

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

До захисту допущено

Завідувач кафедри

_____ **Олександр СОКОЛЬСЬКИЙ**

«_____» _____ 2026 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

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

зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

на тему: «Екструдер для виробництва рукавної плівки з модернізацією корпусу»

Студент (-ка) IV к, групи ЛП-22
(шифр групи)

Шапран Денис Русланович
(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник проєкту:

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: к.т.н., ст. викл. Ковтун А.І.

РЕЦЕНЗЕНТ _____

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

Студент (-ка) _____

Київ 2026 рік

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

Факультет автоматизації, промислової інженерії та екології
Кафедра хімічного, полімерного і силікатного машинобудування

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – *133 Галузеве машинобудування*

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ **Олександр СОКОЛЬСЬКИЙ**

« ____ » _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Шапрану Денису Руслановичу

1. Тема проєкту «Екструдер для виробництва рукавної плівки з модернізацією корпусу», керівник проєкту PhD, Витвицький Віктор Миронович, затверджені наказом по університету від «19.05» 2026 р. № 1817-С.

2. Термін подання студентом проєкту 12.06.2026 р.

3. Вихідні дані до проєкту: Черв'ячний екструдер, діаметр черв'яка – 90 мм, відношення робочої довжини до діаметру – 25, загальна довжина 2427 мм, матеріал поліетилен низької густини, швидкість обертання черв'яка – 69 об/хв, матеріал черв'яка сталь 40ХН2МА ГОСТ 4543-71.

4. Зміст пояснювальної записки: 1 Призначення та галузь застосування виробу, який проєктується; 2 Технічна характеристика базової машини; 3 Опис базової конструкції, її основних частин та принципу дії; 4 Літературний та патентний огляд існуючих рішень, обґрунтування запропонованої модернізації; 5 Параметричні розрахунки, розрахунки на міцність, теплові розрахунки, числові розрахунки базового та модернізованого вузла машини у програмі ANSYS; 6 Охорона праці та навколишнього середовища; 7 Технологія виготовлення деталі, вибір та розрахунок пристосування для певної операції; Висновки; Перелік посилань; Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу: 1. Лінія для виробництва рукавної плівки з модернізацією корпусу (А1); 2. Екструдер для виробництва рукавної плівки з модернізацією корпусу (А1); 3. Корпус (А1): Корпус (А2), Модернізований корпус (А2); 4. Деталювання (А1): Черв'як (А2), Корпус (А3), Гільза (А3); 5. Числове моделювання базового корпусу (А1); 6.. Числове моделювання модернізованого корпусу (А1).

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
МОДЕРНІЗАЦІЇ	проф. Щербина В.Ю.	18.05	27.05
ТЕХ. МАШИНОБУД.	ст. викл. Борщик С.О.	18.05	9.06
ОХОРОНИ ПРАЦІ	ст. викл. Ковтун А.І.	18.05	8.06

7. Дата видачі завдання 18.05.2026

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Вступ. Технологічна лінія з використанням екструдера. Технічні характеристики машини	20.04.2026-23.04.2026	
2	Аналіз існуючих конструкцій екструдерів	24.04.2026-29.04.2026	
3	Вибір базової конструкції та обґрунтування	30.04.2026-03.05.2026	
4	Розрахунок конструктивних параметрів черв'яка	04.05.2026-08.05.2026	
5	Модернізація конструкції. Обґрунтування змін	09.05.2026-13.05.2026	
6	Розрахунок модернізованого вузла	14.05.2026-17.05.2026	
7	Побудова 3D-моделей вузлів у SolidWorks	18.05.2026-19.05.2026	
8	Аналіз напружень і деформацій у ANSYS	20.05.2026-21.05.2026	
9	Оформлення текстової частини пояснювальної записки	23.05.2026-29.05.2026	
10	Оформлення графічної частини	30.05.2026-04.06.2026	
11	Остаточна перевірка, редагування та підготовка до захисту	05.06.2026-12.06.2026	

Студент

Денис ШАПРАН

Керівник проекту

Віктор ВИТВИЦЬКИЙ

РЕФЕРАТ

Дипломний проєкт бакалавра на тему: «Екструдер для виробництва рукавної плівки з модернізацією корпусу». Виконавець – студент групи ЛП-22 Шапран Д.Р., керівник – PhD, асистент Витвицький В.М.

Дипломний проєкт складається з текстової та графічної частини. Пояснювальна записка містить сім розділів та додатки, загальний обсяг – 106 с., 48 іл., 5 табл., 20 джерел посилань. Графічна частина складається з 6 аркушів формату А1.

У роботі розглянуто конструкцію одночерв'ячного екструдера для виробництва рукавної плівки з поліетилену низької густини. Проведено літературно-патентний огляд існуючих технічних рішень та обґрунтовано вибір модернізації корпусу екструдера.

Виконано параметричні, міцнісні та теплові розрахунки основних вузлів машини. Запропоновано модернізацію корпусу шляхом встановлення конічних штифтів у внутрішній поверхні робочого каналу, що сприяє покращенню перемішування полімерного розплаву та підвищенню його однорідності.

Для оцінювання працездатності базової та модернізованої конструкцій виконано числове моделювання в програмному комплексі ANSYS. Отримані результати підтвердили працездатність і надійність запропонованого технічного рішення.

У технологічному розділі розроблено технологічний процес виготовлення корпусу екструдера, вибрано обладнання, інструмент та технологічне оснащення. Розглянуто питання охорони праці та пожежної безпеки під час експлуатації обладнання.

По результатам роботи подана заявка на патент на корисну модель, зроблено дві доповіді на всеукраїнській конференції і надруковані тези.

Ключові слова: ЕКСТРУДЕР, РУКАВНА ПЛІВКА, КОРПУС ЕКСТРУДЕРА, МОДЕРНІЗАЦІЯ, КОНІЧНІ ШТИФТИ, ANSYS.

ABSTRACT

Bachelor's qualification project on the topic: "Extruder for Blown Film Production with Barrel Modernization". Author – student of group LP-22 D.R. Shapran, supervisor – PhD, Assistant V.M. Vytvytskyi.

The bachelor's qualification project consists of a written report and a graphical part. The explanatory note contains seven chapters and appendices, with a total volume of 106 pages, 48 figures, 5 tables, and 20 references. The graphical part consists of 6 sheets of A1 format.

The project considers the design of a single-screw extruder for the production of blown film from low-density polyethylene. A literature and patent review of existing technical solutions was carried out, and the selected direction of barrel modernization was substantiated.

Parametric, strength, and thermal calculations of the main machine components were performed. A barrel modernization involving the installation of conical pins on the inner surface of the working channel was proposed. This solution improves the mixing of the polymer melt and increases its homogeneity.

To evaluate the performance of the basic and modernized designs, numerical simulations were carried out using the ANSYS software package. The obtained results confirmed the operability and reliability of the proposed technical solution.

In the technological section, a manufacturing process for the extruder barrel was developed, and the required equipment, cutting tools, and technological tooling were selected. Occupational health and fire safety issues related to equipment operation were also considered.

Based on the results of the work, an application for a utility model patent was filed, two presentations were made at an all-Ukrainian conference, and abstracts were published.

Keywords: EXTRUDER, BLOWN FILM, EXTRUDER BARREL, MODERNIZATION, CONICAL PINS, ANSYS.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- D – зовнішній діаметр черв'яка, мм;
- e – товщина гребеня черв'яка, мм;
- F – площа (небезпечного перерізу, теплообміну або контакту), м²;
- G – маса черв'яка, кг;
- Gr – критерій Грасгофа;
- h – глибина гвинтового каналу в різних зонах черв'яка, мм;
- I – полярний момент інерції перерізу, м⁴;
- K – коефіцієнт геометричної форми головки, мм³;
- L – довжина черв'яка, мм;
- $M_{кр}$ – крутний момент, Н·м;
- M_{max} – максимальний згинальний момент, Н·м;
- m – модуль шліцьового з'єднання, мм;
- N – потужність, Вт або кВт;
- n – частота обертання черв'яка, с⁻¹;
- Pr – критерій Прандтля;
- P_{oc} – осьове зусилля, Н;
- P – перепад тиску в екструзійній головці, Па;
- Π – вагова (масова) продуктивність, кг/год;
- Q – об'ємна продуктивність, мм³/с;
- q – розподілене навантаження від власної ваги черв'яка, Н/м;
- t – крок гвинтової лінії черв'яка, мм;
- W_p – полярний момент опору, м³;
- W_x – осьовий момент опору, м³;
- z – кількість зубів шліцьового з'єднання;
- δ – зазор між черв'яком і гільзою циліндра, мм.

3MICT

ВСТУП.....	3
1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ГАЛУЗЬ ЗАСТОСУВАННЯ ВИРОБУ, ЯКИЙ ПРОЄКТУЄТЬСЯ.....	4
2 ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА БАЗОВОЇ МАШИНИ.....	6
3 ОПИС БАЗОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ, ЇЇ ОСНОВНИХ ЧАСТИН ТА ПРИНЦИПУ ДІЇ.....	7
4 ЛІТЕРАТУРНИЙ ТА ПАТЕНТНИЙ ОГЛЯД СТАНУ ПИТАННЯ.....	10
4.1 Літературно-патентний огляд варіантів модернізації корпусу екструдера	10
4.2 Обґрунтування вибору модернізації черв'яка екструдера	14
5 РОЗРАХУНКИ.....	18
5.1 Параметричні розрахунки.....	18
5.1.1 Розрахунок геометрії черв'яка і частоти його обертання.....	18
5.1.2 Розрахунок коефіцієнта геометричної форми головки.....	21
5.1.3 Розрахунок продуктивності екструдера.....	26
5.1.4 Розрахунок перепаду тиску на ділянках у головці.....	29
5.1.5 Розрахунок потужності приводу екструдера.....	31
5.2 Розрахунки черв'яка на міцність.....	34
5.2.1 Розрахунок на міцність.....	34
5.2.2 Розрахунок на стійкість.....	36
5.2.3 Розрахунок на жорсткість.....	37
5.2.4 Розрахунок шліцьового з'єднання.....	39
5.3 Тепловий розрахунок.....	40

					ЛП22.177246.01-70ПЗ				
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Шапран			Екструдер для виробництва рукавної плівки з модернізацією корпуса	Літ.		Аркуш	Аркушів
Перев.		Витвицький						1	106
						КПІ ім. Ізгоря Сікорського			
Н.Конт.									
Затв.		Сокольський							

5.4	Розрахунок базового корпусу в системі Ansys.....	41
5.5	Розрахунок модернізованого корпусу в системі Ansys.....	48
5.6	Порівняння результатів розрахунку базового та модернізованого корпусів	56
6	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	58
6.1	Законодавча база та загальна характеристика об'єкта.....	57
6.2	Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів.....	59
6.3	Електробезпека	60
6.4	Пожежна безпека	61
6.5	Захист від дії рухомих механізмів	63
6.6	Мікроклімат та вентиляція.....	64
6.7	Освітлення робочої зони	64
6.8	Висновок	65
7	ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ.....	67
7.1	Опис і призначення деталі.....	67
7.2	Розробка технологічного процесу виготовлення деталі.....	68
7.3	Призначення пристосування для обробки деталі.....	80
	ВИСНОВКИ.....	82
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	83
	ДОДАТКИ.....	86

					<i>ЛП22.177246.01-70ПЗ</i>	Арк
						2
Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Сучасна полімерна промисловість характеризується постійним зростанням попиту на пакувальні матеріали, серед яких особливе місце займає рукавна плівка з поліетилену низької густини (ПЕНГ). Така продукція широко використовується у харчовій, будівельній, сільськогосподарській та побутовій сферах завдяки високій міцності, герметичності, стійкості до вологи та відносно низькій вартості виробництва. Використання поліетиленових плівок дозволяє забезпечити ефективне пакування продукції, зменшити витрати на транспортування та підвищити термін зберігання товарів.

Основним обладнанням для виготовлення рукавної плівки є черв'ячний екструдер, який забезпечує безперервне плавлення полімерної сировини, її перемішування, гомогенізацію та подачу до формувальної головки. У процесі екструзії поліетилен переходить із твердого гранульованого стану у в'язкоплинний розплав, після чого формується у вигляді тонкостінного рукава з подальшим охолодженням і намотуванням готової продукції. Від конструкції екструдера значною мірою залежить якість плівки, рівномірність її товщини та продуктивність виробничої лінії.

Важливу роль у роботі машини відіграє забезпечення стабільного температурного режиму та оптимальних умов транспортування й пластифікації полімеру. Правильний вибір геометричних параметрів робочих органів дає можливість підвищити ефективність процесу екструзії та покращити фізико-механічні властивості готової плівки.

У даному проєкті розглядається конструкція черв'ячного екструдера для виготовлення рукавної плівки з ПЕНГ, а також виконуються параметричні, теплові та міцнісні розрахунки основних вузлів обладнання. Метою проєкту є підвищення ефективності роботи екструдера для виробництва рукавної плівки шляхом модернізації корпусу та оцінювання працездатності запропонованої конструкції за допомогою інженерних розрахунків і числового моделювання.

1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ГАЛУЗЬ ЗАСТОСУВАННЯ ВИРОБУ, ЯКИЙ ПРОЄКТУЄТЬСЯ

Установка для виготовлення рукавної плівки (рисунок 3.1) складається з пневмозавантажувальника 1, бункера 2, екструдера 3, формуючої головки 4, охолоджувального пристрою 5, кільцевого бандажу 6, щок 8, тягнучого пристрою 9, ширительно-центровочних валків 11, різального пристрою 12 та намоточника 13 [1, 2].

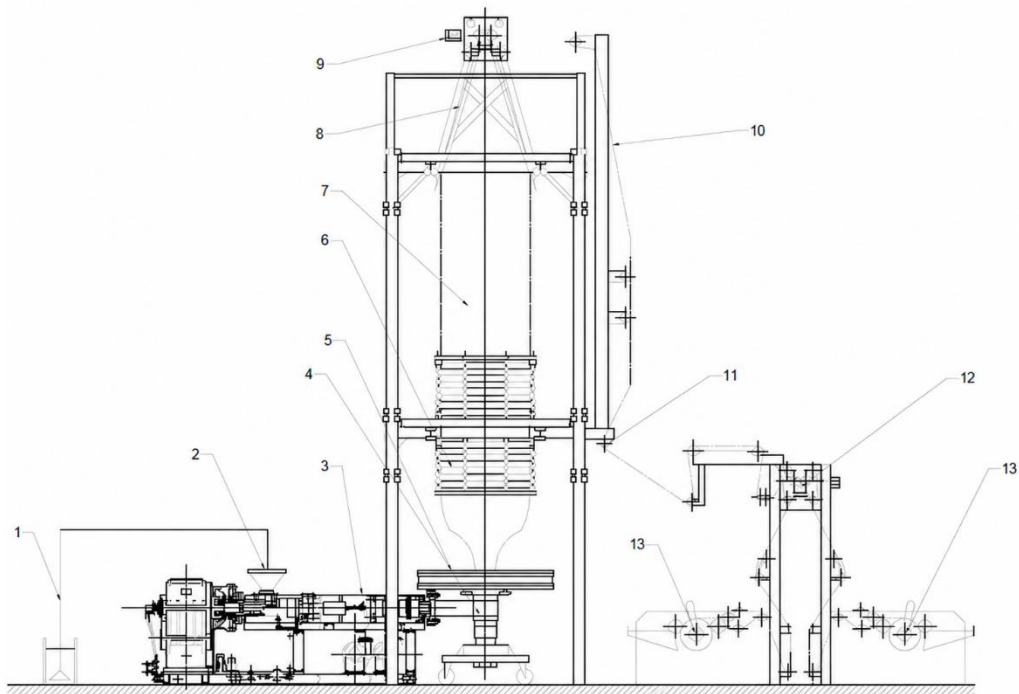


Рисунок 1.1 – Установка для виготовлення рукавної плівки. Пояснення в тексті

Робота установки починається з подачі полімерної сировини за допомогою пневмозавантажувальника 1 у бункер 2. Із бункера гранули поліетилену надходять до екструдера 3, у якому відбувається транспортування, ущільнення, нагрівання та плавлення матеріалу. Усередині екструдера обертається черв'як, який переміщує полімер уздовж циліндра [1]. Під дією нагрівальних елементів і

механічного тертя полімер переходить у в'язкотекучий стан та перетворюється на однорідний розплав.

Після пластикації розплав полімеру надходить до формуючої головки 4, де формується у вигляді трубчастої заготовки. Усередину рукава подається повітря, завдяки чому відбувається роздування плівки до необхідного діаметра. Для охолодження та стабілізації форми плівкового рукава використовується охолоджувальний пристрій 5, який забезпечує подачу повітря до поверхні плівки. Додаткову стабілізацію процесу охолодження забезпечує кільцевий бандаж 6 [2].

Після охолодження формується рукав плівки 7, який піднімається вгору по технологічній лінії. Для забезпечення стабільності руху та підтримання необхідної форми використовуються щокі 8, що направляють плівковий рукав і запобігають його коливанням.

Далі рукав надходить до тягнучого пристрою 9, який забезпечує рівномірне протягування плівки через усю установку та підтримує необхідну швидкість технологічного процесу. Після проходження тягнучого механізму рукав сплющується та перетворюється на полотно плівки 10.

Для вирівнювання полотна та забезпечення його правильного положення використовуються ширильно-центровочні валки 11. Вони сприяють усуненню складок і забезпечують рівномірне натягування плівки перед подальшою обробкою.

Після цього полотно плівки проходить через різальний пристрій 12, де за необхідності здійснюється розрізання рукава на окремі полотна потрібної ширини. Завершальним етапом є намотування готової плівки за допомогою намоточника 13, який формує рулони готової продукції для подальшого транспортування або використання.

2 ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА БАЗОВОЇ МАШИНИ

Базовим агрегатом для виробництва рукавної плівки з ПЕНГ є одночерв'ячний екструдер 90x25 [3]. Основні технічні характеристики машини показані в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні технічні характеристики машини

№	Параметр	Значення
1	Діаметр черв'яка	90 мм
2	Довжина черв'яка	2427 мм
3	Частота обертання	69 об/хв
4	Продуктивність	113,65 кг/год
5	Привід	Електродвигун (трифазний асинхронний)
6	Потужність електродвигуна	90 кВт
7	Система обігріву	Електронагрівники
8	Система охолодження	Повітряна
9	Система управління	Автоматизована
10	Перероблюваний матеріал	Поліетилен низької густини (ПЕНГ)

Подальша робота проводитиметься з урахуванням всіх зазначених параметрів.

3 ОПИС БАЗОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ, ЇЇ ОСНОВНИХ ЧАСТИН ТА ПРИНЦИПУ ДІЇ

Технологічний процес виробництва плівки базується на екструзії розплаву полімеру. Основним обладнанням лінії є одночерв'ячний прес (екструдер), зображений на складальному кресленні. Екструдер (рис.2.1) призначений для розплавлення гранульованого ПЕНГ, його гомогенізації (змішування до однорідного стану) та створення необхідного тиску для продавлювання через формуючу головку [4].

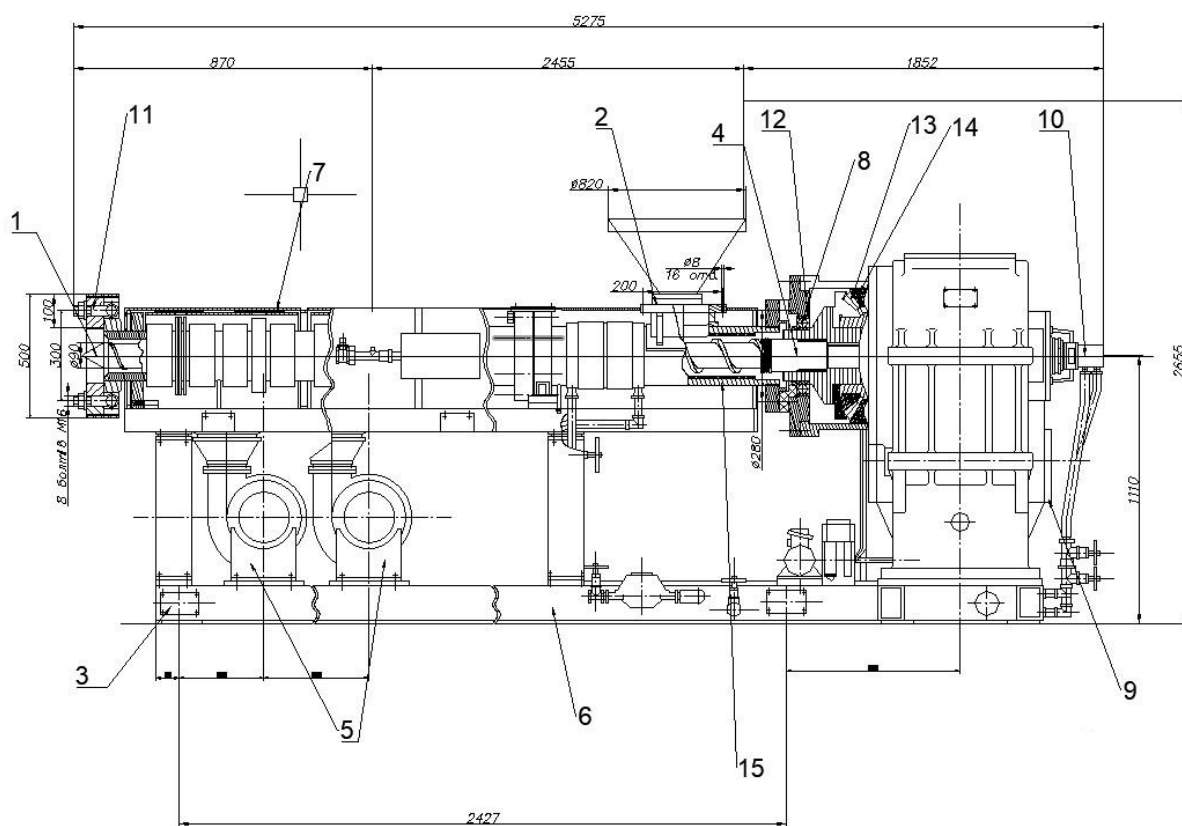


Рисунок 3.1 - Конструкція черв'ячного пресу (екструдера) для виробництва плівки рукавної

Конструкція змонтована на жорсткій зварній рамі 6, яка забезпечує стійкість вузлів та гасіння вібрацій, що виникають під час роботи. У нижній частині рами

передбачені вузли кріплення 3, 15 для встановлення обладнання на фундамент або віброопори.

Обертальний рух робочого органу забезпечує електродвигун 10. Крутний момент від валу двигуна передається через клинопасову передачу 9. Використання пасової передачі є конструктивно обґрунтованим, оскільки вона виконує роль запобіжної ланки: у випадку аварійного заклинювання шнека (наприклад, через потрапляння стороннього предмету або "козла" застиглого полімеру) паси проковзують, захищаючи двигун та редуктор від поломки. Далі обертання передається на вхідний вал редуктора 13, 14. Редуктор знижує високі оберти двигуна до робочого діапазону обертання шнека, одночасно збільшуючи крутний момент, необхідний для подолання в'язкого опору полімеру.

Робочим органом машини є шнек (черв'як) 7, розташований усередині матеріального циліндра 4. Шнек має спеціалізовану геометрію для ПЕНГ з трьома технологічними зонами: зона завантаження, де тверді гранули, що надходять через завантажувальний патрубок 11, захоплюються витками та транспортуються вперед, зона стиснення, де глибина каналу шнека зменшується, що призводить до ущільнення матеріалу, видалення повітря назад у бункер та інтенсивного плавлення та зона дозування де розплав остаточно гомогенізується та подається до головки зі стабільною швидкістю та тиском.

Оскільки в процесі роботи виникає значний зворотний тиск розплаву (до 30–50 МПа), шнек спирається на посилений упорний підшипниковий вузол 12, інтегрований у корпус редуктора. Це запобігає осьовому зміщенню шнека.

Для забезпечення необхідного температурного режиму переробки ПЕНГ (160–200°C) матеріальний циліндр 4 оснащений системою зонного нагріву та охолодження. Зовнішній обігрів здійснюється кільцевими електронагрівниками опору 2. Кожна зона керується окремо для створення заданого температурного профілю. Для запобігання перегріву розплаву (внаслідок виділення тепла від тертя — дисипації механічної енергії) передбачена система примусового повітряного охолодження. Вона складається з відцентрових вентиляторів 5 та кожухів з

направляючими ребрами, що дозволяє швидко знизити температуру стінки циліндра та уникнути термодеструкції полімеру.

Підготовлений розплав проходить через систему фільтрації (пакет сіток), встановлену у місці фланцевого з'єднання циліндра з головою, для очищення від механічних домішок. Далі маса потрапляє в екструзійну головку 1. Головка містить внутрішній розсікач потоку 4, який перетворює суцільний циліндричний потік у кільцевий. Формування рукава відбувається у кільцевому зазорі між матрицею та дорном. Головка також оснащена власними нагрівальними елементами 8 для підтримки плинності матеріалу безпосередньо перед виходом з екструдера.

4 ЛІТЕРАТУРНИЙ ТА ПАТЕНТНИЙ ОГЛЯД СТАНУ ПИТАННЯ

4.1 Літературно-патентний огляд варіантів модернізації корпусу екструдера

Метою проведення літературно-патентного огляду є дослідження сучасних конструктивних рішень, спрямованих на удосконалення корпусу одночерв'ячного екструдера, який використовується для виробництва рукавної плівки, а також визначення найбільш доцільного напрямку модернізації обладнання. Для цього було проведено аналіз літературних джерел, наукових публікацій та сучасних патентних рішень у галузі екструзійного обладнання.

У результаті аналізу науково-технічної літератури та існуючих конструкцій екструзійного обладнання встановлено, що корпус екструдера є одним із найбільш навантажених елементів системи. Саме в межах внутрішнього каналу корпусу здійснюється переміщення полімерного матеріалу, його ущільнення, нагрівання та перехід у в'язкотекучий стан.

Під час виконання патентного пошуку було проаналізовано технічні рішення, пов'язані з удосконаленням геометрії внутрішньої поверхні корпусу, оптимізацією температурного режиму роботи екструдера, інтенсифікацією перемішування полімерного розплаву та підвищенням довговічності робочих поверхонь циліндра.

Згідно з патентом US6705752B2 [5] розглянуто конструкцію корпусу одночерв'ячного екструдера, у внутрішній поверхні якого виконані поздовжні канавки (1) в зоні подачі матеріалу (5) (рис. 4.1). Запропоноване конструктивне рішення забезпечує збільшення сил тертя між полімерними гранулами та поверхнею циліндра (2), унаслідок чого покращується транспортування матеріалу в зоні завантаження (3) та підвищується стабільність подачі полімеру до зони плавлення (4).

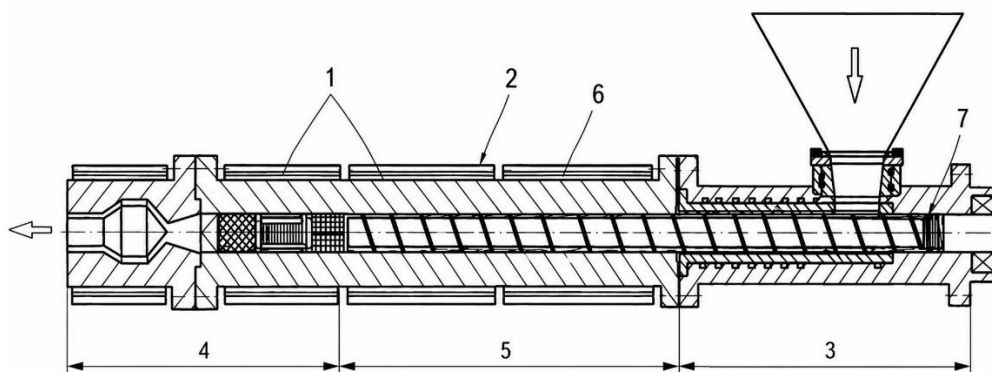


Рис. 4.1 – Корпус екструдера з поздовжніми канавками у зоні подачі

Наявність профільованих канавок у зоні подачі сприяє зменшенню проковзування гранул відносно поверхні корпусу (6) та створює більш сприятливі умови для роботи черв'яка (7). Недоліком даної конструкції є підвищений знос внутрішньої поверхні корпусу через збільшення контактних навантажень.

