її дії, 4 Патентно-літературний огляд, 5 Розрахунки, які підтверджують працездатність та надійність конструкції черв'ячного екструдера та розрахунки в системі Ansys, 6 Охорона праці, 7 Технологія машинобудування, Література, Додатки

5. Перелік графічного матеріалу: 1. Агрегат для накладення ізоляції на кабель з модернізацією екструдера, 2. Модернізований екструдер для накладання ізоляції, 3. Корпус екструдера модернізований з черв'яком, 4. Черв'як, корпус, гільза модернізовані, 5. Результати моделювання черв'яка базового і модернізованого, 6. Результати моделювання корпусу базового і модифікованого.
6. Консультанти розділів проекту*

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

7. Дата видачі завдання: 20.05.2025 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Вступ. Технічна характеристика	10.04.2025-15.04.2025	
2	Призначення та область застосування	16.04.2025-18.04.2025	
3	Опис конструкції агрегата і принцип дії	19.04.2025-25.04.2025	
4	Патентно-літературний огляд	25.03.2025-30.04.2025	
5	Розрахунки	01.05.2025-29.05.2025	
6	Охорона праці	30.04.2025-9.06.2025	
7	Технологія машинобудування	30.04.2025-11.06.2025	
8	Висновки	12.06.2025-13.06.2025	
9	Графічна частина	10.04.2025-10.06.2025	

Студент

Дмитро МЕЛЬНИК

Керівник проекту

Віктор ВИТВИЦЬКИЙ

РЕФЕРАТ

Дипломний проект бакалавра, за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування, за темою «Агрегат для накладання ізоляції на кабель з модернізацією екструдера». Виконано студентом групи ЛП-12 Мельник Д.С., керівник – асистент, доктор філософії Витвицький В.М.

Дипломна робота має текстову частину та графічну. У текстовій частині 8 пунктів, 24 ілюстрації, 4 додатків. Загальний записки обсяг сягає 113 сторінок. До графічної частини належить 4 креслення у форматі А1, та два плакати з розрахунками черв'яка і корпусу.

Задачею диплому «Агрегат для накладання ізоляції на кабель з модернізацією екструдера» є спроектувати модернізацію вузла екструдера для виробництва ізоляції з поліпропілену. Метою модернізації являється покращення стабілізація черв'яка екструдера, для поліпшення кінцевої якості виробу, а також для збільшення довговічності агрегату.

У роботі було спроектовано черв'ячний прес конструкції ЧП 45х30. Також було проведено ряд розрахунків, що підтверджують працездатність самої машини. Ще було проведено розрахунки в системі Ansys модернізованого вузла, які показали працездатність при заданих умовах черв'яка, а також поліпшені механічних характеристик черв'яка при навантаженні.

Було обрано патент UA21056U, суть якого це модернізація черв'яка і корпусу шляхом введення обертових тіл.

За результатами проекту підготовлено доповідь для участі у науково-технічній конференції та опубліковано тези.

Ключові слова: АГРЕГАТ, ІЗОЛЯЦІЯ, ЕКСТРУДЕР, ЧЕРВ'ЯК, КОРПУС, МОДЕРНІЗАЦІЯ.

ABSTRACT

Bachelor's Diploma Project, specialty 133 Industrial Engineering, on the topic "Pipe Line with Cooling System Modernization". Completed by student of group LP-12, Melnyk D.S., supervised by PhD, Assistant Vytvytskyi V.M.

The diploma project consists of a textual part and a graphical part. The textual part includes 8 sections, 24 illustrations, and 4 appendices, with a total length of 113 pages. The graphical part includes 4 A1 format drawings and two posters featuring calculations of the worm and the housing.

The task of the diploma "Unit for Applying Insulation to Cable with Extruder Modernization" is to design the modernization of the extruder unit for the production of polypropylene insulation. The purpose of the modernization is to improve the stabilization of the extruder worm to enhance the final product quality and increase the unit's longevity.

In the project, a screw press of the ЧП 45x30 design was developed. A series of calculations were conducted to confirm the machine's operability. Additionally, calculations were performed in the Ansys system for the modernized unit, which demonstrated operability under the specified conditions of the worm, as well as improved mechanical characteristics under load.

Patent UA21056U was selected, which pertains to the modernization of the worm and housing by introducing rotating elements.

Keywords: UNIT INSULATION EXTRUDER SCREW CASING
MODERNIZATION

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

D - діаметр черв'яка, мм;

G – витрата, м³/с (або кг/с);

H, h – висота, м;

E – модуль пружності, Мпа.

b – ширина, м;

L - довжина черв'яка, мм;

n – кількість оборотів червяка, об/хв;

N - потужність двигуна, кВт;

ρ - об'ємна маса матеріалу, кг/м³;

F - площа зовнішньої головки, м²;

G_m - продуктивність машини, м³/год;

P - потужність нагрівників, кВт;

$T_{\text{поч}}$ - початкова температура матеріалу, С;

$T_{\text{кін}}$ - температура розплаву на виході, С;

S – площа, м²;

b – ширина, м;

H, h – висота, м;

m – маса, кг;

α - коефіцієнт тепловіддачі, Вт/м²·К;

δ – товщина, м;

λ – коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К);

ν – кінематичний коефіцієнт в'язкості, м²/с;

K – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·К);

η – коефіцієнт корисної дії ;

τ – дотичні напруження, Н/м²;

W – осьовий момент опору.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ГАЛУЗЬ ЗАСТОСУВАННЯ АГРЕГАТУ ДЛЯ НАНЕСЕННЯ ІЗОЛЯЦІЇ НА ДРІТ.....	5
2 ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА БАЗОВОЇ МАШИНИ.....	7
3 ОПИС БАЗОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ, ЇЇ ОСНОВНИХ ЧАСТИН ТА ПРИНЦИП ДІЇ.....	8
3.1 Опис кінематики екструдера.....	8
3.2 Опис конструкції екструдера.....	10
4 ЛІТЕРАТУРНИЙ ТА ПАТЕНТНИЙ ОГЛЯД СТАНУ ПИТАННЯ	12
4.1 Огляд існуючих рішень.....	12
4.2 Обґрунтування запропонованої модернізації	15
5 РОЗРАХУНКИ	20
5.1 Розрахунок геометричних параметрів черв'яка.....	20
5.2 Розрахунок коефіцієнта геометричної форми екструзійної головки ...	22
5.3 Розрахунок продуктивності черв'ячної машини.....	27
5.4 Розрахунок перепаду тиску у головці.....	31
5.5 Розрахунок потужності двигуна екструдера.....	35
5.6 Розрахунок черв'яка на міцність.....	38
5.7 Розрахунок черв'яка на стійкість.....	41
5.8 Розрахунок жорсткості черв'яка.....	42
5.9 Розрахунок шліцьового з'єднання.....	44
5.10 Тепловий розрахунок черв'яка.....	45
5.11 Розрахунок корпусу в системі Ansys.....	49
5.11 Розрахунок базового черв'яка в системі Ansys.....	54

					ЛП12.08243.01-70 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		<i>Мельник</i>			Агрегат для накладення ізоляції на кабель з модернізацією екструдера	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		<i>Витвицький</i>					1	
Керівник.						КПІ ім. Ігоря Сікорського		
Н. Контр.								
Затверд.		<i>Сокольський</i>						

5.12 Розрахунок модернізованого черв'яка в системі Ansys.....	59
5.13 Розрахунок модернізованого корпусу.....	61
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРИДОВИЩА.....	64
6.1 Механічна безпека.....	65
6.2 Електрична безпека.....	66
6.3 Пожежна безпека.....	67
6.4 Шумове забруднення.....	68
6.5 Повітря у робочій зоні.....	69
7 ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ.....	71
7.1 Технологія виготовлення деталі	71
7.2 Опис та призначення деталі	72
7.3 Вибір заготовки для виготовлення деталі	74
7.4 Технологічний процес виготовлення деталі.....	75
7.5. Вибір та розробка пристосування для певної операції.....	76
7.6 Вибір пристосування, опис конструкції та принцип дії.....	78
7.7 Технологічний процес виготовлення деталі.....	79
7.8 Висновки до розділу.....	93
ВИСНОВКИ.....	94
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	96
ДОДАТКИ.....	99

Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

ВСТУП

У світі, де технології постійно розвиваються і наука стрімко просувається вперед, хімічне машинобудування постійно шукає нові та вдосконалені методи виробництва для отримання якісних та конкурентоздатних матеріалів. Одним із важливих напрямків у цій галузі є використання черв'ячних екструдерів, які можуть перетворювати полімерні матеріали у високоефективні продукти з різноманітними властивостями. У полімерній промисловості екструдери використовуються для створення широкого спектру продукції, починаючи від плівок та ізоляції і закінчуючи елементами будівельних конструкцій або складовими частинами транспортних засобів.

Ці пристрої мають вирішальне значення для забезпечення високої якості й ефективності у виробництві полімерних матеріалів. Вони дозволяють створювати інноваційні продукти з різноманітними характеристиками, що відповідають потребам ринку та вирішують різноманітні завдання в галузі полімерної технології. Черв'ячні екструдери можуть обробляти багато типів матеріалів, таких як ПВХ, ПЕНГ, ПЕВГ, ПП та інші, і застосовуються у виробництві широкого асортименту продукції, зокрема ізоляції.

Поліпропілен (ПП) — це термопластичний полімер, який широко використовується в галузі машинобудування та електротехніки, зокрема для виготовлення ізоляційних покриттів, листів, плівок і технічних деталей.

Вироби з поліпропілену мають такі властивості:

- Висока термостійкість і стійкість до деформації при нагріванні.
- Гарна механічна міцність, включаючи опір на розрив і вигин.
- Низька густина, що дозволяє зменшити вагу виробів.
- Висока стійкість до впливу хімічних речовин, зокрема кислот, лугів та органічних розчинників.
- Висока електроізоляційна здатність.
- Низьке водопоглинання.

Виробництво листів, плівок та ізоляційних оболонок з ПП за допомогою одночерв'ячних екструдерів є поширеним у промисловості. Такий підхід забезпечує стабільність параметрів виробу, однорідність структури, а також можливість формування багатошарових матеріалів, що підвищує їхню механічну та електричну стійкість.

Використання вдосконалених корпусів екструдера дозволяє підвищити якість розплаву, стабільність процесу екструзії та економію енергоресурсів, що робить технологію привабливою для масового виробництва ізоляційних виробів з поліпропілену.

1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ГАЛУЗЬ ЗАСТОСУВАННЯ АГРЕГАТУ ДЛЯ НАНЕСЕННЯ ІЗОЛЯЦІЇ НА ДРІТ

Технологічна лінія з даним екструдером (Рис. 3.1) призначена для нанесення ізоляції з поліпропілену на дріт.

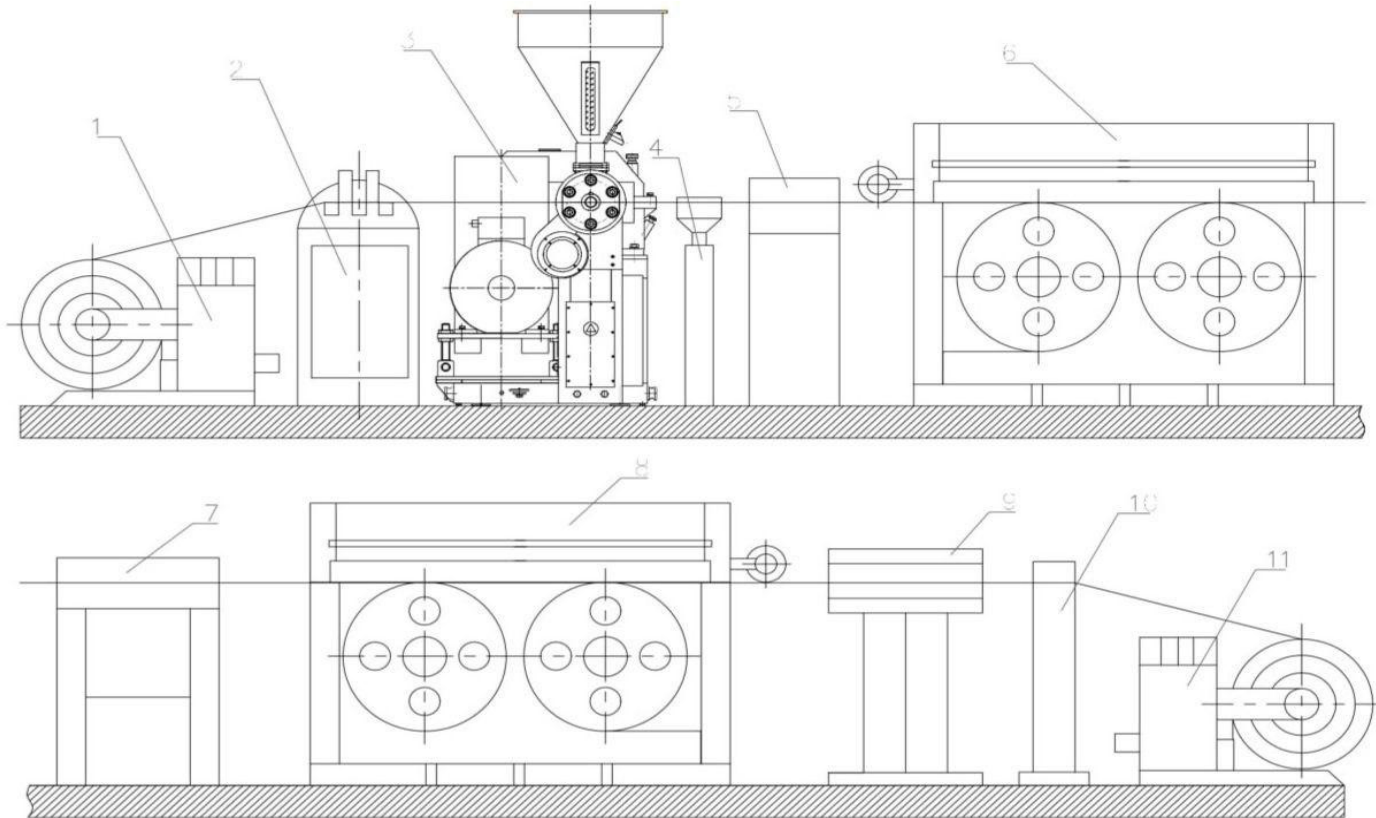


Рисунок 3.1 – Технологічна лінія для нанесення ізоляції з ПП :

1 – пристрій подачі; 2 – рихтувальний станок; 3 – черв'ячний екструдер; 4 – вимірювач діаметру; 5 – обдув; 6 – тяговий пристрій; 7 – лазерний маркувальник; 8 – тяговий пристрій; 9 – апарат контролю ізоляції; 10 – лічильник метражу; 11 – пристрій прийому

Сировина у вигляді гранул подається в завантажувальний бункер екструдера

1. Весь процес починається з пристрою, що віддає, на який встановлюється сталевий барабан з мідною жилою.

2. Пристрій подає мідну жилу на рихтувальний верстат. Рихтувальний верстат випрямляючи жилу у свою чергу подає мідну жилу на голову співекструдера та екструдера, де проходить наступний процес:

- Автоматична подача сировини співекструдера та екструдера за допомогою насоса наповнює (засмоктує) необхідну кількість матеріалу у бак для подачі сировини. З бака сировина поступово подається в циліндр співекструдера та екструдера (подача сировини залежить від заданої на шафі управління швидкості). Співекструдер необхідний для додавання смуги маркування в оболонку з пластикату.
- У циліндрі екструдера матеріал проходить через п'ять зон нагріву, починаючи від невеликої температури до найвищої на виході (головка екструдера).
- Мідна жила проходить через головку екструдера, в якій встановлена матриця для центрування та задання необхідної товщини ізоляції, що наноситься на жилу. У результаті цього етапі отримуємо ізольований провід.

3. Після ізольований провід проходить через вимірювач діаметру для контролю, а потім в повітряний обдув для сушіння.

4. Після сушіння ізольований провід надходить у лазерний маркувальник, який наносить на провід необхідне маркування.

5. Потім маркований ізольований провід потрапляє у пристрій двоколісного типу, який тягне його для подачі в лентообмотчик, який дозволяє робити одношарове та двошарове накладання армуючої стрічки на провід.

6. Після покриття стрічкою наступний тяговий пристрій передає провід на апарат контролю ізоляції, в якому перевіряється електричний опір ізоляції для попередження пробоїв. Встановлений далі лічильник метражу показує кількість виробленого дроту.

7. Далі провід потрапляє на приймальний пристрій та намотується на металевий барабан.

8. Після барабан з проводом встановлюється в бухтовщик, необхідний для намотування проводу в бухти заданого метражу.

2 ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЧЕРВ'ЯЧНОГО ЕКСТРУДЕРА ЧП 45Х30

Базовою машиною для виробництва рукавної плівки є одночерв'ячний екструдер моделі 45х30. Основні технічні характеристики машини (табл. 2.1)

Таблиця 2.1 – Основні технічні характеристики машини

№	Параметр	Значення
1	Діаметр черв'яка	45 мм
2	Довжина черв'яка	1522 мм
3	Частота обертання	150 об/хв
4	Продуктивність	13,5 кг/год
5	Привід	Електродвигун
6	Потужність електродвигуна	75 кВт
7	Система обігріву	Електронагрівники
8	Система охолодження	Повітряне, з регульованими вентиляторами
9	Система управління	Автоматизована
10	Перероблюваний матеріал	Поліпропілен (ПП)

Подальша робота проводитиметься з урахуванням всіх параметрів.

3 ОПИС БАЗОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ, ЇЇ ОСНОВНИХ ЧАСТИН ТА ПРИНЦИП ДІЇ

3.1 Опис кінематики екструдера

Екструзія – метод формування виробів та напівфабрикатів необмеженої довжини шляхом продавлюванням розплаву полімерної маси через формуючу головку, геометрична форма вихідного каналу якої визначає профіль виробу або напівфабрикату, який ми отримаємо в подальшому.

Найпоширенішим видом обладнання у сфері переробки полімерів є черв'ячний прес, який також відомий як екструдер. Його основним завданням є формування однорідного полімерного розплаву та подача цього матеріалу під тиском до формувальної головки.

Екструдер (черв'ячна машина, або прес) служить центральним вузлом промислових ліній, де виконується комплекс взаємопов'язаних операцій з переробки матеріалів. Він поєднує в собі функції пластикатора та насоса, безперервно проштовхуючи полімерний розплав, утворений у гвинтовому каналі, через формувальну головку.

Залежно від конструкції та принципу роботи основного робочого органу, що переміщує розплав до формуючої головки, екструдери класифікують на три типи: шнекові, безшнекові та комбіновані. Шнекові екструдери також часто називають черв'ячними пресами.

Найпростіша конструкція екструдера — це одночерв'ячний тип (див. рис. 3.2). Основними складовими такого екструдера є циліндр із встановленими нагрівальними елементами, шнек (який може бути як з системою охолодження, так і без неї, як у нашому випадку) та формувальна головка. Залежно від типу полімеру та технологічних умов переробки використовують шнеки з різним профілем і варіаціями глибини нарізки вздовж довжини шнека. Головними робочими елементами є циліндр та обертовий у ньому шнек (черв'як), які

виконують послідовно низку робочих операцій, які умовно поділяються на три зони: завантаження, стиснення та дозування.

При проектуванні черв'ячних машин особливої уваги потребує вибір геометричних параметрів і конструкції черв'яка, адже саме вони визначають як продуктивність обладнання, так і якість кінцевої продукції. Варто підкреслити, що для ефективної переробки конкретних полімерів чи їх сумішей необхідна спеціальна геометрія робочих органів. Інакше кажучи, шнек, розроблений для певного виду сировини, може не забезпечити належної якості при обробці інших матеріалів. Зазвичай крок гвинтової нарізки співпадає з діаметром черв'яка, що одночасно визначає кут нахилу різьби. Відповідно, для конкретного діаметра черв'яка важливо розрахувати глибину нарізки в кожній із зон. Кінематична схема цієї черв'ячної машини зображена на рис. 3.1

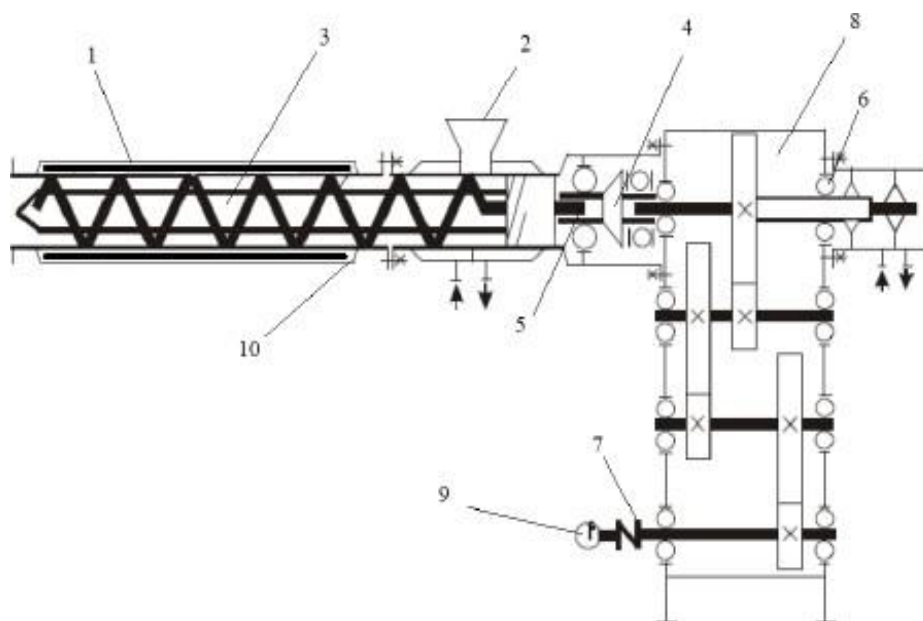


Рисунок 1.1 – Кінематична схема екструдера

1 – циліндр; 2 – корпус завантажувальної лійки; 3 – черв'як;
4 – вузол упорного підшипника; 5 – шліцьове з'єднання; 6 – радіальний підшипник; 7 – пружна муфта; 8 – редуктор; 9 – електродвигун; 10 – кожух

У наведеній кінематичній схемі присутній вузол упорного підшипника, який є необхідним і дуже відповідальним елементом будь-якого екструдера. Цей підшипник сприймає значні осьові навантаження, що виникають під час роботи

черв'яка, та передає їх на циліндричний корпус екструдера..

Корпус упорного підшипника виконує роль з'єднувального елемента між корпусом черв'ячного пресу та редуктором, забезпечуючи точне співвісне розташування черв'яка і вала редуктора.

3.2 Опис конструкції екструдера

Черв'ячний екструдер ЧП 45Х30 функціонує на основі принципу безперервного оброблення полімерних матеріалів шляхом їх плавлення, змішування, гомогенізації та подальшого видавлювання через формуючу головку.

Основні компоненти шнекового пресу: бункер, корпус, шнек, нагрівач, формуюча головка, система приводу, охолоджувальна система, вимірювальні прилади. Усі деталі з'єднані фланцями.

Загальний вигляд одночерв'ячного екструдера наведено на рис.3.2:

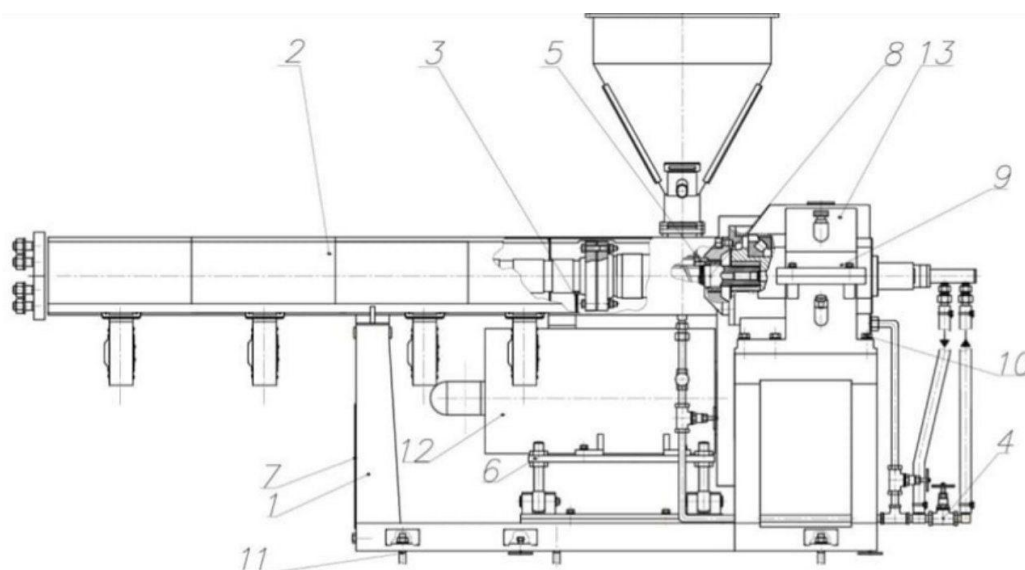


Рисунок 3.2. - Одночерв'ячний екструдер

1 – рама; 2 – кожух корпуса; 3 – бункер; 4 – система охолодження; 5 – корпус; 6 – воронка завантажувальна; 7 – черв'як; 8 – втулка; 9 – плита несуча; 10 – редуктор; 11 – вентилятор; 12 – нагрівач; 13 – розвід проводів

Рама 1 є основою всього екструдера, забезпечуючи стійкість і підтримку інших компонентів. Кожух корпусу 2 захищає внутрішні компоненти 9 екструдера від зовнішніх впливів і забезпечує безпеку роботи. Бункер 3 використовується для завантаження полімерних гранул, які надходять до зони плавлення. Система охолодження 4 контролює температуру екструдера, запобігаючи перегріванню і забезпечуючи оптимальні умови для процесу плавлення. Корпус 5 містить основні робочі частини екструдера і забезпечує їх захист і правильне функціонування. Воронка завантажувальна 6 спрямовує полімерні гранули з бункера до черв'яка. Черв'як 7 є ключовим елементом екструдера, який забезпечує транспортування, нагрівання та плавлення полімерного матеріалу. Втулка 8 підтримує черв'як і забезпечує його правильне розташування всередині корпусу. Плита несуча 9 підтримує конструкцію екструдера і забезпечує стійкість під час роботи. Редуктор 10 знижує швидкість обертання двигуна до необхідної для ефективної роботи черв'яка. Вентилятор 11 і нагрівач 12 є частинами системи теплового контролю, які забезпечують необхідну температуру для плавлення полімеру та його охолодження. Розвід проводів 13 відповідає за електричне з'єднання та управління різними компонентами екструдера. Принцип роботи черв'ячного екструдера полягає в наступному. Полімерні гранули завантажуються у бункер (3), після чого потрапляють у завантажувальну воронку (6). Далі матеріал подається до черв'яка (7), який обертається всередині корпусу (5). При обертанні черв'як рухає гранули вздовж циліндра, де вони поступово нагріваються завдяки нагрівальним елементам (12), розташованим по довжині корпусу. Полімер розплавляється, перетворюючись на в'язку масу, яка під тиском черв'яка рухається вперед. Потрапляючи в екструзійну головку, розплав набуває форми труби. Охолодження готового виробу здійснюється системою охолодження (4), що забезпечує стабільність розмірів та форми. Таким чином, екструдер забезпечує безперервний і ефективний процес перетворення гранул полімеру у готову продукцію високої якості.

4 ЛІТЕРАТУРНИЙ ТА ПАТЕНТНИЙ ОГЛЯД СТАНУ ПИТАННЯ

4.1 Огляд існуючих рішень

Метою літературно-патентного огляду є вибір модернізації черв'яка екструдера. Було виконано огляд варіантів модернізації черв'яка та було обрано сім патентів, з яких один буде розглянуто як фінальний.

