

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

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

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»

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

“ ____ ” _____ 2024 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

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

зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

на тему: «Лінія для виробництва труб з модернізацією екструдера»

Виконав (-ла):

студент (-ка) VI курсу, групи ЛП-41мп

Кобернюк Владислав Сергійович _____

Науковий керівник:

Кандидат технічних наук, доцент,

Сідоров Дмитро Едуардович _____

Консультант з ТМ та Е

ст. викл. Борщик Сергій Олександрович _____

Консультант з модернізації

д.т.н., проф. Щербина Валерій Юрійович _____

Консультант зі стартап-проекту

К.е.н., доцент Юдіна Наталія Володимирівна _____

Рецензент:

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

Студент _____
(підпис)

Київ – 2025 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 – другий (магістерський)

Спеціальність – 133 «Галузеве машинобудування»

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олександр СОКОЛЬСЬКИЙ

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Кобернюк Владислав Сергійович

1. Тема дисертації «Лінія для виробництва труб з модернізацією екструдера», науковий керівник дисертації Сідоров Дмитро Едуардович кандидат технічних наук, доцент, затверджені наказом по університету від «03» _____ 11 _____ 2025 р. №4744С
2. Термін подання студентом дисертації 21.11.2025.
3. Об'єкт дослідження: Екструдер трубної лінії з модернізацією черв'яка та торпеди.
4. Вихідні дані: Діаметр черв'яка – 63 мм, відношення робочої довжини до діаметру – 25, матеріал поліетилен високого тиску, швидкість обертання шнеку – 60 об/хв, матеріал черв'яка сталь 40Х.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: Реферат, Перелік умовних позначень. Пояснювальна записка: Вступ, 1 Призначення та область застосування черв'ячного екструдера, 2 Опис конструкції агрегата і основних частин та принцип її дії, 3 Технічна характеристика черв'ячного екструдера ЧП 63х25, 4 Патентно-літературний огляд, 5 Розрахунки, які підтверджують працездатність та надійність конструкції черв'ячного екструдера, 6 Монтаж і експлуатація, 7 Стартап-проект, 8 Охорона праці, 9 Розрахунки в системі Ansys, Література, Додатки.
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: 1. Трубна лінія, 2. Загальний вид Екструдера, 3. Черв'як, 4. Модернізований черв'як, 5. Торпеда, 6. Модернізована торпеда, 7. Плакат з побудовою черв'яка, 8. Плакат з розрахунками черв'яка, 9. Плакат з розрахунками торпеди.
7. Орієнтовний перелік публікацій

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Монтаж і експлуатація	Борщик С.О., ст. викл.		
Модернізація	Щербина В.Ю., проф.		
Стартап-проект	Юдіна Н.В.		
Перевірка на плагіат	Щербина В.Ю., проф.		

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Вступ. Технічні характеристики	24.10.2025-27.10.2025	
2	Призначення та область застосування	28.10.2025-01.11.2025	
3	Опис конструкції агрегата і принцип дії	02.11.2025-08.11.2025	
4	Патентно-літературний огляд	09.11.2025-15.11.2025	
5	Розрахунки	16.11.2025-26.11.2025	
6	Монтаж і експлуатація	27.11.2025-01.12.2025	
7	Стартап-проект	02.12.2025-09.12.2025	
8	Охорона праці	10.12.2025-11.12.2025	
9	Розрахунки в системі Ansys	12.12.2025-16.12.2025	
10	Висновок. Графічна частина	16.12.2025-17.12.2025	

Студент

Владислав КОБЕРНЮК

Науковий керівник

Дмитро СІДОРОВ

Реферат

Магістерську дисертацію виконано на тему «Лінія для виробництва труб з модернізацією екструдера».

Пояснювальна записка складається із вступу, 7 розділів, висновків та додатків. Загальний об'єм записки 123 сторінок, яка містить 26 таблиць, 39 рисунків та 6 креслень формату А1, що демонструють трубну лінію, екструдер та головні його вузли.

Важливість дослідження пояснюється потребою покращення якості полімерних труб та покращення процесу екструзії через модернізацію головного технологічного устаткування.

Метою роботи є пояснення та створення конструктивних рішень із модернізації екструдера 63х25 у лінії для виготовлення труб з полімерів.

Об'єкт дослідження - технологічний процес виробництва пластмасових труб за допомогою екструзії.

Предмет дослідження - екструдер 63х25 для виготовлення труб з модернізацією шнеку. У праці виконано схему трубної лінії, проведено аналіз конструкції екструдера та запропоновано вирішення для покращення процесу змішування розплаву полімеру.

Науково-практична вага полягає у можливості застосування запропонованого оновлення для поліпшення стійкості роботи екструдера та гатунку готових труб.

У дисертації виконано аналіз конструкції, проведено потрібні розрахунки шнека та торпеди, а також розроблено розділи з охорони праці, монтажу та експлуатації устаткування й стартап-проекту.

Ключові слова: ЕКСТРУДЕР, ТРУБНА ЛІНІЯ, ПОЛІМЕРНІ ТРУБИ, МОДЕРНІЗАЦІЯ, ЕКСТРУЗІЯ, ПЕНГ, ПЕВГ.

Abstract

The master's thesis was completed on the topic "Pipe Production Line with Extruder Modernization."

The explanatory report consists of an introduction, seven chapters, conclusions, and appendices. The total volume of the report is 123 pages and includes 26 tables, 27 figures, and 6 A1-format drawings illustrating the pipe production line, the extruder, and its main units.

The importance of the study is justified by the need to improve the quality of polymer pipes and to enhance the extrusion process through the modernization of the main technological equipment.

The aim of the work is to justify and develop design solutions for the modernization of the 63x25 extruder in a polymer pipe production line.

The object of the research is the technological process of plastic pipe production by extrusion.

The subject of the research is the 63x25 extruder for pipe manufacturing with a modernized screw. The study presents a schematic diagram of the pipe production line, analyzes the extruder design, and proposes solutions to improve the polymer melt mixing process.

The scientific and practical significance lies in the possibility of applying the proposed modernization to enhance the operational stability of the extruder and the quality grade of the finished pipes.

The thesis includes a design analysis, the necessary calculations of the screw and torpedo, as well as sections on occupational safety, installation and operation of the equipment, and a start-up project.

Keywords: EXTRUDER, PIPE PRODUCTION LINE, POLIMER PIPES, MODERNIZATION, EXTRUSION, LDPE, HDPE.

Перелік позначень

D - діаметр черв'яка, мм;
G – витрата, м³/с (або кг/с);
H, h – висота, м;
E – модуль пружності, Мпа.
b – ширина, м;
L - довжина черв'яка, мм;
n – кількість обертів червяка, об/хв;
N - потужність двигуна, кВт;
ρ - об'ємна маса матеріалу, кг/м³;
F - площа зовнішньої головки, м²;
G_m - продуктивність машини, м³/год;
P - потужність нагрівників, кВт;
T_{поч} - початкова температура матеріалу, С;
T_{кін} - температура розплаву на виході, С;
S – площа, м²;
b – ширина, м;
H, h – висота, м;
m – маса, кг;
α - коефіцієнт тепловіддачі, Вт/м²·К;
δ – товщина, м;
λ – коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К);
ν – кінематичний коефіцієнт в'язкості, м²/с;
K – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·К);
η – коефіцієнт корисної дії;
τ – дотичні напруження, Н/м²;
W – осьовий момент опору, м³.

Зміст

Вступ.....	3
1 Призначення та область застосування черв'ячного екструдера.....	4
2 Опис конструкції агрегата і основних частин та принцип її дії.....	6
2.1 Опис трубної лінії.....	6
2.2 Опис конструкції екструдера.....	8
3 Технічна характеристика черв'ячного екструдера 63X25.....	11
4 Патентно-літературний огляд.....	12
4.1 Огляд патентів.....	12
4.2 Обґрунтування обраного патенту.....	16
5 Розрахунки, які підтверджують працездатність та надійність конструкції черв'ячного екструдера.....	18
5.1 Розрахунок геометричних параметрів черв'яка.....	18
5.2 Розрахунок продуктивності ЧМ.....	20
5.3 Розрахунок головки.....	21
5.4 Розрахунок перепаду тиску у головці.....	23
5.5 Розрахунок потужності двигуна екструдера.....	29
5.6 Розрахунок черв'яка на міцність.....	31
5.7 Розрахунок черв'яка на стійкість.....	32
5.8 Тепловий розрахунок.....	33
6 Спеціальні розділи.....	38
6.1 Монтаж і експлуатація екструдер.....	38
6.2 Стартап-проект.....	46
6.3 Охорона праці.....	67

					ЛП41мн.097526.001-70		
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Кобернюк			Лінія для виробництва труб з модернізацією екструдера		
Перевір.							
Керівник.		Сідоров					
Н. Контр.							
Затверд.		Сокольський					
					Літ.	Арк.	Акрушів
						2	
					КПІ ім. Ігоря Сікорського		

7 Розрахунки в системі Ansys.....	73
7.1 Розрахунок базового черв'яка в системі Ansys.....	73
7.2 Розрахунки для модернізованої моделі в системі Ansys.....	.77
7.3 Розрахунки для базової та модернізованої торпеди в системі Ansy...	80
Висновки.....	87
Перелік посилань.....	88
Додатки.....	90

					ЛП41мн.097526.001-70				
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Лінія для виробництва труб з модернізацією екструдера		Літ.	Арк.	Акрушів
Розроб.		Кобернюк							
Перевір.								2	
Керівник.		Сідоров					КПІ ім. Ігоря Сікорського		
Н. Контр.									
Затверд.		Сокольський							

8

Вступ

Завданням магістерської дисертації є “Лінія для виробництва труб з модернізацією екструдера”.

Екструзія - це один із найпоширеніших варіантів обробки полімерів, що використовується для постійного виробництва різних виробів різних форм, зокрема труб, профілів, плівок та ізоляції кабелів. Спосіб екструзії надає можливість отримувати вироби однорідної структури, точних розмірів та сталої якості, за рахунок чого він і набув досить широкого використання в промисловості. Основним робочим вузлом екструдера є черв'як, який обертаючись у матеріальному циліндрі, забезпечує транспортування, пластифікацію та гомогенізацію полімеру.

Поліетиленові труби, які виготовляються на сучасних технологічних лініях, мають деякі переваги перед металевими аналогами. До таких належать висока стійкість до корозії, довговічність, ударостійкість, стійкість до гідравлічних навантажень, а також низька теплопровідність, що дозволяє зменшувати тепловтрати у системах водопостачання та опалення. Мала вага конструкції та простота монтажу істотно розширюють області застосування труб із поліетилену високого та низького тиску - від виробничих трубопроводів до споживчих мереж.

Метою роботи є розробка модернізованої конструкції черв'яка екструдера із удосконаленням змішувальної частини для забезпечення кращої якості виробу, а також покращення стабільності процесу екструзії. Для перевірки на працездатність моделі, будуть проведені геометричні, теплові та міцнісні розрахунки шнеку, проведені розрахунок основних елементів екструдера, а також підтвердити працездатність модернізації за допомогою комп'ютерних розрахунків. Також необхідно розробити графічну частину, яка включатиме загальний вигляд лінії включаючи прес, загальний вигляд преса та його основні вузли.

1 Призначення та область застосування черв'ячного екструдера

Призначенням черв'ячного екструдера є безперервна обробка термопластичних полімерних матеріалів шляхом їх плавлення, змішування і формування в вироби. Основним завданням екструдера є переробка полімерної сировини у однорідний, стабільний за температурою та структурою розплав, що далі використовується для отримання готових виробів та різної конфігурації.

Одношнекові та двошнекові екструдери, відомі також як шнекові преси, складають головну групу машин, які застосовуються для обробки поліетилену та інших полімерів методом видавлювання. Саме вони гарантують стабільне розплавлення, переміщення та формування сировини завдяки обертанню шнеків у розігрітому корпусі. Поруч із класичними шнековими конструкціями у певних процесах використовують дискові екструдери. У таких машинах створення тиску та переміщення полімерного розплаву відбувається завдяки прояву ефекту Вайсенберга — нормальних напружень у в'язкоеластичних середовищах, котрі виникають під час їх деформації. Такий тип екструдерів доцільно застосовувати там де головною вимогою є інтенсивне та однакове змішування складників без потреби створення суттєвого тиску формування. Окрему групу становлять комбіновані черв'ячно-дискові системи. Вони поєднують переваги обох типів обладнання та дозволяють ефективно переробляти матеріали з підвищеною еластичністю та невеликою в'язкістю, забезпечуючи при цьому високий рівень гомогенізації та стабільності розплаву.

Незважаючи на наявність різноманітних конструктивних рішень, найбільшого поширення у промисловості набули саме одношнекові екструдери. Це зумовлене їхньою простотою, стабільністю, відносно невисокою ціною, багатофункціональністю та широким діапазоном потужності, що може коливатися від кількох кілограмів до понад 25000 кг

розплаву за годину. На таких апаратах можлива обробка практично всіх відомих полімерних матеріалів, включно з композиційними сумішами, модифікованими полімерами та вторинною сировиною.

У типовій технологічній лінії екструдери виконують функцію основного вузла пластифікації — саме в їхньому циліндрі відбувається перетворення твердого полімеру на однорідний та контрольовано в'язкий розплав, придатний для подальшого формування у виріб.

2 Опис конструкції агрегата і основних частин та принцип її дії

2.1 Опис трубної лінії

Трубна лінія (рис. 2.1) призначена для неперервного виробництва труб заданого діаметру та товщини стінки за рахунок переробки полімерної сировини у розплав та подальшого формування готової труби. Лінія функціонує у режимі безперервної подачі матеріалу та синхронної взаємодії усіх її вузлів, що забезпечує отримання продукції високої однорідності та геометричної точності.

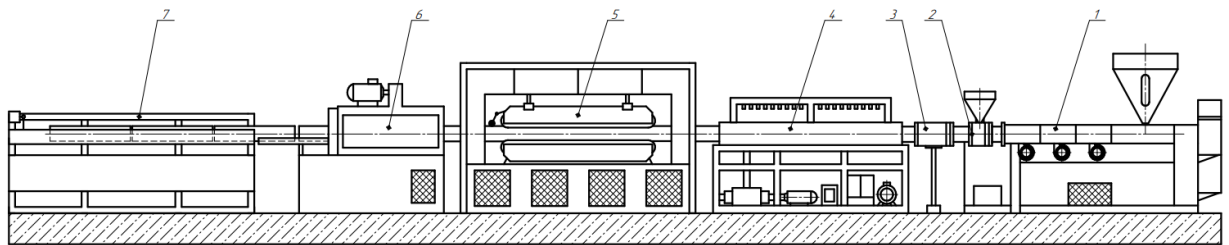


Рис. 2.1 – Схема трубної лінії

1 – шнековий прес; 2 – формуюча головка; 3 - калібруючий пристрій; 4 – ванна охолодження вакуумна; 5 – машина тягова; 6 – машина різання; 7– пристрій приймальний.

Головним складником лінії є одношнековий екструдер 63X25, котрий виконує процес розплавлення та гомогенізації поліетилену. Сировина надходить у вигляді гранул до завантажувального бункера, звідки потрапляє у циліндр екструдера. У шнековому каналі поліетилен поступово нагрівається, розм'якшується та переміщується, після чого під тиском видавлюється через формувальну голівку. Саме формувальна голівка задає початкову геометрію труби, формує її зовнішній діаметр та створює потрібний проміжок між матрицею і дорном.

На відході з головки гаряча труба потрапляє у калібрувальний пристрій. У ньому труба стабілізується завдяки вакуумному присмоктуванню до

калібрувальної оправки, що гарантує точність геометричних параметрів та рівномірність стінки. Наступним кроком є охолодження у ваннах, де труба проходить через один чи кілька резервуарів із водою. Інтенсивне тепловідведення у цій зоні потрібне для закріплення форми труби й збереження її розмірної стійкості, а також для уникнення деформацій при подальшому переміщенні.

Після охолодження труба захоплюється тяговим механізмом, який забезпечує її рівномірне та безперервне переміщення по всій лінії. Робота тягової машини синхронізується з продуктивністю екструдера, оскільки саме сталість швидкості витягування визначає однорідність стінки труби. На виході з тягового блоку труба подається до різального пристрою — автоматизованої дискової або гільйотинної системи, що виконує розрізання на відрізки потрібної довжини без пошкодження країв і без зсуву профілю.

Готові відрізки труб поступають на приймальний пристрій або роликовий транспортер, за рахунок якого здійснюється їх тимчасове зберігання, візуальний контроль якості та подальше пакування. Кожен вузол лінії поєднаний системою керування, що контролює температуру зон екструдера, швидкість обертання черв'яка, вакуум у калібраторі, швидкість тяги та режим різання. Автоматизована система забезпечує стабільність технологічного процесу, мінімізує вплив людського фактора та дозволяє оперативно реагувати на зміни параметрів матеріалу.

Об'єднана робота усіх цих вузлів, надає стабільне виробництво труб з поліетилену високого та низького тиску, що характеризуються високою міцністю, довговічністю та стійкістю до зовнішніх впливів. Лінія надає можливість отримувати вироби з високою точністю, що відповідають сучасним стандартам якості та вимогам експлуатації.

2.2 Опис конструкції екструдера

Одночерв'ячний екструдер 63Х25 (рис. 2.2) є базовою машиною для переробки термопластичних полімерів та утворенню безперервного потоку розплаву, необхідного для виготовлення поліетиленових труб. Конструкція екструдера є модульною, що дозволяє забезпечити стабільність технологічного процесу, зручність обслуговування та можливість модернізації його окремих вузлів.

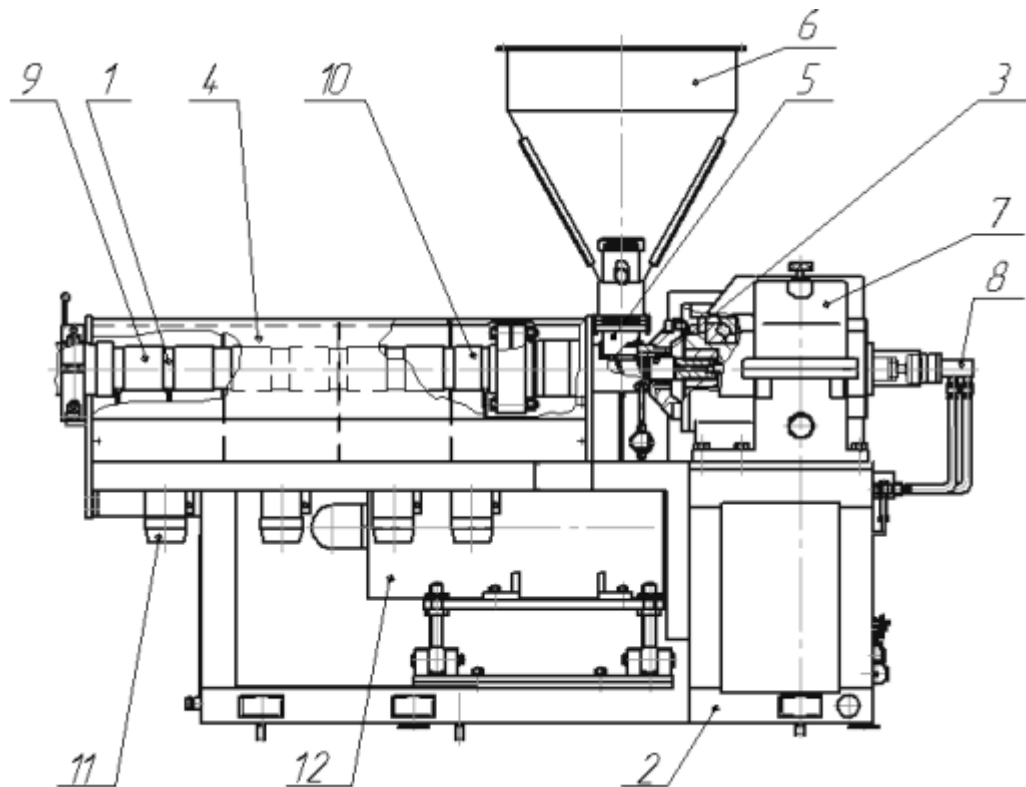


Рис. 2.2 – Шнековий екструдер 63Х25

1 – циліндр екструдера, 2 – рама, 3 – черв'як, 4 – кожух, 5 – лійка завантажувальна, 6 – завантажувальний бункер, 7 – редуктор, 8 – охолоджувальний пристрій, 9, 10 – індукційні нагрівники, 11 – вентилятор, 12 – електродвигун.

Основою апаратури є масивна рама, на якій закріплені усі складові: циліндр, редуктор, привід, бункер, системи нагрівання-охолодження та формувальний вузол. Така будова надає жорсткість, точність взаємного розташування вузлів та усунення хитань під час роботи.

Циліндр екструдера виготовлений із міцної сталі та має кілька температурних зон, оснащених електронагрівачами та датчиками контролю. Він розрахований на значні робочі навантаження й забезпечує рівномірний розподіл тепла по всій довжині. Усередині ствола розміщено шнек 63X25, який є основним робочим елементом. Його поверхня має спіральне різьблення зі змінною глибиною жолоба, що дає змогу послідовно виконувати процеси переміщення, стискання, розплавлення й гомогенізації полімеру. У зоні завантаження жолоб є глибшим, що полегшує захоплення гранул, тоді як у зоні дозування глибина зменшується для підвищення тиску та гарантування однорідності розплаву.

Постачання гранул у циліндр відбувається через завантажувальний бункер, обладнаний захисною сіткою та можливістю монтування допоміжних систем, як-от дозатор, сушарка чи змішувач. Конфігурація бункера унеможливорює застрягання субстанції та гарантує стабільне завантаження.

Шнек переміщується електродвигуном, сполученим із редуктором через муфту. Редуктор надає зменшення частоти обертання та передачу необхідного крутного моменту на вісь хробака. Муфта компенсує можливі незначні зсуви між валами та знижує навантаження на підшипники. Електродвигун обирається таким чином, щоб забезпечити стабільну роботу шнека навіть при значних опорах формувальної голівки.

Температурний режим підтримується сукупністю систем обігріву та охолодження. Нагрівальні елементи дають змогу швидко довести циліндр до робочої температури, а вентилятори чи водяне охолодження утримують її у визначених межах. Така система гарантує стабільність процесу розплавлення та виключає перегрів полімеру, що може спричинити деградацію речовини.

На виході з циліндра розташована формувальна головка, яка окреслює початкову форму майбутньої труби. Вона містить матрицю, дорн та розподільчі канали, що спрямовують потік полімеру задля забезпечення

сталості товщини стінки та зведення внутрішніх напружень. Будова головки може змінюватися залежно від діаметра труби, що виготовляється, а її внутрішні канали зроблені так, щоб уможливити рівномірний розподіл розплаву по кільцевому проміжку.

Окрема роль відіграє система контролю та автоматизації, котра в нормує температуру по зонах, частоту обертання черв'яка, навантаження на двигун та роботу охолоджувальних пристроїв. Завдяки автоматизації процесу оператор може швидко змінювати технологічні параметри та забезпечувати сталий режим функціонування.

Екструдер 63X25 вирізняється компактністю, належною продуктивністю та можливістю вбудовування у різні конфігурації трубних ліній. Його конструкція дає змогу проводити оновлення окремих вузлів - зокрема шнека, системи охолодження або формувальної голівки - що є важливим у процесі підвищення енергоефективності, зменшення відходів та збільшення тривалості експлуатації обладнання.

3 Технічна характеристика черв'ячного екструдера 63X25

1.	Продуктивність -	139кг/год
2.	Діаметр черв'яка -	63мм
3.	Відношення робочої довжини черв'яка до його діаметру -	25
4.	Швидкість обертання черв'яка -	60 об/хв
5.	Опір формувальної головки -	4,16 МПа
6.	Характеристики виробів:	
-	зовнішній діаметр труб -	63 мм
-	товщина стінки -	6 мм
7.	Потужність електродвигуна -	17 кВт
8.	Електропостачання:	
-	трифазна сітка змінного струму ;	
-	напруга -	380/220В
-	частота -	50 Гц
9.	Повітропостачання:	
-	стиснення повітря 7–9 класу забрудненості за ГОСТ 17433-80;	
-	тиск -	0,4-0,7МПа
-	витрата об'ємна -	2 м ³ /год
10.	Водопостачання:	
-	водяний тиск -	0,4-0,5МПа
-	витрата -	4 м ³ /год
11.	Розміри:	
-	довжинна -	2925 мм
-	висота -	1940 мм

4 Літературно-патентний огляд

4.1 Огляд патентів

У цій магістерській праці модернізується одношнековий екструдер 63×25, який є важливим елементом лінії для виробництва напірних труб із поліетилену високого та низького тиску, а також поліпропілену. Екструдер забезпечує неперервне плавлення та гомогенізацію гранульованих полімерів, перетворюючи їх на однорідний розплав, який під тиском подається через формувальне сопло для надання трубі потрібної геометрії. Запропонована модернізація спрямована на підвищення ефективності пластифікації, покращення змішування та стабільності температурного режиму, що гарантує вищу якість кінцевої продукції та зменшення технологічного відбракування.

Корисна модель [21] стосується черв'яків одночерв'ячних екструдерів для перероблення термопластичних полімерів. Конструкція включає пружний наконечник, який може здійснювати зворотно-поступальний рух у порожнині вала (Рис 4.1). Наконечник з'єднано зі штоком і поршнем, а порожнина між ними заповнена в'язкою рідиною з дросельною шайбою, що регулює потік рідини. Таке рішення дозволяє гасити пульсації тиску розплаву та забезпечує стабільність подачі матеріалу, завдяки чому кінцева продукція має рівномірні геометричні розміри. Пружний елемент може працювати за моделлю Максвелла або Кельвіна-Фойхта, забезпечуючи адаптивне демпфування коливань тиску.

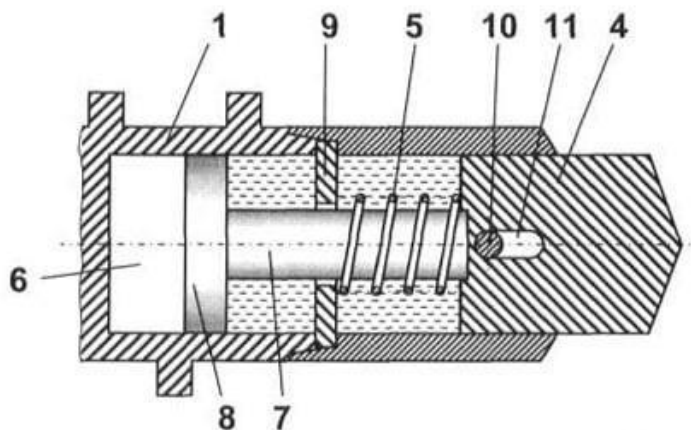


Рис. 4.1 - Наконечник з пружинним елементом

Патент [22] описує змішувальну секцію черв'яка з чергуванням очисних гребенів і бар'єрних ребер (Рис 4.2). Особливістю є різні кути нахилу гвинтових ліній у цих ділянках: очисні гребені мають більший кут, а бар'єрні ребра – менший. Між ними утворюються канали, які звужуються при вході та розширюються при виході, сприяючи перемішуванню розплаву за рахунок зміни напрямку потоку. Додаткові спіральні змішувальні канали, вирізані під кутом 90° до основних витків, створюють турбулізацію потоку, що забезпечує кращу однорідність полімеру без зростання гідравлічного опору

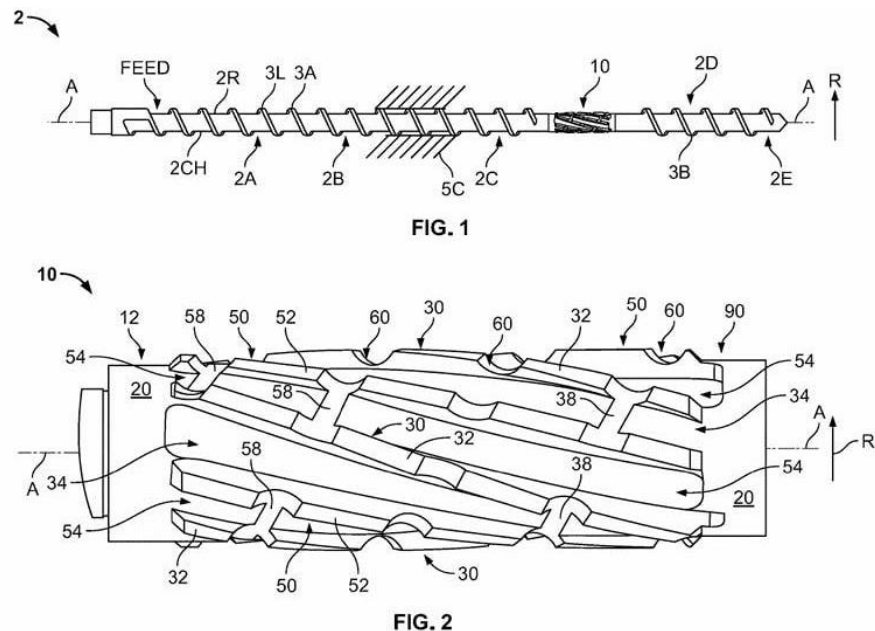


Рис. 4.2 - Змішувальна секція черв'яка екструдера

Винахід [23] спрямований на поліпшення змішування матеріалу у черв'яку. У його конструкції змішувальні канали чергуються з контр-каналами, які частково спрямовані у зворотному напрямку до обертання шнека (Рис. 4.3). Такий підхід дозволяє частині розплаву рухатись назад до зони подачі, забезпечуючи багаторазове перемішування і розплавлення матеріалу, а також рівномірне температурне поле в каналах. Конструкція потребує мінімальної механічної обробки, що спрощує виготовлення та зменшує енерговитрати.

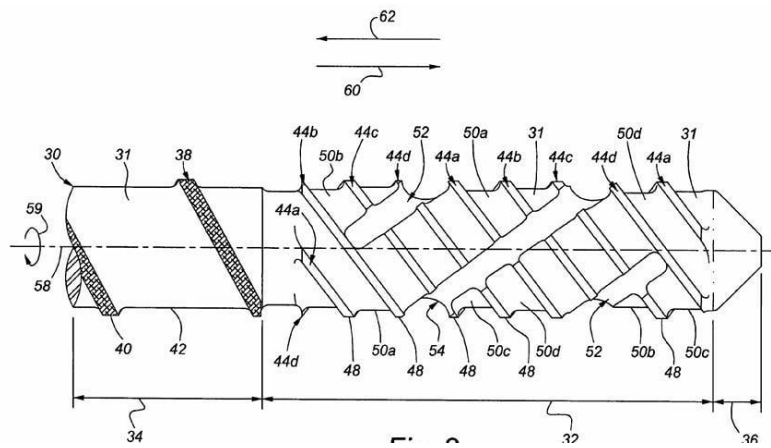


Рис. 4.3 - Черв'як екструдера зі змішувальним елементом

Винахід [24] стосується торпеди (розподільника потоку), розташованої на кінці екструдера. Особливістю конструкції є рухомі лопаті, що можуть радіально висуватись і регулювати потік розплаву (Рис. 4.4). Це дозволяє адаптувати роботу торпеди під різні типи матеріалів без необхідності заміни всієї головки. Кожна лопать взаємодіє з гвинтовими виступами корпусу, створюючи змінні зазори та турбулентність потоку, що покращує змішування гумових або полімерних сумішей та підвищує рівномірність тиску у зоні головки.

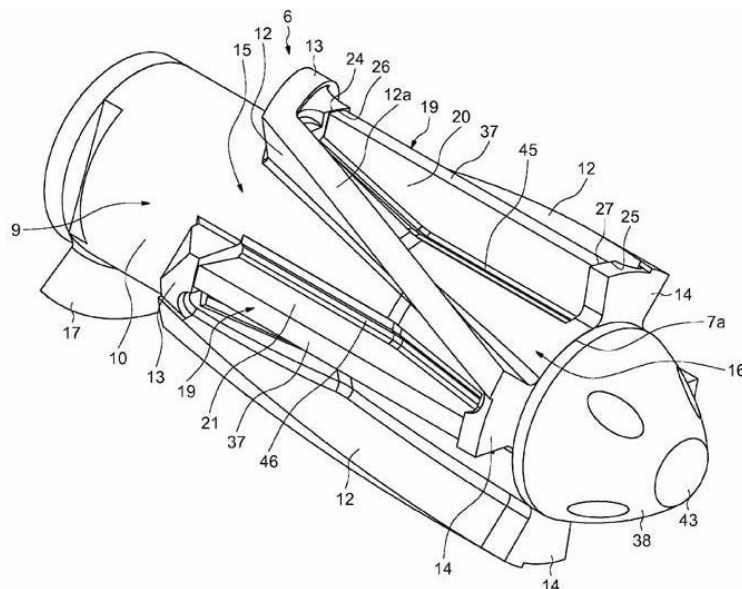


Рис. 4.4 - Змішувальна головка

У наступному патенті [25] розглядається комбінована геометрія подачі з багаторядними гвинтовими каналами різної глибини (Рис. 4.5). Вона забезпечує покращене подавання гранул і зменшення застійних зон у шнеку. Ключовою ідеєю є поетапне зменшення об'єму каналу при одночасному введенні додаткових бічних перемішувальних прорізів, що сприяє стабільному тиску в екструзійному процесі.

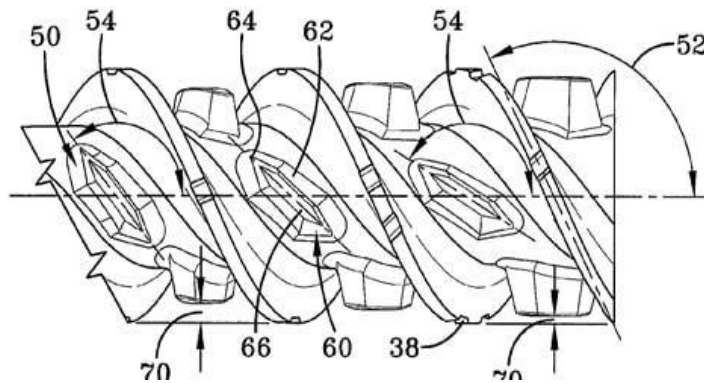


Рис. 4.5 - Черв'як з динамічними елементами змішування

Патент [26] пропонує змішувальний шнек зі спіральними та поперечними ребрами, розташованими під різними кутами відносно осі. У зоні змішування чергуються канали стиснення та розширення, утворені за рахунок зміни висоти витка (Рис 4.6). Матеріал проходить через серію розривів і перетискань потоку, що інтенсифікує зсувне перемішування без значного підвищення тиску. Розробка призначена для поліетилену та поліпропілену й дозволяє зменшити неоднорідність кольору та гелеподібні включення.

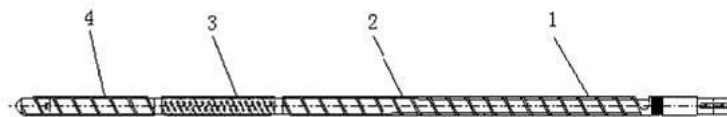


图 1

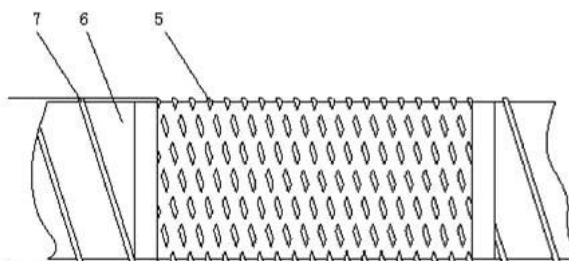


Рис. 4.6 - змішувальний шнек зі спіральними ребрами.

4.2 Обґрунтування обраних патентів

В результаті патентно-літературного огляду обрано патенти [22] та [24] які відповідають модернізації шнека (основна) та головки (допоміжна). Основна модернізація в даному проекті описує удосконалену змішувальну секцію черв'яка екструдера.

Основна ідея винаходу полягає в тому, що змішування розплаву відбувається не через додаткові вставки, а за рахунок зміненої геометрії витків.

У середній частині шнека розташовано чергування ділянок з різними кутами нахилу гвинтових ліній: очисні гребені з більшим кутом нахилу переміщують розплав уперед і очищують стінки каналу; бар'єрні ребра з меншим кутом створюють місцеві зони підвищеного тиску й розділяють потік.