Згідно з патентом US4678339A [6] розглянуто конструкцію корпусу екструдера зі спеціальними внутрішніми змішувальними елементами (1), розташованими у робочому каналі циліндра (2) (рис. 4.2).

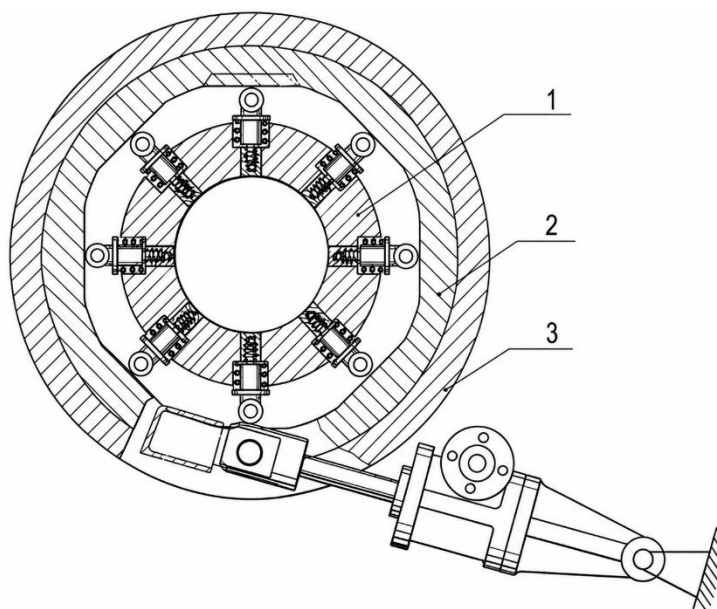


Рис. 4.2 – Корпус екструдера зі змішувальними елементами

Особливістю даної конструкції є наявність додаткових елементів у внутрішній частині корпусу, які забезпечують інтенсифікацію процесу перемішування полімерного розплаву. Під час проходження матеріалу через робочу зону (3) створюються додаткові турбулентні потоки та локальні деформації зсуву, що позитивно впливає на однорідність розплаву.

Запропоноване рішення дозволяє покращити процес гомогенізації полімерного матеріалу та підвищити стабільність параметрів екструзії. Недоліком конструкції є підвищення гідравлічного опору потоку розплаву та ускладнення виготовлення корпусу.

Згідно з патентом US4838734A [7] розглянуто корпус екструдера зі змінною внутрішньою втулкою (1) (рис. 4.3).

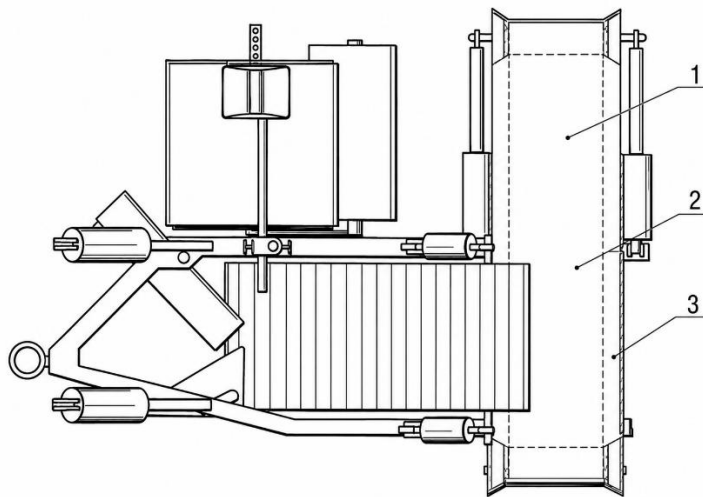


Рис. 4.3 – Корпус екструдера зі змінною внутрішньою втулкою

Застосування змінної внутрішньої втулки забезпечує підвищення ресурсу роботи корпусу та дозволяє виконувати відновлення робочої поверхні (2) без повної заміни циліндра (3). При цьому основна конструкція корпусу не потребує заміни, що дозволяє зменшити витрати на ремонт обладнання.

Згідно з патентом US5221292A [8] запропоновано конструкцію корпусу з охолоджувальною сорочкою (рис. 4.4).

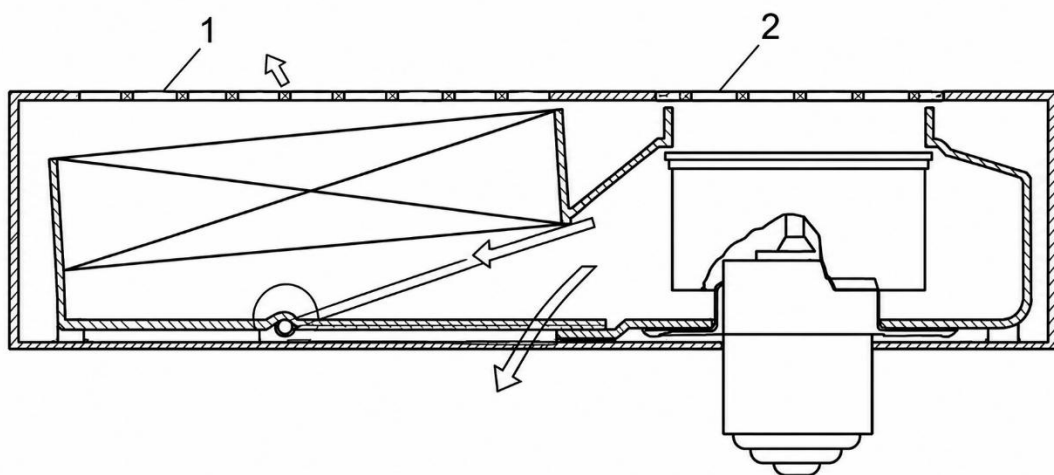


Рис. 4.4 – Корпус екструдера з охолоджувальною сорочкою

Використання охолоджувальної сорочки (1) забезпечує підтримання стабільного температурного режиму по довжині корпусу (2) та сприяє рівномірному прогріванню полімерного матеріалу під час екструзії. Це особливо важливо при виготовленні рукавної плівки, де навіть незначні температурні коливання можуть призводити до погіршення якості готового виробу.

Згідно з патентом CN204036802U [9] розглянуто конструкцію корпусу зі спіральними канавками на внутрішній поверхні (рис. 4.5).

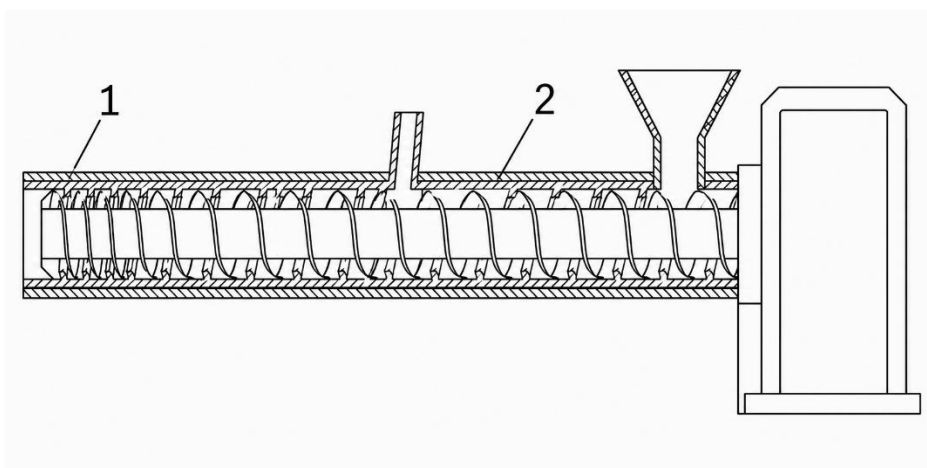


Рис. 4.5 – Корпус екструдера зі спіральними канавками

Наявність спіральних канавок (1) на внутрішній поверхні корпусу (2) дозволяє активізувати процес транспортування полімеру, покращити пластикацію матеріалу та підвищити ефективність перемішування розплаву. Недоліком

конструкції є можливість локального перегріву матеріалу при високих швидкостях обертання черв'яка.

3.2 Обґрунтування вибору модернізації черв'яка екструдера

Проведений літературно-патентний аналіз показав, що модернізація корпусу одночерв'ячного екструдера є одним із найбільш ефективних способів підвищення якості процесу пластикації та гомогенізації полімерного матеріалу. Розглянуті конструктивні рішення спрямовані на покращення теплового режиму, інтенсифікацію перемішування розплаву та зниження енергоємності процесу екструзії.

Однак більшість існуючих конструкцій мають певні недоліки. Використання канавок у внутрішній поверхні корпусу супроводжується підвищенням зносу робочих поверхонь, а застосування складних систем охолодження призводить до ускладнення конструкції та підвищення вартості обладнання. Крім того, частина змішувальних елементів створює локальні застійні зони, що може спричиняти термодеструкцію полімерного матеріалу.

Для усунення зазначених недоліків розроблено власний патент [10], з використанням конструкції корпусу зі штифтами, розташованими у стінці циліндра. Подібне рішення дозволяє підвищити змішувально-диспергувальну здатність екструдера та забезпечити більш рівномірний розподіл компонентів полімерного розплаву.

На основі проведеного аналізу як основне технічне рішення для подальшої модернізації було обрано конструкцію шнекового преса з конічними штифтами, розташованими у внутрішній поверхні корпусу (рис.4.6). В основу даного рішення покладено, у якій у стінці корпусу виконані отвори для розміщення штифтів із виходом у робочий канал, причому розміщені в робочому каналі ділянки штифтів виконані конічними.

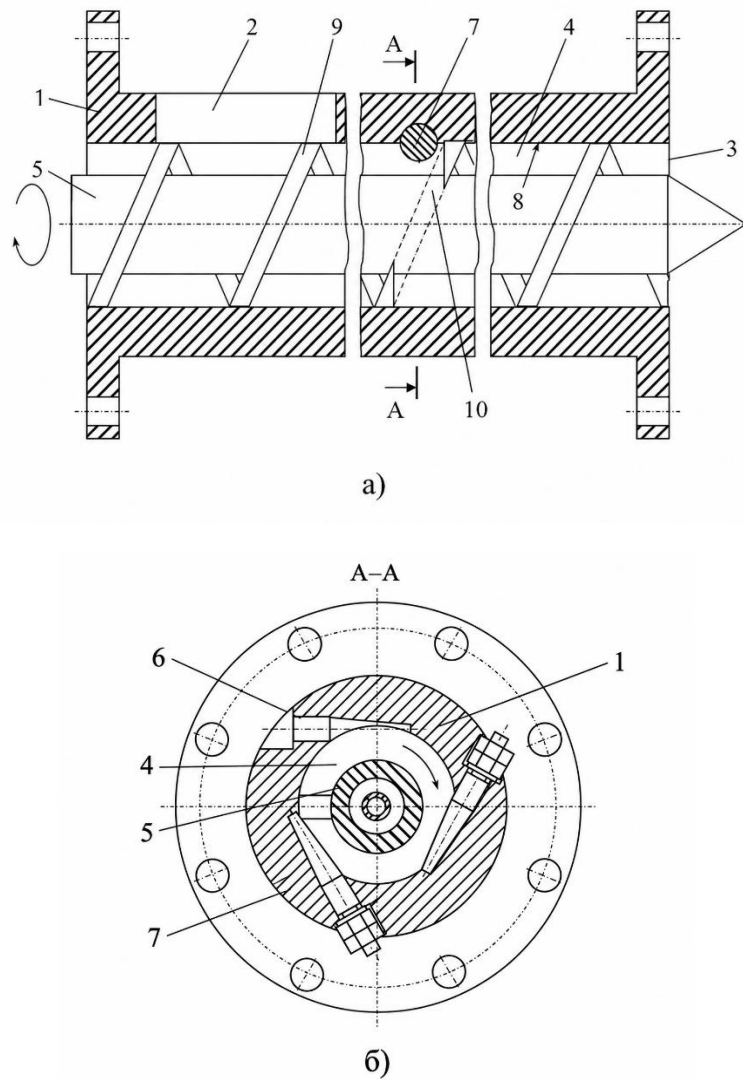


Рисунок 4.6 – Конструкція корпусу екструдера з конічними штифтами:
а – поздовжній розріз; *б* – поперечний переріз

На відміну від відомих конструкцій зі штифтовими елементами циліндричної форми, запропоноване рішення забезпечує згладжування робочого каналу в місцях розташування штифтів, що дозволяє зменшити гідравлічний опір руху полімерного розплаву та знизити енергоємність процесу екструзії.

Крім того, конічна форма штифтів забезпечує зменшення застійних зон у робочому каналі корпусу, що особливо важливо при переробленні термочутливих полімерних матеріалів. Одночасно створюються додаткові локальні потоки розплаву, які сприяють покращенню перемішування та диспергування компонентів полімерної композиції.

Суть запропонованої модернізації полягає у використанні штифтів конічної форми, розташованих по дотичній до внутрішньої поверхні корпусу. При проходженні полімерного розплаву через ділянку розміщення штифтів відбувається інтенсифікація процесу змішування та створення додаткових деформацій зсуву, що позитивно впливає на однорідність розплаву та стабільність процесу формування рукавної плівки.

Шнековий прес містить порожнистий корпус 1 із завантажувальним 2 і розвантажувальним 3 отворами, розміщений у порожнині корпусу 1 з утворенням робочого каналу 4 і можливістю обертання шнека 5 з гвинтовою нарізкою, а також виконані в стінці корпусу 1 рівномірно щонайменше по одному колу отвори 6 для розміщення в них штифтів 7 з виходом у робочий канал 4. Отвори 6 розташовані по дотичній до внутрішньої поверхні 8 порожнини корпусу 1, а в місцях розташування штифтів 7 у гребені 9 гвинтової нарізки шнека 5 виконано розриви 10, при цьому розміщені в робочому каналі 4 ділянки штифтів 7 виконано конічними (а, б).

Розміщені в робочому каналі 4 ділянки штифтів 7 спрямовані в напрямку обертання шнека 5 (див. фіг. б) або спрямовані в напрямку, протилежному напрямку обертання шнека (не показано).

Шнековий прес працює так.

Полімерний матеріал, що підлягає переробленню, подають у завантажувальний отвір 2 порожнистого корпусу 1, де він захоплюється гвинтовою нарізкою шнека 5 і далі транспортується ним у напрямку до розвантажувального отвору 3. На ділянці розміщення штифтів 7 здійснюється інтенсивне перемішування перероблюваного матеріалу, а також диспергування його компонентів.

Запропонована модернізація характеризується відносною простотою виготовлення, не потребує суттєвої зміни загальної конструкції екструдера та може бути реалізована на базі існуючого обладнання. Очікується, що використання даного конструктивного рішення дозволить підвищити

ефективність процесу екструзії, покращити якість готової плівки та знизити енерговитрати під час роботи екструдера.

5 РОЗРАХУНКИ

5.1 Параметричні розрахунки

5.1.1 Розрахунок геометрії черв'яка і частоти його обертання

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. [11]

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

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

Інші параметри черв'яка вибираються в залежності від матеріалу, що переробляється. У даному випадку матеріалом, що переробляється, є полівінілхлорид і базові параметри черв'яка обчислюються виходячи із залежностей, представлених нижче [4-5]

Крок гвинтової лінії черв'яка

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

Кут підйому гвинтової лінії

$$\varphi = \arctg\left(\frac{t}{\pi \cdot D}\right) = \arctg\left(\frac{90}{3,14 \cdot 90}\right) = 17,67^\circ.$$

Товщина гребеня черв'яка

$$e = (0,06 \dots 0,12) \cdot D = 0,1 \cdot 90 = 9 \text{ мм.}$$

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

Зазор між черв'яком і гільзою:

$$\delta = (0,002 \dots 0,003) \cdot D = 0,0024 \cdot 90 = 0,22 \text{ мм,}$$

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

Глибина гвинтового каналу в зоні завантаження

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

Глибина гвинтового каналу в зоні дозування складає

$$\begin{aligned} h_3 &= 0,5 \left[D - \sqrt{D^2 - \frac{4 \cdot h_1}{i} \cdot (D - h_1)} \right] = \\ &= 0,5 \left[90 - \sqrt{90^2 - \frac{4 \cdot 12}{4} \cdot (90 - 12)} \right] = 2,7 \end{aligned}$$

де $i = 4$ – ступінь стиску поліетилену низької густини [11]

Діаметр вала черв'яка під завантажувальною воронкою

$$d_1 = D - 2h_1 = 90 - 2 \cdot 12 = 66 \text{ мм}$$

Діаметр вала черв'яка в зоні дозування

$$d_3 = D - 2h_3 = 90 - 2 \cdot 2,7 = 84,6 \text{ мм}$$

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

$$L_{\text{роб}} = 25 \cdot D = 25 \cdot 90 = 2250 \text{ мм.}$$

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

$$L_{\text{зав}} = 0,3 \cdot 2250 = 675 \text{ мм.}$$

Приймаємо $L_{\text{зав}} = 675 \text{ мм.}$

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

$$L_{\text{ст}} = 0,27 \cdot 2250 = 607,5 \text{ мм.}$$

Приймаємо $L_{\text{ст}} = 610 \text{ мм.}$

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 $(0,4...0,6) \cdot L_{\text{роб}}$. Також допустимим є розрахунок таким чином

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

Довжина зони дозування

$$L_{\text{до3}} = 2250 - 675 - 610 = 965 \text{ мм.}$$

Довжина опори і евольвентного зачеплення приймаємо $L_{ев} = 90$ мм.

Довжина відбійної частини

$$L_{\text{Відб}} = (0,1 \dots 0,5) \cdot D = 0,5 \cdot 90 = 45 \text{ мм.}$$

Довжину циліндричної частини приймаємо $L_{\text{цил}} = 87$ мм

Загальна довжина черв'яка

$$L = L_{\text{поб}} + L_{\text{ев}} + L_{\text{відб}} = 2250 + 90 + 87 = 2427 \text{ мм.}$$

Глибина гвинтового каналу на початку зони стиснення

$$h_2 = h_1 - \frac{h_1 - h_3}{L}(L - L_{\text{CT}}) = 12 - \frac{12 - 2,7}{2427} \cdot (2427 - 610) = 5,04 \text{ мм.}$$

Діаметр вала черв'яка на початку зони стиснення

$$d_2 = D - 2h_2 = 90 - 2 \cdot 5,04 = 79,92 \text{ mm.}$$

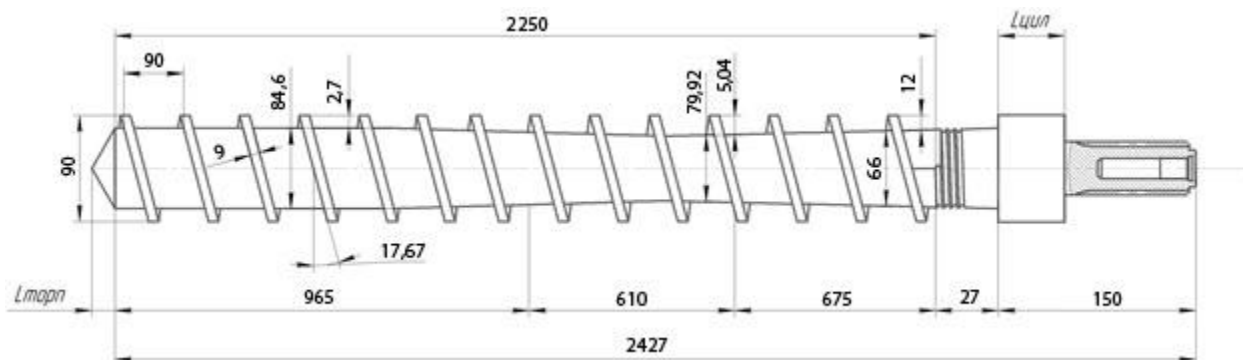


Рисунок 5.1 – Схема черв'яка

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})

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

де D – діаметр черв'яка, м.

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

Робоча частота обертання черв'яка:

$$n_p = (0,2 \dots 0,7) \cdot n_{кр} = 0,5 \cdot 2,3 = 1,15 \text{ с}^{-1},$$

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

Для перевірки, даний розрахунок виконано за допомогою програми, яка була складена на мові програмування C++ (додаток В1-В3)

5.1.2 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 , м³ або мм³, а потім сумарне значення для всієї головки [12]

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

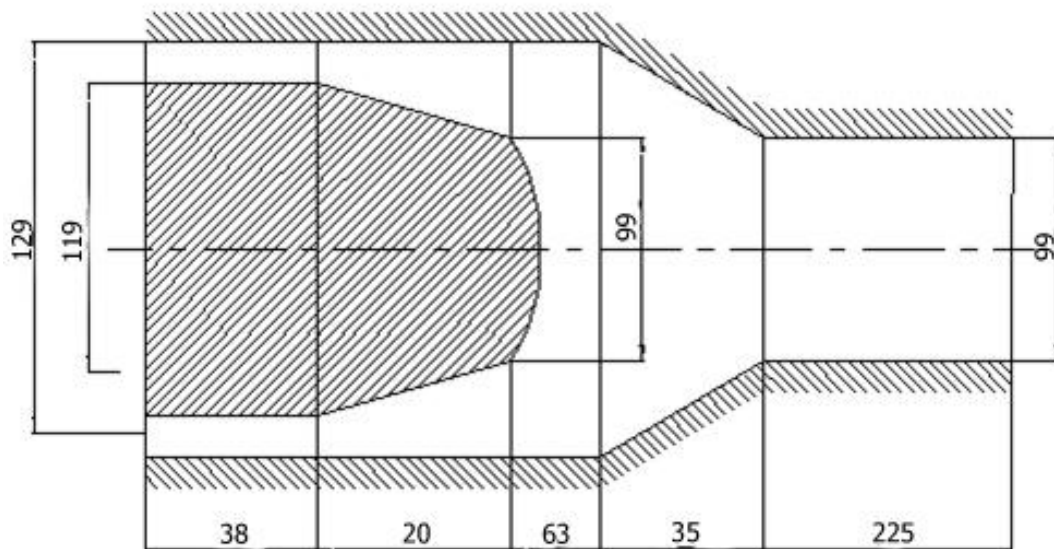


Рисунок 5.2 – Схема головки

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. 5.1.

Таблиця 5.1 – 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. Розраховані розміри головки для розмірів черв'яка $D_q = 90$ мм і $L_q/D_q = 25$ наведено в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Приклад розмірів головки для $D_q = 90$ мм і $L_q/D_q = 25$

d_1 , мм	d_2 , мм	D , мм	l_1 , мм	l_2 , мм	l_3 , мм	l_4 , мм	l_5 , мм
99	119	129	225	35	63	20	38

Типи простих ділянок каналів: [13]

Розраховуємо коефіцієнти геометричної форми

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

$$K_1 = \frac{\pi d^4}{128L}$$

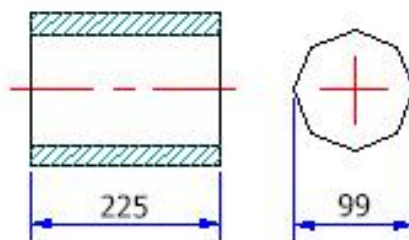


Рисунок 5.3 – Ескіз круглого циліндрового каналу

Розраховуємо ділянку №1

$$K_1 = \frac{\pi d_1^4}{128 l_1} = \frac{3,14 \cdot 99^4}{128 \cdot 225} = 10473,16 \text{ мм}^3$$

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:

$$K_2 = \frac{3\pi D^3 d^3}{128L(D^2 + Dd + d^2)}$$

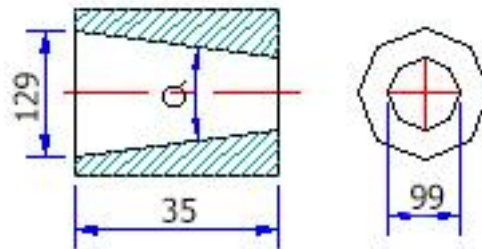


Рисунок 5.4 – Ескіз круглого конічного з великим діаметром на вході

Розраховуємо ділянку №2

$$K_2 = \frac{3\pi D^3 d_1^3}{128 l_2 (D^2 + Dd_1 + d_1^2)} = \frac{3 \cdot 3,14 \cdot 129^3 \cdot 99^3}{128 \cdot 35 (129^2 + 129 \cdot 99 + 99^2)} = 111690,83 \text{ мм}^3$$

Коефіцієнт K_3 (круглий циліндровий, рис. 5.5). Коефіцієнт геометричної форми для цього типу можна розрахувати за допомогою наступної формули:

$$K_3 = \frac{\pi d^4}{128L}$$

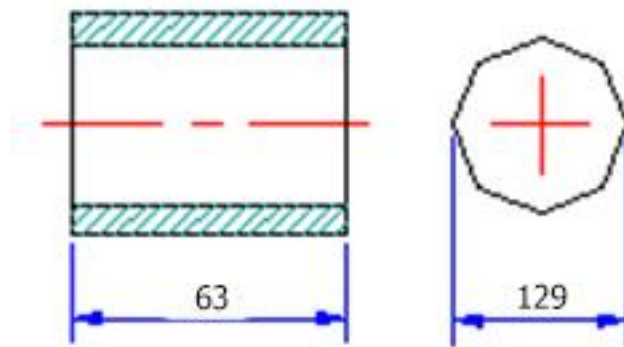


Рисунок 5.5 – Ескіз круглого конічного з великим діаметром на вході

Розраховуємо ділянку №3

$$K_3 = \frac{\pi D^4}{128 l_3} = \frac{3,14 \cdot 129^4}{128 \cdot 63} = 107829,16 \text{ мм}^3$$

Коефіцієнт K_4 (кільцевий, рис. 5.6). Коефіцієнт геометричної форми для цього типу можна розрахувати за допомогою наступної формули:

$$K_4 = \frac{\pi(R_1\delta_2 - R_2\delta_1)}{6L\omega}$$

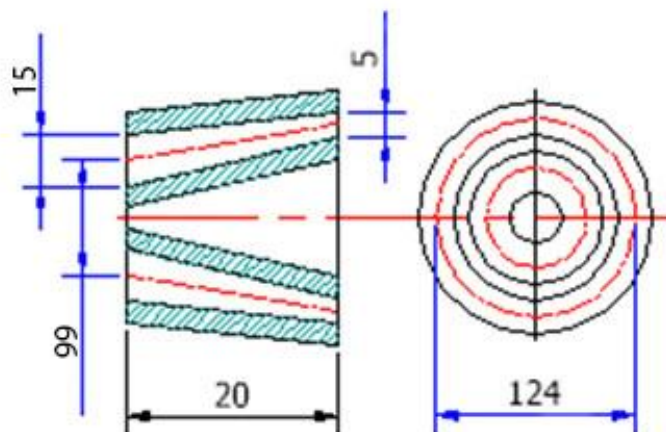


Рисунок 5.6 – Ескіз конічного кільцевого з конічною щілиною

Розраховуємо ділянку №4

$$K_4 = \frac{\pi(R_1\delta_2 - R_2\delta_1)}{6l_4\omega} = \frac{3,14(57 \cdot 5 - 62 \cdot 15)}{6 \cdot 20 \cdot (-0,02)} = 893 \text{ (мм}^3\text{)}$$

де

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{2.3(R_1 - R_2)^2}{(R_1\delta_2 - R_2\delta_1)^2} \lg \frac{R_1\delta_2}{R_2\delta_1} - \frac{(R_1 - R_2)(\delta_1 - \delta_2)}{(R_1\delta_2 - R_2\delta_1)\delta_1\delta_2} - \frac{\delta_1^2 - \delta_2^2}{2\delta_1^2\delta_2^2} = \\ &= \frac{2.3(57-62)^2}{(57 \cdot 15 - 62 \cdot 5)^2} \lg \frac{57 \cdot 15}{62 \cdot 5} - \frac{(57-62)(15-5)}{(57 \cdot 15 - 62 \cdot 5)15 \cdot 5} - \frac{15^2 - 5^2}{2 \cdot 15^2 \cdot 5^2} = -0,0189 \text{ (мм}^{-2}\text{)} \end{aligned}$$

$$\delta_1 = \frac{D - d_1}{2} = \frac{129 - 99}{2} = 15 \text{ (мм)} \quad \delta_2 = \frac{D - d_2}{2} = \frac{129 - 119}{2} = 5 \text{ (мм)}$$

$$R_1 = \frac{d_1 + \delta_1}{2} = \frac{99 + 15}{2} = 57 \text{ (мм)} \quad R_2 = \frac{d_2 + \delta_2}{2} = \frac{119 + 5}{2} = 62 \text{ (мм)}$$

Коефіцієнт K_5 (кільцевий, рис. 5.7). Коефіцієнт геометричної форми для цього типу можна розрахувати за допомогою наступної формули:

$$K_5 = \frac{\pi(R_2 + R_1)(R_2 - R_1)^3}{12L}$$

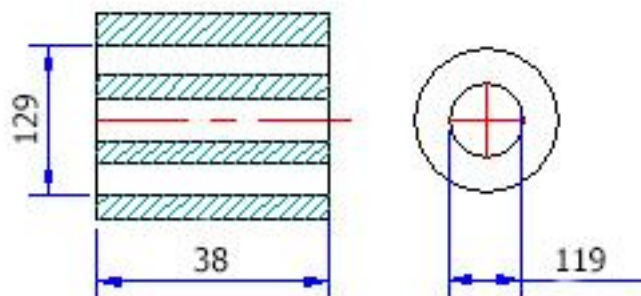


Рисунок 5.7 – Ескіз кільцевого

Розраховуємо ділянку №5

$$K_5 = \frac{\pi(R_2 + R_1)(R_2 - R_1)^3}{12l_5} = \frac{3,14(64,5 + 59,5)(64,5 - 59,5)^3}{12 \cdot 38} = 106,73 \text{ (мм}^3\text{)}$$

$$\text{Де } R_1 = \frac{d_2^2}{2} = \frac{119}{2} = 59,5 \text{ (мм)} \quad R_2 = \frac{D^2}{2} = \frac{129}{2} = 64,5$$

Сумарне значення для всієї головки $K_{\text{заг}}$

$$\begin{aligned} K_{\text{заг}} &= \frac{1}{\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} + \frac{1}{K_3} + \frac{1}{K_4} + \frac{1}{K_5}} = \\ &= \frac{1}{\frac{1}{10473,16} + \frac{1}{111690,83} + \frac{1}{107829,16} + \frac{1}{893} + \frac{1}{106,73}} \\ &= 94,31 \text{ (мм}^3\text{)} \end{aligned}$$

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

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

3) потік виток, 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

$$Q = \frac{\alpha \cdot K_{\text{заг}} \cdot n_p}{K_{\text{заг}} + \beta + \gamma} = \frac{33298,19 \cdot 94,31 \cdot 1,15}{94,31 + 0,0999 + 0,00297} = 38251,2 \left(\frac{\text{мм}^3}{\text{с}} \right)$$

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 виток.

