

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

До захисту допущено

Завідувач кафедри

_____ О.Л.Сокольский

« _____ » _____ 2024р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

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

зі спеціальності 133 – *галузеве машинобудування*

на тему: Лінія для виробництва труб з модернізацією черв'яка екструдера

Студент групи IV к. ЛП-01

(шифр групи)

Резник Олексій Олегович

(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Керівник проекту: PhD, каф. ХПСМ, Олексішен В.О.

_____ (вчена ступінь, звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Консультанти з питань

МОДЕРНІЗАЦІЇ _____

Щербина В.Ю.

ТЕХ. МАШ. _____

Борщик С.О.

ОХОРОНА ПРАЦІ _____

Ковтун А.І.

РЕЦЕНЗЕНТ _____

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

Студент (-ка) _____

Київ 2024 рік

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Інженерно-хімічний факультет

Кафедра хімічного, полімерного і силікатного машинобудування

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 133 *Галузеве машинобудування*

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ **О.Л.Сокольский**

«__» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Резнику Олексію Олеговичу

1. Тема проекту «Лінія для виробництва труб з модернізацією черв'яка екструдера», керівник проекту Олексішен В.О., PhD, затверджені наказом по університету від «17. 05» 2024 р. № 1993-с.

2. Термін подання студентом проекту 15.06.2024р.

3. Вихідні дані до проекту
одночерв'ячний екструдер, діаметр $D=90$ мм, відношення довжини робочої частини до його діаметра $L/D=25$, загальна довжина черв'яка 2445мм,

4. Зміст пояснювальної записки

Вступ. 1. Призначення і галузь застосування екструдера. 2. Технічні характеристики екструдера. 3. Опис базової конструкції, її основних частин та принципу дії екструдера. 4. Літературний та патентний огляд стану питання, обґрунтування запропонованої модернізації черв'яка. 5. Розрахунки, 6 Розрахунки модернізації у програмі ANSYS. 7.Охорона праці. 8. Технологія машинобудування. Висновки. Література. Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу

1. Лінія для виготовлення труб з модернізацією черв'яка (A1)
2. Екструдер (A1)
3. Модернізований черв'як (A1)
4. Деталювання (A1): Корпус (A2), Фланець (A3), Гільза (A3)
5. Плакат виконання 3D-моделі для числового розрахунку (A1)
6. Плакат результатів моделювання модернізованої конструкції (A1)

6. Консультанти розділів проекту

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

7. Дата видачі завдання 17.05.2024

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Вступ. Призначення та галузь застосування екструдера.	17.05.2024-17.05.24	
2	Технічні характеристики та опис базової конструкції.	18.05.2024-18.05.24	
3	Креслення загального виду машини та лінії її використання	20.05.2024-20.05.24	
4	Виконання розділу «Охорона праці»	24.05.2024-24.05.24	
5	Узгодження деталі по розділу «Технологія машинобудування»	25.05.2024-27.05.24	
6	Розробка МК, КЕ та ОК по розділу «Технологія машинобудування»	29.05.2024-31.05.24	
7	Розрахунки параметричні, теплові та на міцність	1.06.2024-03.06.24	
8	Висновки. Література. Оформлення додатків	03.06.2024-03.06.24	
9	Здача дипломного проекту на перевірку	15.06.2024-15.06.24	

Студент

Керівник проекту

О.О. Резник

В.О. Олексішен

РЕФЕРАТ

Дипломний проект бакалавра на тему: «Лінія для виробництва труб з модернізацією черв'яка екструдера». Виконавець – студ. групи ЛП-01 Резник О.О., керівник - PhD, Олексішен В.О.

Дипломний проект (ДП) містить текстові та графічні компоненти. У текстовій частині є шість розділів, використана література, додатки та загальні висновки. Загальний обсяг – 76 с., 22 іл., 2 табл., 15 джерел посилань. Графічна частина містить 8 аркушів (3 креслень формату А1, 1 креслення А2, 2 креслення А3 і 2 плакати А1 з результатами розрахунків).

Об'єкт розробки – одночерв'ячний екструдер з модернізацією черв'яка. В роботі розглянуто черв'як та технологічна лінія виробництва труб, в якій він застосовується. Представлені технічні характеристики екструдера.

Проведені параметричні, теплові та розрахунки на міцність, стійкість, жорсткість черв'яка, що підтверджує працездатність та надійність деталі.

У проєкті виконано літературно-патентний огляд черв'яків з подальшою метою для обирання одного з наведених патентів.

Було розроблено заходи з охорони праці щодо забезпечення безпечних умов роботи на черв'ячному екструдері. Також був виконаний розділ з технології машинобудування, були розроблені технології виготовлення заготовки, деталі.

Також, у бакалаврському дипломному проєкті виконані розділи з охорони праці, механіко-очікуваних показників та технології машинобудування, в якому надані рекомендації щодо монтажу та експлуатації пристрою до виготовлення кришки підшипника.

Була виконано доповідь на міжнародній конференції та опубліковано тезу доповіді за темою дипломного проєкту.

Ключові слова: ЧЕРВ'ЯК, ТРУБИ, ПАТЕНТИ, РОЗРАХУНКИ, НАДІЙНІСТЬ, РОЗРАХУНКИ МОДЕРНІЗАЦІЇ

ABSTRACT

Bachelor's diploma project on the topic: "Line for the production of pipes with modernization of the extruder worm". The performer is a student. group LP-01 Reznyk O.O., head - PhD, Oleksyshen V.O.

Diploma project (DP) contains textual and graphic components. The text part has six chapters, references, appendices and general conclusions. The total volume is 76 pages, 22 illustrations, 2 tables, 15 reference sources. The graphic part contains 8 drawings (3 drawings in A1, 1 drawing in A2 format, 2 drawing in A3 format and 2 posters in A1 with calculation results).

The object of development is a single-worm extruder with worm modernization.

The project examines the worm and the pipe production line in which it is used. The technical characteristics of the extruder are presented.

Parametric, thermal and calculations on the strength, stability, rigidity of the worm were carried out, which confirms the workability and reliability of the part.

The project carried out a literature and patent review of worms with the further goal of choosing one of the listed patents.

Labor protection measures were developed to ensure safe working conditions at the worm extruder. A section on mechanical engineering technology was also completed, workpiece manufacturing technologies and parts were developed.

Also, in the bachelor's diploma project, sections on labor protection, mechanical-expected indicators and machine-building technology were completed, in which recommendations were provided for the installation and operation of the device for the manufacture of the bearing cover.

A report was made at an international conference and the thesis of the report was published on the topic of the diploma project.

Keywords: WORM, PIPES, PATENTS, CALCULATIONS, RELIABILITY, MODERNIZATION CALCULATIONS

ПЕРЕЛІК ПОЗНАЧЕНЬ

D – діаметр черв'яка, мм;

L/D – відношення робочої довжини черв'яка до діаметра;

n – кількість обертів черв'яка за секунду, об/хв;

L – загальна довжина черв'яка, мм;

Q – тепловий потік, Вт;

T – температура, К;

t – температура, °С;

H, h – висота, м;

N – потужність, Вт;

F – площа поперечного перерізу, м²;

v – Швидкість течії води, м/с;

α – коеф. теплопередачі, кВт/(м² · К);

P – тиск у циліндрі, мПа;

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

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

φ – кут підйому гвинтової нарізки черв'яка, град;

e – ширина гребеня витка;

δ – величина зазору між гребенем черв'яка та циліндром;

ЗМІСТ

ВСТУП	
1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ГАЛУЗЬ ЗАСТОСУВАННЯ ВИРОБУ, ЯКИЙ ПРОЕКТУЄТЬСЯ.....	4
2 ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА БАЗОВОЇ МАШИНИ.....	6
3 ОПИС БАЗОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ, ЇЇ ОСНОВНИХ ЧАСТИН ТА ПРИНЦИПУ ДІЇ	7
4 ЛІТЕРАТУРНО-ПАТЕНТНИЙ ОГЛЯД З ВИБОРУ ВАРІАНТА.....	10
4.1 Літературно-патентний огляд варіантів модернізації черв'яка екструдера	10
4.2 Обґрунтування запропонованої модернізації	15
5 РОЗРАХУНКИ.....	17
5.1 Параметричні розрахунки	17
5.1.1 Розрахунок геометрії черв'яка і частоти його обертання	17
5.1.2 Розрахунок коефіцієнта геометричної форми екструзійної головки	20
5.1.3 Розрахунок продуктивності черв'ячної машини	23
5.1.4 Розрахунок перепаду тиску в екструзійній головці	27
5.1.5 Потужність привода екструдера.....	29
5.2 Розрахунок черв'яка на міцність	32
5.2.1 Розрахунок на міцність.....	32
5.2.2 Розрахунок на стійкість.....	35

					ЛП01.117243.001-70ПЗ			
Зм..	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб..		Резник О.О.			Лінія для виробництва труб з модернізацією черв'яка екструдера	Літ..	Аркуш	Аркушів
Перев.		Олексишен В.О.					1	
						КПІ ім. Ігоря Сікорського		
Н. Контр.								
Затверд..		Сокольський О.Л						

5.2.3 Розрахунок на жорсткість	36
5.2.4 Розрахунок шліцевого з'єднання	38
5.3 Тепловий розрахунок екструдера.....	39
6 РОЗРАХУНОК МОДЕРНІЗАЦІЇ.....	42
6.1 3D-моделювання модернізованого черв'яка та його.....	
подальший розрахунок в системі ANSYS	42
7 ОХОРОНА ПРАЦІ	46
7.1 Повітря робочої зони	46
7.2 Виробничий шум.....	47
7.3 Пожежна небезпека.....	48
7.4 Освітлення на виробництві	49
7.5 Небезпека впливу елементів нагрітих до високих температур	49
7.6 Висновки до розділу	50
8 ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ	51
8.1 Технологія виготовлення деталі	51
8.1.1 Опис та призначення деталі.....	51
8.1.2 Вибір та розрахунок пристосування	52
8.1.3 Технологічний процес виготовлення деталі	52
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	
ДОДАТКИ.....	