Між цими зонами утворюються звужувальні та розширювальні канали, у яких потік полімеру прискорюється, змінює напрям і зазнає зсувних деформацій.

Додаткові спіральні поперечні канали, виконані під кутом до основного витка, створюють турбулізацію потоку, покращуючи гомогенізацію без істотного збільшення опору

У звичайних шнеках екструдерів спостерігається: неповне перемішування розплаву та різниця температур по перерізу; пульсації тиску перед головкою; нерівномірна товщина стінки труби через неоднорідність розплаву. Запропонована змішувальна секція дає змогу ліквідувати ці недоліки завдяки багаторазовій зміні напрямку руху розплаву, формуванню зсувних зон та вирівнюванню поля швидкостей у каналі.

Для трубної лінії це рішення є оптимальним, оскільки: Підвищується однорідність розплаву. Поперечні змішувальні канали забезпечують рівномірне розподілення тепла та кольору в полімері. Зменшуються пульсації тиску. Чергування звужених і розширених каналів діє як гідродемпфер, що згладжує подачу матеріалу. Не потрібні додаткові рухомі частини. Конструкція простіша, надійніша та сумісна з існуючим корпусом екструдера. Покращується якість труб. Розплав стає більш гомогенним, що зменшує овальність та різницю товщини стінки.

Модернізація екструдера 63X25 на основі патенту [22] технологічно доцільною та економічно обґрунтованою. Вона дозволяє суттєво підвищити якість розплаву та стабільність процесу екструзії без ускладнення конструкції. Рекомендовано впроваджувати змішувальну секцію у кінці зони плавлення черв'яка та використовувати її для виробництва труб.

5 Розрахунки, які підтверджують працездатність та надійність конструкції черв'ячного екструдера

5.1 Розрахунок геометричних параметрів черв'яка

Мета розрахунку: визначити геометричні параметри черв'яка за методикою, [4].

Вихідні дані: діаметр черв'яка $D=63\text{мм}$, повна довжина черв'яка $25D$, матеріали які переробляються – поліетилен високої густини.

Довжина робочої частини черв'яка:

$$l_{\text{роб}} = 25 \cdot D = 25 \cdot 63 = 1575 \text{ мм}$$

Довжина зони дозування:

$$l_{\text{доз}} = (10 \dots 17)D = 10 \cdot 63 = 630 \text{ мм}$$

Довжина зони завантаження:

$$l_{\text{зав}} = (1,5 \dots 3)D = 2 \cdot 63 = 126 \text{ мм}$$

Крок гвинтової лінії черв'яка:

$$t = (0,7 \dots 1) \cdot D = 1 \cdot 63 = 63 \text{ мм}$$

Ширина витка :

$$e = (0,08 \dots 0,12)D = 0,11 \cdot 63 = 7 \text{ мм}$$

Зазор міжчерв'яком і гільзою:

$$\delta = (0,002 \dots 0,003)D = 0,003 \cdot 63 = 0,189 \text{ мм}$$

Глибина нарізки черв'яка в зоні завантаження:

$$h_1 = (0,12 \dots 0,16) \cdot D = 0,14 \cdot 63 = 8,5 \text{ мм}$$

Глибина нарізки черв'яка в зоні дозування :

$$\begin{aligned} h_2 &= 0,5 \cdot \left(D - \sqrt{D^2 - \frac{4h_1}{i}(D - h_1)} \right) = \\ &= 0,5 \cdot \left(63 - \sqrt{63^2 - \frac{4 \cdot 8,5}{2,1}(63 - 8,5)} \right) = 6,63 \text{ мм} \end{aligned}$$

Діаметр стержня, під завантажувальною воронкою :

$$d_1 = D - 2 \cdot h_1 = 63 - 2 \cdot 8.5 = 46 \text{ мм}$$

Діаметр стержня, в зоні дозування :

$$d_1 = D - 2 \cdot h_2 = 63 - 2 \cdot 6.63 = 49,74 \text{ мм}$$

Довжина торпеди:

$$l_{\text{торп}} = (0,6 \dots 0,8)D = 0,7 \cdot 63 = 44,1 \text{ мм}$$

Довжина зони стиску приймається:

$$l_{\text{ст}} = l_{\text{роб}} - l_{\text{доз}} - l_{\text{зав}} = 1575 - 630 - 126 = 819 \text{ мм}$$

Довжина циліндричної частини черв'яка :

$$l_{\text{цил}} = (2 \dots 2,5)D = 2,4 \cdot 63 = 151 \text{ мм}$$

Довжина відбійної частини черв'яка :

$$l_{\text{відб}} = (0,1 \dots 0,7)D = 0,6 \cdot 63 = 37.8 \text{ мм}$$

Загальна довжина черв'яка:

$$l_{\text{заг}} = l_{\text{роб}} + l_{\text{цил}} + l_{\text{відб}} + l_{\text{торп}} = 1575 + 151 + 37.8 + 44,1 = 1808 \text{ мм}$$

Маса черв'яка ≈ 40 кг

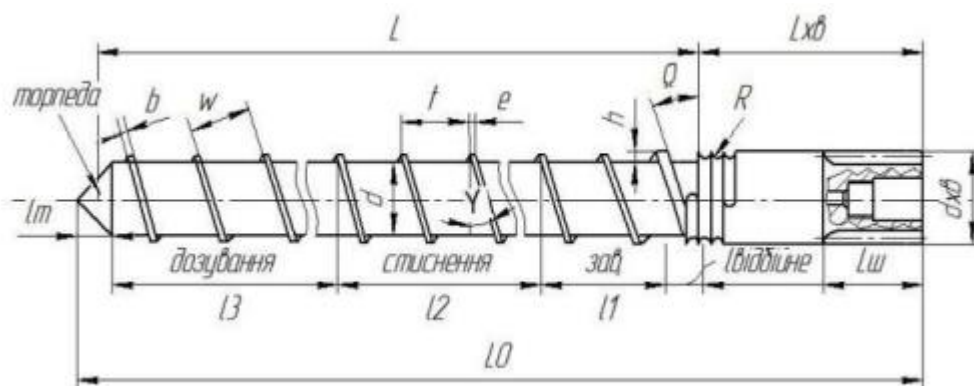


Рис. 5.1 - Схема черв'яка

5.2 Розрахунок продуктивності

Функціонування черв'ячного апарату значною мірою визначається не лише параметрами черв'яка та явищами в його каналах, а й формою, розташуванням головної частини черв'ячного механізму та її профільними компонентами, розраховуємо за методичкою, [4].

Методика розрахунку

$$\text{Кут нахилу лінії нарізки } \alpha = \arctan \frac{t}{\pi \cdot D}$$

де D – діаметр черв'яка; t – крок нарізки витків: $t = 0.8 \dots 1.2 D$.

$$\text{Коефіцієнт прямого потоку } \alpha = \frac{\pi \cdot D \cdot h_2 \cdot (t - e) \cos^2 \varphi}{2},$$

де h_2 – глибина каналу в зоні дозування;

e – ширина гребеня витка, $e = (0.08 \dots 0.12) D$.

$$\text{Коефіцієнт зворотного потоку } \beta = \frac{h_2^3 \cdot (t - e) \sin \varphi}{24 \cdot l_{\text{доз}}},$$

де $l_{\text{д}}$ – довжина зони дозування.

$$\text{Коефіцієнт потоку витоку } \gamma = \frac{\pi^2 \cdot D^2 \cdot \delta^3 \cdot \tan \varphi \cdot \sin \varphi}{10 \cdot e \cdot l_{\text{доз}}},$$

де δ – висота зазору між черв'яком та корпусом.

Коефіцієнт потоку витоку

$$\text{Об'ємна секундна продуктивність } Q = \frac{a \cdot K \cdot n}{K + \beta + \gamma},$$

де n – обороти черв'яка за секунду, K – коефіцієнт геометричної форми ГОЛОВКИ.

$$\text{Вагова продуктивність } \Pi = 3600 \cdot Q \cdot \rho \cdot 10^{-9} \text{ [кг/год]}$$

1. Кут нахилу лінії нарізки:

$$\varphi = \arctan \frac{t}{\pi \cdot D} = \arctan \frac{63}{\pi \cdot 63} = 17,4^\circ$$

де: $t = (0,8 - 1,2) D = 63 \text{ мм}$;

2. Коефіцієнт прямого потоку:

$$\alpha = \frac{\pi \cdot D \cdot h_2 \cdot (t - e) \cos^2 \varphi}{2} = \frac{\pi \cdot 63 \cdot 6,6 \cdot (63 - 12) \cdot 0,91}{2} = 45337$$

де $e = (0,08 - 0,12) D = 63 \text{ мм } 10; h_2 = 6,6 \text{ мм};$

3. Коефіцієнт зворотного потоку:

$$\beta = \frac{h_2^3 \cdot (t - e) \sin \varphi}{24 \cdot l_{\text{доз}}} = \frac{6,6^3 \cdot (63 - 12) \cdot 0,598}{24 \cdot 630} = 0,5885$$

4. Коефіцієнт потоку витоків:

$$\gamma = \frac{\pi^2 \cdot D^2 \cdot \delta^3 \cdot \text{tg} \varphi \cdot \sin \varphi}{10 \cdot e \cdot l_{\text{доз}}} = \frac{\pi^2 \cdot 63^2 \cdot 0,189^3 \cdot 0,13 \cdot 0,299}{10 \cdot 12 \cdot 630} = 0,001238$$

5. Об'ємна секунда продуктивності:

$$Q = \frac{a \cdot K \cdot n}{K + \beta + \gamma} = \frac{153371 \cdot 0,3147 \cdot 2,5}{0,3147 + 0,5885 + 0,001238} = 40341 \frac{\text{мм}^3}{\text{с}}$$

6. Вагова продуктивність:

$$\Pi = 3600 \cdot Q \cdot \rho \cdot 10^{-9} = 3600 \cdot 40341 \cdot 0,94 \cdot 10^3 \cdot 10^{-9} = 139 \text{ кг/год}$$

де $\rho = 0,94 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3;$

5.3 Розрахунок головки

Формули, розроблені на основі спрощеного аналітичного методу обчислення коефіцієнта геометричної форми головки, дозволяють досить точно визначати параметри каналів простих фігур для практичних розрахунків, [4]. Канал головки поділяється на кілька послідовних ділянок з простою геометрією, для кожної з яких обчислюється коефіцієнт геометричної форми K в м^3 або мм^3 , а потім підраховується загальне значення для всієї головки.

$$K_{\text{заг}} = \frac{1}{\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} + \dots + \frac{1}{K_9}}$$

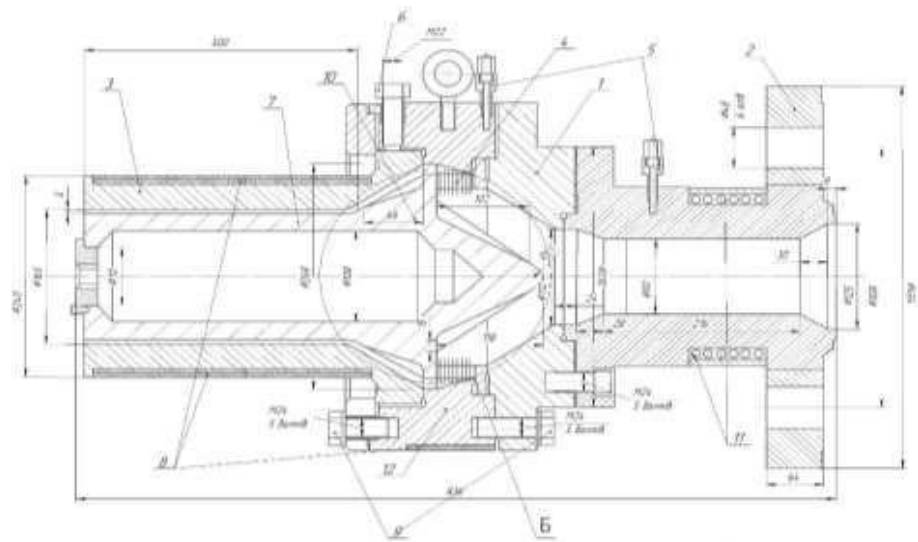


Рис. 5.2 - Розрахункова схема екструзійної головки

Для ділянки 1

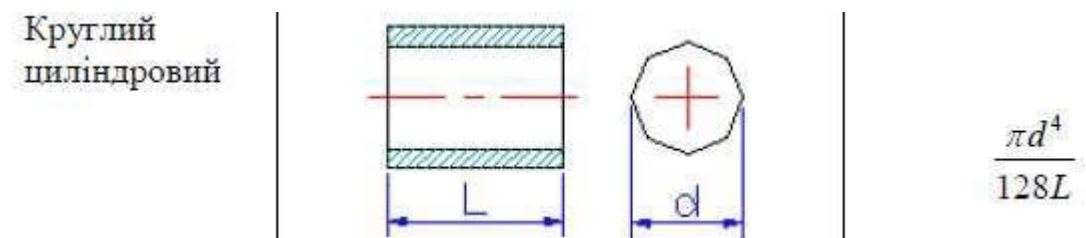


Рис.5.3 - Розрахункова схема екструзійної головки

$$K_1 = \frac{\pi D^4}{128L} = \frac{\pi \cdot 63^4}{128 \cdot 6} = 61545 \text{ мм}^3$$

Для ділянки 2

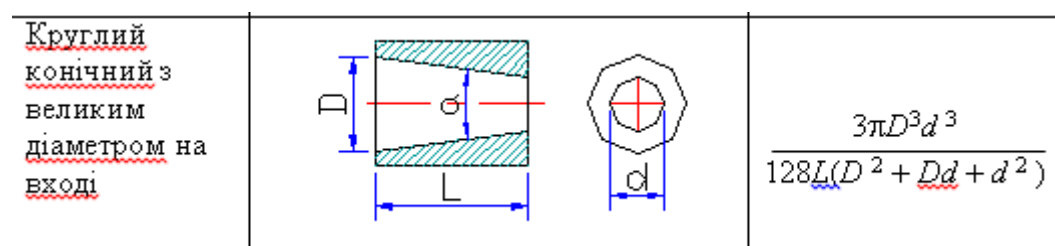


Рис.5.4 - Розрахункова схема екструзійної головки

$$K_2 = \frac{3\pi D^3 d^3}{128L(D^2 + Dd + d^2)} = \frac{3\pi \cdot 63^3 \cdot 40^3}{128 \cdot 20 \cdot (63^2 + 63 \cdot 40 + 40^2)} = 8986 \text{ мм}^3$$

Для ділянки 3

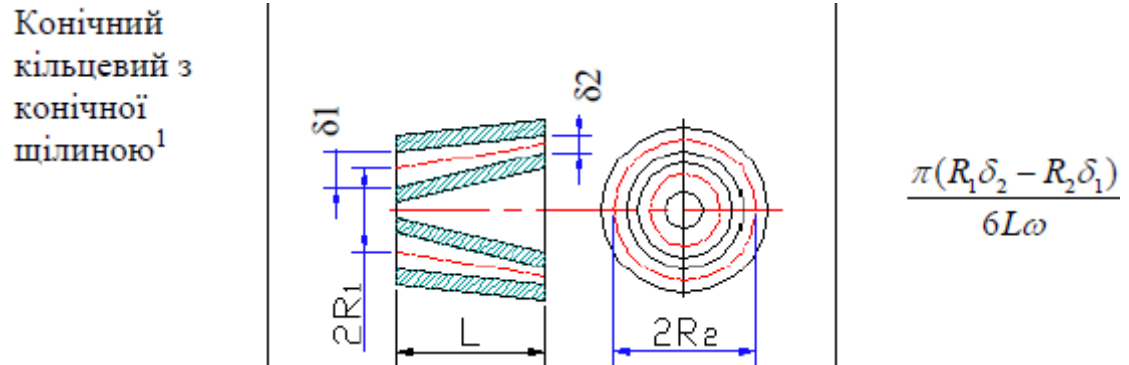


Рис.5.5 - Розрахункова схема екструзійної головки

$R_1 = 29.5$ мм; $R_2 = 32$ мм; $\delta_1 = 56$ мм; $\delta_2 = 13$ мм;

$$K_6 = \frac{\pi(R_1\delta_2 - R_2\delta_1)}{6L} = \frac{\pi(29.5 \cdot 13 - 32 \cdot 56)}{6 \cdot 8} = 25.7 \text{ мм}^3$$

Загальний коефіцієнт геометричної форми:

$$K_{\text{зар}} = \frac{1}{\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} + \frac{1}{K_3}} =$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{61545} + \frac{1}{8986} + \frac{1}{25.7}} =$$

$$= 25,3147 \text{ мм}^3$$

5.4 Розрахунок перепаду тиску у головці

Для кожної ділянки з постійною геометрією визначається швидкість зсуву γ , розраховуємо за методикою, [4]. Після цього обчислюється в'язкість μ при заданій температурі. На основі попередньо визначених продуктивності та коефіцієнта геометричної форми знаходиться перепад тиску. Розрахунки проведено згідно [4].

$$\Delta P = \frac{Q\mu_i}{K_i};$$

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 + \Delta P_4 + \Delta P_5;$$

$$\mu_i = m \cdot \gamma_i^{-0,532} [\text{Па} \cdot \text{с}]$$

де $m = 2400 \text{ Па} \cdot \text{с}$

Ділянка №1

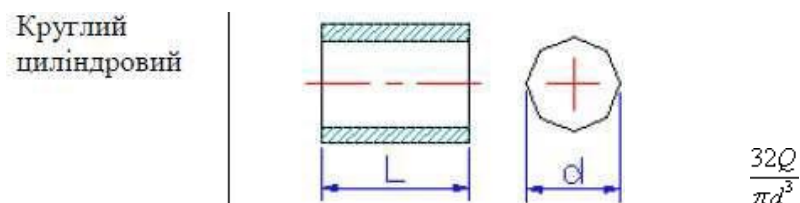


Рис.5.6 - Розрахункова схема перепаду тиску в екструзійній голівці

$$K_1 = 61545 \text{ мм}^3$$

$$\gamma_1 = \frac{32 \cdot Q}{\pi \cdot d^3} = \frac{32 \cdot 133414}{\pi \cdot 125^3} = 2,12 \text{ с}^{-1}$$

$$\mu_i = m \cdot \gamma_i^{-0,53} = 2400 \cdot 2,12^{-0,53} = 2928 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\Delta P_1 = \frac{Q \cdot \mu_i}{K_i} = \frac{133414 \cdot 2928}{61545} = 71200 \text{ Па}$$

Ділянка №2

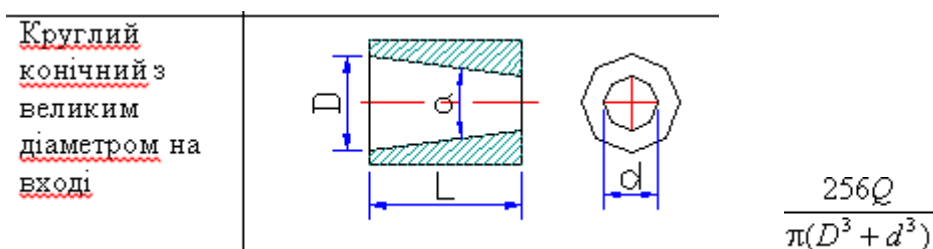


Рис.5.7 - Розрахункова схема перепаду тиску в екструзійній голівці

$$K_2 = 8986 \text{ мм}^3$$

$$\gamma_2 = \frac{256 \cdot Q}{\pi(D^3 + d^3)} = \frac{256 \cdot 133414}{\pi(63^3 + 40^3)} = 4,1 \text{ с}^{-1}$$

$$\mu_i = m \cdot \gamma_i^{-0,53} = 2400 \cdot 4,1^{-0,53} = 1122,3 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\Delta P_2 = \frac{Q \cdot \mu_i}{K_i} = \frac{133414 \cdot 1122,3}{8986} = 152100 \text{ Па}$$

Ділянка №3

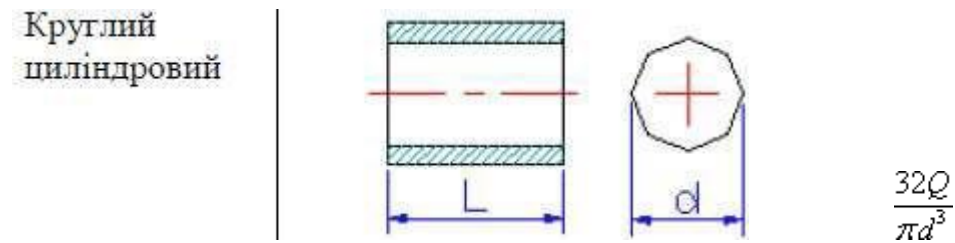


Рис.5.8 - Розрахункова схема перепаду тиску в екструзійній голівці

$$K_3 = 3451 \text{ мм}^3$$

$$\gamma_3 = \frac{32 \cdot Q}{\pi \cdot d^3} = \frac{32 \cdot 133414}{\pi \cdot 90^3} = 1,9 \text{ с}^{-1}$$

$$\mu_i = m \cdot \gamma_i^{-0,53} = 2400 \cdot 1,9^{-0,53} = 1711 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\Delta P_3 = \frac{Q \cdot \mu_i}{K_i} = \frac{133414 \cdot 1711}{7451} = 2974 \text{ Па}$$

Ділянка №4

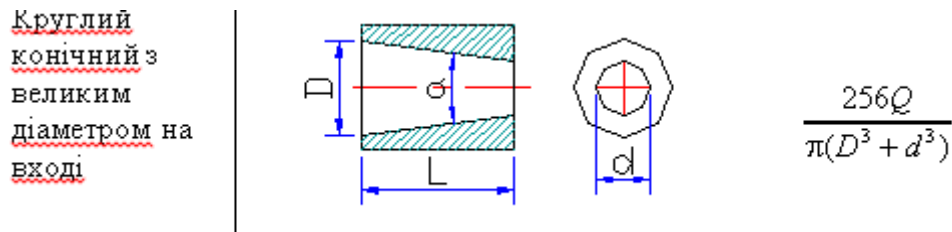


Рис.5.9 - Розрахункова схема перепаду тиску в екструзійній голівці

$$K_4 = 47616 \text{ мм}^3$$

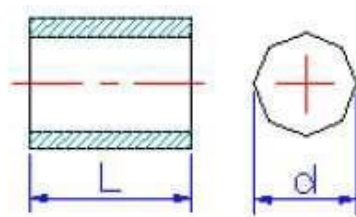
$$\gamma_4 = \frac{256 \cdot Q}{\pi(D^3 + d^3)} = \frac{256 \cdot 133414}{\pi(112^3 + 90^3)} = 5,1 \text{ с}^{-1}$$

$$\mu_i = m \cdot \gamma_i^{-0,53} = 2400 \cdot 5,1^{-0,53} = 930,3 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\Delta P_4 = \frac{Q \cdot \mu_i}{K_i} = \frac{133414 \cdot 930,3}{87616} = 1536 \text{ Па}$$

Ділянка №5

Круглий
циліндровий



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

Рис.5.10 - Розрахункова схема перепаду тиску в екструзійній голівці

$$K_5 = 80835 \text{ мм}^3$$

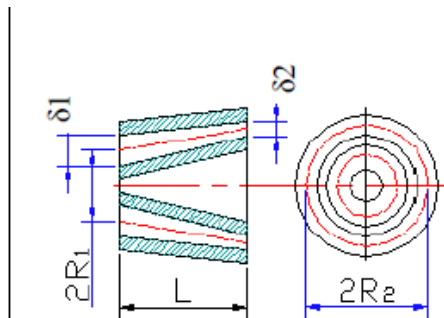
$$\gamma_5 = \frac{32 \cdot Q}{\pi \cdot d^3} = \frac{32 \cdot 133414}{\pi \cdot 112^3} = 0,96 \text{ с}^{-1}$$

$$\mu_i = m \cdot \gamma_i^{-0,53} = 2400 \cdot 0,96^{-0,53} = 2384 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\Delta P_5 = \frac{Q \cdot \mu_i}{K_i} = \frac{133414 \cdot 2384}{160835} = 1946 \text{ Па}$$

Ділянка №6

Конічний
кільцевий з
конічної
щілиною¹



$$\frac{22,32 \cdot Q}{\pi \cdot (R_1 + R_2)(\delta_2 + \delta_1)^2}$$

Рис.5.11 - Розрахункова схема перепаду тиску в екструзійній голівці

$$R_1 = 29,5 \text{ мм}; R_2 = 32 \text{ мм}; \delta_1 = 13 \text{ мм}; \delta_2 = 56 \text{ мм}; K_2 = 8986 \text{ мм}^3$$

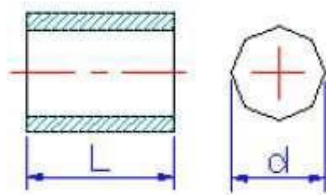
$$\gamma_6 = \frac{22,32 \cdot Q}{\pi(R_1 + R_2)(\delta_1 + \delta_2)^2} = \frac{22,32 \cdot 133414}{\pi(29,5 + 32)(13 + 56)^2} = 1,28 \text{ с}^{-1}$$

$$\mu_i = m \cdot \gamma_i^{-0,53} = 2400 \cdot 1,28^{-0,53} = 2129 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\Delta P_6 = \frac{Q \cdot \mu_i}{K_i} = \frac{133414 \cdot 2129}{5286} = 256750 \text{ Па}$$

Ділянка №7 (решітка)

Круглий
циліндровий



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

Рис.5.12 - Розрахункова схема перепаду тиску в екструзійній голівці

$$K_7 = 0,321 \text{ мм}^3$$

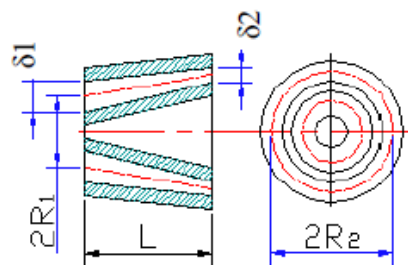
$$\gamma_7 = \frac{32 \cdot Q}{\pi \cdot d^3} = \frac{32 \cdot 133414}{\pi \cdot 0,9^3} \cdot \frac{1}{170} = 10965,4 \text{ с}^{-1}$$

$$\mu_i = m \cdot \gamma_i^{-0,53} = 2400 \cdot 10965,4^{-0,53} = 18 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\Delta P_7 = \frac{Q \cdot \mu_i}{K_i} = \frac{133414 \cdot 18}{0,321} = 0,79 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

Ділянка №8

Конічний
кільцевий з
конічної
щілиною¹



$$\frac{22,32 \cdot Q}{\pi \cdot (R_1 + R_2)(\delta_2 + \delta_1)^2}$$

Рис.5.13 - Розрахункова схема перепаду тиску в екструзійній голівці

$$R_1 = 77,5 \text{ мм}; R_2 = 127,5 \text{ мм}; \delta_1 = 13 \text{ мм}; \delta_2 = 5 \text{ мм}; K_5 = 393 \text{ мм}^3$$

$$\gamma_8 = \frac{22,32 \cdot Q}{\pi(R_1 + R_2)(\delta_1 + \delta_2)^2} = \frac{22,32 \cdot 1341}{\pi(77,5 + 127,5)(13 + 5)^2} = 14,3 \text{ с}^{-1}$$

$$\mu_i = m \cdot \gamma_i^{-0,53} = 240 \cdot 14,3^{-0,53} = 60 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\Delta P_8 = \frac{Q \cdot \mu_i}{K_i} = \frac{1341 \cdot 60}{39} = 2021,5 \text{ Па}$$

Ділянка 9

Кільцевий

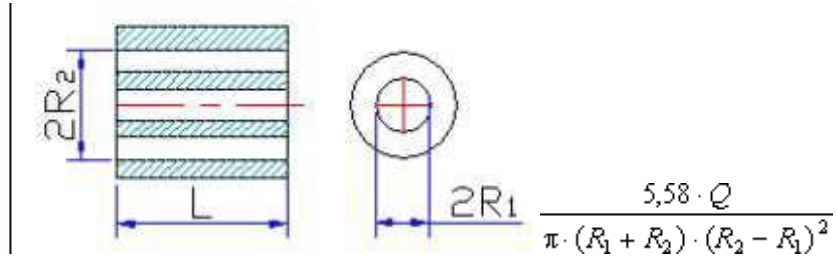


Рис.5.14 - Розрахункова схема перепаду тиску в екструзійній голівці

$$R_1 = 75 \text{ мм}; R_2 = 80 \text{ мм}; K_7 = 16,8 \text{ мм}^3$$

$$\gamma_9 = \frac{22,32 \cdot Q}{\pi(R_1 + R_2)(R_2 + R_1)^2} = \frac{22,32 \cdot 133414}{\pi(80 + 75)(80 - 75)^2} = 61,2 \text{ с}^{-1}$$

$$\mu_i = m \cdot \gamma_i^{-0,53} = 2400 \cdot 61,2^{-0,53} = 280 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\Delta P_9 = \frac{Q \cdot \mu_i}{K_i} = \frac{133414 \cdot 280}{16,8} = 0,99 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

Загальний перепад тиску в голівці

$$\Delta P = \sum \Delta P_i = 71200 + 152100 + 256750 + 2021,5 + 0,99 \cdot 10^5 + 0,79 \cdot 10^5 + 1946 + 1536 + 2974 = 4159706 \text{ Па} = 4,16 \text{ МПа}$$

5.5 Розрахунок потужності двигуна екструдера

Методика виконання завдання, [4].

1. Потужності, споживана у гвинтовому каналі:

$$I = \frac{\pi^2 \cdot D^2 - 4 \cdot t^2}{\pi^2} + \frac{\pi^2 \cdot D^5}{t^2 + \pi^2 \cdot D^2}$$

$$N_1 = \frac{\pi^3(t-e) \cdot l_{\text{доз}} \cdot I \cdot \mu_1 \cdot n^2}{136 \cdot t} 10^{-13} + \frac{a \cdot \Delta P \cdot n}{6} 10^{-5} \text{ [кВт]}$$

В'язкість визначається за швидкістю зсуву:

$$\dot{\gamma}_k = \frac{\pi^2 \cdot D^2 \cdot n}{60 \cdot h_2 \cdot \sqrt{\pi^2 \cdot D^2 + 2 \cdot t^2}}$$

2. Розрахунок потужності, споживаної у зазорі між гребнем і корпусом:

$$N_2 = \frac{\pi^3 \cdot D^3 \cdot e \cdot l_{\text{доз}} \cdot \mu_1 \cdot n^2}{36 \cdot \delta \cdot t} 10^{-13} [\text{кВт}]$$

$$\dot{\gamma}_3 = \frac{\pi^2 \cdot D^2 \cdot n}{60 \cdot \delta}$$

3. Розрахунок потужності, споживаної у зоні дозування:

$$N_{\text{доз}} = N_1 + N_2$$

4. Розрахунок потужності, споживаної черв'яком:

$$N_r \approx 1,5 N_{\text{доз}}$$

5. Потужність двигуна:

ККД приводу приймаємо $\eta = 0,7 \dots 0,8$

$$N_{\text{дв}} = \frac{N_r}{\eta}$$

1. Розрахунок потужності, споживаної у гвинтовому каналі:

$$I = \frac{\pi^2 \cdot D^2 - 4 \cdot t^2}{\pi^2} + \frac{\pi^2 \cdot D^5}{t^2 + \pi^2 \cdot D^2} = \frac{\pi^2 \cdot 63^2 - 4 \cdot 63^2}{\pi^2} + \frac{\pi^2 \cdot 63^5}{63^2 + \pi^2 \cdot 63^2} =$$

$$= 229403 \text{ мм}^2$$

В'язкість визначається за швидкістю зсуву:

$$\dot{\gamma}_k = \frac{\pi^2 \cdot D^2 \cdot n}{60 \cdot h_2 \cdot \sqrt{\pi^2 \cdot D^2 + 2 \cdot t^2}} = \frac{\pi^2 \cdot 63^2 \cdot 150}{60 \cdot 6,63 \cdot \sqrt{\pi^2 \cdot 63^2 + 2 \cdot 63^2}} = 68,05$$

$$\mu_1 = m \cdot \gamma^{-0,53} = 2206 \cdot 68,05^{-0,53} = 218 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$N_1 = \frac{\pi^3 (t - e) \cdot l_{\text{доз}} \cdot I \cdot \mu_1 \cdot n^2}{136 \cdot t} 10^{-13} + \frac{a \cdot \Delta P \cdot n}{6} 10^{-5} =$$

$$= \frac{\pi^3 (63 - 12) \cdot 630 \cdot 229403 \cdot 218 \cdot 60^2}{136 \cdot 63} 10^{-13} + \frac{153371 \cdot 4,16 \cdot 60}{6} 10^{-5} =$$

$$= 2,75 \text{ кВт}$$

2. Розрахунок потужності, споживаної у зазорі між гребнем і корпусом:

$$\dot{\gamma}_3 = \frac{\pi^2 \cdot D^2 \cdot n}{60 \cdot \delta} = \frac{\pi^2 \cdot 63^2 \cdot 60}{60 \cdot 0,189} = 261,6$$

$$\mu_1 = m \cdot \gamma^{-0,53} = 2206 \cdot 261,6^{-0,53} = 34 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$N_2 = \frac{\pi^3 \cdot D^3 \cdot e \cdot l_{\text{доз}} \cdot \mu_1 \cdot n^2}{36 \cdot \delta \cdot t} 10^{-13} = \frac{\pi^3 \cdot 63^3 \cdot 12 \cdot 630 \cdot 34 \cdot 60^2}{36 \cdot 0,189 \cdot 63} 10^{-13} \\ = 5,9 \text{ кВт}$$

3. Розрахунок потужності, споживаної у зоні дозування:

$$N_{\text{доз}} = N_1 + N_2 = 2,75 + 5,9 = 8,65 \text{ кВт}$$

4. Розрахунок потужності, споживаної черв'яком:

$$N_r \approx 1,5 N_{\text{доз}} = 1,5 \cdot 8,65 = 12,9 \text{ кВт}$$

5. Потужність двигуна:

ККД приводу приймаємо $\eta = 0,8$

$$N_{\text{дв}} = \frac{N_r}{\eta} = \frac{12,9}{0,8} = 17 \text{ кВт}$$

5.6 Розрахунок черв'яка на міцність

Рзрахунок проводимо за, [4].

Матеріал: 40Х; $\sigma_T = 785 \text{ МПа}$; $D=63 \text{ мм}$; $P_{\text{мах}} = 22 \text{ МПа}$;

$N_{\text{дв}} = 17 \text{ кВт}$; $d_0 = 30 \text{ мм}$;

1. Розраховуємо крутний момент:

$$M_{kr} = \frac{30 \cdot N}{\pi \cdot n} = \frac{30 \cdot 17000}{\pi \cdot 60} = 2705,6 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Де $n = 60 \text{ об/хв}$, - швидксть обертання черв'яка;

2. Осьове зусилля:

$$P_{\text{ос}} = \frac{2 \cdot M_{kr}}{D} \cdot tg(\varphi) = \frac{2 \cdot 2706}{0,63} \cdot tg(17,56) = 29735 \text{ кН}$$

3. Розподілене навантаження від власної ваги:

$$q = \frac{9,81 \cdot G}{l_{\text{роб}}} = \frac{9,81 \cdot 40}{1,575} = 249,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

де $G = 40$ кг - маса черв'яка.