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

$$\alpha = \frac{\pi^3(t - \lambda e)c}{a + t^2b} = \frac{3,14^3(90 - 1 \cdot 9) \cdot 262,65}{17,82 + 90^2 \cdot 0,000242} = 33298,19 \text{ (мм}^{-3}\text{)}$$

$$\beta = \frac{\pi t(t - \lambda e)}{12L_{\text{доз}}(a + t^2b)} = \frac{3,14 \cdot 90(90 - 1 \cdot 9)}{12 \cdot 965 \cdot (17,82 + 90^2 \cdot 0,000242)} = 0,0999 \text{ (мм}^{-3}\text{)}$$

$$\gamma = \frac{\pi^2 D \delta^3 t^2}{10eL_{\text{доз}} \sqrt{\pi^2 D^2 + t^2}} = \frac{3,14^2 \cdot 90 \cdot 0,22^3 \cdot 90^2}{10 \cdot 9 \cdot 965 \cdot \sqrt{3,14^2 \cdot 90^2 + 90^2}} = 0,00297 \text{ (мм}^{-3}\text{)}$$

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

$$\begin{aligned} c &= 1 - \frac{6,9D}{2(h_2 - h_3)} \lg \left(\frac{h_2}{h_3} \right) + \frac{D^2}{2h_2h_3} \\ &= 1 - \frac{6,9 \cdot 90}{2 \cdot (5,04 - 2,7)} \lg \left(\frac{5,04}{2,7} \right) + \frac{90^2}{2 \cdot 5,04 \cdot 2,7} = 262,65 \end{aligned}$$

$$a = \frac{\pi^2}{h_2 h_3} \left(\frac{D(h_2 + h_3)}{2h_2 h_3} - 1 \right) = \frac{3,14^2}{5,04 * 2,7} \left(\frac{90 * (5,04 + 2,7)}{2 * 5,04 * 2,7} - 1 \right) \\ = 17,82 (\text{мм}^{-2})$$

$$b = \frac{2,3}{(h_2 - h_3)D^3} \lg \left(\frac{h_2(D + d_3)}{h_3(D + d_1)} \right) + \frac{2h_2 h_3 + (h_2 + h_3)D}{2D^2 h_2^2 h_3^2} = \\ = \frac{2,3}{(5,04 - 2,7)90^3} \lg \left(\frac{5,04(90 + 84,6)}{2,7(90 + 66)} \right) \\ + \frac{2 * 5,04 * 2,7 + (5,04 + 2,7) * 90}{2 * 90^2 * 5,04^2 * 2,7^2} = 0,000242 (\text{мм}^{-4})$$

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

$$\Pi = Q \cdot \rho = 38251,2 * 825,3 * 3600 * 10^{-9} = 113,65 [\text{кг/год}]$$

Температуру t переробки обрали залежно від перероблюваного матеріалу і виробу [12]. Густина матеріалу ρ – в залежності від матеріалу і температури [13]. При відсутності обраної температури – для коректного задання густини використали метод лінійної інтерполяції.

5.1.4 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);

Для першої ділянки:

$$\dot{\gamma}_1 = \frac{32Q}{\pi d^3} = \frac{32 * 38251,2}{3,14 * 99^3} = 0,402$$

Для другої ділянки:

$$\dot{\gamma}_2 = \frac{256Q}{\pi(D^3 + d^3)} = \frac{256 * 38251,2}{3,14 * (129^3 + 99^3)} = 1,001$$

Для третьої ділянки:

$$\dot{\gamma}_3 = \frac{32Q}{\pi d^3} = \frac{32 * 38251,2}{3,14 * 129^3} = 0,182$$

Для четвертої ділянки:

$$\dot{\gamma}_4 = \frac{22.32 \cdot Q}{\pi \cdot (R_1 + R_2)(\delta_2 + \delta_1)^2} = \frac{22.32 \cdot 38251,2}{3,14 \cdot (57 + 62)(15 + 5)^2} = 0,4$$

Для п'ятої ділянки:

$$\begin{aligned} \dot{\gamma}_5 &= \frac{5,58 \cdot Q}{\pi \cdot (R_1 + R_2) \cdot (R_2 - R_1)^2} = \frac{5,58 \cdot 38251,2}{3,14 \cdot (59,5 + 64,5) \cdot (64,5 - 59,5)^2} \\ &= 21,927 \end{aligned}$$

2) визначається ефективна в'язкість μ_i , Па · с, за графіками для матеріалів [13], в залежності від швидкості зсуву $\dot{\gamma}_i$ та температури переробки t ;

$$\mu_1 = 2,55 \cdot 10^4 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\mu_2 = 1,7 \cdot 10^4 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\mu_3 = 4,2 \cdot 10^4 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\mu_4 = 2,6 \cdot 10^4 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\mu_5 = 3,3 \cdot 10^3 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

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

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

Для першої ділянки:

$$\Delta P_1 = \frac{Q \cdot \mu_1}{K_1} = \frac{38251,2 \cdot 2,55 \cdot 10^4}{10473,16} = 9,31 \cdot 10^4$$

Для другої ділянки:

$$\Delta P_2 = \frac{Q \cdot \mu_2}{K_2} = \frac{38251,2 \cdot 1,7 \cdot 10^4}{111690,83} = 6,21 \cdot 10^4$$

Для третьої ділянки:

$$\Delta P_3 = \frac{Q \cdot \mu_3}{K_3} = \frac{38251,2 \cdot 4,2 \cdot 10^4}{107829,16} = 1,53 \cdot 10^5$$

Для четвертої ділянки:

$$\Delta P_4 = \frac{Q \cdot \mu_4}{K_4} = \frac{38251,2 \cdot 2,6 \cdot 10^4}{893} = 9,495 \cdot 10^4$$

Для n 'ятої ділянки:

$$\Delta P_5 = \frac{Q \cdot \mu_5}{K_5} = \frac{38251,2 \cdot 3,3 \cdot 10^3}{106,73} = 1,21 \cdot 10^4$$

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

$$\begin{aligned} \Delta P &= \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 + \Delta P_4 + \Delta P_5 = \\ &= 1,75 \cdot 10^6 + 1,54 \cdot 10^5 + 1,77 \cdot 10^5 + 2,098 \cdot 10^7 + 4,3 \cdot 10^7 = 415,25 \text{ КПа} \end{aligned}$$

5.1.5 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)

$$N = N_1 + N_2 = 34580 + 7244 = 41824 \text{ (Вт)}$$

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

$$\begin{aligned} N_1 &= \frac{\pi^3(t - e)LJ\mu_{\text{efl}}}{t} n_p^2 + \alpha \cdot \Delta P \cdot n_p = \\ &= \frac{3,14^3(0,09 - 0,009) \cdot 2,42 \cdot 0,21 \cdot 1,7 \cdot 10^3}{0,09} \cdot 1,15^2 \\ &+ 0,0000332981 \cdot 415250 \cdot 1,15 = 34580 \text{ (Вт)} \end{aligned}$$

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, м³,

ΔP – загальний перепад тиску в головці, Па,

J – коефіцієнт, м²

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

$$= \frac{3,14^2 * 90^2 - 4 * 90^2}{3,14^2} + \frac{(90 + 84,6)^3 - (90 + 79,92)^3}{3(84,6 - 79,92)}$$

$$+ \frac{2,3 * 3,14^2 * 90^5 \lg \frac{5,04}{2,7}}{(90^2 + 3,14^2 * 90^2)(5,04 - 2,7)} = 0,2108 \text{ (м}^2\text{)}$$

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

$$N_2 = \frac{\pi^3 D^3 e L \mu_{\text{эф2}}}{\delta t} n_p^2 = \frac{3,14^3 * 0,09^3 * 0,009 * 2,42 * 1,8 \cdot 10^2}{0,00022 * 0,09} * 1,15^2$$

$$= 7244 \text{ (Вт)}$$

У вищенаведених формулах також фігурує ефективна в'язкість $\mu_{\text{эф1,2}}$, 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:

$$\dot{\gamma}_1 = \frac{\pi^2 (D - h_{\text{сер}})(D - 2h_{\text{сер}})n}{h_{\text{сер}} \sqrt{\pi^2 (D - 2h_{\text{сер}})^2 + t^2}} = \frac{3,14^2 (90 - 3,87)(90 - 2 * 3,87) * 1,15}{3,87 * \sqrt{3,14^2 (90 - 2 * 3,87)^2 + 90^2}}$$

$$= 75,89 \text{ (с}^{-1}\text{)}$$

$$\dot{\gamma}_2 = \frac{\pi^2 D^2 n}{\delta \sqrt{\pi^2 D^2 + t^2}} = \frac{3,14^2 * 90^2 * 1,15}{0,22 * \sqrt{3,14^2 * 90^2 + 90^2}} = 1407 \text{ (с}^{-1}\text{)}$$

$$\mu_{\text{еф1}} = 1,7 \cdot 10^3 \text{ (Па} \cdot \text{с)},$$

$$\mu_{\text{еф2}} = 2,2 \cdot 10^2 \text{ (Па} \cdot \text{с)},$$

$$\text{де } h_{\text{сер}} = \frac{(h_2 + h_3)}{2} = \frac{(5,04 + 2,7)}{2} = 3,87 \text{ (мм)}.$$

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

$$N_{\text{заг}} = \frac{N}{\eta} = \frac{41824}{0,5} = 84 \text{ кВт.}$$

За знайденою загальною потужністю, обрали двигун потужністю $N_{\text{дв}} = 90 \text{ кВт}$, для приводу екструдера. Обрали асинхронний двигун з кількістю обертів $n_{\text{дв}} = 1500 \text{ об/хв}$, модель АІР250М4. [14]

5.2 Розрахунки черв'яка на міцність

5.2.1 Розрахунок на міцність

Базовий варіант розрахункової схеми черв'яка зображено на рис. 5.9.

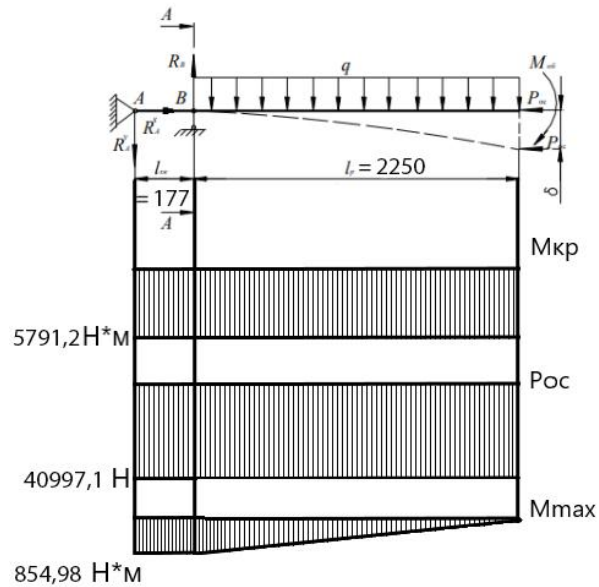


Рисунок 5.9 – Епюра напружень черв'яка

Крутний момент (Н·м) становить

$$M_{кр} = \frac{30N}{\pi n} = \frac{30 * 41824}{3,14 * 69} = 5791,2 \text{ Н} * \text{м}$$

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

Осьове зусилля

$$P_{ос} = \frac{2M_{кр}}{D} tg\varphi = \frac{2 * 5791,2}{0,09} * tg(17,67^\circ) = 40997,1 \text{ Н}$$

де D – зовнішній діаметр черв'яка, м;

$\varphi=17,67^\circ$ – кут підйому нарізки:

де t – крок нарізки, м.

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

$$q = \frac{9,8G}{l_p} = \frac{9,8 * 71,88}{2,427} = 290,3 \text{ Н/м}$$

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

$$G = \frac{\pi(D - d_0)^2}{4} \rho l_p = \frac{3,14 * (0,09 - 0,018)^2}{4} * 7850 * 2,427 = 77,53 \text{ кг}$$

d_0 – діаметр каналу для охолодження, м

$$d_0 = (0,15...0,25)D = 0,2 * 0,09 = 0,018 \text{ м}$$

$\rho = 7850 \text{ кг/м}^3$ густина сталі 40ХН2МА. [15]

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

$$\sigma_{\text{ст}} = \frac{p_{\text{ос}}}{F} + \frac{M_{\text{max}}}{W_x} = \frac{40997,1}{0,003} + \frac{854,98}{2,806 * 10^{-5}} = 44 \text{ МПа}$$

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 :

$$F = \frac{\pi d_1^2}{4} (1 - \alpha^2) = \frac{3,14 * 0,066^2}{4} * (1 - 0,27^2) = 0,003 \text{ м}^2$$

$$\alpha = d_0/d_1 = \frac{0,018}{0,066} = 0,27$$

d_1 – діаметр осердя в зоні завантаження, м;

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

$$M_{\text{max}} = \frac{1}{2} q l_p^2 = \frac{1}{2} * 290,3 * 2,427^2 = 854,98 \text{ Н * м}$$

W_x – осовий момент опору, м^3 :

$$W_x = \frac{\pi d_1^3 (1 - \alpha^4)}{32} = \frac{3,14 * 0,066^3 * (1 - 0,27^4)}{32} = 2,806 * 10^{-5} \text{ м}^3$$

Дотичні напруження

$$\tau = \frac{M_{\text{кр}}}{W_p} = \frac{5791,2}{5,612 * 10^{-5}} = 103 \text{ МПа}$$

де W_p – полярний момент опору, м^3

$$W_p = \frac{\pi d_1^3 (1 - \alpha^4)}{16} = \frac{3,14 * 0,066^3 * (1 - 0,27^4)}{16} = 5,612 * 10^{-5} \text{ м}^3$$

Еквівалентне напруження за III теорією міцності

$$\sigma_{\text{екв}} = \sqrt{\sigma_{\text{ст}}^2 + 4\tau^2} = \sqrt{44^2 + 4 * 103^2} = 211 \text{ МПа}$$

Коефіцієнт запасу не повинен перевищувати допустиме значення [7]

$$n = \frac{\sigma_t}{\sigma_{\text{екв}}} = \frac{930}{211} \geq 4 = 4,4 \geq 2$$

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

Отже коефіцієнт міцності $n=8,4$.

Умова міцності виконується.

5.2.2 Розрахунок на стійкість

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

$$n_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1}}{(k_{\sigma})_d \sigma_a + \psi_{\sigma} \sigma_c} = \frac{4,32 * 10^8}{4,4 * 3,1 * 10^7 + 0,25 * 0} = 3,17$$

де n_{σ} – коефіцієнт запасу міцності під час циклічного навантаження;

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

$$\sigma_{-1} = 0,4\sigma_B = 0,4 * 1080 * 10^6 = 4,32 * 10^8 \text{ мПа};$$

a – амплітуда змінення напружень (у цьому випадку вони змінюються від $+\sigma_{max}$ до $-\sigma_{max}$;

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

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W_x} = \frac{854,98}{2,806 * 10^{-5}} = 3,1 * 10^7 \text{ Па};$$

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

ψ_{σ} – коефіцієнт, що залежить від матеріалу сталі 40ХН2МА [15] ($\sigma_B = 1080$ МПа $\psi_{\sigma} = 0,25$);

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

$$(k_{\sigma})_d = \frac{k_{\sigma}}{\beta * \varepsilon} = \frac{2}{1 * 0,45} = 4,4$$

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 .

Отже,

$$n_{\sigma} \geq [n] = 3,17 \geq 2$$

Умова стійкості виконується.

5.2.3 Розрахунок жорсткості

Разом з розрахунком на міцність, черв'як перевіряється на жорсткість. Метою цього розрахунку є перевірка того, чи перебуває прогин черв'яка в межах конструкційного зазору. Здебільшого це має значення під час холостого ходу, оскільки під час роботи екструдера канали черв'яка й зазори заповнені розплавом під тиском, який запобігає прогину й тертю по корпусу.

Полярний момент інерції перерізу, м^4

$$I = \frac{\pi d_1^4}{64} (1 - \alpha^4) = \frac{3,14 * 0,066^4}{64} (1 - 0,27^4) = 9,2 * 10^{-7} \text{ м}^4$$

Радіус інерції, м

$$i = \sqrt{\frac{I}{F}} = \sqrt{\frac{9,2 * 10^{-7}}{0,003}} = 0,018 \text{ м}$$

Ступінь жорсткості

$$\lambda = \frac{\mu l_p}{i} = \frac{2 * 2,427}{0,018} = 269,6$$

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:

$$\begin{aligned} \delta_p &= \frac{1}{EI} \left[\frac{q}{k^2} \left(\frac{1}{k^2} + \frac{l_p^2}{2} \right) - \frac{1}{k} \left(\frac{q}{k^3} - A l_p \right) \cos(k l_p) - \frac{1}{k^2} \left(\frac{q l_p}{k} - A \right) \sin(k l_p) \right] = \\ &= \frac{1}{2,09 * 10^5 * 9,2 * 10^{-7}} * \left[\frac{290,3}{461,8^2} * \left(\frac{1}{461,8^2} + \frac{2,427^2}{2} \right) - \right. \\ &\quad \left. - \frac{1}{461,8} * \left(\frac{290,3}{461,8^3} - 2,01 * 2,427 \right) * \cos(461,8 * 2,427) - \right. \end{aligned}$$

$$-\frac{1}{461,8^2} * \left(\frac{290,3 * 2,427}{461,8} - 2,01 \right) * \sin(461,8 * 2,427) = 0,00047 \text{ м}$$

$$\text{де } k = \sqrt{\frac{P_{oc}}{EI}} = \sqrt{\frac{40997,1}{2,09 * 10^5 * 9,2 * 10^{-7}}} = 461,8 \text{ м}^{-1}$$

$$A = \frac{q(l_p - \frac{1}{k} \sin(kl_p))}{k \cos(kl_p)} = \frac{290,3 * (2,427 - \frac{1}{0,46} * \sin(0,46 * 2,427))}{0,46 * \cos(0,46 * 2,427)} = 2,01 \text{ Н * м}$$

На початковій стадії проєктного розрахунку черв'як можна вибрати з урахуванням дії крутного моменту та осьового зусилля. Після розрахунку геометричних параметрів проводиться повний розрахунок черв'яка. Для більш точного обчислення силових факторів, що діють на черв'як, враховується позацентровий характер осьового зусилля, що виникає від прогину кінця черв'яка δ_p

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{P_{oc}}{F} \left(1 + \frac{\delta_p F}{I} d_1 \right) + \frac{M_{max}}{W_x} = \\ &= \frac{40997,1}{0,003} * \left(1 + \frac{0,00047 * 0,003}{9,2 * 10^{-7}} * 0,066 \right) + \frac{854,98}{2,806 * 10^{-5}} = \\ &= 1,4 * 10^7 \text{ Па} = 14 \text{ МПа} \end{aligned}$$

Отримане значення підставляється в залежність

$$\sigma_{екв} = \sqrt{\sigma_{ст}^2 + 4\tau^2} = \sqrt{(14)^2 + 4 * (103)^2} = 104 \text{ МПа}$$

Коефіцієнт запасу не повинен перевищувати допустиме значення

$$n = \frac{\sigma_t}{\sigma_{екв}} = \frac{930}{104} \geq 2 = 9 \geq [2]$$

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

Отже коефіцієнт міцності $n=9$.

Умова міцності виконується.

5.2.4 Розрахунок шліцьового з'єднання

Черв'як з'єднується з приводом переважно за допомогою шліцьового з'єднання. Здебільшого використовуються шліци евольвентного профілю, оскільки вони мають більшу поверхню контакту, можуть передавати більше

навантаження й довше зношуються. Центрування здебільшого здійснюють по боковій поверхні шліців з посадкою 7Н/7п. Така конструкція забезпечує найбільшу точність центрування та усуває можливі люфти. Шліцьові з'єднання перевіряють на зминання за залежністю:

$$\sigma_{зм} = \frac{M_{об}}{R_c F z \psi} \leq [\sigma]_{зм} = \frac{5791,2}{0,042 * 0,00022 * 42 * 0,7} \leq 120 \text{ МПа} = 21 \text{ МПа} \leq 120 \text{ МПа}$$

де $R_c = d_d/2 = mz/2 = \frac{2*42}{2} = 42 \text{ мм};$

m – модуль, мм;

z - кількість зубів шліцьового з'єднання:

$$z = \frac{d_d}{m} = \frac{84}{2} = 42;$$

F – площа контакту, м²:

$$F = 0,8lm = 0,8ld_d/z = \frac{0,8*0,15*0,08}{42} = 0,00022 \text{ м}^2;$$

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

[σ]_{зм} – допустиме напруження на зминання, МПа; приймаємо [σ]_{зм} = 120 МПа.

Модуль і кількість зубів беруть відповідно до довідників, приймаємо m = 2.

Умова міцності виконується.

5.3 Тепловий розрахунок екструдера

Тепловий баланс черв'ячної машини можна представити як:

$$Q_N + Q_{N1} = G_M C_M (t_k - t_n) + Q_o + Q_{втр} \Rightarrow Q_{N1} = G_M C_M (t_k - t_n) + Q_o + Q_{втр} - Q_N = 3,16 \cdot 10^{-2} \cdot 1000(145 - 20) + 7953,4 + 599,6 - 35100 = -22597 \text{ Вт},$$

де $G_M = \frac{П}{3600} = \frac{113,65}{3600} = 3,16 \cdot 10^{-2} \text{ кг/с}; C_M = 1000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$

1. Потужність, що виділяється при споживанні механічним приводом, Вт

$$Q_N = N_{дв} \eta_1 \eta_2 \eta_3 = 90 \cdot 0,65 \cdot 0,75 \cdot 0,777 = 35,1 \text{ кВт}$$

де η₁ = 0,65; η₂ = 0,75; η₃ = 0,8.

2. Кількість тепла, що відводиться водою, яка охолоджує черв'як

$$Q_o = G_B C_B \Delta t_B = 0,19 \cdot 4186 \cdot 10 = 7953,4 \text{ Вт}$$

де $C_B = 4186 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$; $\Delta t_B = 10 \text{ }^\circ\text{C}$;

$$G_B = f \cdot v \cdot \rho = 94,985 \cdot 10^{-6} \cdot 0,5 \cdot 1000 = 0,19 \text{ кг/с},$$

$$\text{де } f = \frac{\pi d_0^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,022^2}{4} = 379,94 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

3. Втрати тепла в навколишнє середовище

$$Q_{\text{втр}} = Q_{\text{к}} + Q_{\text{випр}} = 432 + 167,6 = 599,6 \text{ Вт},$$

де $Q_{\text{к}}$ – втрати тепла в навколишнє середовище конвекцією:

$$Q_{\text{к}} = \alpha_{\text{к}} F (t_{\text{кож}} - t_{\text{п}}) = 5,4 \cdot 2 \cdot (60 - 20) = 432 \text{ Вт},$$

де $t_{\text{кож}} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{\text{п}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Площа теплообмінної поверхні:

$$F = \pi D_{\text{кож}} L = 3,14 \cdot 0,26 \cdot 2,427 = 2 \text{ м}^2$$

Коефіцієнт тепловіддачі від кожуха черв'ячної машини в навколишнє середовище конвекцією:

$$\alpha_{\text{к}} = Nu \frac{\lambda}{D_{\text{кож}}} = 50,9 \frac{2,76 \cdot 10^{-2}}{0,26} = 5,4 \text{ Вт/}(\text{м}^2\text{К})$$

Значення визначальної температури:

$$t_{\text{в}} = \frac{t_{\text{кож}} + t_{\text{п}}}{2} = \frac{60 + 20}{2} = 40 \text{ }^\circ\text{C}$$

Критерій Грасгофа:

$$Gr = \frac{g D_{\text{кож}}^3 \beta (t_{\text{кож}} - t_{\text{п}})}{\nu^2} = \frac{9,81 \cdot 0,26^3 \cdot 0,0032 (60 - 20)}{(16,96 \cdot 10^{-6})^2} = 7,672 \cdot 10^7,$$

$$\text{де } \beta = \frac{1}{273 + t_{\text{в}}} = \frac{1}{273 + 40} = 0,0032 \text{ К}^{-1}.$$

Коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря за визначальної температури:

$$\nu = 16,96 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Критерій Прандтля:

$$Pr = 0,699$$

Добуток критеріїв Грасгофа та Прандтля:

$$Gr \cdot Pr = 7,672 \cdot 10^7 \cdot 0,699 = 5,362728 \cdot 10^7$$

Для вихрового режиму:

$$Nu = 0,135 (Gr \cdot Pr)^{\frac{1}{3}} = 0,135 (5,362728 \cdot 10^7)^{\frac{1}{3}} = 50,9$$

λ – коефіцієнт теплопровідності повітря за визначальної температури:

$$\lambda = 2,76 \cdot 10^{-2} \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

4. Втрати тепла в навколишнє середовище випромінюванням:

$$Q_{\text{випр}} = 5,67 \cdot \varepsilon F \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] = 5,67 \cdot 0,6 \cdot 1 \left[\left(\frac{333}{100} \right)^4 - \left(\frac{293}{100} \right)^4 \right] = 167,6 \text{ Вт},$$

де $\varepsilon = 0,6$ – ступінь чорноти поверхні кожуха для сталі; $T_1 = 333 \text{ К}$, $T_2 = 293 \text{ К}$.