ВСТУП

Основною метою дипломного проектування є вивчення та аналіз існуючих технологічних процесів виробництва труб, зокрема, функціонування екструзійного обладнання. Завданням дипломного проекту є розробка та впровадження модернізації черв'яка екструдера з метою підвищення його продуктивності та покращення якості продукції.

Актуальність теми визначається постійним зростанням попиту на полімерні труби в різних галузях промисловості, будівництва та сільського господарства. Екструдери, які використовуються для виробництва труб, є ключовими компонентами технологічних ліній, тому їхня модернізація безпосередньо впливає на ефективність всього виробничого процесу. Підвищення продуктивності та якості вироблених труб є важливими факторами для зниження виробничих витрат і збільшення конкурентоспроможності продукції на ринку.

Машини для виробництва труб знаходять широке застосування у таких галузях, як водопостачання та водовідведення, газопостачання, прокладка кабелів, а також в аграрному секторі для зрошувальних систем. Модернізація черв'яка екструдера сприятиме вдосконаленню технологічних процесів, що, в свою чергу, забезпечить високу якість кінцевої продукції та стабільність її експлуатаційних характеристик.

1 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЛІНІЇ ВИРОБНИЦТВА ТРУБ

Технологічна лінія виробництва труб складається з кількох послідовних етапів, які забезпечують безперервний процес виготовлення полімерних труб високої якості [1]. Основні елементи та їх функції наведено на рис 1.1.

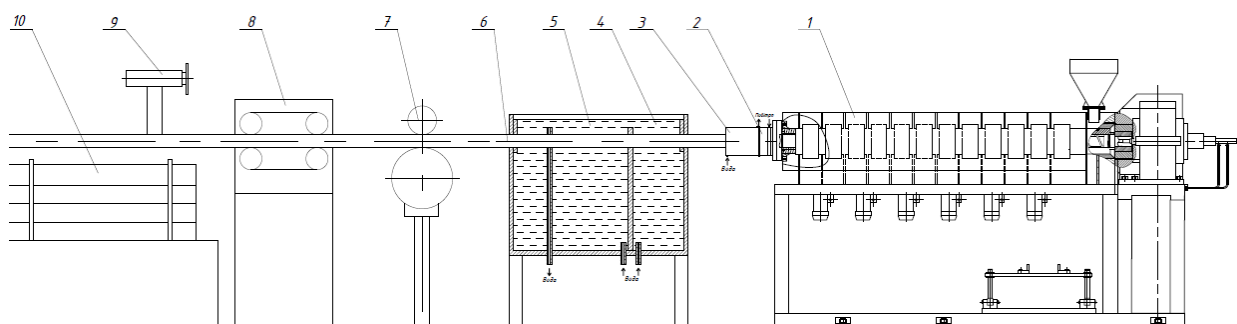


Рисунок 1.1 – Технологічна лінія виробництва труб:

1 – екструдер; 2 – готовка екструзійна; 3 – калібруюча насадка; 4,5 – зони охолодження; 6 – труба; 7 – вимірювально-маркуруючий пристрій; 8 – тягнучий пристрій; 9 – відрізаний або намотувальний пристрій; 10 – приймальний стіл;

Процес починається з подачі полімерного матеріалу в екструдер 1, де він нагрівається і плавиться. Екструдер 1 забезпечує рівномірне плавлення матеріалу та його подачу під тиском до екструзійної головки 2. Після плавлення в екструдері, матеріал проходить через екструзійну головку 2, яка формує первинну трубну заготовку, визначаючи діаметр і початкову форму труби.

Далі трубна заготовка проходить через калібруючу насадку 3, де її діаметр і товщина стінок точно калібруються відповідно до заданих параметрів. Це забезпечує необхідні розміри та точність виготовлення труби. Після калібрування, труба потрапляє в зони охолодження 4, 5, де вона поступово охолоджується водою для стабілізації її форми і структури.

Після охолодження, готова труба 6 надходить до вимірювально-маркіруючого пристрою 7. Цей пристрій перевіряє параметри труби, такі як діаметр і товщина стінок, а також наносить маркування, яке містить інформацію про виробника, розміри та інші необхідні дані. Далі труба потрапляє до тягнучого пристрою 8, який забезпечує рівномірне переміщення труби по лінії, підтримуючи необхідну швидкість і напругу.

Завершальним етапом є обробка труби за допомогою відрізного або намотувального пристрою 9, який відрізає трубу на необхідну довжину або змотує її у бухти, залежно від вимог замовника. Готові труби збираються на приймальному столі 10 для подальшого пакування та відправлення споживачам.

Таким чином, технологічна лінія виробництва труб забезпечує високоефективний процес виготовлення полімерних труб, починаючи від плавлення сировини і закінчуючи маркуванням та упаковкою готової продукції. Кожен етап є важливою складовою, що впливає на якість та характеристики кінцевого продукту [2].

2 ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА БАЗОВОЇ МАШИНИ

Таблиця 2.1 – Технічна характеристика базової машини

Зазор між черв'яком і гільзою	0,22 мм
Діаметр черв'яка	90 мм
Відношення робочої довжини черв'яка до діаметру	25
Довжина черв'яка	2445 мм
Робоча частота обертання черв'яка	$0,82 \text{ c}^{-1}$
Критична частота обертання черв'яка в зоні завантаження	$2,34 \text{ c}^{-1}$
Кількість води, що надходить на охолодження черв'яка	0,2543 кг/с
Кінцева та початкова температури води	$t_{в1} = 20^{\circ}\text{C}$, $t_{в2} = 25^{\circ}\text{C}$
Швидкість течії води	1 м/с
Площа зовнішньої поверхні корпусу екструдера	$1,38 \text{ м}^2$
Масова продуктивність екструдера	76,2 кг/год
Теплота, що надходить від зовнішніх обігрівачів	12230 Вт

З ОПИС БАЗОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ, ЇЇ ОСНОВНИХ ЧАСТИН ТА ПРИНЦИПУ ДІЇ

Основним завданням екструдера є перетворення твердих полімерних гранул у розплавлений матеріал та формування з нього труби заданого діаметру і товщини. Це обладнання використовується в різних галузях промисловості, таких як будівництво, газо- та водопостачання, а також у сільському господарстві.

Черв'ячний екструдер складається з кількох основних компонентів, які забезпечують його ефективну роботу та високу продуктивність (Рис 3.1).

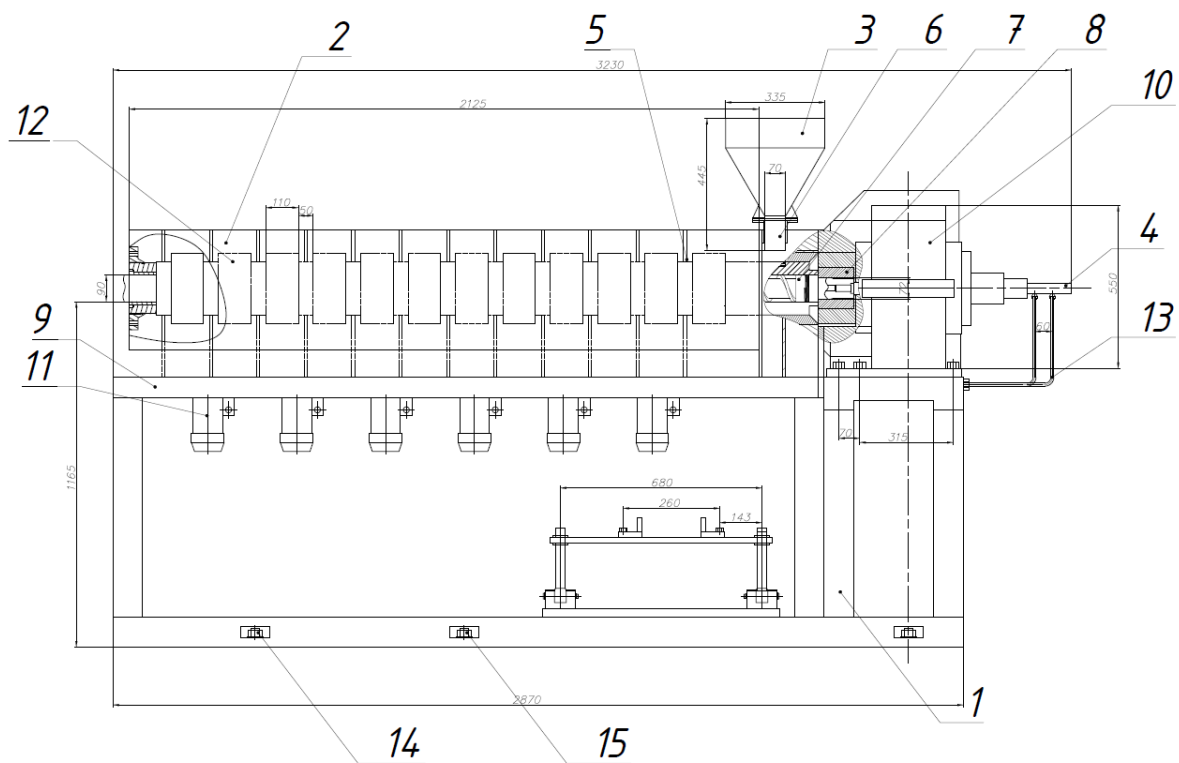


Рисунок 3.1 – Черв'ячний екструдер для виготовлення труб:

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

Рама 1 є основою всього екструдера, забезпечуючи стійкість і підтримку інших компонентів. Кожух корпуса 2 захищає внутрішні компоненти

екструдера від зовнішніх впливів і забезпечує безпеку роботи. Бункер 3 використовується для завантаження полімерних гранул, які надходять до зони плавлення. Система охолодження 4 контролює температуру екструдера, запобігаючи перегріванню і забезпечуючи оптимальні умови для процесу плавлення. Корпус 5 містить основні робочі частини екструдера і забезпечує їх захист і правильне функціонування. Воронка завантажувальна 6 спрямовує полімерні гранули з бункера до черв'яка. Черв'як 7 є ключовим елементом екструдера, який забезпечує транспортування, нагрівання та плавлення полімерного матеріалу. Втулка 8 підтримує черв'як і забезпечує його правильне розташування всередині корпусу. Плита несуча 9 підтримує конструкцію екструдера і забезпечує стійкість під час роботи. Редуктор 10 знижує швидкість обертання двигуна до необхідної для ефективної роботи черв'яка. Вентилятор 11 і нагрівач 12 є частинами системи теплового контролю, які забезпечують необхідну температуру для плавлення полімеру та його охолодження. Розвід проводів 13 відповідає за електричне з'єднання та управління різними компонентами екструдера.