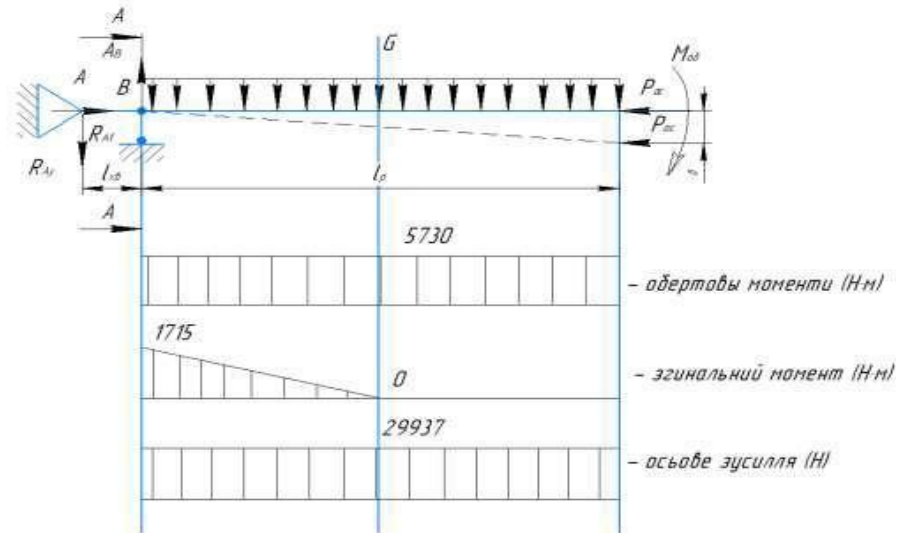


Рис. 5.15 - Розрахункова схема черв'яка та епюри напружень

Бачимо що найнебезпечніший переріз по опорі В, там де хвостовик переходить у гвинтову навивку. Тому рахуємо там:

4. Максимальний згинаючий момент від власної ваги:

$$M_{\text{max}} = \frac{1}{2} q \cdot l_{\text{роб}}^2 = \frac{1}{2} 249 \cdot 1,575^2 = 3088,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

5. Осьовий момент опору:

$$W_x = \frac{\pi \cdot d_1^2 \cdot (1 - a^4)}{32} = \frac{\pi \cdot 0,04^2 \cdot (1 - 0,75^4)}{32} = 5,07 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$$

$$\text{Де } a = \frac{d_0}{d_1} = \frac{0,03}{0,04} = 0,75;$$

6. Стискне напруження:

$$\sigma_{\text{ст}} = \frac{P_{\text{ос}}}{F} + \frac{M_{\text{max}}}{W_x} = \frac{29735}{0,000549} + \frac{3088}{5,07 \cdot 10^{-5}} = 115069410 \text{ Па} = 115,07 \text{ МПа}$$

де F – площа небезпечного перерізу:

$$F = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} (1 - a^2) = \frac{\pi \cdot 0,04^2}{4} (1 - 0,75^2) = 5,49 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

7. Дотичне напруження:

$$\tau = \frac{M_{kp}}{W_p} = \frac{3088}{3,13 \cdot 10^{-6}} = 78658140 \text{ Па} = 78,65 \text{ МПа}$$

де W_p – полярний момент опору

$$W_p = \frac{\pi \cdot d_1^3 \cdot (1 - a^4)}{16} = \frac{\pi \cdot 0,04^3 \cdot (1 - 0,75^4)}{16} = 3,14 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

8. Еквівалентні напруження за третьою теорією міцності:

$$\sigma_{\text{екв}} = \sqrt{\sigma_{\text{ст}}^2 + 4 \cdot \tau^2} = \sqrt{115,07^2 + 4 \cdot 78,65^2} = 195 \text{ МПа}$$

9. Коефіцієнт запасу повинен перевищувати допустиме значення:

$$n = \frac{\sigma_t}{\sigma_{\text{екв}}} \geq [n]$$

$$n = \frac{450}{195} = 2,3$$

Матеріал черв'яка сталь 40Х для якої $\sigma_t = 450 \text{ МПа}$.

Умова міцності виконується.

5.7 Розрахунок черв'яка на стійкість

Оскільки шнек може витримати згинальний момент навантажування від зацикленої дії власної ваги, потрібно перевірити його витривалість, [4].

Рахуємо коефіцієнт міцнісного запасу у час навантаження циклічного:

$$n_6 = \frac{\sigma_{-1}}{(k_\sigma)d \cdot \sigma_a + \Psi_\delta \cdot \sigma_c} = \frac{490}{2,64 \cdot 61 + 0,21 \cdot 0} = 3,004$$

де $\sigma_{-1} = 0,5 \cdot \sigma_b = 0,5 \cdot 980 = 490 \text{ МПа}$ - допустиме напруження під час циклічного навантаження;

σ_a -амплітуда змінювання напружень, у цьому випадку вони змінюються від $+\sigma_{\text{мах}}$ до $-\sigma_{\text{мах}}$, де $\sigma_{\text{мах}}$ - найбільші напруження від дії згинального моменту

$$\sigma_{\text{мах}} = \frac{M_{\text{мах}}}{W_x} = \frac{3088}{5,07 \cdot 10^{-5}} = 61 \text{ МПа}$$

$\sigma_c = 0$ - середнє напруження циклу, оскільки цикл симетричний;

$$\Psi_{\sigma} = 0,21;$$

$(k_{\sigma})_d$ - ефективний коефіцієнт концентрації напружень, який можна знайти

$$\text{за формулою } (k_{\sigma})_d = \frac{k_{\delta}}{(\beta \cdot \varepsilon)} = \frac{1,8}{1,15 \cdot 0,59} = 2,64,$$

де $k_{\delta} = 1,8 \dots 2$ - коефіцієнт концентрації напружень; β – коефіцієнт, який враховує якість поверхні деталі; $\varepsilon = 0,59$ - коефіцієнт, який враховує розмір перерізу деталі і обирається в залежності від діаметра з таблиць.

Всі умови розрахунку черв'яка на витривалість виконуються.

5.8 Тепловий розрахунок

Мета: визначити кількість тепла, яку необхідно підвести електронагрівачами, розраховуємо за методикою, [4].

Вихідні дані:

Потужність, встановлена електродвигуном	$N = 17000 \text{ Вт}$
Продуктивність по поліетилену	$G_M = 139 \text{ кг/год}$
Початкова температура матеріалу	$T_{\Pi} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Кінцева температура матеріалу	$T_K = 180 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Температура поверхні кожуха	$T_{\text{КОЖ}} = 45 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Температура повітря	$T_{\Pi} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Ширина теплообмінної поверхні	$B = 0,3 \text{ м}$
Довжина теплообмінної поверхні	$L = 1,5 \text{ м}$
К.К.Д. приводу преса	$\eta_1 = 0,75$
К.К.Д. електродвигуна.	$\eta_2 = 0,9$

Тепловий баланс преса:

$$Q_N + Q_{N1} = G_M \cdot C_M \cdot (T_K - T_{\Pi}) + Q_0 + Q_{\text{втр}},$$

де Q_N - потужність, що виділяється в результаті дисипації механічної енергії, Вт:

$$Q_N = N \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 = 17 \cdot 10^3 \cdot 0,75 \cdot 0,9 \cdot 0,75 = 8606 \text{ Вт} = 8,6 \text{ кВт}$$

де N – потужність встановленого електродвигуна, Вт;

η_1 – к.к.д. приводу машини;

η_2 – к.к.д. електродвигуна;

η_3 – к.к.д. перетворення механічної енергії в теплову (0,75–0,8);

Q_{N1} – кількість теплоти, що підводиться до корпуса електронагрівниками,

Вт;

G_M – масова продуктивність екструдера, кг/с;

C_M – питома масова теплоємність полімеру, Дж/(кг К); t_k – температура, до якої потрібно нагрівати полімер, °С;

t_{II} – температура, з якою полімер надходить в екструдер, °С;

Q_o – кількість теплоти, що відводиться водою, яка охолоджує черв'як:

$$Q_o \cdot G_v \cdot C_v \cdot t = 0,127 \cdot 4183 \cdot 10 = 5312,4 \text{ Вт}, \text{ де } G_v -$$

витрата води, кг/с;

C_v – питома теплоємність води при 20°C, (4183 Дж/(кг К));

Δt_v – перепад температур води між входом та виходом, для попереднього розрахунку приймається рівним 5–10 °С.

Витрата води приймається таким чином, щоб її швидкість в охолоджувальному каналі v не перевищувала 0,1–0,8 м/с. Тоді її можна визначити з рівняння

$G_v \cdot f \cdot v \cdot \rho = 2,543 \cdot 10^{-4} \cdot 0,5 \cdot 1000 = 0,127 \text{ кг/с}$, де f – площа перерізу охолоджувального каналу, м² ;

$$f = \pi \cdot r^2 = 3,14 \cdot 0,009^2 = 2,543 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

ρ – густина води, 1000 кг/м³

$Q_{втр}$ – втрати теплоти в навколишнє середовище

$$q_{\text{втр}} = q_K + q_{\text{випр}},$$

де Q_K - втрати тепла в оточуюче середовище конвекцією:

$$Q_K = \alpha_K \cdot F \cdot (T_{\text{кож}} - T_{\text{п}}),$$

де F - теплообмінна поверхня преса:

$$F = B \cdot L = 0,3 \cdot 1,5 = 0,45 \text{ м}^2,$$

$T_{\text{кож}}$ – температура поверхні кожуха машини, °С;

$T_{\text{п}}$ – температура навколишнього повітря, °С;

α_K – коефіцієнт тепловіддачі від кожуха екструдера в навколишнє середовище конвекцією:

$$\alpha_K = \frac{Nu \cdot \lambda_M}{D}$$

Nu – критерій Нуссельта,

λ_M – коефіцієнт теплопровідності за визначальної температури, Вт/(м·К)

($\lambda_M = 2,72$);

D – діаметр кожуха, м.

Значення визначальної температури:

$$T_p = \frac{T_{\text{кож}} + T_{\text{п}}}{2} = \frac{45 + 20}{2} = 32,5^\circ\text{C}$$

Критерій Нуссельта:

$$Nu = C \cdot (G_r \cdot Pr)^n,$$

де Gr - критерій Грасгофа:

$$G_r = \frac{\beta \cdot D^3 \cdot g \cdot \Delta T}{\nu^2} = \frac{3,273 \cdot 10^{-3} \cdot 0,25^3 \cdot 9,81 \cdot 25}{16,48 \cdot 10^{-6}} = 3,114 \cdot 10^6, \text{ де}$$

g – прискорення вільного падіння, 9,8 м/с²;

β – коефіцієнт об'ємного розширення ($= 3,273 \cdot 10^{-3}$);

Pr – критерій Прандля повітря ($Pr = 0,7$),

ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря за визначальної температури, м²/с ($\nu = 16,48 \cdot 10^{-6}$ м²/с);

Добуток GrPr :

$$\text{GrPr} = 3,114 \cdot 10^6 \cdot 0,7 = 2,18 \cdot 10^6$$

Значення параметрів C і n обирається залежно від діапазону значень добутку GrPr: C = 0,54; n = 0,25.

Критерій Нуссельта:

$$Nu = 0,54 \cdot (2,18 \cdot 10^6)^{0,25} = 20,75$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки корпусу в оточуюче середовище:

$$\alpha_k = \frac{Nu \cdot \lambda_m}{D} = \frac{20,75 \cdot 2,72}{0,25} = 225,76$$

Втрати тепла в оточуюче середовище конвекцією:

$$Q_K = \alpha_k \cdot F \cdot (T_{\text{кож}} - T_{\text{п}}) = 225,76 \cdot 0,45 \cdot (45 - 20) = 2540 \text{ Вт}$$

Втрати тепла в оточуюче середовище випромінюванням:

$$\begin{aligned} Q_{\text{випр}} &= 5,67 \cdot \varepsilon \cdot F \cdot \left(\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right) = \\ &= 5,67 \cdot 0,6 \cdot 0,45 \cdot \left(\left(\frac{306,5}{100} \right)^4 - \left(\frac{293}{100} \right)^4 \right) = 22,3 \text{ Вт} \end{aligned}$$

де $\varepsilon = 0,6$ - степінь чорноти матеріала кожуха,

T₁ = 306,5 °C - абсолютна температура кожуха,

T₂ = 293 °C - абсолютна температура оточуючого середовища.

Втрати тепла в оточуюче середовище:

$$Q_{\text{втр}} = Q_K + Q_{\text{випр}} = 2540 + 22,3 = 2562,3 \text{ Вт}$$

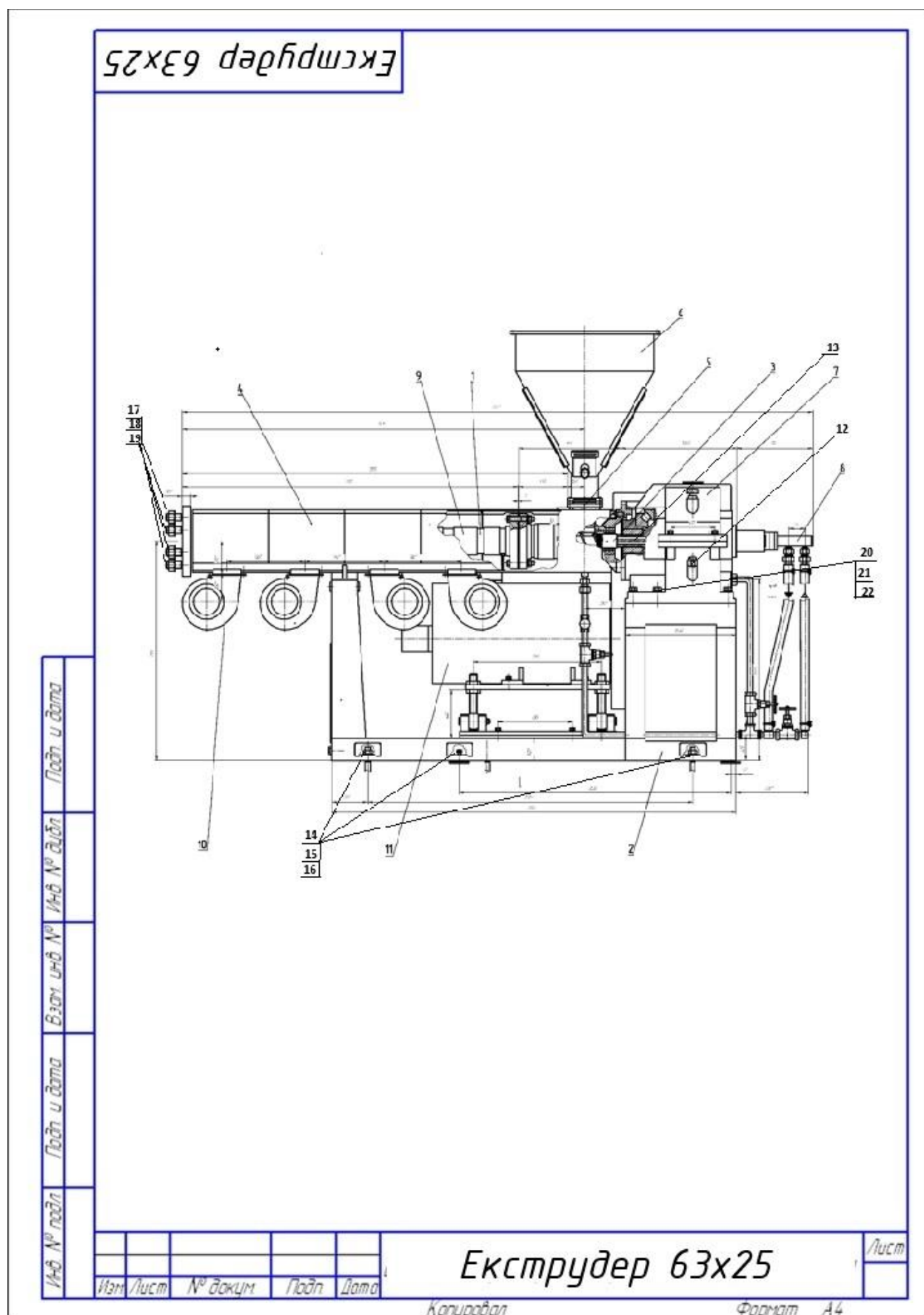
Кількість теплоти Q_{N1} , яку потрібно підвести до машини електронагрівниками:

$$\begin{aligned} Q_{N1} &= (G_M \cdot C_M \cdot (T_K - T_{II}) + Q_0 + Q_{втр}) - Q_N = \\ &= (0,173 \cdot 1470 \cdot (45 - 20) \cdot 5312,4 + 2562,3) - 8606 = \\ &= 11913,6 \text{ Дж} = 11,9 \text{ кДж} \approx 12 \text{ кДж} \end{aligned}$$

Для нормальної виробітки даної кількості тепла треба встановити 4 нагрівачів потужністю 3 кВт.

6 Спеціальні розділ

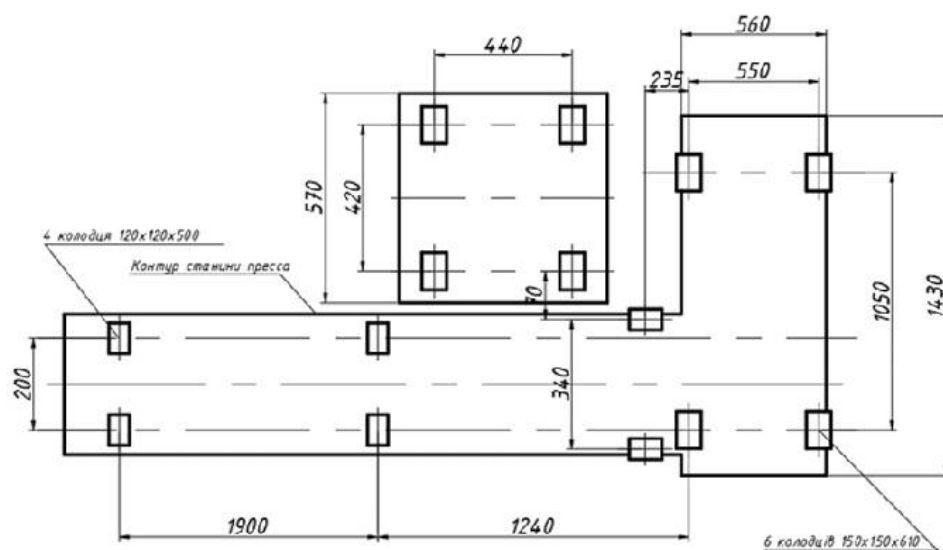
6.1 Монтаж і експлуатація екструдеру



Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка		
Перв. примен.								
					<u>Документація</u>			
					<u>Складальне креслення</u>			
					<u>Складальні одиниці</u>			
		1		Циліндр екструдера	1			
		2		Рама	1			
		3		Черв'як	1			
Справ. №		5		Лійка завантажувальна	1			
		6		Завантажувальний дункер	1			
		7		Редуктор	2			
		8		Охолоджувальний пристрій	1			
		9		Індукційний нагрівник	1			
		10		Вентилятор	1			
		11		Електродвигун	1			
				<u>Деталі</u>				
		4		Захисний кожух	1			
		12		Муфта з'єднувальна	1			
		13		Опорні підшипники	1			
				<u>Стандартні вироби</u>				
Подп. и дата		14		Фундаментні болти М14				
				ГОСТ 11738-72	14			
Подп. и дата								
Изм. лист								
Изм. № подл.	Разраб.	Кодернюк			Екструдер 63x25	Лист.	Лист	Листов
	Проб.						1	2
Керівник						НТУУ "КПІ" ФАП ІЕ		
Н.контр.								
Чтв.								

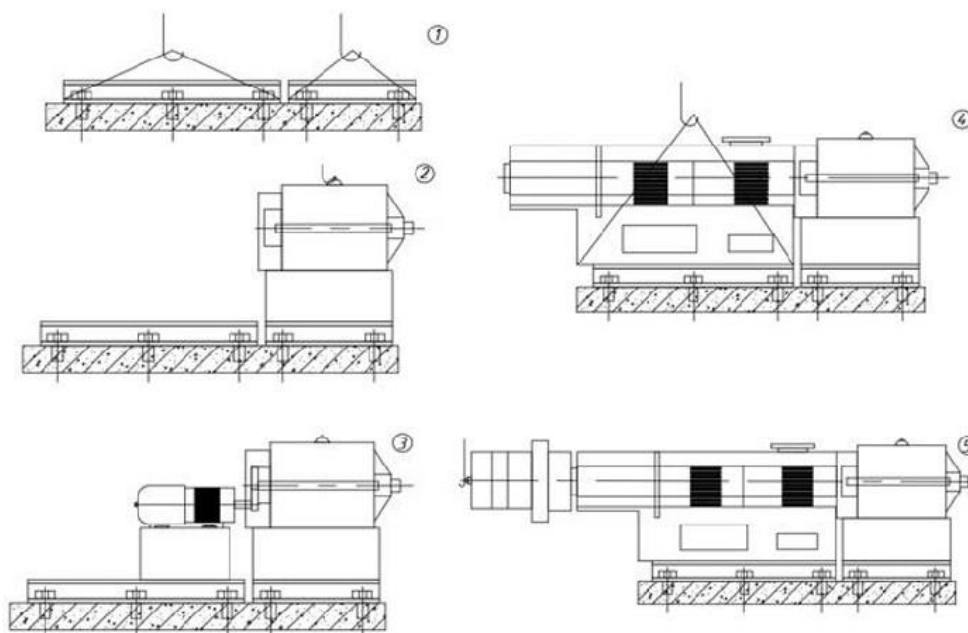
[illegible]

Інв. № дубл.	Підпис і дата	Влас. № №	Інв. № дубл.	Підпис і дата
Карта ескізів				
План розміщення фундаментних болтів				
Номер операції				



										Разроб.			Арх.
													Архув.
Іх	Архув.	Модулянта	Підпис	Дата	Іх	Архув.	Модулянта	Підпис	Дата	Н.Контр.			

Інв. № дубл.	Підпис і дата	Влас. № №	Інв. № дубл.	Підпис і дата
Карта ескізів				



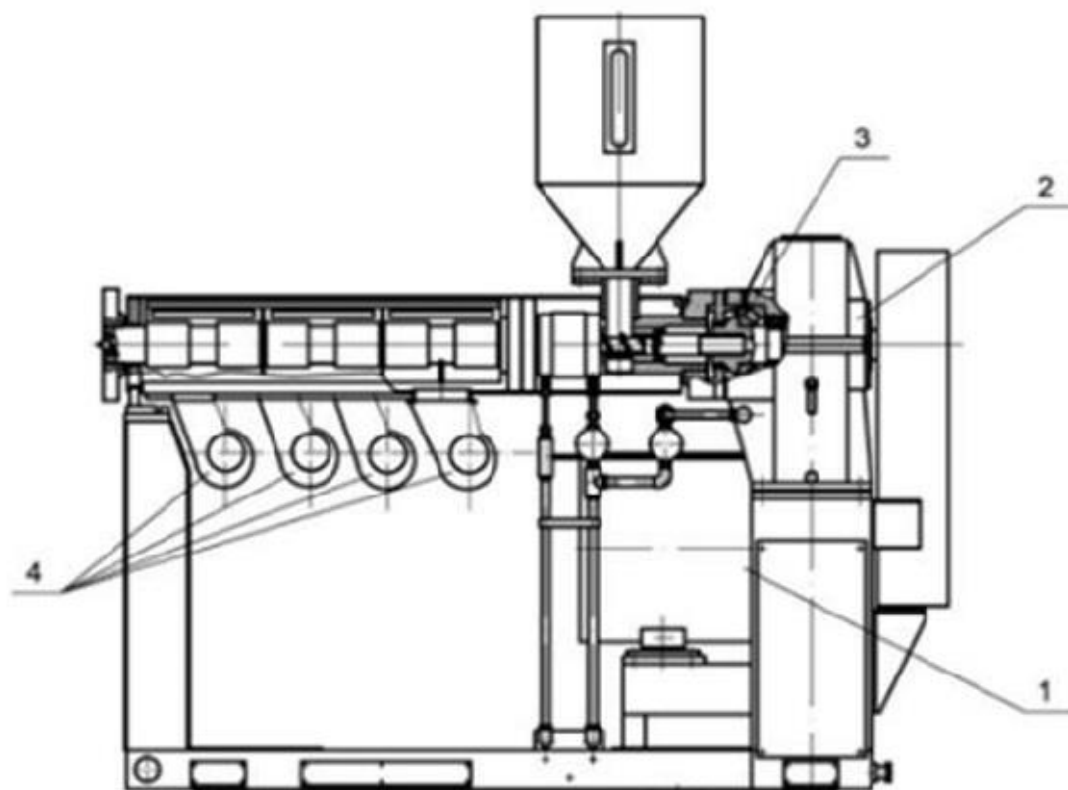
Номер операції	
①	1
②	2
③	3
④	4
⑤	5

										Разроб.			Арх.
													Архув.
Іх	Архув.	Модулянта	Підпис	Дата	Іх	Архув.	Модулянта	Підпис	Дата	Н.Контр.			

Инв. № дубл.	Підпис і дата	Взам. інв.№	Инв. № дубл.	Підпис і дата											
					Операційна карта слюсарно-складальних робіт										
№ цеха	№ участ	№ опер	Найменування операції								Обладнання				
			Монтаж черв'ячного преса												
№ переходу	Зміст переходу										Технологічний режим	К-сть	Прийомлення	Інструмент	То, хв.
1.	Застропити і підняти підставку екструдера. Наживити фундаментальні болти на підставку і опустити підставку за місцем. Повторити цю операцію з підставкою редуктора та підставкою електродвигуна										Підставки	1,1,1	Кран підйомний		18
											Фундаментальні болти	14	Q = 3 т		
													Трос а = 20		
2.	Стропити стіл за монтажні петлі і опустити підставку. Вставити болти в отвори ствола і наживити їх. Стропити редуктор за монтажні петлі і опустити на стіл, вставити болти в отвори корпусу редуктора і столу і наживити їх.										стіл	1	Кран підйомний	Гайковий ключ	16
											Редуктор	1	Q = 3 т	S = 20	
											Болт	12			
3.	Стропити стіл за монтажні петлі і опустити на підставку. Вставити болти в отвори стола і наживити. Стропити електродвигун чалками і опустити на стіл, вставити болти в отвори лап двигуна і наживити їх.										стіл	1	Кран підйомний	Гайковий ключ	16
											електродвигун	1	Q = 3 т	S = 20	
											Болт	14			
4.	Стропити екструдер за монтажні петлі і опустити підставку. Вставити болти в отвори екструдера і наживити їх.										екструдер	1	Кран підйомний	Гайковий ключ	8
											Болт	14	Q = 6,3 т	S = 20	
													Трос а = 20		
											Розробив				Лист
											Перевір.				
											Керівник				Лист
	зм	Лист	№ докум	Підпис	Дата	зм	Лист	№ докум	Підпис	Дата	Затвердив				

Инв. № дубл.	Підпис і дата	Взам. інв.№	Инв. № дубл.	Підпис і дата											
					Операційна карта слюсарно-складальних робіт										
№ цеха	№ участ	№ опер	Найменування операції								Обладнання				
			Монтаж черв'ячного преса												
№ переходу	Зміст переходу										Технологічний режим	К-сть	Прийомлення	Інструмент	То, хв.
5.	Стропити головку трубну чалками і приєднати до екструдера										Головка	1	Кран підйомний		8
											трубна		Q = 3 т		
6.	Затягнути фундаментальні болти після затвердіння бетону														15
7.	З'єднати вал електродвигуна і вихідний вал редуктора муфтою. Вихідний кінець редуктора з'єднати з екструдером										Муфта	1			30
8.	Затягнути болти і стопорити їх контргайками													Гайковий ключ	20
													S = 20		
9.	Перевірити плавність обертання валів поворотом вручну муфти														5
											Розробив				Лист
											Перевір.				
											Керівник				Лист
	зм	Лист	№ докум	Підпис	Дата	зм	Лист	№ докум	Підпис	Дата	Затвердив				

ԿՈՆԾՐԻՄԱԷ ՈՎԶԽՂ



Math N^0 კარი	კოდიტი უ დიგა	ბიგაი Math N^0	Math N^0 დიგ	კოდიტი უ დიგა

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Схема змащування

Auctm

Капурабал

Формат А4

**Таблиця
змащування**

№ п/п	Змащуванні місця	Кількість точок змащення	Змазка	Метод змащування	Періодичність змащування
1	Підшипник ротора електродвигуна приводу черв'ячного преса	2	УС-3(Т) ГОСТ 1033-51	Треба заповнити порожнечу підшипника на 2/3 мастилом, після 1 раз на три місяці додавати в кожну порожнину 70 г мастила	Заміну мастила проводити після промивки підшипників один раз в 6-8 місяців
2	Редуктор	5	Солідол М та мастило індустрі альне 30, ГОСТ 20799-75	Підшипники редуктора змащуються через прес- мастилки, а зубчасті колеса - заливкою мастила в порожнину редуктора через оглядове вікно.	Перший раз після місячної експлуатації, потім 1 раз в 6 місяців
3	Вузол опірною підшипника	3	Мастило ТАП-15 ГОСТ 23652-79	Подача мастила до змащуваних вузлів здійснюється через систему примусового змащування з використанням насоса типу 12С76-НМ.	Перший раз після місячної експлуатації потім 1 раз в 4 місяці
4	Підшипники електродвигунів вентиляторів	2	УС-2(Т) ГОСТ 1033-51	Після очищення підшипника залити в	Перевірка 1 раз на 6 місяців, заміна 1 раз

				спеціальний отвір на 2/3 мастила	на 12 місяців
--	--	--	--	--	---------------

6.2 Розробка стартап проекту

6.2.1 Опис ідеї продукту

Метою стартап проекту є формування та запровадження автономної системи дронів для автоматизованого зварювання й обслуговування трубопроводів із полімеру, що дасть змогу виконувати ремонт і зведення трубопровідних систем у небезпечних та важкодоступних місцях без залучення потужної техніки та значних коштів.

Виріб стартап-проекту сфокусований на задоволення потреб підприємств житлово-комунального сектору, будівельних та промислових структур, які експлуатують або монтують поліетиленові трубопроводи. Застосування автоматизованих дронів дозволяє підвищити швидкість виконання робіт, гарантувати стабільну якість зварного стику та зменшити загрози для персоналу.

Комерціалізація проекту передбачає надання послуг з автоматизованого зварювання та відновлення трубопроводів, а також поставку спеціалізованих дронів під певні вимоги клієнта. Основний прибуток планується отримувати за рахунок виконання монтажних-відновлювальних робіт, сервісного обслуговування та укладання довготривалих угод з комунальними та промисловими установами.

Стартап-розробка має потенціал зростання завдяки розширенню можливостей дронів, пристосуванню системи під різні діаметри комунікацій та з'єднанню з сучасними технологіями неруйнівного тестування якості з'єднання.

Головна концепція, шляхи впровадження та переваги для споживача зазначені у таблиці 6.2.1.

Таблиця 6.2.1 - Опис ідеї проекту

Зміст ідеї	Напрямок застосування	Вигоди для користувача
Створення та впровадження	Монтаж трубопроводів водопостачання	Скорочення часу монтажу та стабільна якість зварних з'єднань

автономної системи дронів для автоматизованого зварювання та ремонту трубопроводів з полімеру	Ремонт і обслуговування мереж ЖКГ	Зменшення простоїв трубопроводів та витрат на ремонт
	Промислові трубопроводи	Підвищення надійності та довговічності трубних з'єднань
	Будівельні та промислові об'єкти	Підвищення безпеки праці персоналу
	Трубопроводи з ПЕВТ та ПЕНТ	Сумісність із серійними поліетиленовими трубами



Рис.6.2.1 - Логотип стартап проекту

Назва компанії - 'PipeDrone WeldTech'. Аналіз ймовірних техніко-економічних переваг задуму порівняно з пропозиціями супротивників та містить:

- визначення переліку техніко-економічних властивостей та ознак ідеї;
- визначення попереднього кола суперників та збирання відомостей щодо показників економічної ефективності для задуму власного проекту та проектів-конкурентів згідно з окресленим вище переліком;
- Здійснюється порівняльний аналіз показників: для власної концепції визначаються показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) подібні (N, нейтральні) значення; в) ліпші значення (S, сильні) (табл. 6.2.2).

Таблиця 6.2.2 - Визначення слабких та сильних, нейтральних ідей проекту

№	Характеристика ідей	Потенційні конкуренти				W	N	S
		Мій проект	Конкурент 1 'McElroy Manufacturing'	Конкурент 2 'RITMO S.p.A.'	Конкурент 3 'Georg Fischer'			
1	Мобільність зварювальної системи (вага приладу, кг)	20	180	140	220	-	-	+
2	Можливість роботи у важкодоступних місцях(% доступності)	90-95	40-50	50-60	45-55	-	-	+
3	Рівень автоматизації процесу зварювання, %	85-90	65	70	80	-	+	-
4	Безпека для обслуговуючого персоналу (Мін кількість операторів на 1 роботу)	1	3	2	2	-	+	-
5	Якість та стабільність зварного шва (максимальні відхилення по температурі $\pm^{\circ}\text{C}$)	4	5	4	3	-	+	-
6	Швидкість виконання ремонтних робіт, хв	20-30	20-30	18-25	15-20	+	-	-
7	Відсутність у потребі важкій техніки(мінімаль	0	1	1	1	-	-	+

	на кількість важкої техніки для виконання роботи)							
8	Енергоефективність процесу, кВт	0.8-1.2	3-5	2-4	4-6	-	-	+

Виходячи з результатів таблиці, можна зробити висновок, що сильні сторони проекту: мобільність зварювальної системи, можливість роботи у важкодоступних місцях, енергоефективність процесу, відсутність у потребі важкої техніки. До нейтральних: якість та стабільність зварного шву, рівень автоматизації процесу, безпека обслуговуючого персоналу. До слабких: швидкість виконання ремонтних робіт.

6.2.2 Технологічний аудит проекту

Проект базується на об'єднанні технологій зварювання полімерних матеріалів, безпілотних літальних апаратів, систем автоматичного керування та сенсорного контролю. Застосування згаданих технологій дає змогу забезпечити виконання зварювальних операцій у важкодоступних зонах із мінімальною участю людини.

Таблиця 6.2.3 - Технологічна ідея проекту

№	Ціль проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Автоматизоване зварювання поліетиленових труб	Технологія стикового та екструзійного зварювання полімерів	Технології наявні та широко застосовуються у промисловості	Доступні через серійне зварювальне обладнання
2	Використання автономних дронів для монтажу трубопроводів	Безпілотні літальні апарати з системами стабілізації	Технології наявні, активно використовуються в промисловості	Доступні на ринку безпілотних систем
3	Автоматичне	Системи	Технології	Частково

	позиціонування дрона відносно труби	машинного зору та лазерного позиціонування	наявні, потребують адаптації	доступні, можливе доопрацювання
4	Контроль параметрів зварювання	Сенсори температури, тиску та швидкості подачі матеріалу	Технології наявні	Доступні та серійно виробляються
5	Автономне керування процесом зварювання	Програмне забезпечення керування та алгоритми автоматизації	Наявні, потребують інтеграції	Доступні, потребують програмної адаптації

Використовуючи дані наявні у таблиці, можна сказати, що ідея стартап-проекту PipeDrone WeldTech є технологічно можливою. Ключові технології, потрібні для втілення проекту, вже є та використовуються у споріднених сферах. Водночас, для практичного впровадження проекту потрібна інтеграція та пристосування окремих технічних рішень, зокрема систем визначення місця та програмного забезпечення управління процесом зварювання.

6.2.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Стартап-проект спрямований на сферу будівництва, експлуатації та ремонту трубопроводів, яка вирізняється високою зношеністю мереж, зростанням вимог до безпеки робіт та потребою у скороченні витрат на аварійно-ремонтні заходи.

Таблиця 6.2.4 - Попередні характеристики ринку потенційних проектів

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	100000
3	Динаміка ринку	Зростає
4	Наявність обмежень для входу	Регуляторні
5	Специфічні вимоги до стандартизації та	ISO 12176, ДСТУ 12201

	сертифікації	
6	Середня норма рентабельності	25%

Після початку повномасштабних воєнних дій в Україні, суттєво зросли ціни на енергоресурси та логістику, що зле вплинуло на собівартість полімерних виробів. Водночас, виробники мусили пристосуватися до нових обставин через оптимізацію виробничих процесів та збільшення ефективності вжитку ресурсів.

Одним із головних напрямків модернізації виробництва стало запровадження автоматизованих технологій, зокрема систем автоматичного та роботизованого зварювання полімерних труб. Використання таких рішень дозволяє зменшити вплив людського чинника, підвищити стабільність якості зварних з'єднань, скоротити втрати матеріалу та знизити енерговитрати. Паралельно підприємства все частіше застосовують біополімери та вторинну сировину, що відповідає сучасним екологічним вимогам.

Зміни вартості сировини разом із жорсткою конкуренцією між вітчизняними й закордонними виробниками сприяли відносній стабілізації ринку. При цьому сегмент високотехнологічної та преміальної продукції, зокрема трубопровідних систем з автоматизованим зварюванням, залишається менш чутливим до коливань цін. Зазначені тенденції підтверджують наявність суттєвого потенціалу розвитку ринку полімерної продукції в Україні за умови активного впровадження автоматизації та новаторських виробничих методів.

Далі ми окреслюємо можливі верстви споживачів, їхні ознаки та складемо приблизний перелік потреб до товару для кожної верстви (таблиця 6.2.5).