Джерело [1] стосується модернізації корпусу черв'ячного екструдера, який має на внутрішній поверхні в зоні виходу розплаву кільцеву проточку, у якій розміщені тіла обертання (наприклад, кульки або ролики) — див. рисунок 4.1(а,б,в). Така конструкція дозволяє створити плаваючу опору для черв'яка, що забезпечує його стабілізацію в осьовому і радіальному напрямках. Це знижує навантаження на черв'як, компенсує теплове розширення в зоні тиску та покращує рівномірність структури розплаву. Додатково зменшується тертя між черв'яком і корпусом, що знижує знос вузла та підвищує його ресурс. Конструкція є технологічно простою — тіла обертання можуть змінюватися без демонтажу всього механізму.

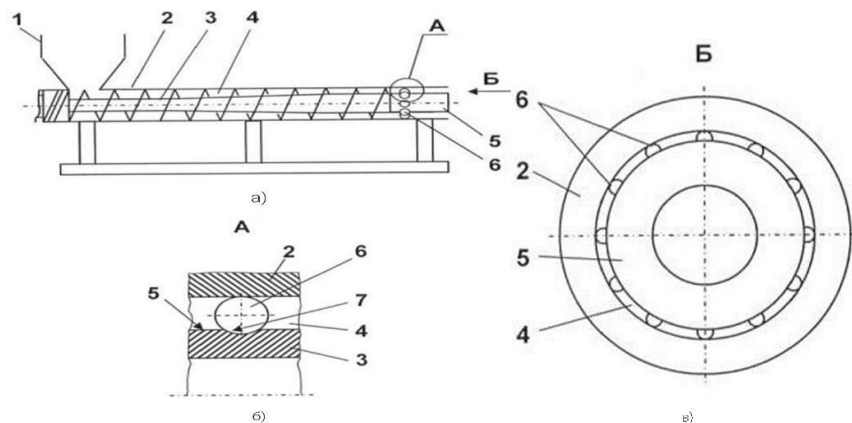


Рисунок 4.1 – Кільцева проточка в корпусі з розміщеними в ній тілами обертання (пояснення в тексті)

Корпус 1 черв'ячного екструдера виконаний порожнистим і споряджений завантажувальним бункером. У порожнині корпусу 1 розміщено з можливістю обертання черв'як 2, що утворює з корпусом 1 робочий канал 3. У зоні кінцевої ділянки 4 черв'яка 2 в корпусі 1 забезпечено розміщення тіл

обертання 5, встановлених у кільцевій проточці 6 на черв'яку 2. Корпус 1 забезпечує утримання тіл обертання 5 в робочому положенні та формує стабільний робочий канал 3 у зоні виходу з екструдера. (рис. 4.1 а-в)

Джерело [2] стосується модернізації корпуса черв'ячного екструдера, який оснащено інтегрованою системою теплового регулювання, вбудованою безпосередньо в корпус — див. рисунок 1. У корпусі передбачені порожнини для циркуляції теплоносія, які забезпечують ефективний контроль температури в зонах пластикації та гомогенізації. Крім того, в конструкції реалізовано функцію змішування матеріалу за допомогою додаткових вставок, які створюють турбулентні потоки розплаву.

Такий підхід дозволяє підвищити якість змішування полімерів, зменшити температурні коливання по довжині екструдера, а також прискорити адаптацію до зміни умов переробки. Вбудовані канали теплообміну забезпечують енергоефективність та стабільну роботу екструдера при обробці термочутливих матеріалів.

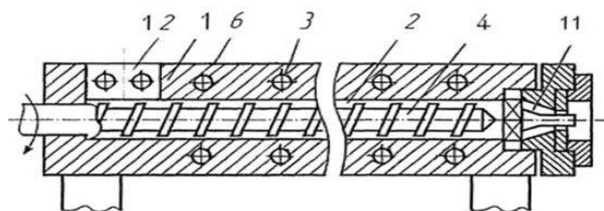


Рисунок 4.2 – Корпус екструдера з інтегрованими каналами теплового регулювання та зонами змішування (пояснення в тексті)

Корпус 1 матеріального циліндра виконаний порожнистим, утворює робочу камеру 2, оснащену теплообмінним пристроєм 3, розташованим під теплоізоляційним кожухом 6. На зовнішній поверхні корпуса 1 встановлено електронагрівачі 5. У середині робочої камери 2 з можливістю обертання встановлено шнек 4. Корпус 1 з'єднано з формуючою головкою 11 та має завантажувальний отвір 12 для подачі сировини. Теплообмінний пристрій 3

виконано у вигляді спіральної трубки, з'єднаної з трубопроводом 8, що веде до завантажувального бункера 7 (рис.4.2)

Джерело [3] стосується модернізації вузла завантаження черв'ячного екструдера для переробки полімерних матеріалів, у якому реалізовано регульовану систему подачі матеріалу за допомогою втулки, що переміщується уздовж осі черв'яка (Рис. 4.3(а,б,в)).

У запропонованій конструкції всередині корпусу екструдера встановлено підпружинений черв'як, змонтований в упорному підшипнику з можливістю осьового переміщення. З боку упорного підшипника в корпусі розміщено концентричну втулку, що переміщується завдяки пальцям, кінці яких заходять у кільцеву проточку на черв'яку. Це забезпечує синхронізацію переміщення втулки та черв'яка, дозволяючи при необхідності відкривати або закривати прохідний отвір завантажувальної лійки.

Втулка додатково обладнана фіксаторами повороту, а її пропускний отвір розміщується точно навпроти отвору лійки при крайньому положенні — що гарантує точне регулювання подачі матеріалу та мінімізацію втрат.

Така конструкція дозволяє автоматизувати або механізувати керування завантаженням матеріалу, покращує стабільність подачі, знижує ризик утворення повітряних порожнин, а також підвищує гнучкість налаштування екструдера до різних видів сировини.

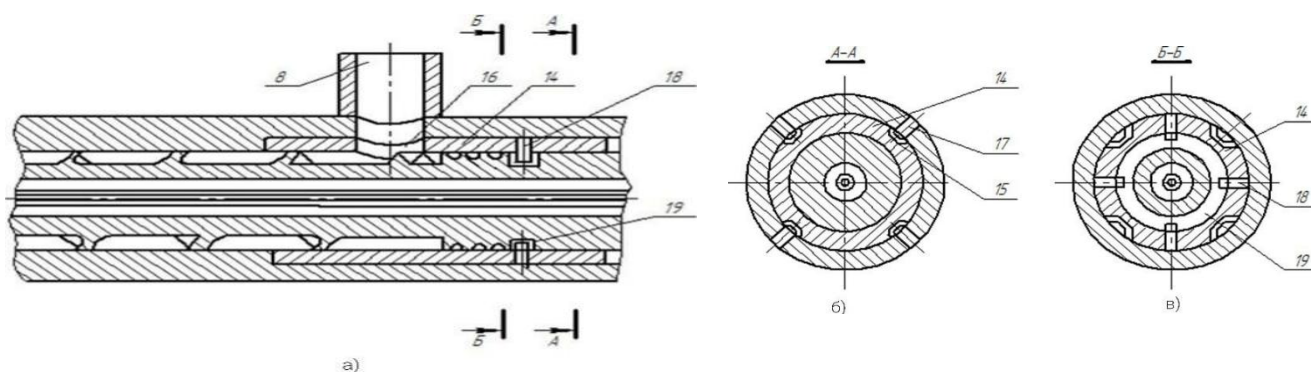


Рисунок 4.3 – Схема конструкції черв'яка з рухомою втулкою у корпусі екструдера. (пояснення в тексті)

Корпус 7 черв'ячного екструдера виконаний у вигляді циліндра з розточенням під розміщення черв'яка 9. З боку редуктора 2 в корпусі виконано отвір для встановлення втулки 14 з проточками 15 по зовнішньому діаметру. Втулка 14 змонтована з можливістю осьового переміщення і має пропускний отвір 16, що в крайньому положенні суміщається з прохідним отвором завантажувальної лійки 8. Фіксація втулки 14 від провороту забезпечується штифтами 17, які входять у проточки 15. Переміщення втулки 14 відбувається разом із черв'яком 9 завдяки пальцям 18, які входять у кільцеву проточку 19 на його хвостовику. На зовнішній поверхні корпуса 7 розташовані елементи системи обігріву з автоматичним зональним регулюванням температури. До корпуса приєднана формуюча головка 13 з конічними поверхнями 12, що утворюють з насадкою 10 щілину 11 для формування виробу (рис.4.3 а-в)

Джерело [4] стосується модернізації корпуса одночерв'ячного екструдера, спрямованої на регулювання просторової взаємодії штифтів із потоком полімерного матеріалу у робочому каналі (Рисунок 4.4(а,б,в)). У корпусі виконано отвори, рівномірно розміщені по колах, у які встановлюються штифти, здатні входити у канал.

Ззовні корпуса змонтовано блок кулачків, який обертається синхронно з черв'яком, і керує рухом кожного зі штифтів. Гребінь гвинтової нарізки черв'яка виконаний суцільним, без розривів, тому взаємодія кулачків із штифтами дозволяє втягувати їх у корпус і запобігати контакту з черв'яком, що мінімізує зношування робочих елементів.

Таке конструктивне рішення забезпечує динамічну зміну геометрії робочого каналу корпуса, що дозволяє ефективно керувати процесом ущільнення, перемішування та транспортування розплаву. В результаті підвищується гнучкість налаштувань екструдера, адаптація до різних типів полімерної сировини та стабільність параметрів екструзії.

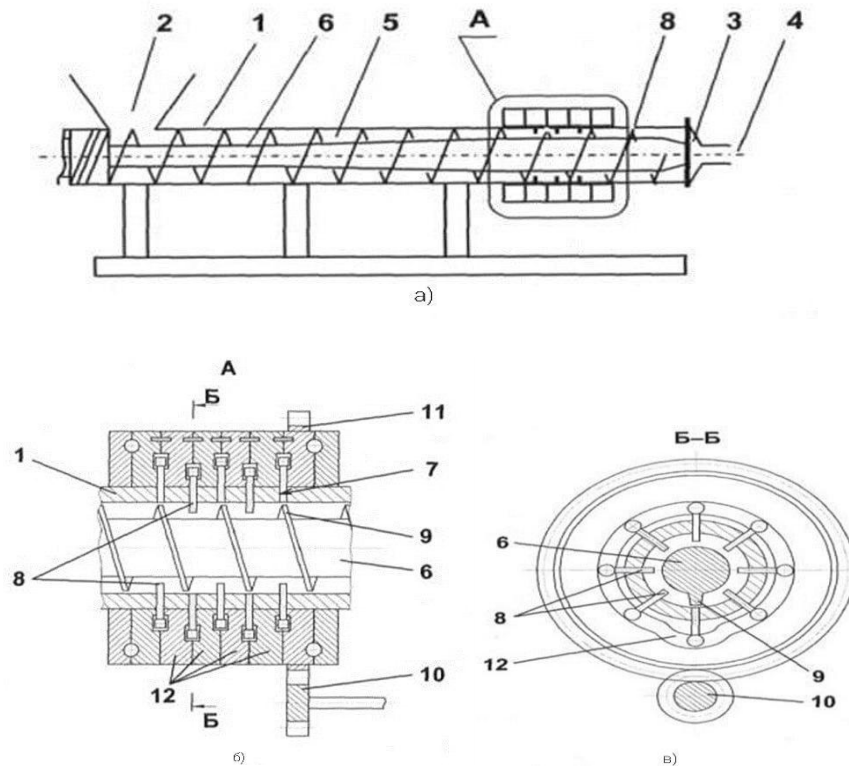


Рисунок 4.4 — Схематичне зображення модернізованого корпусу одночерв'ячного екструдера зі штифтами та синхронно обертовим блоком кулачків для їх втягуванн (пояснення в тексті)

Екструдер містить порожнистий корпус (1) із завантажувальним отвором (2) та фільтру (3) з розвантажувальним отвором (4), розміщену в порожнині корпусу з утворенням робочого каналу (5). У корпусі розміщено черв'як (6) з гвинтовою нарізкою, здатний обертатися. У стінці корпусу рівномірно по колах виконано отвори (7) для встановлення штифтів (8), що виходять у робочий канал (5). Гребінь (9) гвинтової нарізки черв'яка (6) виконаний суцільним, без розривів. Ззовні корпуса (1) змонтовано блок кулачків (12), які синхронно обертаються з черв'яком (6) (через шестерню (10) та зубчасте колесо (11)). Кількість кулачків відповідає кількості рядів отворів для штифтів. Штифти (8) встановлені з можливістю взаємодії з кулачками (12) для втягування у отвори корпусу та запобігання контакту з гребенем (9) під час обертання. Під час роботи матеріал подається у завантажувальний отвір (2), захоплюється черв'яком (6) і транспортується до розвантажувального отвору (4). На ділянці розміщення штифтів (8) матеріал інтенсивно перемішується та диспергується. Коли гребінь

(9) наближається до штифта (8), кулачок (12) втягуючи штифт у корпус (1), дозволяє гребеню безперешкодно пройти, при цьому очищуючи кулачок від налиплого матеріалу. Запропонована конструкція значно підвищує ефективність перероблення різноманітних матеріалів, розширюючи технологічні можливості екструдера (рис. 4.4 а-в)

Джерело [5] стосується модернізації корпусу екструдера, в якому реалізовано інтегровану систему охолодження та змішування матеріалу — див. рисунок 4.5. Корпус оснащено внутрішніми каналами для циркуляції охолоджуючої рідини, що дозволяє ефективно контролювати температуру в процесі екструзії. Крім того, конструкція передбачає спеціальні вставки або геометричні елементи, які сприяють покращенню змішування полімерного матеріалу під час його проходження через екструдер.

Такий підхід забезпечує підвищену однорідність розплаву, зменшує ризик утворення гарячих точок та покращує теплову стабільність процесу. Інтеграція охолоджуючих каналів безпосередньо в корпус дозволяє зменшити габарити обладнання та спростує його обслуговування.

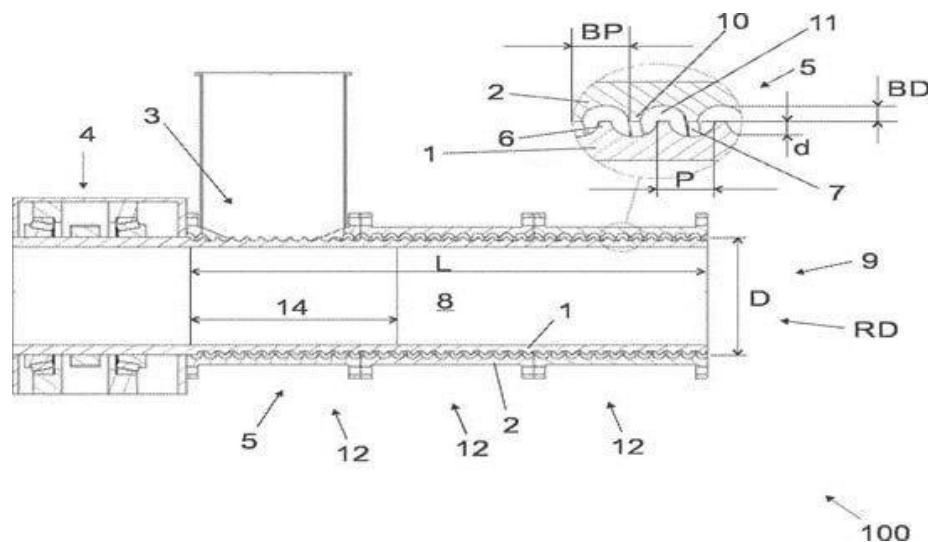


Рисунок 4.5 – Корпус екструдера з інтегрованими каналами охолодження та елементами для змішування (пояснення в тексті)

4.2 Обґрунтування запропонованої модернізації

Було обрано прототип [3] через його конструктивне рішення щодо стабілізації черв'яка в екструдері за допомогою класичних упорів, оскільки це безпосередньо впливає на зниження зношування та підтримання точності подачі розплаву. Такий підхід дозволяє покращити параметри роботи екструзійної системи при переробці полімерних матеріалів, зберігаючи ефективність формування та зменшуючи втрати.

У традиційних конструкціях екструдера вал черв'яка спирається на упорні підшипники ззовні корпусу. У середині екструдера не передбачено жодного елемента, який би зменшував люфт чи стабілізував осьове положення черв'яка безпосередньо в робочому каналі. При цьому, в процесі переробки полімерів розплав зазнає значного тиску, що може призводити до прогину черв'яка, зменшення точності подачі та погіршення якості продукції.

Класичні рішення не враховують можливість активної або пасивної стабілізації черв'яка в зоні виходу, де навантаження є найвищими. Це обмежує довговічність та ефективність обладнання при роботі з високов'язкими чи наповненими композиціями.

Запропоноване технічне рішення [3] усуває ці недоліки шляхом модернізації конструкції корпусу екструдера. Внутрішня поверхня корпусу у вихідній зоні оснащується кільцевою проточкою, в яку вмонтовано тіла обертання (наприклад, кульки або ролики) (Рис. 4.6).

Ці елементи утворюють плаваючу опору для черв'яка, яка не заважає його обертанню, але компенсує осьове зміщення та прогин.

Така конструкція забезпечує локальну стабілізацію черв'яка в зоні найвищого тиску та температурного навантаження. В результаті зменшується ризик контакту черв'яка зі стінками корпусу, знижується знос і покращується рівномірність подачі розплаву в формуючий інструмент.

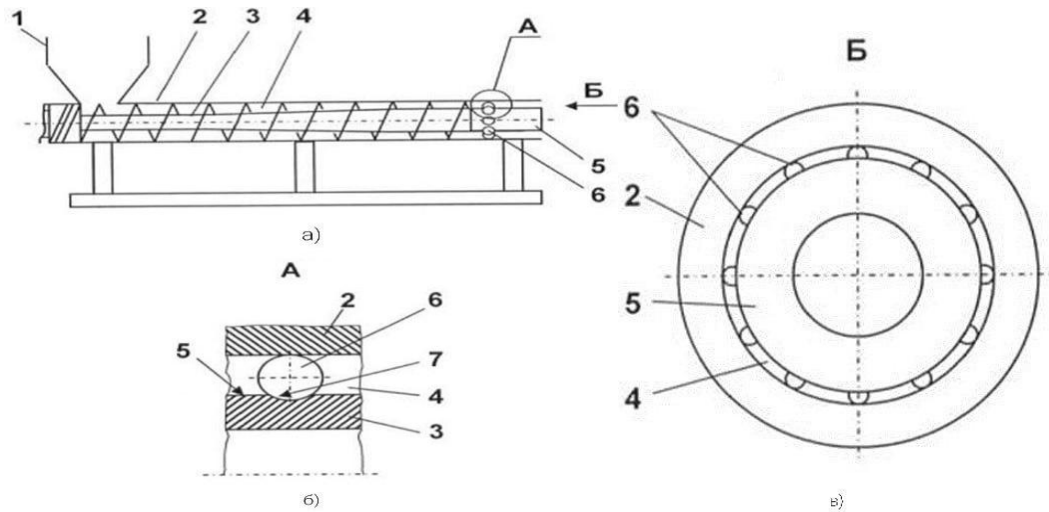


Рисунок 4.6 - Кільцева проточка в корпусі з розміщеними в ній тілами обертання

Крім того, у кращому виконанні тіла обертання встановлюються з можливістю їх швидкої заміни через демонтаж ззовні, без розбирання всієї екструзійної системи. Це забезпечує зручність обслуговування та адаптацію системи до різних технологічних умов.

Таким чином, запропоноване винахідницьке рішення дозволяє підвищити стабільність та точність подачі полімерного розплаву, зменшити зношування черв'яка, а також розширити технологічні можливості екструдера за рахунок ефективної компенсації осьового тиску та теплових деформацій. Загалом, це підвищує надійність, довговічність і універсальність роботи екструзійної системи.

5 РОЗРАХУНКИ

5.1 Розрахунок геометричних параметрів черв'яка

Черв'як є основним вузлом черв'ячної машини і призначений для транспортування полімерного матеріалу від завантажувальної воронки до формуючої головки, а також для пластикації гранул, ретельного перемішування розплаву і набору необхідного тиску для видавлювання з головки [1].

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

Нижче розглянуто розрахунок екструдера з черв'яком діаметром $D = 45$ мм і відношенням довжини робочої частини до його діаметра $L/D = 30$.

Інші параметри черв'яка вибираються в залежності від матеріалу, що переробляється. У даному випадку матеріалом, що переробляється, є полівінілхлорид і базові параметри черв'яка обчислюються виходячи із залежностей, представлених нижче [2-3].

Крок гвинтової лінії черв'яка

$$t = (0,8 \dots 1,2) \cdot D = 1 \cdot 45 = 45 \text{ мм.}$$

Кут підйому гвинтової лінії

$$\varphi = \arctg\left(\frac{t}{\pi \cdot D}\right) = \arctg\left(\frac{45}{3,14 \cdot 45}\right) = 17,67^\circ.$$

Товщина гребеня черв'яка

$$e = (0,06 \dots 0,12) \cdot D = 0,11 \cdot 45 = 5 \text{ мм.}$$

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

Зазор між черв'яком і гільзою:

$$\delta = (0,002 \dots 0,003) \cdot D = 0,0024 \cdot 45 = 0,108 \text{ мм,}$$

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

Глибина гвинтового каналу в зоні завантаження

$$h_1 = (0,12...0,16) \cdot D = 0,15 \cdot 45 = 6,75 \text{ мм.}$$

Глибина гвинтового каналу в зоні дозування складає

$$\begin{aligned} h_3 &= 0,5 \left[D - \sqrt{D^2 - \frac{4 \cdot h_1}{i} \cdot (D - h_1)} \right] = \\ &= 0,5 \left[45 - \sqrt{45^2 - \frac{4 \cdot 6,75}{3,925} \cdot (45 - 6,75)} \right] = 1,513 \text{ мм,} \end{aligned}$$

де $i = 3,925$ – ступінь стиску поліпропілен (обрати за табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Конструктивні параметри черв'яків, рекомендовані для деяких полімерних матеріалів та виробів [2]

Діаметр вала черв'яка під завантажувальною воронкою

$$d_1 = D - 2h_1 = 45 - 2 \cdot 6,75 = 31,5 \text{ мм}$$

Діаметр вала черв'яка в зоні дозування

$$d_3 = D - 2h_3 = 45 - 2 \cdot 1,513 = 41,975 \text{ мм}$$

Довжина робочої частини черв'яка розраховується, виходячи із заданого співвідношення L/D

$$L_{\text{роб}} = 30 \cdot D = 30 \cdot 45 = 1350 \text{ мм.}$$

Довжина зони завантаження $L_{\text{зав}}$ становить $(4...6) \cdot D$ або $(0,25...0,35) \cdot L_{\text{роб}}$

$$L_{\text{зав}} = 0,25 \cdot 1350 = 337,5 \text{ мм.}$$

Приймаємо $L_{\text{зав}} = 340$ мм.

Довжина зони стиснення $L_{\text{ст}}$ для більшості полімерів становить $(7...13) \cdot D$ або $(0,2...0,35) \cdot L_{\text{роб}}$

$$L_{\text{ст}} = 0,2 \cdot 1350 = 270 \text{ мм.}$$

Приймаємо $L_{\text{ст}} = 270$ мм.

Довжина зони дозування $L_{\text{доз}}$ значною мірою визначає якість підготування розплаву і відношення L/D зростає переважно за її рахунок та за рахунок

довжини додаткових зон і елементів. Зазвичай цю величину обирають у межах $(0,4 \dots 0,6) \cdot L_{\text{роб}}$. Також допустимим є розрахунок таким чином

$$L_{\text{доз}} = L_{\text{роб}} - L_{\text{зав}} - L_{\text{ст}}$$

Довжина зони дозування

$$L_{\text{доз}} = 1350 - 340 - 270 = 740 \text{ мм.}$$

Довжина опори і евольвентного зачеплення приймаємо $L_{\text{ев}} = 150 \text{ мм.}$

Довжина відбійної частини

$$L_{\text{відб}} = (0,1 \dots 0,5) \cdot D = 0,5 \cdot 45 = 23 \text{ мм.}$$

Загальна довжина черв'яка

$$L = L_{\text{роб}} + L_{\text{ев}} + L_{\text{відб}} = 1350 + 23 + 150 = 1523 \text{ мм.}$$

Глибина гвинтового каналу на початку зони стиснення

$$h_2 = h_1 - \frac{h_1 - h_3}{L} (L - L_{\text{ст}}) = 6,75 - \frac{6,75 - 1,513}{1523} \cdot (1523 - 270) = 2,441 \text{ мм.}$$

Діаметр вала черв'яка на початку зони стиснення

$$d_2 = D - 2h_2 = 45 - 2 \cdot 2,441 = 40,118 \text{ мм.}$$

Отримані розміри нанести на схему, приклад виконання якої наведено на рис. 5.1.

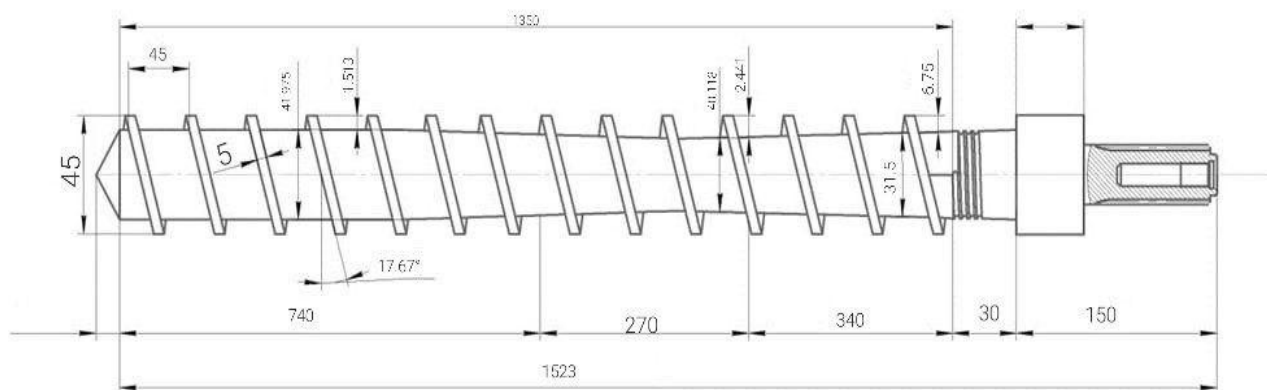


Рисунок 5.1 – Схема черв'яка

Черв'яки виконують з високоякісних сталей, наприклад, 40Х, 40ХН2МА, 38ХМЮА та їхніх аналогів (з границею текучості

$\sigma_t = 750\text{--}850$ МПа), які піддають азотуванню до НРА 70–74. Після азотування черв'яки шліфують.

Критична частота обертання черв'яка в зоні завантаження може бути визначена по такому співвідношенню (с^{-1})

$$n_{\text{кр}} = \frac{42,2}{60\sqrt{D}} = \frac{42,2}{60\sqrt{0,045}} = 3.316 \text{ с}^{-1},$$

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:

$$n_p = (0,2\text{...}0,7) \cdot n_{\text{кр}} = 0,35 \cdot 3.32 = 1.16 \text{ с}^{-1},$$

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

5.2 Розрахунок коефіцієнта геометричної форми екструзійної головки

Канал головки (рис. 5.2) розбивається на ряд послідовних ділянок простої геометрії, для кожного з яких визначається коефіцієнт геометричної форми K_i , м^3 або мм^3 (див. табл. 5.2), а потім сумарне значення для всієї головки

$$K_{\text{заг}} = \frac{1}{\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} + \frac{1}{K_3} + \frac{1}{K_4} + \frac{1}{K_5}}.$$

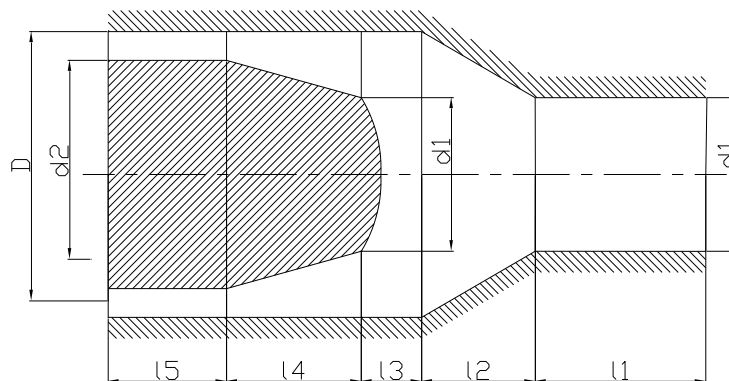


Рисунок 5.2 – Схема головки

Розміри головки розрахувати для свого варіанта, використовуючи задані в завданні розміри черв'яка D_q і відношення L_q/D_q за формулами з табл. 2.1.