Черв'ячний екструдер працює за наступним принципом. Полімерні гранули завантажуються у бункер 3, звідки вони потрапляють у воронку завантажувальну 6. Далі матеріал надходить до черв'яка 7, який обертається в середині корпусу 5. При обертанні черв'як транспортує гранули вздовж циліндра, де вони поступово нагріваються завдяки нагрівачам 12, встановленим вздовж корпусу 5. Матеріал плавиться і перетворюється на в'язку масу, яка під дією черв'яка проштовхується вперед. Після проходження через черв'як, розплавлений полімер надходить до екструзійної головки, де йому надається необхідна форма труби. Охолодження матеріалу відбувається за допомогою системи охолодження 4, яка забезпечує стабільність розмірів і форми готового виробу.

Таким чином, черв'ячний екструдер забезпечує безперервний процес перетворення полімерних гранул у готові труби, підтримуючи високу продуктивність та якість продукції.

4 ЛІТЕРАТУРНО-ПАТЕНТНИЙ ОГЛЯД З ВИБОРОМ ВАРІАНТА МОДЕРНІЗАЦІЇ ЕКСТРУДЕРА

4.1 Літературно-патентний огляд варіантів модернізації черв'яка екструдера

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

Джерело [3] стосується конструкції черв'яка екструдера, який відрізняється від традиційних тим, що його ділянка стиснення складається з двох перехідних частин та проміжної секції з бар'єрним гвинтовим виступом (Рис. 4.1). Цей бар'єрний виступ починається як частина основного гвинтового виступу, але потім відокремлюється від нього і розташовується між основним виступом та виступом, що йде попереду. Положення бар'єрного виступу відносно сусідніх змінюється вздовж черв'яка, створюючи ефект його переміщення вперед аж до з'єднання з передуючим виступом. Бар'єрний виступ нижчий за основний, залишаючи проміжок між ним і корпусом екструдера. Розплав полімеру перетікає через цей проміжок, в той час як тверда фаза залишається між бар'єрним та передуючим виступами.

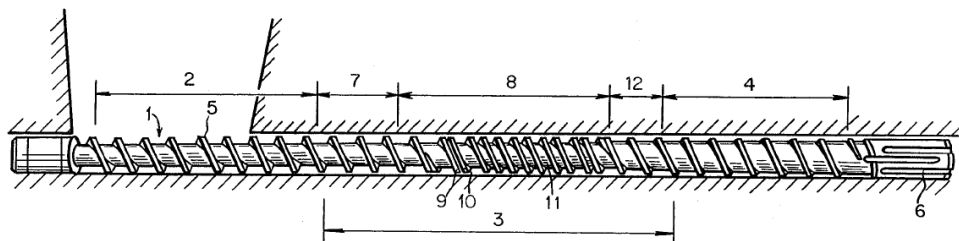


Рисунок 4.1 – Черв'як, у якого ділянка стиснення складається з двох
перехідних частин та проміжної секції

Така конструкція запобігає небажаному обволіканню твердої фази розплавом і покращує перемішування та плавлення полімеру без підвищення температури чи збільшення споживання енергії. Отже, запропонована конструкція дозволяє ефективно розділити рідку та тверду фази полімеру в зоні стиснення черв'яка екструдера, забезпечуючи кращий процес плавлення та гомогенізації матеріалу [3].

Джерело [4] описує конструкцію черв'яка особливістю якого є те, що на ділянці плавлення черв'як має основний гвинтовий виступ та додатковий бар'єрний гвинтовий виступ, які формують канал для твердої фази полімеру та канал для розплаву відповідно (Рис. 4.2). Ширина каналу для твердої фази поступово зменшується, а ширина каналу для розплаву - збільшується у напрямку до дозуючої ділянки. Сама ділянка плавлення розділена на дві зони вздовж черв'яка, в яких швидкості зміни ширини каналів істотно відрізняються. Ці швидкості підібрані відповідно до реальної швидкості плавлення термопластичного матеріалу.

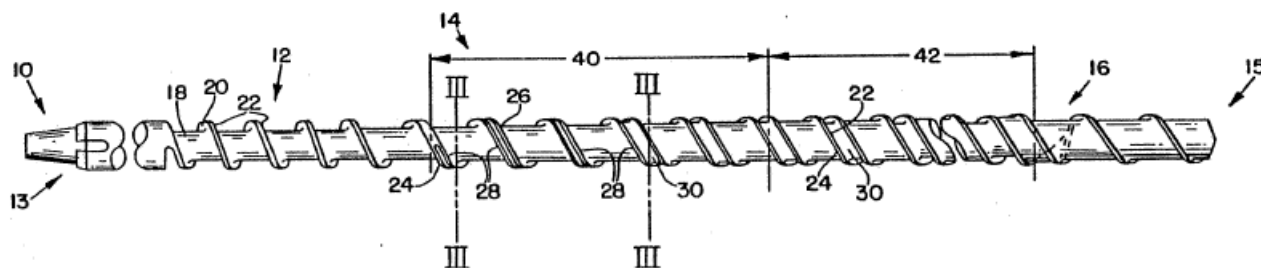


Рисунок 4.2 – Черв'як, який має основний гвинтовий виступ та додатковий бар'єрний

Така конфігурація дозволяє оптимізувати процес плавлення полімеру вздовж черв'яка, ефективно розділяючи тверду та рідку фази і забезпечуючи належне проходження матеріалу.

Джерело [5] пропонує конструкцію черв'яка (Рис. 4.3), у якого є дві ключові особливості. Перша це наявність хоча б одного гвинтового виступу, який проходить майже вздовж всієї довжини черв'яка, утворюючи гвинтовий

канал для транспортування полімеру. Друга це встановлення спеціального бар'єру (дамби) в тій точці ділянки переходу, де інтенсивне плавлення твердої фази сповільнюється, а швидкість зменшення ширини твердого шару наближається до нуля.

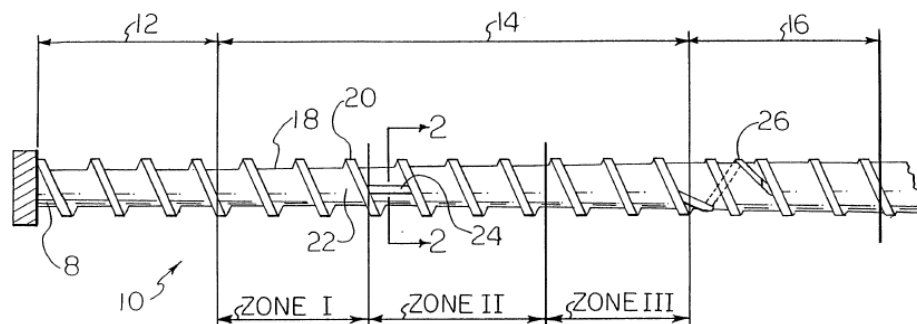


Рисунок 4.3 – Черв'як, у якого наявний хоча б один гвинтовий відступ та наявний спеціальний бар'єр

Встановлення бар'єру в точці сповільнення плавлення твердої фази дозволяє забезпечити високу продуктивність та рівномірне розплавлення полімеру без утворення гелів чи бульбашок повітря. Також така конструкція зменшує надлишковий тиск на початку ділянки переходу за рахунок обмеження подачі твердої фази з ділянки живлення.

Джерело [6] запропонує конструкцію, яка передбачає, що змінну геометрію гвинтового виступу вздовж його довжини (Рис. 4.4). Сердечник черв'яка безперервно звужується конічно від ділянки живлення до дозуючої ділянки. Ширина гвинтового виступу змінюється від 1/9 діаметра черв'яка на вхідній ділянці до 5% діаметра на виході. Кут нахилу гвинтової лінії становить 20° на початку і збільшується більше 20° ближче до кінця. Радіальний зазор між виступом і корпусом теж варіюється - 0,001 дюйма на 1 дюйм діаметра черв'яка на вході і 0,005 дюйма на 1 дюйм діаметра на виході. Точні розміри параметрів підбираються відповідно до властивостей полімерного матеріалу.

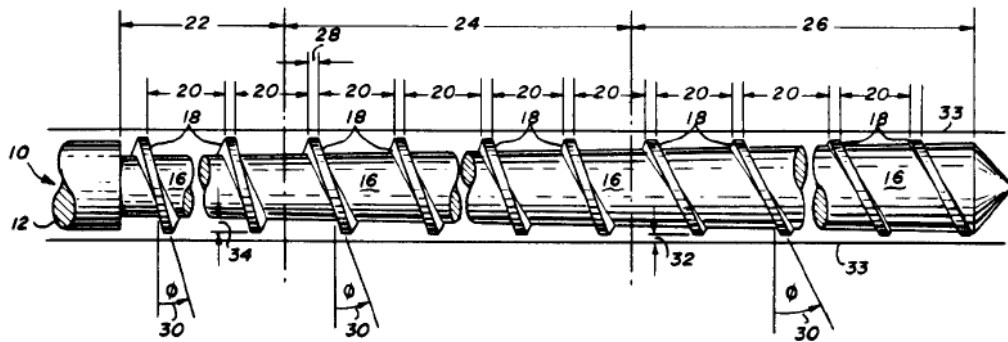


Рисунок 4.4 – Черв'як, у якого змінна геометрія гвинтового виступу вздовж його довжини

Така конструкція дозволяє значно зменшити споживання потужності під час екструзії високов'язких полімерів, підвищуючи ефективність процесу. А також зменшити нагрівання полімерного матеріалу через тертя в черв'яку, що також збільшує загальну ефективність екструзії.