Таблиця 6.2.5 - Характеристика потенційних клієнтів проекту

№	Потреба що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Зниження ціни і безпеки при монтажі та ремонті	Комунальні підприємства, будівельні компанії, аварійні	Виробництво продукції згідно усім нормам та	Якість зварювання, підвищення безпеки при

	трубопроводу	служби, промислові підприємства	стандартів.	роботі, відповідність вимогам і стандартам, автоматизація
--	--------------	---------------------------------------	-------------	---

З таблиці 6.2.5 можна сказати, що стартап-проекту резонно направляти насамперед на ринок комунальних, будівельних та промислових підприємств, які використовують мережі трубопроводів та регулярно проводять монтажні й аварійно-ремонтні роботи. Для вдалого виходу на цей ринок потрібно сфокусуватися на впровадженні автоматизованих та безпечних технологій зварювання, гарантуванні відповідності послуги чинним стандартам, а також на створенні сервісних пропозицій та тривалих контрактів, що дадуть змогу зменшити витрати клієнтів та посилити ефективність обслуговування трубопроводів.

Розглядаючи ринкове поле: ми складаємо таблиці чинників, що сприяють впровадженню проекту на ринок, та чинників, які його стримують (таблиці 6.2.6, 6.2.7).

Таблиця 6.2.6 - Фактори загрози

№	Фактори	Зміст загрози	Можливі реакції компанії
1	Висока вартість технології	Обмеження попиту на початковому етапі	Поетапне впровадження
2	Регуляторні обмеження	Складність сертифікації	Робота за стандартами
3	Консервативність клієнтів	Недовіра до нових технологій	Пілотні проекти
4	Нестабільність енергетичної системи	Перебої з електропостачанням, ускладнення виконання робіт	Використання автономних джерел живлення, енергоефективних рішень
5	Процеси мобілізації персоналу	Дефіцит кваліфікованих технічних кадрів	Автоматизація процесів, скорочення потреби в обслуговуючому персоналі
6	Позиціонування автоматизації як	Обмеження доступу до об'єктів, ризики для	Використання дистанційних і

	ключової конкурентної переваги	персоналу та обладнання.	безпілотних технологій, гнучке планування робіт
--	--------------------------------	--------------------------	---

Аналіз чинників загрози свідчить, що діяльність стартап-проекту відбувається в умовах зростаючої зовнішньої невизначеності, спричиненої як технологічними та регуляторними обмеженнями, так і загальною безпекою та енергетичною установкою в країні. Водночас більшість виявлених загроз можуть бути зменшені завдяки поетапному впровадженню технології, автоматизації процесів та застосуванню автономних і віддалених рішень, що відповідає концепції проекту.

Таблиця 6.2.7 - Фактори можливостей

№	Фактори	Зміст можливості	Можливі реакції компанії
1	Розвиток безпілотних технологій	Підвищення довіри до дронів	Інтеграція нових функцій
2	Дефіцит кваліфікованих кадрів	Попит на автоматизацію	Акцент на безпеку
3	Зношування трубопроводів	Постійний попит на ремонт	Довгострокові контракти
4	Військові дії та відновлення інфраструктури	Масштабні потреби у ремонті та відновленні трубопроводних мереж	Участь у проєктах відбудови, співпраця з державними та комунальними структурами
5	Обмеженість людських ресурсів через мобілізацію	Перевага технологій, що зменшують залежність від персонал	Позиціонування автоматизації як ключової конкурентної переваги

Виходячи з аналізу таблиці, чинники потенціалу вказують на наявність сприятливих обставин для розвитку стартап-проекту. Зростання попиту на автоматизовані й безпечні технології, нестача кваліфікованих фахівців та великі потреби у відновленні мереж інфраструктури створюють підґрунтя для

запровадження новітніх сервісних рішень. Застосування безпілотних та енергозберігаючих технологій дозволяє проекту не лише пристосуватися до поточних викликів, а й набути міцні конкурентні переваги.

Наступним кроком буде проведення багатостороннього аналізу, що занесено до таблиці 6.2.8.

Таблиця 6.2.8 - Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
1. Тип конкуренції: Олігополія	Ринок автоматизованих рішень для зварювання та ремонту поліетиленових труб представлений обмеженою кількістю великих міжнародних компаній	Можливість входу на ринок за рахунок інноваційної технології та вузької спеціалізації
2. Рівень конкурентної боротьби: Національний	Основна конкуренція формується в межах національного ринку інженерних та ремонтних послуг	Орієнтація на локальних замовників та адаптація під національні стандарти
3. Галузева ознака: внутрішньогалузев а	Конкуренція відбувається між компаніями, що працюють у сфері монтажу та ремонту трубопроводів	Концентрація на спеціалізованих послугах для поліетиленових труб
4. Конкуренція за видами товарів: товарно-видова	Боротьба між різними способами виконання зварювальних та ремонтних робіт	Диференціація послуг за рахунок використання дронів
5. Характер конкурентних переваг: нецінова	Основна боротьба ведеться за рахунок технологічності, швидкості та безпеки	Акцент на автоматизацію та зменшення людського фактору
6. Інтенсивність конкуренції:	Ринок не перенасичений інноваційними	Формування власної ніші та поступове

помірна	рішеннями	нарощування присутності
---------	-----------	-------------------------

З таблиці 6.2.8 видно, що ринок автоматизованих розв'язків для зварювання та відновлення поліетиленових труб має олігополістичну структуру з домінуванням нецінової конкуренції. Головні перспективи для стартап-проекту полягають у спеціалізації на місцевому ринку, адаптуванні до державних стандартів та застосуванні інноваційних безпілотних технологій. Помірна жвавість змагання свідчить про існування вільних осередків для впровадження високотехнологічних сервісних рішень.

Переглянувши суперництво, можна здійснювати більш докладний розбір умов конкуренції у сфері (таблиця 6.2.9).

Таблиця 6.2.9 - Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Декілька міжнародних компаній, що виробляють обладнання та надають послуги зі зварювання поліетиленових труб	Можливий вихід нових компаній з автоматизованими або роботизованими рішеннями	Постачальники електроніки, сенсорів, акумуляторів та комплектуючих для дронів	Комунальні, будівельні та промислові підприємства	Традиційні ручні та напівавтоматичні методи зварювання труб

Висновки	Конкуренція існує, але стартап займає вузьку інноваційну нішу	Вхід на ринок ускладнений високими технологічними та регуляторними бар'єрами	Вплив постачальників помірний, можливість диверсифікації	Споживачі мають помірний вплив, орієнтуються на надійність і безпеку	Загроза замінників існує, але вони поступаються за рівнем автоматизації
----------	---	--	--	--	---

Виконаний аналіз демонструє, що конкурентний тиск у цьому секторі є помірним. Основний вплив на стартап-проект PipeDrone WeldTech чинять прямі суперники та клієнти, тоді як ризик виникнення товарів-замінників і нових учасників обмежується значними технологічними та регуляторними перешкодами для вступу.

Зайняття окремої інноваційної ніші автоматизованого зварювання поліетиленових труб із застосуванням дронів сприяє зниженню гостроти безпосередньої конкуренції та створенню міцних переваг на ринку.

Таблиця 6.2.10 - Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Надійність	Надійність є основним чинником при виконанні зварювальних та ремонтних робіт на трубопроводах, оскільки від якості з'єднань залежить безперервність експлуатації мереж
2	Інноваційність	Застосування безпілотних дронів для зварювання труб є новаторським підходом, що вирізняє проект від звичних методів монтажу та поновлення.
3	Безпека	Автоматизація зварювальних процесів зменшує участь персоналу в небезпечних умовах, що є важливим критерієм вибору технології

4	Мобільність	Можливість швидкого переміщення та роботи у важкодоступних місцях забезпечує ефективність аварійно-ремонтних робіт
5	Функціональність	Комплексне виконання зварювання, ремонту та контролю параметрів процесу підвищує універсальність рішення
6	Енергоефективність	Зменшення використання важкої техніки та оптимізація процесів сприяють зниженню енергоспоживання
7	Ціна	Ціна може варіюватися в залежності від складності виконання замовлення

Визначивши чинники конкурентоспроможності (див. таблицю 6.2.10), ми аналізуємо сильні та слабкі сторони проєкту (таблиця 6.2.11).

Таблиця 6.2.11 - Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

№	Фактори конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів конкурентів у порівнянні з						
			-3	-2	-1	0	1	2	3
1	Надійність	18				1,2			3
2	Інноваційність	20	2	1	3				
3	Безпека	19		1,2		3			
4	Мобільність	17		1,2, 3					
5	Функціональність	15				2	1	3	
6	Енергоефективність	18	1	2	3				
7	Ціна	12				1	2		3

1 – ‘McElroy Manufacturing’

2 – ‘RITMO S.p.A.’

3 – ‘Georg Fischer (GF Piping Systems)’

Аналізуючи фактори конкурентоспроможності, можна зробити висновок, що сильною стороною стартап проекту будуть: надійність, інноваційність, безпека, мобільність та енергоефективність, а слабкими - ціна та функціональність.

Таблиця 6.2.12 - SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: - Інноваційність - Автоматизація - Безпека - Енергоефективність - Мобільність	Слабкі сторони: - Високі початкові інвестиційні витрати - Обмежений досвід експлуатації - Залежність від автономного енергоживлення - Складність програмної інтеграції - Необхідність сертифікації технології
Можливості: - Зношення труб - Зростання попиту на автоматизацію - Дефіцит спеціалістів - Розвиток технологій - Підвищення вимог до безпеки праці	Загрози: - Регуляторні обмеження - Консервативність потенційних замовників - Поява альтернативних роботизованих рішень - Зростання вартості електронних компонентів

Виконаний SWOT-аналіз демонструє, що стартап-проект PipeDrone WeldTech має суттєвий потенціал зростання завдяки злиттю інноваційної технології, автоматизації процесів та піднесенню рівня безпеки виконання зварювальних операцій.

Міцні сторони проекту у поєднанні з наявними ринковими перспективами створюють підвалини для успішного виходу на ринок, зокрема у секторі аварійно-ремонтних та монтажних робіт на поліетиленових трубопроводах. Водночас, недоліки та зовнішні небезпеки вимагають покрокового втілення проекту, реалізації експериментальних об'єктів та діяльної роботи з нормативно-сертифікаційними паперами.

Таблиця 6.2.13 - Альтернативи ринкового впровадження стартапу

№	Альтернатива(орієнтований комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Співпраця з комунальними підприємствами та аварійно-	Висока	Середні

	ремонтними службами		
2	Створення власного бренду та вихід на ринок через прямі контракти	Середня	Довгі
3	Участь у державних та муніципальних тендерах	Висока	Короткі

Для виконання стартап-проекту по постачанню дронів для обслуговування і встановлення трубопроводів, обрано три ключові альтернативи ринкової поведінки. Перший варіант передбачає співробітництво з комунальними підприємствами та аварійно-ремонтними службами, що дає змогу стрімко отримати доступ до об'єктів експлуатації трубопроводів та перевірити дієвість технології в реальних умовах. Імовірність здобуття ресурсів у цьому випадку є значною, проте терміни втілення залежать від узгодження умов партнерства.

Друга альтернатива орієнтована на формування власного бренду та самостійний вихід на ринок. Такий підхід забезпечує стратегічну незалежність, проте потребує значних фінансових і часових витрат на маркетинг, сертифікацію та формування довіри клієнтів.

Третій варіант полягає в участі у державних та муніципальних тендерах. Цей шлях дозволяє відносно швидко вийти на ринок та отримати фінансування, однак передбачає суворі вимоги до документації та відповідності нормативним стандартам.

Оцінюючи усі варіанти, найкращим рішенням є з'єднання першого та третього методів, що дасть змогу зменшити небезпеки та продуктивно застосовувати наявні засоби.

6.2.4 Розроблення ринкової стратегії стартап-проекту

Укладання ринкової стратегії для початку вимагає визначення стратегії поширення ринку: обрання цільових груп ймовірних споживачів (таблиця 6.2.14).

Таблиця 6.2.14 - Вибір цільових груп потенційних споживачів

№	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу в сегмент
---	--	---	--	--------------------------------------	--------------------------

1	Комунальні підприємства водопостачання та каналізації	Висока	Середня	Середня	Середня
2	Аварійно-ремонтні служби трубопроводів	Висока	Висока	Низька	Висока
3	Будівельні компанії, що виконують монтаж трубопроводів	Середня	Середня	Висока	Середня
4	Промислові підприємства з власними трубопровідними мережами	Середня	Низька	Середня	Низька
Які цільові групи обрано: 1,2					

Аналізуючи таблицю, можна зробити висновок, що перша і друга групи є найбільш оптимальними цільовими групами потенційних клієнтів, через високу потребу продукту в сучасних реаліях та малу конкуренцію в даному сегменті. Для обрання сегменту ринку роботи, оформлюємо таблицю 6.2.15.

Таблиця 6.2.15 - Визначення базової стратегії розвитку

№	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базові стратегії розвитку
1	Орієнтація на інноваційні технології автоматизованого зварювання та ремонту поліетиленових	Концентрована стратегія, зосереджена на вузькому ринковому сегменті аварійно-	Надійність зварних з'єднань, інноваційність технології, підвищений рівень безпеки,	Диференціація, що базується на створенні унікальної високотехнологічної послуги, яка відрізняється

труб із використанням дронів. Альтернатива передбачає впровадження сучасних технічних рішень, поетапну апробацію технології на реальних об'єктах та подальше масштабування	ремонтних та комунальних служб, що експлуатують поліетиленові трубопроводи	мобільність, можливість роботи у важкодоступних умовах	від традиційних методів ремонту трубопроводів та орієнтована на преміальний і спеціалізований сегмент
---	--	--	---

Такий підхід дає змогу глибше розуміти потреби цільової аудиторії, творити продукцію, що цілком відповідає їхнім вимогам, та забезпечувати високу якість. Спрямовання ресурсів на окремому сегменті допомагає зменшити витрати, оминати жорсткої конкуренції та формувати репутацію вірного партнера у вибраній ніші.

Таблиця 6.2.16 - Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№	Чи є проект «першопроходом» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Так	Здобувати наявних у конкурентів завдяки більш інноваційному, автоматизованому та надійному методу до зварювання та відновлення трубопроводів	Процедура створення послуги буде унікальною порівняно з конкурентами, копіювання головних характеристик не передбачається	Диференціація

Для подальшої ідентифікації фірми та її пристосування на ринку проводяться «асоціації», що детально описані у таблиці 6.2.17

Таблиця 6.2.17 - Визначення стратегії позиціонування

№	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап проекту	Вибір асоціацій, які мають сформулювати комплексну позицію власного проекту
1	Висока технічна та технологічна якість, надійність зварних з'єднань, безпечність виконання робіт, довговічність результату та економічна вигідність	Стратегія диференціації	Вірогідність та технологічність, новаторство, рухомість, зростаючий рівень захисту, відповідність стандартам	Надійність, інноваційність, безпека, технологічність, довговічність

6.2.5 Розроблення ринкової стратегії стартап-проекту

Перший етап – сформулювати маркетингову ідею продукту для покупця згідно положень і переваг товару, зазначених у таблиці 6.2.18.

Таблиця 6.2.18 -Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№	Потреба	Вигода яку пропонує послуга	Ключові переваги перед конкурентами
	Потреба у надійному, безпечному та довговічному зварюванні поліетиленових трубопроводів	Зменшення витрат на проведення ремонтних робіт, скорочення простоїв трубопроводів, підвищення безпеки виконання робіт та зниження потреби у залученні важкої техніки	Інноваційність технології, автоматизація процесу, підвищена безпека, мобільність, екологічність, надійність зварних з'єднань

З таблиці 6.2.18 видно, що проект орієнтований на виконанні надійного та довговічного зварювання трубопроводів із мінімальними витратами.

Таблиця 6.2.19 - Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Опис базової потреби споживача, яку задовольняє товар (згідно концепту), її основної функціональної вигоди:		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх/Тл/Е/Ор
	Інноваційні технології виготовлення, гарантія якості, безпека, надійність та довговічність	-	-
	Якість: дотримано усіх інженерних гатунків, здійснено випробування зразків, забезпечено відповідність нормам безпеки та екологічність виробничої процедури.		
	Фінальний продукт: автоматизована сервісна послуга з використанням дронів для зварювання та ремонту поліетиленових трубопроводів з урахуванням чинних інженерних стандартів		
	Марка: назва організації-розробника + назва товару		
III. Товар із підкріпленням	До продажу: пілотні проекти, демонстраційні випробування, адаптація технології під потреби замовника		
	Після продажу: технічний супровід, оновлення програмного забезпечення, сервісне обслуговування, навчання персоналу замовника		
За рахунок чого потенційний товар буде захищений від копіювання: захист ідеї шляхом патентування технологічних рішень, використання товарного знаку та фірмового найменування			

На підставі відомостей із таблиць 6.2.18 та 6.2.19 було сформовано головну концепцію продукту та його важливі переваги. У процесі виконання є нагода

вносити правки згідно з побажаннями замовника, включно із забезпеченням охорони авторських прав. Наступним етапом є встановлення цінових діапазонів для представленого продукту.

Таблиця 6.2.20 - Визначення меж встановлення ціни

№	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціна на товар/послугу
1	3000–15000 грн за одну ремонтно-зварювальну операцію (замінники: ручне та напівавтоматичне зварювання поліетиленових труб із залученням персоналу та важкої техніки)	8000–30000 грн за одну операцію (аналоги: механізовані та роботизовані системи зварювання трубопроводів)	Від 20000 грн	Верхня: 35000 грн Нижня: 5000 грн за одну операцію Верхня: 300000 грн Нижня: 80000 грн За сервісний контракт

Як помітно з таблиці, вартість послуг зварювання та поновлення поліетиленових трубопровідних систем може помітно відрізнятися. Це зумовлено відмінностями у методиці виконання заходів, ступені автоматизації процесу, залученні фахівців та використанні важкої апаратури. Окрім того, на формування вартості впливають обставини виконання робіт, зокрема можливість доступу до об'єкта, ступінь складності поновлення та вимоги до охорони праці.

У таблиці подано орієнтовну вартість однієї ремонтно-зварювальної операції. Водночас, зважаючи на фінансові спроможності цільової групи споживачів, якими є комунальні, будівельні та промислові підприємства, доцільним є використання гнучкої цінової політики. Зокрема, передбачається надання знижок при укладанні сервісних договорів або виконанні робіт великими партіями, тоді як поодинокі замовлення можуть виконуватися за стандартною ціною.

Такий підхід дає змогу підвищити привабливість послуги для великих клієнтів, забезпечити стабільне завантаження сервісу та водночас утримати економічну доцільність виконання одиничних ремонтних робіт.

Таблиця 6.2.21 - Формування системи збуту

№	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Комунальні, будівельні та промислові підприємства, які зацікавлені у надійності, безпеці та довговічності зварних з'єднань трубопроводів	Аналіз об'єкта, технічне обстеження трубопроводу, виконання зварювальних і ремонтних робіт, передача результатів робіт замовнику та сервісний супровід	Широка	Залучена
2	Будівельні компанії, що реалізують інфраструктурні проекти та зацікавлені у скороченні строків монтажу трубопроводів	Технологічний супровід проектів, виконання зварювальних робіт, адаптація технології під умови будівництва	Коротка	Пряма
3	Державні та муніципальні замовники, що працюють у межах тендерних процедур	Підготовка технічних пропозицій, участь у тендерах, виконання робіт відповідно до нормативних вимог	Коротка	Пряма (контрактна)

З таблиці 6.2.21 можна зрозуміти, що найкращий варіант збуту, це збут комунальним, будівельним та промисловим підприємствам, так буде найбільший діапазон збуту, та кращі умови.

Таблиця 6.2.22 - Концепція маркетингових комунікацій

№	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються	Ключові позиції для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
---	---------------------------------------	--	------------------------------------	----------------------------------	--------------------------------

		цільові клієнти			
1	Пошук надійного, безпечного та технологічно обґрунтованого рішення для зварювання і ремонту поліетиленових трубопроводів	Професійні галузеві платформи, офіційні веб-сайти компаній, спеціалізовані виставки, технічні презентації, ділові переговори	Виконання робіт відповідно до ДСТУ та ISO, інноваційність технології, підвищена безпека, мобільність та ефективність	Донесення до цільової аудиторії інноваційності сервісу, його техніко-економічних переваг та доцільності впровадження	Інноваційність, надійність, безпека, технологічність, довговічність результату

Базуючись на здобутках аналізу, поданих у таблиці, можна зробити ув'язок, що для гарантування дієвої маркетингової комунікації з цільовими покупцями варто застосовувати фахові секторні шляхи комунікації, а саме профільні платформи, технічні доповіді, ярмарки та бізнес-перемовини. Головним є також ясне доведення до ймовірних клієнтів корисних властивостей стартап-ініціативи через побудову прозорості, стислої та технічно аргументованої ідеї промоційного меседжу, спрямованої на новаторство, захист та сталість сервісу.

Підсумовуючи підсумки аналізу всіх складників стартап-проекту, можна констатувати, що проєкт PipeDrone WeldTech, націлений на автоматизоване зварювання та відновлення поліетиленових трубопроводів із застосуванням дронів, володіє суттєвим потенціалом для фактичної реалізації. Ринок інженерних та комунальних послуг із обслуговування мереж трубопроводів є стабільно зростаючим, що спричинено високим ступенем зносу інфраструктури та зростанням вимог до надійності й результативності виконання завдань.

Завдяки використанню інноваційних технологій автоматизації, сучасних систем керування й контролю, а також застосуванню поліетиленових труб,

виготовлених згідно з чинними стандартами, проект спроможний запропонувати особливу сервісну послугу, яка випереджає звичні методи поновлення за рівнем безпеки, рухливості та економічної вигоди.

З погляду комерціалізації стратегії, головними джерелами прибутку проекту є надання сервісних послуг комунальним, будівельним та промисловим установам, а також підписання тривалих договорів на технічне обслуговування мереж трубопроводів. Спрямованість на виконання як одноразових ремонтних завдань, так і всеосяжних сервісних програм дозволяє розрізнити загрози та гарантувати постійні фінансові вливання.

Обрана ринкова стратегія передбачає поступовий вихід на ринок із запровадженням пілотних проектів і подальшим розширенням діяльності, що дає змогу знизити початкові ризики. Головними конкурентними перевагами стартап-проекту є новаторство технології, вищий ступінь безпеки виконання робіт, мобільність та відповідність сучасним технічним й екологічним нормам. Запланований гнучкий підхід до особистих потреб клієнтів сприятиме формуванню тривалих партнерських стосунків та укріплення ринкових позицій проекту.

Окрім того, стартап-проект відкриває можливості для подальшого зростання, зокрема розширення гами сервісних послуг, упровадження свіжих функціональних блоків, а також виходу на світові ринки. За умови втілення виваженої стратегії розвитку проект має всі передумови для успішної роботи та внесення значущого внеску у сферу інженерних новацій та оновлення трубопровідної інфраструктури.

6.2.6 Висновок

Підсумовуючи головні аспекти стартап-проекту PipeDrone WeldTech, можна зробити такі висновки:

Сфера послуг із монтажу, зварювання та реставрації поліетиленових трубопроводних мереж є багато надійною та демонструє стабільний запит як в Україні, так і на світовому рівні. Високий ступінь старіння трубопровідної інфраструктури, зростаючі потреби до міцності та ефективності ремонтних завдань формують підстави для впровадження інноваційних технологічних підходів.

Водночас, даний ринок характеризується наявністю конкурентного середовища та регуляторних перепон, що зумовлює необхідність чітко окресленої стратегії виходу та позиціювання продукту.

Попри окреслені труднощі, стартап-ініціатива має суттєвий потенціал зростання завдяки наявності потужних аспектів, зокрема впровадженню автоматизованих систем зварювання та відновлення трубопроводів із застосуванням безпілотників, високому ступеню новаторства, покращеній надійності виконання завдань та здатності функціонувати у складних локаціях. Це дає змогу розробці результативно відповідати особливим вимогам комунальних, будівельних та виробничих організацій та поступово досягати рівня провідних гравців ринку у своїй сфері.

Різноманітний набір сервісних послуг, еластична цінова політика та спроможності диверсифікації діяльності гарантують здатність стартап-проекту пристосовуватися до змін ринкового середовища. Обрана стратегія поетапного втілення з реалізацією пілотних проєктів і подальшим нарощуванням масштабів створює умови для довготривалого розвитку, зменшення загроз та утримання конкурентних позицій на ринку інженерних та комунальних послуг.

6.3 Охорона праці

Охорона праці є важливим складником організації виробничого процесу та відіграє ключову роль у забезпеченні безпечних і стабільних умов праці на підприємстві. У цьому розділі розглядаються основні положення з охорони праці, а також аналізуються імовірні причини виникнення нещасних випадків у процесі виробничої діяльності. Окрема увага приділяється технічним та організаційним заходам, спрямованим на зниження ризиків, запобігання аварійних ситуацій і підвищення рівня безпеки робітників.

Основним завданням системи охорони праці є створення максимально безпечних та комфортних умов праці для персоналу. Кожне виробниче підприємство характеризується наявністю певного переліку потенційно небезпечних та шкідливих факторів, які за несприятливих обставин можуть спричинити ушкодження робітників або настання пригод. Головний нормативно-правовий акт, що регулює питання безпеки праці в Україні, є Закон України «Про охорону праці», ухвалений Верховною Радою України 14 жовтня 1992 року. Цей закон окреслює ключові вимоги щодо збереження життя та здоров'я працівників, а також впроваджує механізми державного контролю у сфері охорони праці.

Темою дипломного проектування є «Лінія для виробництва труб з модернізацією екструдера 63x25», у зв'язку з чим заходи з охорони праці розглядаються для виробничого приміщення, у якому здійснюється виготовлення поліетиленових труб на трубній лінії з використанням екструдера типу 63x25. Блок керування обладнанням розміщений у захисному кожусі безпосередньо на машині, що знижує ризик несанкціонованого доступу до електричних елементів. Площа приміщення становить $S = 100 \text{ м}^2$, об'єм $V = 800 \text{ м}^3$, висота $h = 8 \text{ м}$.

Під час використання та проведення технічного обслуговування екструдера на робітників можуть впливати такі небезпечні та шкідливі виробничі чинники:

- механічні фактори, пов'язані з рухомими елементами обладнання;
- електричні ризики, зумовлені роботою електроприводів і систем керування;
- пожежна небезпека, що виникає внаслідок використання електроенергії та

переробки полімерних матеріалів;
– підвищений рівень шуму в робочій зоні;
– можливе погіршення якості повітря у виробничому приміщенні.

6.3.1 Механічна безпека

Трубопровід має чималу кількість рухомих частин різноманітних типорозмірів, більшість із яких функціонують у режимі обертання. До таких складників належать шнек екструдера, приводні агрегати, осі, шестерні передачі та інші компоненти. Через недотримання окреслених норм безпеки ці механізми являють собою збільшений ризик і здатні спричинити серйозні виробничі травми.

Задля охорони робітників від імовірного захоплення кінцівок у частини, що обертаються, обладнання треба запроваджувати сукупність організаційних та технічних кроків. До найважливіших серед них належать:

- встановлення захисних огорожень на всіх небезпечних рухомих елементах з метою обмеження доступу до них;
- обладнання трубної лінії кнопками аварійного зупинення, які повинні бути постійно доступними для оператора;
- проведення регулярного технічного обслуговування для своєчасного виявлення зношення, пошкоджень або відмов елементів механізмів.

Огородження захисні є одним із ключових інструментів зменшення ризику механічного травмування на екструдерній трубній лінії. Їхнє вживання унеможливорює здатність персоналу дістатись до небезпечних зон устаткування та суттєво підвищує загальний ступінь безпеки під час експлуатування.

Залежно від конструктивного виконання огорожувальні елементи поділяються на такі типи:

- фіксовані огорожі, які жорстко закріплюються на обладнанні та можуть бути демонтовані лише з використанням інструменту;
- знімні огорожі, що допускають тимчасове зняття або переміщення, однак обов'язково повинні бути встановлені під час штатної роботи машини;
- рухомі огорожі, які відкриваються або переміщуються для доступу до зон

обслуговування, налаштування чи ремонту обладнання.

Ключову функцію у системі охорони виконує система екстреного зупинення, покликана миттєво припинити трубну лінію у разі виникнення загрозливої обставини. До її основних компонентів входять електричні аварійні переривачі, що забезпечують негайне припинення роботи механізму, а також сенсорні системи охорони, котрі фіксують небезпечні режими чи умови використання.

Регулярний технічний огляд за обладнанням є необхідною умовою запобігання аварійним ситуаціям, пов'язаних із несправностями або виходом із ладу окремих вузлів пристрою. Крім того, перед початком роботи з установкою всі працівники повинні пройти первинний інструктаж із техніки безпеки та правил експлуатації устаткування.

6.3.2 Електрична безпека

Електричні чинники ризику є однією з найбільш важливих небезпек при роботі трубопроводу, адже у процесі його функціонування використовується велика кількість електротехнічного приладдя. Потреби щодо безпечного використання електроустановок окреслюються чинними нормативними актами, зокрема Правилами влаштування електроустановок (ПУЕ), з уваги на зміни, запроваджені 15.02.2017. Досліджуваний трубопровід живиться від трифазної електричної мережі напругою 220/380 В з номінальною частотою 50 Гц.

Основними причинами ураження працівників електричним струмом можуть бути:

- недотримання вимог та інструкцій з електробезпеки;
- механічні пошкодження або зношення силових кабелів і проводки;
- відмови або некоректна робота елементів електричної системи керування.

Задля зменшення ймовірності електротравматизму потрібно впровадити сукупність запобіжних дій. До цих дій належать ізолювання силових дротів у захисні кожухи, встановлення запобіжних апаратів, що гарантують автоматичне вимкнення апаратури в надзвичайних випадках, а також облаштування приладів загального вимикання живлення робочої лінії. Окрім того, робітників мусять

забезпечити індивідуальними засобами захисту, зокрема ізоляційними рукавичками, наприклад DELTA PLUS APOLLON VV733.

Значущою складовою електробезпеки є здійснення обов'язкового навчання робітників щодо порядку використання та догляду за електричною апаратурою. Таким чином, дієвий захист від електричних загроз досягається лише за наявності цілісного методу, що об'єднує інженерні знахідки, управлінські кроки та належну підготовку працівників.

6.3.3 Пожежна безпека

Рециклінг полімерних матеріалів виконується за підвищених температур, що формує потенційну небезпеку виникнення загоряння під час роботи обладнання. Джерелом займання можуть слугувати як деталі самої установки, так і матеріал, що обробляється. До головних чинників виникнення пожежних ситуацій віднесено:

- несправності або відмови електротехнічного обладнання;
- займання полімерної сировини внаслідок перегріву чи порушення технологічного режиму.

Згідно з вимогами ДСТУ Б В.1.1-36:2016, це виробниче підприємство належить до категорії В – пожежонебезпечні, що спричиняє потребу у впровадженні додаткових заходів протипожежної безпеки.

Для уникнення виникнення загорянь та зменшення їхніх наслідків заплановано комплекс профілактичних робіт. Зокрема, для робітників обов'язково здійснюється навчання стосовно правил поведінки і дій у разі настання пожежі. На площі виробничого приміщення заборонено застосування та зберігання легкозаймистих речовин. Також систематично проводиться технічне обслуговування електроустаткування, опалювальних приладів та електропроводки з метою вчасної ідентифікації недоліків.

Щоб початково загасити займання у приміщенні, варто розмістити вуглекислотні вогнегасники типу ВВК-2 (ОУ-3) вагою 5,1 кг. Зважаючи на нормативні приписи щодо одного вогнегасника на 20 м² площі, для цього

приміщення доцільно спланувати розміщення чотирьох засобів вогнегасіння.

Окрім того, задля підняття рівня пожежної безпеки, варто передбачити встановлення автоматичної порошкової системи пожежогасіння через спеціалізовану фірму Anti Fire, яка гарантує автоматичне припинення спалаху у випадку, якщо ліквідація пожежі власними силами персоналу стане недосяжною.

6.3.4 Шумове забруднення

На виробництві, де функціонує трубна лінія, через невинно працююче обладнання, можуть ставатись відчутні шкідливі наслідки для здоров'я робітників. Головним джерелом шумового впливу є екструдер 63X25, а точніше, елементи що обертаються – вали, двигуни, система охолодження тощо. Усе це здатне спричиняти гул, що сягає чи навіть перевищує 90 дБА.

Для послаблення шуму варто змонтувати у приміщенні звукоізоляційне оздоблення, у якого коефіцієнт звукопоглинання не менше 0.6, також це покриття доцільно розмістити навколо апарату. Входи мусять володіти шумопоглинальною спроможністю.

Також для зменшення шуму варто вчасно поповнювати мастило для змащування рухомих елементів.

Для індивідуального захисту робітників потрібно обладнати звукоізоляційним спорядженням, таким як: навушники, беруші. Пропоную взяти навушники протишумові PS43GRR Portwest, які спроможні знизити шум на 36 дБ. Усі ці приписи зменшать рівень шуму до норми, що відповідає вимогам ДСН 3.3.6.037-99.

6.3.5 Повітря у робочій зоні

Забруднення повітря на виробничих об'єктах, може бути викликане пилом, випарами хімічних сполук, наприклад поліетилену, продуктами згоряння та іншими шкідливими речовинами. Також для розплавлення поліетилену, температура у шнековому пресі може сягати 200° С, але завдяки теплоізоляції апарату, повітря поблизу не перевищує 40° С .

Категорія праці, що виконується на підприємстві, належить до класу Іа (незначні). За таких умов бажані показники мікроклімату в теплий час року мають

становити 25–29 °С при відносній вологості повітря 50–60 %, а в холодний період — 27–30 °С при вологості 40–60 %.

Щоб усунути небезпечні домішки з повітря у виробничому цеху, планується монтаж вентиляційного обладнання, яке гарантує виведення забрудненого повітря та надходження чистого. Додатково, з метою зниження прямого контакту зі шкідливими сполуками, на апаратурі під вузлом шнекового пресу монтується фільтр із потужністю не менше 380 м²/год, що відповідає нормам ДСН 3.3.6.042-99.

У розділі за темою «Лінія для виготовлення труб із модернізацією екструдера 63×25» проаналізовано небезпечні чинники, що можуть виникати під час виробництва труб із використанням екструдера 63Х25.

Система охорони праці на підприємстві є цілісною та охоплює організаційні, технічні й запобіжні заходи. Виконання наведених порад дає змогу зменшити рівень виробничих небезпек і гарантувати безпечні умови праці для персоналу.

Пропоновані заходи захисту цілком не охоплюють два аспекти, а саме звукове навантаження та електробезпеку. Для посилення рівня охорони робітників доречно додатково придбати засоби індивідуального захисту, окреслені у відповідній частині.

Стосовно інших небезпечних факторів, зокрема механічної і протипожежної безпеки, а також стану повітря у робочій зоні, на підприємстві закладено адекватний набір заходів для оборони працівників.

7 Розрахунки в системі Ansys

7.1 Розрахунок базового черв'яка в системі Ansys

Для розрахунків вузла я вирішив використовувати програмне забезпечення ANSYS, призначене для такого типу задач. Використані модулі програмного забезпечення - Stady-State Thermal та Static Structural.

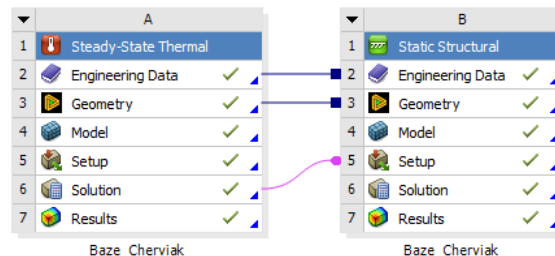


Рис. 7.1 - Створення середовища для виконання розрахунку

Тривимірну геометричну модель було попередньо розроблено в середовищі автоматизованого проектування SOLIDWORKS з подальшим зберіганням у нейтральному обмінному форматі .step, що забезпечує коректне перенесення геометрії між програмними комплексами. Для додавання даної моделі до розрахункового проекту необхідно у модулі Stady-State Thermal виконати виклик контекстного меню на пункті Geometry, після чого скористатися командою Import Geometry та вказати файл підготовленої тривимірної моделі. Після успішного імпорту геометрії робоче середовище Design Modeler більше не використовується і може бути закрито.