Оскільки значення кількості тепла, яке необхідно підвести до машини електронагрівачем виявилось від'ємним, можна зробити висновок, що в даному режимі електронагрівачі повинні бути виключені і має бути включена система охолодження корпусу.

5.4 Розрахунок базового корпусу в системі Ansys

1. Обираємо алгоритм Steady-State Thermal [16], переходимо у вікно Geometry та імпортуємо модель корпусу через Import External Geometry File в ANSYS (рис. 5.10 - 5.11).

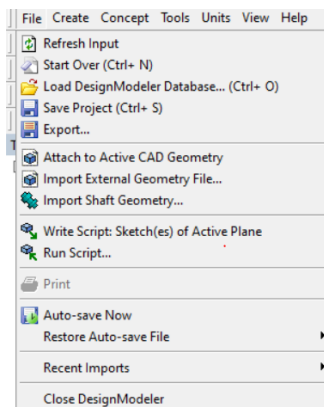


Рисунок 5.10 – Вікно команди для імпортування

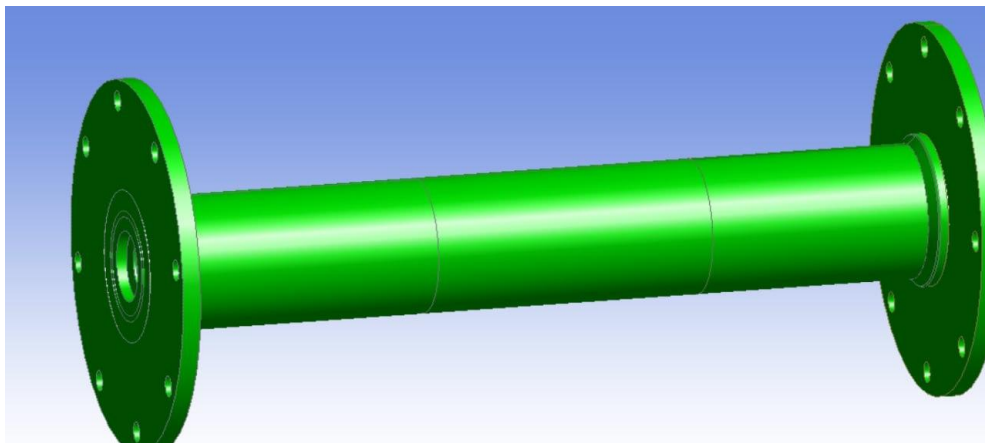


Рисунок 5.11 – Імпортований базовий корпус

2. Розрізаємо корпус на частини для подальших розрахунків. Робимо конструкцію суцільною через Part (рис. 5.12 - 5.13).

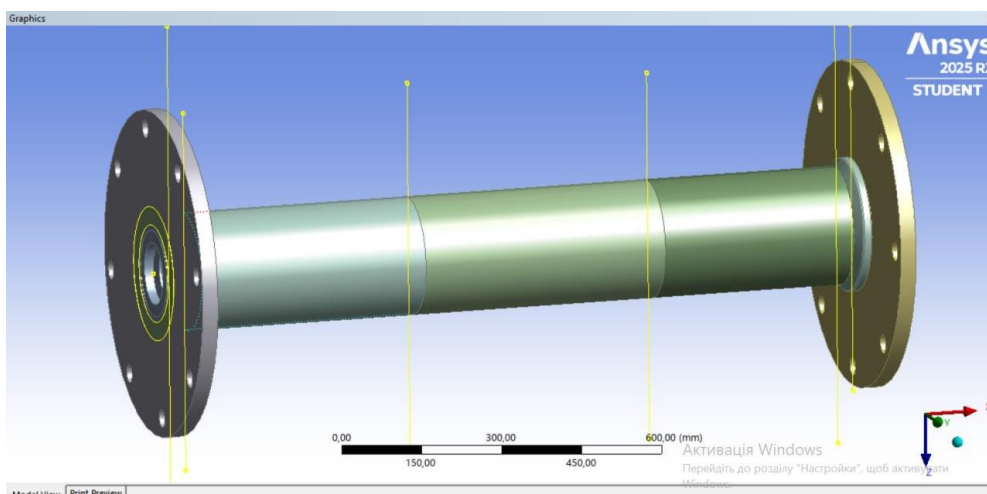


Рисунок 5.12 – Скетч розрізів конструкції

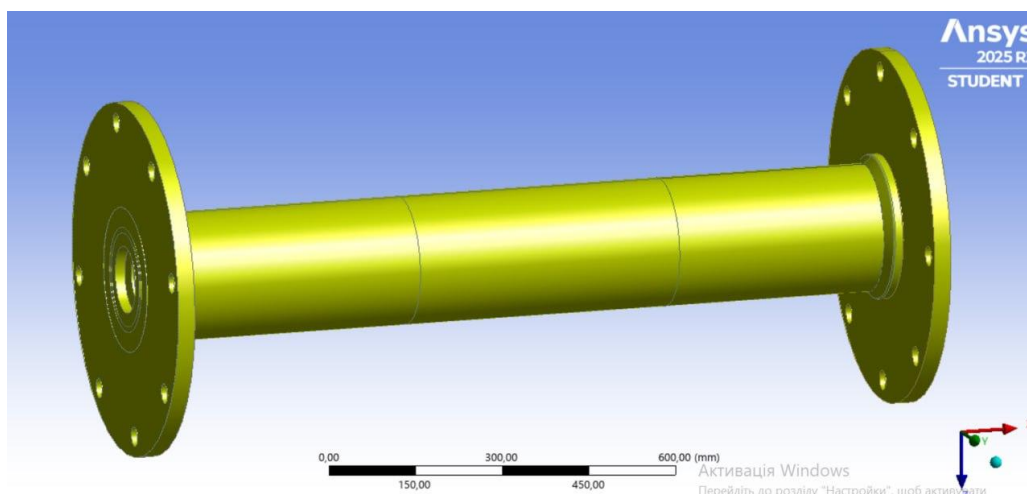


Рисунок 5.13 – Розрізана та об'єднана конструкція

3. Вказуємо матеріали на різні елементи конструкції: фланці – Сталь 45, гільза – Сталь 40ХН2 МА, корпус – 40Х за ГОСТ 4543-71 (виконуємо це за допомогою зміни властивостей матеріалу) (табл. 5.3).

Таблиця 5.3 – Основні параметри сталей

Параметр	Позначення	Значення	Одиниця виміру
Сталь 40ХН2 МА			
Модуль Юнга	E	$2,15 \cdot 10^5$	МПа
Коефіцієнт Пуассона	ν	0,29	-
Границя текучості	σ_T	930	МПа
Сталь 40Х			
Модуль Юнга	E	$2,1 \cdot 10^5$	МПа
Коефіцієнт Пуассона	ν	0,3	-
Границя текучості	σ_T	785	МПа
Сталь 45			
Модуль Юнга	E	$2 \cdot 10^5$	МПа
Коефіцієнт Пуассона	ν	0,28	-
Границя текучості	σ_T	355	МПа

4. Створюємо сітку скінченних елементів [16] (рис. 5.14).

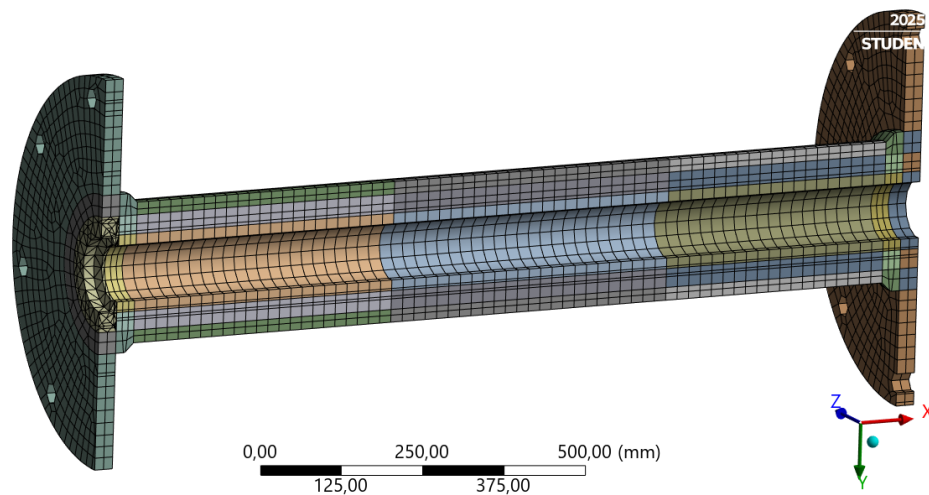


Рисунок 5.14 – Сітка скінченних елементів

5. Виконуємо поступовий (по зонах) розподіл температур на внутрішній поверхні корпусу від 60 до 145°C (згідно довіднику [12]) (рис. 5.15).

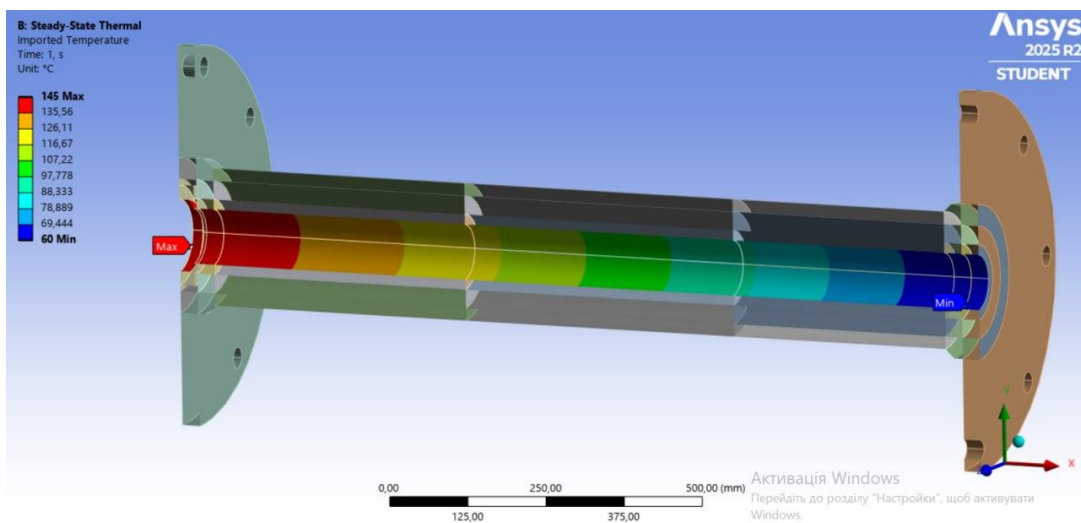


Рисунок 5.15 – Температурний розподіл по внутрішній поверхні

6. Створюємо новий Steady-State Thermal та імпортуємо до нього дані (рис. 5.16).



Рисунок 5.16 – Імпорт даних між алгоритмами

7. Задаємо температуру (від 62 до 147°C) на зовнішній поверхні та переглядаємо розподіл усіх температур. (рис. 5.17 - 5.18).

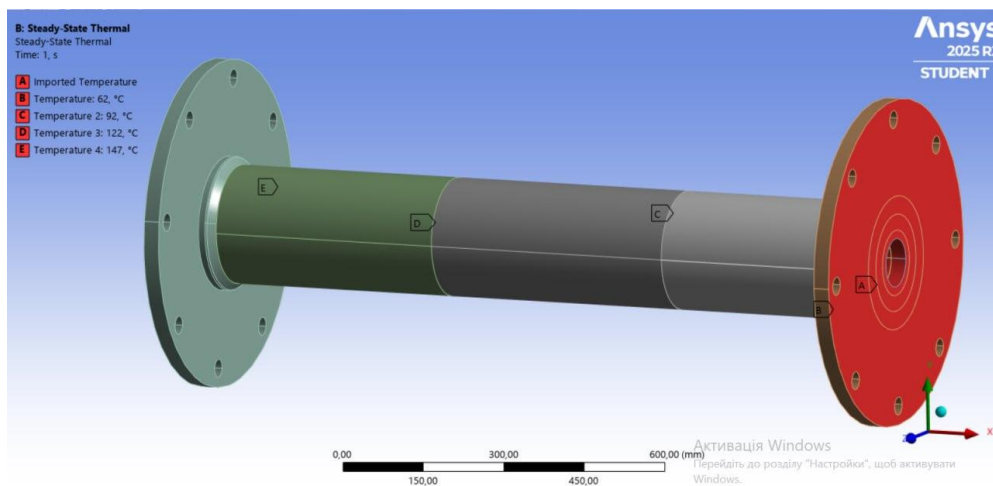


Рисунок 5.17 – Накладання температур по зовнішній поверхні

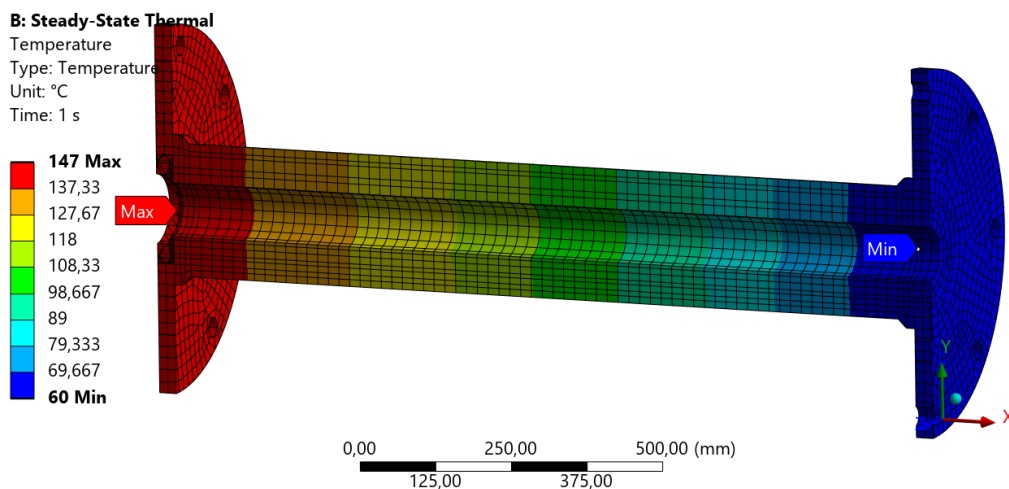


Рисунок 5.18 – Загальний температурний розподіл, °C

8. Проставляємо всі необхідні закріплення (рис. 5.19):

- Displacement (A) – закріплення моделі по осі Y (для відображення дзеркальності конструкції);
- Fixed Support (B) – закріплення по всіх осях;
- Displacement (C) – закріплення по осі X (для імітації з боку екструзійної головки)

Задаємо внутрішній тиск силою 50 МПа [4] для умовного відображення діючих навантажень на поверхню корпусу від матеріалу

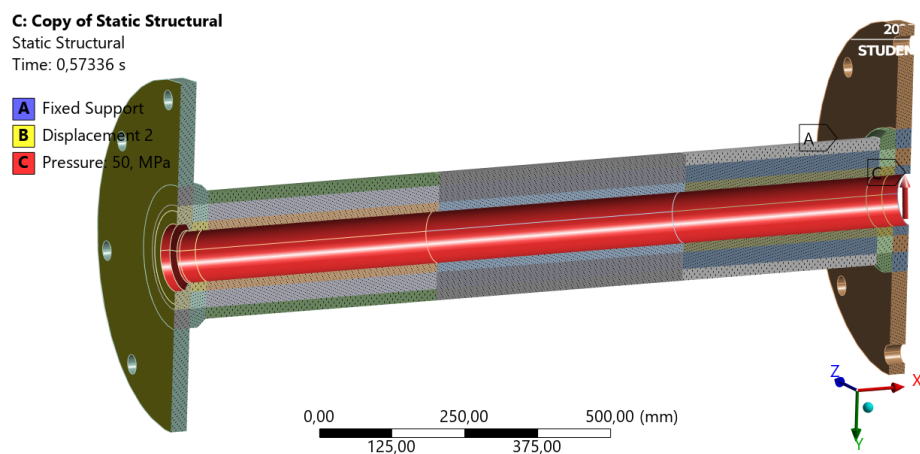


Рисунок 5.19 – Закріплення корпусу

9. Проведемо розрахунки конструкції від тиску та температур, такі як: Загальні переміщення, Еквівалентні напруження, Запас міцності та Еквівалентна пружна деформація (рис. 5.20 - 5.23).

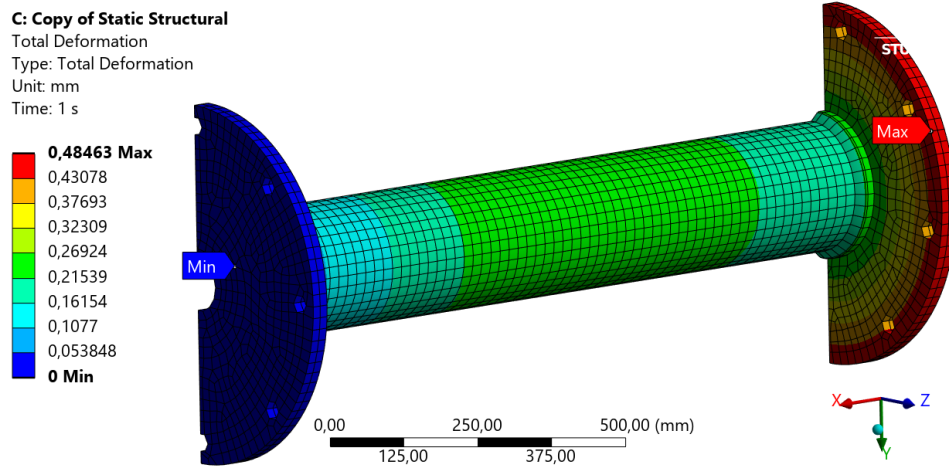


Рисунок 5.20 – Загальні переміщення, мм

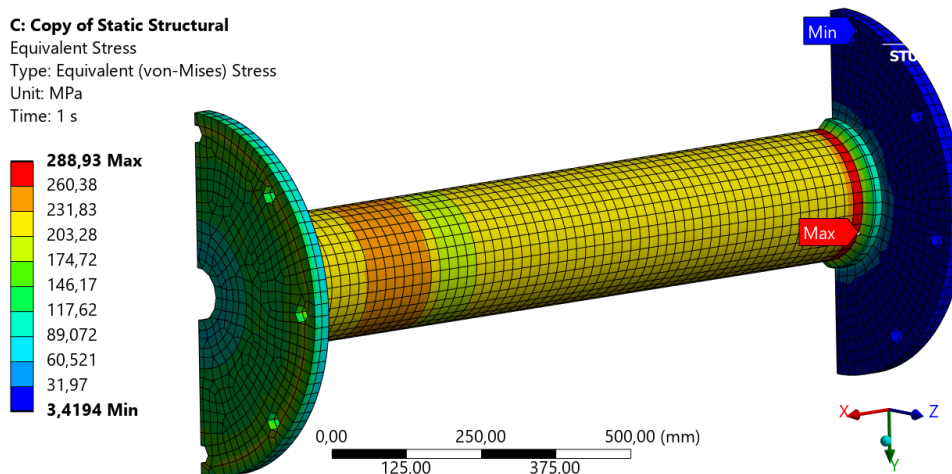


Рисунок 5.21 – Еквівалентні напруження, МПа

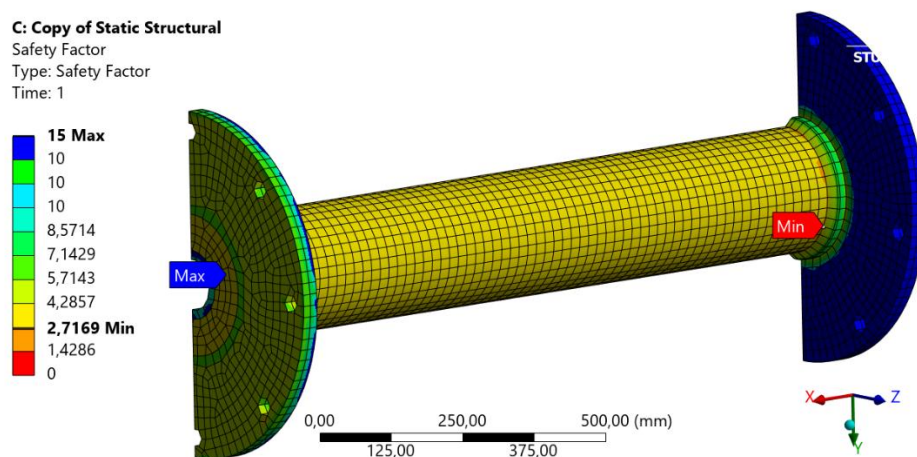


Рисунок 5.22 – Запас міцності

За результатами числового моделювання базового корпусу екструдера встановлено, що конструкція зберігає працездатність за заданих умов експлуатації. У процесі розрахунку було досліджено температурний розподіл у

корпусі при нагріванні внутрішньої поверхні до 145 °С та зовнішньої поверхні до 147 °С, а також визначено напружено-деформований стан конструкції. За результатами розрахунку напружено-деформованого стану базової конструкції корпусу екструдера встановлено, що максимальні еквівалентні напруження за Мізесом становлять $\sigma_{max} = 288,93$ МПа. Границя плинності під час розтягу для конструкції (обраховане значення) складає $\sigma_T = 786$ МПа, а запас міцності конструкції в такому випадку складає

$$n = \sigma_T / \sigma_{max} = 786 / 288,93 \approx 2,72$$

Отримані значення еквівалентних напружень не перевищують допустимих для обраних матеріалів, що свідчить про забезпечення необхідного запасу міцності. Результати моделювання підтвердили можливість безпечної експлуатації корпусу екструдера та доцільність використання прийнятих конструктивних рішень.

5.5 Розрахунок модернізованого корпусу в системі Ansys

1. Обираємо алгоритм Steady-State Thermal, переходимо у вікно Geometry та імпортуємо модель корпусу через Import External Geometry File (рис. 5.23 - 5.25).

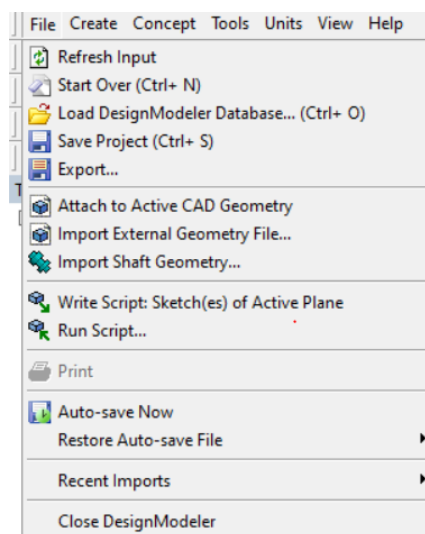


Рисунок 5.23 – Вікно команди для імпортування

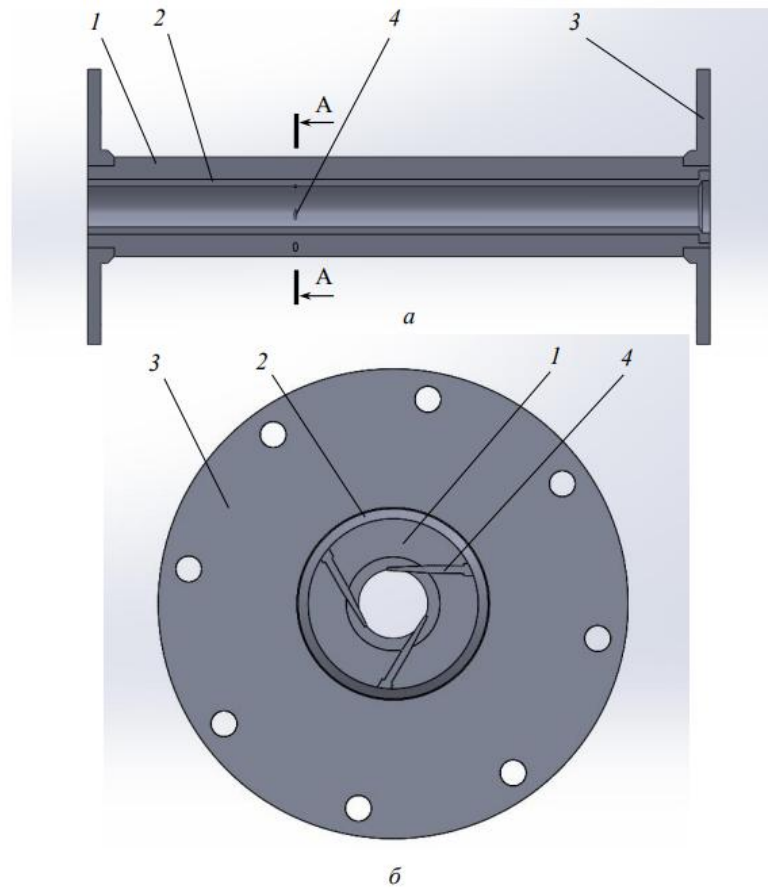


Рисунок 5.24 - Модернізований корпус: а – вид збоку; б – поперечний розріз А-А (по місцю розташування штифтів): 1 – корпус, 2 – гільза, 3 – фланці, 4 – штифти

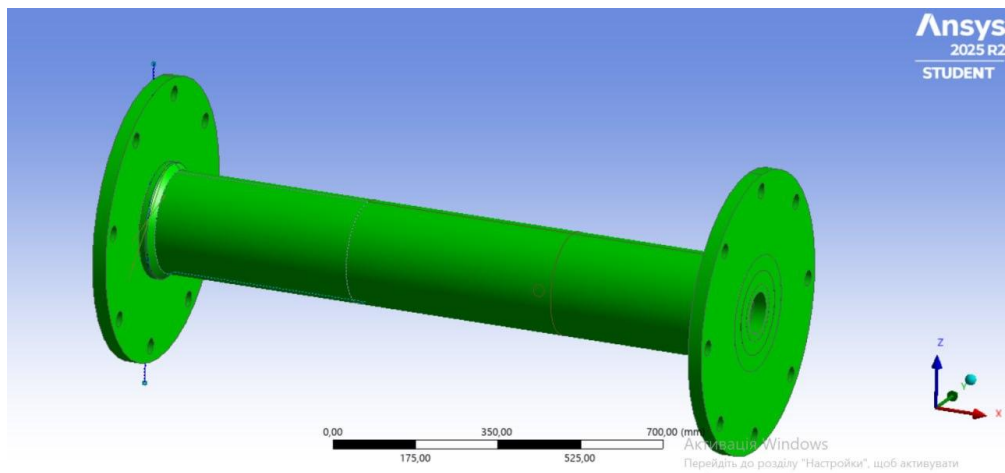


Рисунок 5.25 – Імпортований модернізований корпус

2. Розрізаємо корпус на частини для подальших розрахунків. Робимо конструкцію суцільною через Part (рис. 5.26 - 5.27).