Таблиця 5.2 – Перерахунок D_q і L_q/D_q

d_1 , мм	d_2 , мм	D , мм	l_1 , мм	l_2 , мм	l_3 , мм	l_4 , мм	l_5 , мм
D_q *1,1	d_1 *1,2	d_1 *1,3	L_q/D_q * 9	L_q/D_q *1,4	L_q/D_q *2,5	L_q/D_q *0,8	L_q/D_q *1,5

Отримані при множенні розміри округлити до найближчого цілого числа.

Таблиця 5.3 – Розмірів головки для $D_q = 45$ мм і $L_q/D_q = 30$

d_1 , мм	d_2 , мм	D , мм	l_1 , мм	l_2 , мм	l_3 , мм	l_4 , мм	l_5 , мм
50	60	65	270	42	75	24	45

Розраховуємо коефіцієнти геометричної форми

Коефіцієнт K_1 (круглий циліндровий, рис. 5.3). Коефіцієнт геометричної форми для цього типу можна розрахувати за допомогою наступної формули:

$$\frac{\pi d^4}{128L}$$

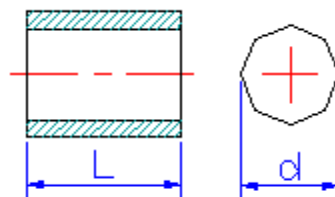


Рисунок 5.3 – Ескіз круглого циліндрового каналу

Розраховуємо ділянку № 1

$$K_1 = \frac{\pi d_1^4}{128l_1} = \frac{3.14 \cdot 50^4}{128 \cdot 270} = 568 \text{ мм}^3$$

Коефіцієнт K_2 (круглий конічний з великим діаметром на вході, рис. 5.4). Коефіцієнт геометричної форми для цього типу можна розрахувати за допомогою наступної формули:

$$\frac{3\pi D^3 d^3}{128L(D^2 + Dd + d^2)}$$

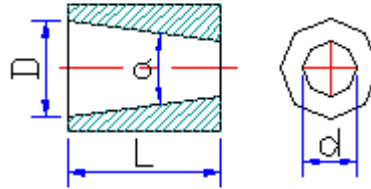


Рисунок 5.4 – Ескіз круглого конічного з великим діаметром на вході каналу

Розраховуємо ділянку № 2

$$K_2 = \frac{3\pi D^3 d_1^3}{128l_2(D^2 + Dd_1 + d_1^2)} = \frac{3 * 3.14 * 65^3 * 50^3}{128 * 42(65^2 + 65 * 50 + 50^2)} = 6030,2 \text{ мм}^3$$

Коефіцієнт K_3 (круглий циліндровий, рис. 5.3). Коефіцієнт геометричної форми для цього типу можна розрахувати за допомогою наступної формули:

$$\frac{\pi d^4}{128L}$$

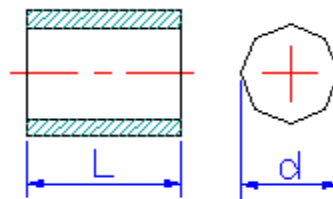


Рисунок 5.5 – Ескіз круглого циліндрового каналу

Розраховуємо ділянку № 3

$$K_3 = \frac{\pi D^4}{128l_3} = \frac{3.14 \cdot 65^4}{128 \cdot 75} = 5839 \text{ мм}^3$$

Коефіцієнт K_4 (конічний кільцевий з конічною щілиною, рис. 5.5). Коефіцієнт геометричної форми для цього типу можна розрахувати за допомогою наступної формули:

$$\frac{\pi(R_1\delta_2 - R_2\delta_1)}{6L\omega}$$

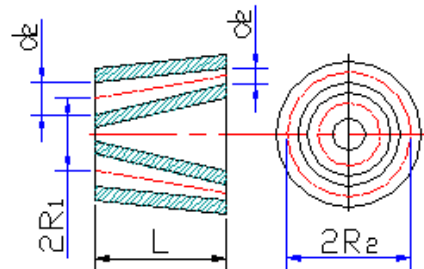


Рисунок 5.6 – Ескіз конічного кільцевого з конічною щілиною каналу

Розраховуємо ділянку № 4

$$K_4 = \frac{\pi(R_1\delta_2 - R_2\delta_1)}{6l_4\omega} = \frac{3,14(28,75*2,5 - 31,25*7,5)}{6*24*(-0,076)} = 46,62 \text{ мм}^3$$

$$R_1 = \frac{d_1 + \delta_1}{2} = \frac{50 + 7}{2} = 28,75 \text{ мм}$$

$$R_2 = \frac{d_2 + \delta_2}{2} = \frac{60 + 2,5}{2} = 31,25 \text{ мм}$$

$$\delta_1 = \frac{D - d_1}{2} = \frac{65 - 50}{2} = 7,5 \text{ мм}$$

$$\delta_2 = \frac{D - d_2}{2} = \frac{65 - 60}{2} = 2,5 \text{ мм}$$

$${}^1\omega = \frac{2,3(R_1 - R_2)^2}{(R_1\delta_2 - R_2\delta_1)^2} \lg \frac{R_1\delta_2}{R_2\delta_1} - \frac{(R_1 - R_2)(\delta_1 - \delta_2)}{(R_1\delta_2 - R_2\delta_1)\delta_1\delta_2} - \frac{\delta_1^2 - \delta_2^2}{2\delta_1^2\delta_2^2}$$

$${}^1\omega = \frac{2,3(28,75 - 31,25)^2}{(28,75*2,5 - 31,25*7,5)^2} \lg \frac{28,75*2,5}{31,25*7,5} - \frac{(28,75 - 31,25)(7,5 - 2,5)}{(28,75*2,5 - 31,25*7,5)*7,5*2,5} - \frac{7,5^2 - 2,5^2}{2*7,5^2*2,5^2} = -0,076 \text{ мм}^{-2}$$

Коефіцієнт K_5 (кільцевий, рис. 5.6). Коефіцієнт геометричної форми для цього типу можна розрахувати за допомогою наступної формули:

$$\frac{\pi(R_2 + R_1)(R_2 - R_1)^3}{12L}$$

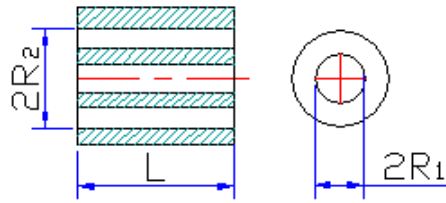


Рисунок 5.7 – Ескіз кільцевого каналу

Розраховуємо ділянку № 5

$$K_5 = \frac{\pi\left(\frac{D}{2} + \frac{d_2}{2}\right)\left(\frac{D}{2} - \frac{d_2}{2}\right)^3}{12l_5} = \frac{3.14\left(\frac{65}{2} + \frac{60}{2}\right)\left(\frac{65}{2} - \frac{60}{2}\right)^3}{12 \cdot 45} = 5.6785 \text{ мм}^3$$

Визначаємо загальне сумарне значення для всієї головки за формулою:

$$K_{\text{заг}} = \frac{1}{\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} + \frac{1}{K_3} + \frac{1}{K_4} + \frac{1}{K_5}} = \frac{1}{\frac{1}{570} + \frac{1}{6030,2} + \frac{1}{5839} + \frac{1}{46,62} + \frac{1}{5,6785}} = 5,01 \text{ мм}^3$$

5.3 Розрахунок продуктивності черв'ячної машини

Визначальний вплив на продуктивність черв'ячної машини має зона дозування черв'яка. Ефективність зони дозування значною мірою залежить від геометричних параметрів самого черв'яка. Продуктивність черв'ячного екструдера в цілому залежить не тільки від геометричних розмірів шнека і числа його оборотів, а й значною мірою від конструкції формуючої голівки.

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) прями́й поті́к, то́бто поті́к 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 поті́к, то́бто поті́к розплаву, що рухається у протилежному напрямку, що викликано перепадом тиску P по довжині шнека;

3) поті́к витоку, 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

$$Q = \frac{\alpha \cdot K_{\text{заг}} \cdot n_p}{K_{\text{заг}} + \beta + \gamma},$$

$$Q = \frac{\alpha \cdot K_{\text{заг}} \cdot n_p}{K_{\text{заг}} + \beta + \gamma} = \frac{4349 \cdot 5,01 \cdot 1,16}{5,01 + 0,00924 + 0,000215} = 5035,34 \frac{\text{мм}^3}{\text{с}}$$

де n_p – робоча швидкість обертання черв'яка,

$K_{\text{заг}}$ – загальний коефіцієнт геометричної форми головки,

α – коефіцієнт прямого потоку,

β – коефіцієнт зворотного потоку,

γ – коефіцієнт потоку витоку.

Значення коефіцієнтів прямого потоку α , зворотного потоку β та потоку витоку γ для черв'яка зі змінною глибиною нарізки визначаються таким чином:

$$\alpha = \frac{\pi^3 (t - \lambda e) c}{a + t^2 b},$$

$$\alpha = \frac{\pi^3 (t - \lambda e) c}{a + t^2 b} = \frac{3,14^3 (45 - 1 \cdot 5) 240,4}{61,64 + 45^2 \cdot 0,0033618} = 4349 \text{ мм}^3$$

$$\beta = \frac{\pi t(t - \lambda e)}{12L_{\text{доз}}(a + t^2 b)},$$

$$\beta = \frac{\pi t(t - \lambda e)}{12L_{\text{доз}}(a + t^2 b)} = \frac{3.14 * 45(45 - 1 * 5)}{12 * 745(61.64 + 45^2 * 0.0033618)} = 0.00924$$

$$\gamma = \frac{\pi^2 D \delta^3 t^2}{10eL_{\text{доз}} \sqrt{\pi^2 D^2 + t^2}},$$

$$\gamma = \frac{\pi^2 D \delta^3 t^2}{10eL_{\text{доз}} \sqrt{\pi^2 D^2 + t^2}} = \frac{3.14^2 * 45 * 0.108^3 * 45^2}{10 * 5 * 740 \sqrt{3.14^2 * 45^2 + 45^2}} = 0.000215$$

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

$$c = 1 - \frac{6,9D}{2(h_2 - h_3)} \lg\left(\frac{h_2}{h_3}\right) + \frac{D^2}{2h_2 h_3},$$

$$c = 1 - \frac{6,9D}{2(h_2 - h_3)} \lg\left(\frac{h_2}{h_3}\right) + \frac{D^2}{2h_2 h_3} = 1 - \frac{6,9 * 45}{2(2,441 - 1,513)} \lg\left(\frac{2,441}{1,513}\right) + \frac{45^2}{2 * 2,441 * 1,513} = 240.4$$

$$a = \frac{\pi^2}{h_2 h_3} \left(\frac{D(h_2 + h_3)}{2h_2 h_3} - 1 \right),$$

$$a = \frac{\pi^2}{h_2 h_3} \left(\frac{D(h_2 + h_3)}{2h_2 h_3} - 1 \right) = \frac{3.14^2}{2.441 * 1.513} \left(\frac{45(2.441 + 1.513)}{2 * 2.441 * 1.513} - 1 \right) = 61,64 \text{ мм}^{-4}$$

$$b = \frac{2,3}{(h_2 - h_3)D^3} \lg\left(\frac{h_2(D + d_3)}{h_3(D + d_1)}\right) + \frac{2h_2 h_3 + (h_2 + h_3)D}{2D^2 h_2^2 h_3^2},$$

$$b = \frac{2,3}{(h_2 - h_3)D^3} \lg\left(\frac{h_2(D + d_3)}{h_3(D + d_1)}\right) + \frac{2h_2 h_3 + (h_2 + h_3)D}{2D^2 h_2^2 h_3^2} =$$

$$= \frac{2,3}{(2,441 - 1,513) * 45^3} \lg\left(\frac{2,441(45 + 41,975)}{1,513(45 + 31,5)}\right) + \frac{2 * 2,441 * 1,513 + (2,441 + 1,513) * 45}{2 * 45^2 * 2,441^2 * 1,513^2} = 0.0033618 \text{ мм}^{-4}$$

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

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

e – товщина гребеня нарізки черв'яка,

$L_{\text{доз}}$ – довжина зони дозування,

D – зовнішній діаметр черв'яка,

δ – висота зазору між черв'яком та корпусом,

h_2 – глибина гвинтового каналу на початку зони стиснення,

h_3 – глибина каналу в зоні дозування,

d_3 – діаметр вала черв'яка в зоні дозування,

d_1 – діаметр вала черв'яка під завантажувальною воронкою.

Вагова продуктивність розраховується, знаючи об'ємну продуктивність

Перед початком розрахунку перетворимо Q в потрібні одиниці виміру:

$$Q = 5035.34 \frac{\text{мм}^3}{\text{с}} = 1,813 * 10^{-2} \frac{\text{м}^3}{\text{год}}$$

$$\Pi = Q \cdot \rho, [\text{кг/год}]$$

$$\Pi = Q \times \rho = 1,813 * 10^{-2} * 744,55 = 13,5 \frac{\text{кг}}{\text{год}}, \text{де } \rho - \text{ густина розплаву полімеру}$$

при температурі переробки t , °C (на виході з екструдера).

Температуру t переробки обрати залежно від перероблюваного матеріалу і виробу за табл. 5.2. Густина матеріалу ρ – в залежності від матеріалу і температури за табл. 5.3 (в кінці документа). При відсутності обраної температури в табл. 5.4 – для коректного задання густини використати метод лінійної інтерполяції.

Оскільки необхідне значення не вказане то ми шукаємо його відповідно до вимог методом лінійної інтерполяції:

$$\rho = 748,4 + \frac{(270 - 260)}{280 - 260} * \frac{(740,7 - 748,4)}{1} = 744,55 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

5.4 Розрахунок перепаду тиску в екструзійній головці

Розрахунок перепаду тиску в екструзійній головці виконується таким чином:

1) розраховується швидкість зсуву $\dot{\gamma}_i$ для простих ділянок головки, аналогічно до знаходження коефіцієнтів геометричної форми головки K_i (формули див. табл. до розрахунку коеф. геометричної форми);

Розраховуємо швидкість зсуву:

Коефіцієнт K_1 (круглий циліндровий, рис. 5.3). Швидкість для цього типу можна розрахувати за допомогою наступної формули:

$$\frac{32Q}{\pi d^3}$$

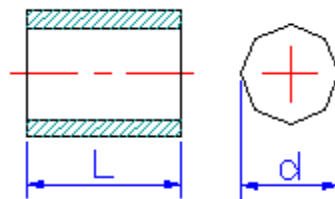


Рисунок 5.8 – Ескіз круглого циліндрового каналу

Розраховуємо ділянку № 1

$$\dot{\gamma}_1 = \frac{32Q}{\pi d_1^3} = \frac{32 \cdot 5035.34}{3,14 \cdot 50^3} = 0,411 \text{ c}^{-1}$$

Коефіцієнт K_2 (круглий конічний з великим діаметром на вході, рис. 5.4). Швидкість зсуву для цього типу можна розрахувати за допомогою наступної формули:

$$\frac{256Q}{\pi(D^3 + d^3)}$$

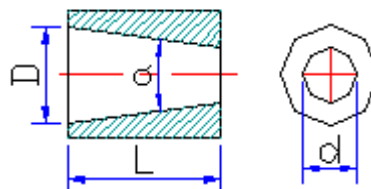


Рисунок 5.9 – Ескіз круглого конічного з великим діаметром на вході каналу

Розраховуємо ділянку № 2

$$\dot{\gamma}_2 = \frac{256Q}{\pi(D^3 + d_1^3)} = \frac{256 * 5035.34}{3,14(65^3 + 50^3)} = 1,027c^{-1}$$

Коефіцієнт K_3 (круглий циліндровий, рис. 5.3). Швидкість зсуву для цього типу можна розрахувати за допомогою наступної формули:

$$\frac{32Q}{\pi d^3}$$

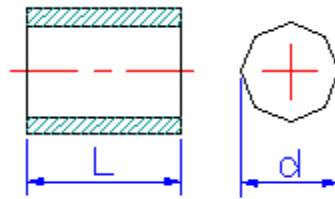


Рисунок 5.10 – Ескіз круглого циліндрового каналу

Розраховуємо ділянку № 3

$$\dot{\gamma}_3 = \frac{32Q}{\pi D^3} = \frac{32 * 5035.34}{3,14 * 65^3} = 0.187c^{-1}$$

Коефіцієнт K_4 (конічний кільцевий з конічною щілиною, рис. 5.5). Швидкість зсуву для цього типу можна розрахувати за допомогою наступної формули:

$$\frac{22.32 \cdot Q}{\pi \cdot (R_1 + R_2)(\delta_2 + \delta_1)^2}$$

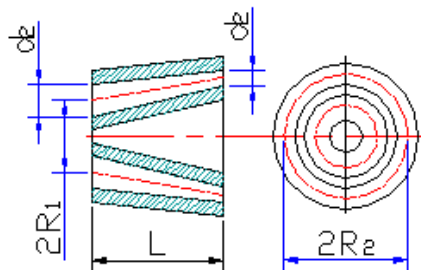


Рисунок 5.11 – Ескіз конічного кільцевого з конічною щілиною каналу

Розраховуємо ділянку № 4

$$\dot{\gamma}_4 = \frac{22.32 \cdot Q}{\pi \cdot (R_1 + R_2) (\delta_2 + \delta_1)^2} = \frac{22.32 * 5035,34}{3.14 * (28.75 + 31.25) (2.5 + 7,5)^2} = 5,97 c^{-1}$$

Коефіцієнт K_5 (кільцевий, рис. 5.6). Швидкість для цього типу можна розрахувати за допомогою наступної формули:

$$\frac{5,58 \cdot Q}{\pi \cdot (R_1 + R_2) \cdot (R_2 - R_1)^2}$$

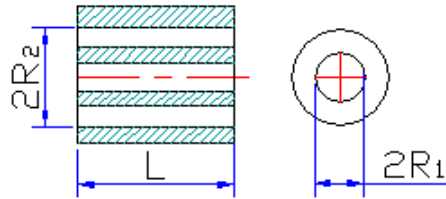


Рисунок 5.12 – Ескіз кільцевого каналу

Розраховуємо ділянку № 5

$$\dot{\gamma}_5 = \frac{5,58 \cdot Q}{\pi \cdot (R_1 + R_2) \cdot (R_2 - R_1)^2} = \frac{5.58 * 5035.34}{3.14 * (30 + 32,5) * (32,5 - 30)^2} = 22,91 c^{-1}$$

2) визначається ефективна в'язкість $\mu_i, Pa \cdot c$, за графіками для матеріалів (додатки), в залежності від швидкості зсуву $\dot{\gamma}_i^*$ та температури переробки t^{**} :

$$\mu_1 = 2,3 * 10^4 Pa \cdot c$$

$$\mu_2 = 2,1 * 10^4 Pa \cdot c$$

$$\mu_3 = 2.4 * 10^4 Pa \cdot c$$

$$\mu_4 = 5,2 * 10^3 Pa \cdot c$$

$$\mu_5 = 4.1 * 10^2 Pa \cdot c$$

3) за попередньо знайденими продуктивністю і коефіцієнтом геометричної форми розраховують перепад тиску на простих ділянках головки за формулою

$$\Delta P_i = \frac{Q \cdot \mu_i}{K_i}$$

$$\Delta P_1 = \frac{Q \cdot \mu_1}{K_1} = \frac{5035.34 \cdot 2.3 \cdot 10^4}{570} = 203180,4 \text{ Па}$$

$$\Delta P_2 = \frac{Q \cdot \mu_2}{K_2} = \frac{5035.34 \cdot 2.1 \cdot 10^4}{6030,22} = 17535$$

$$\Delta P_3 = \frac{Q \cdot \mu_3}{K_3} = \frac{5035.34 \cdot 2.4 \cdot 10^4}{5839} = 20696,722 \text{ Па}$$

$$\Delta P_4 = \frac{Q \cdot \mu_4}{K_4} = \frac{5035,34 \cdot 5,2 \cdot 10^3}{46,62} = 561642 \text{ Па}$$

$$\Delta P_5 = \frac{Q \cdot \mu_5}{K_5} = \frac{5035,34 \cdot 4,1 \cdot 10^2}{5,6785} = 115283 \text{ Па}$$

4) сумують отриманні значення ΔP_i для знаходження загального перепаду тиску в головці ΔP .

$$\begin{aligned} \Delta P &= \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 + \Delta P_4 + \Delta P_5 = \\ &= 203180,4 + 17535 + 20696,722 + 561642 + 115283 = 915421 \text{ Па} \end{aligned}$$

* при виходу розрахованого значення швидкості зсуву (ефективного градієнта швидкості) за межі наявних на шкалі значень – продовжити температурну криву до перетину з необхідним значенням;

** при відсутності на графіках заданої температури обрати температурну криву, що максимально близька за значенням до заданої.

5.5 Потужність привода екструдера

Знання споживаної черв'ячною машиною потужності необхідне для розрахунку енергетичних витрат на 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)

$$N = N_1 + N_2 = 2546 + 2439 = 4985 \text{ W}$$

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

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

$$= \frac{3.14^3(0.045 - 0.005) * 1.522 * 0.0512028 * 8.8 * 10^2}{0.045} 1.16^2 + 4.349 * 10^{-6}$$

$$* 1618852,801 * 1.16 = 2546 \text{ W}$$

де t – грок гвинтової лінії черв'яка, м,

e – товщина гребеня черв'яка, м,

L – загальна довжина черв'яка, м,

n_p – робоча швидкість обертання черв'яка, с^{-1} ,

α – коефіцієнт прямого потоку, м^3 ,

ΔP – загальний перепад тиску в головці, Па,

J – коефіцієнт, м^2

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

$$= \frac{3.14^2 0.045^2 - 4 * 0.045^2}{3.14^2} + \frac{(0.045 + 0.041975)^3 - (0.045 + 0.040117)^3}{3(0.041975 - 0.040117)}$$

$$+ \frac{2,3 * 3.14^2 0.045^5 \lg \frac{0.002441}{0.001513}}{(0.045^2 + 3.14^2 0.045^2)(0.002441 - 0.001513)} = 0.0512 * \text{м}^2$$

де D – діаметр черв'яка, м,

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

d_2 – діаметр вала черв'яка на початку зони стиснення, м,

h_2 – глибина гвинтового каналу в зоні стиснення, м,

h_3 – глибина гвинтового каналу в зоні дозування, м.

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

$$N_2 = \frac{\pi^3 D^3 e L \mu_{\text{ef}2}}{\delta t} n_p^2 = \frac{3.14^3 0.045^3 * 0.005 * 1.522 * 4.1 * 10^2}{0,000108 * 0.045} 1.16^2 = 2439W$$

У вищенаведених формулах також фігурує ефективна в'язкість $\mu_{\text{ef}1,2}$, Па · с, що визначається за графічними залежностями для матеріалу, що використовується при виготовленні виробів (див. попередній розрахунок), залежно від швидкості зсуву $\dot{\gamma}_{1,2}$, с^{-1} , що визначається таким чином:

$$\begin{aligned} \dot{\gamma}_1 &= \frac{\pi^2 (D - h_{\text{сер}})(D - 2h_{\text{сер}})n}{h_{\text{сер}} \sqrt{\pi^2 (D - 2h_{\text{сер}})^2 + t^2}} \\ &= \frac{3,14^2 (0.045 - 0.001977)(0.045 - 2 * 0.001977) * 1,16}{0.001977 \sqrt{3.14^2 (0.045 - 2 * 0.001977)^2 + 0.045^2}} \\ &= 74.84 \text{ с}^{-1} \end{aligned}$$

$$\dot{\gamma}_2 = \frac{\pi^2 D^2 n}{\delta \sqrt{\pi^2 D^2 + t^2}} = \frac{3.14^2 0.045^2 * 1.16}{0,000108 \sqrt{3.14^2 0.045^2 + 0.045^2}} = 1446,103 \text{ с}^{-1}$$

$$\text{де } h_{\text{сер}} = \frac{(h_2 + h_3)}{2} = \frac{(0.002441 + 0.001513)}{2} = 0.001977 \text{ м.}$$

$$\mu_{\text{ef}1} = 8.8 * 10^2$$

$$\mu_{\text{ef}2} = 4,1 * 10^2$$

Загальна споживана потужність $N_{\text{заг}}$ повинна бути вищою за розраховану потужність N , щоб компенсувати не враховані розрахунком втрати енергії:

– на захоплення і транспортування твердого гранульованого матеріалу в зоні завантаження;

- на просування пробки матеріалу, що складається із суміші твердого і частково розплавленого матеріалу в зоні стиснення;
- на подолання сил тертя осьової реакції в опорному підшипнику;
- на механічні втрати в приводі черв'ячного екструдера.

Перелічені втрати можуть бути враховані коефіцієнтом корисної дії черв'ячних машин, який при переробці термопластів складає $\eta = 0,4 \dots 0,6$. Тоді загальна споживана потужність

$$N_{\text{заг}} = \frac{N}{\eta} = \frac{4,985 \cdot 10^3}{0,4} = 12,463 \text{ kW}$$

За знайденою загальною потужністю, обирається* двигун потужністю $N_{\text{дв}}$ для приводу екструдера (за довідковими матеріалами). Обрати асинхронний двигун з кількістю обертів близько $n_{\text{дв}} = 1500$ об/хв.

5.6 Розрахунок на міцність

В данному розділі ми проводимо розрахунок черв'яка на міцність. Нище на рисунку (рис. 5.13) наведена епюра моментів напружень черв'яка.

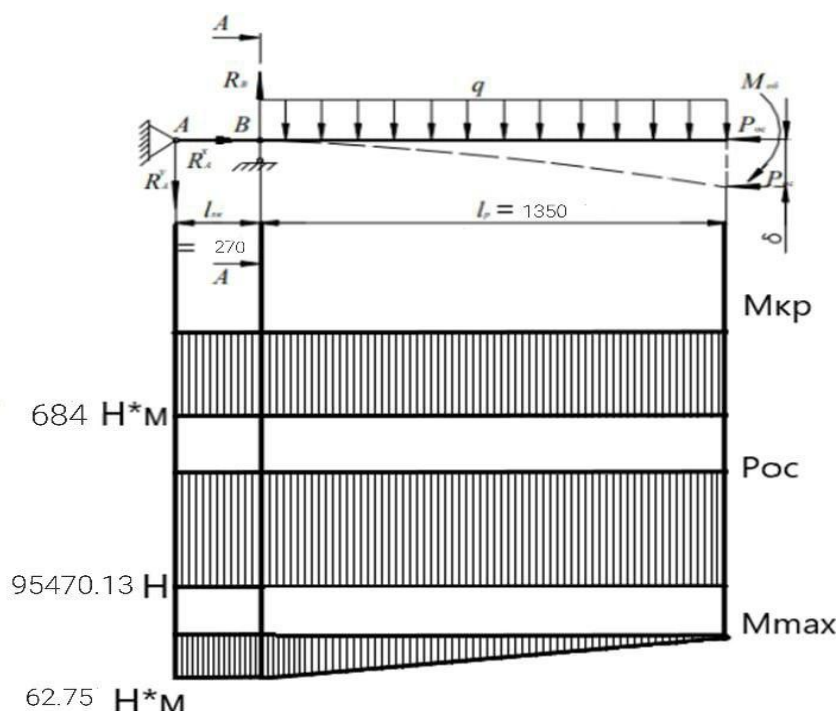


Рисунок 5.13 - Епюра напружень черв'яка Крутний момент (Н·м)

становить

$$M_{\text{кр}} = \frac{30 * N}{\pi * n} = \frac{30 * 4985}{3.14 * 69.6} = 684.3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

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

Осьове зусилля

$$P_{\text{ос}} = \frac{2 * M_{\text{кр}}}{D * \tan(\varphi)} = \frac{2 * 684,3}{0.045 * \tan(17.67^\circ)} = 95470.13 \text{ Н}$$

де D – зовнішній діаметр черв'яка, м; $\varphi=17,67$ – кут підйому нарізки:

де t – крок нарізки, м.