Джерело [7] пропонує удосконалену конструкцію черв'яка екструдера, яка дозволяє регулювати геометрію міжвиткового простору для ефективної переробки широкого спектру матеріалів (Рис. 4.5). Ділянка зі штифтами виконана у вигляді втулки на валу з гвинтовою нарізкою, штифти розміщені у стінці втулки з можливістю контакту з нарізкою вала і зворотно-поступального руху. Поворот і фіксація втулки регулює висоту виступу штифтів над поверхнею вала. Змінна висота штифтів забезпечує зміну напружень зсуву, перерозподіл потоків матеріалу та покращує змішування. Пружини підтискають штифти до нарізки вала для контролю висоти виступу.

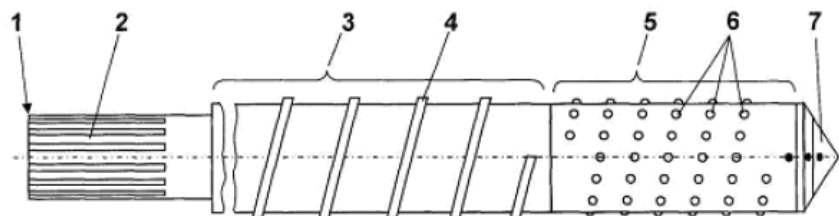


Рисунок 4.5 – Черв'як, у якого ділянка зі штифтами виконана у вигляді втулки

Таким чином, запропонована конструкція черв'яка екструдера дозволяє легко регулювати геометрію міжвиткового простору для оптимальної переробки різноманітних матеріалів, значно розширюючи технологічні можливості екструзійного обладнання.

Джерело [8] стосується черв'яка, який має гвинтовий виступ з розривами в зоні плавлення та змішування полімеру (Рис.4.6). Після розриву виступ продовжується зміщеним в осьовому напрямку, утворюючи прохід для повернення розплавленої фракції до твердої фази на попередньому витку для ретельного перемішування. У випадку декількох гвинтових виступів їх зміщені ділянки можуть розташовуватись з інтервалом не більше одного витка для каскадного перемішування розплаву між каналами.

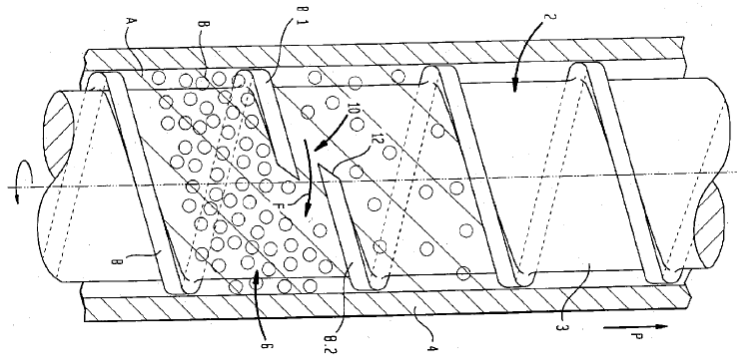


Рисунок 4.6 – Черв'як, який має гвинтовий виступ з розривами в зоні плавлення та змішування полімерів

Така конструкція забезпечує покращене змішування рідкої та твердої фаз під час екструзії без зниження ефективності процесу.

4.2 Обґрунтування вибору модернізації черв'яка екструдера

Було обрано прототип [8] через його конструктивне рішення, щодо вирішення проблеми розшарування потоку розплаву полімеру на рідку та тверду фракції в зоні плавлення та перемішування черв'яку.

В процесі екструзії розплавлена фракція полімеру, яка має підвищену адгезію та тертя, має тенденцію осідати на робочій стороні гвинтового виступу черв'яка. В той же час, тверді частинки полімеру акумулюються на протилежній, пасивній стороні виступу [8]. Це призводить до небажаного розділення рідкої та твердої фаз, що негативно впливає на теплопередачу до твердих частинок, теплову гомогенізацію суміші та процес плавлення в цілому.

Для вирішення цієї проблеми винахідники запропонували конструкцію черв'яка з гвинтовим виступом, який має розриви в зоні плавлення та перемішування. Ці розриви утворюють прохід, через який розплавлена фракція може повертатися до сусіднього витка гвинтової лінії для перемішування з твердою фазою на пасивній стороні виступу [8]. Після розриву гвинтовий виступ продовжується по гвинтовій лінії в тому ж напрямку, але зміщений в осьовому напрямку.

Така зміщена конфігурація виступу дозволяє безперешкодно відокремити розплавлену фракцію і повернути її для перемішування з твердою фазою на попередньому витку гвинтової лінії без порушення загального напрямку потоку. При цьому канал, по якому повертається розплав, має більший поперечний переріз, що запобігає утворенню застійних зон чи порушенню потоку.

Для ще кращого перемішування рідкої та твердої фаз в конструкції з декількома гвинтовими виступами їх зміщені ділянки можуть розташовуватись на інтервалі не більше одного витка гвинтової лінії. Це дозволяє реалізувати каскадне перемішування розплаву між сусідніми каналами.

Також для зменшення опору потоку в зоні розриву виступів їх зміщені ділянки можуть мати клиноподібну форму передньої кромки.

Отже, запропонована конструкція черв'яка екструдера забезпечує ретельне перемішування рідкої та твердої фаз полімерного матеріалу в процесі плавлення, підвищуючи якість екструдату та ефективність процесу в цілому без зниження продуктивності обладнання.

5. РОЗРАХУНКИ

5.1 Параметричні розрахунки

5.1.1 Розрахунок геометрії черв'яка і частоти його обертання

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

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

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

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

Крок гвинтової лінії черв'яка:

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

Кут підйому гвинтової лінії:

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

Товщина гребня черв'яка:

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

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

Зазор між черв'яком і гільзою:

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

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

Глибина гвинтового каналу в зоні завантаження:

$$h_1 = (0,12...0,16) \cdot D = 0,126 \cdot 90 = 11,3 \text{ мм}$$

Глибина гвинтового каналу в зоні дозування складає:

$$h_3 = 0,5 \left[D - \sqrt{D^2 - \frac{4 \cdot h_1}{i} \cdot (D - h_1)} \right] =$$
$$= 0,5 \left[90 - \sqrt{90^2 - \frac{4 \cdot 11,3}{3,7} \cdot (90 - 11,3)} \right] = 2,8 \text{ мм}$$

де $i = 3,7$ – ступінь стиску ПЕВГ. [9].

Діаметр вала черв'яка під завантажувальною воронкою:

$$d_1 = D - 2h_1 = 90 - 2 \cdot 11,3 = 67,4 \text{ мм}$$

Діаметр вала черв'яка в зоні дозування:

$$d_3 = D - 2h_3 = 90 - 2 \cdot 2,8 = 84,4 \text{ мм}$$

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

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

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

$$L_{\text{зав}} = 0,25 \cdot 2250 = 562,5 \text{ мм.}$$

Приймаємо $L_{\text{зав}} = 565 \text{ мм.}$

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

$$L_{\text{ст}} = 0,2 \cdot 2250 = 450 \text{ мм.}$$

Довжина зони дозування $L_{\text{доз}}$ значною мірою визначає якість підготування розплаву і відношення L/D зростає переважно за її рахунок та за рахунок довжини додаткових зон і елементів. Зазвичай цю

величину обирають у межах $(0,4...0,6) \cdot L_{\text{роб}}$. Також допустим є розрахунок таким чином:

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

Довжина зони дозування:

$$L_{\text{доз}} = 2250 - 565 - 450 = 1235 \text{ мм.}$$

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

Довжина відбійної частини:

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

Загальна довжина черв'яка:

$$L = L_{\text{роб}} + L_{\text{ев}} + L_{\text{відб}} = 2250 + 150 + 45 = 2445 \text{ мм.}$$

Глибина вала черв'яка на початку зони стиснення:

$$h_2 = h_1 - \frac{h_1 - h_3}{L} (L - L_{\text{ст}}) = 11,3 - \frac{11,3 - 2,8}{2445} \cdot (2445 - 450) = 4,36 \text{ мм.}$$

Діаметр вала черв'яка на початку зони стиснення:

$$d_2 = D - 2h_2 = 90 - 2 \cdot 4,36 = 81,28 \text{ мм.}$$

Отриманні розміри нанести на схему, на рис.5.1:

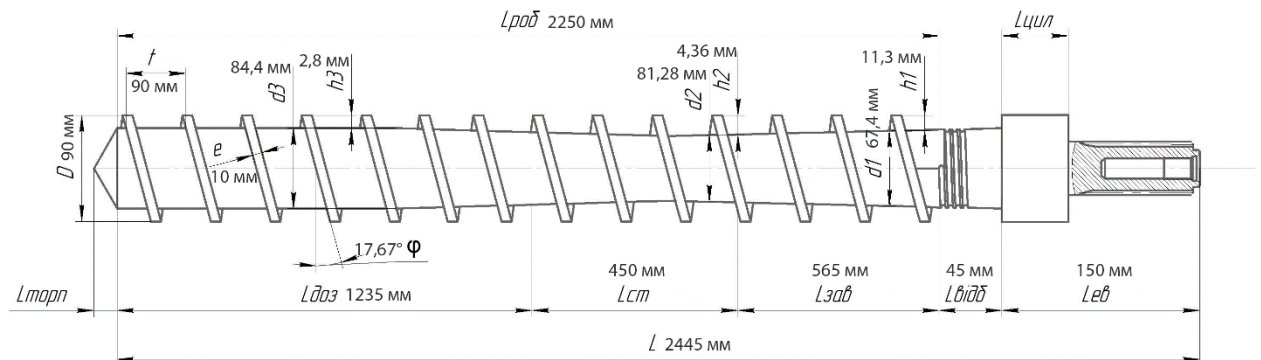


Рисунок 5.1 - Схема черв'яка

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

$$n_{\text{кр}} = \frac{42,2}{60\sqrt{D}} = \frac{42,2}{60 \cdot \sqrt{0,090}} = 2,34 \text{ с}^{-1}$$

де D - діаметр черв'яка, м.