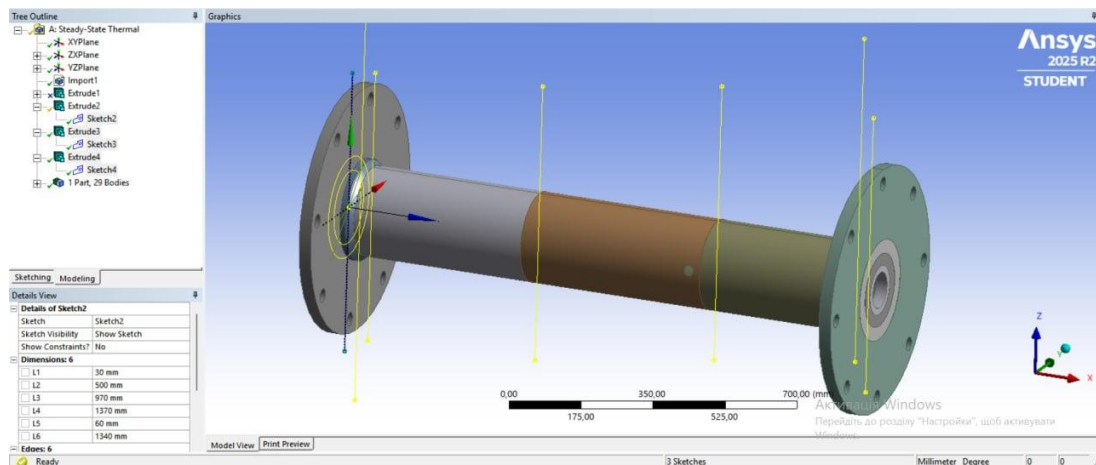


Рисунок 5.26 – Скетч розрізів конструкції

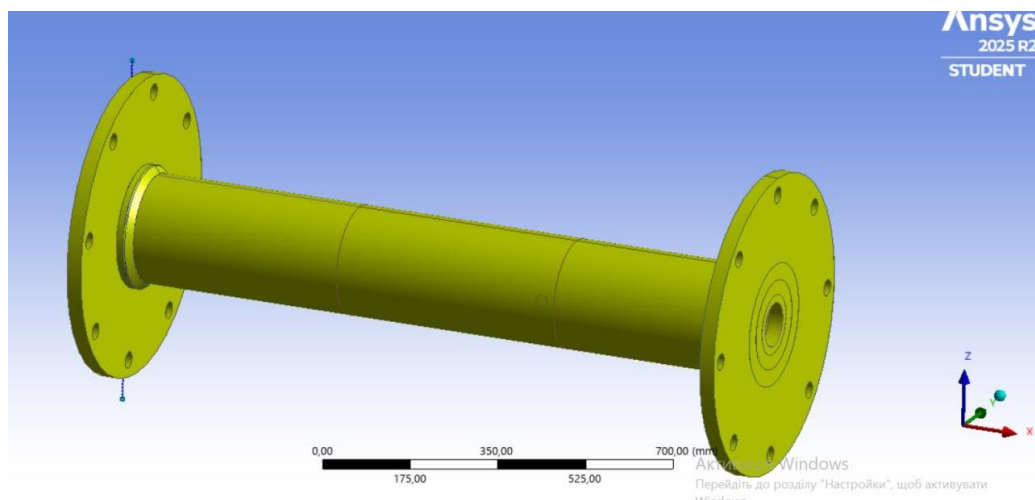


Рисунок 5.27 – Розрізана та об'єднана конструкція

3. Вказуємо матеріали на різні елементи конструкції: фланці – Сталь 45, гільза – Сталь 40ХН2 МА, корпус – 40Х за ГОСТ 4543-71 (виконуємо це за допомогою зміни властивостей матеріалу) (табл. 5.3).

4. Створюємо сітку скінченних елементів [17] (рис. 5.28).

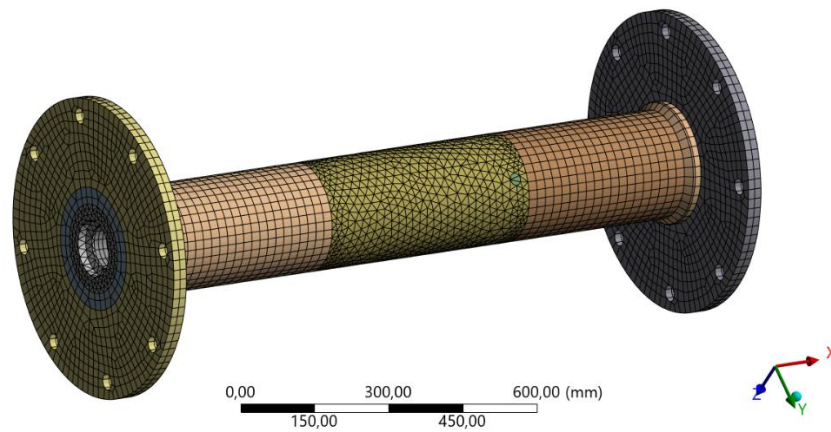


Рисунок 5.28 – Сітка скінченних елементів

5. Виконуємо поступовий (по зонах) розподіл температур на внутрішній поверхні корпуса від 60 до 145°C. (рис. 5.29).

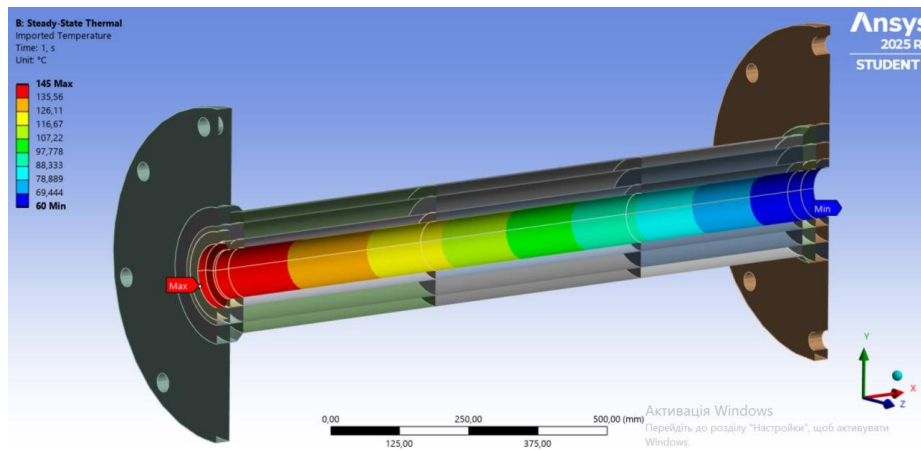


Рисунок 5.29 – Температурний розподіл по внутрішній поверхні

6. Створюємо новий Steady-State Thermal та імпортуємо до нього данні (рис. 5.30).

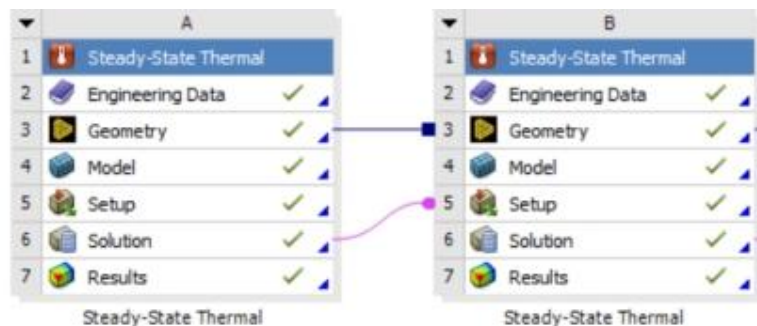


Рисунок 5.30 – Імпорт даних між алгоритмами

7. Задаємо температуру (від 62 до 147 °C) на зовнішній поверхні та переглядаємо розподіл усіх температур. (рис. 5.31 - 5.32).

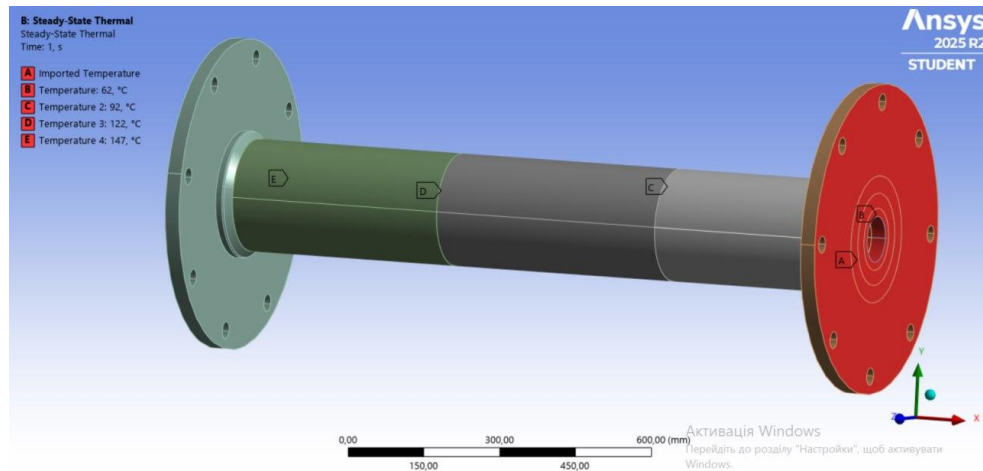


Рисунок 5.31 – Накладання температур по зовнішній поверхні

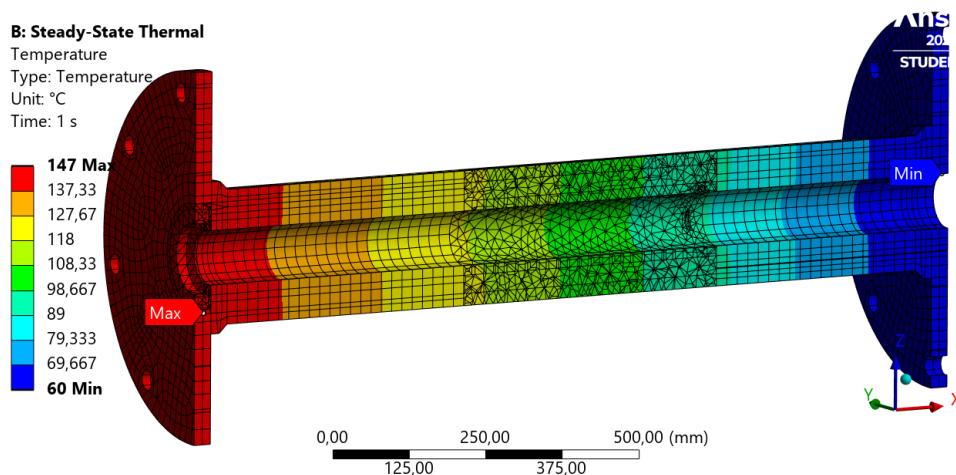


Рисунок 5.32 – Загальний температурний розподіл, °C

8. Проставляємо всі необхідні закріплення (рис. 5.33).

- Displacement (A) – закріплення моделі по осі Y (для відображення дзеркальності конструкції);
- Fixed Support (B) – закріплення по всіх осях;
- Displacement (C) – закріплення по осі X (для імітації з боку екструзійної головки)

Задаємо внутрішній тиск силою 50 МПа [4] для умовного відображення діючих навантажень на поверхню корпусу від матеріала.

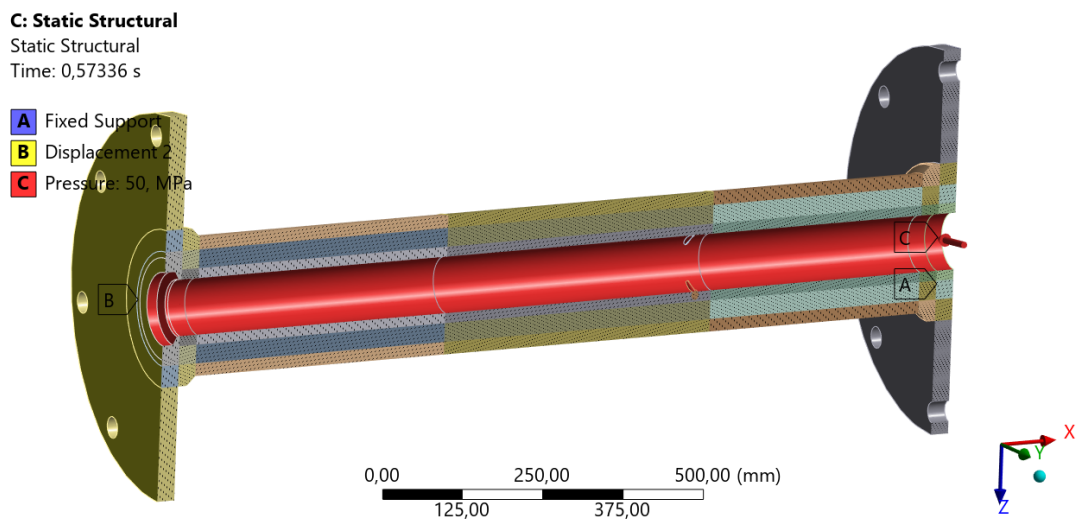


Рисунок 5.33 – Закріплення корпусу

9. Проведемо розрахунки конструкції від тиску та температур, такі як: Загальні переміщення, Еквівалентні напруження, Запас міцності та Еквівалентна пружна деформація (рис. 5.34 - 5.39).

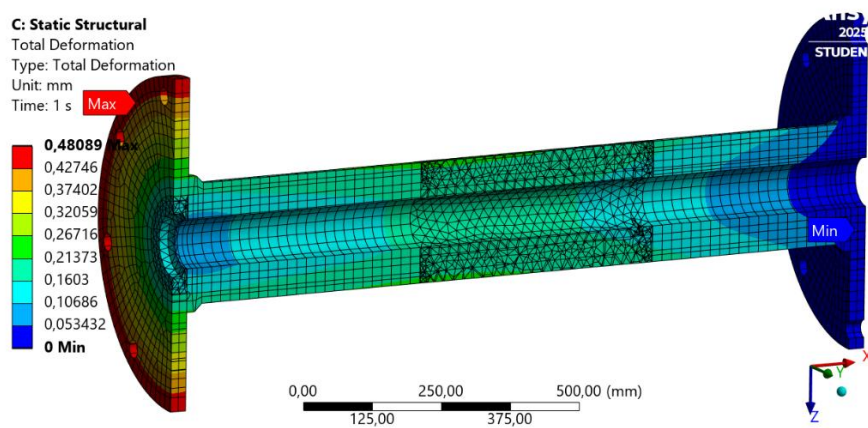


Рисунок 5.34 – Загальні переміщення (поздовжній розріз), мм

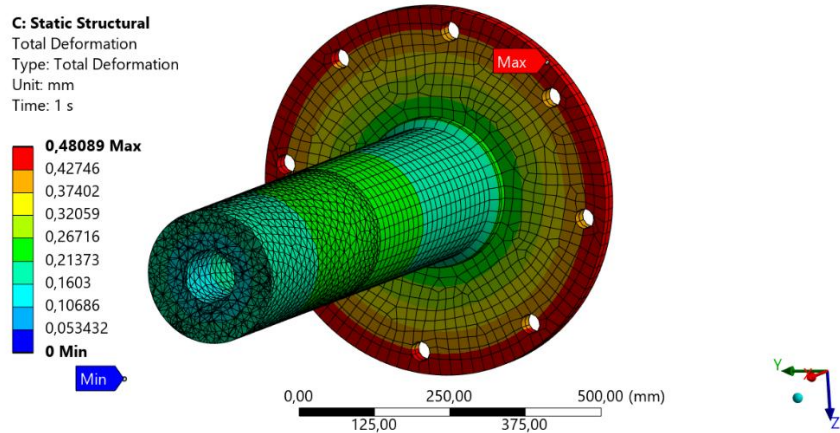


Рисунок 5.35 – Загальні переміщення (поперечний розріз), мм

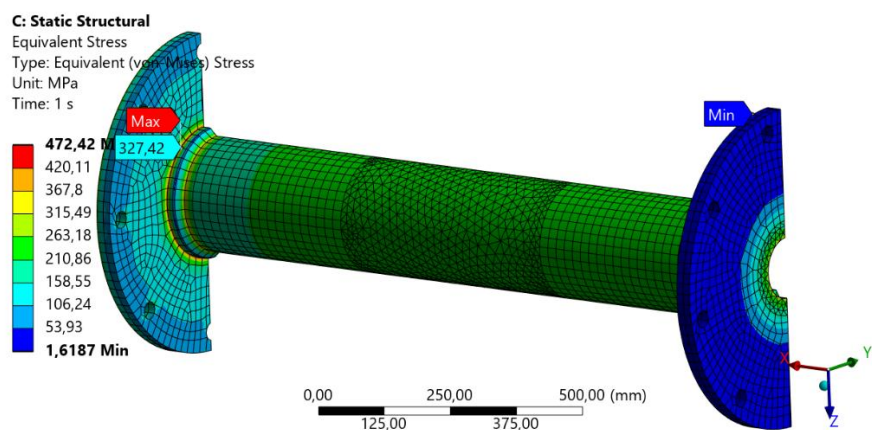


Рисунок 5.36 – Еквівалентні напруження (поздовжній розріз), МПа

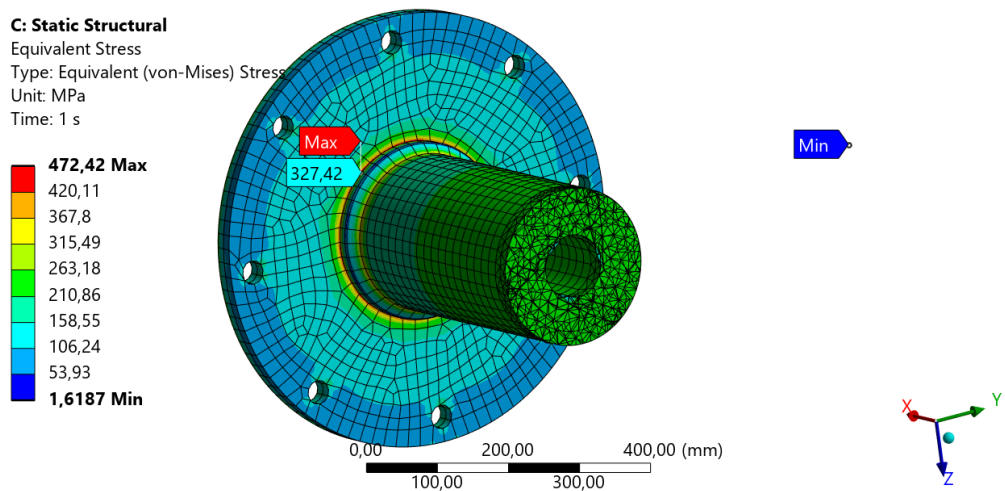


Рисунок 5.37 – Еквівалентні напруження (поперечний розріз), МПа

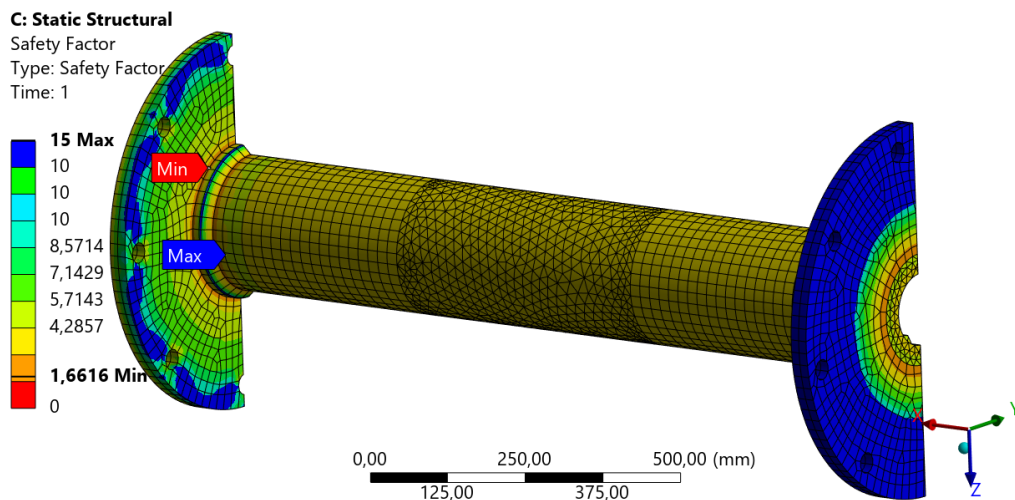


Рисунок 5.38 – Запас міцності (поздовжній розріз)

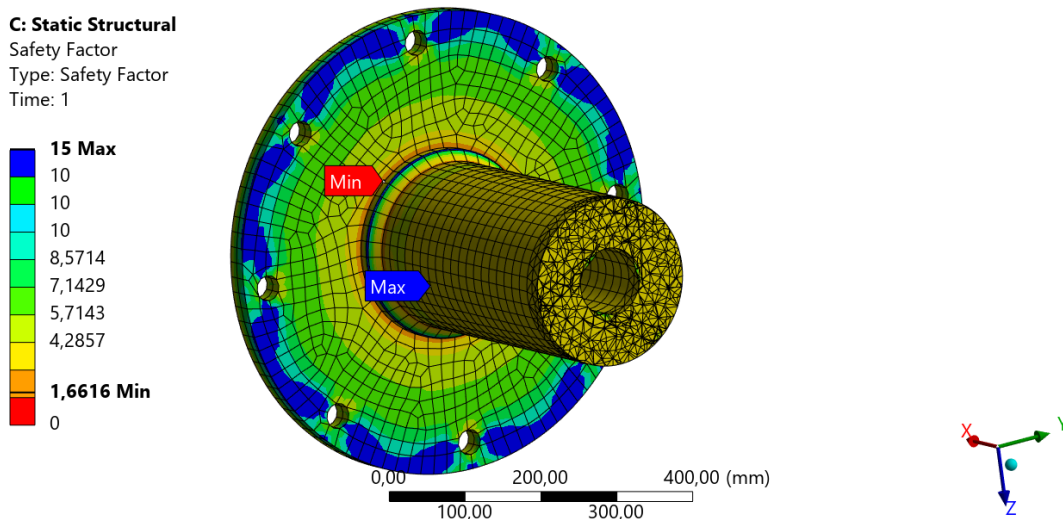


Рисунок 5.39 – Запас міцності (поперечний розріз)

За результатами числового моделювання модернізованого корпусу екструдера встановлено, що конструкція зберігає працездатність за заданих умов експлуатації. У процесі розрахунку було досліджено температурний розподіл у корпусі при нагріванні внутрішньої поверхні до 145 °С та зовнішньої поверхні до 147 °С, а також визначено напружено-деформований стан конструкції. За результатами розрахунку напружено-деформованого стану модернізованої конструкції корпусу екструдера встановлено, що максимальні еквівалентні напруження за Мізесом становлять $\sigma_{max} = 472,42$ МПа. Границя плинності під час

розтягу для конструкції (обраховане значення) складає $\sigma_T = 784$ МПа, а запас міцності конструкції в такому випадку складає

$$n = \sigma_T / \sigma_{max} = 784 / 472,42 \approx 1,66$$

Отримані значення еквівалентних напружень не перевищують допустимих для обраних матеріалів, що свідчить про забезпечення необхідного запасу міцності. Результати моделювання підтвердили можливість безпечної експлуатації корпусу екструдера та доцільність використання прийнятих конструктивних рішень.

5.6 Порівняння результатів розрахунку базового та модернізованого корпусів

За результатами розрахунку напружено-деформованого стану базової та модернізованої конструкцій корпусу екструдера встановлено, що максимальні еквівалентні напруження за Мізесом базової конструкції становлять $\sigma_{max} = 288,9$ МПа. Границя плинності під час розтягу для базової конструкції (обраховане значення) складає $\sigma_T = 786$ МПа, а запас міцності конструкції в такому випадку $n = 2,72$.

В свою чергу максимальні еквівалентні напруження модернізованої конструкції становлять $\sigma_{max} = 472,42$ МПа, границя плинності під час розтягу – $\sigma_T = 784$ МПа а запас міцності – $n = 1,66$. Найбільш навантаженими ділянками є зони переходу від циліндричної частини корпусу до фланців, де спостерігається концентрація напружень, обумовлена зміною геометрії конструкції та особливостями закріплення. Основна частина корпусу, в зоні робочої камери, працює в умовах значно менших напружень. Найменший запас міцності спостерігається в зонах концентрації напружень поблизу фланцевих з'єднань, що відповідає характеру розподілу еквівалентних напружень. На гострому стику фланця у модернізованій конструкції виходять більші напруження. Це обумовлено сингулярністю сітки (на куті під 90°)

Водночас отримане значення перевищує мінімально допустимий рівень $[n] = 1,6$ для даного типу конструкцій, що свідчить про відсутність ризику руйнування за заданих умов навантаження. Аналіз переміщень показав, що максимальне переміщення базової конструкції становить 0,495 мм, а модернізованої – 0,4808. Найбільші переміщення спостерігаються у вільній частині корпусу та фланця, тоді як у зоні закріплення їх значення наближаються до нуля. Отримані результати свідчать про високу жорсткість конструкції, оскільки навіть під дією прикладених навантажень величина переміщень залишається незначною порівняно з габаритними розмірами корпусу.

Результати числового аналізу, виконаного в програмному комплексі ANSYS, свідчать про відповідність модернізованої конструкції корпусу вимогам міцності та жорсткості за заданих умов навантаження. Незважаючи на наявність локальних зон концентрації напружень, їх розташування має обмежений характер і не впливає суттєво на загальну працездатність конструкції. Незначні переміщення свідчать про можливість надійної експлуатації корпусу в умовах тривалої роботи екструдера. Мінімальний коефіцієнт запасу міцності становить 1,66 що свідчить про наявність необхідного резерву міцності для безпечної експлуатації обладнання.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

6.1 Законодавча база та загальна характеристика об'єкта

Дипломний проєкт на тему «Екструдер для виробництва рукавної плівки з модернізацією корпусу» передбачає не лише технічне обґрунтування конструктивних рішень, а й аналіз умов безпечної експлуатації обладнання. Екструзійна лінія належить до виробничих установок безперервної дії, у яких одночасно використовуються електроприводи, нагрівальні елементи, механічні вузли переміщення та розплав полімеру. Тому питання охорони праці є важливою складовою проєктування і подальшої експлуатації обладнання [17].

Метою розділу є визначення основних небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які можуть виникати під час роботи лінії для виготовлення рукавної плівки, а також розроблення заходів щодо зниження їхнього впливу на працівників. Особливу увагу приділено безпеці під час обслуговування екструдера, оскільки саме в його корпусі відбуваються транспортування, ущільнення, нагрівання та плавлення полімерної сировини.

Організація безпечної роботи повинна відповідати вимогам Закону України «Про охорону праці», Кодексу цивільного захисту України, чинних правил пожежної безпеки, санітарних норм виробничого середовища, а також нормативних документів, що регламентують експлуатацію обладнання для перероблення пластмас. До таких документів належать НПАОП 25.0-1.04-13 «Правила охорони праці на підприємствах з виробництва пластмасових виробів», НПАОП 25.0-1.01-12 «Правила охорони праці на об'єктах з переробки пластичних мас» та ДСТУ EN 1114-3:2020 «Машини для перероблення гуми та пластмаси. Екструдери та екструзійні лінії. Вимоги щодо безпеки».

Виробнича лінія розміщується у цеху, площа якого повинна забезпечувати раціональне розташування обладнання, вільний доступ до зон обслуговування, безпечне переміщення персоналу, а також можливість транспортування сировини й готової продукції. Для лінії виробництва рукавної плівки доцільно передбачати приміщення площею приблизно 450-500 м². Така площа дає можливість розмістити екструдер, формувальну головку, охолоджувальний пристрій,

втяжний вузол, механізм складання рукава, намотувальний пристрій, а також зони тимчасового зберігання полімерної сировини та рулонів готової плівки.