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

$$q = \frac{9.8 * 10.07}{1.35} = 68.86 \text{ Н/м}$$

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

$$G = \left(3.14 * \frac{(0.045 - 0.01125)^2}{4} \right) * 7710 * 1,35 = 10.07 \text{ кг}$$

d_0 – діаметр каналу для охолодження, м

$$d_0 = (0,15 \dots 0,25)D = 0.25 * 0.045 = 0.01125 \text{ м}$$

$$\rho = 7710 \text{ кг/м}^3 \text{ густина сталі 38Х2МЮА [7].}$$

Стискальні напруження в черв'ячному валу виникають під впливом осьового навантаження та згинального моменту, викликаного власною масою валу. Напруження, що зумовлені осьовою силою, розподіляються рівномірно по перерізу, тоді як згинальні напруження змінюються від розтягувальних у верхній частині перерізу до стискальних у нижній. Внаслідок цього максимальне стискальне напруження спостерігається у нижніх волокнах і визначається за відповідною формулою.

$$\sigma_{ст} = \frac{P_{ос}}{F} + \frac{M_{max}}{W_x} = \left(\frac{95470.13}{0.00068} \right) + \left(\frac{62,75}{3,016 \times 10^{-6}} \right) = 161.2 \text{ МПа}$$

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

$$F = \pi * \frac{d_1^2}{4} * (1 - \alpha^2) = \frac{3.14 * 0.0315^2}{4} * (1 - 0.36^2) = 0.00068 \text{ м}^2$$

$$\alpha = \frac{d_0}{d_1} = \frac{0.01125}{0.0315} = 0.36$$

d_1 – діаметр осердя в зоні завантаження, м ;

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

$$M_{max} = \frac{1}{2} q l_p^2 = \frac{1}{2} * 68,86 * 1.35^2 = 62.75 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

W_x – осьовий момент опору, м^3 :

$$W_x = \frac{\pi d_1^3 (1 - \alpha^4)}{32} = \frac{3.14 * 0.0315^3 (1 - 0.36^4)}{32} = 3.016 * 10^{-6} \text{ м}^3$$

Дотичні напруження

$$\tau = \frac{M_{кр}}{W_p} = \frac{684.3}{6,03 \times 10^{-6}} = 113.5 \text{ МПа}$$

де W_p – полярний момент опору, м^3

$$W_p = \frac{\pi d_1^3 (1 - \alpha^4)}{16} = \frac{3.14 * 0.0315^3 (1 - 0.36^4)}{16} = 6.03 * 10^{-6} \text{ м}^3$$

Еквівалентне напруження за III теорією міцності

$$\sigma_{екв} = \sqrt{\sigma_{ст}^2 + 4\tau^2} = \sqrt{161.2^2 + 4 * 113.5^2} = 278.41 \text{ МПа}$$

Коефіцієнт запасу не повинен перевищувати допустиме значення [7]

$$\frac{\sigma_T}{\sigma_{\text{екв}}} = \frac{835}{278.41} = 2.999$$

де допустимий коефіцієнт запасу [n] зазвичай беруть рівним 1,6...2,0. Отже коефіцієнт міцності n=1.7

Умова міцності виконується.

Надалі для перевірки розрахунку наведено результати програмування. Сама програма наведена в додатках (ДОДАТОК Г). А нижче наведені результати

$$\text{Mkr (Н*м)} = 683.95464768370618$$

$$\text{Pos (Н)} = 95421.943420826778$$

$$q (\text{Н/м}) = 67.595516280404055$$

$$\text{sigma_st (МПа)} = 604208789.41685879$$

$$\text{tau (МПа)} = 111446325.43306516$$

$$\text{sigma_eqv (МПа)} = 14.142135623730951$$

$$k_zasas = 59.043416229076719$$

WARNING: Reserve factor is outside the safe range!

5.7 Розрахунок на стійкість

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

$$n_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{(k_\sigma)d * \sigma_{max} + \psi_\sigma * \sigma_c} = \frac{392 * 10^6}{3 * 20.81 * 10^6 + 0.25 * 0} = 6.3$$

де n_σ – коефіцієнт запасу міцності під час циклічного навантаження;

σ_{-1} – допустиме напруження під час циклічного навантаження:

$$\sigma_{-1} = 0,4\sigma_B = 0,4 * 980 = 392 \text{ МПа ;}$$

а – амплітуда змінення напружень (у цьому випадку вони змінюються від

$+\sigma_{max}$ до $-\sigma_{max}$;

σ_{max} – найбільше напруження від дії згинального моменту:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W_x} = \frac{62.75}{3.016 \times 10^{-6}} = 20.81 \text{ МПа}$$

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

ψ_σ – коефіцієнт, що залежить від матеріалу сталі 38Х2МЮА [7] ($\sigma_B = 980$

МПа $\psi_\sigma = 0,25$);

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

$$(k_\sigma)_d = \frac{2}{1 * 0.65} = 3$$

де k_σ – коефіцієнт концентрації напружень (для даного випадку $k_\sigma = 1,9-2,0$);

β – коефіцієнт, який враховує якість поверхні деталі, для полірованої

поверхні черв'яка $\beta=1$;

ε – коефіцієнт, який враховує розмір перерізу деталі, для деталей з легованих сталей за наявності концентрації напружень значення ε .

Умова стійкості виконується.

5.8 Розрахунок жорсткості

Окрім перевірки міцності, черв'як також піддають контролю на жорсткість. Основна мета цього розрахунку — переконатися, що прогин черв'яка не перевищує допустимі межі конструкційного зазору. Особливо це важливо під час холостого ходу, оскільки в робочому режимі екструдера канали та зазори черв'яка заповнюються розплавом під тиском, що запобігає надмірному прогину та тертю об корпус.

Полярний момент інерції перерізу, м⁴

$$I = \frac{\pi d_1^4}{64} (1 - \alpha^4) \frac{3.14 * 0.0315^4}{64} (1 - 0.36^4) = 4.75 * 10^{-8} \text{ м}^4$$

Радіус інерції, м

$$i = \sqrt{\frac{I}{F}} = \sqrt{\frac{4.75 * 10^{-8}}{0.00068}} = 0.0084 \text{ м}$$

Ступінь жорсткості

$$\lambda = \frac{2 * 1.35}{0.0084} = 321.43$$

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

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

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

$$\delta_p = \frac{1}{2.1 * 10^{11} * 4.75 * 10^{-8}} * \left[\frac{292}{3.1^2} * \left(\frac{1}{3.1^2} + \left(\frac{1}{3.1^2} + \frac{1.35^2}{2} \right) \right) - \right.$$

$$\left. - \frac{1}{3.1} * \left(\frac{292}{3.1^3} - (304.84) * 1.35 \right) * \cos(3.1 * 1.35) - \right.$$

$$\left. - \frac{1}{3.1^2} * \left(\frac{292 * 1.35}{3.1} - (304.84) \right) * \sin(3.1 * 1.35) \right] = 0,00473 \text{ м}$$

де

$$k = \sqrt{\frac{P_{oc}}{EI}} = \sqrt{\frac{95470.13}{2.1 * 10^{11} * 4.75 * 10^{-8}}} = 3.1 \text{ м}^{-1}$$

$$A = \frac{q(l_p - \frac{1}{k} \sin(kl_p))}{k \cos(kl_p)} =$$

$$= \frac{292 * (1,35 - \frac{1}{3.1} * \sin(3.1 * 1,35))}{3.1 * \cos(3.1 * 1,35)} = 304.84 \text{ Н} * \text{ м}$$

На початковому етапі проектування вибір черв'яка здійснюють з урахуванням впливу крутного моменту та осевого навантаження. Після визначення основних геометричних параметрів виконується детальний розрахунок конструкції. Для підвищення точності оцінки силових факторів, що діють на черв'як, враховують також позацентрованість осевого зусилля, що виникає через прогин вільного кінця черв'яка. δ_p

$$\sigma = \frac{P_{oc}}{F} \left(1 + \frac{\delta_p F}{I} d_1 \right) + \frac{M_{max}}{W_x} =$$

$$= \frac{95470.13}{0.00068} * \left(1 + \frac{0,0047 * 0.00068}{4.75 * 10^{-8}} * 0,0315 \right) + \frac{62.75}{3.016 * 10^{-6}} =$$

$$= 4.588 * 10^8 \text{ Па} = 458,8 \text{ МПа}$$

Отримане значення підставляється в залежність

$$\sigma_{екв} = \sqrt{\sigma_{ст}^2 + 4\tau^2} =$$

$$\sqrt{(458.8 * 10^6)^2 + 4 * (113.5 * 10^6)^2} = 5,119 * 10^8 \text{ Па} = 511.9 \text{ МПа}$$

Коефіцієнт запасу не повинен перевищувати допустиме значення

$$n = \frac{\sigma_t}{\sigma_{екв}} = \frac{835}{511.9} \approx 1.63 \geq 1.6$$

де допустимий коефіцієнт запасу [n] зазвичай беруть рівним 1,6...2,0.

Отже коефіцієнт міцності n=1.63. Умова міцності виконується

5.9 Розрахунок шліцьового з'єднання

Черв'як зазвичай з'єднується з приводним валом через шліцьове з'єднання. Найпоширенішими є шліци евольвентного профілю, що забезпечують більшу площу контакту, здатні передавати значні навантаження та мають підвищену зносостійкість. Центрування найчастіше виконується по бокових поверхнях шліців із посадкою 7H/7n, що гарантує високу точність та усуває люфти. Для контролю шліцьового з'єднання застосовують перевірку на зминання за відповідною формулою:

$$\sigma_{\text{зм}} = \frac{M_{\text{об}}}{R_c F z \psi} \leq [\sigma]_{\text{зм}} = \frac{684.3}{0.032 * 0.00017 * 32 * 0.8} \leq 4.9 * 10^6 \text{ Па} =$$
$$= 2,642 * 10^7 \text{ Па} \leq 4.9 * 10^6 \text{ Па}$$

$$R_c = \frac{m * z}{2} = \frac{2 * 32}{2} = 32 \text{ мм} = 0.032 \text{ м}$$

де m – модуль, мм;

z - кількість зубів шліцьового з'єднання:

$$z = \frac{d_o}{2} = \frac{84}{2} = 84$$

F – площа контакту, м²:

$$F = 0.8 * 0.15 * \left(\frac{d_d}{2}\right)$$
$$= 0.8 * 0.15 * \left(\frac{0.046}{32}\right) = 0.00017 \text{ м}^2$$

ψ – коефіцієнт, що враховує нерівномірність розподілу навантаження по поверхні шліців, береться $\psi=0,7-0,8$;

$[\sigma]_{\text{зм}}$ – допустиме напруження на зминання, МПа; приймаємо $[\sigma]_{\text{зм}} = 120$ МПа.

Модуль і кількість зубів беруть відповідно до довідників, приймаємо $m = 3$.

Умова міцності виконується.

5.10 Тепловий розрахунок екструдера

Тепловий баланс екструдера визначається рівнянням:

$$E_H + E_{Ш} = E_M + E_0 + E_{П}$$

де E_H - теплота, що надходить від зовнішніх обігрівачів, кВт;

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

E_M - теплота, що йде з нагрітим матеріалом, кВт;

E_0 - 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:

$$E_H = E_M + E_0 + E_{П} - E_{Ш} = 39.3 + 16.32 + 0.0187 - 0.3596 = 4292.97 \text{ Вт}$$

Складові рівняння балансу визначаються так:

$$E_m = G_m * c_m * (t_k - t_n) = 0.004 * 2200 * (270 - 20) = 2200 \text{ Вт}$$

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.

$$G_m = \frac{Q}{3600} = \frac{13.5}{3600} = 0.00375 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

де Q - масова продуктивність екструдера, кг/год.

$$E_0 = G_B * c_B * (t_{B1} - t_{B2}) = 0.0997 * 4200 * (25 - 20) = 2093.7 \text{ Вт}$$

де c_B – питома теплоємність води, кДж/(кг. К);

t_{B1}, t_{B2} - кінцева та початкова температури води, До.
Кількість води G_B , що надходить на охолодження шнека,
кг/с:

$$G_w = 1000 * 9.94 \times 10^{-5} * 1 = 0.0997 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

де ρ – щільність води, кг/м³

F – площа поперечного перерізу, м²

v – швидкість течії води, м/с.

$$F = \frac{\pi * d^2}{4} = \frac{\pi * (0.01125)^2}{4} = 0.000994 \text{ м}^2$$

де d – діаметр трубки у тілі шнека, м.

$$E_{II} = F_k \alpha (t_{II} - t_c) = 0.946 * 9.88 * 10^{-3} * 2 = 0.0187 \text{ кВт}$$

$$F_k = 3.14 * 0.045 * 1.35 = 0.191 \text{ м}^2$$

$$\alpha = (9.74 + 0.07 * \Delta t) * 10^{-3} = (9.74 + 0.07 * 2) * 10^{-3} = 9.88 * 10^{-3} \text{ кВт}/(\text{м}^2 * \text{К})$$

$$\Delta t = t_{II} - t_c = 22 - 20 = 2^\circ\text{C}$$

$$L_k = L$$

де F_k - площа зовнішньої поверхні корпусу у екструдера;

α – коефіцієнт теплопередачі, кВт/(м²*К);

t_{II} – температура зовнішньої поверхні ізольованого корпусу; °С;

t_c – температура довкілля, °С;

d_k – діаметр корпусу із ізоляцією, м;

L_k - довжина корпусу, м

$$E_{ш} = \left(\frac{\pi^3 D^3 \eta_1 L}{h} + \frac{QP}{\cos^2 \varphi} + \frac{\pi^2 D^2 n^2 \eta_2 e L}{\delta \operatorname{tg} \varphi} \right) 9,8 * 10^{-10} =$$
$$= \left(\frac{3,14^3 * 0,045^3 * 2 * 10^2 * 1,35}{4,853 * 10^{-3}} + \frac{13,5 * 50 * 10^6}{\cos^2 17,66^\circ} \right.$$
$$\left. + \frac{3,14^2 * 0,045^2 * 1,16^2 * 3 * 10^3 * 5 * 10^{-3} * 1,35}{0,15 * 10^{-3} * \tan 17,66^\circ} \right) * 9,8 * 10^{-10}$$
$$= 2,685 \text{ кВт}$$

де

D - Діаметр шнека;

n – частота обертання
шнека, про/с;

P – тиск у циліндрі, Па;

η_1 – в'язкість розплаву полімеру у спіральному каналі шнека, Па·С;

η_2 – в'язкість розплаву полімеру в зазорі між гребенем шнека та стінкою циліндра, Па·С;

φ – кут підйому гвинтової нарізки
шнека, град;

e – ширина гребеня витка.

δ – величина зазору між гребенем шнека та циліндром.

5.10 Розрахунок корпусу в системі Ansys

Для розрахунків вузла я вирішив використовувати програмне забезпечення ANSYS 2025 R1, призначене для такого типу задач. Використані модулі програмного забезпечення – Steady-State Thermal та Static Structural (рис. 5.14).

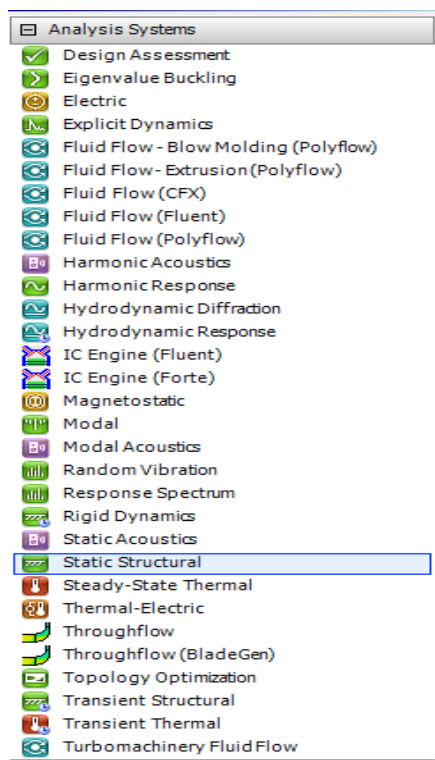


Рисунок 5.14 – створення середовища для виконання розрахунку

Також оскільки матеріал сталі відрізняється від базової сталі ANSYS вказуємо дані сталі Сталь 45 [12] що є необхідними для нашого обчислення (табл 5.5).

Таблиця 5.5 – Властивості матеріалу Сталь 45

Властивість	Значення	Коментар / Джерело
Young's Modulus	2.1e5 МПа	ДСТУ 2651-94, довідник
Poisson's Ratio	0.28	Типове для вуглецевих сталей
Density	7700 kg/m ³	ДСТУ / технічні довідники
Yield Strength	620 МПа	ДСТУ 2651-94, стан після нормалізації

Модель створена в програмі SolidWorks 2022 та збережена у форматі .sldprt. Щоб додати її до проекту, клацніть правою кнопкою миші на Geometry в Static Structure та виберіть import geometry, після чого виберіть заздалегідь створену модель. Потім закрийте Design Modeler.

Далі переходимо до середовища Static Structural > Model. Додаємо до моделі сітку (рис 5.15) та розставляємо закріплення (рис 5.16) в нашому випадку Fixed support і Displacement оскільки у нас тільки половина моделі.

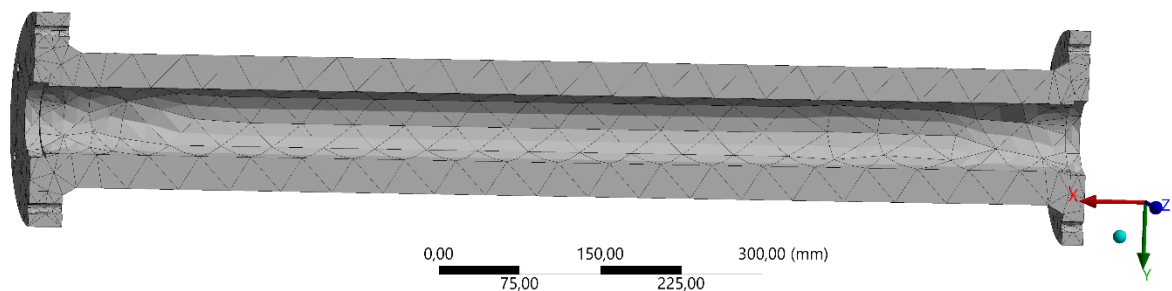


Рисунок 5.15 – Згенерована сітка

A: Static Structural

Static Structural

Time: 1, s

18.06.2025 19:37:10

A Standard Earth Gravity: 9806,6 mm/s²

B Fixed Support

C Displacement

D Pressure: 50, MPa

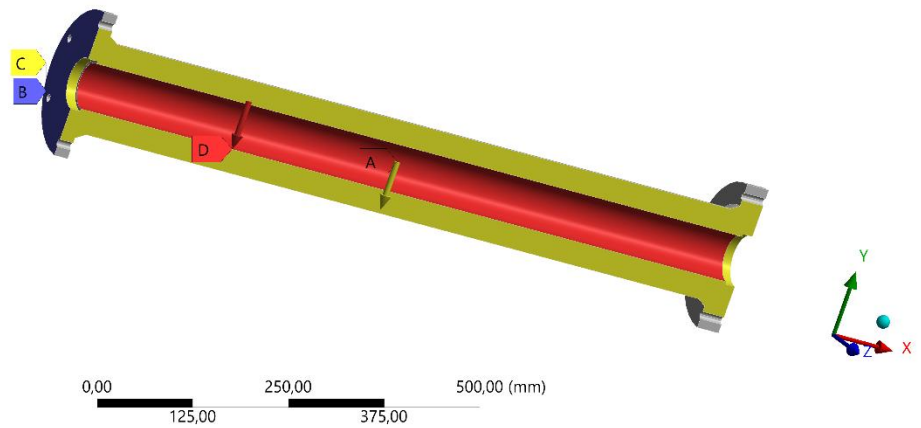


Рисунок 5.16 – Додане закріплення Fixed support та Displacement

Далі виставляємо сили що діють на черв'як в нашому випадку це Standard Earth Gravity тобто гравітація. Також Pressure тиск в 50 МПа [1] (рис. 5.17).

A - Стандартна сила тяжіння (гравітація):

Задано значення прискорення вільного падіння 9806,6 мм/с², що відповідає реальним умовам дії ваги конструкції на її тіло.

D- Тиск на внутрішню поверхню (Pressure):

Прикладаємо тиск в 50 Мпа на внутрішню частину корпусу. Воно моделює тиск розплаву під час проходження корпусом на нього

A: Static Structural

Pressure

Time: 1, s

19.06.2025 18:03:53

D Pressure: 50, MPa

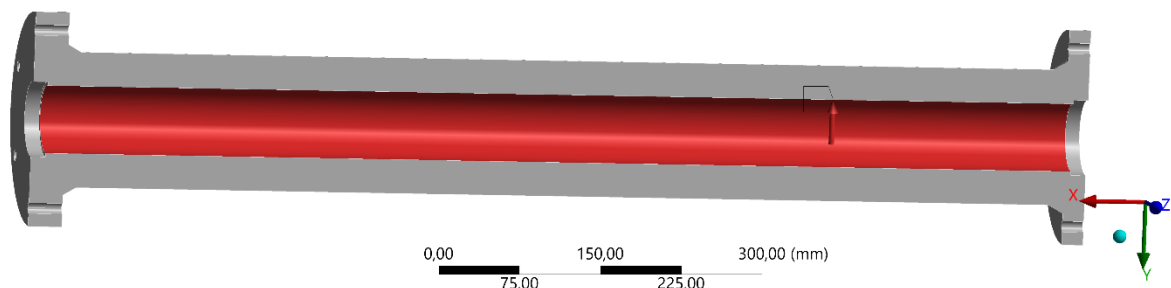


Рисунок 5.17 – Закріплення та сили, що діють на тіло

Далі переходимо в розділ Solution. Тут додаємо результати, які хочемо бачити: Total Deformation, Equivalent Elastic Strain, Equivalent Stress та Safety Factor. Після цього командою Solve розраховуємо задане тіло.

З отриманих результатів основними критеріями для оцінки вузла є загальні переміщення (Total Deformation) та запас міцності (Safety Factor).

Далі потрібно поглянути на результат загальних деформацій (Total Deformation), який покаже де знаходяться найбільш навантажені зони та їх розмір (рис. 5.19)

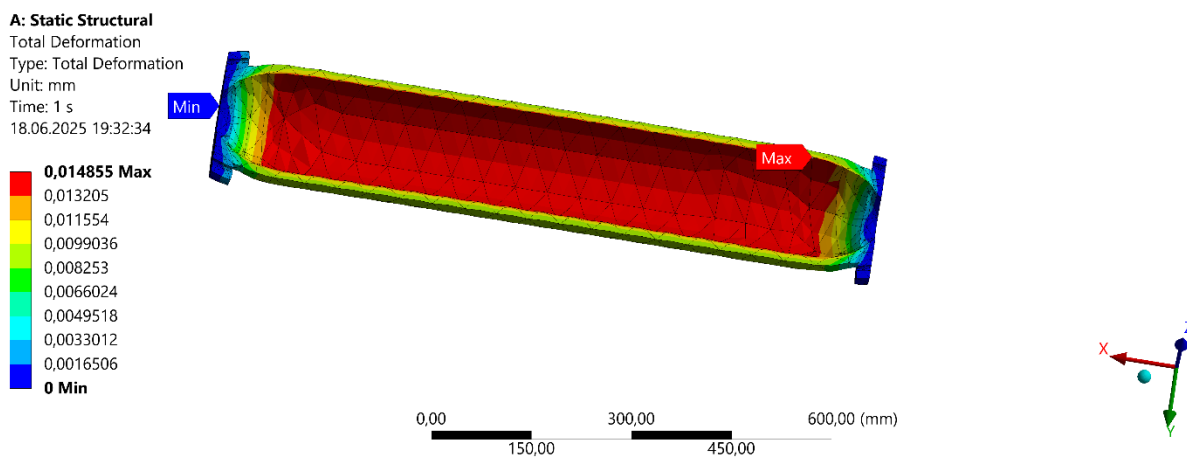


Рисунок 5.19 – Результат розрахунку загальних переміщень

На знімку видно, що найбільшій переміщення (0.02 мм) корпус набуває на нижній частинці корпусу де відбувається процес стискання матеріалу. Деформація досить мала, тому перебуває у межах норми (рис 5.20).

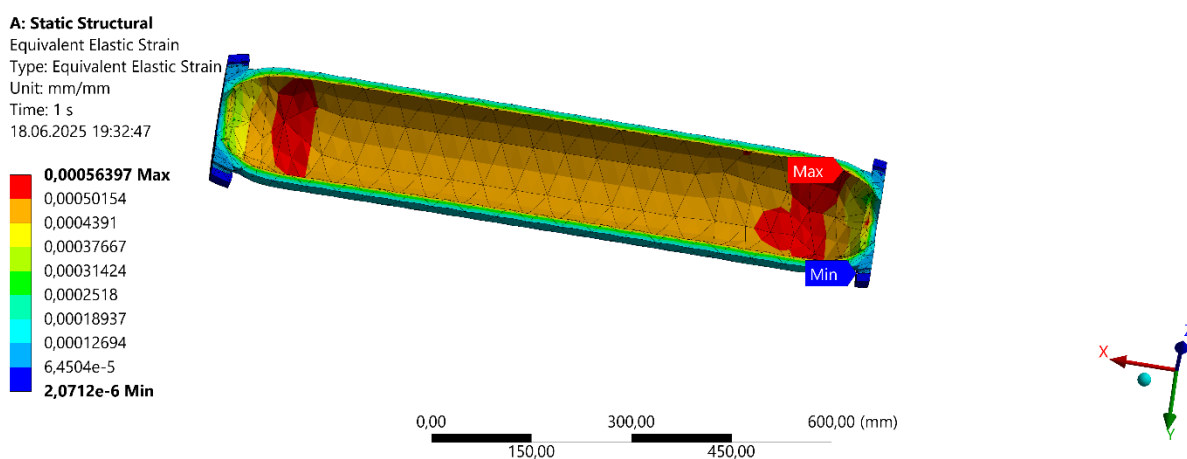


Рисунок 5.20 – Результат розрахунку деформацій

Також розглянемо на (рис. 5.21) результати розрахунку міцності по Мізесу

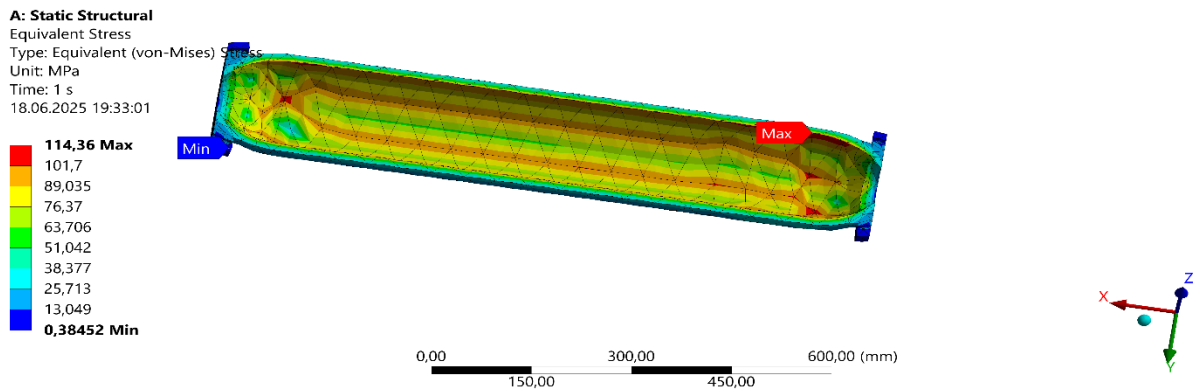


Рисунок 5.21 – Напруження по Мізесу

Спочатку потрібно оцінити вузол за механічними характеристиками. Запас міцності (Safety Factor) важливий для визначення того, чи деталь критично здеформується. Для цього коефіцієнт запасу міцності повинен бути більшим за 2 ($k > 2$).