На наступному етапі виконується перехід до розділу Model Stady-State Thermal, де здійснюється підготовка моделі до чисельного розрахунку. У дереві проекту Tree Outline обирається пункт Mesh, після чого в панелі налаштувань Details задаються параметри побудови кінцево-елементної сітки. Зокрема, встановлюється середній розмір елементів або застосовується автоматичний алгоритм генерації сітки, запропонований програмою. У випадку, якщо отримана сітка не забезпечує достатньої точності результатів або має нерівномірний розподіл

елементів, рекомендується виконати додаткове ручне коригування параметрів дискретизації.

У розділі Stady-State Thermal задаємо температуру на робочій зоні вузла. Кінцева температура матеріалу після проходження крізь шнековий прес = 100 °С. Відповідно таку температуру виставляємо.

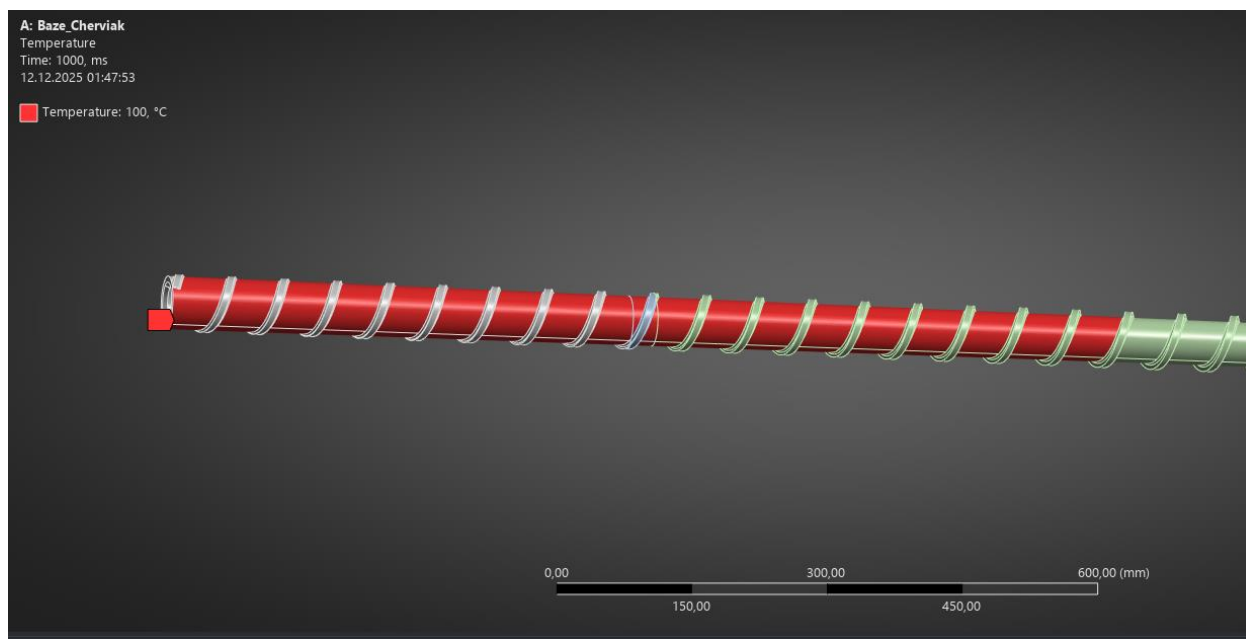


Рис. 7.2 - Схема задання температур в вузлі

У розділі Solution необхідно вказати параметри та результати розрахунку, які планується отримати після завершення аналізу. У даному випадку до переліку вихідних величин обираються Temperature та Total Heat Flux, що дозволяє оцінити температурний розподіл і щільність теплового потоку в досліджуваній моделі.

Далі в середовищі ANSYS Workbench виконується зв'язування розрахункових модулів. Для цього елемент Geometry з аналізу Stady-State Thermal притягується до розділу Geometry модуля Static Structural, а компонент Solution з теплового розрахунку переноситься до пункту Setup структурного аналізу. Така послідовність дій забезпечує передачу геометричних даних і результатів теплового аналізу для подальшого використання під час міцнісного розрахунку.

Після переходимо до Static Structural > Model. Додаємо до моделі сітку та розставляємо закріплення. Закріплюємо командою Remote Displacement так, щоб шнек мав змогу обертатись по осі Z, також фіксовано закріплюємо на одній з

граней лопатей, щоб з імітувати заклинювання і перевірити витки на міцність. Та додаємо до деталі крутний момент 500 Н*мм .

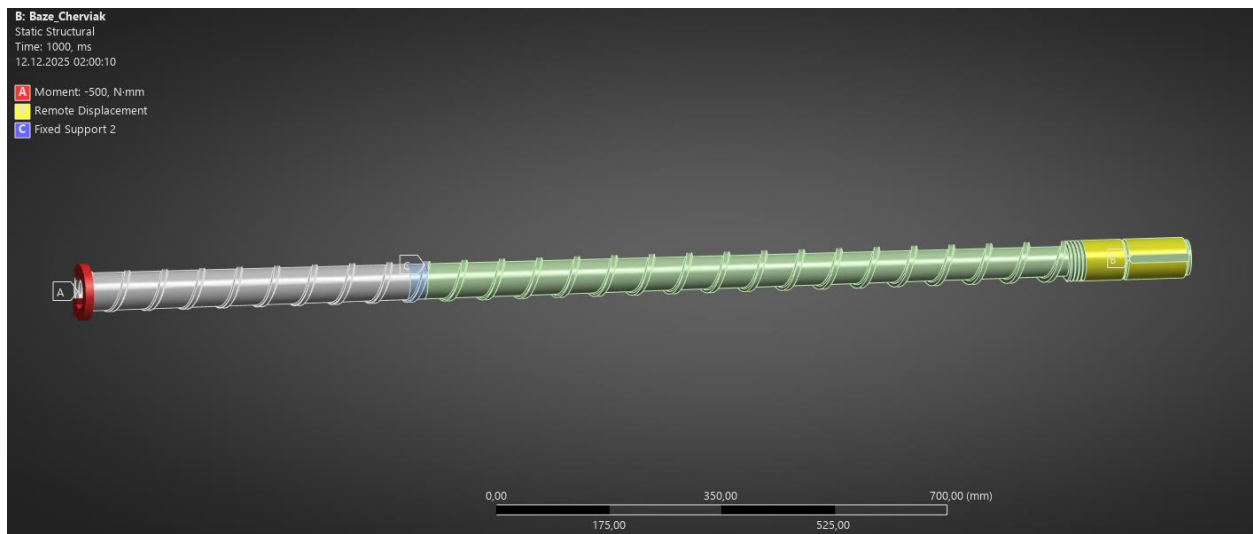


Рис. 7.3 – Закріплення та сили, що діють на вузол

На наступному етапі відбувається перехід до розділу Solution, у якому задається перелік вихідних параметрів, що підлягають аналізу після завершення обчислення. У даному випадку до результатів додаються Total Deformation, Equivalent Elastic Strain, Equivalent Stress та Safety Factor, що дозволяє комплексно оцінити напружено-деформований стан досліджуваного елемента. Після вибору потрібних параметрів за допомогою команди Solve виконується чисельне обчислення заданого тіла.

На основі здобутих відомостей ключовими показниками для оцінки працездатності вузла є еквівалентні напруження, сумарні деформації конструкції, а також коефіцієнт запасу міцності. Саме ці характеристики дозволяють зрозуміти як тепловий, так і механічний впливи на елемент у процесі його експлуатації.

Першочергово доцільно провести оцінку вузла за механічними параметрами. Значення коефіцієнта запасу міцності (Safety Factor) є визначальним показником, оскільки воно вказує на вірогідність виникнення небезпечних деформацій чи руйнування деталі. Для забезпечення надійної роботи конструкції необхідно, щоб значення цього коефіцієнта перебільшувало одиницю, тобто виконувалась умова $k > 1$.

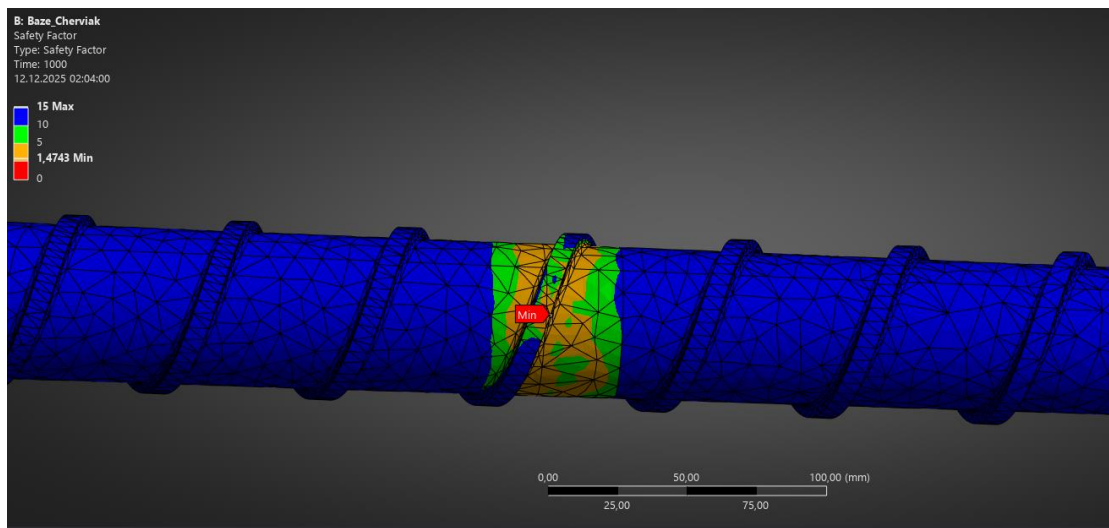


Рис. 7.4 – Результат розрахунку запасу міцності

З результатів проведеного розрахунку випливає, що значення коефіцієнта запасу міцності є достатнім, оскільки воно перевищує одиницю. Це дає підстави стверджувати, що за заданих умов експлуатації досліджуваний елемент не досягне граничного стану та не зазнає руйнування.

Наступним кроком аналізу є оцінка результатів сумарних деформацій (Total Deformation), які допомагають виявити ділянки з найбільшим рівнем навантаження, а також визначити значення відповідних зсувів. Отриманий розподіл деформацій наочно показує найбільш критичні зони споруди, що ілюструється на рисунку 7.5.

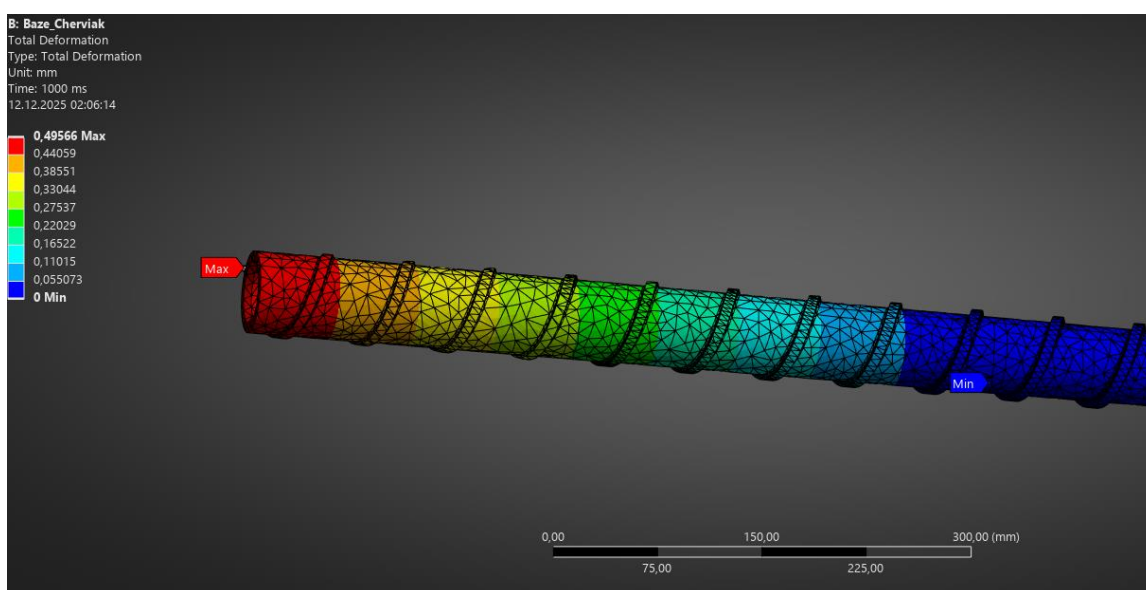


Рис. 7.5 – Результат розрахунку загальних деформацій

З аналізу отриманого зображення видно, що найбільше значення деформації, яке складає приблизно 0,5 мм, помічається у кінцевій частині черв'яка, де відбувається інтенсивний процес ущільнення та стискання полімерного матеріалу. Зафіксоване значення зсувів є невеликим і не виходить за межі допустимих, що вказує на звичайну роботу конструкції та відсутність серйозних відхилень у її геометрії під час навантаження.

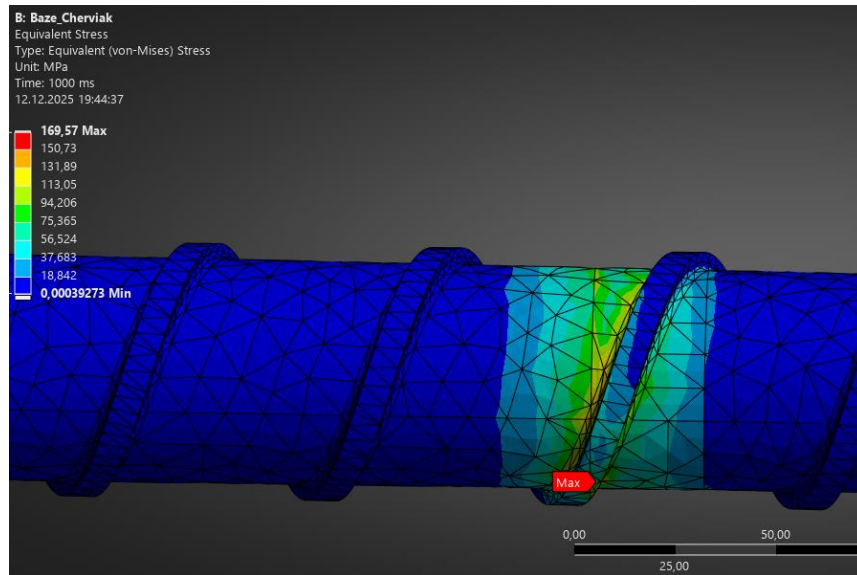


Рис. 7.6 – Результат розрахунку еквівалентних напружень

7.2 Розрахунки для модернізованої моделі в системі Ansys

Для аналізу осучасненої конструкції застосовується подібна послідовність дій, що була докладно викладена у підрозділі 7.1. З огляду на це у цьому розділі подано лише схематичне відображення методів визначення температурних умов, навантажень та граничних закріплень, які використані під час змодельовання осучасненої моделі (рисунки 7.7-7.8). Головною метою здійснення такого обчислення є отримання відповідних даних та подальше їхнє співставлення з показниками базового зразка конструкції з метою визначення дієвості зроблених змін.

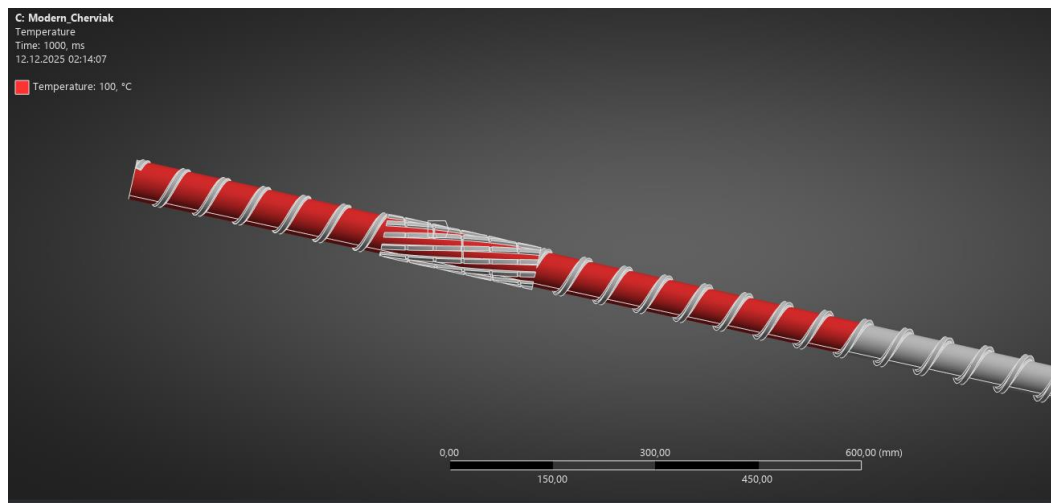


Рис. 7.7 – Схема задання температур в модернізованому вузлі

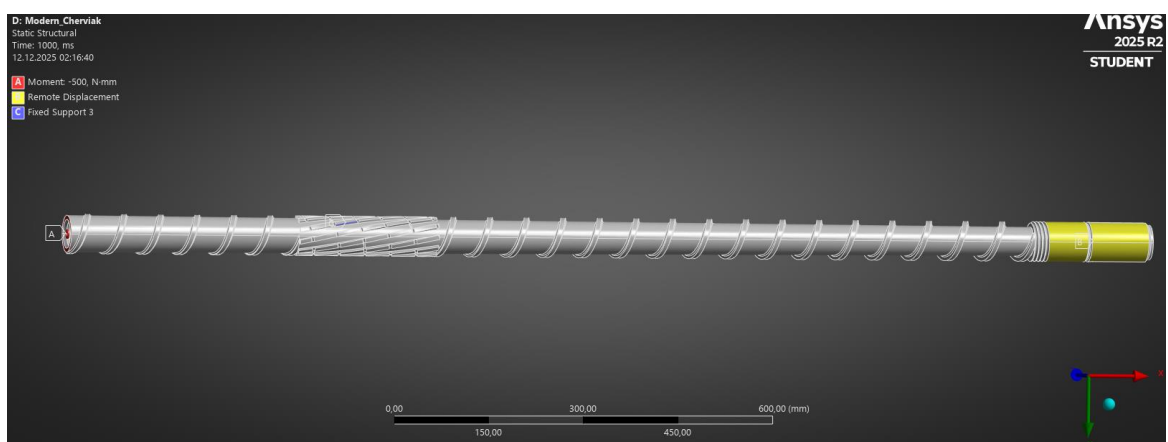


Рис. 7.8 – Зкріплення та сили, що діють на вузол

Знову проводимо розрахунки механічних характеристик такі як, запас міцності та загальні деформації.

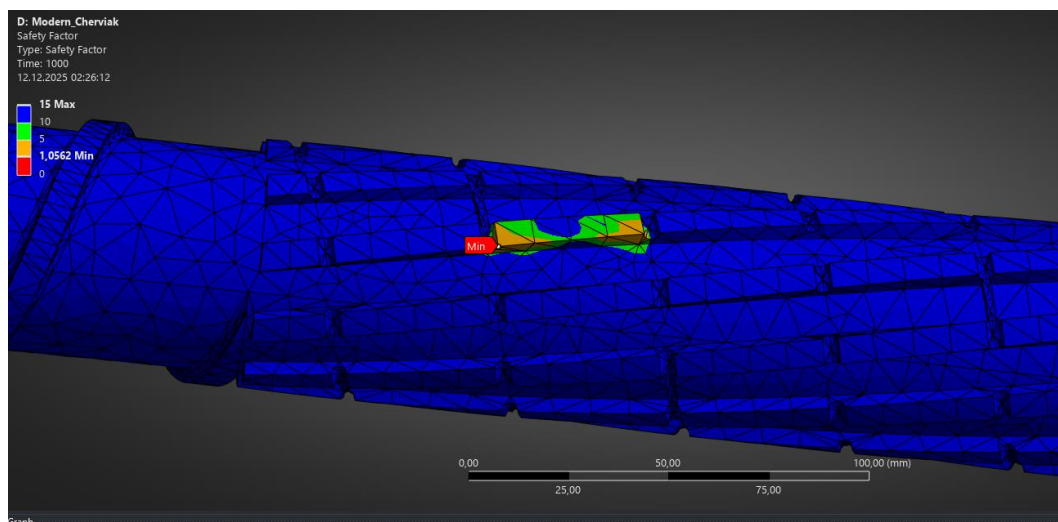


Рис. 7.9 – Результат розрахунку запасу міцності

Запас міцності став менший, порівняно з базовою конструкцією, через змінення конструкції витків, однак його все одно достатньо щоб витримувати навантаження.

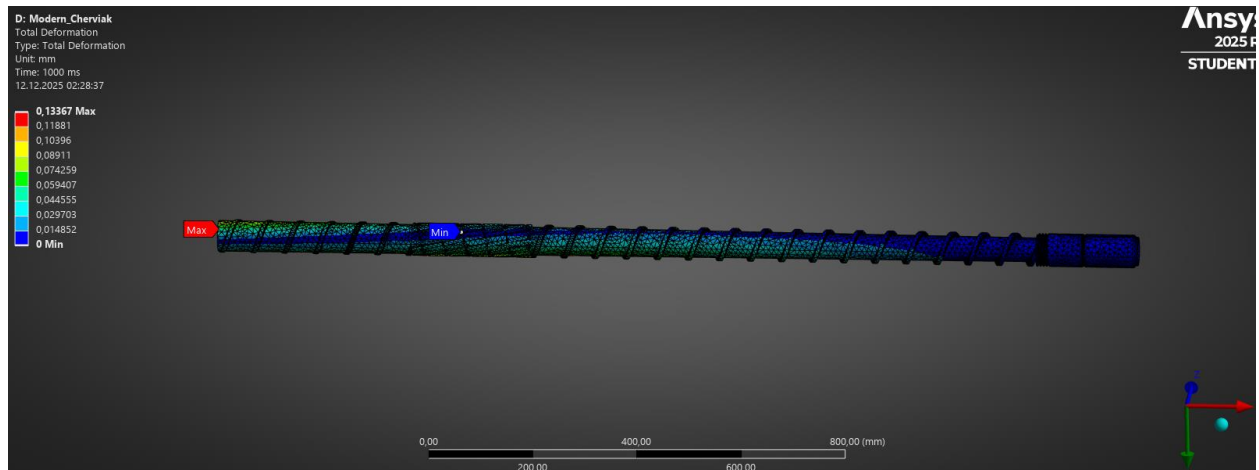


Рис. 7.10 – Результат розрахунку загальних деформацій

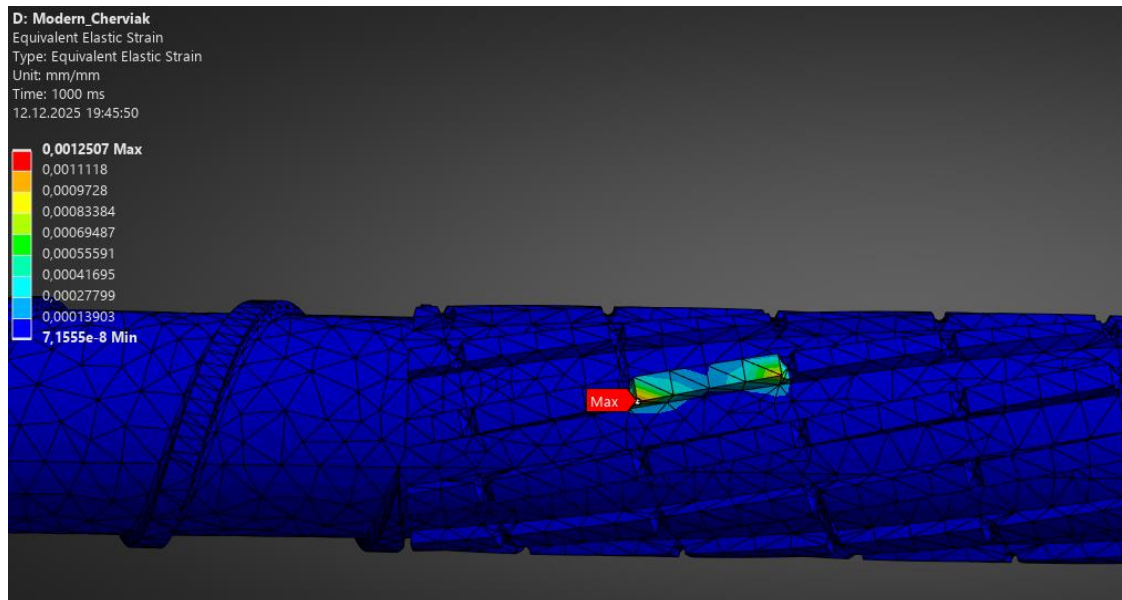
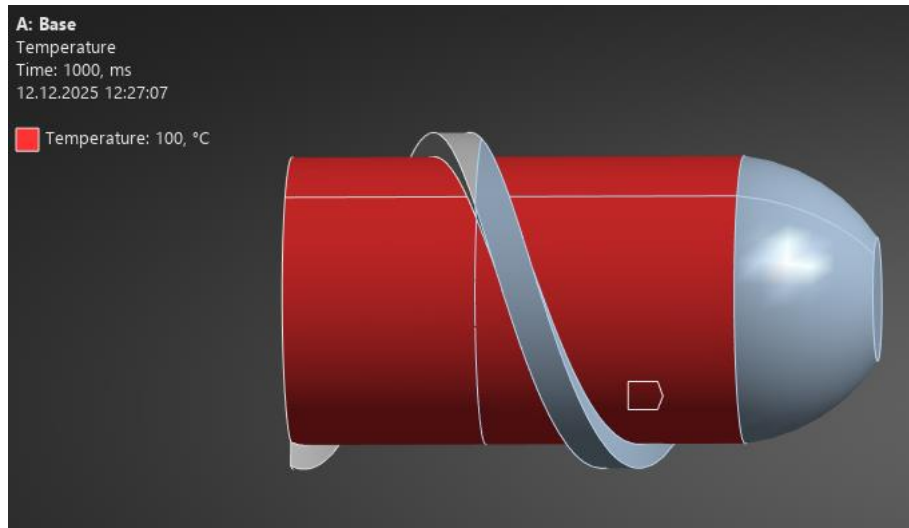


Рис. 7.11 – Результат розрахунку еквівалентних напружень

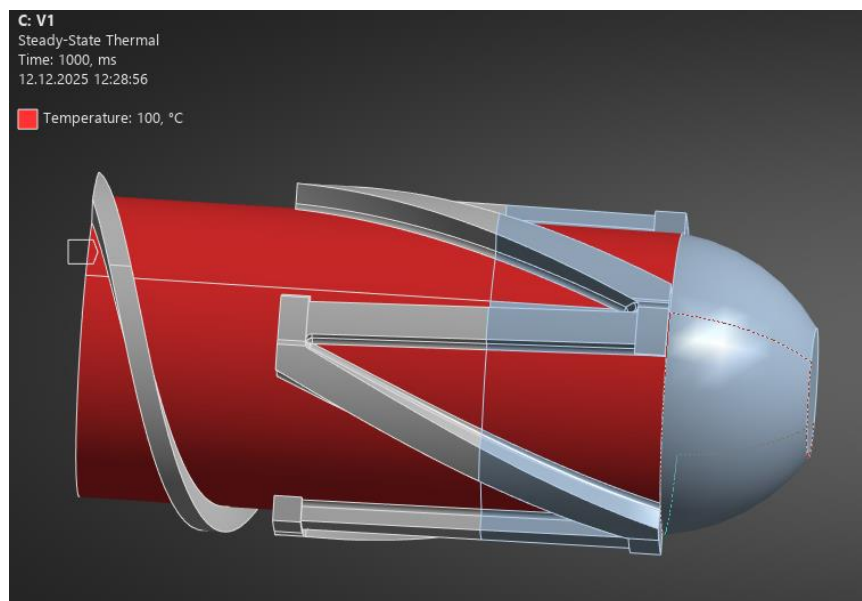
З отриманих даних можна помітити що загальна деформація стала дещо краще, бо через зміну конструкції, якщо заклинить на модернізованій частині, то уся деформація буде спрямована за цю частину, коли в базовій версії може пошкодити увесь черв'як. Тож можна зробити висновки, що деталь витримає прикладене до неї навантаження та прокращить змішування полімеру.

7.3 Розрахунки для базової та модернізованої топеди в системі Ansys

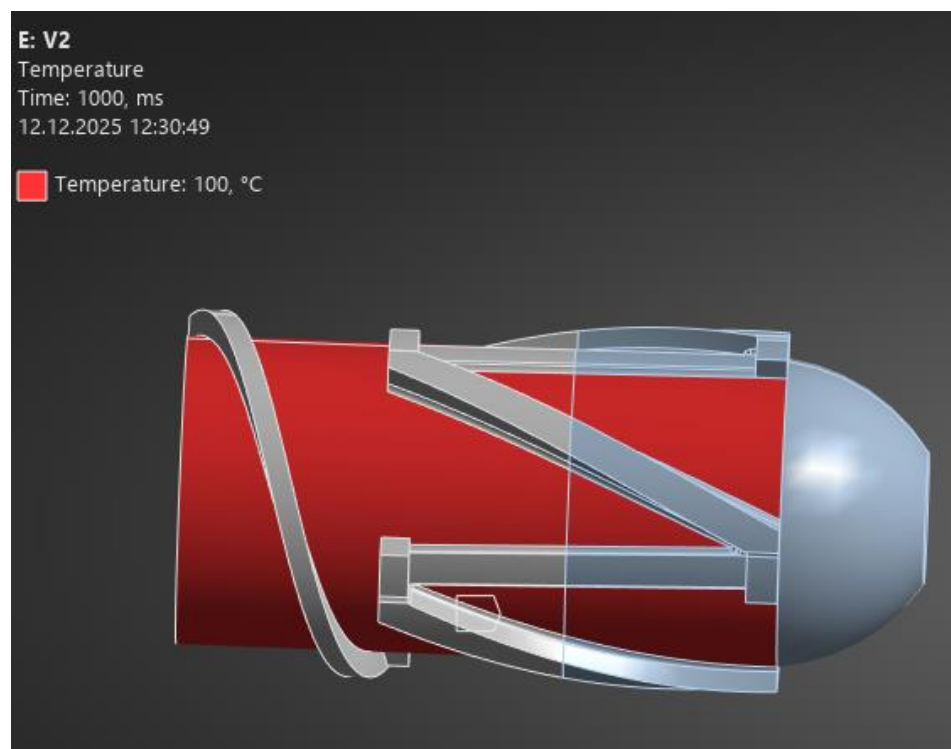
Для розрахунку даної конструкції будемо використовувати ті ж методики, що і для попередньої конструкції у пунктах 7.1 та 7.2. Тому у цьому розділі подано лише схематичне відображення методів визначення температурних умов, навантажень та граничних закріплень, які використані під час змодельовання минулого вузла (рисунки 7.12-7.13).



a)

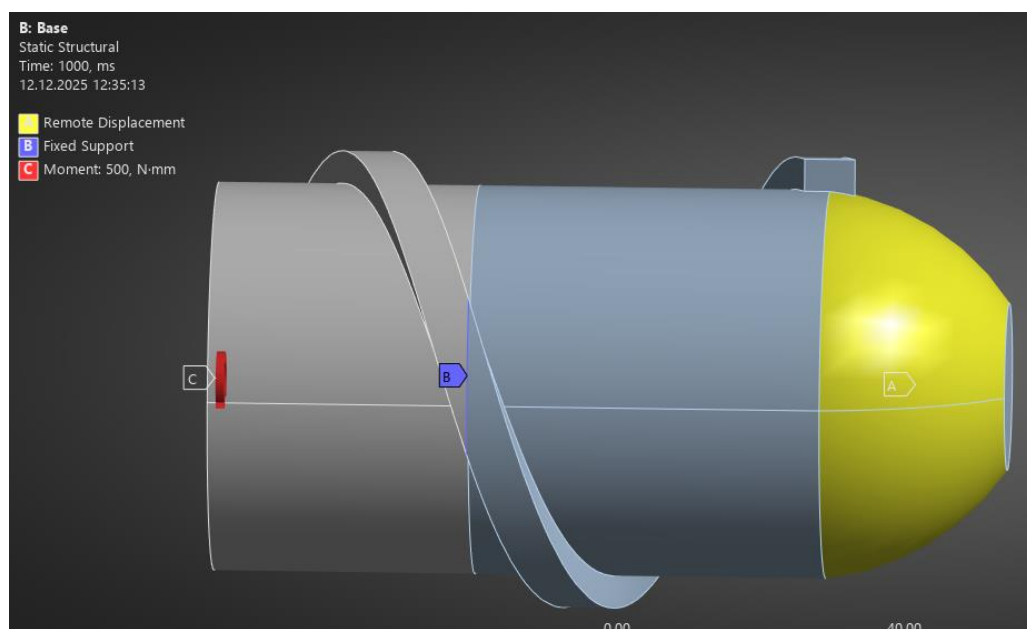


б)

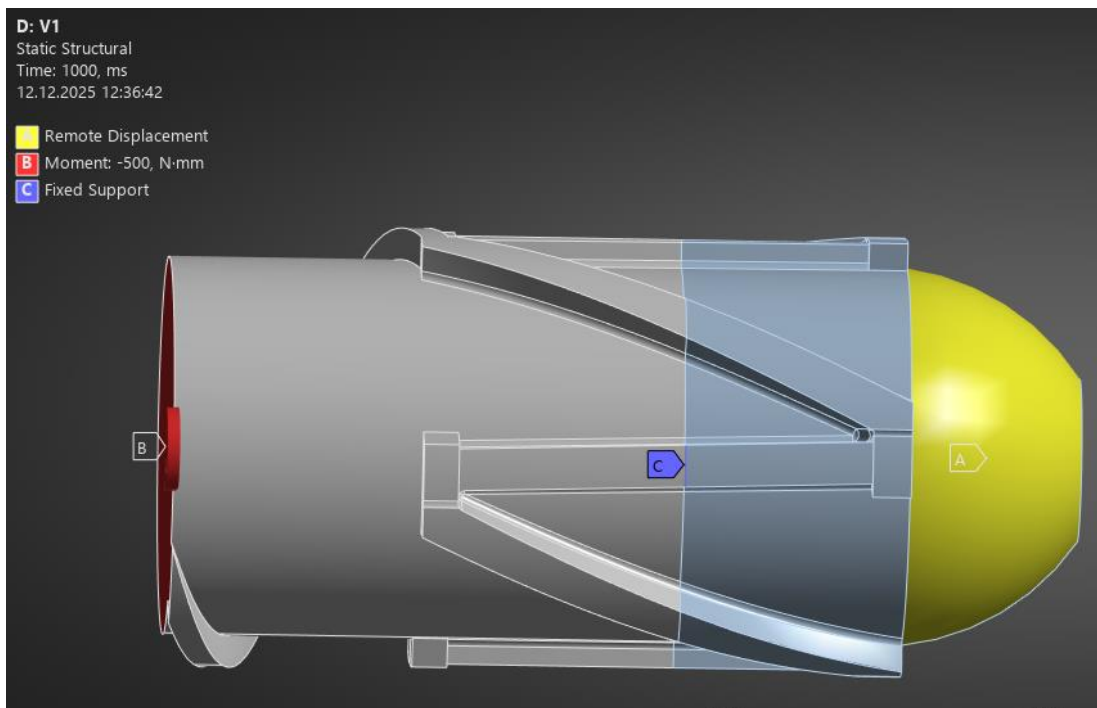


в)