До складу технологічної лінії входять пневматичний завантажувач, бункер, екструдер, екструзійна головка, охолоджувальний пристрій, кільцевий бандаж, тягнучі валки, пристрій складання полотна, розрізальний вузол і намотувальний механізм. Робота цих вузлів супроводжується дією підвищених температур, електричного струму, шуму, рухомих частин, а також можливим виділенням продуктів термічного впливу на полімерний матеріал.

6.2 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Організаційні та технічні заходи щодо зниження впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів повинні здійснюватися відповідно до вимог НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці».

Під час експлуатації екструзійної лінії працівники можуть перебувати під впливом різних за характером виробничих факторів. Їх своєчасне виявлення дає можливість правильно організувати робоче місце, підібрати засоби захисту та запобігти аварійним ситуаціям.

До основних небезпечних факторів під час виготовлення рукавної плівки належать:

- підвищена температура поверхонь корпусу екструдера, нагрівальних зон, фільтри та екструзійної головки;
- наявність розплаву полімеру, що рухається під тиском у каналах машини;
- рухомі та обертові частини обладнання - приводи, валки, тягнучі механізми, вузли намотування;
- небезпека ураження електричним струмом під час експлуатації електронагрівачів, приводів і шаф керування;

- підвищений рівень шуму від роботи електродвигунів, редукторів, вентиляторів та допоміжного обладнання;
- можливе виділення парів і продуктів термічного розкладу полімерної сировини;
- пожежна небезпека, пов'язана з використанням електрообладнання, нагрівальних елементів і горючих полімерних матеріалів.

Додатковими факторами є підвищена температура повітря в зоні розташування екструдера, локальні теплові випромінювання, вібрації від приводу та редуктора, а також ризик травмування під час заправлення плівкового рукава у тягнучі валки або при зніманні готових рулонів. У разі порушення технологічного режиму можливе перегрівання полімеру, збільшення тиску в корпусі екструдера або виникнення нестабільного виходу розплаву з головки.

Для зменшення впливу небезпечних факторів необхідно застосовувати комплекс заходів: технічне огороження небезпечних зон, використання блокувальних пристроїв, організацію інструктажів, періодичний контроль справності обладнання, підтримання нормативних параметрів мікроклімату та забезпечення персоналу засобами індивідуального захисту.

6.3 Електробезпека

Експлуатація електрообладнання та проведення електромонтажних робіт повинні відповідати вимогам НПАОП 0.00-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів» [18].

Екструзійна лінія працює від трифазної електричної мережі напругою 380 В та частотою 50 Гц. До електрообладнання належать електродвигун головного приводу, приводи допоміжних механізмів, нагрівальні елементи корпуса і головки, шафи керування, датчики температури, контрольно-вимірювальні прилади та система аварійного відключення.

Виробниче приміщення, у якому встановлено лінію, можна віднести до приміщень з підвищеною небезпекою ураження електричним струмом. Це

пояснюється наявністю металевих корпусів обладнання, значної кількості електроприводів, можливим утворенням пилу полімерної сировини, а також потребою періодичного технічного обслуговування електроапаратури.

Для забезпечення електробезпеки необхідно передбачити такі заходи:

- виконання захисного заземлення металевих частин екструдера, шаф керування та допоміжного обладнання;
- встановлення автоматичних вимикачів, теплових реле та пристроїв захисного відключення;
- ізоляцію струмоведучих частин і недопущення відкритого доступу до них під час роботи;
- застосування кабелів з механічним захистом у місцях можливого пошкодження;
- регулярну перевірку стану електропроводки, контактів, заземлення та електроапаратури;
- розміщення попереджувальних знаків на електричних шафах і зонах підвищеної небезпеки;
- допуск до обслуговування електрообладнання лише працівників, які пройшли навчання та інструктаж.

Ремонт електрообладнання дозволяється проводити тільки після повного знеструмлення відповідної ділянки. Перед початком робіт необхідно переконатися у відсутності напруги, вжити заходів проти випадкового ввімкнення та розмістити попереджувальні таблички. Забороняється виконувати ремонтні роботи на обладнанні, що перебуває під напругою, а також експлуатувати лінію при пошкодженій ізоляції кабелів або несправних захисних пристроїв.

6.4 Пожежна безпека

Організація пожежної безпеки виробничого приміщення повинна відповідати вимогам ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва»

та Правил пожежної безпеки в Україні, затверджених наказом МВС України №1417.

Під час перероблення полімерних матеріалів існує пожежна небезпека, зумовлена наявністю горючої сировини, готової плівки, електрообладнання та нагрівальних елементів. Поліетиленова плівка і гранульована сировина є горючими матеріалами, тому їх зберігання та використання повинні здійснюватися з дотриманням вимог пожежної безпеки.

Основними причинами пожежі можуть бути коротке замикання в електричній мережі, перегрів нагрівальних зон, несправність терморегуляторів, накопичення пилу, порушення правил зберігання полімерної сировини або недотримання вимог під час ремонтних робіт. За пожежною небезпекою виробниче приміщення доцільно віднести до категорії В, оскільки у ньому знаходяться тверді горючі речовини та полімерні матеріали.

Для забезпечення пожежної безпеки цех повинен бути обладнаний:

- порошковими та вуглекислотними вогнегасниками;
- пожежною сигналізацією та системою оповіщення;
- аварійним вимикачем електроживлення;
- планом евакуації персоналу;
- вільними евакуаційними проходами та виходами;
- вентиляцією для видалення диму та продуктів горіння у разі аварійної ситуації.

Для приміщення площею близько 500 м² доцільно передбачити не менше чотирьох порошкових вогнегасників типу ВП-5 та чотирьох вуглекислотних вогнегасників типу ВВК-5. Порошкові вогнегасники використовують для гасіння твердих горючих матеріалів і полімерної сировини, а вуглекислотні - для гасіння електрообладнання без його додаткового пошкодження водою або піною.

Горючі матеріали забороняється розміщувати біля нагрівальних зон екструдера, електричних шаф і кабельних трас. Рулони готової плівки слід

зберігати у спеціально відведеній зоні з дотриманням проходів. Персонал повинен знати порядок дій у разі пожежі, місця розташування вогнегасників та евакуаційні маршрути.

6.5 Захист від дії рухомих механізмів

У процесі роботи екструзійної лінії небезпеку становлять обертові й рухомі елементи: вал електродвигуна, муфта, редуктор, шнек екструдера, тягнучі валки, пристрої складання рукава, різальний механізм і намотувальний вузол. Потрапляння частин одягу, волосся або рук працівника у такі зони може призвести до травмування.

Вимоги безпеки до екструзійних ліній та захисних пристроїв визначаються ДСТУ EN 1114-3:2020 «Машини для перероблення гуми та пластмаси. Екструдери та екструзійні лінії. Вимоги щодо безпеки».

Для запобігання контакту з рухомими частинами необхідно встановлювати захисні кожухи, сітчасті огороження та блокувальні пристрої. Конструкція огорожень повинна унеможливлювати доступ до небезпечних зон під час роботи машини, але водночас забезпечувати можливість проведення технічного огляду після зупинки обладнання.

На робочих місцях необхідно передбачити кнопки аварійної зупинки, розташовані у легкодоступних місцях. Аварійна зупинка повинна забезпечувати швидке відключення основних приводів у разі виникнення небезпечної ситуації, обриву плівкового рукава, потрапляння стороннього предмета у механізм або загрози травмування працівника.

Під час експлуатації забороняється знімати захисні кожухи, очищувати рухомі вузли на ходу, виконувати регулювання валків під час обертання, а також працювати у спецодязі зі звисаючими елементами. Технічне обслуговування, змащування, заміна деталей і налаштування механізмів повинні виконуватися тільки після повної зупинки обладнання.

6.6 Мікроклімат та вентиляція

Параметри мікроклімату повинні відповідати вимогам ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень».

Під час роботи екструдера значна кількість тепла виділяється від нагрівальних зон корпусу, екструзійної головки та розплаву полімеру. Це може призводити до підвищення температури повітря у робочій зоні, особливо при тривалій безперервній роботі обладнання. Крім того, при порушенні температурного режиму можливе утворення парів і летких продуктів термічного впливу на полімер.

Для підтримання нормативних параметрів мікроклімату необхідно передбачити загальнообмінну вентиляцію виробничого приміщення та місцеві витяжні пристрої в зонах можливого виділення тепла і парів. Найбільш доцільним є розміщення місцевих витяжок над екструзійною головкою, зоною нагріву корпусу та ділянкою формування плівкового рукава.

Система вентиляції повинна забезпечувати подачу свіжого повітря, видалення надлишкового тепла та підтримання допустимих параметрів температури, відносної вологості й швидкості руху повітря. Параметри мікроклімату мають відповідати вимогам ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень».

Для зниження впливу шкідливих речовин доцільно проводити регулярне провітрювання приміщення, контролювати температуру нагрівальних зон, не допускати перегріву полімеру та періодично перевіряти ефективність вентиляційної системи. У разі виникнення запаху перегрітого полімеру або задимлення роботу лінії необхідно зупинити і встановити причину порушення технологічного режиму.

6.7 Освітлення робочої зони

Організація освітлення повинна відповідати вимогам ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення».

Освітлення виробничої ділянки повинно забезпечувати безпечне виконання технологічних операцій, контроль стану обладнання, спостереження за формуванням плівкового рукава, перевірку якості намотування та своєчасне виявлення несправностей. Недостатня освітленість підвищує втому працівників і може призвести до помилок під час обслуговування обладнання.

За характером зорової роботи ділянку можна віднести до робіт середньої точності, оскільки персонал здійснює контроль геометрії плівкового рукава, стану полотна, натягу, рівномірності намотування та показників контрольно-вимірювальних приладів. Організація освітлення повинна відповідати вимогам ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення».

У приміщенні доцільно застосовувати комбіновану систему освітлення, яка поєднує природне освітлення через віконні прорізи та штучне освітлення за допомогою світлодіодних світильників. Світильники повинні забезпечувати рівномірне освітлення робочих зон без утворення різких тіней і засліплення працівників.

Особливу увагу необхідно приділяти освітленню зон керування, екструзійної головки, тягнучих валків, різального вузла та намотування готової плівки. У разі аварійного відключення електроенергії повинно передбачатися аварійне освітлення для безпечного припинення роботи та евакуації персоналу.

6.8 Висновок

Аналіз умов експлуатації екструдера для виробництва рукавної плівки показує, що робота обладнання пов'язана з дією комплексу небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Найбільш суттєвими з них є підвищена температура нагрівальних зон і розплаву полімеру, небезпека ураження електричним струмом, рухомі механізми, шум, вібрація, пожежна небезпека та можливе виділення продуктів термічного впливу на полімерну сировину.

Забезпечення безпечних умов праці досягається шляхом застосування захисних огорожень, блокувальних пристроїв, систем аварійної зупинки,

заземлення електрообладнання, справної вентиляції, належного освітлення та засобів індивідуального захисту. Важливу роль відіграють також навчання персоналу, своєчасні інструктажі, профілактичні огляди та дотримання технологічного режиму.

Комплексне виконання зазначених заходів дозволяє знизити ризик виробничого травматизму, запобігти аварійним ситуаціям, забезпечити стабільну роботу екструзійної лінії та створити безпечні умови для працівників, які обслуговують обладнання для виготовлення рукавної плівки.

7 ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ

7.1 Опис і призначення деталі

Корпусні деталі призначені для розміщення в них складальних одиниць і деталей. Вони повинні забезпечувати сталість точності відносного положення деталей і механізмів, як в статичному стані, так і при експлуатації машини, тому володіють достатньою жорсткістю. Корпусні деталі мають основні базують поверхні, як правило, у вигляді площин, якими вони приєднуються до станини та іншим корпусам (рис.7.1). Додатково до корпусним деталям пред'являють вимоги по зносостійкості, мінімальним деформацій при змінній температурі, герметичності, зручності монтажу і демонтажу деталей [19]

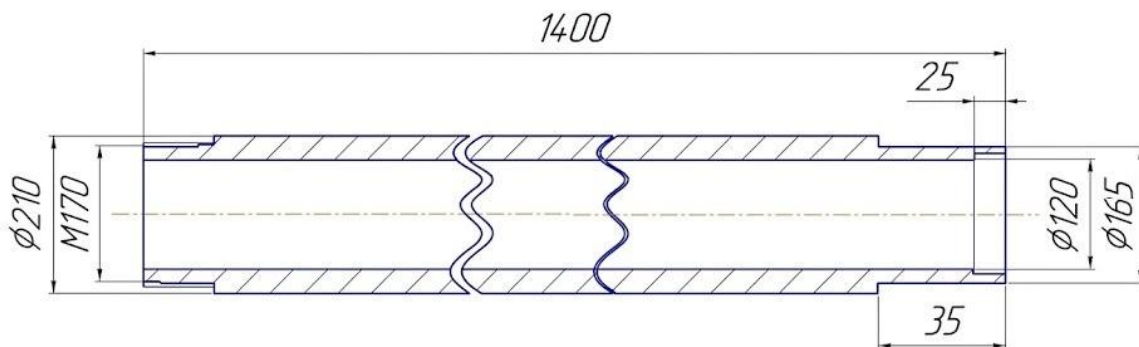


Рисунок 7.1 – Ескіз корпуса черв'яка

Матеріал деталі сталь 40Х (ГОСТ 4543-71)

Як заготовка для виготовлення корпуса черв'яка екструдера використовується товстостінна безшовна труба зі сталі 40ХНМ2А (Рис. 2), яка забезпечує необхідну міцність, жорсткість та стійкість до дії підвищених температур і тисків, характерних для процесу екструзії полімерних матеріалів. Вибір трубної заготовки обумовлений можливістю отримання внутрішнього каналу необхідного діаметра з мінімальними витратами матеріалу та подальшої механічної обробки.

Заготовка виготовляється з технологічними припусками на обробку внутрішньої та зовнішньої поверхонь, торців, фланцевих елементів і посадкових

місць під нагрівальні пристрої. Особливістю модернізованого корпусу є наявність отворів для встановлення внутрішніх змішувальних штифтів, призначених для інтенсифікації процесу перемішування та гомогенізації полімерного розплаву. У зв'язку з цим конструкція заготовки передбачає додатковий запас матеріалу для виконання свердлильних і різьбонарізних операцій, необхідних для монтажу змішувальних елементів.

Застосування такої заготовки забезпечує отримання виробу з високою точністю геометричних параметрів, необхідною якістю робочої поверхні внутрішнього каналу та достатнім запасом міцності для тривалої експлуатації в умовах циклічних термомеханічних навантажень.

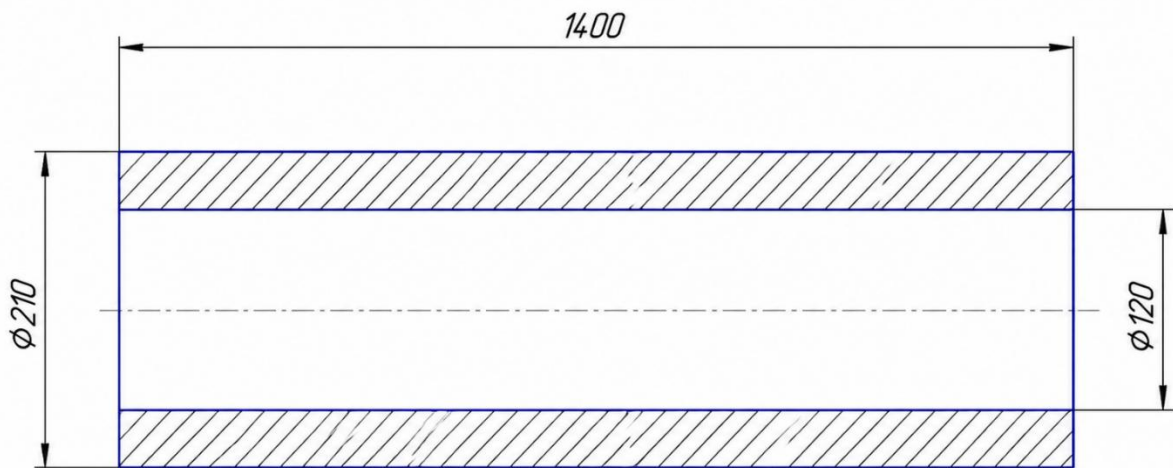


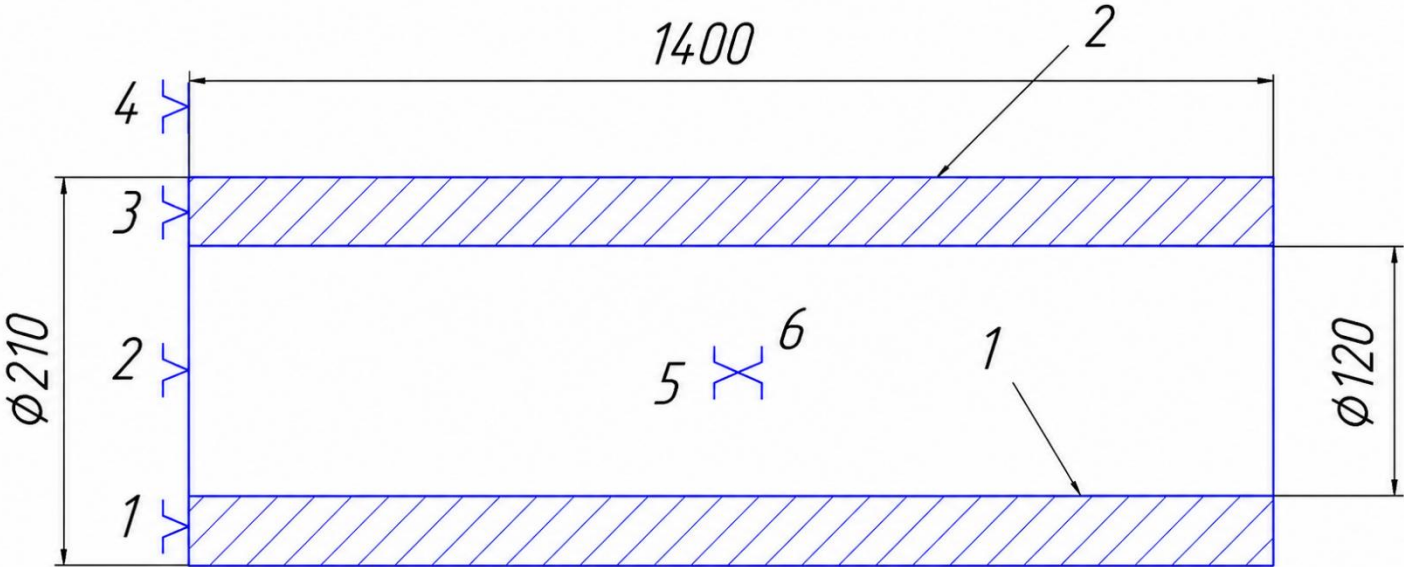
Рисунок 7.2 - Заготовка корпусу

7.2 Розробка технологічного процесу виготовлення деталі

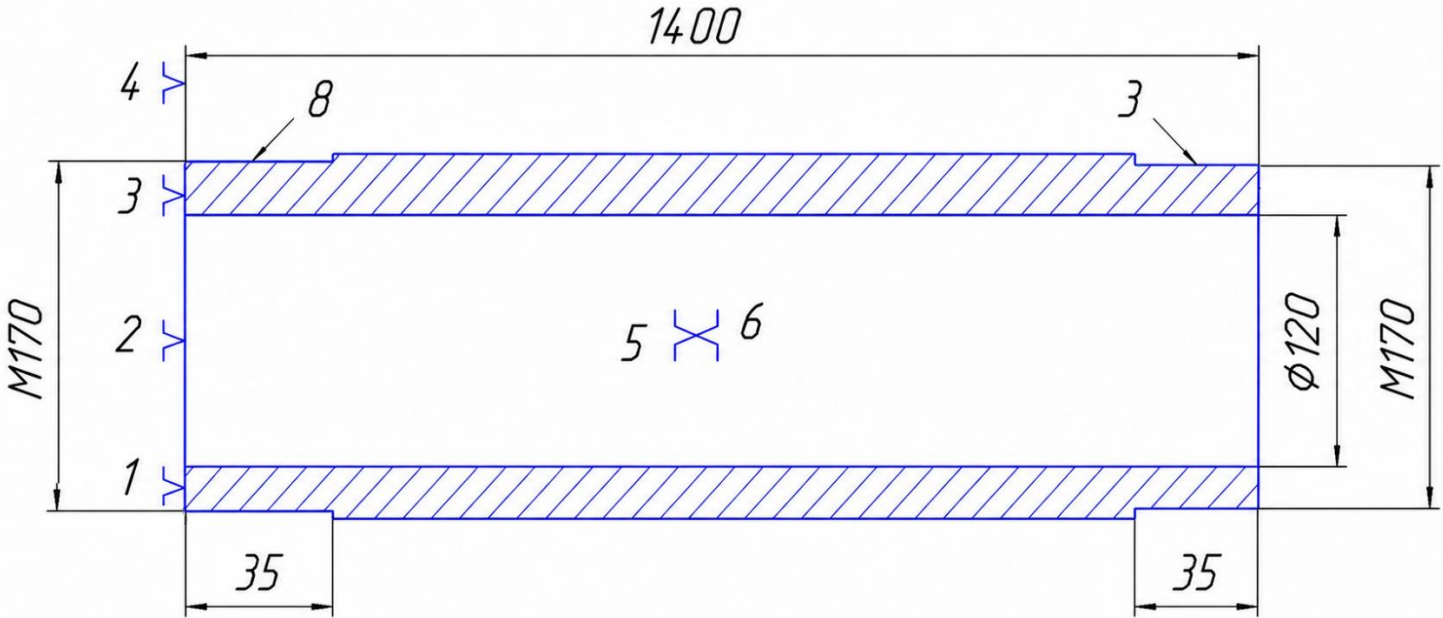
Розроблений технологічний процес виготовлення корпусу черв'яка екструдера включає заготівельні, токарні, свердлильні, розточувальні, фрезерні та контрольні операції. Обробка деталі здійснюється з товстостінної трубної заготовки шляхом послідовного формування внутрішнього каналу, зовнішніх циліндричних поверхонь, торців та фланцевих елементів. Особлива увага приділяється виконанню отворів під внутрішні змішувальні штифти, які є основним елементом модернізації конструкції та забезпечують інтенсифікацію процесу перемішування полімерного розплаву.

Для досягнення необхідної точності геометричних параметрів і якості поверхонь використовуються операції чистового розточування та остаточної механічної обробки. Детальний опис послідовності виконання технологічних операцій, застосовуваного обладнання, інструменту та режимів різання наведено в МК, КЕ та ОК.

Дубл.															
Взамін.															
Підпис										Зм	Ар	№ док.	Підпис	Дата	
Розробив	Шапран Д.Р.			КПІ імені Ігоря Сікорського						005					
Перевірів	Борщик С.О.														
Н.контр.				Корпус черв'яка екструдера									Н		

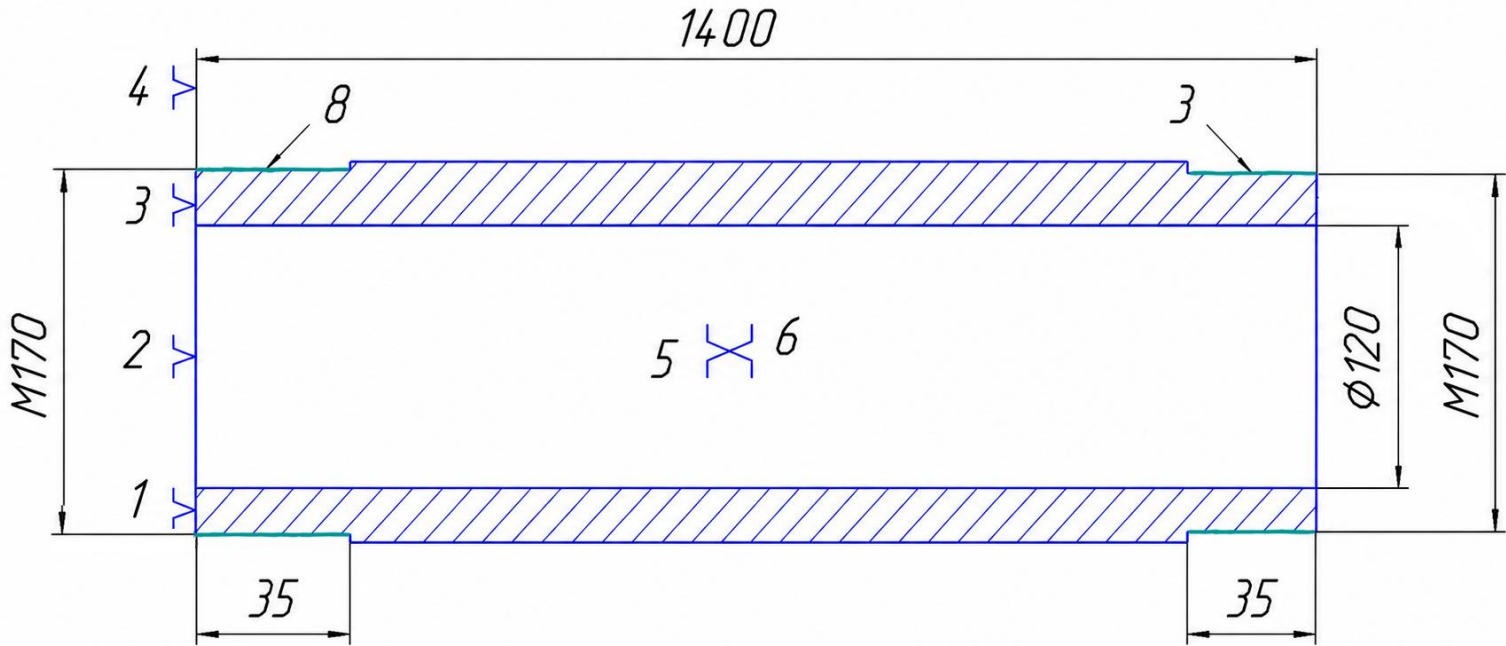


Дубл.															
Взамін.															
Підпис									Зм	Ар	№ док.	Підпис	Дата		
Розробив	Шапран Д.Р.			КПІ імені Ігоря Сікорського				010							
Перевірів	Борщик С.О.														
Н.контр.				Корпус черв'яка екструдера									Н		



КЕ	Обробка різанням												
----	------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Дубл.															
Взамін.															
Підпис										Зм	Ар	№ док.	Підпис	Дата	
Розробив	Шапран Д.Р.			КПІ імені Ігоря Сікорського						015					
Перевірів	Борщик С.О.														
Н.контр.				Корпус черв'яка екструдера									Н		



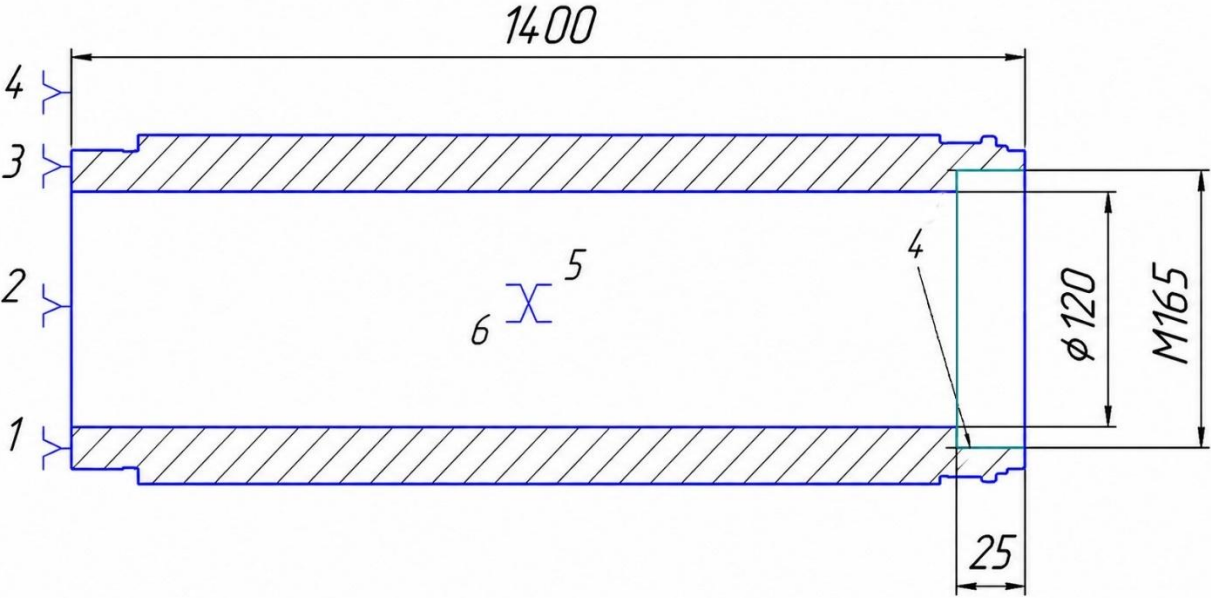
КЕ	Обробка різанням													
----	------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Дубл.			
Взамін.			
Підпис			

--	--	--	--	--

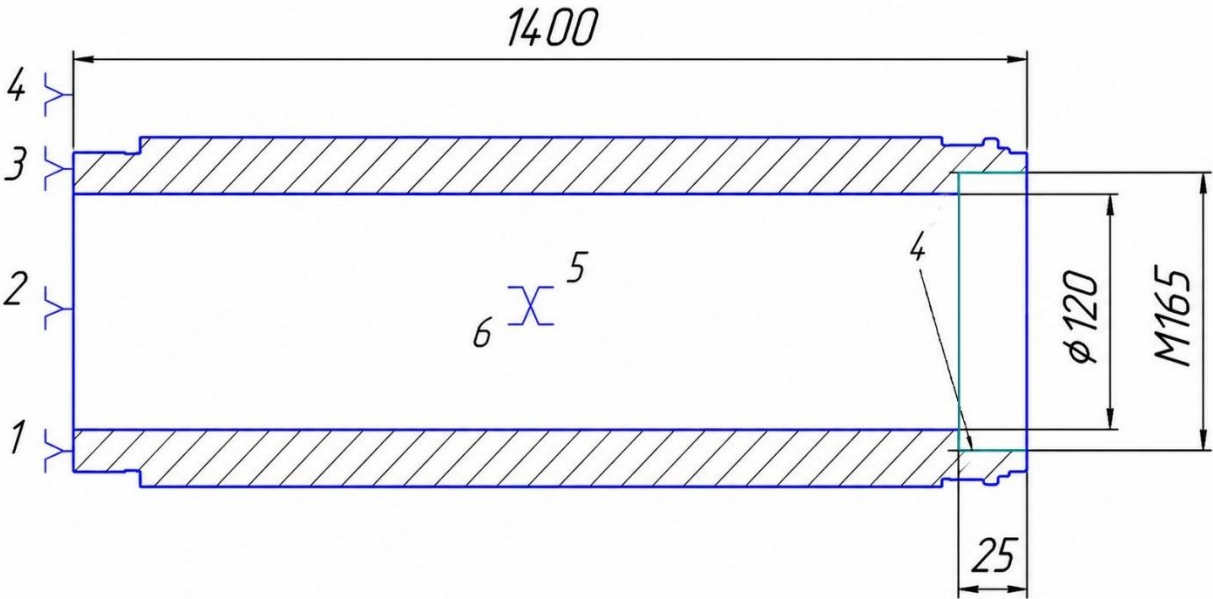
Зм	Ар	№ док.	Підпис	Дата

Розробив	Шапран Д.Р.			КПІ імені Ігоря Сікорського		020					
Перевірів	Борщик С.О.										
				Корпус черв'яка екструдера					Н		
Н.контр.											