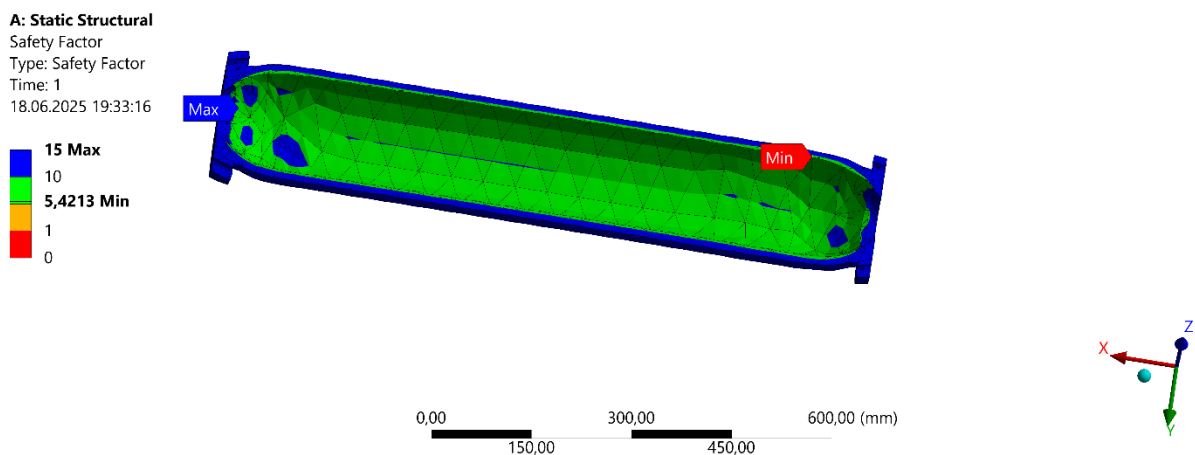


Рисунок 5.18 – Результат розрахунку коефіцієнту запасу міцності

З розрахунку видно, що коефіцієнт запасу міцності достатній, бо більший ніж 2. З цього можна зробити висновок, що деталь не зламається.

Коефіцієнт запасу міцності конструкції

$$n = \frac{\sigma_l}{\sigma_{екв}} = \frac{620}{117,11} = 5,294$$

При цьому найбільше еквівалентне напруження за мізесом за Мізесов

$\sigma_{екв} = 117,11 \text{ МПа}$ а найбільші переміщення $\Delta_{\max} = 0,02 \text{ мм}$, тобто напруження конструкції менше допустимих і конструкція корпусу є працездатною.

5.11 Розрахунок базового черв'яка

Для розрахунків вузла я використав програмне забезпечення ANSYS 2025 R1, призначене для такого типу задач. Використані модулі програмного забезпечення – Steady-State Thermal та Static Structural (рис. 5.21).

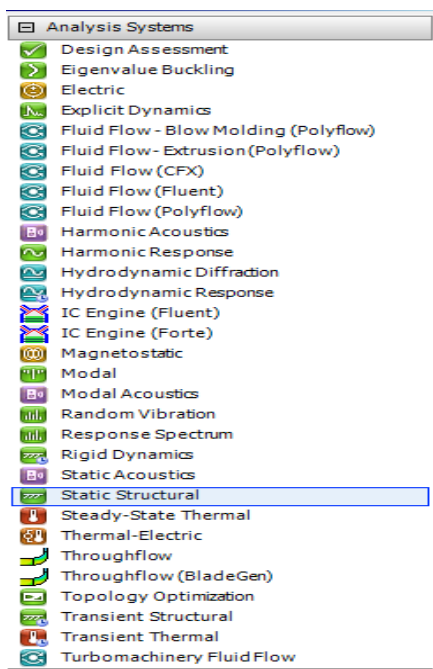


Рисунок 5.21 – Створення середовища для виконання розрахунку

Модель черв'яка створена в програмі SolidWorks 2022 та збережена у форматі .sldprt. Черв'як виконано зі сталі Сталь 38Х2МЮА (табл. 5.6). Щоб додати її до проекту, клацніть правою кнопкою миші на Geometry в Static

Structure та виберіть import geometry, після чого виберіть заздалегідь створену модель. Потім закрийте Design Modeler.

Таблиця 5.6 – Властивості матеріалу Сталь 38Х2МЮА [12]

Властивість	Значення	Коментар / Джерело
Young's Modulus	2.09e5 МПа	ДСТУ 7806:2015, довідник
Poisson's Ratio	0.28	Типове для вуглецевих сталей
Density	7700 kg/m ³	ДСТУ / технічні довідники
Yield Strength	835 МПа	ДСТУ 7806:2015, стан після нормалізації

Далі переходимо до середовища Static Structural > Model. Додаємо до моделі сітку (рис 5.22) та розставляємо закріплення (рис 5.23) в нашому випадку Fixed support.

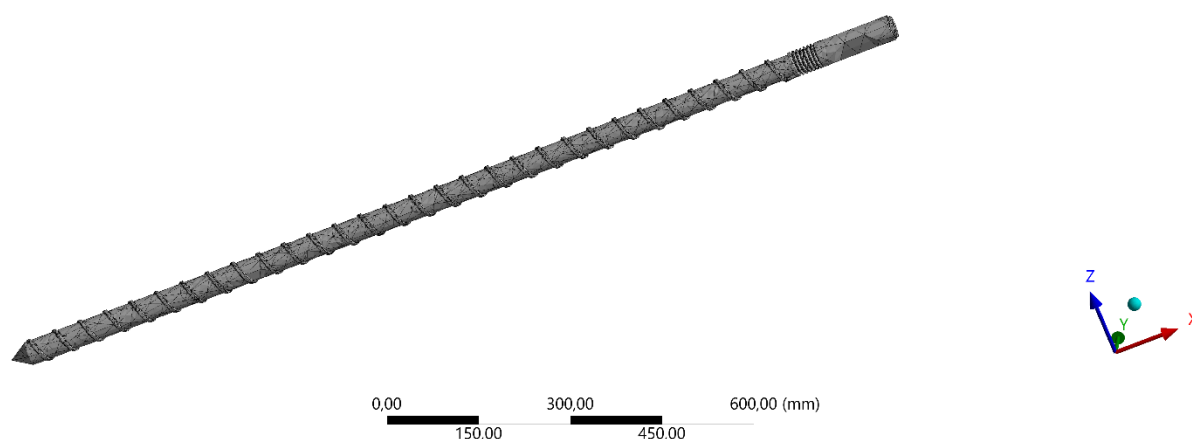


Рисунок 5.22 – Згенерована сітка

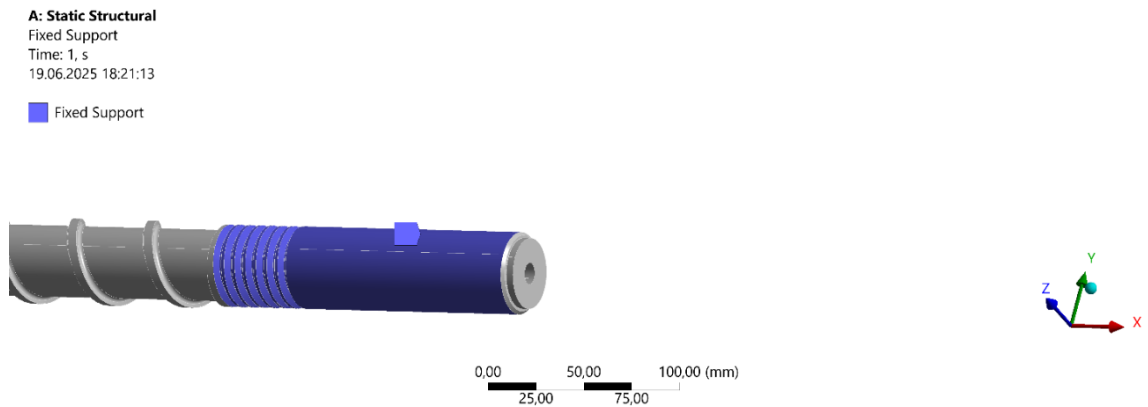


Рисунок 5.23 – Додане закріплення Fixed support

Далі виставляємо сили що діють на черв'як:

A - Жорстке закріплення (Fixed Support):

Один із торців черв'яка фіксується для імітації кріплення до корпуса екструдера.

B - Стандартна сила тяжіння (гравітація):

Задано значення прискорення вільного падіння $9806,6 \text{ мм/с}^2$, що відповідає реальним умовам дії ваги конструкції на її тіло.

C - Осьове навантаження (Force):

На вільний кінець черв'яка прикладено осьову силу величиною 50000 Н . Це моделює тиск полімерного матеріалу, що створюється під час подачі та стискання розплаву у формувальну головку.

D - Крутний момент (Moment):

Застосовано крутний момент величиною 79500 Нмм , що відповідає реальній роботі електроприводу, який обертає черв'як під час процесу екструзії.

A: Static Structural
Static Structural
Time: 1, s
18.06.2025 19:23:22

- A Fixed Support
- B Standard Earth Gravity: 9806,6 mm/s²
- C Force: 50000 N
- D Moment: 79500 N-mm

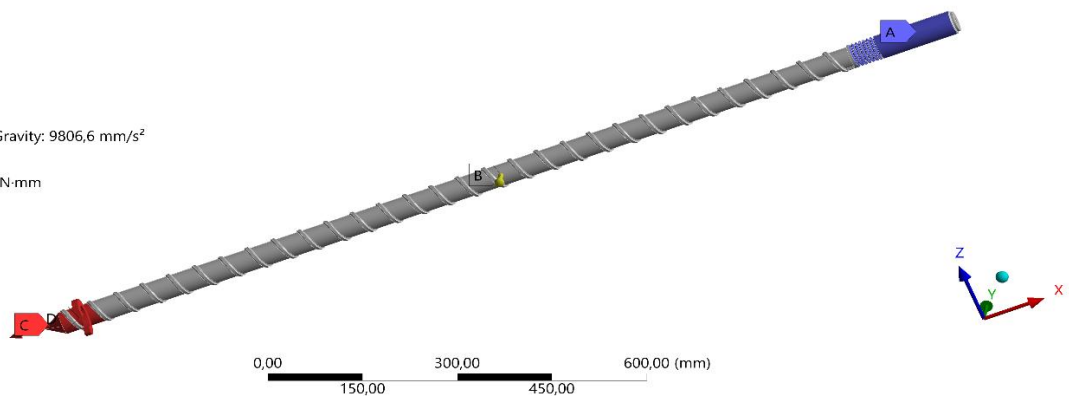


Рисунок 5.24 – Закріплення та сили, що діють на тіло

Далі переходимо в розділ Solution. Тут додаємо результати, які хочемо бачити: Total Deformation, Equivalent Elastic Strain, Equivalent Stress та Safety Factor. Після цього командою Solve розраховуємо задане тіло.

З отриманих результатів основними критеріями для оцінки вузла є загальні деформації (Total Deformation) та запас міцності (Safety Factor).

Спочатку потрібно оцінити вузол за механічними характеристиками. Запас міцності (Safety Factor) важливий для визначення того, чи деталь критично здеформується. Для цього коефіцієнт запасу міцності повинен бути більшим за 2 ($k > 2$).

A: Static Structural
Safety Factor
Type: Safety Factor
Time: 1
18.06.2025 19:21:55

- 15 Max
- 9,0198 Min
- 5
- 1
- 0

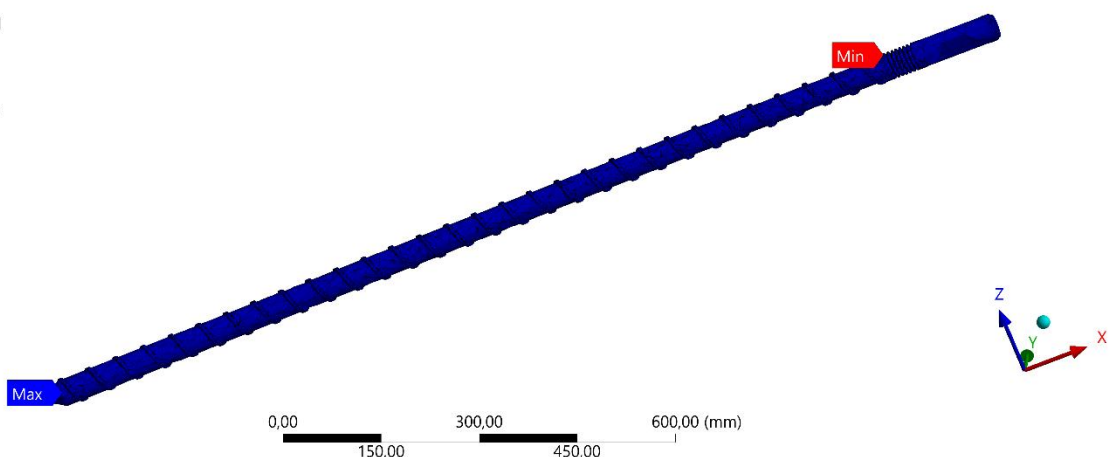


Рисунок 5.25 – Результат розрахунку запасу міцності

З розрахунку видно, що коефіцієнт запасу міцності достатній, бо більший ніж 2. З цього можна зробити вивід, що деталь не зламається.

Далі потрібно поглянути на результат загальних деформацій (TotalDeformation), який покаже де знаходяться найбільш навантажені зони та їх розмір (рисунок 5.26)

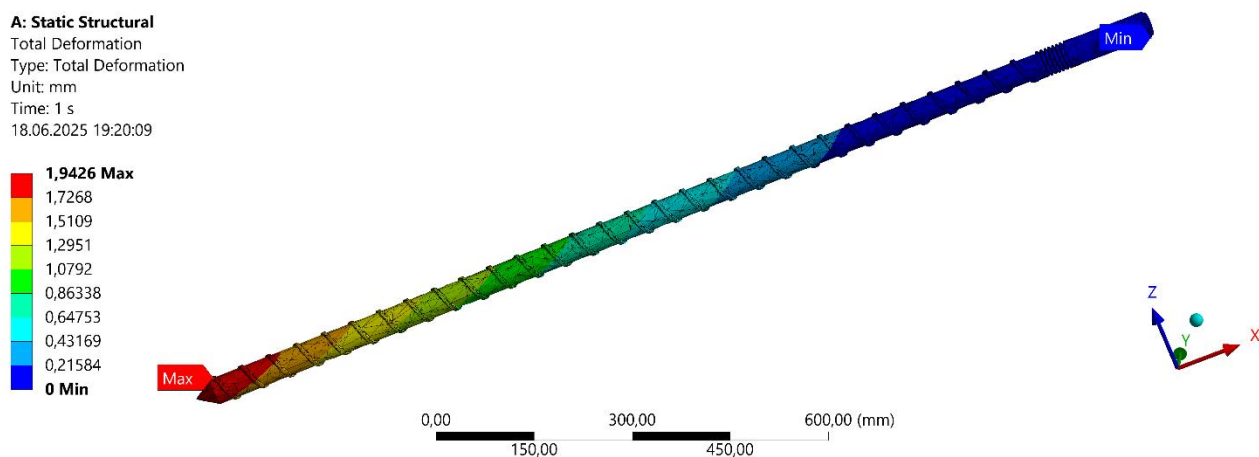


Рисунок 5.27 – Результат розрахунку загальних переміщень

На знімку видно, що найбільшій деформації (2 мм) черв'як набуває на кінці де відбувається процес стискання матеріалу. Деформація досить мала, тому перебуває у межах норми (рис 5.27).

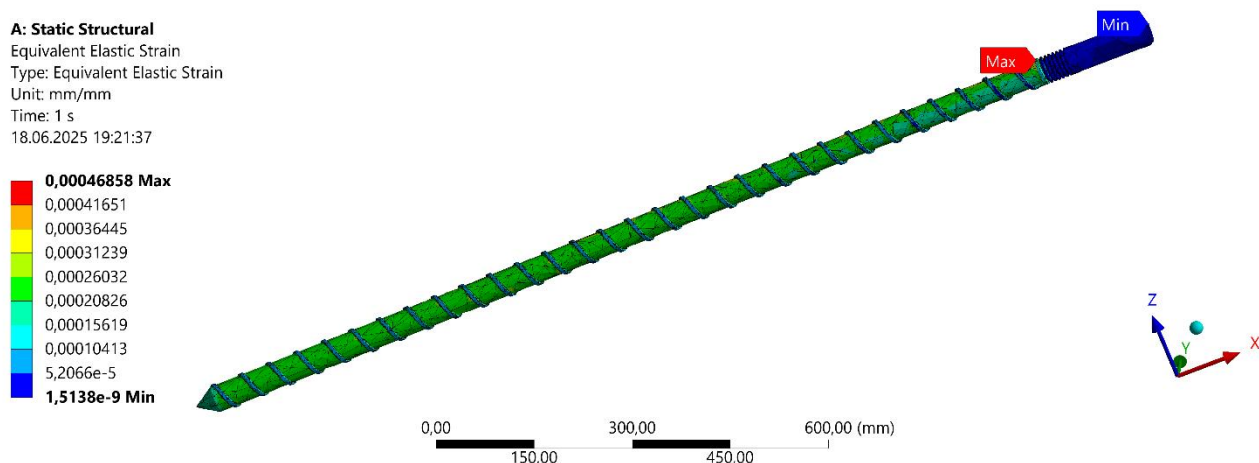


Рисунок 5.28 – Результат розрахунку деформацій

Також розглянемо на (рис. 5.29) результати розрахунку міцності по Мізесу

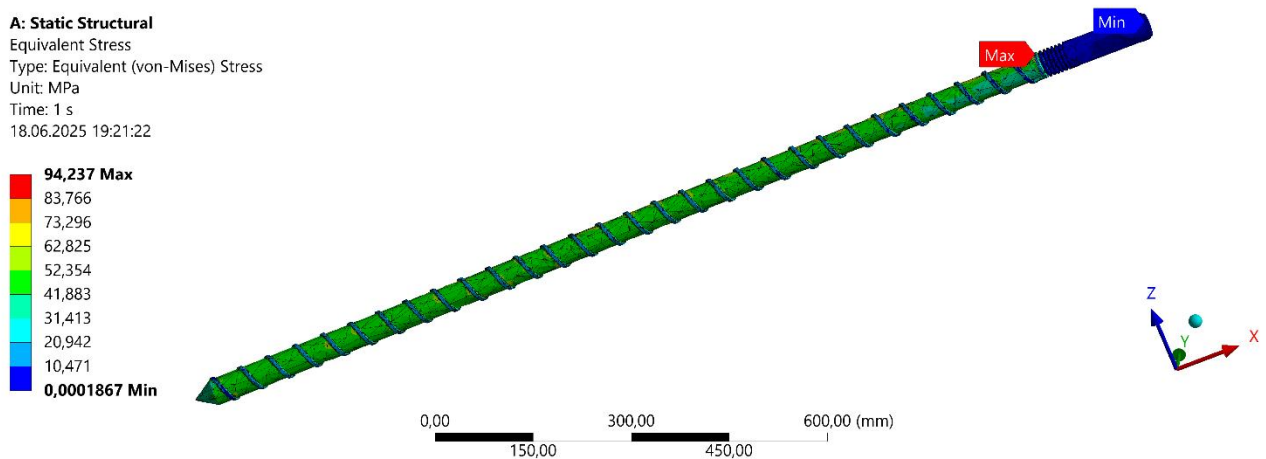


Рисунок 5.29 – Напруження по Мізесу

При цьому найбільший еквівалент за Мізесов $\sigma_{екв} = 94,237 \text{ МПа}$ а найбільша деформація $\Delta_{max} = 1.9 \text{ мм}$. Коефіцієнт запасу міцності конструкції

$$n = \frac{\sigma_t}{\sigma_{екв}} = \frac{850}{94,237} = 9,02$$

А значить напруження конструкції менше допустимих і конструкція черв'яка є працездатною. Також вигин черв'яка на кінці при Total deformation обгрунтовує доцільність обраного патенту

5.12 Розрахунки модернізованого черв'яка в системі Ansys

Для модернізованої моделі слід виконати ті самі дії, які були описані в розділі 6.1. Тому в даному випадку наведено лише схему задання, навантажень та закріплень для модернізованої моделі (рисунки 5.23-5.24). Основним завданням є отримання результатів та їх порівняння з характеристиками базової конструкції.

Знову потрібно провести розрахунки механічних характеристик такі як, запас міцності та загальні деформації і т.д.

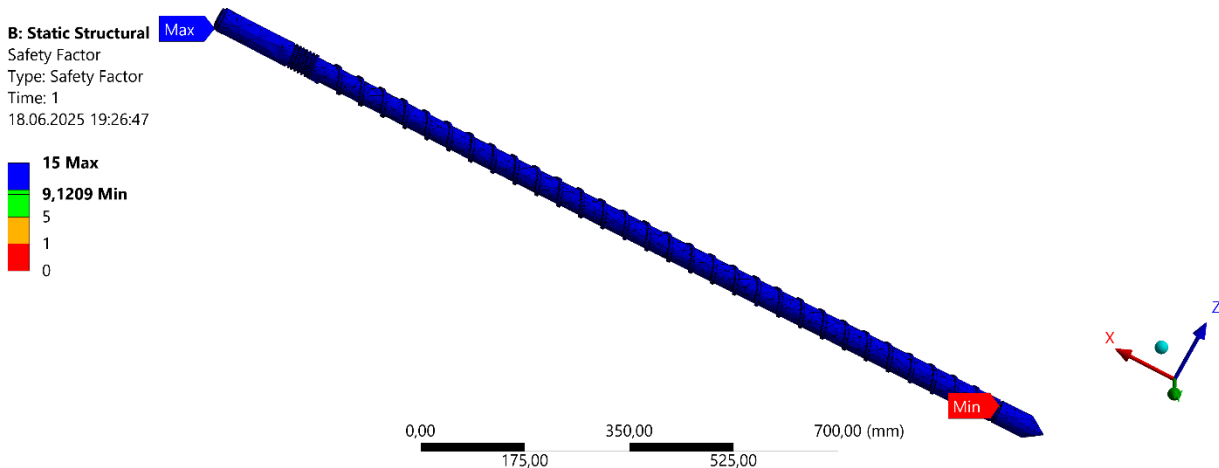


Рисунок 5.31 – Результат розрахунку запасу міцності

Запас міцності став більший, порівняно з базовою конструкцією, через стабілізацію завдяки додаванню тіл обертання товщини матеріалу, однак він усе одно достатній щоб витримувати навантаження.

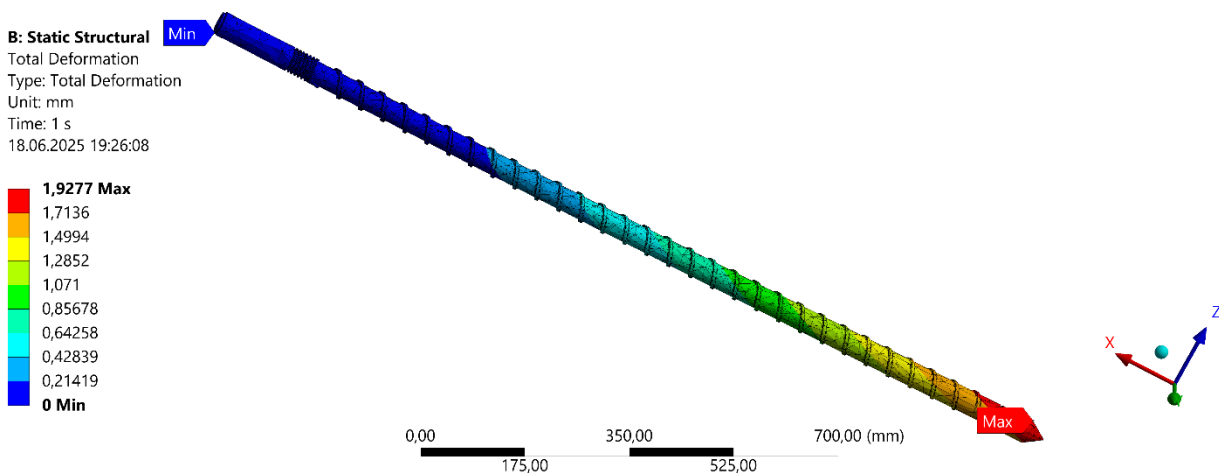


Рисунок 5.32 – Результат розрахунку загальних переміщень

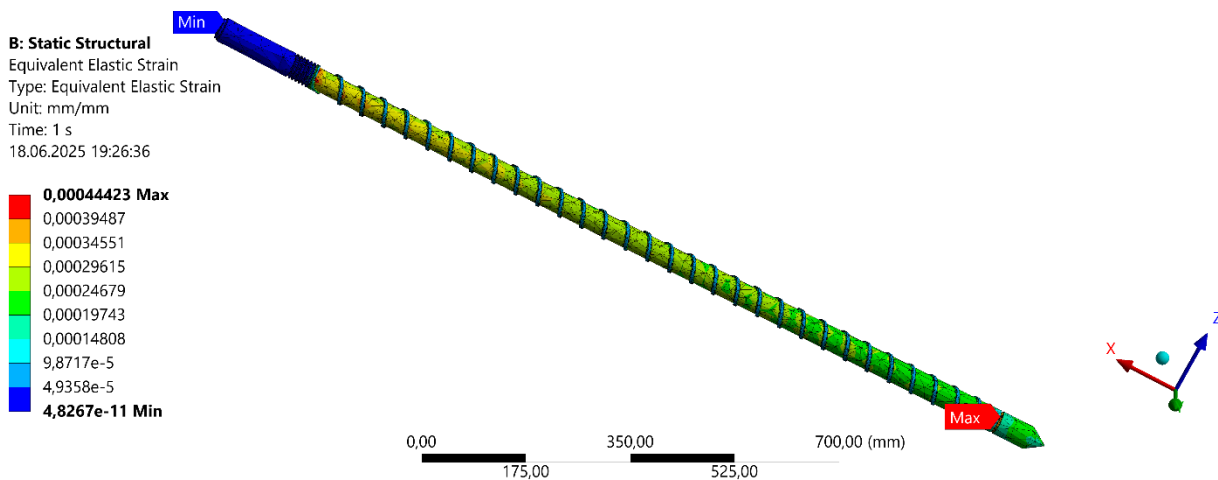


Рисунок 5.33 – Результат розрахунку деформацій

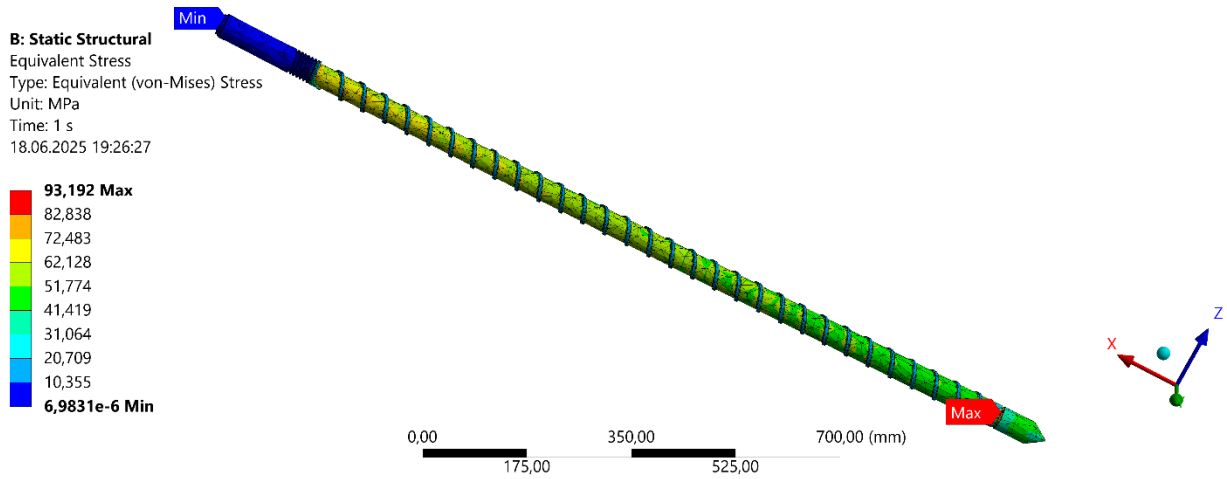


Рисунок 5.34 – Напруження по Мізесу

З отриманих даних видно, що показники покращилися, у порівнянні із базовою варіацією, хоч і не значно. Що свідчить про покращення надійності і довговічності черв'яка екструдера.