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

Робоча частота обертання черв'яка:

$$n_p = (0,2 \dots 0,7) \cdot n_{кр} = 0,35 \cdot 2,34 = 0,82 \text{ с}^{-1},$$

при цьому нижні значення коефіцієнтів приймають для малих діаметрів черв'яків, вищі - для великих.

У цьому підрозділі було виконано розрахунок геометрії черв'яка ш частоти його обертання, внаслідок чого були отримані наступні дані: довжина робочої частини черв'яка $L_{роб} = 2250 \text{ мм}$; критична частота обертання черв'яка в зоні завантаження $n_{кр} = 2,34 \text{ с}^{-1}$.

5.1.2 Розрахунок коефіцієнта геометричної форми екструзійної головки

Канал головки (рис. 5.2) розбивається на ряд послідовних ділянок простої геометрії, для кожного з яких визначається коефіцієнт геометричної форми K , м^3 або мм^3 , а потім сумарне значення для всієї головки[10].

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

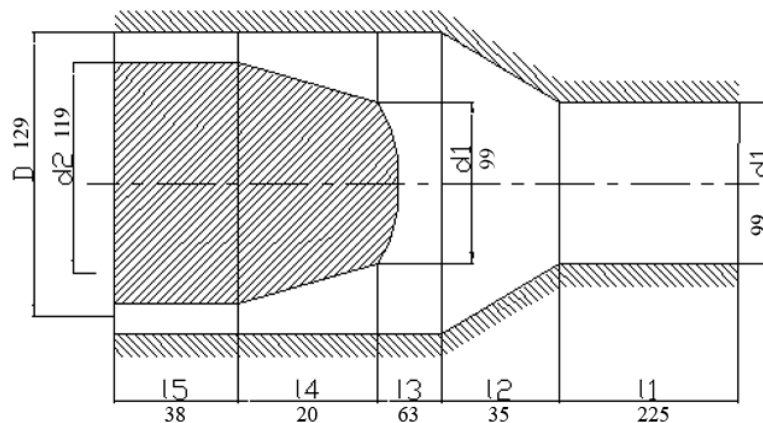


Рисунок 5.2 – Схема головки

Таблиця 5.1 – Розміри головки для $D_q = 45$ мм і $L_q/D_q = 20$

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

1. Розраховуємо ділянку 1 (рис.5.3) за типом каналу – круглий циліндровий:

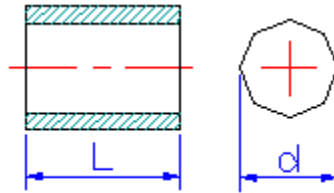


Рисунок 5.3 – Круглий циліндровий канал

$$K_1 = \frac{\pi d^4}{128L} = \frac{3,14 \cdot 90^4}{128 \cdot 225} = 10478 \text{ мм}^3$$

2. Розраховуємо ділянку 2 (рис.5.4) за типом каналу – круглий конічний з великим діаметром на вході:

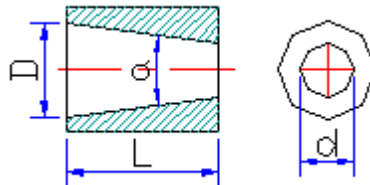


Рисунок 5.4 – Круглий конічний канал з великим діаметром на вході

$$K_2 = \frac{3\pi D^3 d^3}{128L(D^2 + Dd + d^2)} = \frac{3 \cdot 3,14 \cdot 129^3 \cdot 99^3}{128 \cdot 35(129^2 + 129 \cdot 99 + 99^2)} = 111747 \text{ мм}^3$$

3. Розраховуємо ділянку 3 (рис.3.5) за типом каналу – круглий циліндровий

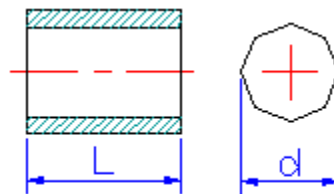


Рисунок 5.5 – Круглий циліндровий канал

$$K_3 = \frac{\pi d^4}{128L} = \frac{3,14 \cdot 129^4}{128 \cdot 63} = 107884 \text{ мм}^3$$

4. Розраховуємо ділянку 4 (рис.5.6) за типом каналу – конічний кільцевий з конічною цілиною:

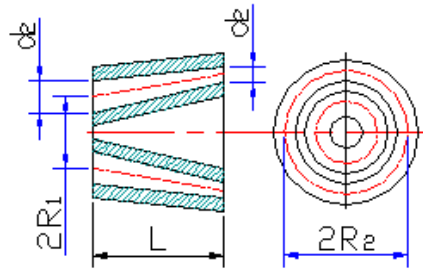


Рисунок 5.6 – Конічний кільцевий канал з конічною цілиною

Розрахунок ділянки

Радіуси екструзійної головки

$$R_1 = \frac{d_1}{2} = \frac{99}{2} = 49,5 \text{ мм}$$

$$R_2 = \frac{d_2}{2} = \frac{119}{2} = 59,5 \text{ мм}$$

$$R = \frac{D}{2} = \frac{129}{2} = 64,5 \text{ мм}$$

Середні радіуси четвертої ділянки

$$R_{1c} = \frac{R + R_1}{2} = \frac{64,5 + 49,5}{2} = 57 \text{ мм}$$

$$R_{2c} = \frac{R + R_2}{2} = \frac{64,5 + 59,5}{2} = 62 \text{ мм}$$

Товщина каналу для розразунку 4 частини головки

$$\delta_1 = R - R_1 = 64,5 - 49,5 = 15 \text{ мм}$$

$$\delta_2 = R - R_2 = 64,5 - 59,5 = 5 \text{ мм}$$

ω для розразунку коефіцієнта геометричної форми

$$\begin{aligned} \omega_4 &= \frac{2,3(R_{1c} - R_{2c})^2}{(R_{1c}\delta_2 - R_{2c}\delta_1)^2} \lg \frac{R_{1c}\delta_2}{R_{2c}\delta_1} - \frac{(R_{1c} - R_{2c})(\delta_1 - \delta_2)}{(R_{1c}\delta_2 - R_{2c}\delta_1)\delta_1\delta_2} - \frac{\delta_1^2 - \delta_2^2}{2\delta_1^2\delta_2^2} = \\ &= \frac{2,3(57 - 62)^2}{(57 \cdot 5 - 62 \cdot 15)^2} \lg \frac{57 \cdot 5}{62 \cdot 15} - \frac{(57 - 62)(15 - 5)}{(57 \cdot 5 - 62 \cdot 15)15 \cdot 5} - \frac{15^2 - 5^2}{2 \cdot 15^2 \cdot 5^2} = \\ &= -0,0189 \text{ мм}^{-2} \end{aligned}$$

Розрахунок K_4

$$K_4 = \frac{\pi(R_{1c}\delta_2 - R_{2c}\delta_1)}{6L_4\omega_4} = \frac{\pi(57 \cdot 5 - 62 \cdot 15)}{6 \cdot 20 \cdot (-0,0189)} = 893 \text{ мм}^3$$

5. Розраховуємо ділянку 5 (рис.5.7) за типом каналу –кільцевий:

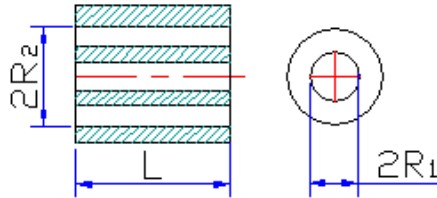


Рисунок 5.7 – Кільцевий канал

$$K_5 = \frac{\pi(R_2 + R_1)(R_2 - R_1)^3}{12L} = \frac{3,14 \cdot (64,5 + 59,5) \cdot (64,5 - 59,5)^3}{12 \cdot 38} = 107 \text{ мм}^3$$

Загальний коефіцієнт всієї головки

$$K_{\text{сум}} = \frac{1}{\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} + \frac{1}{K_3} + \frac{1}{K_4} + \frac{1}{K_5}} = \frac{1}{\frac{1}{10478} + \frac{1}{111747} + \frac{1}{107884} + \frac{1}{893} + \frac{1}{107}} = 95 \text{ мм}^3$$

5.1.3 Розрахунок продуктивності екструдера

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

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

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

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

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

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

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

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

де n_p – 1,155 об/с (робоча швидкість обертання черв'яка),

$K_{\text{заг}}$ – 8 мм³ (загальний коефіцієнт геометричної форми головки),

α – коефіцієнт прямого потоку,

β – коефіцієнт зворотного потоку,

γ – коефіцієнт потоку витoku.