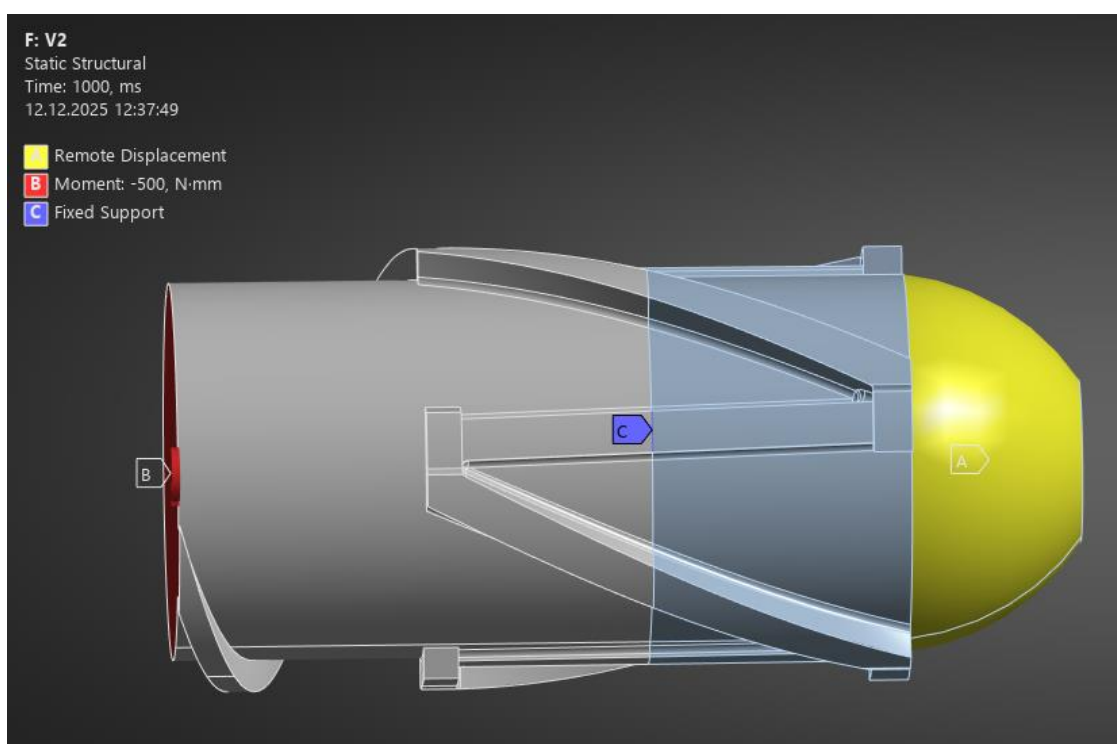
Рис. 7.12 – Схема задання температур в модернізованому вузлі, де а) Базовий вузол, б) модернізований вузол з повністю висунутими лопатями, в) модернізований вузол з мінімально висунутими лопатями



а)



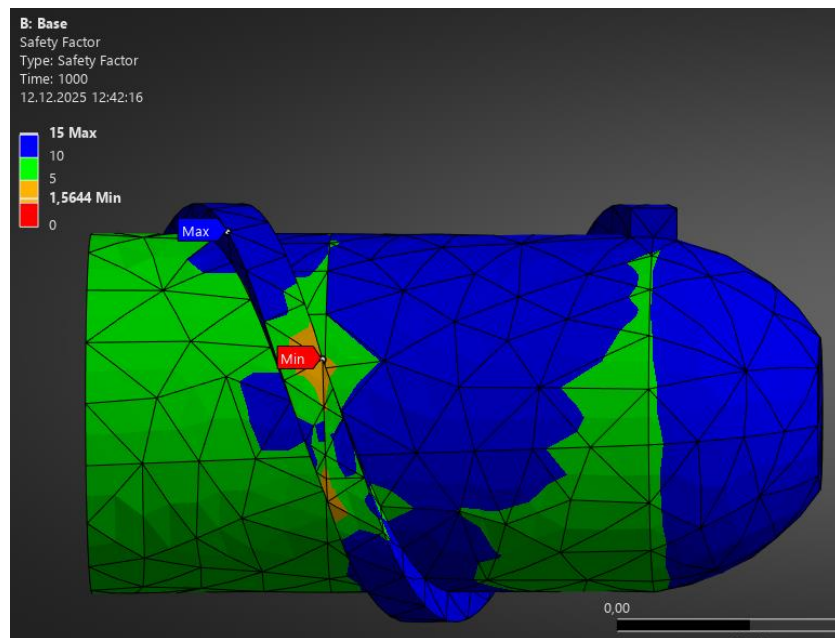
б)



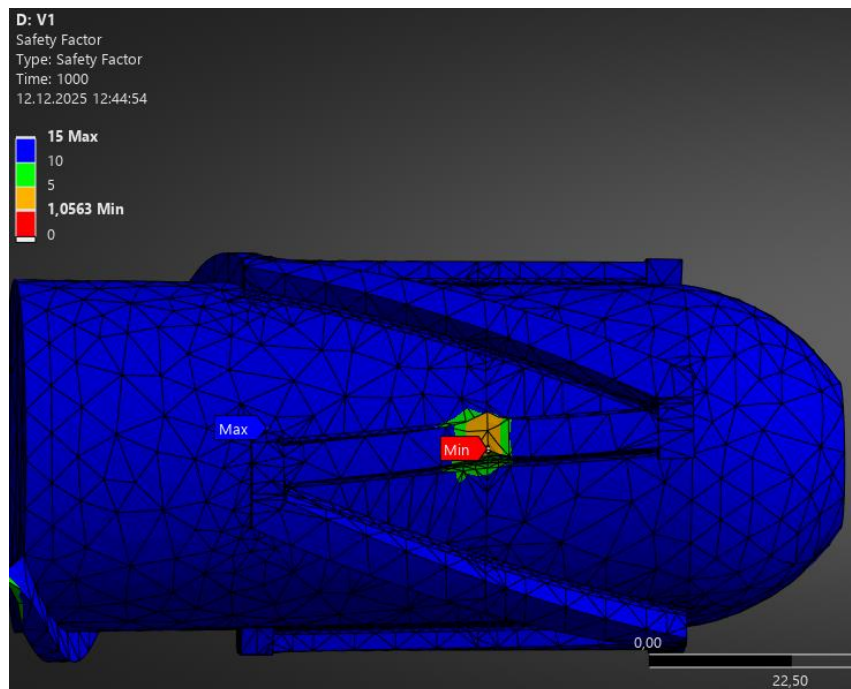
в)

Рис. 7.13 – Закріплення та сили, що діють на вузол, де а) Базовий вузол, б) модернізований вузол з повністю висунутими лопатями, в) модернізований вузол з мінімально висунутими лопатями

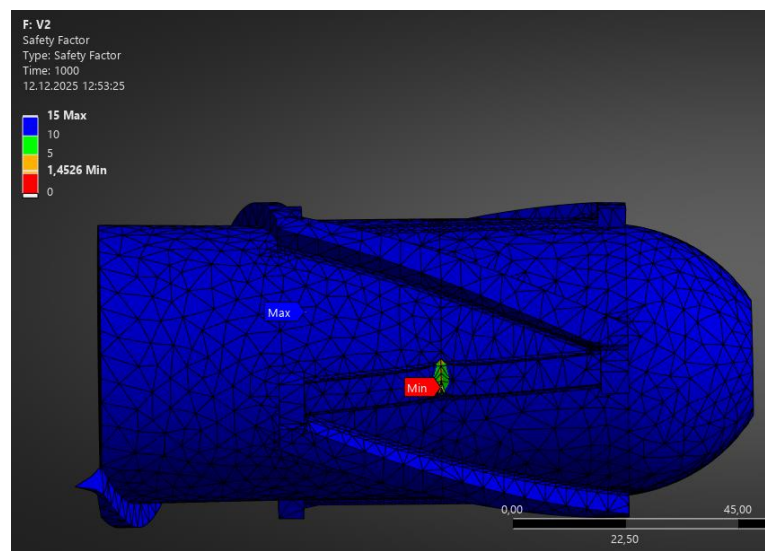
Знову проводимо розрахунки механічних характеристик такі як, запас міцності та загальні деформації.



a)



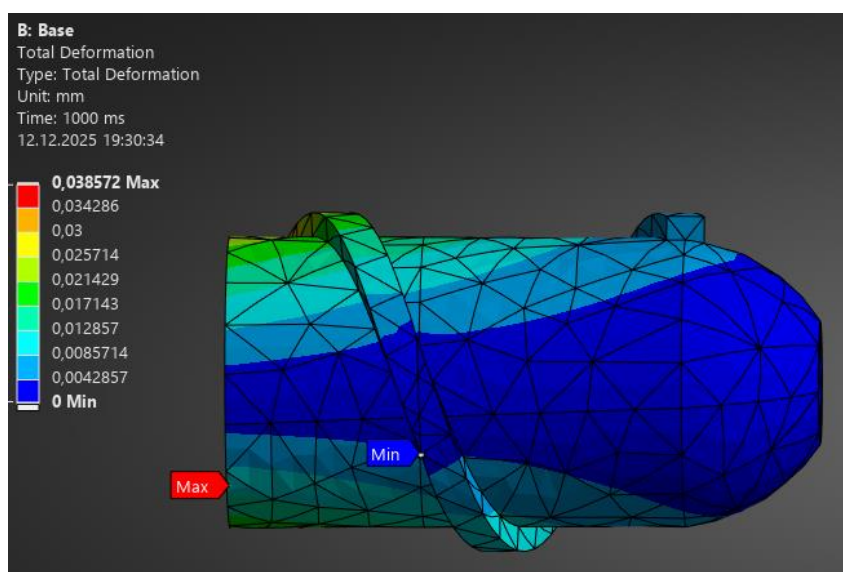
b)



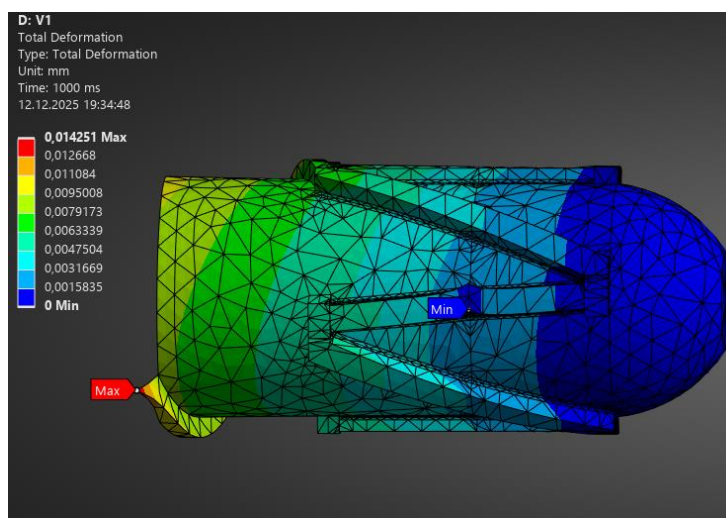
в)

Рис. 7.14 – Результат розрахунку запасу міцності, де а) Базовий вузол, б) модернізований вузол з повністю висунутими лопатями, в) модернізований вузол з мінімально висунутими лопатями

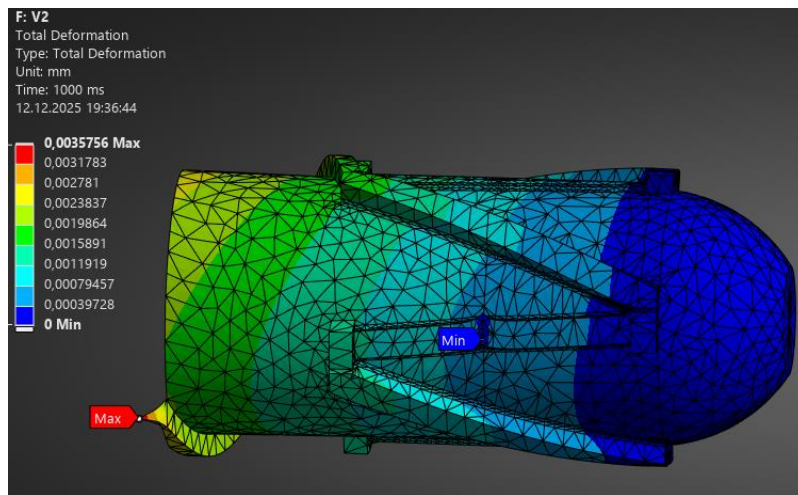
З розрахунків видно, що модернізована деталь має гірші показники міцності, і з повністю витягнутими лопатями майже критично низький, але все одно цього вистачить для виконання поставлених перед ним задач і при більш в'язких матеріалах, витки зменшують, тому цього має вистачити для роботи з будь-яким матеріалом.



а)

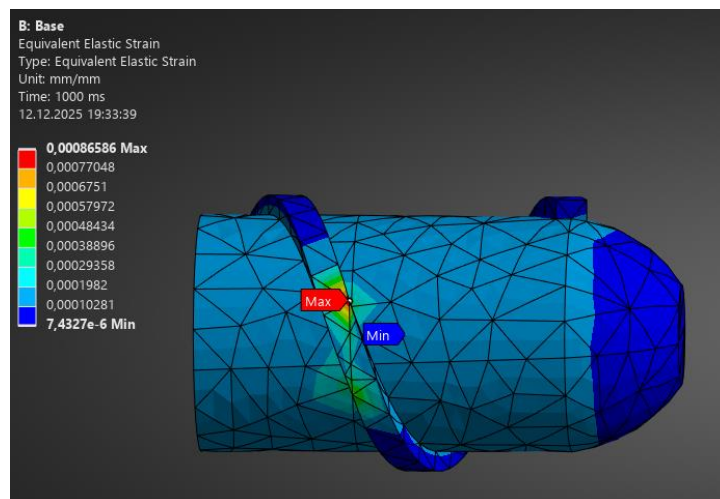


б)

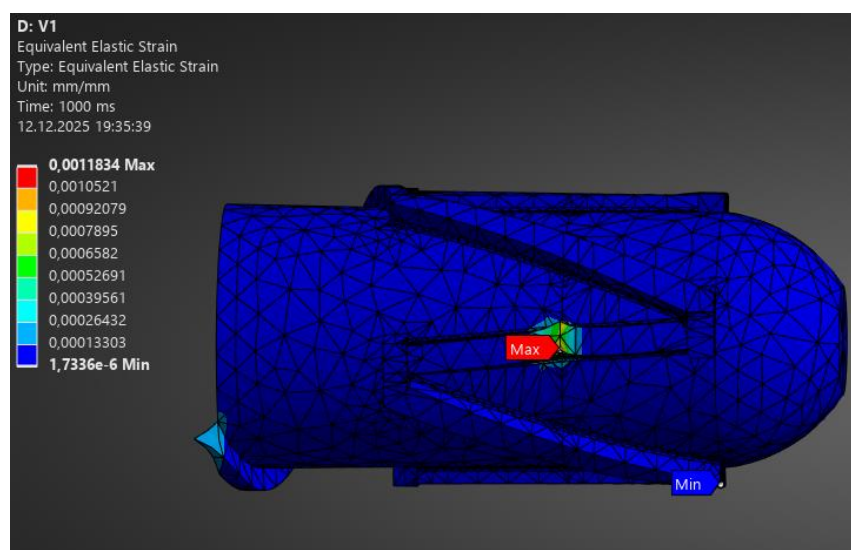


в)

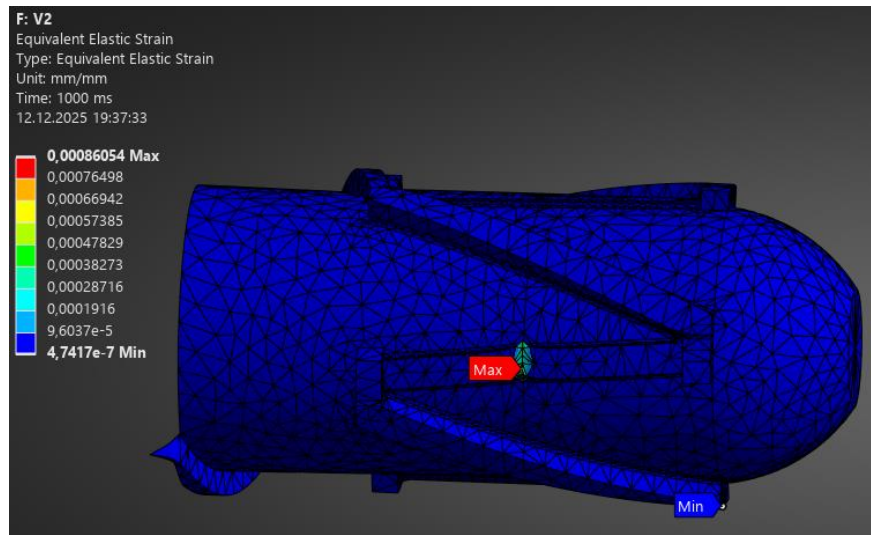
Рис. 7.15 – Результат розрахунку загальних деформацій, де а) Базовий вузол, б) модернізований вузол з повністю висунутими лопатями, в) модернізований вузол з мінімально висунутими лопатями



а)



б)



в)

Рис. 7.16 – Результат розрахунку еквівалентних напружень, де а) Базовий вузол, б) модернізований вузол з повністю висунутими лопатями, в) модернізований вузол з мінімально висунутими лопатями

Зданих результатів видно, що при повністю витягнутих лопатях, тотальна деформація, та еквівалентні напруження трохи вищі за базові, однак при повністю зменшених лопатях, ці показники стають навіть кращими за базову модель.

Висновки

У магістерській роботі був розглянутий екструдер у складі трубної лінії з модернізацією шнеку.

У цій роботі було розглянуто трубну лінію, екструдер та інші складові цієї лінії, призначення, а також принцип дії. Було проаналізовано процес та етапи виготовлення труби із поліетилену. Було розглянуто та проаналізовано більш детально екструдер 63x25. Продивились конструкцію черв'ячного пресу, його характеристики та принцип дії цього агрегату.

Проведені були обрахунки, які ймовірно засвідчать працездатність машини. При розрахунку на міцність було отримано такі результати $n = \frac{450}{195} = 2,3$, тобто міцність деталі перевищує навантаження, що на неї діє, у 2.3 рази. Також кількість теплоти яку потрібно підвести нагрівниками $Q_{N1} = 12$ кДж, щоб забезпечити таку кількість тепла, ми візьмемо 4 нагрівачів потужність 3кВт.

Під час дисертаційної роботи, було здійснено патентні дослідження конструкцій машини, за підсумками яких обрано технічне рішення, яке слушно застосувати для модернізації екструдера з метою збільшення продуктивності його змішування для поліпшення якості продукції. Для прямої модернізації було обрано модернізацію черв'яка з додаванням змішувальної частини. Запропоноване рішення сприяє стабілізації процесу екструзії, покращенню якості полімерного розплаву та підвищенню якості готових труб.

Для підтвердження працездатності запропонованої модернізації виконано розрахунки модернізованого вузла в програмному середовищі ANSYS, результати яких засвідчили відповідність конструкції умовам експлуатації.

Також при виконанні було розроблено розділи, до яких відносяться, монтаж і експлуатація екструдера, стартап-проект та охорона праці. Усі ці розділи підтверджують доцільність впровадження модернізованого екструдера.

Перелік посилань

1. Сокольський О. Л., Сівецький В. І., Мікульонок І. О. Проектування формувальних пристроїв обладнання для перероблення пластмас: навч. посіб. – 2-ге вид., переробл. та доповн. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 160 с.
2. Н.І. Басов, В.А. Брагин, Ю.В. Казанков "Расчет и конструирование формующего инструмента для изготовления изделий из полимерных материалов" Кафердра ХПСМ 1991.- 352 с.
3. Мікульонок І. О. Технологічні основи перероблення полімерів, пластмас і гумових сумішей: навч. посіб. Київ: НТУУ «КПІ», 2015. 312 с.
4. Основи проектування одночерв'ячних екструдерів: навч. посіб. / І. О. Мікульонок, О. Л. Сокольський, В. І. Сівецький, Л. Б. Радченко. Київ: НТУУ «КПІ», 2015. 200 с.
5. Мікульонок І. О. Механічні та гідромеханічні процеси, апарати і машини хімічної технології: Практикум : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 174 с.
6. Червячные машины для переработки резиновых смесей и пластических мас. Ю.Е. Лукач, Д.Д. Рябинин. — М.: Машиностроение, 1967.—364 с.
7. Мікульонок І.О. Виготовлення обладнання хімічних виробництв : підруч. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 236 с.
8. Н.Ф. Киркач, Р.А. Баласанян «Расчет и проектирование деталей машин, Харьков 1991.
9. Мікульонок І. О. Технологічні основи перероблення полімерів, пластмас і гумових сумішей: навч. посіб. Київ: НТУУ «КПІ», 2015. 312 с.
10. Технологія машинобудування: метод. вказівки до практичних занять та самостійної роботи для бакалаврів напряму підготовки 6.050502 "Інженерна механіка" / Уклад.: С.С. Добрянський, В.К. Фролов, Ю.М. Малафєєв - К.: НТУУ «КПІ», 2012. - 67 с.
11. Мікульонок І.О. Виготовлення обладнання хімічних виробництв : підруч. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 236 с.
12. Доброногов В.Г., Мікульонок І.О. Конструювання та розрахунок фланцевих з'єднань: Навчальний посібник. Київ: НМК ВО, 1992. 104 с.

13. Сокольський О. Л., Мікульонок І. О. Моделювання обладнання і процесів перероблення полімерних матеріалів методом екструзії. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 252 с.
14. Доброногов В. Г., Мікульонок І. О. Застосування корозійностійких, жаростійких, жароміцних сталей і сплавів у хімічному машино- та апаратобудуванні: навч. посіб. Київ: НТУУ «КПІ», 2011. 264 с.
15. Вознюк В. Т., Мікульонок І. О. Інтенсифікація процесу виготовлення екструдованих полімерних труб. Київ : НТУУ «КПІ», 2012. 144 с.
16. Маркетинг стартап-проектів: навчальний посібник для усіх спеціальностей другого освітнього ступеню «магістр» / С. О. Солнцев, О. В. Зозульов, Н. В. Юдіна, Т. О. Царьова, Н. В. Язвінська ; за заг. ред. С.О. Солнцева ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 218 с. URL : <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/27437>.
17. Розроблення стартап-проекту : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. Київ : НТУУ «КПІ», 2016. 28 с.
18. Semeniuk, S., Levytskyi, V., Fomina, O., Fedorchenko, K., Yudina, N., Ratynskiy, V., Shcherbatiuk, O., Bendiuh, V., & Zhurakivska, Y. (2024). Overcoming barriers to digitalization of small and medium-sized enterprises under martial law. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(13 (129)), 57–69. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.304997>.
19. Hurin, R., Gondliakh, O., Sokolskyi, O., Shcherbina, V., & Antonyuk, S. (2025). Influence of carbon nanotubes on the characteristics of polymer melt flow during extrusion of two-layer pipes. *Bulletin of NTUU «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»*, Series «Chemical Engineering, Ecology and Resource Saving», (2), 20–31. <https://doi.org/10.20535/2617-9741.2.2025.333972>
20. Сівецький В.І., Щербина В.Ю., Гондлях О.В. Інжиніринг інноваційних технологій та обладнання. Лінії для виготовлення листових і профільних полімерних виробів [Електронний ресурс] / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2022. – 113 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/45732>

21. Пат. України № 102908 , МПК В29С 47/60, заявл. 21.05.2015, опубл. 25.11.2015, бюл. № 22., Черв'як екструдера.

22. Пат. США № 10513051, МПК В29С 48/53, заявл. 14.09.2017, опубл. 24.12.2019., Extruder Torpedo with Flow Control Channels.

23. Пат. США № 7387426, МПК В29С 47/64, заявл. 04.11.2005, опубл. 17.06.2008., Extruder Screw with Mixing Sections.

24. Пат. США № 20190375133 А1, МПК В29В 7/40, В29С 48/25, заявл. 21.06.2019, опубл. 12.12.2019., Torpedo for Extruder.

25. Пат. США № 2011/0222363 А1, МПК В29С 47/60, заявл. 03.03.2010, опубл. 15.09.2011., Lug Type Extruder Screw.

26. Пат. Китаю № CN 102534819 А, МПК В29С 47/60, заявл. 13.01.2012, опубл. 04.07.2012., Extruder Screw with Additional Mixing Section.

ДОДАТОК А

Таблиця розглянутих патентів

№	Предмет пошуку	№ документу, країна видачі, автор	Задача заявленого технологічного рішення та ціль його створення
1	Черв'як екструдера	Пат. України № 102908 , МПК В29С 47/60, заявл. 21.05.2015, опубл. 25.11.2015, бюл. № 22., Сокольський Олександр Леонідович, Мікульонок Ігор Олегович, Івіцький Ігор Ігорович	Черв'як екструдера містить вал з послідовно розташованими хвостовиком, робочою зоною з гвинтовою нарізкою, а також наконечником, спорядженим пружним елементом і встановленим з можливістю зворотно-поступального руху в осьовому отворі вала. Наконечник з боку хвостовика вала споряджено штоком з розташованим на його кінці поршнем, при цьому ділянка осьового отвору вала між наконечником і поршнем заповнено в'язкою рідиною, а в осьовому отворі вала на зазначеній ділянці закріплено нерухому дросельну шайбу.
2	Торпеда екструдера з направляючими каналами	Пат. США № 10513051, МПК В29С 48/53, заявл. 14.09.2017, опубл. 24.12.2019., Terry Wayne Williams , Andale , KS	Конструкція торпеди, що формує контрольовані канали течії розплаву, забезпечуючи інтенсивне перемішування перед формуванням виробу. Метою є підвищення якості екструдованої продукції та зниження дефектів.
3	Шнек екструдера зі змінною геометрією	Пат. США № 7387426, МПК В29С 47/64, заявл. 04.11.2005,	Запропоновано конструкцію шнека зі змінними елементами профілю для керування потоком матеріалу. Метою є підвищення

	елементів	опубл. 17.06.2008., Jon L. Kuhman, Ann Arbor, MI	ефективності екструзії та можливість адаптації під різні типи полімерів.
4	Торпеда екструдера з регульованими елементами	Пат. США № 20190375133 A1, МПК В29В 7/40, В29С 48/25, заявл. 21.06.2019, опубл. 12.12.2019., COMPAGNIE GENERALE DES ETABLISSEMENTS MICHELIN.	Запропоновано торпеду екструдера з рухомими напрямними лопатями, які можуть радіально регулюватися. Метою є адаптація процесу змішування до різних матеріалів без заміни торпеди та покращення гомогенізації розплаву.
5	Шнек екструдера з інтенсивною зоною змішування	Пат. США № 2011/0222363 A1, МПК В29С 47/60, заявл. 03.03.2010, опубл. 15.09.2011., Timothi D. MAZZOCCA	Розробка шнека з радіально розташованими виступами, які створюють зони інтенсивного зсуву та турбулентного потоку. Метою є покращення змішування та термічної однорідності полімерного розплаву.
6	Шнек екструдера з додатковою зоною змішування	Пат. Китаю № CN 102534819 А, МПК В29С 47/60, заявл. 13.01.2012, опубл. 04.07.2012.	Розробка шнека з додатковою змішувальною ділянкою між зоною стиснення та дозування. Метою є покращення тепло- та масообміну, підвищення ступеня плавлення полімеру та стабілізація процесу екструзії.

ДОДАТОК Б

ДОДАТОК В



US010513051B2

(12) **United States Patent**
Williams(10) **Patent No.:** **US 10,513,051 B2**(45) **Date of Patent:** ***Dec. 24, 2019**(54) **MIXING SECTION FOR PLASTIC
EXTRUSION SCREW**(2019.02); *B29C 48/59* (2019.02); *B29C 48/65*
(2019.02); *B29C 48/67* (2019.02); *B29C*
48/832 (2019.02)(71) Applicant: **Reifenhauser GmbH & Co. KG,**
Maschinenfabrik, Toisdorf (DE)(58) **Field of Classification Search**CPC *B29B 7/429*; *B29B 7/482*; *B29C 47/6018*;
B29C 47/6075; *B29C 47/625*; *B29C*
47/64; *B29C 47/822*(72) Inventor: **Terry Wayne Williams, Andale, KS**
(US)

See application file for complete search history.

(73) Assignee: **Reifenhauser GmbH & Co. KG,**
Maschinenfabrik (DE)(56) **References Cited****U.S. PATENT DOCUMENTS**(*) Notice: Subject to any disclaimer, the term of this
patent is extended or adjusted under 35
U.S.C. 154(b) by 3 days.3,486,192 A * 12/1969 Le Roy *B29C 47/6043*
366/82
3,587,450 A * 6/1971 Smith et al. *B29C 47/60*
100/117This patent is subject to a terminal dis-
claimer.

(Continued)

(21) Appl. No.: **15/704,763****OTHER PUBLICATIONS**(22) Filed: **Sep. 14, 2017**Indian Office Action for Application No. 3765-KOLNP/2015 dated
Apr. 24, 2019.(65) **Prior Publication Data**

US 2018/0126596 A1 May 10, 2018

Primary Examiner — Tony G Sooboo

(74) Attorney, Agent, or Firm — Tarolli, Sundheim,
Covell & Tummino LLP**Related U.S. Application Data**(63) Continuation of application No. 14/600,852, filed on
Jan. 20, 2015, now Pat. No. 9,764,496.

(Continued)

(51) **Int. CL***B29B 7/42* (2006.01)*B29C 48/53* (2019.01)*B29C 48/59* (2019.01)*B29C 48/65* (2019.01)*B29C 48/67* (2019.01)

(Continued)

(52) **U.S. CL**CPC *B29B 7/429* (2013.01); *B29B 7/421*
(2013.01); *B29B 7/482* (2013.01); *B29C 48/53*

(57)

ABSTRACTAn mixing section for an extrusion screw has an inlet end
and an outlet end as well as alternating wiping lands and
barrier lands. The wiping lands have a greater helix angle
than the barrier lands. The wiping lands and the barrier lands
define inlet channels which narrow toward the outlet end and
outlet channels which widen toward the outlet end. A helical
pattern of mixing channels is cut into the wiping lands and
the barrier lands. The mixing channels may be oriented
generally at approximately right angles to the wiping lands
and the barrier lands. A portion of the extrudate encounters
the inside wall surfaces of the mixing channels and changes
direction which improves the mixing of the extrudate.**13 Claims, 4 Drawing Sheets**

Related U.S. Application Data		
(60)	Provisional application No. 61/928,855, filed on Jan. 17, 2014,	4,639,143 A * 1/1987 Frankland, Jr. B29C 47/6043 366/322
		4,752,136 A * 6/1988 Colby B29C 45/60 366/323
		4,944,906 A * 7/1990 Colby B29C 45/0001 264/101
(51)	Int. Cl.	4,964,730 A * 10/1990 Alzner B29C 47/60 366/81
	B29C 48/80 (2019.01)	5,215,764 A * 6/1993 Davis B29C 45/60 366/88
	B29B 7/48 (2006.01)	5,318,357 A * 6/1994 Colby B29C 47/6075 366/319
(56)	References Cited	5,816,698 A * 10/1998 Durina B29C 47/60 366/81
	U.S. PATENT DOCUMENTS	6,497,508 B1 * 12/2002 Womer B29C 47/6037 366/81
	3,652,064 A * 3/1972 Lehn B29C 47/60 198/661	6,547,431 B1 * 4/2003 Womer B29C 47/60 366/81
	3,788,614 A * 1/1974 Gregory B29C 47/6043 366/82	7,014,353 B2 * 3/2006 Womer B29C 47/60 366/88
	3,941,535 A * 3/1976 Street B29B 7/429 425/208	7,032,843 B1 4/2006 Johnson et al.
	4,085,461 A * 4/1978 Mullerfer B29C 47/60 366/90	2004/0141406 A1 7/2004 Womer et al.
	4,227,870 A * 10/1980 Kim B29C 47/60 425/208	2011/0222363 A1 * 9/2011 Mazzocca B29B 7/421 366/81
	4,330,214 A * 5/1982 Willett B29C 47/60 366/78	2015/0298356 A1 * 10/2015 Williams B29B 7/482 366/90
	4,405,239 A * 9/1983 Chung B29C 47/60 198/661	