Для перевірки проведемо розрахунок:

$$n = \frac{\sigma_t}{\sigma_{екв}} = \frac{850}{93,192} = 9,121$$

А значить напруження конструкції менше допустимих і конструкція корпусу є працездатною.

5.13 Розрахунок модернізованого корпусу

Для модернізованої моделі слід виконати ті самі дії, які були описані в розділі 6.1. Тому в даному випадку наведено лише схему задання, навантажень та закріплень для модернізованої моделі беремо з попередніх розділів (рисунки 5.23-5.24). Основним завданням є отримання результатів та їх порівняння з характеристиками базової конструкції.

Знову потрібно провести розрахунки механічних характеристик такі як, запас міцності та загальні деформації і т.д.

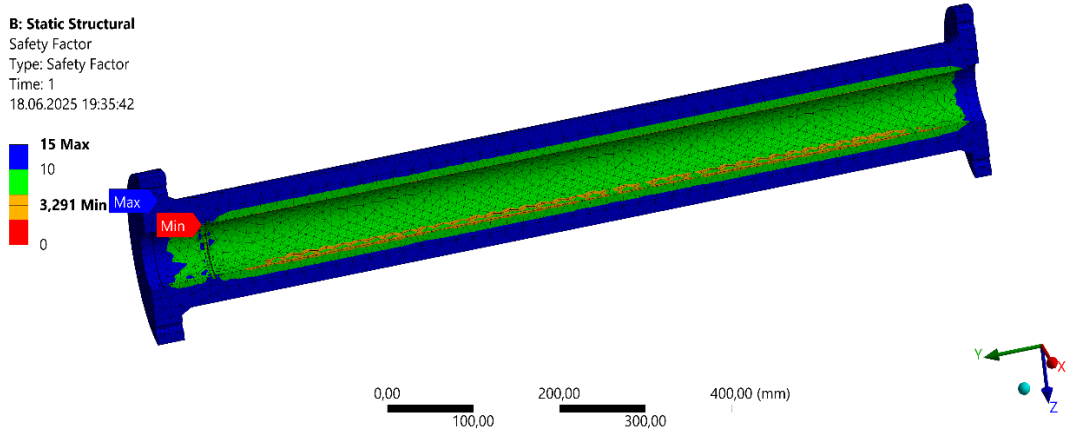


Рисунок 5.31 – Результат розрахунку запасу міцності

Запас міцності став менший, порівняно з базовою конструкцією, через те що з'являється проточка і падає товщина корпусу завдяки додаванню тіл обертання, однак він усе одно достатній щоб витримувати навантаження.

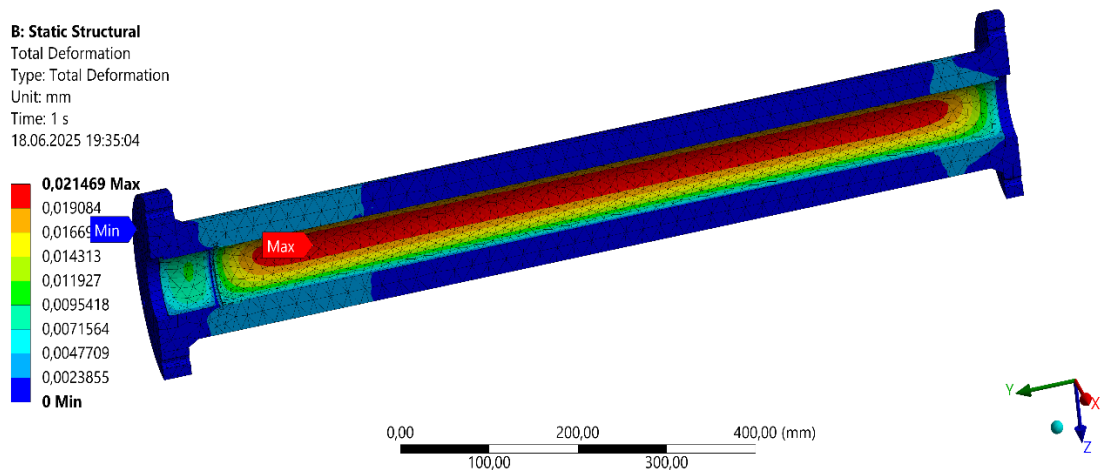


Рисунок 5.32 – Результат розрахунку загальних переміщень

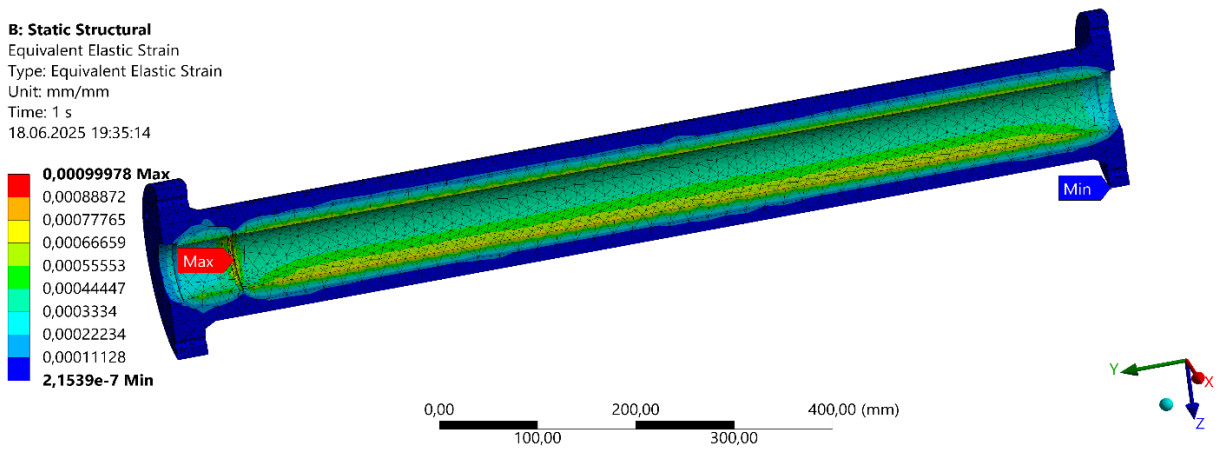


Рисунок 5.33 – Результат розрахунку деформацій

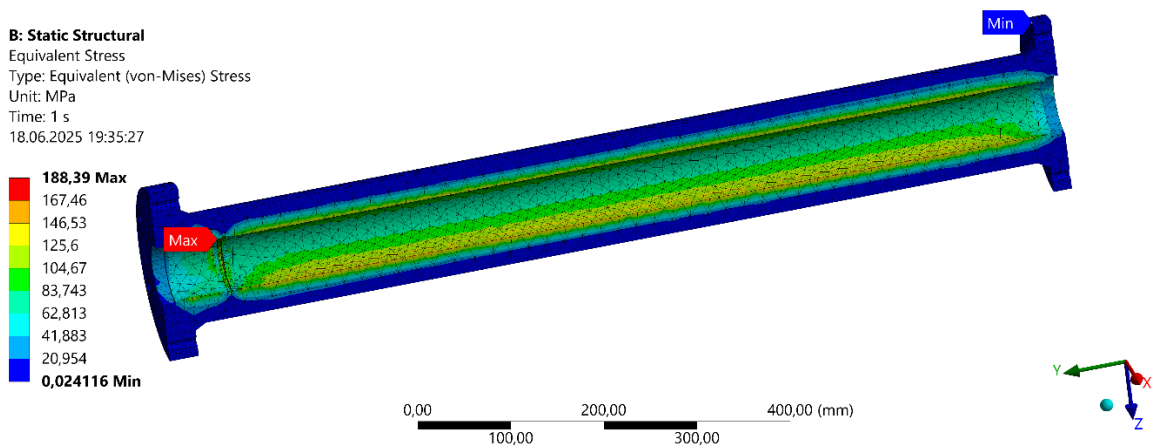


Рисунок 5.34 – Напруження по Мізесу

З отриманих даних видно, що показники погіршилися, у порівнянні із базовою варіацією, хоч і не значно. Що свідчить про те що не дивлячись на падіння корпус працюєдатний.

Для перевірки проведемо розрахунок:

$$n = \frac{\sigma_l}{\sigma_{екв}} = \frac{620}{188.39} = 3,291$$

А значить напруження конструкції менше допустимих і конструкція корпусу є працюєдатною.

Отже можна підсумувати що моя модифікація дала більш стабільний черв'як зменшивши його переміщення

6 ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці відіграє важливу роль у забезпеченні безпеки та ефективної роботи підприємства. У цьому розділі розглядаються ключові положення з охорони праці, а також типові причини виникнення нещасних випадків на виробництві. Особливу увагу приділено технічним та організаційним заходам, спрямованим на мінімізацію ризиків і створення безпечного робочого середовища [18-19].

Головною метою охорони праці є створення умов, що забезпечують безпеку та комфорт для працівників. На кожному підприємстві існують певні потенційно небезпечні фактори, що можуть призвести до травматизму або інших надзвичайних ситуацій. Основним нормативно-правовим актом, який регламентує питання охорони праці в Україні, є Закон України «Про охорону праці», прийнятий Верховною Радою 14 жовтня 1992 року. У цьому документі визначені основні принципи та вимоги щодо захисту здоров'я і безпеки працівників, а також відповідальність державних органів за їх дотримання.

Оскільки тема дипломного проєкту – «Агрегат для накладення ізоляції на кабель з модернізацією екструдера», питання охорони праці розглядаються стосовно приміщення, де здійснюється нанесення ізоляції на дріт за допомогою екструдера типу ЧП 45Х30. Система керування встановлена в захисному боксі безпосередньо на обладнанні. Параметри виробничого приміщення такі: площа — 100 м², об'єм — 800 м³, висота — 8 м.

Під час обслуговування даного обладнання працівники можуть зазнати впливу наступних небезпечних і шкідливих виробничих факторів:

- Механічна безпека
- Електрична безпека;
- Пожежна безпека;
- Шумове забруднення;
- Повітря у робочій зоні.

6.1 Механічна безпека

У складі лінії функціонує велика кількість рухомих елементів різних розмірів, серед яких переважають обертові частини — шнеки, приводи, вали, шестерні тощо. За недотримання правил експлуатації такі механізми можуть стати джерелом серйозного травматизму.

Для запобігання потраплянню кінцівок чи одягу в зону обертання необхідно впровадити низку заходів:

монтаж огорожувальних конструкцій на усій небезпечній ділянці обладнання для обмеження прямого доступу до них;

оснащення машини аварійною кнопкою зупинки, яка має бути легко доступною для персоналу;

систематичне технічне обслуговування задля вчасного виявлення несправностей або зношування елементів.

Захисні огороження є невід'ємною частиною системи механічної безпеки. Вони обмежують контакт працівників із небезпечними зонами, тим самим зменшуючи ризик травм.

Огороження можуть бути декількох типів:

Стационарні (фіксовані) — встановлюються постійно і не передбачають демонтажу без застосування інструментів;

Знімні — допускають демонтаж або переміщення, однак мають бути повернуті на місце перед відновленням роботи обладнання;

Рухомі — мають можливість відкривання чи зсуву, зазвичай використовуються для обслуговування або налаштування машин.

Система аварійного відключення відіграє вирішальну роль у безпечному функціонуванні екструдерної лінії. Вона дає змогу негайно припинити роботу установки у разі виникнення небезпеки. До її основних компонентів належать: електричні вимикачі миттєвого реагування, які зупиняють виробництво; а також сенсори, що фіксують небезпечні обставини.

Регулярне технічне обслуговування обладнання є необхідним для попередження аварійних ситуацій, спричинених поломками або надмірним

зносом деталей.

Крім того, перед початком роботи з установкою, усі працівники зобов'язані пройти вступний інструктаж, де ознайомлюються з основними правилами експлуатації та техніки безпеки.

6.2 Електрична безпека

У середовищі, де експлуатується трубна екструзійна лінія з великою кількістю електротехнічного обладнання, електробезпека є пріоритетним аспектом охорони праці. Лінія працює на трифазній напрузі 220/380 В з частотою 50 Гц, відповідно до положень Правил улаштування електроустановок (ПУЕ, редакція зі змінами від 15.02.2017).

До основних факторів ризику ураження електричним струмом належать:

- нехтування нормами безпеки при роботі з електрообладнанням;
- пошкодження ізоляції або порушення цілісності силових кабелів;
- несправності або аварійні стани в електромережі.

Для мінімізації ризиків рекомендовано впровадити такі заходи:

- використання броньованих або ізольованих кабельних трас, що унеможливають випадковий контакт з провідниками;
- встановлення автоматичних вимикачів і запобіжників, що забезпечують миттєве вимкнення обладнання в разі перевантаження або короткого замикання;
- облаштування окремого головного рубильника (роз'єднувача), що дає змогу оперативно знеструмити всю лінію;
- забезпечення працівників індивідуальними засобами захисту, зокрема діелектричними рукавицями (наприклад, Delta Plus APOLLON VV733 або аналогами).

Перед початком роботи персонал повинен пройти інструктаж з електробезпеки, що охоплює основні правила взаємодії з електрообладнанням, порядок дій у разі аварії та способи уникнення небезпечних ситуацій.

Загалом, ефективна електрична безпека на підприємстві вимагає

комплексного підходу — поєднання технічного оснащення, професійного навчання персоналу та дотримання внутрішніх інструкцій і норм.

6.3 Пожежна безпека

У зв'язку з використанням високотемпературного обладнання для обробки полімерів, існує потенційна загроза виникнення займання, що підвищує пожежонебезпеку об'єкта. Основними причинами можливої пожежі є:

- коротке замикання або перегрів елементів електричної системи;
- самозаймання або перегрів легкозаймистих полімерних матеріалів.

Згідно з класифікацією за ДСТУ Б В.1.1-36:2016, об'єкт підпадає під категорію В — пожежонебезпечне виробництво.

Щоб зменшити ризик виникнення пожежі, слід реалізувати такі заходи:

- провести обов'язковий протипожежний інструктаж для всіх працівників цеху з поясненням алгоритму дій у разі пожежі;
- заборонити використання відкритого вогню, легкозаймистих рідин і матеріалів у виробничих приміщеннях;
- регулярно перевіряти справність електрообладнання та стан електропроводки;
- розмістити в приміщенні вуглекислотні вогнегасники типу ВВК-2 (ОУ-3) масою 5,1 кг. Виходячи з нормативу – один вогнегасник на кожні 20 м², при площі 80 м² слід встановити щонайменше 4 одиниці.

Для підвищення рівня безпеки рекомендовано встановити автоматизовану систему пожежогасіння порошкового типу, наприклад через компанію Anti Fire. Така система здатна самостійно виявити займання та активувати гасіння без втручання людини.

6.4 Шумове забруднення

На виробництві, де експлуатується трубна екструзійна лінія, постійна робота обладнання створює підвищений рівень шуму, що може негативно

впливати на здоров'я працівників. Основним джерелом шуму є екструдер марки ЧП 45X02, зокрема обертові вали, двигуни, системи охолодження та інші механічні вузли. Рівень шуму в цеху може досягати або перевищувати 90 дБА, що перевищує допустимі гігієнічні норми.

Для зменшення рівня шумового забруднення слід застосувати комплекс технічних і організаційних заходів, а саме:

- встановлення звукоізоляційних покриттів на стінах і навколо обладнання з коефіцієнтом звукопоглинання не менше 0,6;
- обладнання дверних прорізів звукопоглинальними матеріалами для мінімізації поширення шуму між приміщеннями;
- регулярне технічне обслуговування, зокрема своєчасне поповнення мастила на рухомих частинах для зменшення тертя та шуму.

Для індивідуального захисту працівників необхідно забезпечити використання звукоізоляційної екіпіровки, зокрема:

- протишумові навушники, наприклад PS43GRR Portwest, які забезпечують зниження шуму до 36 дБ або беруші із сертифікованим рівнем шумозаглушення.

Впровадження зазначених заходів дозволить знизити шумове навантаження до рівня, що відповідає вимогам нормативного документа ДСН 3.3.6.037-99, та забезпечити комфортні та безпечні умови праці для персоналу.

6.5 Повітря у робочій зоні

На виробничих підприємствах, де працює трубна лінія, забруднення повітря може виникати через наявність пилу, випарів хімічних речовин (зокрема поліетилену), продуктів горіння та інших шкідливих речовин. Під час розплавлення поліетилену в шнековому пресі температура робочих поверхонь може досягати 200 °С. Проте завдяки теплоізоляції обладнання температура повітря поблизу машини не перевищує 40 °С, що є безпечним для працівників.

Відповідно до категорії робіт, що виконуються на підприємстві (категорія Іа – легка робота), оптимальні параметри мікроклімату наступні:

- у теплий період року: температура повітря 25–29 °С при відносній вологості 50–60 %;
- у холодний період року: температура 27–30 °С при відносній вологості 40–60 %.

Для підтримання належної якості повітря у робочій зоні та видалення шкідливих речовин передбачено встановлення ефективної вентиляційної системи, яка забезпечує приплив свіжого та видалення забрудненого повітря.

Також для уникнення прямого потрапляння шкідливих речовин у зону робітників рекомендовано встановити фільтр безпосередньо на обладнання під головкою шнекового пресу. Ефективність фільтру повинна бути не менше 380 м³/год відповідно до вимог

ДСН 3.3.6.042-99.

6.6 Висновки до розділу

За темою «Агрегат для накладення ізоляції на кабель з модернізацією екструдера» було розглянуто основні небезпечні чинники, що можуть виникати на виробництві труб із застосуванням екструдера ЧП 45Х30.

Забезпечення охорони праці на підприємстві є комплексним процесом, який включає організаційні, технічні та профілактичні заходи. Виконання рекомендацій, наведених у роботі, дозволить суттєво знизити ризики травматизму і створити безпечні умови праці для персоналу.

Водночас заходи безпеки, що стосуються шумового забруднення та електричної безпеки, потребують додаткового посилення. Для покращення рівня захисту працівників необхідно забезпечити закупівлю додаткового індивідуального захисного обладнання, описаного у відповідних розділах.

Інші ключові аспекти безпеки — механічна безпека, пожежна безпека та контроль якості повітря у робочій зоні — забезпечені достатніми заходами, які відповідають нормативним вимогам і гарантують належний рівень захисту персоналу.

7 ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДВАННЯ

7.1 Технологія виготовлення деталі

У цьому розділі буде розглянуто процес виробництва деталі типу гільза.

Основне, що буде виконано в межах роботи: розробка технології виготовлення деталі, що передбачає вибір методу отримання заготовки, визначення матеріалу з урахуванням умов експлуатації, розрахунок припусків на механічну обробку, а також підбір відповідного інструменту для кожної з операцій.

Елемент машини «Гільза» – це складова частина вузла екструдера, яка піддається інтенсивному термічному та механічному навантаженню. Ця деталь виконує функцію напрямної або опорної частини, а також бере участь у герметизації з'єднань конструкції. Вона має отвір уздовж осі, посадкові поверхні та інші функціональні елементи, що вимагають точного дотримання геометрії.

Зважаючи на складність форми та наявність центрального отвору, заготовку доцільно отримати литтям у піщано-глинисті форми. Цей метод дозволяє раціонально використати матеріал, зменшити обсяг припусків і забезпечити достатню точність на стадії формування. Матеріалом обрано сталь 45 згідно з ГОСТ 1050-80, яка добре піддається термічній обробці, має достатню міцність і зносостійкість, а також характеризується хорошою оброблюваністю різанням.

Умови роботи гільзи — це контакт із розігрітим матеріалом, значні осьові та радіальні навантаження, а також можливі вібрації. Тому важливими критеріями для матеріалу є механічна міцність, пластичність та термостійкість. Сталь 45 забезпечує ці властивості після відповідної термообробки.

Геометричні елементи гільзи мають бути виконані з достатньою точністю і низькою шорсткістю, що вимагає застосування високопродуктивного

металообробного обладнання. Виготовлення деталі передбачає послідовність токарних, розточувальних, шліфувальних та свердлильних операцій з використанням відповідного оснащення й інструменту.

Під час розробки технології особливу увагу буде приділено розміщенню баз, вибору припусків на обробку, параметрам термообробки та контролю якості готової продукції.

7.2 Опис та призначення деталі

Гільза є одним із важливих елементів конструкції шнекового екструдера. Вона виконує роль напрямного й захисного елемента, в якому обертається або переміщується шнек. З конструктивної точки зору, гільза — це порожнистий циліндр із внутрішньою точною поверхнею, що взаємодіє з робочим органом (шнеком) машини. Її форма та розміри залежать від типу екструдера, режимів роботи та вимог до герметизації й зносу.

Гільзи виготовляються з різних матеріалів — конструкційної сталі, легованої сталі, бронзи або зносостійких вставок — залежно від умов експлуатації, зокрема температури, тиску та стирання.

Основними функціями гільзи є:

Напрямна функція для шнека або інших рухомих елементів;

- Захист корпуса екструдера від зносу й навантажень, що передаються через шнек;
- Забезпечення герметичності в зоні транспортування або пресування матеріалу;
- Стабілізація температурного режиму, якщо гільза має канали для охолодження або нагрівання;
- Спрощення ремонту та технічного обслуговування — зношену гільзу можна замінити без потреби у повній заміні корпуса.

Отже, гільза (рис. 7.1) є критичним елементом у конструкції екструдера, що забезпечує точність руху шнека, захист робочих поверхонь та стабільну роботу всього обладнання. Її геометричні та фізико-механічні характеристики напряду впливають на ефективність і довговічність усього технологічного процесу. Гільза виготовлена з матеріалу сталь 45 (табл. 7.1, 7.2).

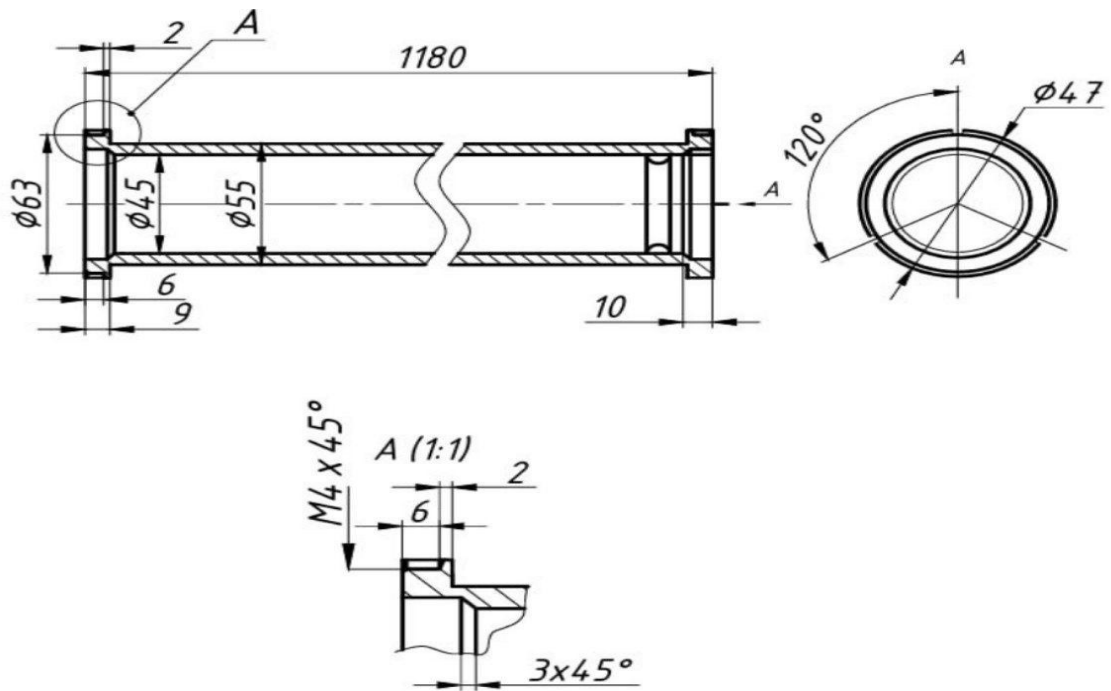


Рис. 7.1 – ескіз деталі Гільза

Таблиця 7.1 – Хімічний склад сталі 45

C	Si	Mn	Ni	P (не більше)	S (не більше)	Cr	Ni	Cu
0.42– 0.50	0.17– 0.37	0.50– 0.80	≤0.30	≤0.035	≤0.035	≤0.032	≤0.30	≤0.30

Таблиця 7.2 – механічні властивості сталі 45

Механічна властивість	Значення
Границя плинності, МПа (не менше)	355
Границя міцності, МПа (не менше)	600
Мінімальне відносне подовження, %, не менше	16
Відносне звуження, %, не менше	40
Ударна в'язкість КСУ, Дж/см ² (не менше)	59

В наступних підрозділах буде описано вибір заготовки і процес виготовлення деталі.

7.3 Вибір заготовки для виготовлення деталі

Так як матеріал деталі — сталь 45, що є конструкційним вуглецевим металом згідно з ГОСТ 1050-80, для виготовлення заготовки гільзи було обрано метод лиття в піщано-глинясті форми. Такий спосіб дозволяє отримати заготовку, яка за формою наближена до готової деталі, з урахуванням припусків на механічну обробку. Метод лиття є доцільним у даному випадку через наявність отворів, фланцевих зон, складної зовнішньої геометрії, а також значної довжини деталі.

Після лиття отримується порожнистий сталевий циліндр з приливами під фланцеві частини (див. Рис. 7.2), що в подальшому дозволяє здійснити обробку внутрішніх і зовнішніх поверхонь із заданими точностями. Такий тип заготовки забезпечує мінімальний знімальний шар, зменшує втрати металу, а також знижує трудомісткість токарних і свердлильних операцій.

Заготовка виготовляється із запасом по розмірах згідно з допусками на литво відповідно до ГОСТ 26645-85 (II або III клас точності). Це дозволяє

забезпечити надійне базування деталі при подальшій обробці та досягнення необхідних параметрів шорсткості та точності.

Рисунок 7.2 – Заготовка гільзи демонструє вигляд отриманої циліндричної деталі після лиття. Заготовка має внутрішній литий отвір та зовнішній контур з фланцевими приливами, що відповідає конфігурації майбутньої деталі.

7.4. Технологічний процес виготовлення деталі

Послідовність операцій:

Операція 005. Обрубка ливникових залишків.