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

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

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

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

де c , a , b – коефіцієнти, що характеризують черв'як зі змінною глибиною нарізки:

$$c = 1 - \frac{6,9D}{2(h_2-h_3)} \lg \left(\frac{h_2}{h_3} \right) + \frac{D^2}{2h_2h_3},$$

$$a = \frac{\pi^2}{h_2h_3} \left(\frac{D(h_2+h_3)}{2h_2h_3} - 1 \right),$$

$$b = \frac{2,3}{(h_2-h_3)D^3} \lg \left(\frac{h_2(D+d_3)}{h_3(D+d_1)} \right) + \frac{2h_2h_3+(h_2+h_3)D}{2D^2h_2^2h_3^2},$$

де t – 90 мм (крок гвинтової лінії (нарізки) черв'яка),

λ – 1 (число заходів гвинтової нарізки),

e – 10 мм (товщина гребеня нарізки черв'яка),

$L_{\text{доз}}$ – 1235 мм (довжина зони дозування),

D – 90 мм (зовнішній діаметр черв'яка),

δ – 0,22 мм (висота зазору між черв'яком та корпусом),

h_2 – 4,36 мм (глибина гвинтового каналу на початку зони стиснення),

h_3 – 2,8 мм (глибина каналу в зоні дозування),

d_3 – 84,4 мм (діаметр вала черв'яка в зоні дозування),

d_1 – 67,4 мм (діаметр вала черв'яка під завантажувальною воронкою).

Вагова продуктивність розраховується, знаючи об'ємну продуктивність

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

де ρ – (густина розплаву полімеру при температурі переробки t , °C) (на виході з екструдера).

Температуру t переробки обрати залежно від перероблюваного матеріалу і виробу. Густина матеріалу ρ – в залежності від матеріалу і температури. При відсутності обраної температури – для коректного задання густини використати метод лінійної інтерполяції.

Температура переробки для різних виробів в залежності від матеріалу.

1. Коефіцієнти, що характеризують черв'як зі змінною глибиною нарізки:

$$c = 1 - \frac{6,9D}{2(h_2 - h_3)} \lg \left(\frac{h_2}{h_3} \right) + \frac{D^2}{2h_2h_3} = 1 - \frac{6,9 \cdot 90}{2(4,36 - 2,8)} \lg \left(\frac{4,36}{2,8} \right) + \frac{90^2}{2 \cdot 4,36 \cdot 2,8} = 294,5,$$

$$a = \frac{\pi^2}{h_2h_3} \left(\frac{D(h_2 + h_3)}{2h_2h_3} - 1 \right) = \frac{\pi^2}{4,36 \cdot 2,8} \left(\frac{90(4,36 + 2,8)}{2 \cdot 4,36 \cdot 2,8} - 1 \right) = 20,52 \frac{1}{\text{мм}^2},$$

$$b = \frac{2,3}{(h_2 - h_3)D^3} \lg \left(\frac{h_2(D + d_3)}{h_3(D + d_1)} \right) + \frac{2h_2h_3 + (h_2 + h_3)D}{2D^2h_2^2h_3^2} = \frac{2,3}{(4,36 - 2,8)90^3} \lg \left(\frac{4,36(90 + 84,4)}{2,8(90 + 67,4)} \right) + \frac{2 \cdot 4,36 \cdot 2,8 + (4,36 + 2,8)90}{2 \cdot 90^2 \cdot 4,36^2 \cdot 2,8^2} = 0,000277 \frac{1}{\text{мм}^4},$$

2. Значення коефіцієнту прямого потоку

$$\alpha = \frac{\pi^3(t - \lambda e)c}{a + t^2b} = \frac{3,14^3 \cdot (90 - 1 \cdot 10) \cdot 294,5}{20,52 + 90^2 \cdot 0,000277} = 32091 \text{ мм}^3$$

3. Значення коефіцієнту зворотного потоку

$$\beta = \frac{\pi t(t - \lambda e)}{12L_{\text{доз}}(a + t^2b)} = \frac{3,14 \cdot 90 \cdot (90 - 1 \cdot 10)}{12 \cdot 1235 \cdot (20,52 + 90^2 \cdot 0,000277)} = 0,067 \text{ мм}^3$$

4. Значення коефіцієнту потоку витоку

$$\gamma = \frac{\pi^2 D \delta^3 t^2}{10eL_{\text{доз}} \sqrt{\pi^2 D^2 + t^2}} = \frac{\pi^2 90 \cdot 0,22^3 90^2}{10 \cdot 10 \cdot 1235 \sqrt{\pi^2 90^2 + 90^2}} = 0,0021 \text{ мм}^3$$

5. Об'ємна секундна продуктивність

$$Q = \frac{\alpha \cdot K_{\text{заг}} \cdot n_p}{K_{\text{заг}} + \beta + \gamma} = \frac{32091 \cdot 95 \cdot 0,82}{95 + 0,067 + 0,0021} = 26295 \text{ мм}^3/\text{с}$$

6. Густина розплаву полімеру

$$\rho = 800,6 + \frac{(165 - 160)}{180 - 160} \cdot \frac{(818,4 - 800,6)}{1} = 805,05 \text{ кг/м}^3$$

7. Вагова продуктивність

$$\Pi = \frac{Q \cdot 3600}{10^9} \cdot \rho = \frac{26295 \cdot 3600}{10^9} \cdot 805,05 = 76,2 \frac{\text{кг}}{\text{год}}$$

У цьому підрозділі ми розраховували продуктивності черв'ячної машини. В результаті чого було отримано такі результати: $\Pi = 76,2$ кг/год.

5.1.4 Розрахунок перепаду тиску на ділянках у головці

Розрахунок перепаду тиску в екструзійній головці виконується таким чином:

- 1) розраховується швидкість зсуву $\dot{\gamma}_i$ для простих ділянок головки, аналогічно до знаходження коефіцієнтів геометричної форми головки K_i (формули див. табл. до розрахунку коеф. геометричної форми);
- 2) визначається ефективна в'язкість $\mu_i, Pa \cdot s$, за графіками для матеріалів (додатки), в залежності від швидкості зсуву $\dot{\gamma}_i^*$ та температури переробки t^{**} ;
- 3) за попередньо знайденими продуктивністю і коефіцієнтом геометричної форми розраховують перепад тиску на простих ділянках головки за формулою

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

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

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

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

1. Розрахунок швидкості зсуву і $\dot{\gamma}_i$ для простих ділянок головки:

Ділянка 1 (рис. 3.3)

$$\dot{\gamma}_1 = \frac{32Q}{\pi d_1^3} = \frac{32 \cdot 26295}{\pi \cdot 99^3} = 0,276 \text{ c}^{-1}$$

Ділянка 2 (рис. 3.4)

$$\dot{\gamma}_2 = \frac{256Q}{\pi(D^3 + d_1^3)} = \frac{256 \cdot 26295}{\pi(129^3 + 99^3)} = 0,68 \text{ c}^{-1}$$

Ділянка 3: (рис. 3.5)

$$\dot{\gamma}_3 = \frac{32Q}{\pi D^3} = \frac{32 \cdot 26295}{\pi \cdot 129^3} = 0,12 \text{ c}^{-1}$$

Ділянка 4(рис. 3.6)

$$\dot{\gamma}_4 = \frac{22.32 \cdot Q}{\pi \cdot (R_{1c} + R_{2c})(\delta_2 + \delta_1)^2} = \frac{22.32 \cdot 26295}{\pi \cdot (57 + 62)(5 + 15)^2} = 3,92 \text{ c}^{-1}$$

Ділянка 5(рис. 3.7)

$$\dot{\gamma}_5 = \frac{5,58 \cdot Q}{\pi \cdot (R_1 + R_2) \cdot (R_2 - R_1)^2} = \frac{5,58 \cdot 26295}{\pi \cdot (57 + 62) \cdot (62 - 57)^2} = 15,7 \text{ c}^{-1}$$

2. Розрахунок ефективної в'язкості μ_i , [Па · с]:

$$\mu_1 = 1,6 \cdot 10^4 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\mu_2 = 1,5 \cdot 10^4 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

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

$$\mu_4 = 1.2 \cdot 10^4 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\mu_5 = 6.5 \cdot 10^3 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

3. Розрахунок перепаду тиску на простих ділянках головки:

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

$$\Delta P_1 = \frac{Q \cdot \mu_1}{K_1} = \frac{26295 \cdot 1,6 \cdot 10^4}{10478} = 40152 \text{ Па}$$

$$\Delta P_2 = \frac{Q \cdot \mu_2}{K_2} = \frac{26295 \cdot 1,5 \cdot 10^4}{111747} = 3529 \text{ Па}$$

$$\Delta P_3 = \frac{Q \cdot \mu_3}{K_3} = \frac{26295 \cdot 2 \cdot 10^4}{107884} = 2437 \text{ Па}$$

$$\Delta P_4 = \frac{Q \cdot \mu_4}{K_4} = \frac{26295 \cdot 1.2 \cdot 10^4}{893} = 363348 \text{ Па}$$

$$\Delta P_5 = \frac{Q \cdot \mu_5}{K_5} = \frac{26295 \cdot 1.2 \cdot 10^3}{107} = 294897 \text{ Па}$$

4. Знаходження загального перепаду тиску в головці ΔP

$$\begin{aligned}\Delta P_{\text{сум}} &= \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3 + \Delta P_4 + \Delta P_5 = \\ &= 40152 + 3529 + 2437 + 363348 + 294897 = 704363 \text{ Па}\end{aligned}$$

В даному розділі роботи було виконано розрахунок перепаду тиску в тиску в екструзійній головці. В результаті обчислень було отримано такі результати: $\Delta P = 704363 \text{ Па}$.

5.1.5 Розрахунок потужності приводу екструдера

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

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

$$N = N_1 + N_2.$$

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

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

де $t - 0,09$ (крок гвинтової лінії черв'яка, м),

$e - 0,01$ (товщина гребеня черв'яка, м),

$L - 2,445$ (загальна довжина черв'яка, м),

$n_p - 0,82$ (робоча швидкість обертання черв'яка, с^{-1}),

$\alpha - 32,1$ (коефіцієнт прямого потоку, м^3),

$\Delta P - 704363$ (загальний перепад тиску в головці, Па),

$J - 0,2224$ коефіцієнт, м^2

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

де $D = 0,09$ (діаметр черв'яка, м),

$d_3 = 0,0844$ (діаметр вала черв'яка в зоні дозування, м),

$d_2 = 0,08128$ (діаметр вала черв'яка на початку зони стиснення, м),

$h_2 = 0,00436$ (глибина гвинтового каналу в зоні стиснення, м),

$h_3 = 0,0028$ (глибина гвинтового каналу в зоні дозування, м).