* cited by examiner

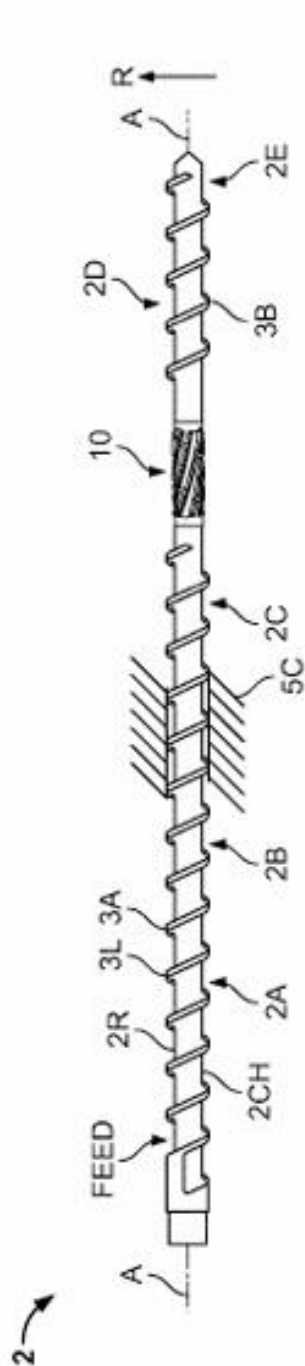


FIG. 1

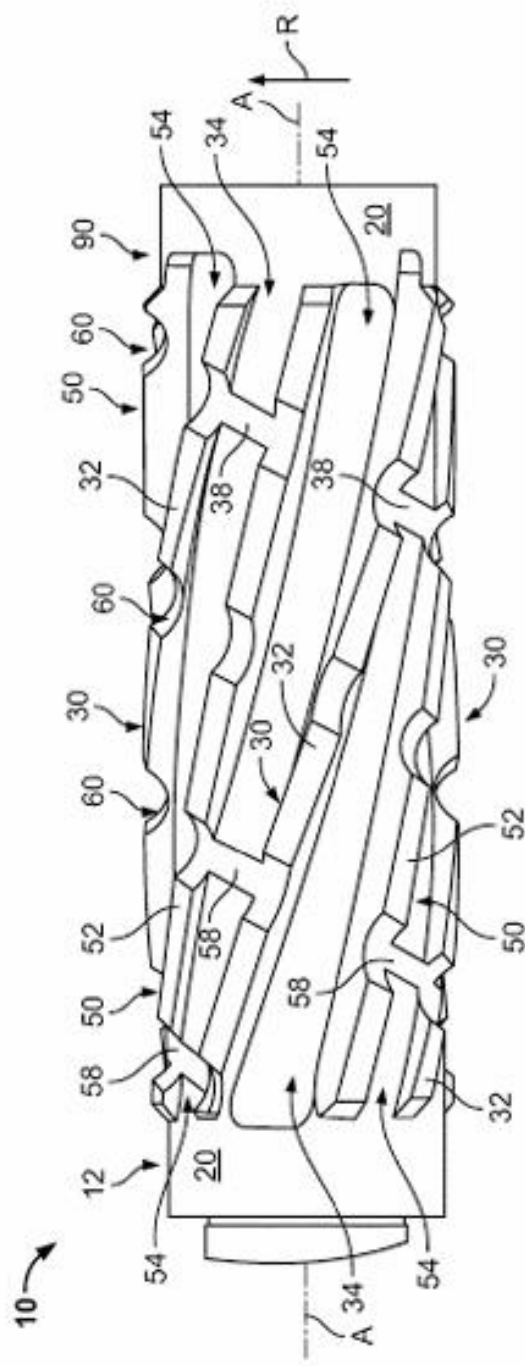


FIG. 2

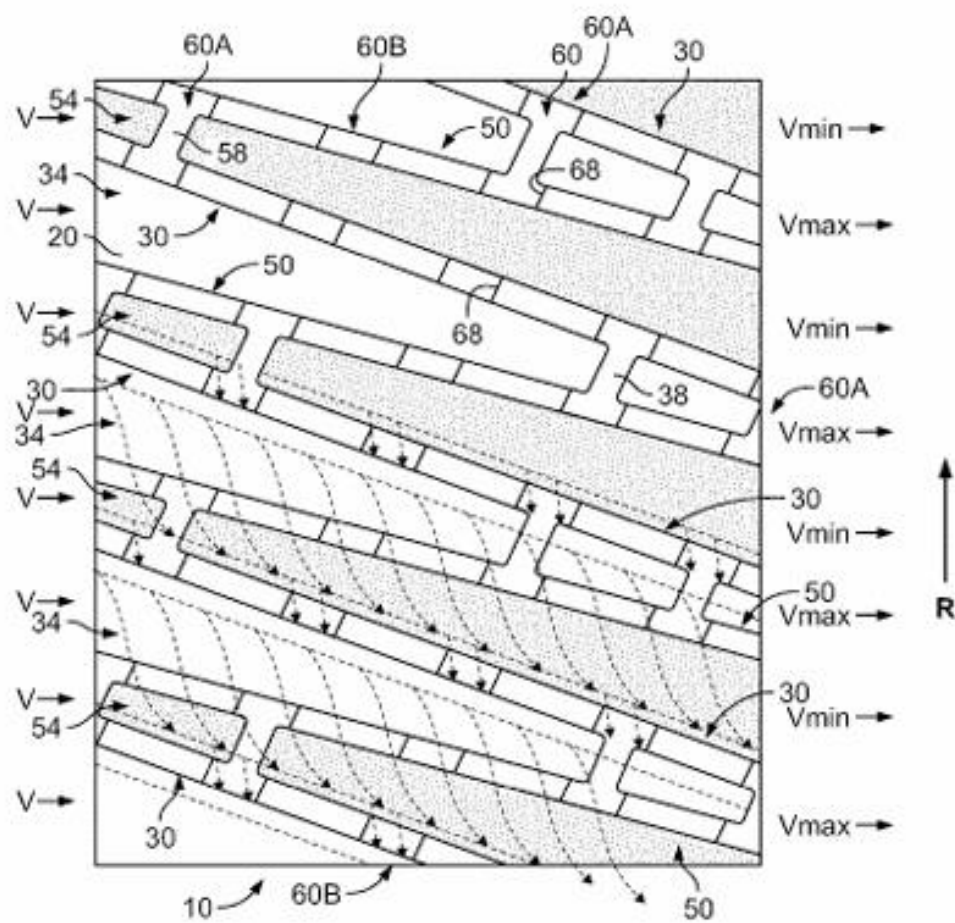


FIG. 3

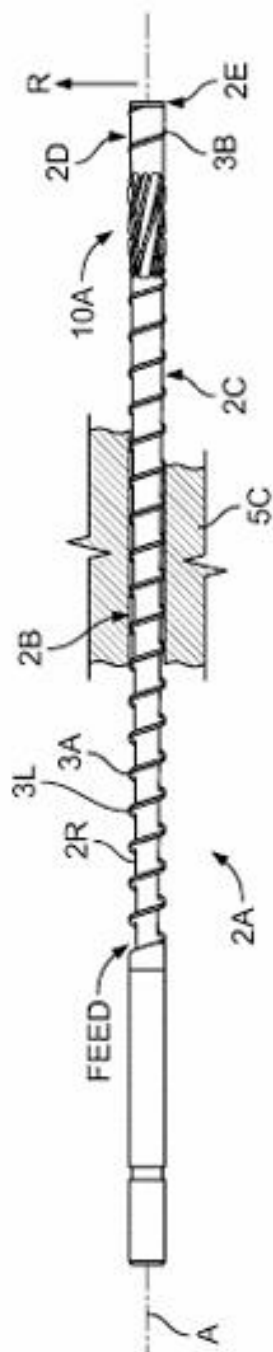


FIG. 4

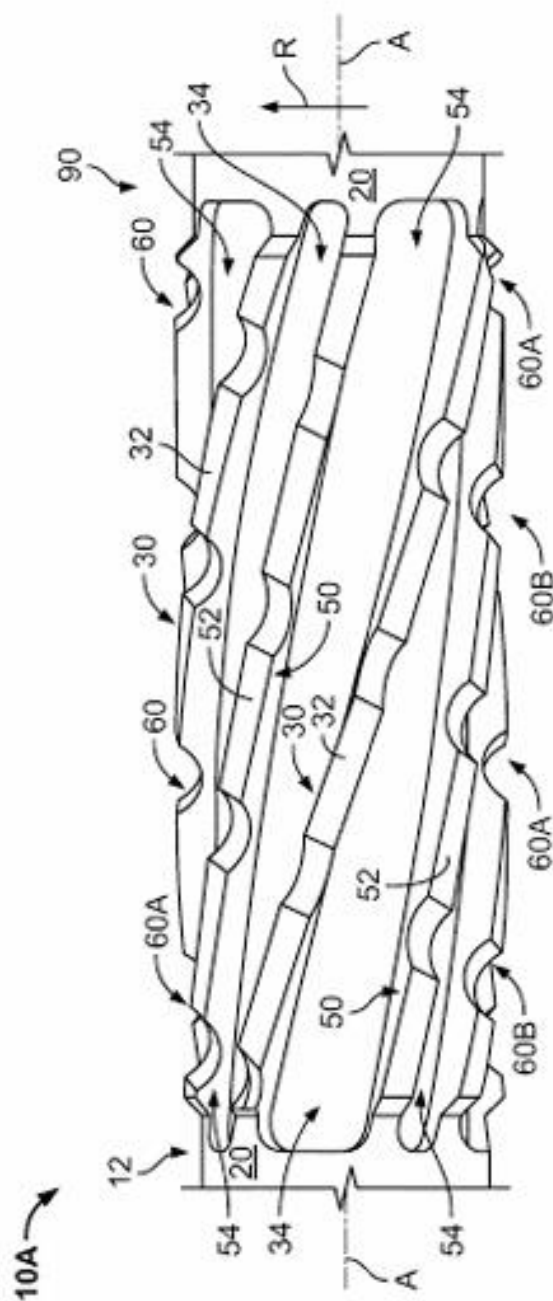


FIG. 5

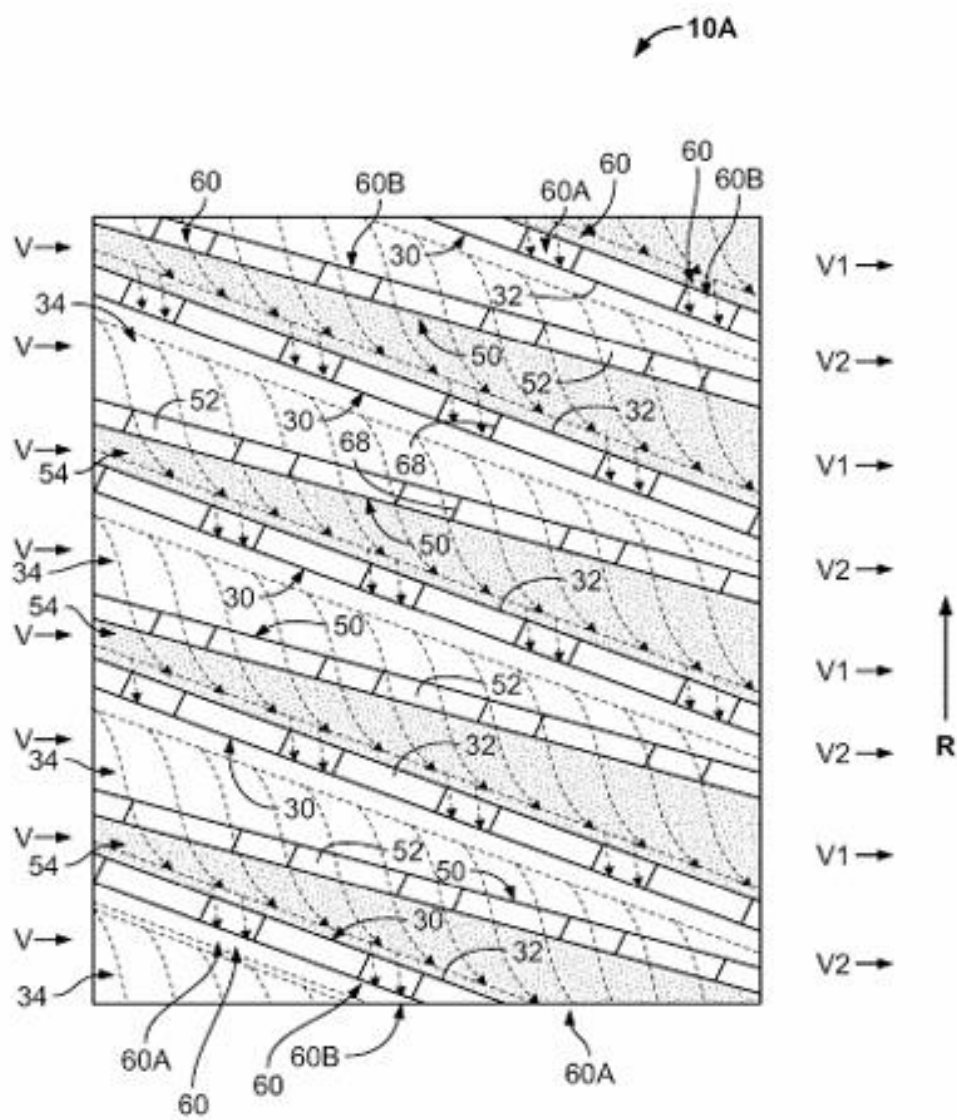


FIG. 6

1

MIXING SECTION FOR PLASTIC EXTRUSION SCREW

CROSS REFERENCES TO RELATED APPLICATIONS

This application is a continuation of U.S. Non-provisional patent application Ser. No. 14/600,852 filed on Jan. 20, 2015, which is incorporated herein by reference.

U.S. Non-provisional patent application Ser. No. 14/600,852 claimed the benefit of U.S. Provisional Patent Application No. 61/928,855 filed on Jan. 17, 2014, which is incorporated herein by reference.

FIELD

This invention relates to an extrusion screw having an mixing section.

BACKGROUND

The mixing of molten plastic with additives including colorants is an important step prior to extruding the molten plastic into an extruded shape by means of a die or prior to injecting molten plastic into a mold during an injection molding process. Typically, plastic pellets and various additives are fed into the feed of an extrusion machine which typically includes a barrel and an extrusion screw which rotates within the barrel. Typically, the barrel is a precise cylindrical bore having heated walls. The screw is typically an elongated auger like member having a generally cylindrical screw root and a continuous helical ridge or "flight" which projects from the body. The helical flight presents a narrow (typically about 1 cm in width), continuous flat surface which is preferably closely offset from the inside wall of the barrel. Preferably, the flight is configured so that the extrudate does not flow between the flight and the inside wall of the barrel but, rather, is "wiped" from the inside wall. The extrudate is typically a combination of plastic pellets, partially melted plastic pellets, molten plastic and possibly additives. The proportions of unmelted plastic and molten plastic vary depending on whether the extrudate is near the intake or near the outlet. A channel is defined between the turns of the flight. This channel conveys the extrudate down the length of the barrel as the extrusion screw turns within the barrel. In most cases, the extrusion screw includes a feed section in which the depth of the channel is generally constant and relatively deep (on the order of 15 mm for a 100 mm diameter screw), a transition section in which the depth of the channel decreases and a first metering section wherein the depth of the channel is reduced (on the order of 7 mm for a 100 mm diameter screw) and constant. The depth of such a channel is known in the art as the "root depth". Typically, the inside wall of the barrel includes a heating band for melting the plastic pellets into a highly viscous molten plastic material. In order to accomplish thorough mixing, extrusion screws often include a mixing section. The purpose of a mixing section is to mix the molten plastic and additives as much as possible prior to a second metering section which forces the extrudate either into a die or an injection mold.

SUMMARY

The present extrusion screw includes an mixing section. The mixing section has an inlet end for receiving extrudate and an outlet end for discharging extrudate. The mixing

2

section includes a mixing section root, wiping lands and barrier lands. The mixing section root is generally cylindrical in shape. The wiping lands and the barrier lands are arranged on the mixing section root in an alternating fashion and are arranged to describe helixes as they extend from the inlet end to the outlet end. The wiping lands have outside surfaces which generally match the wall of the extrusion barrel. There is an offset between the outside surfaces of the barrier lands and the wall of the extrusion barrel. The wiping lands have a greater helix angle than the barrier lands. The wiping lands and the barrier lands define inlet channels which narrow toward the outlet end. The barrier lands and the wiping lands also define outlet channels which widen toward the outlet end.

Mixing channels are cut into the wiping lands and the barrier lands. The mixing channels are arranged to define helixes which are oriented generally at right angles to the wiping lands and the barrier lands. Accordingly, the mixing channels present channel wall surfaces that are oriented approximately at right angles to the wiping lands and the barrier lands. Because of this opposing orientation of the mixing channel wall surfaces in relation to the wiping lands and the barrier lands, a portion of the extrudate flowing from the inlet end to the outlet end changes direction when that portion of the extrudate encounters the inside wall surfaces of the mixing channels. This alteration of direction of a portion of the extrudate causes increased mixing of the extrudate.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

FIG. 1 is a side elevation view of an embodiment of an extruder screw including a mixing section.

FIG. 2 is a side elevation view of one embodiment of the mixing section.

FIG. 3 is a planar projection of the one embodiment of the mixing section shown in FIG. 2.

FIG. 4 is a side elevation view of a second embodiment of an extruder screw including a mixing section.

FIG. 5 is a side elevation view of a second embodiment of the mixing section.

FIG. 6 is a planar projection of the mixing section shown in FIG. 2.

DETAILED DESCRIPTION

Referring to the drawings, FIGS. 1 and 2 show an extrusion screw 2 which includes an example embodiment of a mixing section 10. Extrusion screw 2 is arranged to rotate in the direction indicated by arrow R within an extrusion barrel 5 which is shown only partially in FIG. 1. The skilled reader will appreciate that extrusion barrel 5 extends at least the entire length of extrusion screw 2. The skilled reader will also appreciate that extrusion barrel 5 presents a precisely defined cylindrical bore for receiving extrusion screw 2 and will typically include heating bands usually disposed near the feed end for heating and melting plastic extrudate. Reference is also made to U.S. Pat. No. 5,215,764 which is incorporated herein by reference.

Extrusion screw 2 as shown in FIG. 1 is intended as an example of a typical extrusion screw and is by no means representative of all of the extrusion screws which may incorporate a mixing section 10. As can be seen in FIG. 1, extrusion screw 2, is intended to rotate in the direction indicated by arrow R about its longitudinal axis A. Extrusion screw 2 includes a feed section 2A, a transition section 2B, a first metering section 2C, a mixing section 10, and a

3

second metering section 2D and finally an outlet 2E. In this example, a first continuous helical flight 3A extends from the inlet end of the feed section 2A to the outlet end of the first metering section 2C. The helical flight extends radially outward from screw root 2R and is disposed at a helix angle of approximately between 15 and 20 degrees. By way of explanation, a flight having a helix angle of 0 degrees would merely be a ring-like radial band which is perpendicular to axis A and which encircles the screw root. Such a flight would probably have no useful function. Conversely, a flight having a helix angle of 90 degrees would be a longitudinal ridge which would be perfectly aligned with axis A and would also probably have no useful function. However, a flight which is disposed at an angle greater than 0 degrees and significantly less than 90 degrees will define an auger like archimedean screw, which is, so to speak, the archetypal design for devices that pump liquids in a continuous fashion. Accordingly, flight 3A is adapted for pumping extrudate from the feed end to the outlet of metering section 2C as extrusion screw 2 rotates in the direction indicated by direction arrow R.

As can be seen in FIG. 1, flight 3A of extrusion screw 2 has a flat outer land surface 3L that closely matches the inside surface of extrusion barrel 5. Land surface 3L does not necessarily have to precisely match the wall of barrel 5, but the offset between land surface 3L and the barrel wall is preferably sufficiently small to prevent any significant flow of extrudate between those surfaces. A slight gap is preferred so that a small amount of extrudate may be present between land surface 3L and the barrel wall. This small amount of extrudate, which is constantly replaced, acts as a lubricant. A flight or "land" which is closely offset from the inside wall of an extrusion barrel so as to prevent a significant flow of extrudate between the land and the barrel wall is referred to by those skilled in the art as a "wiping land" because wiping lands tend to wipe the inside wall of the barrel clean of extrudate. A flight or "land" which is sufficiently offset from the inside wall of an extrusion barrel so as to permit the flow of extrudate between the land and the barrel wall is referred to by those skilled in the art as a "barrier land" because barrier lands tend to present an obstacle to the passage of extrudate but do not completely prevent the passage of extrudate. A channel 2CH is defined between turns of flight 3A. This channel conveys extrudate and the depth of this channel changes depending on the location along screw 2. In this example, in feed section 2A, screw root 2R has a relatively small diameter which results in a relatively deep channel 2CH. In transition section 2B, the diameter of screw root 2R increases so that the depth of channel 2CH is reduced between the inlet end and the outlet end of transition section 2B. First metering section 2C has a generally constant screw root diameter and a corresponding generally constant channel depth. The same can be said of second metering section 2D. Second metering section 2D is adapted to receive mixed extrudate from mixing section 10 and present the extrudate in a continuous, controlled flow to the outlet of the extrusion machine. As noted above, in this example, mixing section 10 is interposed between first metering section 2C and second metering section 2D. Mixing section 10 will be described in greater detail below.

FIG. 2 provides an enlarged view of an example embodiment of mixing section 10. FIG. 3 provides a projection view in which most of mixing section 10 is projected onto a plane. As can be seen in greater detail in FIG. 2, mixing section 10 is also generally cylindrical. Mixing section 10, like extrusion screw 2, is arranged to rotate about axis A and because mixing section 10 is fixed to extrusion screw 2, it also rotates

4

in the direction indicated by direction arrow R in FIG. 2. Mixing section 10 may also be considered as having an inlet end 12 and an outlet end 90.

As can be seen in FIG. 2 and in greater detail in FIG. 3, mixing section 10 includes a mixing section root 20, wiping lands 30 and barrier lands 50. Mixing section root 20 is preferably cylindrical and may be considered as a reference surface from which the relative radial height or depth of other features of mixing section 10 may be measured. In this example embodiment, wiping lands 30 include four wiping lands 30 (as can be best seen in FIGS. 3 and 6) which are preferably evenly spaced around root 20. In this example wiping lands 30 are set at a first helix angle. In the example mixing section shown in FIGS. 2 and 3, wiping lands 30 have a helix angle of approximately 70 degrees. Wiping lands 30 extend outwardly from mixing section root 20 and present flat, ridge like outside surfaces 32 which are preferably closely offset from the inside surface of extrusion barrel 5. Outside surfaces 32 of wiping lands 30 tend to wipe the inside surface of extrusion barrel 5 clean of extrudate as described above.

FIGS. 2 and 3 also illustrate a set of barrier lands 50 which also extend out from mixing section root 20. Barrier lands 50 are arranged in an alternating fashion between wiping lands 30 so that barrier lands 50 are evenly spaced with each other and evenly spaced with respect to wiping lands 30. Accordingly, there are also four barrier lands 50. In this example embodiment, barrier lands 50 are set at a second helix angle that is greater than the first helix angle of wiping lands 30. In the example shown in FIGS. 2 and 3, the helix angle of barrier lands 50 is approximately 75 degrees. Barrier lands 50 present ridge-like flat outside surfaces 52 that are offset from the inside surface of extrusion barrel 5 preferably with a sufficient offset distance to allow a portion of the extrudate to flow between outside surfaces 52 and the barrel wall.

Because barrier lands 50 have a greater helix angle than wiping lands 30 when considered in the direction of rotation R, the alternating spaces between barrier lands 50 and wiping lands 30 define inlet channels 34 which decrease in width from the inlet end to the outlet end. In this example embodiment, inlet channels 34 decrease in depth from the inlet end to the outlet end. Thus, since inlet channels 34 are wider and may also be deeper at the inlet end, inlet channels 34 are relatively open to the flow of extrudate at their inlet ends and relatively closed to the flow of extrudate at their outlet ends. Accordingly, each inlet channel 34 presents a first channel area at (when considered on a plane which is normal to axis A) at its inlet end which is greater than a second channel area at its outlet end.

Similarly, also because barrier lands 50 have a greater helix angle than wiping lands 30, the alternating spaces between barrier lands 50 and wiping lands 30 when considered in the direction opposite to the direction of rotation R define outlet channels 54 which increase in width from the inlet end to the outlet end. Further, outlet channels 54 may also increase in depth from their inlet ends to their outlet ends. Accordingly, because the cross section areas of outlet channels 54 (when projected on a plane normal to axis A) increase between their inlet ends and their outlet ends, outlet channels 54 are relatively closed to the flow of extrudate at their inlet ends and relatively open to the flow of extrudate at their outlet ends.

As can be seen in FIGS. 2 and 3, mixing channels 60 are cut primarily into wiping lands 30 and barrier lands 50. In this example embodiment, the profile of mixing channels 60 describes a generally arc shaped cross section. Further, in this example embodiment, mixing channel portions 38 also

5

extend between wiping lands 30 and barrier lands 50 in inlet channels 34 near the outlet ends of inlet channels 34. Similarly, mixing channel portions 58 are also defined between barrier lands 50 and wiping lands 30 near the inlet ends of outlet channels 54.

FIGS. 4-6 and in particular FIGS. 5 and 6 illustrate a second example embodiment mixing section 10A. Mixing section 10A is very similar to mixing section 10, except inlet channels 34 and outlet channels 54 are either relatively constant in depth or at least have sufficient depth throughout their so that, at no point, do mixing channels 60 cut into the floors of either inlet channels 34 and outlet channels 54. Accordingly, mixing channel portions 38 and 58 are not present in mixing section 10A. This illustrates that various configurations may be selected to meet differing requirements while remaining within the scope of this invention. However, it remains the case for mixing section 10A that the cross sectional areas of inlet channels 34 increase between their inlets and outlets and that the cross sectional areas of outlet channels 54 decrease between their inlets and outlets.

In this example, as can be best seen in FIG. 3, mixing channels 60 are arranged in two flights (60A and 60B in FIG. 3) which are oriented at slightly more than a right angle to wiping lands 30. Accordingly, mixing channels 60, in this example, have a helix angle of approximately -30 degrees. (In this connection, the skilled reader should recall that a feature such as a wiping land, a barrier land or a channel having a positive helix angle, given the direction of rotation, will cause extrudate to be forced from the inlet end to the outlet end of an extrusion screw or a portion thereof. Conversely, a feature such as a channel having a negative helix angle would tend to urge extrudate to counter-flow in an opposite direction generally from the outlet end toward the inlet end.) Because of the helix angle of -30 degrees, mixing channels 60 present surfaces which the extrudate encounters as it flows from the inlet end to the outlet end.

The skilled reader may be able to imagine how the various surfaces of the wiping lands, barrier lands and mixing channels might interact with the extrudate as extrudate progresses through mixing section 10. As mixing section 10 rotates in direction R, extrudate will be pushed down inlet channels 34 and over barrier lands 50 and into outlet channels 54. As this flow from inlet channels 34 into outlet channels 54 occurs, the positive large helix angles of wiping lands 30 and barrier lands 50 and the direction of rotation R causes wiping lands 30 and barrier lands 50 to spiral from the inlet end toward the outlet end consistent with the general direction of the flow of the extrudate thereby forcing the extrudate to generally flow from the inlet end toward the outlet end and also from the inlet channels into the outlet channels in an Archimedian fashion. However, the negative helix angle of mixing channels 60, causes the mixing channels to progress in a direction that is at least partially opposite from the flow direction of the extrudate when mixing section 10 is turned in direction of rotation R. Consequently, as extrudate flowing from inlet channels 30 to outlet channels 50 encounters mixing channel surfaces 68, a portion of the extrudate is redirected in a direction that is different from the remainder of the extrudate and this different direction may be understood, at least in relative terms, as if that portion of extrudate is counter-flowing in relation to the remainder of the extrudate. This redirection of a portion of the extrudate significantly enhances the mixing of the extrudate as it passes through mixing section 10.

The skilled reader will readily appreciate that the above described mixing section 10 provides an extrusion screw with significant advantages. The mixing of extrudate is

6

significantly enhanced by presenting flights of mixing channels arranged at a helix angle which is roughly at right angles to the wiping lands of the mixing section in order to present mixing channel surfaces which progress in a counter-flow fashion as the mixing section rotates. Extrudate which encounters the mixing channel surfaces moving in a counter-flow direction, changes direction thereby enhancing the mixing of the extrudate.

It is to be understood that while certain forms of this invention have been illustrated and described, it is not limited thereto, except in so far as such limitations are included in the following claims and allowable equivalents thereof.

Having thus described the invention, what is claimed as new and desired to be secured by Letters Patent is:

1. A mixing section for an extrusion screw, comprising:
 - (a) an inlet end for receiving extrudate and an outlet end for discharging extrudate,
 - (b) multiple wiping lands and multiple barrier lands which extend between the inlet end and the outlet end of the mixing section, both the wiping lands and the barrier lands having a positive helix angle such that the wiping lands have a helix angle of at least 65 degrees and the barrier lands have a greater helix angle than the wiping lands, the wiping lands and the barrier lands arranged such that barrier lands do not cross or intersect with the wiping lands, the wiping lands and the barrier lands defining alternating inlet channels and outlet channels such that there are at least three inlet channels and at least three outlet channels defined on the mixing section,
 - (c) mixing channels which are defined in the wiping lands and the barrier lands, the mixing channels arranged to define a negative helix angle which is offset at least substantially 90 degrees from the helix angle of the wiping lands so that the mixing channels are arranged generally normal or with an offset of more than 90 degrees to the wiping lands.
2. The mixing section of claim 1, wherein: the helix angle of the wiping lands is at least 70 degrees and the helix angle of the barrier lands is at least 5 degrees greater than the helix angle of the wiping lands.
3. The mixing section of claim 1, wherein: the depth of each inlet channel varies between the inlet end and the outlet end and the depth of each outlet channel varies between the inlet end and the outlet end.
4. The mixing section of claim 1, wherein: the depth of each inlet channel decreases from the inlet end to the outlet end and the depth of each outlet channel increases from the inlet end to the outlet end.
5. The mixing section of claim 1, wherein: at least a portion of one of the mixing channels is defined across the surface between the wiping land and the barrier land in each inlet channel and each outlet channel.
6. A thermoplastic extrusion screw for rotation within an extrusion barrel, the extrusion screw comprising
 - (a) a generally cylindrical, elongated screw root that is rotatable about a longitudinal axis within an extrusion barrel,
 - (b) a metering section disposed along the screw root, the metering section having at least one helical wiping land which extends from the screw root to the inside surface of the extrusion barrel, the at least one helical wiping land defining at least one channel for conveying extrudate through the metering section,

7

(c) a mixing section downstream of the metering section, the mixing section including:

(i) a generally cylindrical mixing section root having an inlet end and an outlet end,

(ii) at least four wiping lands extending outwardly from the mixing section root, the wiping lands having side surfaces and outside surfaces, the outside surfaces sufficiently matching the inside wall of the extrusion barrel to substantially prevent the flow of extrudate between the outside surfaces of the wiping lands and the barrel wall, the wiping lands disposed on the mixing section root in a helical fashion with a first positive helix angle of at least 65 degrees, the first helix angle suitable for defining wiping lands that urge extrudate from the inlet end toward the outlet end of the mixing section as the mixing section rotates within the barrel,

(iii) barrier lands arranged in an cooperating fashion with the wiping lands, the barrier lands also extending outwardly from the mixing section body, the barrier lands having side surfaces, the barrier lands also having outside surfaces sufficiently offset from the inside wall of the extrusion barrel to permit a portion of the extrudate to flow between the barrier lands and the barrel wall, the barrier lands having a second helix angle that is greater than the first helix angle of the wiping lands, the barrier lands arranged to not cross or intersect with the wiping lands,

(iv) the adjacent wiping lands and barrier lands defining inlet channels each of which extend between an inlet end and an outlet end, the inlet channels decreasing in cross sectional area between their inlet ends and their outlet ends,

(v) the adjacent barrier lands and wiping lands also defining outlet channels between the inlet channels, each outlet channel extending between an

8

inlet end and an outlet end, the outlet channels increasing in cross sectional area between their inlet ends and their outlet ends,

(vi) mixing channels defined in the wiping lands and the barrier lands, the mixing channels being arranged to define a negative helix angle such that mixing channels cross the wiping lands at a generally normal angle or with an offset of more than 90 degrees.

7. The extrusion screw of claim 6, wherein: the depth of each inlet channel of the mixing section decreases from the inlet end toward the outlet end and the depth of each outlet channel increases from the inlet end to the outlet end.

8. The extrusion screw of claim 6, wherein: at least a portion of one of the mixing channels of the mixing section is defined across the surface between the wiping land and the barrier land in each inlet channel and each outlet channel.

9. The extrusion screw of claim 6, wherein: the helix angle of the wiping lands are between 65 and 80 degrees.

10. The extrusion screw of claim 6, wherein: the helix angle of the wiping lands are between 65 and 80 degrees and the helix angle of the barrier lands is at least 5 degrees-greater than the helix angle of the wiping lands.

11. The extrusion screw of claim 6, wherein: the helix angle of the mixing channels is offset at least 90 degrees from the helix angle of the wiping lands.

12. The extrusion screw of claim 6, wherein: the barrier lands and the wiping lands correspond to each other in their number.

13. The extrusion screw of claim 12, wherein: the barrier lands and the wiping lands are arranged in an alternating fashion around the extrusion screw.

* * * * *



US 20190375133A1

(19) **United States**(12) **Patent Application Publication**
BESSAC et al.(10) **Pub. No.: US 2019/0375133 A1**(43) **Pub. Date: Dec. 12, 2019**(54) **TORPEDO FOR EXTRUDER****Publication Classification**(71) Applicant: **COMPAGNIE GENERALE DES
ETABLISSEMENTS MICHELIN,**
Clermont-Ferrand (FR)(51) **Int. Cl.**
B29B 7/40 (2006.01)
B29C 48/25 (2006.01)(72) Inventors: **CHRISTOPHE BESSAC,**
Clermont-Ferrand (FR); **MICKAEL
ROUBY,** Clermont-Ferrand (FR);
GILLES BONHOMME,
Clermont-Ferrand (FR)(52) **U.S. Cl.**
CPC **B29B 7/408** (2013.01); **B29C 48/507**
(2019.02); **B29C 48/266** (2019.02); **B29C**
48/25682 (2019.02)(21) Appl. No.: **16/472,291**(22) PCT Filed: **Dec. 19, 2017**(86) PCT No.: **PCT/EP2017/083446**

§ 371 (c)(1),

(2) Date: **Jun. 21, 2019**(30) **Foreign Application Priority Data**

Dec. 21, 2016 (FR) 1663007

(57) **ABSTRACT**

A torpedo for an extruder comprises: longitudinal member (9) which is provided at the periphery thereof with a plurality of thread portions (12) which protrude outwards and which are spaced apart in the circumferential direction; a plurality of sluice blades (19) which are mounted so as to be movable on the longitudinal member and which are partially engaged in apertures (18) of the longitudinal member, the longitudinal member (9) and the sluice blades (19) being provided with complementary radial guiding surfaces (13, 14, 18) which are in contact with each other; and adjustment means (28) for radially displacing the sluice blades relative to the longitudinal member. The sluice blades extend through the spaces between the thread portions, respectively. The thread portions (12) and the sluice blades (19) are provided with complementary radial guiding surfaces (13, 14, 18).