КЕ	Обробка різанням								
----	------------------	--	--	--	--	--	--	--	--

Дубл.																
Взамін.																
Підпис										Зм	Ар	Недок.	Підпис	Дата		
Розробив	Шапран Д.Р.			КПІ імені Ігоря Сікорського				025								
Перевірів	Борищук С.О.															
Н.контр.				Корпус черв'яка екструдера										Н		



КЕ	Обробка різанням													
----	------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Дубл.														
Взамін.														
Підпис									Зм	Ар	№ док.	Підпис	Дата	

Розробив	Шапран Д.Р.			КПІ імені Ігоря Сікорського					
Перевіри	Борщик С.О.								
Н.контр.				Корпус черв'яка екструдера			Н		005-010

				Назва операції		Матеріал					
				Токарна		Сталь 40Х ГОСТ 4543-71					
				Твердість	ОВ	МД	Профіль і розміри		МЗ	Коод	
					кє	50					
				Обладнання, пристрій ЧПК				Позначення програми			
				Токарний верстат 16К20							
То	Тд	Тп.з	Тшт.	МОР							
				Емульсія							

Р		ПН	D або B	L	t	i	s	n	v
P01	1. Встановлення заготовки								
T02	2. Точити поверхню 1,2 начорно та начисто								
O3	3. Підрізування торця								
O04	4. Зняти деталь								
T05									
OK	Обробка різанням								

Дубл.														
Взамін.														
Підпис										Зм	Ар	Недок.	Підпис	Дата

Розробив	Шапран Д.Р.			КПІ імені Ігоря Сікорського					
Перевіри	Борщук С.О.								
Н.контр.				Корпус черв'яка екструдера			Н		015

	Назва операції				Матеріал			
	Токарно-гвинторізна				Сталь 40Х ГОСТ 4543-71			
	Твердість	ОВ	МД	Профіль і розміри		МЗ		Коод
		кг	50					
	Обладнання, пристрій ЧПК				Позначення програми			
	Токарно-гвинторізний верстат 16К20							
	То	Тд	Тп.з	Тшт.	МОР			
				Емульсія				

Р		ПН	D або B	L	t	i	s	n	v
P01	1. Встановлення заготовки.								
T02	2. Розточування поверхонь 8,3								
O03	3. Нарізування різьби на поверхнях 8,3								
O04	4. Зняти деталь								
T05									
OK	Обробка різанням								

Дубл.																			
Взамін.																			
Підпис																			
										Зм	Ар	№ док.	Підпис	Дата					
Розробив	Шапран Д.Р.																		
Перевіри	Борщук С.О.																		
Н.контр.				Корпус черв'яка екструдера												Н		020	
				Назва операції						Матеріал									
				Токарна						Сталь 40Х ГОСТ 4543-71									
				Твердість		ОВ		МД		Профіль і розміри				МЗ		Коод			
						кє		50											
				Обладнання, пристрій ЧПК						Позначення програми									
				Токарний верстат 16К20															
				То		Тд		Тп.з		Тшт.		МОР							
												Емульсія							

Р		ПН	D або B	L	t	i	s	n	v
P01	1. Встановлення заготовки								
T02	2. Розточування поверхні 4								
O3	3. Обробка поверхні 4. Підрізування торця								
O04									
T05									
OK	Обробка різанням								

Дубл.													
Взамін.													
Підпис									Зм	Ар	Недок.	Підпис	Дата

Розробив	Шапран Д.Р.			КПІ імені Ігоря Сікорського					
Перевіри	Борщик С.О.								
Н.контр.				Корпус черв'яка екструдера			Н		025

	Назва операції				Матеріал			
	Шліфувальна				Сталь 40Х ГОСТ 4543-71В			
	Твердість	ОВ	МД	Профіль і розміри		МЗ		Коод
		кє	50					
	Обладнання, пристрій ЧПК				Позначення програми			
	Круглошліфувальний верстат 3У10В							
	То	Тд	Тп.з	Тшт.	МОР			
				Емульсія				

Р		ПН	D або B	L	t	i	s	n	v
P01	1. Шліфувати поверхню 4 до розміру Ø165H7								
T02									
O3									
O04									
T05									
OK	Обробка різанням								

7.3 Призначення пристосування для обробки деталі

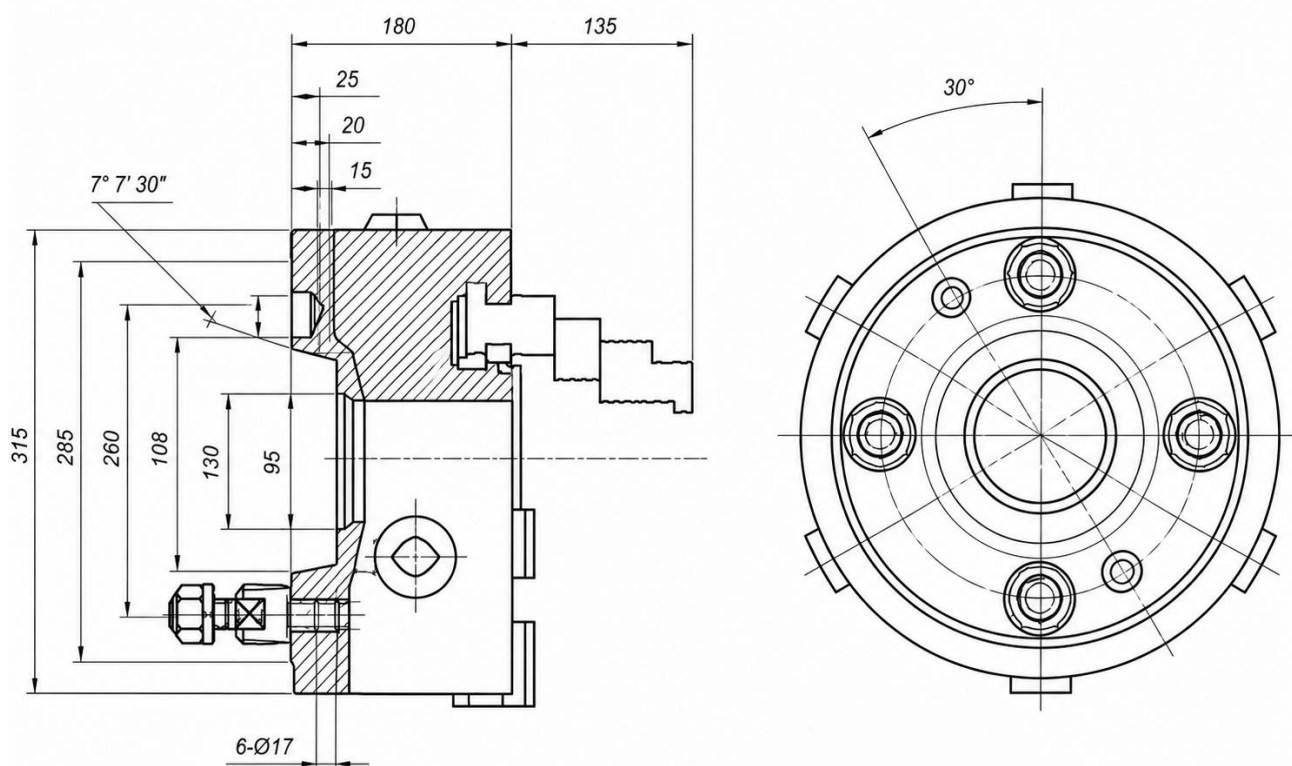


Рисунок 7.3 - Трьохкулачковий самоцентрувальний патрон

Під час виготовлення корпусу черв'яка екструдера для закріплення заготовки використовується трьохкулачковий самоцентрувальний патрон. Дане пристосування забезпечує надійну фіксацію заготовки та її точне базування відносно осі обертання шпинделя верстата, що є необхідною умовою для отримання заданих геометричних параметрів деталі.

Принцип роботи патрона ґрунтується на одночасному радіальному переміщенні трьох кулачків, які приводяться в рух спільним механізмом. Завдяки цьому досягається автоматичне центрування заготовки, що дозволяє мінімізувати похибки встановлення та підвищити точність виконання технологічних операцій. Крім того, конструкція патрона забезпечує швидке встановлення і зняття заготовки, що сприяє зменшенню допоміжного часу та підвищенню ефективності виробничого процесу [20].

У процесі механічної обробки корпусу черв'яка екструдера патрон використовується для закріплення трубної заготовки під час виконання токарних операцій. На даному етапі здійснюється підрізання торців, обробка зовнішньої поверхні, розточування внутрішнього каналу, а також формування конструктивних елементів, передбачених кресленням деталі. Для модернізованої конструкції корпусу додатково створюються умови для подальшого виконання отворів під встановлення внутрішніх змішувальних штифтів.

Надійна фіксація заготовки в патроні забезпечує стабільність процесу різання, знижує вплив вібрацій та запобігає зміщенню деталі під дією сил різання. Це позитивно впливає на точність розмірів, якість оброблених поверхонь і дозволяє отримати корпус, що відповідає вимогам конструкторської документації та умовам подальшої експлуатації екструдера.

ВИСНОВКИ

У ході виконання дипломного проєкта розглянуто конструкцію одночерв'ячного екструдера для виробництва рукавної плівки з поліетилену низької густини та проаналізовано особливості його роботи в складі технологічної лінії.

На основі літературного та патентного аналізу досліджено сучасні напрями вдосконалення корпусів екструдерів. Встановлено, що одним із перспективних способів підвищення ефективності процесу екструзії є інтенсифікація перемішування полімерного розплаву без суттєвого ускладнення конструкції обладнання.

У результаті аналізу запропоновано модернізацію корпусу екструдера шляхом встановлення конічних змішувальних штифтів, розташованих у стінці циліндра з виходом у робочий канал. Запропоноване технічне рішення забезпечує покращення гомогенізації полімерного розплаву та сприяє підвищенню стабільності процесу екструзії.

Виконано параметричні, теплові та міцнісні розрахунки базової конструкції екструдера. Проведено числове моделювання базового та модернізованого корпусів у програмному комплексі ANSYS. Коефіцієнт запасу міцності модернізованого корпусу вийшов $n=1,6138$. Отримані результати показали, що модернізований корпус зберігає необхідний рівень міцності та жорсткості за робочих навантажень, а запас міцності конструкції є достатнім для безпечної експлуатації.

У технологічному розділі розроблено маршрутний та операційний технологічні процеси виготовлення корпусу екструдера, обрано необхідне обладнання, різальний інструмент та технологічне оснащення для виконання механічної обробки деталі.

У розділі охорони праці проаналізовано небезпечні та шкідливі виробничі фактори, характерні для експлуатації екструзійного обладнання, та запропоновано комплекс заходів щодо забезпечення безпечних умов праці.

За результатами виконаної роботи подана заявка на патент на корисну модель, зроблено дві доповіді на всеукраїнській конференції і опубліковані тези.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Мікульонюк І.О. Технологія перероблення полімерів : підруч. 5-те вид., переробл. та доповн. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. – 314 с. Доступ: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/74268>
2. Витвицький В. М., Мікульонюк І. О. Моделювання процесу живлення черв'ячного екструдера полімерною сировиною. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 136 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/41177>
3. Екструзійне обладнання : навч. посіб. / В. І. Сівецький, О. Л. Сокольський, Д. Г. Швачко. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. 144 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/73944>
4. Мікульонюк І. О. Механічні та гідромеханічні процеси, апарати і машини хімічної технології: Навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 175 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/66408>
5. Пат. US6705752B2 США, МПК B29B 7/42. Single screw extruder / Eberhard Grünschloss ; заявник і патентовласник Krauss-Maffei Kunststofftechnik GmbH. – № 10/081,282 ; заявл. 22.02.2002 ; опубл. 16.03.2004.
6. Пат. US4678339A США, МПК B29F 3/01, B29F 3/02. Screw extruder / Herbert Peiffer, Horst Eberhardt ; заявник і патентовласник Hoechst Aktiengesellschaft. – № 765,720 ; заявл. 15.08.1985 ; опубл. 07.07.1987.
7. Пат. US4838734A США, МПК E02B 13/00, E02F 5/10. Method and device for forming a fluid permeation control layer of the ground / Shlomo Pinto ; заявник і патентовласник Shlomo Pinto. – № 49,550 ; заявл. 14.05.1987 ; опубл. 13.06.1989.
8. Пат. US5221292A США, МПК B01D 53/30, B01D 46/02, B01D 50/02. Air cleaning system for vehicle passenger compartment / Masutoshi Aoyama ; заявник і патентовласник Kansei Corporation. – № 827,461 ; заявл. 29.01.1992 ; опубл. 22.06.1993.
9. Пат. CN204036802U Китай, МПК B29C 47/38 (2006.01), B29C 47/62 (2006.01), B29C 47/66 (2006.01), B29C 47/76 (2006.01). 带螺纹机筒的单螺杆塑料挤出机 (Одношнековий пластмасовий екструдер із різьбовим циліндром) / Wang Ligang ;

заявник і патентовласник Wang Ligang. – № 201420532565.X ; заявл. 17.09.2014 ; опубл. 24.12.2014.

10. Шнековий прес: заявка u202601851 Україна: МПК (2026.01) B29C 48/685; заявл. 31.03.26.

11. Мікульонок І. О. Інноваційні змішувачі хімічної технології. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 132 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/49568>

12. Мікульонок І. О. Технологічні основи перероблення полімерних матеріалів : навч. посіб. 3-тє вид., переробл. та доповн. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. 296 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/68766>

13. 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>

14. Електродвигун 90 кВт 1500 об/хв AIP250M4 / ПК СИСТЕМАКС. URL: https://xn--80aqy.com.ua/uk/katalog_elektrodivguniv_air/air-250m4-90-kvt-1500-ob-hv/

15. Сталь 40XH2MA URL: <https://metalukraine.com.ua/ua/p2533536909-krug-22mm-stal.html>

16. Розв'язок задач проектування приладів та систем з використанням ANSYS і MATHCAD : підручник / І. А. Гришанова, Л. П. Згуровська, Ю. В. Киричук. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2022. 180 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/50333>

17. Охорона праці та цивільний захист. Конспект лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра / Ю. О. Полукаров, Н. А. Праховнік, О. В. Землянська. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 306 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/57134>

18. Основи охорони праці [Електронне видання] : підручник / К. Н. Ткачук, В. В. Зацарний, О. І. Полукаров [та ін.]. – Київ : Основа, 2015. – 456 с. URL: <https://ela.kpi.ua/items/5743a5fa-271b-494b-a431-f90ded4981fd>

19. Добрянський С. С., Малафєєв Ю. М. Технологічні основи машинобудування [Електронний ресурс] : навч. посіб. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 302 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/32136>

20. Довідник технолога-машинобудівника. У 2 т. Т. 1 / за ред. А. М. Дальського, А. В. Косілової, Р. К. Мещерякова. – Київ : Техніка, 2001. – 928 с.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А ТАБЛИЦЯ РОЗГЛЯНУТИХ ПАТЕНТІВ

Таблиця А.1 – Розглянуті патенти під час патентного пошуку

№ п.п.	Предмет пошуку	№ свідоцтва, МПК, країна, автор	Сутність заявки, технічного рішення і ціль його створення
1	Корпус екструдера	Патент US6705752B2 МПК B29B 7/42 США Eberhard Grünschloss	Корпус одночерв'ячного екструдера, у внутрішній поверхні якого в зоні подачі виконані поздовжні канавки. Канавки збільшують силу зчеплення між гранулами полімеру та поверхнею циліндра, зменшують проковзування матеріалу та забезпечують його більш стабільне транспортування до зони плавлення. Технічне рішення спрямоване на підвищення продуктивності екструдера, покращення рівномірності подачі сировини та стабілізацію технологічного процесу екструзії.
2	Корпус екструдера	Патент US4678339A МПК B29F 3/01; B29F 3/02 США	Корпус екструдера оснащений внутрішніми змішувальними елементами, розташованими безпосередньо у робочому каналі. Під час проходження розплаву ці елементи створюють додаткові зсувні деформації та локальні потоки, що інтенсифікують процес гомогенізації матеріалу. Метою розробки є підвищення однорідності

№ п.п.	Предмет пошуку	№ свідоцтва, МПК, країна, автор	Сутність заявки, технічного рішення і ціль його створення
		Herbert Peiffer Horst Eberhardt Wulf Ulw	полімерного розплаву, покращення якості готової продукції та зменшення ймовірності виникнення дефектів.
3	Корпус екструдера	Патент US4838734A МПК E02B 13/00; E02F 5/10 США Shlomo Pinto	Конструкція передбачає використання змінної внутрішньої втулки, яка утворює робочу поверхню каналу корпусу. Після зношування втулка може бути замінена без необхідності виготовлення нового корпусу. Запропоноване рішення спрямоване на підвищення ремонтпридатності обладнання, зниження експлуатаційних витрат та збільшення ресурсу роботи екструдера.
4	Корпус екструдера	Патент US5221292A МПК B01D 53/30 B01D 46/02 B01D 50/02 США Masutoshi Aoyama	Корпус обладнано охолоджувальною сорочкою для підтримання заданого температурного режиму по всій довжині робочого каналу. Рівномірне відведення тепла забезпечує стабільні умови плавлення та транспортування полімеру. Ціллю створення є покращення температурної стабільності процесу екструзії та підвищення якості виробів з полімерних матеріалів.

№ п.п.	Предмет пошуку	№ свідоцтва, МПК, країна, автор	Сутність заявки, технічного рішення і ціль його створення
5	Корпус екструдера	Патент CN204036802U МПК В29С 47/38 (2006.01); В29С 47/62 (2006.01); В29С 47/66 (2006.01); В29С 47/76 (2006.01) Китай Wang Ligang	На внутрішній поверхні корпуса виконані спіральні канавки, які сприяють додатковому переміщенню та перемішуванню полімерного матеріалу. Наявність канавок підвищує ефективність пластикації, покращує тепломасообмін та забезпечує більш інтенсивну підготовку розплаву до формування виробу. Рішення спрямоване на підвищення продуктивності та якості процесу екструзії.
6	Корпус екструдера	Заявка № u202601851 МПК В29С 48/505 (2026.01); В29С 48/685; заявл. 31.03.26. Україна Мікульонюк І.О., Витвицький В.М., Шапран Д.Р., Швець Д.А.	Шнековий прес містить корпус із отворами для встановлення штифтів, робочі ділянки яких виконані конічними та виступають у внутрішній канал. Під час проходження полімерного розплаву штифти створюють додаткові деформації зсуву та локальні потоки, що інтенсифікують процес змішування і диспергування компонентів. Конічна форма дозволяє зменшити застійні зони та гідравлічний опір у порівнянні з циліндричними елементами. Метою

№ п.п.	Предмет пошуку	№ свідоцтва, МПК, країна, автор	Сутність заявки, технічного рішення і ціль його створення
			розробки є підвищення однорідності розплаву, покращення якості готової продукції та зниження енергоємності процесу екструзії.

ДОДАТОК Б
СПЕЦИФІКАЦІЇ ВУЗЛІВ ЕКСТРУДЕРА

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
				Документація		
A1			ЛП22.077245.000-70ТС	Лінія для виробництва рукавної плівки з модернізацією корпусу		
				Складальні одиниці		
		1	ЛП22.177245.000.01-70ТС	Пневмозавантажувач	1	
		2	ЛП22.177245.000.02-70ТС	Бункер	1	
		3	ЛП22.177245.000.03-70ТС	Модернізований екструдер для виробництва рукавної плівки	1	
		4	ЛП22.177245.000.04-70ТС	Формуюча головка	1	
		5	ЛП22.177245.000.05-70ТС	Охолоджувальний пристрій	1	
		6	ЛП22.177245.000.06-70ТС	Кільцевий бандаж	1	
		7	ЛП22.177245.000.07-70ТС	Рукав плівки	1	
		8	ЛП22.177245.000.08-70ТС	Щоки	2	
		9	ЛП22.177245.000.09-70ТС	Тягнучий пристрій	1	
		10	ЛП22.177245.000.10-70ТС	Полотно плівки	1	
		11	ЛП22.177245.000.11-70ТС	Ширительно-центровочний валок	1	
		12	ЛП22.177245.000.12-70ТС	Різальний пристрій	1	
		13	ЛП22.177245.000.13-70ТС	Намоточник	1	
				ЛП22.177246.02-70СП		
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата		
Розроб.	Шапран					
Перев.	Витвицький					
Н.Конт.						
Затв.	Сокольський					
					Ліній.	
					Аркуш	
					Аркушів	
					1	
					КПІ ім. Ігоря Сікорського	

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка	
				Документація			
A1			ЛП22.177242.001-70 СК	Екструдер для виробництва рукавної плівки з модернізацією корпусу			
				Складальні одиниці			
		1	ЛП22.177242001.01-70 СК	Рама			
		2	ЛП22.177242001.02-70 СК	Кожух корпусу			
		3	ЛП22.177242001.03-70 СК	Бункер			
		4	ЛП22.177242001.04-70 СК	Система охолодження			
		5	ЛП22.177242001.05-70 СК	Корпус			
				Деталі			
		6	ЛП22.177241.001.06-70	Черв'як			
		7	ЛП22.177241.001.07-70	Втулка			
		8	ЛП22.177241.001.08-70	Плита несуча			
				Стандартні вироби			
		9		Болт фундаментний М20х300			
				ДСТУ EN 15048-2:2024	6		
				ЛП22.177246.03-70 СП			
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Шапран						
Перев.	Витвицький						
Н.Конт.							
Затв.	Сокольський						
Екструдер для виробництва рукавної плівки з модернізацією корпусу					Літ.	Аркуш	Аркушів
						1	2
					КПІ ім. Ігоря Сікорського		

[illegible]

[illegible]

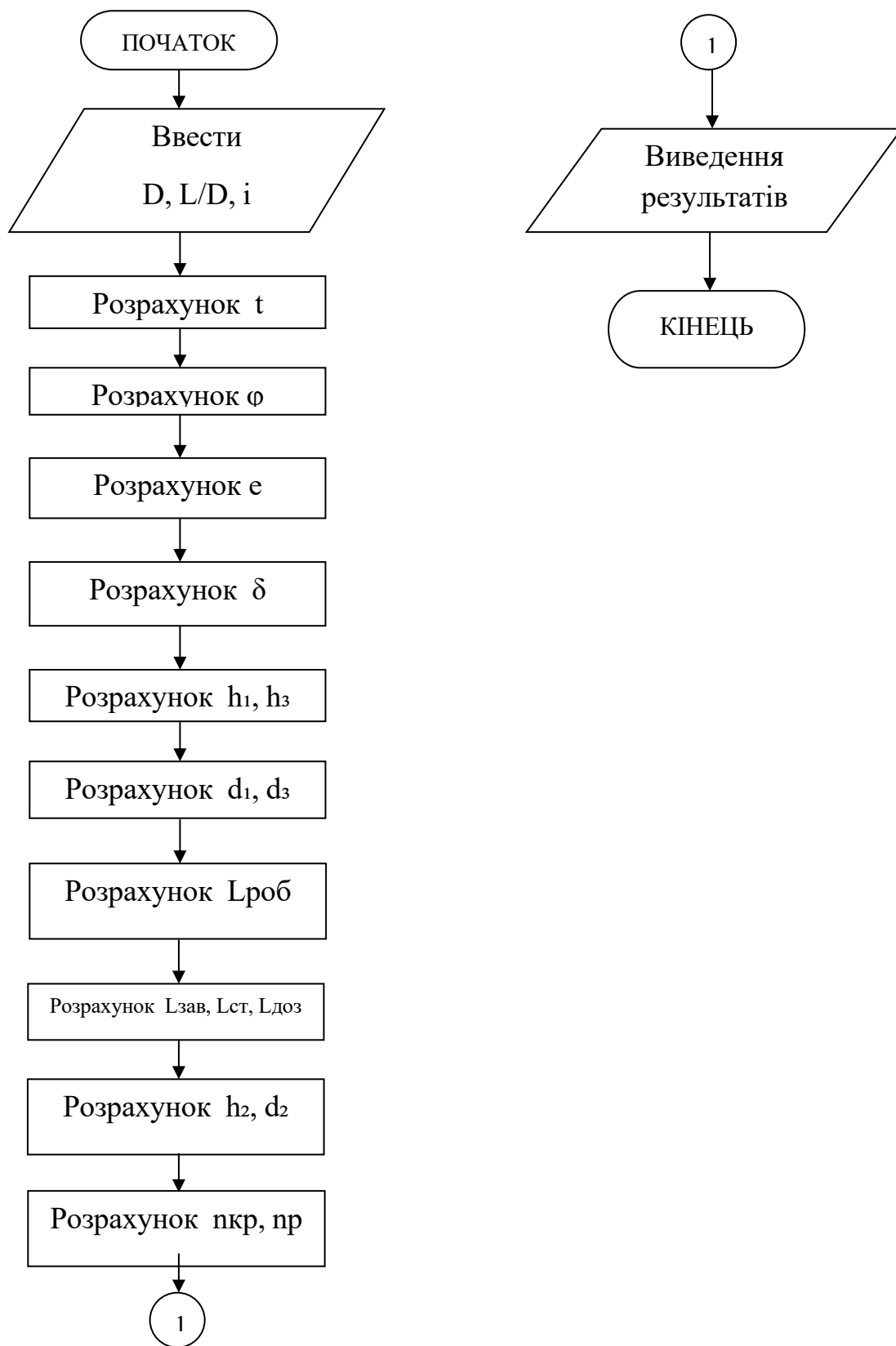
[illegible]