Ручна або механізована зачистка литих приливів; довести заготовку до довжини 1180 мм, діаметру фланця $\varnothing 63$ мм, діаметру тіла $\varnothing 55$ мм після лиття

Операція 010. Токарна чорнова та напівчистова обробка.

Розточити внутрішній отвір під $\varnothing 45$ мм; обробити посадку під фланець до $\varnothing 47$ мм Чорнова точність

Операція 015. Фрезерування та свердління.

Фрезерування площин під отвори. Свердління отворів під М4 з нахилом 45° , глибиною 6 мм, загальною довжиною 9 мм. Отвори для з'єднання. Робимо кільцеву проточку по гільзі

Операція 020. Чистова токарна обробка.

Чистова обробка зовнішніх та внутрішніх поверхонь. Зняття фасок $3 \times 45^\circ$. Обробка переходу від фланцевої частини до тіла гільзи Шорсткість Ra 1.6. Робимо кільцеву проточку чистову по гільзі

Операція 025. Контроль якості.

Перевірка геометричних розмірів ($\varnothing 45$, $\varnothing 47$, $\varnothing 55$, $\varnothing 63$), довжини, фасок і кута; контроль шорсткості Вихідний контроль 7.5. Вибір та розробка пристосування для певної операції

Для даної деталі використовується високопродуктивне спеціалізоване обладнання, оскільки вона відноситься до продукції середньосерійного виробництва.

Операція 005. Обрубка ливникових залишків

Для виконання даної операції використовується обрубний верстат МЛГ-25, який має наступні технічні характеристики:

- Клас точності – N (чорнова обробка);
- Діаметр шліфувального круга – 400 мм;
- Частота обертання круга – 2800 об/хв;
- Потужність головного приводу – 3,0 кВт;
- Максимальна вага заготовки – 50 кг;
- Вага верстата – 750 кг;
- Габарити верстата:
- Довжина – 1450 мм;
- Ширина – 800 мм;
- Висота – 1500 мм.

Операція 010. Токарна чорнова та напівчистова обробка зовнішніх і внутрішніх поверхонь

Операція виконується на токарному верстаті 1К62, що забезпечує ефективну обробку деталей середньої складності.

- Клас точності – H;
- Максимальний діаметр заготовки над станіною – 400 мм;
- Максимальна довжина обробки – 750 мм;
- Межі обертання шпинделя – 12,5...2000 об/хв;
- Потужність головного приводу – 7,5 кВт;
- Вага верстата – 2850 кг;
- Габарити верстата:
- Довжина – 2320 мм;

- Ширина – 1140 мм;
- Висота – 1450 мм.

Операція 015. Фрезерування площин під отвори, свердління та нарізання різьбових отворів

Для виконання даної операції використовується універсальний вертикально-фрезерний верстат 6P12П, оснащений поворотною головкою.

- Клас точності – Н;
- Розміри робочого столу – 1250 × 320 мм;
- Переміщення стола (X × Y × Z) – 800 × 280 × 400 мм;
- Частота обертання шпинделя – 31,5...1600 об/хв;
- Потужність головного приводу – 7,5 кВт;
- Вага верстата – 3100 кг;
- Габарити верстата:
- Довжина – 2560 мм;
- Ширина – 2150 мм;
- Висота – 1750 мм.

Операція 020. Чистова токарна обробка зовнішніх і внутрішніх поверхонь з фасками

Чистову обробку з високою точністю виконуємо на токарному верстаті підвищеної точності 16K20П, що дозволяє досягти шорсткості Ra 1.6.

- Клас точності – П;
- Максимальний діаметр над станіною – 400 мм;
- Максимальна довжина обробки – 1000 мм;
- Частота обертання шпинделя – 12,5...1600 об/хв;
- Потужність головного приводу – 7,5 кВт;
- Система точного регулювання подач;
- Вага верстата – 3200 кг;

- Габарити верстата:
- Довжина – 2800 мм;
- Ширина – 1450 мм;
- Висота – 1500 мм.

- **Операція 025. Контроль розмірів і шорсткості**
- Контроль проводиться з використанням вимірювального обладнання:
- Мікрометри механічні та цифрові (0–100 мм);
- Внутрішні нутроміри телескопічного типу;
- Індикаторні головки ІЧ-10, ІЧ-50;
- Шаблони шорсткості (Ra 0.4–6.3);
- Штангенциркулі ШЦ-II (0–200 мм);
- Плитки повірочні (навілювання);
- Профілометри (за наявності).

7.6. Вибір пристосування, опис конструкції та принцип дії

Токарний патрон є основним елементом токарного верстата, що забезпечує фіксацію заготовок на шпинделі.

Патрон складається з таких деталей:

1. корпус;
2. кулачки;
3. механізм зведення кулачків;
4. спіральний диск;
5. рейка кулачка;
6. болти для кріплення кулачків.

Всі перелічені складові зображені на рисунку 7.2.

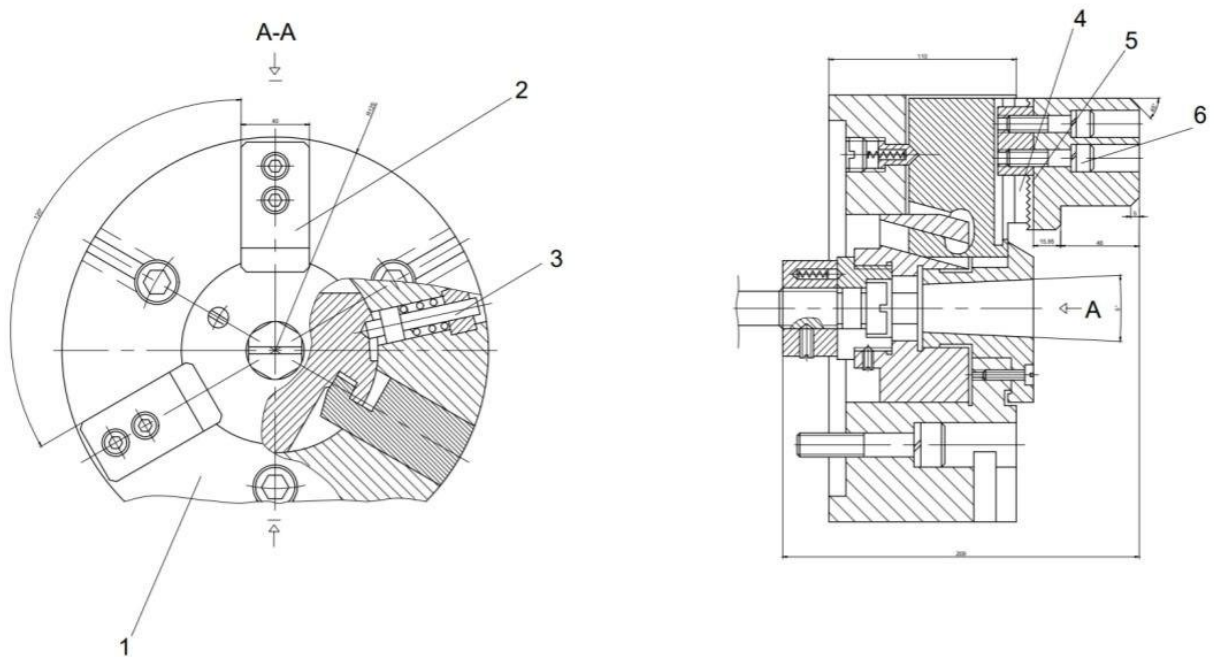


Рисунок 7.2 – Патрон 3-х кулачковий

Патрон працює в такий спосіб:

Принцип роботи патрона полягає в наступному: обертання ключа приводить у рух механізм зведення кулачків 3, який, у свою чергу, обертає спіральний диск 4. Рейка кулачка 5 сприймає рух диска і пересуває кулачки 2 до центру патрона, забезпечуючи таким чином надійне затискання заготовки.

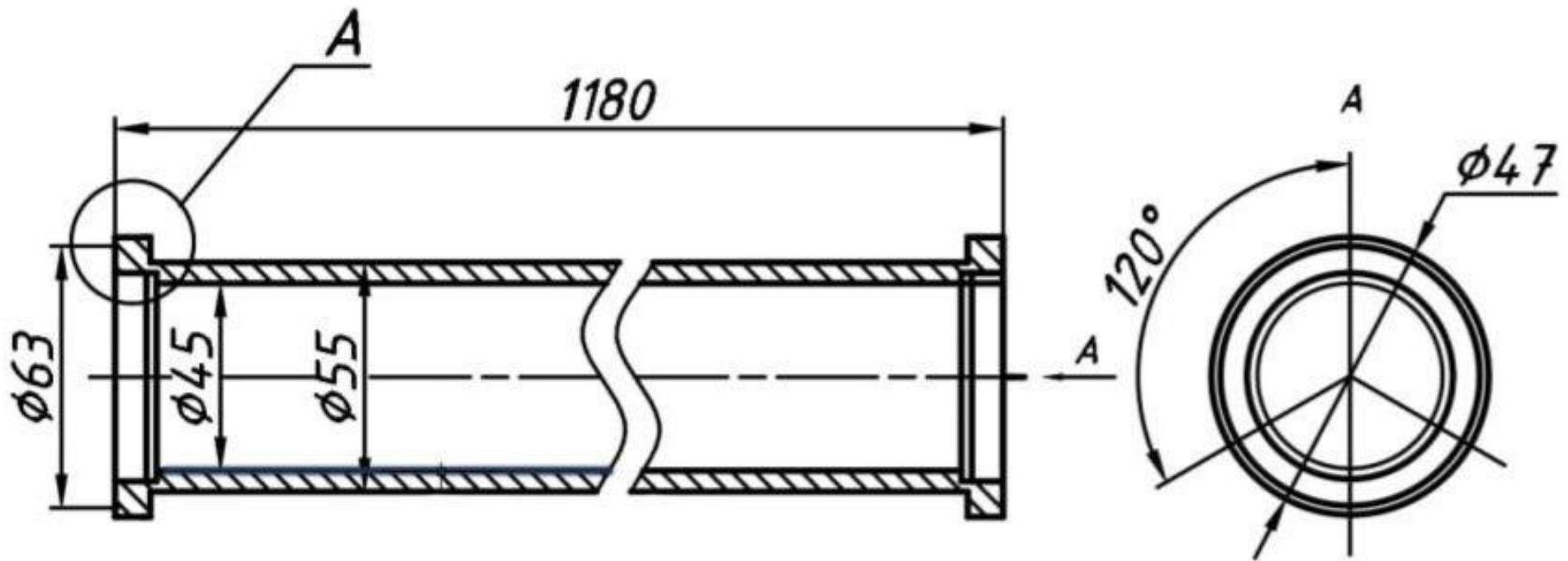
7.7 Технологічний процес виготовлення деталі

Розроблений технологічний процес виготовлення гільзи складається з токарних та протяжних операцій. Детально описаний у МК, КЕ, ОК.

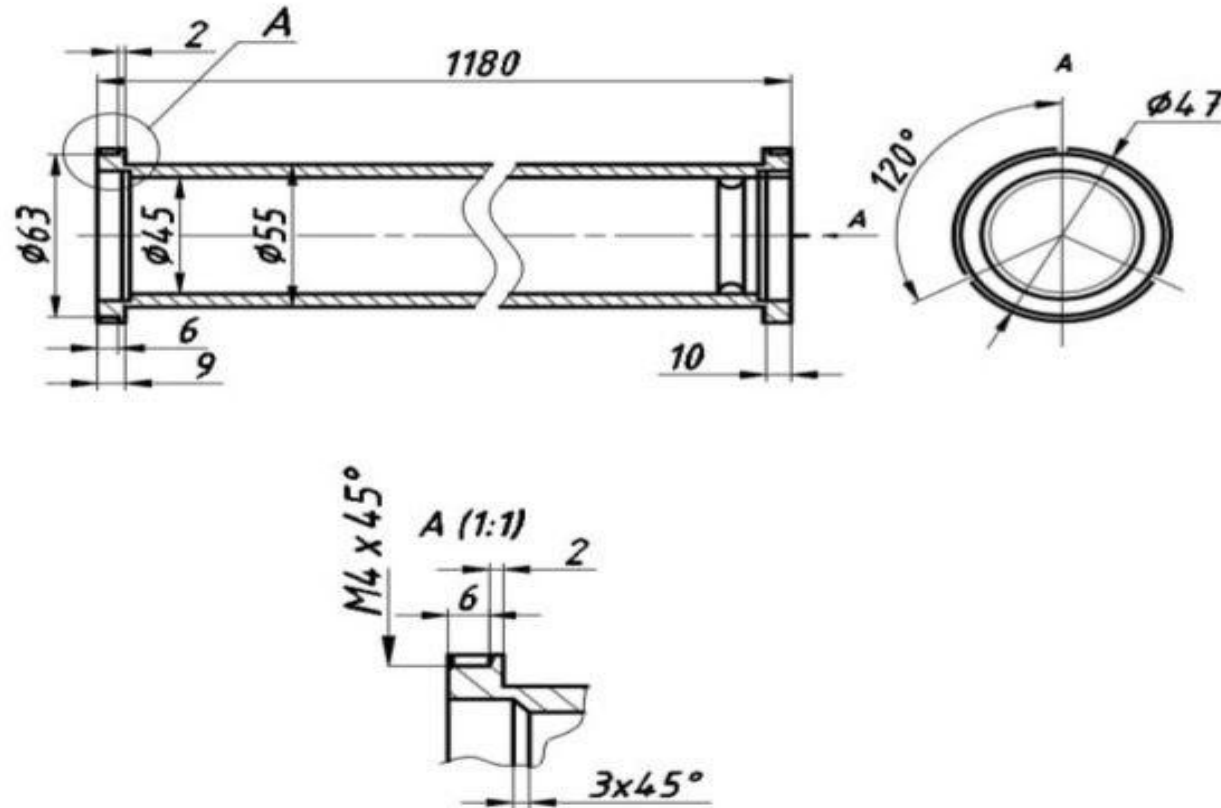
КЕ

Обробка різанням

Дубл.								ДСТУ 3.1118-82	Форма 1		
Взамін.											
Підпис								Зм	Ар	№ док.	
									Підпис	Дата	
Розробив	Мельник			КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІХФ				010			
Перевірів	Борцик										
Н. контр.				Гільза					Н		



<i>КЕ</i>		<i>Обробка різанням</i>					<i>ДСТУ 3.1118-82</i>			<i>Форма 1</i>	
<i>Дубл.</i>											
<i>Взамін.</i>											
<i>Підпис</i>						<i>Зм</i>	<i>Ар</i>	<i>№док.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	
<i>Розробив</i>	<i>Мельник</i>			<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІХФ</i>						<i>015</i>	
<i>Перевірів</i>	<i>Борицьк</i>										
<i>Н. контр.</i>				<i>Гільза</i>					<i>Н</i>		

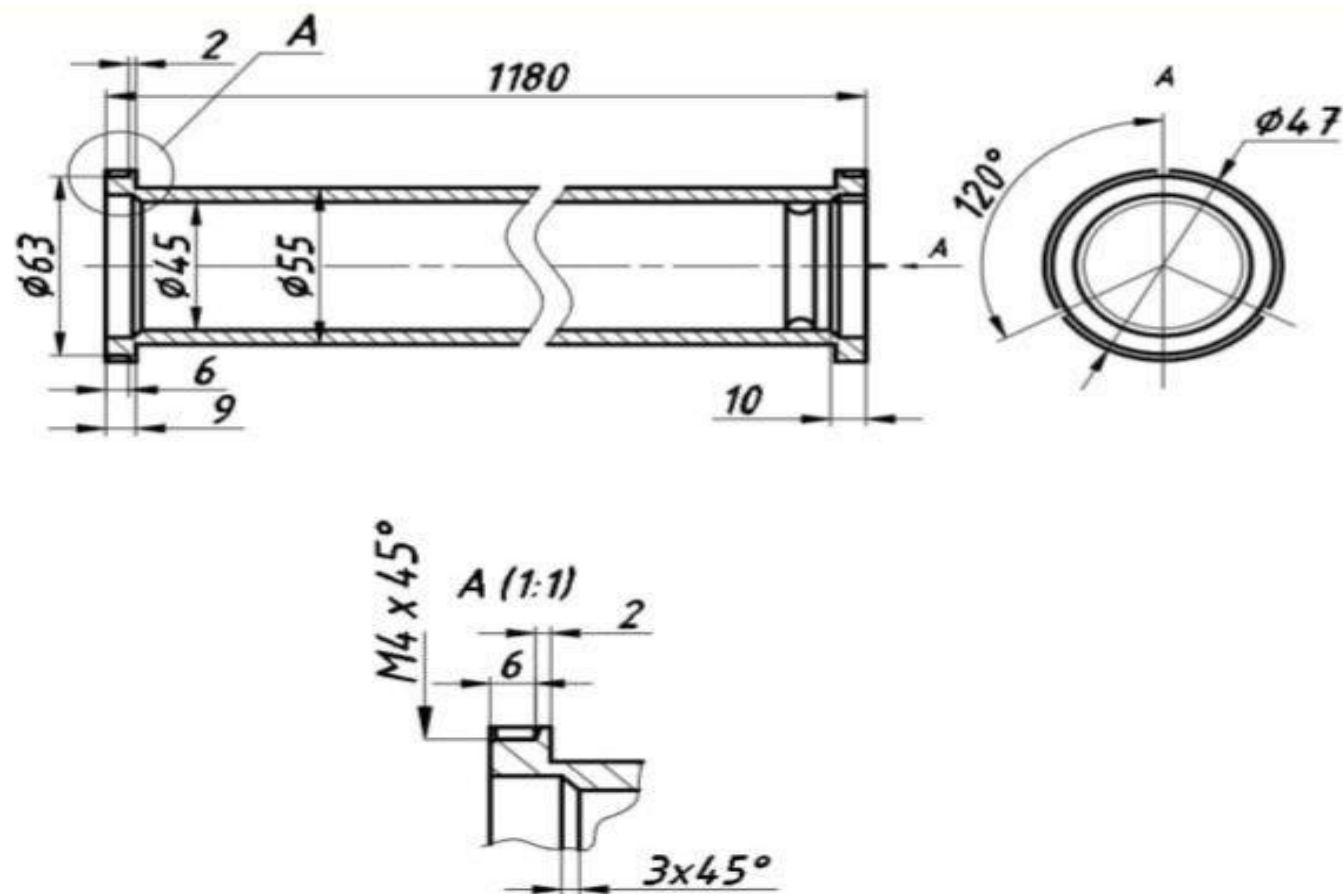


КЕ

Обробка різанням

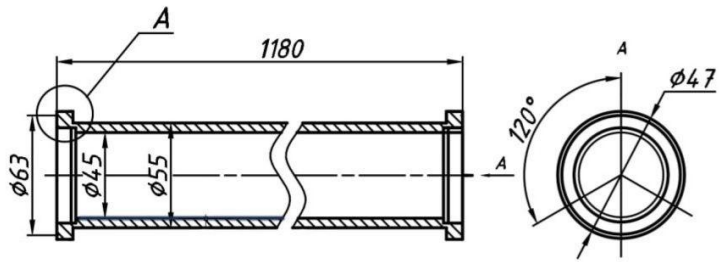
Дубл.														
Взамін.														
Підпис										Зм	Ар	№ док.	Підпис	Дата
Розробив	Мельник													
Перевірів	Борцик													020

КПІ ім. Ігоря Сікорського,
ІХФ



				ДСТУ 3.1118-82			Форма 1																																											
Дубл.																																																		
Взамін.																																																		
Підпис						Зм	Ар	№док.	Підпис	Дата																																								
<table border="1"> <tr> <td>Розробив</td> <td>Мельник</td> <td></td> <td></td> <td rowspan="3">КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІХФ</td> <td colspan="5"></td> </tr> <tr> <td>Перевірів</td> <td>Борцик</td> <td></td> <td></td> <td colspan="5"></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td colspan="5"></td> </tr> <tr> <td>Н. контр.</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td colspan="5">Гільза</td> <td>Н</td> <td></td> <td>005</td> </tr> </table>											Розробив	Мельник			КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІХФ						Перевірів	Борцик																	Н. контр.				Гільза					Н		005
Розробив	Мельник			КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІХФ																																														
Перевірів	Борцик																																																	
Н. контр.				Гільза					Н		005																																							
				Назва операції				Матеріал																																										
				Токарна				Сталь 45 ДСТУ 7809:2015																																										
				Твердість	ОВ	МД	Профіль і розміри			МЗ	Коод																																							
					к2					12	1																																							
				Обладнання, пристрій ЧПК				Позначення програми																																										
				Обрубний верстат МЛГ-25				МОР																																										
То	Тд	Тп.з	Тшт.	Емульсія																																														
P				ПН	Дабо В	L	t	i	s	n	v																																							
P01	1. Обрубвання тіла Ø 55																																																	
T02	2. Місце під фланці Ø 63																																																	
03	3. Довжини 1180 мм																																																	
O04																																																		
T05																																																		
T06																																																		
P07																																																		
08																																																		
09																																																		
OK	Обробка різанням																																																	

				ДСТУ 3.1118-82			Форма 1				
Дубл.											
Взамін.											
Підпис						Зм	Ар	№ док.	Підпис	Дата	
Розробив <i>Мельник</i>											
Перевірів <i>Борицьк</i>											
КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІХФ											
Гільза											
Н											
010											
Н. контр.											
Назва операції						Матеріал					
Токарна						Сталь 45 ДСТУ 7809:2015					
Твердість		ОВ	МД	Профіль і розміри			МЗ	Код			
		к2					12	1			
Обладнання, пристрій ЧПК						Позначення програми					
Токарний верстат 1К62											
То	Тд	Тп.з	Тшт.	МОР							
				Емульсія							
P				ПН	Дабо В	L	t	i	s	n	v
P01	1. Свердлити наскрізь Ø 45										
T02	2. Свєдливо під фланець Ø 47 і фаски 3x45°										
O03											
O04											
T05											
T06											
P07											
O08											
O09											
OK	Обробка різанням										



Дубл.										ДСТУ 3.1118-82	Форма 1			
Взамін.														
Підпис										Зм	Ар	№ док.	Підпис	Дата

Розробив	Мельник												
Перевірів	Борцик												
Н. контр.													

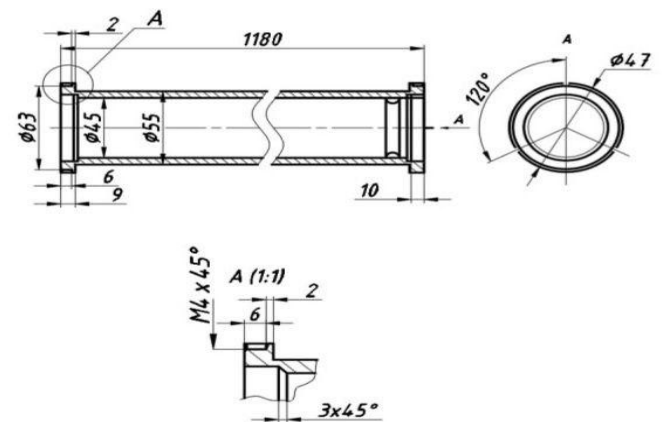
КПІ ім. Ігоря Сікорського,
ІХФ

Гільза

Н

015

Назва операції				Матеріал			
Токарна				Сталь 45 ДСТУ 7809:2015			
Твердість	ОВ	МД	Профіль і розміри		МЗ	Коод	
	к2				12	1	
Обладнання, пристрій ЧПК				Позначення програми			
Вертикально-фрезерний верстат 6P12П							
То	Тд	Тп.з	Тшт.	МОР			
				Емульсія			



P		ПН	Дабо В	L	t	i	s	n	v
P01	1. Свердлити отвори M4x45° (Зшт)								
T02	2. Точити кільцева проточка								
03									
O04									
T05									
T06									
P07									
08									
09									
OK	Обробка різанням								

				ДСТУ 3.1118-82			Форма 1					
Дубл.												
Взамін.												
Підпис						Зм	Ар	№док.	Підпис	Дата		
Розробив	Мельник											
Перевірів	Борищук			КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІХФ								
				Гільза				Н		020		
Н. контр.												
				Назва операції				Матеріал				
				Токарна				Сталь 45 ДСТУ 7809:2015				
				Твердість	ОВ	МД	Профіль і розміри			МЗ	Коод	
					к2					12	1	
				Обладнання, пристрій ЧПК				Позначення програми				
				Токарний верстат 16К20П								
То	Тд	Тп.з	Тшт.	МОР								
				Емульсія								
Р				ПН	Дабо В	L	t	i	s	n	v	
P01	1. Чистова проточка головного каналу											
T02	2. Чистове свердління місць посадки											
O3	3. Чистове свердління отворів											
O04	4. Чистова проточка											
T05	5. Чистова обрізання фасок											
T06												
P07												
O8												
O9												
OK	Обробка різанням											

7.8 Висновки до розділу

У розділі «Технологія машинобудування» було розглянуто процес виготовлення гільзи — циліндричної деталі, що виконує функцію посадкового і спрямовуючого елемента в складі екструдера для виробництва ізоляції. Встановлено послідовність технологічних операцій, підібрано обладнання для виконання токарної, свердлильної та фрезерної обробки. Обґрунтовано вибір матеріалу (сталь 45) згідно з ДСТУ 7809:2015, як конструкційної легованої сталі з добрими механічними властивостями. Розглянуто контроль точності геометричних параметрів, шорсткості поверхонь та якості фасок, що дозволяє забезпечити стабільну роботу деталі в умовах експлуатації. Описано пристосування: «Патрон 3-х кулачний». Призначений для надійної фіксації заготовки під час токарних, і не тільки операцій.

ВИСНОВКИ

В процесі виконання дипломного проєкта на тему «Агрегат для накладення ізоляції на кабель з модернізацією екструдера» здійснено проєктування модернізації корпусу і черв'яка що входять до складу екструдера. Що в свою чергу входить в лінію.

- 1) Підготовлені такі розділи дипломного проєкту: Призначення та область застосування черв'ячного екструдера; Технічна характеристика черв'ячного екструдера ЧП 45x30; Опис конструкції агрегата і основних частин та принцип її дії; Патентно літературний огляд; Розрахунки, які підтверджують працездатність та надійність конструкції черв'ячного екструдера; Охорона праці; Технологія машинобудування.
- 2) Проведено патентно-літературний огляд, за результатами якого обрано технічне рішення, описане в патенті UA98920U, яке дозволяє підвищити ефективність роботи черв'ячного екструдера за рахунок конструктивної модернізації корпусу і черв'яка. Запропонована конструкція передбачає виконання кільцевої проточки на внутрішній поверхні корпусу і зовнішній поверхні черв'яка в зоні виходу розплаву, в якій розміщуються тіла обертання (наприклад, кульки або ролики). Такий підхід забезпечує підвищення радіальної жорсткості конструкції, зменшення прогину черв'яка під дією тиску розплаву, а також більш рівномірний розподіл навантаження у зоні підвищених температур і тиску. До переваг технічного рішення також належать покращення гомогенізації потоку полімеру, зменшення зносу вузлів тертя та технологічна простота впровадження в серійне виробництво. Такий підхід забезпечує підвищення радіальної жорсткості конструкції, зменшення прогину черв'яка під дією тиску розплаву, а також більш рівномірний розподіл навантаження у зоні підвищених температур і тиску. До переваг технічного рішення також належать покращення

гомогенізації потоку полімеру, зменшення зносу вузлів тертя та технологічна простота впровадження в серійне виробництво.