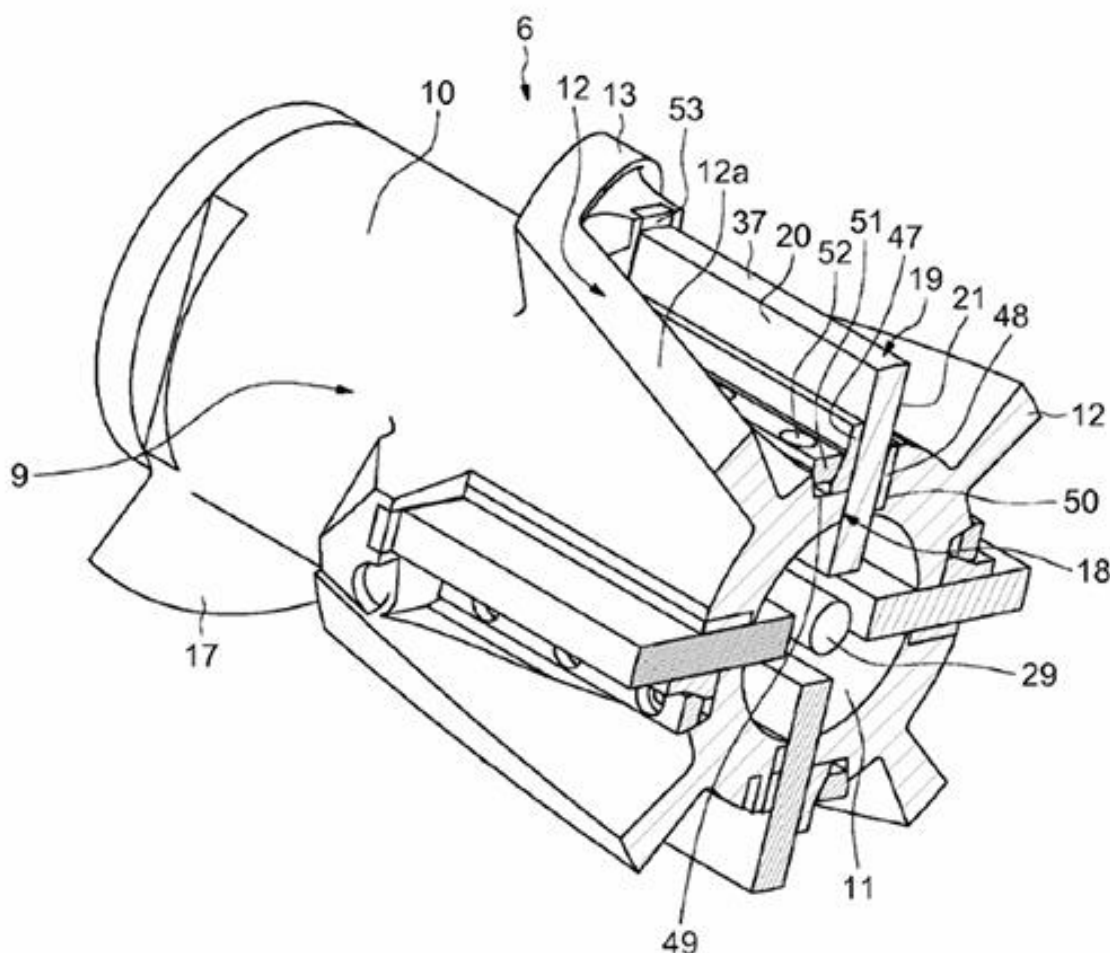


FIG.1

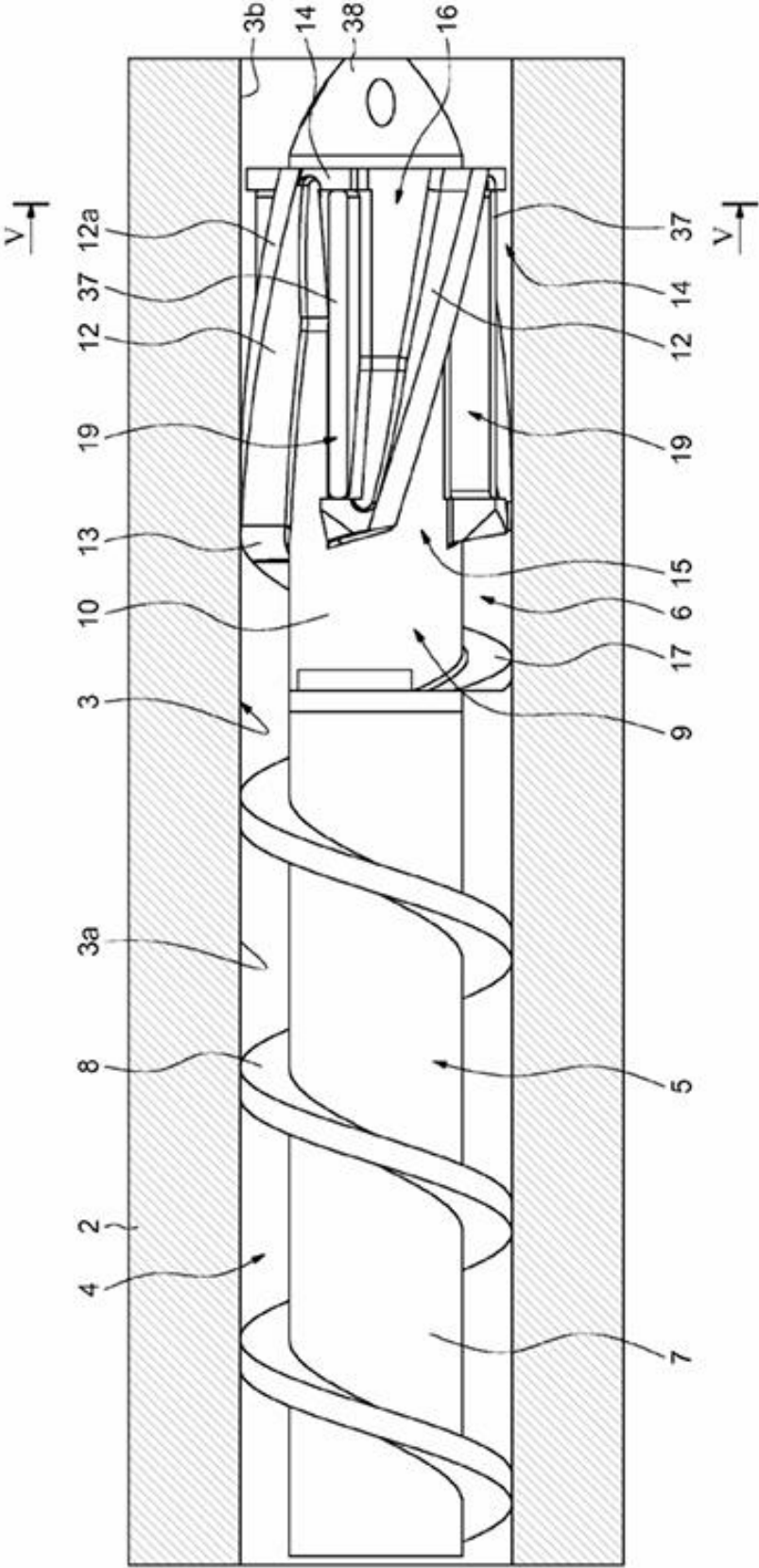


FIG.5

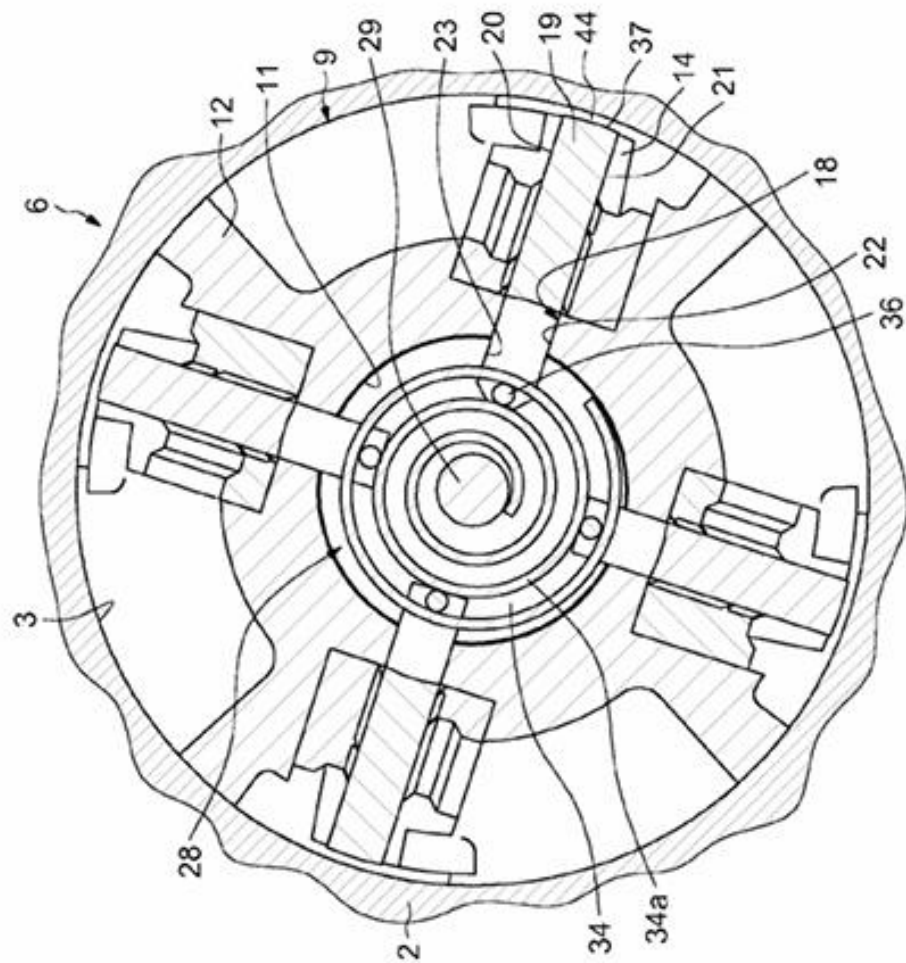


FIG.6

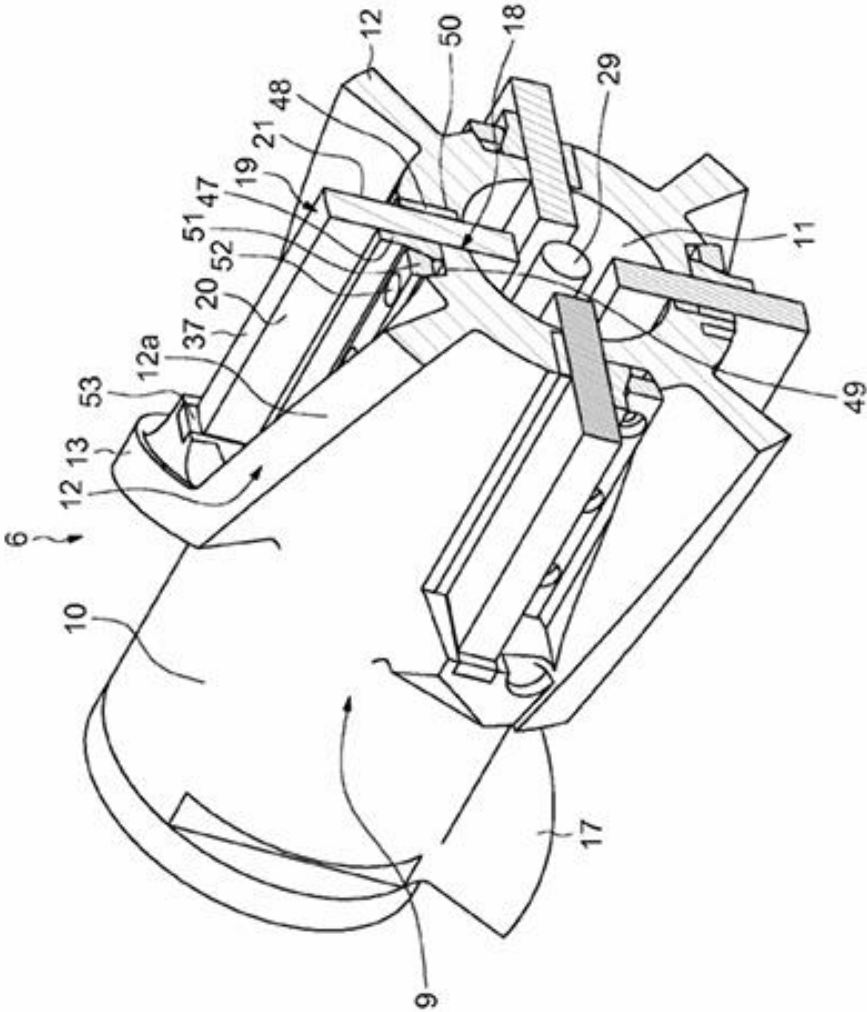
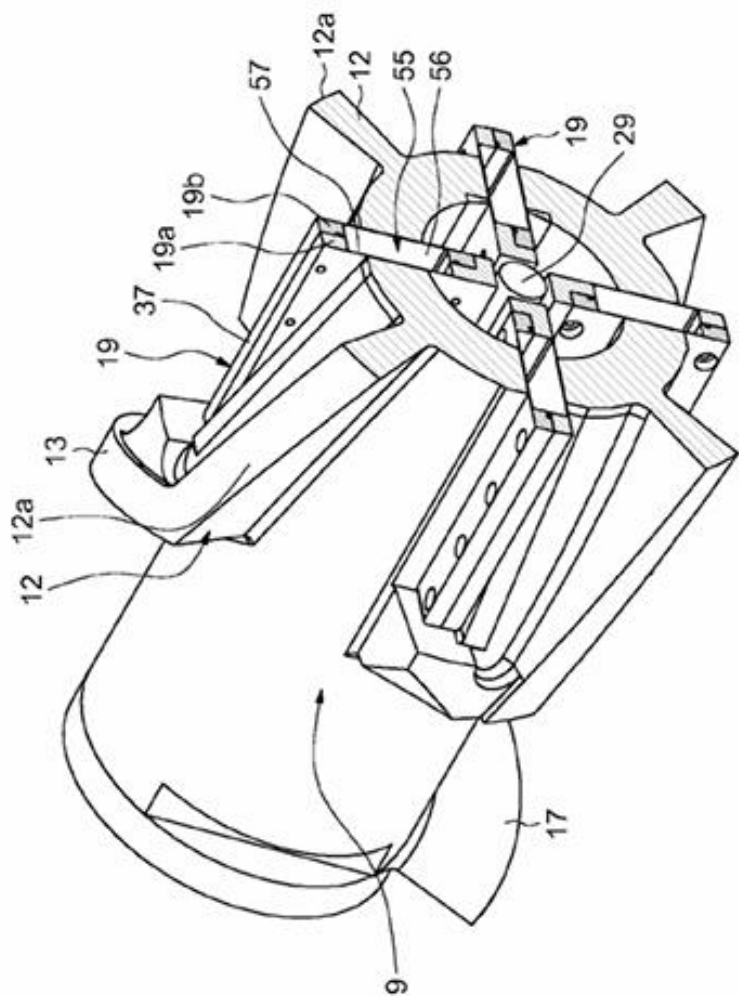


FIG. 8



TORPEDO FOR EXTRUDER

[0001] The present invention relates to the field of extruders, in particular for producing profiled elements via dies.

[0002] Generally, an extruder, for the extrusion of a plastics or rubber material, comprises a longitudinal sheath in which there is arranged a longitudinal screw which can be driven in rotation in order to move the material to be extruded in a downstream direction in the direction of an extrusion die whose channel determines the cross-section of the profiled element to be obtained.

[0003] In particular, in the field of extrusion of a rubber mixture in the form of a profiled element which can subsequently be used for the production of tyres, the extrusion screw is provided, at the downstream end thereof located at the side of the die, with a head, generally referred to as a torpedo, which has at the periphery thereof threads which advance the material and which bring about a mixing or stirring, referred to as working, of the rubber mixture.

[0004] Currently, there corresponds to each rubber mixture which is intended to be extruded a specific torpedo whose configuration is adapted to this mixture in order to obtain the desired working of the mixture. When it is desirable to extrude different rubber mixtures using the same extruder, it is necessary to deposit the torpedo in place in the extruder and to mount in its place the torpedo which is suitable for the new mixture to be extruded. Consequently, it is necessary to have produced and arranged as many different torpedoes as different mixtures which it is desirable to extrude and it is necessary to provide for production downtimes which are required for the disassembly and reassembly of the torpedoes.

[0005] Patents U.S. Pat. Nos. 4,723,847 and 5,071,255 describe extruders in which the screw is provided with a plate which protrudes locally relative to the base of the threads so that the entire protruding portion of the plate is completely embedded in the material to be extruded. In fact, such a plate produces very little mixing effect of the material to be extruded.

[0006] An object of the present invention is to prevent the above disadvantages.

[0007] According to an embodiment, there is proposed a torpedo for an extruder which comprises a longitudinal member which is provided at the periphery thereof with a plurality of thread portions which protrude outwards and which are spaced apart in the circumferential direction, a plurality of sluice blades which are mounted so as to be movable on the longitudinal member and which are partially engaged in apertures (18) of the longitudinal member, the longitudinal member and the sluice blades being provided with complementary radial guiding surfaces which are in contact with each other, and adjustment means for radially displacing the sluice blades relative to the longitudinal member.

[0008] According to the invention, on the one hand, the sluice blades extend over the spaces between the thread portions and, on the other hand, the thread portions and the sluice blades are provided with complementary radial guiding surfaces which are in contact with each other in a sealing manner.

[0009] In this manner, the sluice blades create obstacles which protrude relative to the longitudinal member and which extend over the spaces between the thread portions so that the material to be extruded is obliged to pass the sluice

blades by passing only above the edges of the sluice blades, remote from the longitudinal member.

[0010] The thread portions may comprise protruding portions between which the sluice blades extend.

[0011] The adjustment means may comprise a longitudinal shaft which is rotatably mounted in a longitudinal channel of the longitudinal member, this longitudinal shaft and the sluice blades having complementary surfaces which cooperate in order to radially displace the sluice blades when the longitudinal shaft is displaced.

[0012] The longitudinal shaft may comprise at least one radial plate, one radial face of which is provided with at least one helical groove, the sluice blades comprising a finger which is engaged in this groove.

[0013] The longitudinal member may be provided with an end piece for blocking the longitudinal channel.

[0014] The end piece may have a longitudinal access channel with respect to an end of the longitudinal shaft, the end piece being provided with a stopper for blocking this longitudinal access channel.

[0015] The sluice blades may be mounted on the longitudinal member in a sealing manner.

[0016] Sealing means may be provided between the sluice blades and the longitudinal member.

[0017] The sluice blades may comprise deformable portions which are pressed in a sealing manner against surfaces of the longitudinal member.

[0018] The sluice blades may extend longitudinally and the thread portions extend in a helical manner.

[0019] There is also proposed an extruder which comprises a sheath which has a longitudinal channel and which comprises a rotating longitudinal assembly which comprises a screw and the torpedo, which is mounted at a downstream end of the screw, the thread portions of the torpedo having outer edges which are adjacent to the wall of the longitudinal channel of the sheath and reduced flow spaces being provided between outer edges of the sluice blades and the wall of the longitudinal channel of the sheath.

[0020] A torpedo and an extruder which is provided with such a torpedo will now be described by way of non-limiting example, wherein they are illustrated by the appended drawings, in which:

[0021] FIG. 1 is a partial longitudinal section of an extruder, provided with a torpedo;

[0022] FIG. 2 is a perspective outer view of the torpedo of FIG. 1;

[0023] FIG. 3 is a perspective partial radial section of the torpedo of FIG. 2;

[0024] FIG. 4 is a perspective longitudinal section of the torpedo of FIG. 2;

[0025] FIG. 5 is a radial cross-section along V-V of the extruder of FIG. 1;

[0026] FIG. 6 is a perspective partial radial section of a construction variant of the torpedo of FIG. 2;

[0027] FIG. 7 is a perspective longitudinal section of the torpedo of FIG. 6; and

[0028] FIG. 8 is a perspective partial radial section of a construction variant of the torpedo of FIG. 2.

[0029] FIG. 1 partially illustrates an extruder 2 which comprises a longitudinal sheath 2 which has a channel 3 which has a longitudinal axis which is, for example, cylindrical, and which extends in a downstream direction. A

rotating longitudinal assembly 4 is installed in this longitudinal channel 3 for driving a material to be extruded in a downstream direction.

[0030] The extruder 1 comprises a geared motor (not illustrated) for driving the rotating longitudinal assembly 4, placed upstream, an extrusion die (not illustrated) placed downstream of the torpedo 6 and means (not illustrated) for introducing the material to be extruded into the longitudinal channel 3.

[0031] The rotating longitudinal assembly 4 comprises an upstream longitudinal screw 5 and a downstream longitudinal torpedo 6 whose upstream end is mounted on the downstream end of the screw 5 via fixing means (not illustrated). The screw 5 extends over an upstream portion 3a of the longitudinal channel 3 and the torpedo 6 extends over a downstream portion 3b of the longitudinal channel 3.

[0032] The screw 5 comprises a longitudinal member 7 which is, for example, cylindrical, and which is remote from the wall of the longitudinal channel 3 and provided with a helical outer thread 8. The periphery of the outer thread 8 of the longitudinal screw 5 is adjacent to the wall of the longitudinal channel 3, in sliding contact or with a small radial play between the periphery of the outer thread 8 and the wall of the longitudinal channel 3.

[0033] As illustrated in FIGS. 2 to 4, a torpedo 6 comprises a longitudinal member 9 which is remote from the wall of the longitudinal channel 3 and the peripheral surface 10 of which is in the extension of the peripheral surface of the body 7 of the screw 5 and which has an inner longitudinal passage 11 which is, for example, cylindrical.

[0034] The longitudinal member 9 of the torpedo 6 is provided with thread portions 12 which protrude outwards and which are spaced apart in the peripheral direction, providing between them spaces for the material to be extruded to flow. For example, as illustrated, the thread portions 12 extend in a helical manner in order to drive and guide the material to be extruded, over a downstream portion of the longitudinal member 9, and are equally spaced apart from each other and total four in number.

[0035] The helix angle of the thread portions 12 is less than the helix angle of the thread 8 of the screw 5.

[0036] The longitudinal member 9 of the torpedo 6 is further provided with upstream outer local portions 13 and downstream outer local portions 14 which protrude outwards.

[0037] The upstream and downstream local portions 13 and 14 extend in the peripheral direction and in the reverse direction, respectively, the upstream and downstream ends of the thread portions 12, without reaching the portions of adjacent threads.

[0038] The upstream local portion 13 attached to each thread portion 12 is, longitudinally, spaced apart and faces the downstream local portion 14 which is attached to the adjacent thread portion 12.

[0039] In this manner, longitudinal upstream spaces remain between the upstream portion of each thread portion 12 and the upstream local portion 13 attached to the adjacent thread portion 12, respectively, and downstream longitudinal spaces 16 remain between the downstream portion of each thread portion 12 and the downstream local portion 14 attached to the adjacent thread portion 12, respectively, the upstream and downstream longitudinal spaces 15 and 16 communicate with the corresponding spaces which separate the thread portions 12.

[0040] The periphery of the thread portions 12 and upstream and downstream local portions 13 and 14 is adjacent to the wall of the downstream portion 3a of the longitudinal channel 3, in sliding contact or with slight radial play between them.

[0041] The longitudinal member 9 of the torpedo 6 is provided on the upstream portion thereof with a protruding intermediate thread portion 17 which extends in an upstream direction one of the upstream local portions 13 and which, for example, joins the downstream end of the thread 8 of the screw 5.

[0042] The intermediate thread portion 17 has the same helix angle as the thread 8. The periphery of the intermediate thread portion 17 is adjacent to the wall of the downstream portion 3a of the longitudinal channel 3, in sliding contact or with slight radial play between them.

[0043] The longitudinal member 9 of the torpedo 6 has longitudinal apertures 18, which are optionally completely through-holes and which open radially at the outer side at the side of the peripheral surface 10 and at the inner side at the side of the inner longitudinal passage 11 and which extend in the zones located between the thread portions 12 and between the upstream local portions 13 and downstream local portions 14, respectively.

[0044] The torpedo 6 comprises longitudinal sluice blades 19 which extend through the spaces between the thread portions 12, respectively.

[0045] The longitudinal sluice blades 19 are partially engaged in the longitudinal apertures 18 from the outer side to the inner side.

[0046] The longitudinal sluice blades 19 have an inner portion which is engaged in the longitudinal apertures 18 of the longitudinal member 9 and an outer portion which extends inwards, respectively, protruding relative to the peripheral surface 10 of the longitudinal member 9, and which extend through the spaces between the thread portions 12. According to the example described, the outer portions of the longitudinal sluice blades 19 extend between the upstream and downstream local portions 13 and 14.

[0047] The longitudinal sluice blades 19 can be moved radially relative to the longitudinal member 9, the longitudinal member 9 and the longitudinal sluice blades 19 being provided with complementary radial guiding surfaces which are in contact with each other. The sluice blades 19 extend through the spaces between the thread portions 12, respectively. The thread portions 12 and the sluice blades 19 are provided with complementary surfaces for radial guiding which are in contact with each other. The complementary radial guiding surfaces are capable of sliding on each other in a sealing manner.

[0048] According to a specific arrangement, on the one hand, the longitudinal sluice blades 19 have opposing parallel longitudinal faces 20 and 21 which are capable of sliding against opposing parallel longitudinal faces 22 and 23 which longitudinally delimit the longitudinal apertures 18 and, on the other hand, the longitudinal sluice blades 19 have opposing radial end faces 24 and 25 which are capable of sliding against opposing radial faces 26 and 27 of the corresponding upstream and downstream local portions 13 and 14.

[0049] The torpedo 6 comprises means 28 for adjusting the radial position of the longitudinal sluice blades 19 relative to the longitudinal member 9.

[0050] The adjustment means 28 comprise a longitudinal rotating adjustment shaft 29 which extends axially in the longitudinal passage 11 of the longitudinal member 9 and which comprises a radial upstream plate 30 and a radial downstream plate 31 which are spaced apart longitudinally and between which the inner portions of the longitudinal sluice blades 19 extend, the inner longitudinal edges 32 of the longitudinal sluice blades 19 being located opposite and remote from the rotating longitudinal shaft 29.

[0051] The opposing radial faces of the radial plates 30 and 31 are provided with grooves 33 and 34 which extend in the form of helixes (FIG. 5) and which are formed facing each other. At the longitudinal ends thereof, the longitudinal sluice blades 19 are provided with longitudinal fingers 35 and 36 which are engaged in the helical grooves 33 and 34, respectively.

[0052] The longitudinal fingers 35 and 36 are radially offset, respectively, so that the outer longitudinal edges 37 of the longitudinal sluice blades 19 are located opposite and at the same distance from the wall of the portion 3b of the longitudinal channel 3 of the longitudinal sheath 2.

[0053] The angular position of the rotating longitudinal shaft 29 relative to the longitudinal member 9 determines the radial position of the longitudinal sluice blades 19.

[0054] The torpedo 6 comprises a downstream end piece 38 in the form of an ogive, for blocking the longitudinal channel 11, whose radial face is against the radial downstream face of the longitudinal member 9. The downstream end piece 38 is fixed to the longitudinal member 9, for example, by means of screws (not illustrated) and has a longitudinal through-channel 39.

[0055] The longitudinal shaft 29 is mounted in the following manner.

[0056] An upstream portion 29a of the longitudinal shaft 29, located upstream of the upstream plate 30, is rotatably mounted in a portion 40 of the longitudinal member 9, protruding inwards relative to the longitudinal channel 11.

[0057] An upstream portion 29b of the longitudinal shaft 29, located downstream of the downstream plate 31, is rotatably mounted in a portion 41 of the downstream end piece 38, protruding inwards relative to the longitudinal channel 39.

[0058] The shaft is retained longitudinally by the fact that an upstream radial face of the upstream plate 30 is adjacent to a radial downstream face of the portion 40 of the longitudinal member 9 and a downstream radial face of the downstream plate 31 is adjacent to an upstream radial face of the portion 41 of the downstream end piece 38.

[0059] The downstream end of the downstream portion 29a of the longitudinal shaft 29 is provided with a head 42, for example, with a square or hexagonal cross-section which is capable of axially receiving a tool for driving in rotation (not illustrated), for example, a simple wrench.

[0060] The downstream end portion 38 is provided with a stopper 43 for blocking the longitudinal channel 39, located downstream of the head 42 of the longitudinal shaft 29.

[0061] The torpedo 6 may be assembled in the following manner.

[0062] There are provided separately the longitudinal member 9, the sluice blades 19, the longitudinal shaft 29, the downstream end piece 38 and the stopper 43.

[0063] The longitudinal shaft 29 is engaged in an upstream direction in the longitudinal channel 11 of the longitudinal

member 9 until the end 29a is engaged in the portion 40 and the upstream plate is in abutment with the portion 40 of the longitudinal member 9.

[0064] The downstream end piece 38 is mounted by engaging the downstream portion 29b of the longitudinal shaft 29 through the portion 41 of the downstream end piece 38.

[0065] The longitudinal sluice blades 19 are radially engaged from the outer side to the inner side in the corresponding longitudinal apertures 18.

[0066] Using a tool in engagement with the head 42, the longitudinal shaft 29 is rotated in order to engage the fingers 35 and 36 of the longitudinal sluice blades 19, successively in the outer inlets of the helical grooves 33 and 34 then to bring about the movement of the longitudinal sluice blades 19 from the outer side to the inner side, at least until the longitudinal sluice blades 19 are introduced between the upstream and downstream local portions 13 and 14 of the thread portions 12 of the longitudinal member 9.

[0067] The stopper 43 is mounted on the downstream end piece 38.

[0068] Then, the torpedo 6 and the screw 5 are coupled and the rotating assembly 4 is installed in the longitudinal channel 3 of the sheath 2 of the extruder 1.

[0069] The outer edges 12a of the thread portions and optionally the outer edges of the upstream and downstream local portions 13 and 14 are adjacent to the wall of the longitudinal channel 3 of the sheath 2.

[0070] Other portions of the extruder 1 are mounted, in particular a die downstream of the torpedo 6, so that the extruder 1 is operational.

[0071] The extruder 1 may function in the following manner.

[0072] The longitudinal sluice blades 19 are adjusted radially so that the distance between the outer longitudinal edges 37 of these sluice blades 19 and the wall of the downstream portion 3b of the longitudinal channel 3 of the sheath 2 establishes reduced flow spaces 44 (FIGS. 1 and 5) less than the spaces which are provided between the thread portions 12 and between the body 9 and the wall of the downstream portion 3b of the longitudinal channel 3 of the sheath 2.

[0073] During use of the extruder 1 provided with the rotating assembly 4, the material to be extruded is guided and flows between the thread portions 12, from the upstream flow space 15 and as far as the downstream flow space 16.

[0074] During this flow, the material to be extruded encounters the longitudinal sluice blades 19 and is forced to pass the longitudinal sluice blades 19 and to flow only through the reduced flow spaces 44. This flow brings about a working of the material to be extruded. The radial adjustment position of the longitudinal sluice blades 19 is determined by the working which it is desirable to apply to the material to be extruded.

[0075] During assembly of the torpedo 6, as described above, it is possible to have preadjusted the radial position of the longitudinal sluice blades 19 so that the reduced flow spaces 44 are adapted for the working which it is desirable to apply to the first material to be extruded.

[0076] If it is desirable to apply a different working to the material currently to be extruded or if it is desirable to use the extruder 1 to extrude a different material, on which it is

desirable to apply a different working, it is possible to carry out a different adjustment of the longitudinal sluice blades 19 in the following manner.

[0077] A reduced portion of the extruder 1 which is located downstream is disassembled in order to have access at the front to the rotating assembly 4, which remains in place.

[0078] The stopper 43 is disassembled in order to have access to the downstream end 42 of the longitudinal shaft 29 in the longitudinal channel 39 of the end piece 38.

[0079] A tool is coupled to the downstream head 42 of the rotating longitudinal shaft 29.

[0080] The rotating longitudinal shaft 29 is rotated in one direction or the other.

[0081] In doing this, the helical ribs 33a and 34a which separate the helical grooves 33 and 34 of the plates 30 and 31 of the rotating longitudinal shaft 29 act on the fingers 35 and 36 of the longitudinal sluice blades 19 and bring about the radial movement from the inner side towards the outer side or from the outer side towards the inner side of the longitudinal sluice blades 19, thus bringing about a movement together or movement apart of the outer edges 37 of the longitudinal sluice blades 19 relative to the wall of the portion 3b of the longitudinal channel 3 of the sheath 2, which brings about a decrease or an increase of the cross-sections of the reduced flow spaces 44.

[0082] The new radial adjustment position of the longitudinal sluice blades 19 relative to the wall of the portion 3b of the longitudinal channel 3 of the sheath 2 is reached when the rotating longitudinal shaft 29 has reached a new angular position relative to the longitudinal member 9.

[0083] The new adjustment being complete, the stopper 43 is placed back onto the end piece 38 and the portions of the extruder 1 which were previously disassembled are repositioned.

[0084] As a result of their arrangements, the radial adjustment forces of the sluice blades 9 are reduced.

[0085] The extruder 1 can then be used with this new adjustment of the longitudinal sluice blades 19.

[0086] In order to prevent the material to be extruded from penetrating inside the torpedo 6, it is advantageous to provide means for ensuring sealing between the longitudinal sluice blades 19 and the longitudinal member 9.

[0087] According to an example illustrated in FIGS. 2 to 4, sealing means comprise longitudinal sealing joints 45 and 46 which are carried by the longitudinal member 9 and which move into abutment with the faces 20 and 21 of the longitudinal sluice blades 19, over the entire length thereof.

[0088] The sealing joints 45 and 46 may have deformable portions, such as lips, which are subjected to the pressure of the material to be extruded in the direction of their abutment against the opposing faces 20 and 21 of the longitudinal sluice blades 19.

[0089] The sealing joints 45 and 46 may be metal.

[0090] According to another example illustrated in FIG. 6, sealing means comprise longitudinal trim plates 47 and 48, for example of composite material, which are inserted in recesses 49 and 50 of the longitudinal member 9 and which are in abutment against the opposing faces 20 and 21 of the longitudinal sluice blades 19.

[0091] A longitudinal corner 51 may be inserted between the trim plate 47 and a wall of the recess 49, this longitudinal corner 51 being retained by adjustment screws 52 which enable the abutment pressures of the longitudinal trim plates

47 and 48 against the opposing faces 20 and 21 of the longitudinal sluice blades 19 to be adjusted.

[0092] According to another example illustrated in FIGS. 6 and 7, sealing means comprise radial trim plates 53 and 54, for example of composite material, which are inserted between the upstream and downstream radial ends of the longitudinal sluice blades 19 and the upstream and downstream local portions 13 and 14.

[0093] According to another example illustrated in FIG. 8, the longitudinal sluice blades 19 comprise two adhesively bonded portions 19a and 19b which provide between them a longitudinal chamber 55 which is delimited laterally by deformable longitudinal walls 56 and 57. The deformable longitudinal walls 56 and 57 are pressed against the opposing faces of the apertures 18 under the action of the pressure in the chambers 55, this pressing action ensuring the sealing.

[0094] The torpedo 6 has been described taking into consideration the fact that the sluice blades 19 extend longitudinally and that the thread portions 12 extend in a helical manner. Nonetheless, different arrangements could be adopted.

[0095] The ends 24 and 25 of the sluice blades 19 could be adjacent to local portions 13 and 14 which are located remote from the upstream and downstream ends of the thread portions 12.

[0096] The sluice blades 19 could extend in planes which are inclined relative to the longitudinal axis of the longitudinal member 9, the apertures 18 being produced as a result.

[0097] The sluice blades 19 could extend in radial planes. In this case in particular, the sluice blades 19 could be offset longitudinally. The outer edges 37 of the sluice blades 19 could, for example, be in the form of circular arcs, of the same diameter as the corresponding portions of the channel 3 of the sheath 2 in order to provide flow spaces 44 of constant thicknesses. The longitudinal adjustment shaft 29 could comprise pairs of grooved radial plates 30 and 31 which are coupled to the sluice blades 19, respectively.

[0098] The thread portions 12 could extend longitudinally.

1.-11. (canceled)

12. A torpedo for an extruder, the torpedo comprising:

a longitudinal member which is provided at a periphery thereof with a plurality of thread portions which protrude outward and which are spaced apart in a circumferential direction;

a plurality of sluice blades which are mounted so as to be movable on the longitudinal member and which are partially engaged in apertures of the longitudinal member, the longitudinal member and the sluice blades being provided with complementary radial guiding surfaces which are in contact with each other; and adjustment means for radially displacing the sluice blades relative to the longitudinal member,

wherein the sluice blades extend through spaces between the thread portions, respectively, and

wherein the thread portions and the sluice blades are provided with complementary radial guiding surfaces which are in contact with each other.

13. The torpedo according to claim 12, wherein the thread portions comprise protruding portions between which the sluice blades extend.

14. The torpedo according to claim 12, wherein the adjustment means comprise a longitudinal shaft which is rotatably mounted in a longitudinal channel of the longitudinal member, the longitudinal shaft and the sluice blades

having complementary surfaces which cooperate in order to radially displace the sluice blades when the longitudinal shaft is displaced.

15. The torpedo according to claim **14**, wherein the longitudinal shaft comprises at least one radial plate, one radial face of which is provided with at least one helical groove, the sluice blades comprising a finger which is engaged in the at least one helical groove.

16. The torpedo according to claim **14**, wherein the longitudinal member is provided with an end piece for blocking the longitudinal channel.

17. The torpedo according to claim **16**, wherein the end piece has a longitudinal access channel with respect to an end of the longitudinal shaft, the end piece being provided with a stopper for blocking the longitudinal access channel.

18. The torpedo according to claim **12**, wherein the sluice blades are mounted on the longitudinal member in a sealing manner.

19. The torpedo according to claim **12** further comprising sealing means between the sluice blades and the longitudinal member.

20. The torpedo according to claim **12**, wherein the sluice blades comprise deformable portions which are pressed in a sealing manner against surfaces of the longitudinal member.

21. The torpedo according to claim **12**, wherein the sluice blades extend longitudinally and the thread portions extend in a helical manner.

22. An extruder comprising a sheath which has a longitudinal channel and a rotating longitudinal assembly comprising a screw and the torpedo according to claim **12** mounted at a downstream end of the screw, the thread portions of the torpedo having outer edges which are adjacent to the wall of the longitudinal channel of the sheath and reduced flow spaces being provided between outer edges of the sluice blades and the wall of the longitudinal channel of the sheath.

* * * * *

ДОДАТОК Г

Перв. примен.	Формат	Зона	Паз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
Спроб. №					<u>Документація</u>		
				ЛП4 1мп.097526.01-70	Пояснювальна записка		A4
					<u>Креслення</u>		
				ЛП4 1мп.097523.00-70B3	Екструдер	1	A3
				ЛП4 1мп.097525.01-70ТС	Трубна лінія	1	A3
				ЛП4 1мп.097522.02-70	Черв'як	1	A3
				ЛП4 1мп.097522.04-70СК	Торпеда	1	A3
					<u>Специфікації</u>		
				ЛП4 1мп.097523.01-70	Екструдер		
Подп. и дата							
Взам. инв. №							
Подп. и дата							
Инв. № подл.	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЛП4 1мп.097523.000.70	
	Разраб.	Кодернюк				Лінія для виробництва труб з модернізацією екструдера	
Инв. № подл.	Проб.					Лит.	Лист
	Керівник						1
Инв. № подл.	Н.контр.					НТУУ "КПІ" ФАПІЕ	
	Утв.						

Копировал

Формат A4

Формат		Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
Перв. примен.							
					<u>Документація</u>		
				ЛП41мп.097523.00.70ВЗ	Загальний вид		A1
Справ. №					<u>Складальні одиниці</u>		
		1		ЛП41мп.097523.00.01-70	Рама	1	
		2		ЛП41мп.097523.00.02-70	Кожух корпусу	1	
		3		ЛП41мп.097523.00.03-70	Бункер	1	
		4		ЛП41мп.097523.00.04-70	Загрузочна воронка	1	
		5		ЛП41мп.097523.00.05-70	Корпус	1	
		6		ЛП41мп.097523.00.06-70	Опорна плита	1	
					<u>Деталі</u>		
Подп. и дата				9	ЛП41мп.097523.00.09-70	Несуча плита	1
				10	ЛП41мп.097523.03.07-70	Модернізований черв'як	1
Инв. № дубл.							
Взам. инв. №							
Подп. и дата					<u>Стандартні вироби</u>		
Инв. № подл.				6	Фундаментний болт	6	
					M16x200		
Инв. № подл.					ЛП41мп.097523.001.70		
	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
	Разраб.		Кобернюк			Лит.	Лист
	Проб.						1
	Керівник						2
	Н.контр.					НТУУ "КПІ" ФАПІЕ	
	Утв.						
					Екструдер		

Копировал

Формат А4

форм	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
		14		БолтМ6х16 ГОСТ7798-70	8	
		15		БолтМ10х25 ГОСТ7798-70	10	
		16		БолтМ16х6dх90 ГОСТ 7798-70	6	
		17		БолтМ16х40 ГОСТ7798-70	6	
		18		БолтМ10х70 ГОСТ 7798-70	6	
		19		БолтМ24х70 ГОСТ7798-70	4	
		20		Гайка М16.6.06	6	
		21		Гайка М20.6.06	6	
		22		Гайка М30.6.06	6	
		23		Винт М4-8dх10 ГОСТ 1791-80	6	
		24		Шайба 6.65Г.05	8	
		25		Шайба 16.65Г.05	6	
		26		Шайба 20.65Г.05	14	
		27		Шайба 24.65Г.05	4	
		28		Шайба 30.65Г.05	6	
				<u>Інші вироби</u>		
		9		Редуктор		
		30		Двигун		
		31		Клинопасова передача		
		32		Вентилятор		
		33		Нагрівач		
		34		Розвід проводів		
Зм.	Арк.	№ докум.	Пішис	Дата	ЛП4 1мп.097523.001.70	
					Лист	
					2	