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

$$N_2 = \frac{\pi^3 D^3 e L \mu_{\text{эф}2}}{\delta t} n_p^2.$$

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

$$\dot{\gamma}_1 = \frac{\pi^2 (D - h_{\text{сер}})(D - 2h_{\text{сер}})n}{h_{\text{сер}} \sqrt{\pi^2 (D - 2h_{\text{сер}})^2 + t^2}},$$

$$\dot{\gamma}_2 = \frac{\pi^2 D^2 n}{\delta \sqrt{\pi^2 D^2 + t^2}},$$

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

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

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

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

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

$$N_{\text{заг}} = \frac{N}{\eta}.$$

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

1. Коефіцієнт:

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

$$= \frac{\pi^2 0,09^2 - 4 \cdot 0,09^2}{\pi^2} + \frac{(0,09+0,0844)^3 - (0,09+0,08128)^3}{3(0,0844-0,08128)} + \frac{2,3\pi^2 0,09^5 \lg \frac{0,00436}{0,0028}}{(0,09^2 + \pi^2 0,09^2)(0,00436-0,0028)} =$$

$$= 0,2224 \text{ м}^2$$

2. Швидкість зсуву:

$$h_{\text{сер}} = \frac{(h_2 + h_3)}{2} = \frac{(0,00436 + 0,0028)}{2} = 0,00358 \text{ м}$$

$$\dot{\gamma}_1 = \frac{\pi^2 (D - h_{\text{сер}})(D - 2h_{\text{сер}})n}{h_{\text{сер}} \sqrt{\pi^2 (D - 2h_{\text{сер}})^2 + t^2}}$$

$$= \frac{\pi^2 (0,09 - 0,00358)(0,09 - 2 \cdot 0,00358)0,82}{0,00358 \sqrt{\pi^2 (0,09 - 2 \cdot 0,00358)^2 + 0,09^2}} = 58,77 \text{ с}^{-1}$$

$$\dot{\gamma}_2 = \frac{\pi^2 D^2 n}{\delta \sqrt{\pi^2 D^2 + t^2}} = \frac{\pi^2 \cdot 0,09^2 \cdot 0,82}{0,00022 \sqrt{\pi^2 \cdot 0,09^2 + 0,09^2}} = 1004,2 \text{ с}^{-1}$$

$$\mu_1 = 2,4 \cdot 10^3 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\mu_2 = 2,5 \cdot 10^2 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

3. Потужність, що витрачається на переміщення матеріалу в гвинтовому каналі:

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

$$= \frac{\pi^3(0,09 - 0,01) \cdot 2,445 \cdot 0,2224 \cdot 2,4 \cdot 10^3}{0,09} \cdot 0,82^2 + 32,1 \cdot 10^{-6} \cdot 704363$$

$$\cdot 0,82 = 24203 \text{ Вт}$$

4. Потужність, що витрачається на зріз матеріалу в зазорі між гребенем черв'яка і внутрішньою стінкою циліндра або гільзи:

$$N_2 = \frac{\pi^3 D^3 e L \mu_{\text{ef2}}}{\delta t} n_p^2 = \frac{\pi^3 \cdot 0,09^3 \cdot 0,01 \cdot 2,445 \cdot 2,5 \cdot 10^2}{0,00022 \cdot 0,09} \cdot 0,82^2 = 4692 \text{ Вт}$$

5. Потужність, споживана екструдером:

$$N = N_1 + N_2 = 24203 + 4692 = 28895 \text{ Вт}$$

6. Загальна споживана потужність:

$$N_{\text{заг}} = \frac{N}{\eta} = \frac{28895}{0,4} = 72,2 \text{ кВт}$$

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

У цій частині ми розрахували потужність споживана екструдером для переробки пластичних мас та потужності двигуна приводу екструдера. Внаслідок обчислень були отримані результати: $N = 28895$ Вт, $N_{\text{заг}} = 72,2$ кВт

5.2 Розрахунки черв'яка на міцність

5.2.1 Розрахунок на міцність

Крутний момент (Н·м) становить:

$$M_{кр} = \frac{30N}{\pi n} = \frac{30 \cdot 28895}{3,14 \cdot 49,2} = 5608,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

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

Осьове зусилля:

$$P_{ос} = \frac{2M_{кр}}{D} \operatorname{tg} \varphi = \frac{2 \cdot 5608,3}{0,09} \cdot \operatorname{tg}(17,67^\circ) = 39702,3 \text{ Н}$$

де D – зовнішній діаметр черв'яка, м;

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

де t – крок нарізки, м.

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

$$q = \frac{9,8G}{l_p} = \frac{9,8 \cdot 72}{2,25} = 313,6 \text{ Н/м}$$

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

$$G = \frac{\pi(D - d_0)^2}{4} \rho l_p = \frac{3,14 \cdot (0,045 - 0,018)^2}{4} \cdot 7850 \cdot 2,25 = 72 \text{ кг}$$

d_0 – діаметр каналу для охолодження, м:

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

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

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

$$\sigma_{ст} = \frac{p_{ос}}{F} + \frac{M_{max}}{W_x} = \frac{39702,3}{0,0033} + \frac{793,8}{3,5 \cdot 10^{-5}} = 38,5 \text{ МПа}$$

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

$$F = \frac{\pi d_1^2}{4} (1 - \alpha^2) = \frac{3,14 \cdot 0,0674^2}{4} \cdot (1 - 0,27^2) = 0,0033 \text{ м}^2$$

$$\alpha = d_0/d_1 = \frac{0,018}{0,0674} = 0,27$$

d_1 – діаметр осердя в зоні завантаження, м;

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

$$M_{max} = \frac{1}{2} q l_p^2 = \frac{1}{2} \cdot 313,6 \cdot 2,25^2 = 793,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

W_x – осьовий момент опору, м³:

$$W_x = \frac{\pi d_1^3 (1 - \alpha^4)}{32} = \frac{3,14 \cdot 0,0674^3 \cdot (1 - 0,27^4)}{32} = 3 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$$

Дотичні напруження:

$$\tau = \frac{M_{кр}}{W_p} = \frac{5608,3}{6 \cdot 10^{-5}} = 93,5 \text{ МПа}$$

де W_p – полярний момент опору, м³:

$$W_p = \frac{\pi d_1^3 (1 - \alpha^4)}{16} = \frac{3,14 \cdot 0,0674^3 \cdot (1 - 0,27^4)}{16} = 6 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$$

Еквівалентне напруження за III теорією міцності:

$$\sigma_{екв} = \sqrt{\sigma_{ст}^2 + 4\tau^2} = \sqrt{(38,5 \cdot 10^6)^2 + 4 \cdot (93,6 \cdot 10^6)^2} = 1,92 \cdot 10^8 \text{ Па} \\ = 191 \text{ МПа}$$

Коефіцієнт запасу не повинен перевищувати допустиме значення:

$$n = \frac{\sigma_t}{\sigma_{екв}} = \frac{9,60 \cdot 10^8}{1,92 \cdot 10^8} \geq 1,6 = 5 \geq [n]$$

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

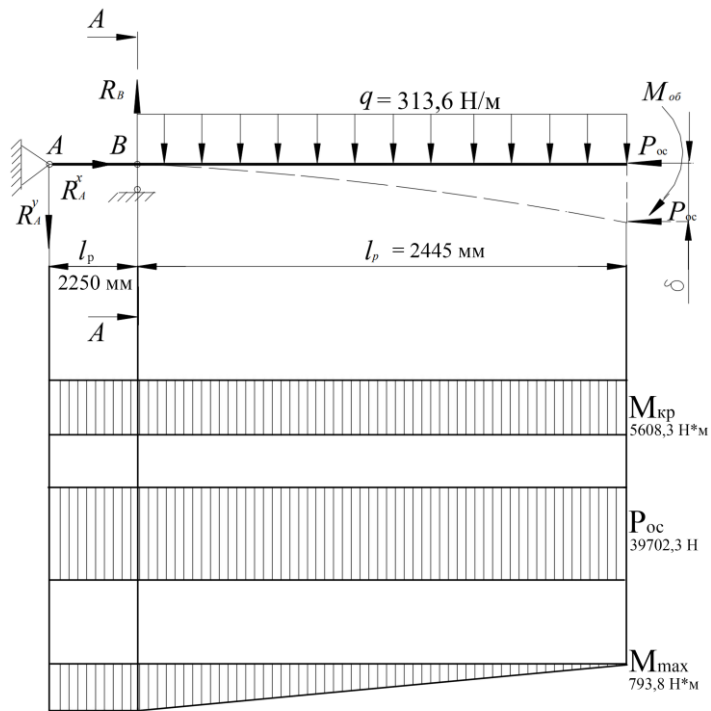


Рисунок 5.9 - Епюра напружень черв'яка

Отже коефіцієнт міцності $n=5$.

Умова міцності виконується.

5.2.2 Розрахунок на стійкість

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

$$n_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1}}{(k_{\sigma})_a \sigma_a + \psi_{\sigma} \sigma_c} = \frac{4,32 \cdot 10^8}{3,64 \cdot 2,6 \cdot 10^7 + 0,25 \cdot 0} = 4,56$$

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

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

$$\sigma_{-1} = 0,4\sigma_b = 0,4 \cdot 1080 \cdot 10^6 = 4,32 \cdot 10^8 \text{ Па};$$

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

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

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W_x} = \frac{793,8}{3 \cdot 10^{-5}} = 2,6 \cdot 10^7 \text{ Па};$$

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

ψ_σ – коефіцієнт, що залежить від матеріалу сталі 40ХН2МА ($\sigma_B = \text{МПа } \psi_\sigma = 0,25$);

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

$$(k_\sigma)_d = \frac{k_\sigma}{\beta \cdot \varepsilon} = \frac{2}{1 \cdot 0,55} = 3,64$$

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

β – коефіцієнт, який враховує якість поверхні деталі, для полірованої поверхні черв'яка $\beta=1$;

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

Умова стійкості виконується.