- 3) З використання програмних продуктів ANSYS проведено числове моделювання корпусу і черв'яка екструдера на міцність до і після модернізації, зарезультатами якого встановлено, про зменшення переміщення черв'яка а відповідно модифікація має сенс.
- 4) З використання CAD-систем AutoCAD розроблено графічну частину дипломного проєкту, що включає: Складальні креслення - агрегат для накладення ізоляції на кабель з модернізацією екструдера, модернізований екструдер для накладання ізоляції, корпус екструдера модернізований з черв'яком, деталювання, 2 плакати – результати моделювання не модифікованого і модифікованого черв'яка, результати моделювання не модифікованого і модифікованого корпусу.
- 5) Проаналізувано і розроблено вказівки з охорони праці, необхідні для роботи екструдера на підприємстві.
- 6) Проаналізували і розробили процес виготовлення деталі. В моєму випадку: «Гільза модернізована». Проаналізували необхідне устаткування. Підготували маршрутні карти, технологічні карти та карти ескізів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Проектування формуючих пристроїв обладнання для переробки пластмас : навч. посіб. / О. Л. Сокольський, В. І. Сівецький, І. О. Мікульонок. – К.: НТУУ «КПІ», 2014. – 148 с.
2. Патент UA21056U Україна, № UA21056U, МПК В29С 48/40, В29С 48/06 екструдер, Мікульонок І.О.; заяв. 27.03.2010, опубл. 11.10.2010
3. Патент UA116922C2 Україна, № UA116922C2, МПК В29С 47/36, В29В 7/80 Потапов В.О., Білий Д.В.; заяв. 26.07.2016, опубл. 25.09.2017
4. Патент UA129773U Україна, № UA129773U, МПК В29С 47/10, В29С 47/38, В29С 31/02 Сівецький В.І., Сокольський А.Л., Чемерис А.О.; заяв. 05.02.2020, опубл. 25.06.2020
5. Патент UA97165U Україна, № UA97165U, МПК В29С 47/38, В30В 9/14 Сокольський О.Л., Мікульонок І.О., Сівецький В.І., Кушнір М.С.; заяв. 25.08.2017, опубл. 25.01.2018
6. Патент EP 3504042B1 Європейський патент, № EP 3504042 B1, МПК В29С 48/395, В29С 48/505, В29С 48/56, В29С 48/59, В29В 7/42, В29В 7/90 Assaf Govari, Yaron Ephrath, Vadim Gliner; заяв. 25.08.2017, опубл. 28.06.2023 (Bulletin 2023/26)
7. Мікульонок І. О. Механічні, гідромеханічні і масообмінні процеси та обладнання хімічної технології. Київ : НТУУ «КПІ», 2014. 340

c. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/38169>

8. .Основи проектування одночерв'ячних екструдерів: навч. посіб. /
І. О. Мікульонок, О. Л. Сокольський, В. І. Сівецький, Л. Б. Радченко. Київ: НТУУ «КПІ», 2015. 200 с. URL:
<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/25367>
9. І. О. Мікульонок О. Л. Сокольський В. І. Сівецький Л. Б. Радченко
ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ ОДНОЧЕРВ'ЯЧНИХ
ЕКСТРУДЕРІВ
10. І. В. Коваленко В. В. Малиновський Основні процеси, машини та апарати
хімічних виробництв
11. ДСТУ 7809:2015. Прокат сортовий, калібрований зі спеціальним
обробленням поверхні з вуглецевої якісної конструкційної сталі.
Загальні технічні умови. – К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 21 с.
12. ДСТУ 2651-94. Сталь вуглецева якісна. Марки. – К. : Держстандарт
України, 1995. – 8 с.
13. Двигун електричний асинхронний ІМ20 250 S 75 кВт. ІМ20 фланцеве
з'єднання. ДСТУ 31606-2012
14. Мікульонок І. О. Механічні та гідромеханічні процеси, апарати і машини
хімічної технології : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018.
172 с.
15. Коваленко І. В., Малиновський В. В. Розрахунки основних процесів,
машин та апаратів хімічних виробництв: Навч. посіб. для студ. вищ. навч.
закл. Київ : “Норіта-плюс”, 2007. 216 с. 3.
16. Основні процеси, машини та апарати хімічних виробництв: Підручник / І.
В. Коваленко, В. В. Малиновський. Київ : Інрес : Воля, 2005. 264 с. 4.
Основи проектування одночерв'ячних екструдерів : навч. посіб. / І. О.
Мікульонок, О. Л. Сокольський, В. І. Сівецький, Л. Б. Радченко. Київ :

НТУУ «КПІ», 2015. 200 с. 5. Пакувальне обладнання : підручник / О. М. Гавва, А. П. Беспалько, А. І. Волчко, О. О. Кохан. Київ : ІАЦ «Упаковка», 2010. 744 с

17. Сайт: Марочник стали и сплавов (https://www.splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=42)

18. Закон України «Про охорону праці» від 14 жовтня 1992 р. № 2694-ХІІ // Відомості Верховної Ради України. – 1993. – № 49. – Ст. 456.

19. ДСН 3.3.6.042–99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. – Київ : МОЗ України, 1999. – 28 с.

ДОДАТОК А

Додаток А – Таблиця розглянутих патентів

№ п.п	Предмет пошуку	№ свідоцтва, МПК, країна, автор	Сутність заявки, технічного рішення і ціль його створення
1	Корпус екструдера	UA21056U МПК В29С 48/40, В29С 48/06 Мікульонок І.О.;	Метою винаходу є вдосконалення конструкції елементів шнекового преса, що забезпечує підвищення ефективності ущільнення та формування полімерних матеріалів з різними фізико- механічними властивостями.
2	Корпус екструдера	UA116922С2 МПК В29С 47/36 В29В 7/ 80 Потапов В.О., Білий Д.В.;	Метою винаходу є підвищення ефективності переробки полімерних матеріалів шляхом удосконалення конструкції змішувальних і тепловідвідних елементів, що забезпечує покращення якості змішування, стабільність технологічного процесу та зниження енерговитрат.

3	Корпус екструдера	UA129773U МПК B29C 47/10, B29C 47/38, B29C 31/02 Сівецький В.І., Сокольський А.Л. Чемерис А.О;	Метою винаходу є підвищення ефективності процесу переробки полімерів за рахунок удосконалення конструкції обладнання, що забезпечує покращене дозування, пластифікацію та змішування компонентів з різними фізико-хімічними властивостями
4	Корпус екструдера	UA97165U МПК B29C 47/38, B30B 9/14 Сокольський О.Л., Мікульонок І.О., Сівецький В.І., Кушнір М.С.	Метою винаходу є підвищення ефективності роботи одночерв'ячного екструдера шляхом запобігання зносу черв'яка та покращення умов взаємодії з штифтами, що досягається за рахунок синхронізованої роботи штифтів і кулачків та цілісної конструкції гребеня гвинтової нарізки шляхом вмонтовування в корпус цих самих кулачків.

5	Корпус екструдера	<p>EP 3 504 042 B1</p> <p>МПК</p> <p>B29C 48/395, B29C 48/505, B29C 48/56, B29C 48/59, B29B 7/42, B29B 7/90</p> <p>Assaf Govari Yaron Ephrath Vadim Gliner</p>	<p>Метою винаходу є підвищення ефективності переробки полімерних матеріалів шляхом удосконалення конструкції корпуса екструдера, що забезпечує покращене тепловідведення, змішування та стабільність процесу при роботі з композиційними або високо наповненими системами.</p>

ДОДАТОК Б

Вдосконалення корпусу одночерв'ячного екструдера з метою поліпшення процесу екструзії

Мельник Д.С., студ., Витвицький В.М., PhD, ас., PhD, Демидик О.І., студ., Луцевят І.О., студ.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Під час роботи екструдера виникає підвищене навантаження на кінцеву ділянку черв'яка, зумовлене високим тиском розплаву в зоні перед формуючою головкою. Це може призводити до прогину черв'яка, нерівномірної подачі матеріалу та порушення геометрії готового виробу. Завдяки модернізації корпусу шляхом введення кільцевої проточки з тілами обертання (наприклад, кульками), які утворюють плаваючу опору для черв'яка, забезпечується його стабілізація в радіальному та осьовому напрямках.

Це дозволяє знизити пульсації потоку, покращити гомогенізацію розплаву та забезпечити рівномірне надходження полімеру до формуючої головки. Як наслідок — зменшується кількість браку, підвищується точність та якість виготовлення трубчастих виробів.

Ключові слова: модернізація, корпус, черв'ячний екструдер, тіла обертання.

Вступ. У галузі виробництва та переробки полімерів і композитних матеріалів широко застосовується технологічне обладнання типу екструдерів. Екструдер — це машина, призначена для формування полімерних матеріалів шляхом продавлювання їх у розплавленому стані через профільюючий елемент, який надає виробу заданої геометричної форми [1–2].

Черв'ячні екструдери [3–4] традиційно використовуються як для безпосереднього формування виробів, так і для подачі розплаву в інші технологічні вузли. Однак класичні конструкції (рис. 1) часто виявляються недостатньо ефективними при роботі з розплавами, що мають змінну в'язкість або піддаються пульсаціям тиску поблизу зони формування. Це знижує стабільність процесу, негативно впливає на якість готової продукції та збільшує знос механізмів.

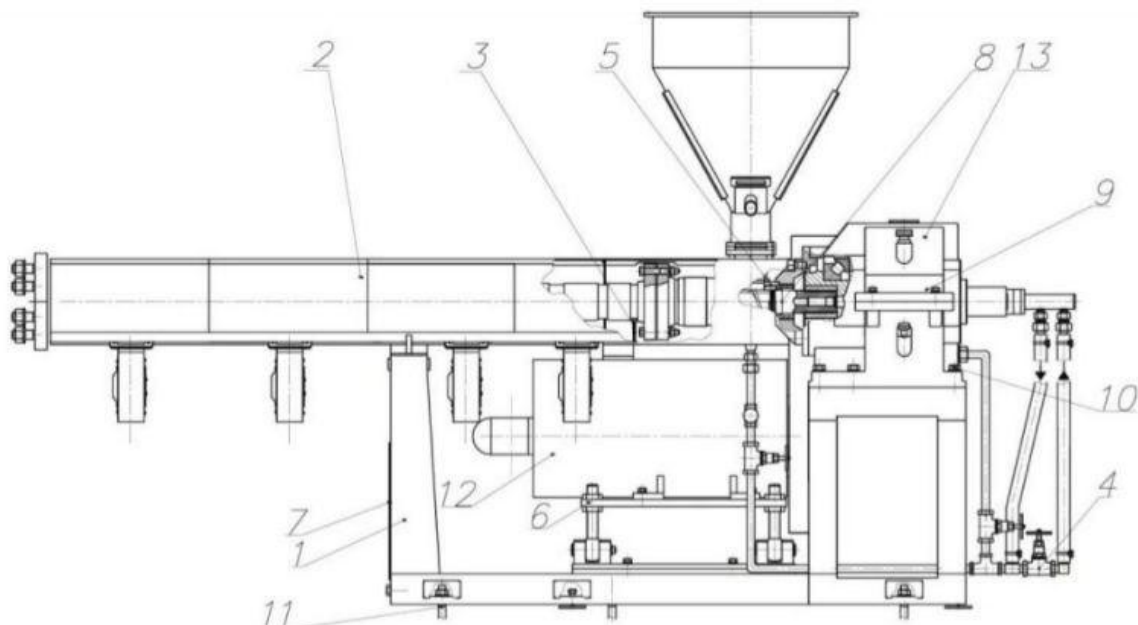


Рисунок 1 – Конструкція одночерв'ячного екструдера: 1 – рама; 2 – кожух корпусу; 3 – бункер; 4 – система охолодження; 5 – корпус; 6 – воронка завантажувальна; 7 – черв'як; 8 – втулка; 9 – плита несуча; 10 – редуктор; 11 – вентилятор; 12 – нагрівач; 13 – розвід проводів

У зв'язку з цим запропоновано модернізовану конструкцію корпусу екструдера, що передбачає виконання кільцевої проточки на внутрішній поверхні корпусу в зоні виходу розплаву, в яку розміщуються тіла обертання (кульки або ролики). Таке технічне рішення [5] забезпечує створення плаваючої опори для черв'яка, що дозволяє значно зменшити його прогин у зоні максимального тиску, покращити стабільність подачі матеріалу та підвищити рівномірність товщини сформованого виробу.

Крім того, взаємодія розплаву з тілами обертання сприяє додатковій гомогенізації потоку, а також знижує тертя між черв'яком і корпусом, що позитивно впливає на ресурс екструдера та якість продукції при обробці широкого спектра полімерних матеріалів.

Корпус екструдера (рис.2) містить порожнисту оболонку 1, в якій розміщено з можливістю обертання черв'як 2, що утворює з внутрішньою поверхнею корпусу робочий канал 3. У зоні виходу розплаву на внутрішній поверхні корпусу 1 виконано кільцеву проточку 4. У цій проточці встановлено тіла обертання 5, наприклад, кульки або ролики, які вільно обертаються та частково виступають у робочий канал 3.

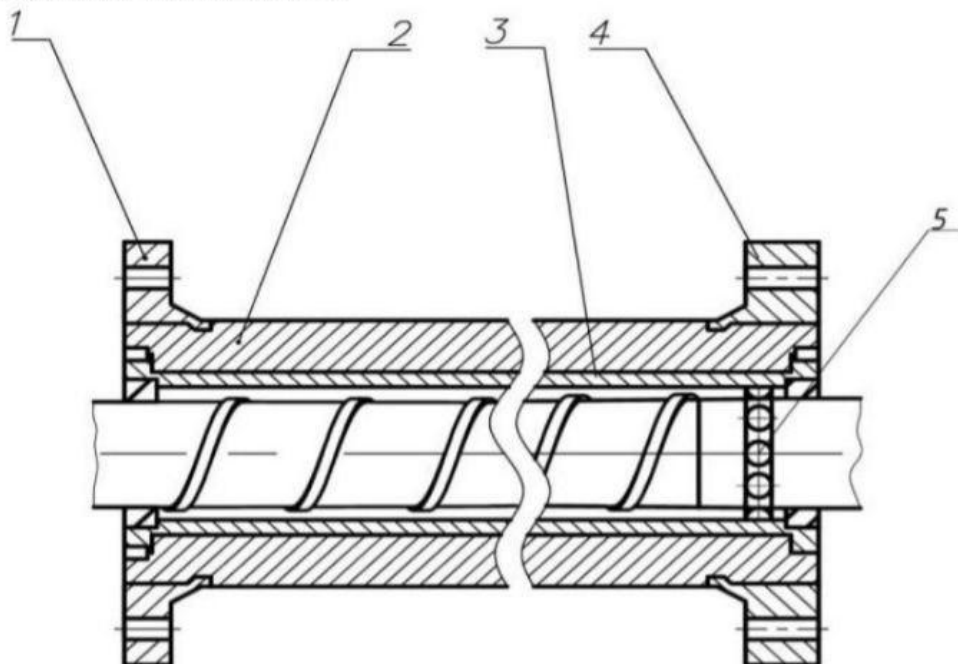


Рисунок 2 – Вигляд модернізованої конструкції корпусу [5]: 1 – фланець правий; 2 – корпус; 3 – гільза; 4 – фланець лівий; 5 – тіла обертання

Тіла обертання 5 встановлено таким чином, щоб вони забезпечували підтримку та стабілізацію кінцевої ділянки черв'яка 2 у радіальному та осьовому напрямках. При цьому кільцева проточка 4 має геометричні параметри, що забезпечують надійне утримання тіл обертання 5 і одночасно дозволяють їх заміну при обслуговуванні.

Під час роботи екструдера полімерний матеріал подається у робочий канал 3, транспортується черв'яком 2 та, проходячи через зону з тілами обертання 5, додатково гомогенізується. Окрім цього, кульки або ролики 5 створюють плаваючу опору, яка знижує навантаження на черв'як 2 і зменшує його прогин у зоні максимального тиску. Це підвищує стабільність подачі розплаву до формуючої головки та зменшує кількість браку.

Оснащення корпусу кільцевою проточкою з розміщеними в ній тілами обертання, наприклад кульками, істотно розширює функціональні можливості екструдера. Відповідно до цієї конструктивної моделі, під час раптової зміни тиску з боку розплаву в зоні виходу, тіла обертання частково сприймають навантаження, компенсуючи осьовий тиск на черв'як. Це дозволяє стабілізувати його положення та зменшити пульсації потоку.

Завдяки вільному обертанню тіл у кільцевій проточці забезпечується ефект демпфування: при зростанні тиску частина зусиль передається на корпус через опорні елементи, що дозволяє рівномірно розподіляти навантаження й уникати прогину черв'яка.

Під час відтворених симуляцій потоку полімерів було встановлено, що основною перевагою такого технічного рішення є здатність конструкції стабілізувати тиск перед формуючою головкою та знизити рівень гідравлічних пульсацій. Це позитивно впливає на рівнотовщинність трубчастого виробу та зменшує частку бракованої продукції.

Висновки. Завдяки стабілізувальному впливу тіл обертання, розміщених у кільцевій проточці на внутрішній поверхні корпусу, можна стверджувати, що при навантаженнях до 50 МПа полімер проходить робочим каналом без різких пульсацій. Тіла обертання частково сприймають навантаження та компенсують осьовий тиск, тим самим стабілізуючи положення черв'яка й забезпечуючи рівномірність потоку полімеру в напрямку до формуючої головки.

Перелік посилань

1. Основи проектування одночерв'ячних екструдерів: навч. посіб. / І. О. Мікульонок, О. Л. Сокольський, В. І. Сівецький, Л. Б. Радченко. Київ: НТУУ «КПІ», 2015. 200 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/25367>.
2. Sayyad Zahid Qamar. Introductory Chapter: Extrusion - From Gear Manufacturing to Production of Cereals // Extrusion of Metals, Polymers and Food Products. 2018. URL: <https://doi.org/10.5772/intechopen.7055>.
3. Мікульонок І. О. Механічні та гідромеханічні процеси, апарати і машини хімічної технології: Практикум : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 174 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/41037>.
4. Мікульонок І. О. Технологічні основи перероблення полімерних матеріалів: навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 293 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/35084>.
5. Пат. Україна No 98920, МПК B29C47/36, B30B9/14. Корпус екструдера для високомолекулярних сполук і матеріалів на їх основі / Мікульонок І.О. ; дата подання 05.12.2014; опубл. 12.05.2015. Бюл. No 9.

ДОДАТОК В

Формат	Зон	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка		
				<u>Документація</u>				
A1			ЛП-12.087245.000-70 ТС	Технологічна схема				
				<u>Деталі</u>				
		1	ЛП-12.087245.000.01-70 ТС	Пристрій подачі	1			
		2	ЛП-12.087245.000.02-70 ТС	Рихтувальний станок	1			
		3	ЛП-12.087245.000.03-70 ТС	Черв'ячний екструдер	1			
		4	ЛП-12.087245.000.04-70 ТС	Вимірювач діаметру	1			
		5	ЛП-12.087245.000.05-70 ТС	Обдув	1			
		6	ЛП-12.087245.000.06-70 ТС	Тяговий пристрій	1			
		7	ЛП-12.087245.000.07-70 ТС	Лазерний маркувальник	1			
		8	ЛП-12.087245.000.08-70 ТС	Тяговий пристрій	1			
		9	ЛП-12.087245.000.09-70 ТС	Апарат контролю ізоляції	1			
		10	ЛП-12.087245.000.10-70 ТС	Лічильник метража	1			
		11	ЛП-12.087245.000.11-70 ТС	Пристрій прийому	1			
ЛП12.087246.02-70СП								
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Мельник			Агрегат для накладення ізоляції на кабель з модернізацією екструдера	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перев.		Витвицький						1
Н.Конт.						КПІ ім. Ігоря Сікорського		
Затв.		Сокольський						

Формат	Зон	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
				<u>Документація</u>		
				<u>Складальні одиниці</u>		
A1			ЛП12.087242.002-70 СК	Корпус екструдера модернізований з черв'яком		
				<u>Деталі</u>		
		1	ЛП12.087242.002.01-70 СК	Фланець лівий	1	
		2	ЛП12.087242.002.02-70 СК	Циліндр	1	
		3	ЛП12.087242.002.03-70 СК	Гільза опорна	1	
		4	ЛП12.087242.002.04-70 СК	Фланець правий	1	
		5	ЛП12.087242.002.05-70 СК	Тіло обертання	12	
ЛП12.087246.02-70СП						
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		
Розроб.		Мельник			Літ.	Аркуші
Перев.		Витвицький				1
Н.Конт.					КПІ ім. Ігоря Сікорського	
Затв.		Сокольський				

ДОДАТОК Г

ДОДАТОК Г1. ТЕКСТ ПРОГРАМИ

(програма для розрахунку міцності черв'яка складена на мові FORTRAN)

```
Program rozr_micnist
```

```
implicit none
```

```
real*8 N, nn, D, phi_deg, phi_rad, d0, ro, lp
```

```
real*8 a, d1, G, q, Mkr, Pos, F, Mmax, Wx, sigma_st
```

```
real*8 Wp, tau, sigma_eqv, sigma_t, k_zapas
```

```
data N, nn, D, phi_deg, ro, lp, d1, sigma_t/4985.0d0, 69.6d0, 0.045d0, 17.67d0,  
7710.0d0, 1.35d0, 0.0315d0, 835.0d0/
```

```
phi_rad = phi_deg * 3.14159265358979d0 / 180.0d0
```

```
d0 = 0.25d0 * D
```

```
a = d0 / D
```

```
Mkr = 30.d0 * N / (3.14159265358979d0 * nn)
```

```
Pos = 2.d0 * Mkr / (D * tan(phi_rad))
```

```
G = 3.14159265358979d0 * ((D - d0)**2 / 4.d0) * ro * lp
```

```
q = 9.8d0 * G / lp
```

```
F = 3.14159265358979d0 * d12 / 4.d0 * (1.d0 - a2)
```

```
Mmax = 12.d0 * q * lp**2
```

```
Wx = 3.14159265358979d0 * d13 * (1.d0 - a4) / 32.d0
```

```
sigma_st = Pos / F + Mmax / Wx
```

```
Wp = 3.14159265358979d0 * d13 * (1.d0 - a4) / 16.d0
```

```
tau = Mkr / Wp
```

```
sigma_eqv = sqrt(sigma_st2 + 4.d0 * tau2)
```

```
k_zapas = sigma_t / sigma_eqv
```

```
open(10, file='RESULT.txt')
```

```
write(*,*) 'The results are saved in file "RESULT.txt"'
```

```
write(10,*) 'Mkr (H*M) = ', Mkr
```

```
write(10,*) 'Pos (H) = ', Pos
```

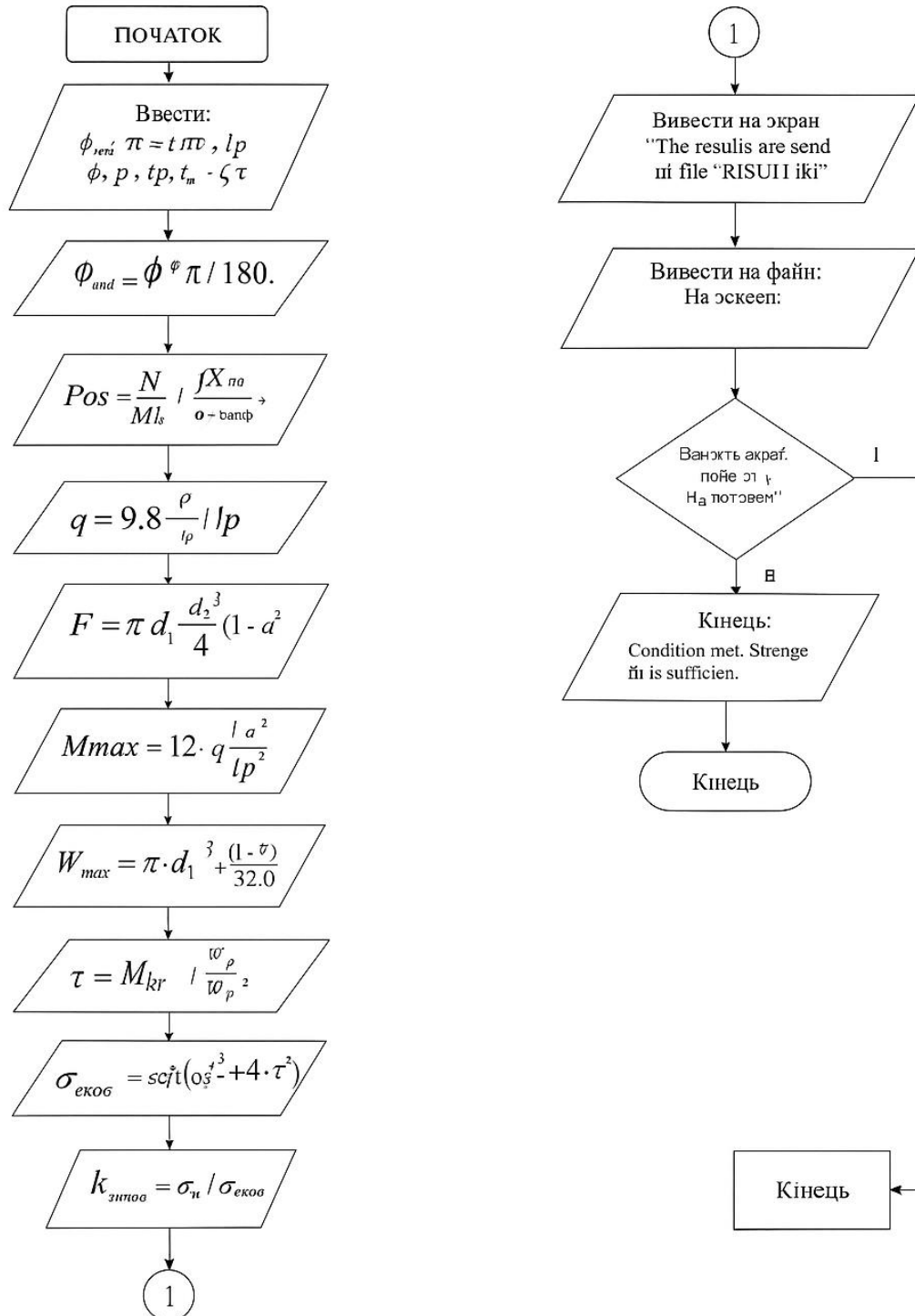
```

write(10,*) 'q (H/M)      = ', q
write(10,*) 'sigma_st (MIIa) = ', sigma_st
write(10,*) 'tau (MIIa)    = ', tau
write(10,*) 'sigma_eqv (MIIa) = ', sigma_eqv
write(10,*) 'k_zapas      = ', k_zapas
if (k_zapas > 1.6d0 .and. k_zapas < 2.0d0) then
  write(10,*) 'Condition met: Strength is sufficient.'
else
  write(10,*) 'WARNING: Reserve factor is outside the safe range!'
end if
close(10)
pause
stop
end program rozr_micnist

```

ДОДАТОК Г2. СХЕМА АЛГОРИТМУ ПРОГРАМИ

СХЕМА АЛГОРИТМУ ПРОГРАМИ



ДОДАТОК ГЗ. ТАБЛИЦЯ ІДЕНТИФІКАТОРІВ

Позначення за текстом	Позначення у програмі	Значення	Розмірність
N	N	4985.0	Н
n _n	nn	69.6	-
D	D	0.045	м
φ	phi_deg	17.67	град
ρ	ro	7710.0	кг/м ³
l _p	lp	1.35	м
d ₁	d1	0.0315	м
σ _t	sigma_t	835.0	МПа
φ rad	phi rad	Розраховується	рад
d ₀	d0	Розраховується	м
a	a	Розраховується	-
Мкр	Mkr	Розраховується	Н·м
P _{os}	Pos	Розраховується	Н
G	G	Розраховується	кг
q	q	Розраховується	Н/м
F	F	Розраховується	м ²
M _{max}	Mmax	Розраховується	Н·м
W _x	Wx	Розраховується	м ³
σ _{ст}	sigma_st	Розраховується	МПа
W _p	Wp	Розраховується	м ³
τ	tau	Розраховується	МПа
σ _{екв}	sigma_eqv	Розраховується	МПа
k _{запас}	k_zapas	Розраховується	-