ДОДАТОК В1 ТЕКСТ ПРОГРАМИ

(програма складена на мові програмування C++)

```
#include <iostream>
#include <cmath>
#include <iomanip>
using namespace std;
int main()
{
    const double PI = 3.141592653589793;
    double D = 90.0;
    double LD = 25.0;
    double i = 4.0;
    double t = 1.0 * D;
    double phi = atan(t / (PI * D)) * 180.0 / PI;
    double e = 0.1 * D;
    double delta = 0.0024 * D;
    double h1 = 0.13 * D;
    double h3 = 0.5 * (D - sqrt(D * D - (4.0 * h1 / i) * (D - h1)));
    double d1 = D - 2.0 * h1;
    double d3 = D - 2.0 * h3;
    double Lrob = LD * D;
    double Lzav = 0.3 * Lrob;
    double Lst = 0.27 * Lrob;
    double Ldoz = Lrob - Lzav - Lst;
    double Lev = 90.0;
    double Lcil = 87.0;
    double L = Lrob + Lev + Lcil;
    double h2 = h1 - ((h1 - h3) / L) * (L - Lst);
    double d2 = D - 2.0 * h2;
    double D_m = D / 1000.0;
    double n_kr = 42.2 / (60.0 * sqrt(D_m));
    double n_p = 0.5 * n_kr;
    cout << fixed << setprecision(2);
    cout << "t = " << t << endl;
    cout << "phi = " << phi << endl;
    cout << "e = " << e << endl;
    cout << "delta = " << delta << endl;
    cout << "h1 = " << h1 << endl;
    cout << "h2 = " << h2 << endl;
    cout << "h3 = " << h3 << endl;
    cout << "d1 = " << d1 << endl;
    cout << "d2 = " << d2 << endl;
    cout << "d3 = " << d3 << endl;
    cout << "Lrob = " << Lrob << endl;
    cout << "Lzav = " << Lzav << endl;
    cout << "Lst = " << Lst << endl;
    cout << "Ldoz = " << Ldoz << endl;
    cout << "L = " << L << endl;
    cout << "n_kr = " << n_kr << endl;
    cout << "n_p = " << n_p << endl;
    return 0;
}
```

ДОДАТОК В2 СХЕМА АЛГОРИТМУ ПРОГРАМИ



ДОДАТОК В3 ТАБЛИЦЯ ІДЕНТИФІКАТОРІВ

Позначення в тексті	Позначення в програмі	Значення	Розмірність
D	D	90	мм
L/D	LD	25	-
i	i	4	-
t	t	Розраховується	мм
φ	phi	Розраховується	град
e	e	Розраховується	мм
δ	delta	Розраховується	мм
h ₁	h1	Розраховується	мм
h ₂	h2	Розраховується	мм
h ₃	h3	Розраховується	мм
d ₁	d1	Розраховується	мм
d ₂	d2	Розраховується	мм
d ₃	d3	Розраховується	мм
L _{роб}	Lrob	Розраховується	мм
L _{зав}	Lzav	Розраховується	мм
L _{ст}	Lst	Розраховується	мм
L _{доз}	Ldoz	Розраховується	мм
L	L	Розраховується	мм
n _{кр}	nKr	Розраховується	c ⁻¹
n _p	nP	Розраховується	c ⁻¹

ДОДАТОК Г ТЕЗИ

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

Дослідження напружено-деформованого стану корпусу екструдера

Шапран Д.Р., студ., Швець Д.А., студ., Витвицький В.М., PhD, ас., Мікульонок І.О., д.т.н., проф.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Проведено дослідження напружено-деформованого стану корпусу екструдера з використанням програмного комплексу ANSYS.

Ключові слова: черв'ячний екструдер, корпус, проектування, моделювання.

Вступ. Корпус екструдера є одним із основних елементів конструкції, що забезпечує необхідні умови для транспортування, ущільнення та плавлення полімерного матеріалу. Саме в його межах розташовуються основні робочі вузли, а також підтримуються температурні та силові параметри, необхідні для стабільного перебігу процесу екструзії [1].

Зростання вимог до продуктивності та довговічності обладнання обумовлює необхідність удосконалення конструкції корпусів екструдерів. Основними напрямками їх модернізації є підвищення їхніх зносостійкості, механічної міцності та ефективності теплообміну. Конструктивне виконання корпусу визначається особливостями перероблюваного полімеру та технологічними умовами виробництва, що забезпечує можливість застосування екструдерів для виготовлення різноманітної полімерної продукції. Удосконалення конструкції корпусів сприяє підвищенню надійності роботи обладнання, зменшенню експлуатаційних витрат і покращенню техніко-економічних показників виробництва [2–4].

Основна частина. Для порівняльної оцінки двох різних конструкцій корпусу екструдера, а саме базової та модернізованої за заявкою [5], у програмному забезпеченні SolidWorks було спроектовано 3D-модель базового корпусу, яку далі було завантажено до CAE-системи ANSYS Workbench для проведення числового розрахунку методом скінченних елементів.

Для оцінки міцності корпусу проведено числовий розрахунок за таких умов:

- довжина корпусу 1400 мм, зовнішній діаметр 225 мм, внутрішній діаметр (під черв'як) 90 мм;
- жорстке закріплення у місцях монтажного кріплення фланців корпусу до опорної конструкції;
- до внутрішніх поверхонь корпусу прикладено тиск величиною 50 МПа, який імітує тиск матеріалу під час роботи екструдера і є достатнім навантаженням для більшості реальних випадків та підходить для тесту моделі корпусу на міцність [4];
- температурний градієнт уздовж осі від 60 до 145 °С по внутрішній поверхні і 62 до 147 °С по зовнішній поверхні як термосилове навантаження;
- фізико-механічні властивості задавались різні, залежно від матеріалу виготовлення окремих складових деталей конструкції корпусу: корпус – сталь 40X, гільза – сталь 40XH2M2, фланці – сталь 45, з відповідними границями пластичності під час розтягу $\sigma_T = 980, 1080$ і 600 МПа.

Було виконане числове моделювання, а саме перевірка на міцність базової моделі корпусу екструдера під дією описаних навантажень і визначено напружено-деформований стан конструкції. На рис. 1–2 наведено результати проведеного моделювання базової конструкції корпусу, а саме еквівалентні напруження за Мізесом (МПа) (рис. 1), загальні переміщення (мм) (рис. 2) і загальні деформації (мм/мм) (рис. 3).

Проведення числових розрахунків модернізованої конструкції [5] заплановано для подальших досліджень, наразі виконано 3D-модель модернізованого корпусу (рис. 4).

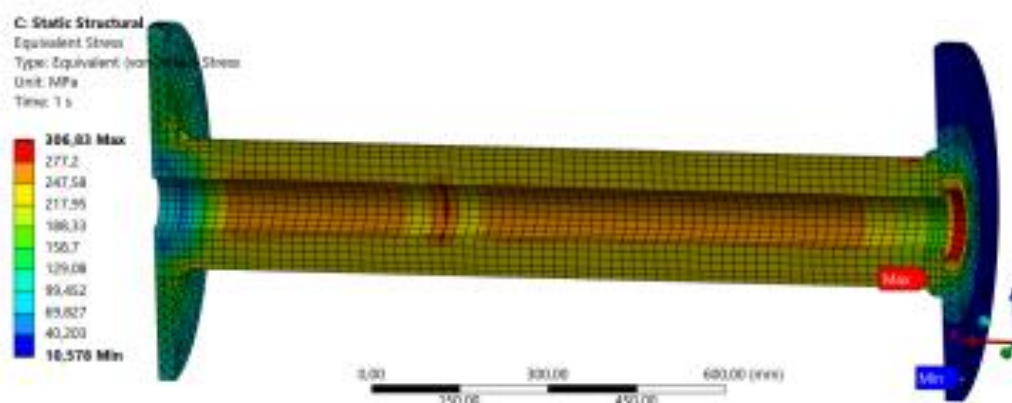


Рисунок 1 – Еквівалентні напруження за Мізесом базової конструкції, МПа

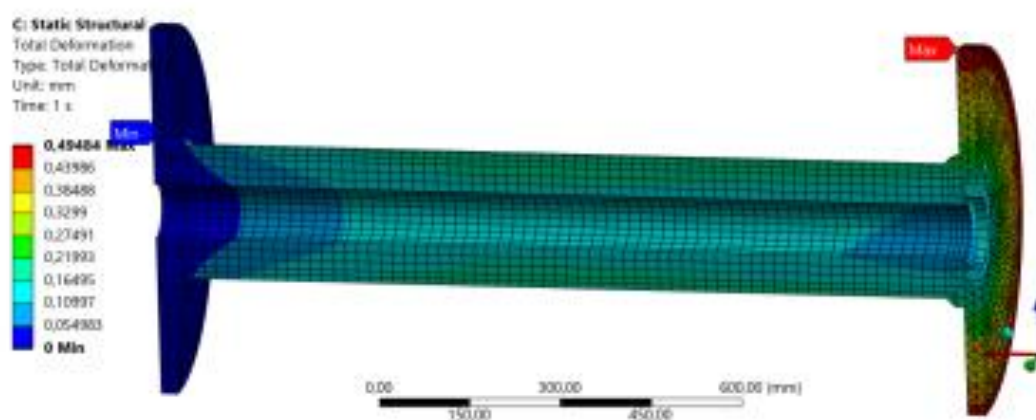


Рисунок 2 – Загальні переміщення базової конструкції, мм

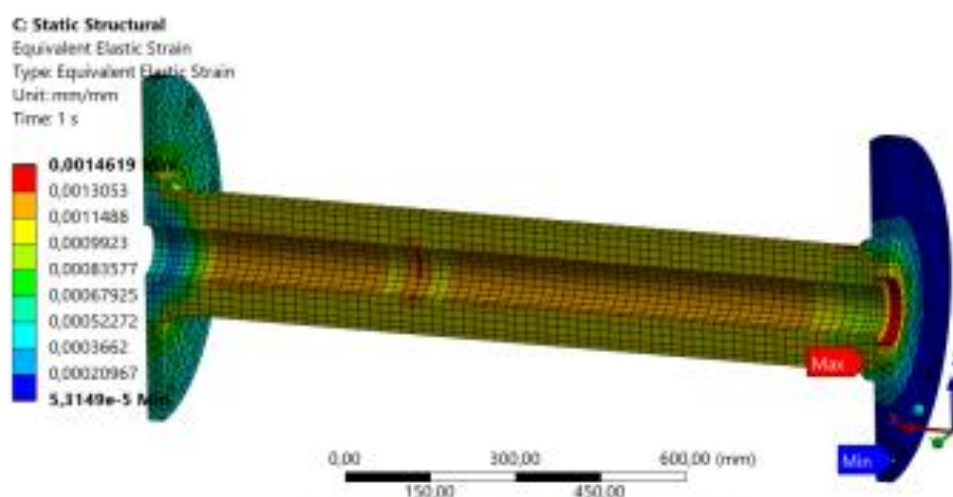


Рисунок 3 – Еквівалентна пружна деформація, мм/мм

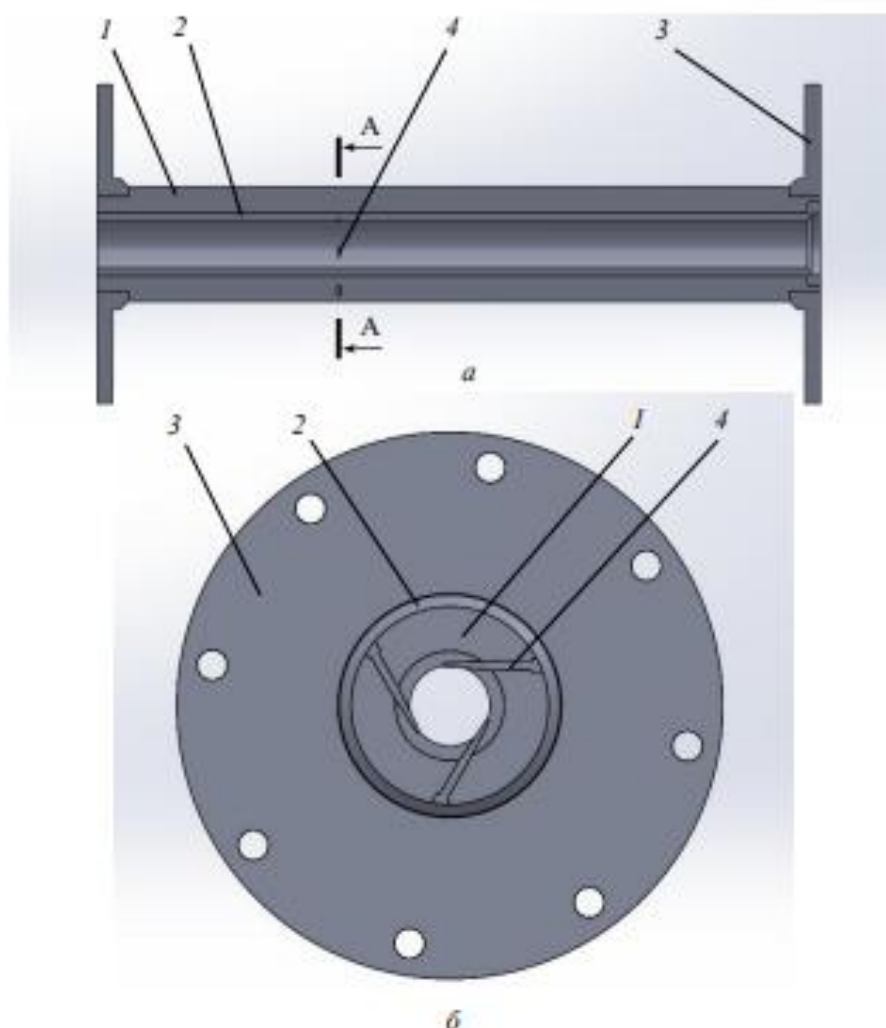


Рисунок 4 – Модернізований корпус: *a* – вид збоку; *б* – поперечний розріз А-А (по місцю розташування штифтів): 1 – корпус, 2 – гільза, 3 – фланці, 4 – штифти

За результатами розрахунку напружено-деформованого стану базової конструкції корпуса екструдера встановлено, що максимальні еквівалентні напруження за Мізесом (рис. 1) становлять $\sigma_{max} = 306,8$ МПа. Границя плинності під час розтягу для конструкції (обраховане значення) складає $\sigma_r = 497$ МПа, а запас міцності конструкції в такому випадку складає

$$n = \sigma_r / \sigma_{max} = 497 / 306,83 \approx 1,62$$

Найбільш навантаженими ділянками є зони переходу від циліндричної частини корпуса до фланців, де спостерігається концентрація напружень, обумовлена зміною геометрії конструкції та особливостями закріплення. Основна частина корпуса, в зоні робочої камери, працює в умовах значно менших напружень. Найменший запас міцності спостерігається в зонах концентрації напружень поблизу фланцевих з'єднань, що відповідає характеру розподілу еквівалентних напружень. Водночас отримане значення перевищує мінімально допустимий рівень $[n] = 1,6$ для даного типу конструкцій, що свідчить про відсутність ризику руйнування за заданих умов навантаження.

Аналіз переміщень (рис. 2) показав, що максимальне переміщення конструкції становить 0,495 мм. Найбільші переміщення спостерігаються у вільній частині корпуса та фланця, тоді як

у зоні закріплення їх значення наближаються до нуля. Отримані результати свідчать про високу жорсткість конструкції, оскільки навіть під дією прикладених навантажень величина переміщень залишається незначною порівняно з габаритними розмірами корпусу.

Розподіл еквівалентних пружних деформацій (рис. 3) підтверджує характер зміни напруженого стану конструкції. Максимальне значення пружної деформації становить 0,00146 мм/мм та локалізується в тих самих зонах концентрації напружень поблизу фланцевих з'єднань. У більшій частині корпусу значення деформацій є істотно меншими, що вказує на переважно пружний характер роботи та відсутність ознак пластичного деформування.

Висновки. Результати числового аналізу, виконаного в програмному комплексі ANSYS, свідчать про відповідність базової конструкції корпусу екструдера вимогам міцності та жорсткості за заданих умов навантаження.

Незважаючи на наявність локальних зон концентрації напружень, їх розташування має обмежений характер і не впливає суттєво на загальну працездатність конструкції. Незначні переміщення та помірні значення пружних деформацій свідчать про можливість надійної експлуатації корпусу в умовах тривалої роботи екструдера.

Мінімальний коефіцієнт запасу міцності становить 1,62, що свідчить про наявність необхідного резерву міцності для безпечної експлуатації обладнання.

Перелік посилань

1. Витвицький В. М., Мікульонюк І. О. Моделювання процесу живлення черв'ячного екструдера полімерною сировиною. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 136 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/41177>
2. Rauwendaal C. Polymer extrusion. 5th ed. Munich : Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2014. 950 p. URL: <https://doi.org/10.3139/9781569905395>
3. Мікульонюк І. О. Технологія перероблення полімерів. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. 314 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/74268>
4. Основи проєктування одночерв'ячних екструдерів / І. О. Мікульонюк, О. Л. Сокольський, В. І. Сівецький, Л. Б. Радченко. Київ: НТУУ «КПІ», 2015. 200 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/25367>
5. Шнековий прес: заявка u202601851 Україна: МПК (2026.01) B29C 48/68, B29C 48/685; заявл. 31.03.26.

Удосконалення змішувальної ділянки корпусу одношнекового преса

Шапран Д.Р., студ., Швець Д.А., студ., Мікульонок І.О., д.т.н., проф., Витвицький В.М., PhD, ас.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Запропоновано шнековий прес, що містить порожнистий корпус із завантажувальним і розвантажувальним отворами, розміщений у корпусі з утворенням робочого каналу обертовий шнек з гвинтовою нарізкою, а також виконані в стінці корпусу рівномірно щонайменше по одному колу отвори для розміщення в них конічних штифтів з виходом у робочий канал, при цьому зазначені отвори розташовані по дотичній до внутрішньої поверхні порожнини корпусу, а в місцях розташування штифтів у гребені гвинтової нарізки шнека виконано розриви. Це технічне рішення забезпечує згладжування робочого каналу в місцях розташування штифтів, що дає змогу знизити гідравлічний опір преса, а також гальмування потоку розплаву перероблюваного матеріалу, що у свою чергу знижує енергоємність процесу пресування (екструзії).

Ключові слова: перероблення полімерів, одношнековий прес, корпус, змішувальна ділянка, штирі, застійна зона.

Вступ. Одношнекові преси широко використовуються для перероблення полімерних матеріалів, гумових сумішей і рослинної сировини [1–9]. При цьому основними робочими органами одношнекового преса, які забезпечують потрібні властивості перероблюваного матеріалу перед його формуванням, є корпус і розташований у ньому обертовий шнек.

Найближчим аналогом є шнековий прес, що містить порожнистий корпус із завантажувальним і розвантажувальним отворами, розміщений у порожнині корпусу з утворенням робочого каналу й можливістю обертання шнека з гвинтовою нарізкою, а також виконані в стінці корпусу рівномірно щонайменше по одному колу отвори для розміщення в них штифтів з виходом у робочий канал, при цьому отвори для розміщення в них штифтів розташовані по дотичній до внутрішньої поверхні порожнини корпусу, в місцях розташування штифтів у гребені гвинтової нарізки шнека виконано розриви, а розміщені в порожнині корпусу ділянки штифтів виконано циліндричними (пат. № US5324108A). Зазначені циліндричні штифти створюють підвищений гідравлічний опір, а також гальмують потік розплаву перероблюваного матеріалу.

Виклад основного матеріалу. В основу запропонованого технічного рішення поставлено завдання вдосконалити шнековий прес, у якому нове конструктивне виконання його циліндра забезпечує згладжування робочого каналу в місцях розташування штифтів, що дає змогу знизити гідравлічний опір преса, а також гальмування потоку розплаву перероблюваного матеріалу, що знижує енергоємність процесу пресування.

Поставлену задачу вирішують тим, що, на відміну найближчого аналога, розміщені в порожнині корпусу ділянки штифтів виконано конічними. Таке виконання штифтів забезпечує згладжування робочого каналу в місцях їх розташування, що повністю усуває умови виникнення застійних зон з їхньої тильної сторони, а отже знижує гідравлічний опір преса, а також гальмування потоку розплаву перероблюваного матеріалу.

Крім того, одночасно з'являється можливість надання потоку розплаву перероблюваного матеріалу незначного обертового руху, що поліпшує змішувально-диспергувальну здатність преса. Це забезпечується відповідним спрямуванням розміщених у порожнині корпусу ділянок штифтів: або в напрямку обертання шнека, або в протилежному напрямку. У першому разі розплав трохи прискорюється в напрямку формувальної головки, а в другому – трохи пригальмовується.

Суть удосконалення демонструє рисунок 1.

Шнековий прес містить порожнистий корпус 1 із завантажувальним 2 і розвантажувальним 3 отворами, розміщений у порожнині корпусу 1 з утворенням робочого каналу 4 і

можливістю обертання шнека 5 з гвинтовою нарізкою, а також виконані в стінці корпусу 1 рівномірно щонайменше по одному колу отвори 6 для розміщення в них штифтів 7 з виходом у робочий канал 4. Отвори 6 розташовані по дотичній до внутрішньої поверхні 8 порожнини корпусу 1, а в місцях розташування штифтів 7 у гребені 9 гвинтової нарізки шнека 5 виконано розриви 10, при цьому розміщені в робочому каналі 4 ділянки штифтів 7 виконано конічними. Розміщені в робочому каналі 4 ділянки штифтів 7 спрямовані в напрямку обертання шнека 5 або спрямовані в напрямку, протилежному напрямку обертання шнека 5.

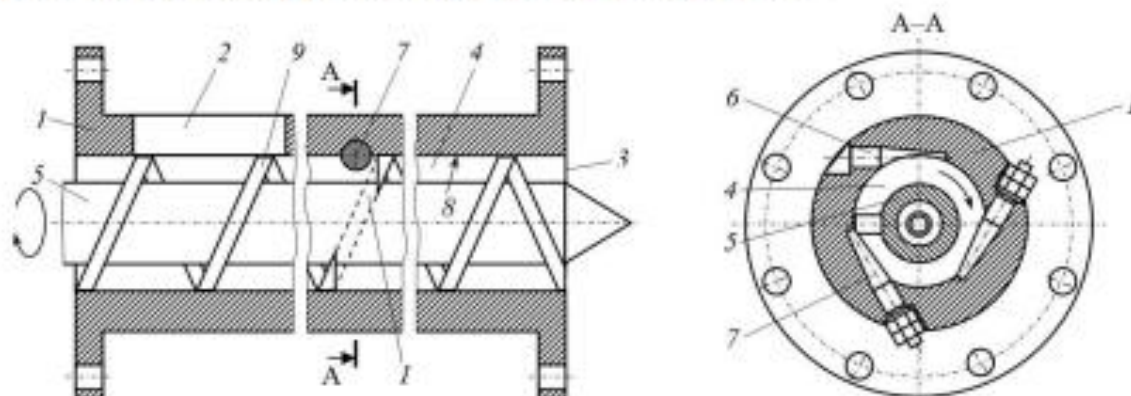


Рисунок 1 – Змішувальна ділянка корпусу одношнекового преса (заявка № u 2026 01851)

Висновок. Використання запропонованого технічного рішення підвищує ефективність перероблення матеріалів широкої номенклатури з одержанням екструдату високої якості.

Перелік посилань

1. Tadmor Z., Gogos C. G. Principles of polymer processing. 2nd ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2006. 961 p. URL: <http://www3.fi.mdp.edu.ar/procesamiento/material/Tadmor-Gogos.pdf>
2. Мікульонюк І. О., Радченко Л. Б. Переробка вторинної сировини екструзією. Київ : НТУУ «КПІ», 2006. 184 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/38062>
3. Mikulionok I. O. Screw extruder mixing and dispersing units // Chemical and Petroleum Engineering. 2013. Vol. 49, № 1–2. P. 103–109. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10556-013-9711-y>
4. Rauwendaal C. Polymer extrusion. 5th ed. Munich : Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2014. 950 p. URL: <https://doi.org/10.3139/9781569905395>
5. Vlachopoulos J., Polychronopoulos N. D. Understanding Rheology and Technology of Polymer Extrusion. Dundas : Polydynamics Inc, 2019. 337 p. URL: http://www.mie.uth.gr/ekp_vliko/Rheo Tech Book Part A.pdf
6. Мікульонюк І. О. Інноваційні змішувачі хімічної технології. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 132 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/49568>
7. Мікульонюк І. О. Технологічні основи перероблення полімерних матеріалів. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. 296 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/68766>
8. Mikulionok I. Classification and analysis of designs of screw presses for oil raw materials // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Технічні науки. 2024. Вип. Т. 24, № 1. С. 23–52. DOI: <https://doi.org/10.32782/2078-0877-2024-24-1-2>
9. Мікульонюк І. О. Технологія перероблення полімерів. 5-те вид., перероб. та допов. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. 314 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/74268>

ДОДАТОК Д ЗАЯВКА НА КОРИСНИЙ ПАТЕНТ УКРАЇНИ

Форма В4



МІНЕКОНОМІКИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ
«УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ОФІС
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ»
(УКРНОІВІ)

вул. Дмитра Голубенка, 1, м. Київ, 01601, тел.: +380 44 209-27-06, +380 67 501-05-95
e-mail: office@uipo.gov.ua, <https://www.uipo.gov.ua>, код згідно з ЄДРПОУ 44673629



25.04.2026 № 7903/ЗУ/26

Стосується заявки № u 2026 01851
/ при листуванні просимо посилатися на цей № /

Адреса для листування
Національний технічний університет
України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського»,
просп. Берестейський, 37, м. Київ-56,
03056

Повідомлення про встановлення дати подання заявки на винахід (корисну модель)

(21) Реєстраційний номер заявки u 2026 01851

(71) Заявник(и)

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

(54) Назва корисної моделі

ШНЕКОВИЙ ПРЕС

Матеріали заявки відповідають вимогам статті 13 Закону України «Про охорону прав на винаходи і корисні моделі» (далі – Закон) щодо встановлення дати подання заявки на дату одержання Державною організацією «Український національний офіс інтелектуальної власності та інновацій»:

- матеріалів заявки

Дата подання заявки 31.03.2026

Начальник сектору встановлення дати подання
заявок

Телефон 494-05-98

Провідний експерт

Ольга ДОВБАК

Тетяна
ІГНАТЬЄВА