5.2.3 Розрахунок жорсткості

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

Полярний момент інерції перерізу, м^4 :

$$I = \frac{\pi d_1^4}{64} (1 - \alpha^4) = \frac{3,14 \cdot 0,0674^4}{64} (1 - 0,27^4) = 1,007 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4$$

Радіус інерції, м :

$$i = \sqrt{\frac{I}{F}} = \sqrt{\frac{1,007 \cdot 10^{-6}}{0,0033}} = 0,017 \text{ м}$$

Ступінь жорсткості:

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

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

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

$$\begin{aligned} \delta_p &= \frac{1}{EI} \left[\frac{q}{k^2} \left(\frac{1}{k^2} + \left(\frac{1}{k^2} + \frac{l_p^2}{2} \right) \right) - \frac{1}{k} \left(\frac{q}{k^3} - A l_p \right) \cos(k l_p) - \frac{1}{k^2} \left(\frac{q l_p}{k} - A \right) \sin(k l_p) \right] \\ &\Rightarrow \\ &\Rightarrow \frac{1}{2,09 \cdot 10^5 \cdot 1,007 \cdot 10^{-6}} \cdot \left[\frac{313,6}{434,3^2} \cdot \left(\frac{1}{434,3^2} + \left(\frac{1}{434,3^2} + \frac{2,25^2}{2} \right) \right) - \frac{1}{434,3} \right. \\ &\quad \cdot \left(\frac{313,6}{434,3^3} - (-0,324) \cdot 2,25 \right) \cdot \cos(434,3 \cdot 2,25) - \frac{1}{434,3^2} \\ &\quad \cdot \left(\frac{313,6 \cdot 2,25}{434,3} - (-0,324) \right) \cdot \sin(434,3 \cdot 2,25) \left. \right] = 0,028 \text{ м} \end{aligned}$$

$$\text{де } k = \sqrt{\frac{P_{oc}}{EI}} = \sqrt{\frac{39702,3}{2,09 \cdot 10^5 \cdot 1,007 \cdot 10^{-6}}} = 434,3 \text{ м}^{-1}$$

$$\begin{aligned} A &= \frac{q(l_p - \frac{1}{k} \sin(k l_p))}{k \cos(k l_p)} = \frac{313,6 \cdot (2,25 - \frac{1}{434,3} \cdot \sin(434,3 \cdot 2,25))}{434,3 \cdot \cos(434,3 \cdot 2,25)} \\ &= -0,324 \text{ Н} \cdot \text{м} \end{aligned}$$

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

$$\sigma = \frac{P_{oc}}{F} \left(1 + \frac{\delta_p F}{I} d_1 \right) + \frac{M_{max}}{W_x} = \frac{39702,3}{0,0033} * \left(1 + \frac{0,028 * 0,0033}{1,007 * 10^{-6}} * 0,0674 \right) = 8,06 * 10^6 \text{ Па} = 8,06 \text{ МПа}$$

Отримане значення підставляється в залежність:

$$\sigma_{екв} = \sqrt{\sigma_{ст}^2 + 4\tau^2} = \sqrt{(8,06 * 10^6)^2 + 4 * (93,6 * 10^6)^2} = 1,87 * 10^8 \text{ Па} = 187 \text{ МПа}$$

Коефіцієнт запасу не повинен перевищувати допустиме значення:

$$n = \frac{\sigma_t}{\sigma_{екв}} = \frac{9,60 * 10^8}{1,87 * 10^8} \geq 1,6 = 5,13 \geq [n]$$

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

Отже коефіцієнт міцності $n=5,13$.

Умова міцності виконується.

5.2.4 Розрахунок шліцьового з'єднання

Черв'як з'єднується з приводом переважно за допомогою шліцьового з'єднання. Здебільшого використовуються шліци евольвентного профілю, оскільки вони мають більшу поверхню контакту, можуть передавати більше навантаження й довше зношуються. Центрування здебільшого здійснюють по боковій поверхні шліців з посадкою 7Н/7п. Така конструкція забезпечує найбільшу точність центрування та усуває можливі люфти. Шліцьові з'єднання перевіряють на зминання за залежністю:

$$\sigma_{зм} = \frac{M_{об}}{R_c F z \psi} = \frac{5608,3}{0,036 \cdot 0,00024 \cdot 36 \cdot 0,7} = 2,57 \cdot 10^7 \leq 130 \text{ МПа}$$

$$\text{де } R_c = \frac{mz}{2} = \frac{2 \cdot 36}{2} = 36 \text{ мм}$$

m – модуль, мм;

z - кількість зубів шліцьового з'єднання:

$$z = \frac{d_d}{m} = \frac{72}{2} = 36;$$

F – площа контакту, м^2 :

$$F = 0,8L_{\text{ев}}m = 0,8 \cdot 0,15 \cdot 0,002 = 0,00024 \text{ м}^2$$

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

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

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

Умова міцності виконується.

5.3 Тепловий розрахунок екструдера

Тепловий баланс екструдера визначається рівнянням:

$$E_{\text{н}} + E_{\text{ш}} = E_{\text{м}} + E_0 + E_{\text{п}}$$

де $E_{\text{н}}$ - теплота, що надходить від зовнішніх обігрівачів, кВт;

$E_{\text{ш}}$ – теплота, що виділяється під час роботи черв'яка (так званий дисипативний нагрівання – внутрішня теплота тертя), кВт;

$E_{\text{м}}$ – теплота, що йде з нагрітим матеріалом, кВт;

E_0 - теплота, що забирається системою охолодження (водою, повітрям та ін), кВт;

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

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

отримуємо:

$$E_{\text{н}} = E_{\text{м}} + E_0 + E_{\text{п}} - E_{\text{ш}} = 6916 + 5340 + 2,73 \cdot 10^{-2} - 25,7 = 12230, \text{ Вт}$$

Складові рівняння балансу визначаються так:

$$E_{\text{м}} = G_{\text{м}} \cdot c_{\text{м}}(t_{\text{к}} - t_{\text{н}}) = 0,0212 \cdot 2250 \cdot (165 - 20) = 6916 \text{ Вт}$$

де $G_{\text{м}}$ – кількість матеріалу, що переробляється, кг/с;

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

t_k, t_n – кінцева та початкова температура полімеру, К.

$$G_m = \frac{Q}{3600} = \frac{76,2}{3600} = 0,0212 \text{ кг/с}$$

де Q – масова продуктивність екструдера, кг/год.

$$E_0 = G_b \cdot c_b (t_{b1} - t_{b2}) = 0,2543 \cdot 4200 \cdot (25 - 20) = 5340 \text{ Вт}$$

де c_b – питома теплоємність води, 4200 кДж/(кг. К);

$t_{b1} = 20^\circ\text{C}, t_{b2} = 25^\circ\text{C}$ - кінцева та початкова температури води,

До.

Кількість води G_b , що надходить на охолодження черв'яка, кг/с:

$$G_b = \rho F v = 1000 \cdot 0,0002543 \cdot 1 = 0,2543 \text{ кг/с}$$

де ρ – щільність води, кг/м³

F – площа поперечного перерізу, м²

v – швидкість течії води, м/с.

$$F = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,018^2}{4} = 0,0002543 \text{ м}^2$$

де d – діаметр трубки у тілі черв'яка, м.

$$E_n = F_k \alpha (t_n - t_c) = 1,38 \cdot 0,00988 \cdot (22 - 20) = 2,73 \cdot 10^{-2} \text{ Вт}$$

$$F_k = \pi d_k L_k = 3,14 \cdot 0,18 \cdot 2,445 = 1,38 \text{ м}^2$$

$$\alpha = (9,74 + 0,07 \cdot \Delta t) \cdot 10^{-3} = (9,74 + 0,07 \cdot 2) \cdot 10^{-3} = 9,88 \text{ кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

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

$$L_k = L$$

де F_k - площа зовнішньої поверхні корпусу у екструдера;

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

t_n – температура зовнішньої поверхні ізольованого корпусу; °С;

t_c – температура довкілля, °С;

d_k – діаметр корпусу із ізоляцією, м;

L_k - довжина корпусу, м

$$\begin{aligned}
E_{\text{ш}} &= \left(\frac{\pi^3 D^3 \eta_1 L}{h} + \frac{QP}{\cos^2 \varphi} + \frac{\pi^2 D^2 n^2 \eta_2 e L}{\delta \tan \varphi} \right) 9,8 \cdot 10^{-10} = \\
&= \left(\frac{3,14^3 \cdot 0,09^3 \cdot 2,4 \cdot 10^3 \cdot 2,445}{2,8 \cdot 10^{-3}} + \frac{76,2 \cdot 50 \cdot 10^6}{\cos^2 17,67^\circ} \right. \\
&\quad \left. + \frac{3,14^2 \cdot 0,09^2 \cdot 0,82^2 \cdot 2,5 \cdot 10^2 \cdot 10 \cdot 2,445}{0,22 \cdot 10^{-3} \cdot \tan 17,67^\circ} \right) \\
&\quad \cdot 9,8 \cdot 10^{-10} = 25,7 \text{ Вт}
\end{aligned}$$

де D - Діаметр черв'яка, см;

n – частота обертання черв'яка, про/с;

P – тиск у циліндрі, 50 МПа;

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

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

φ – кут підйому гвинтової нарізки черв'яка, град;

e – ширина гребеня витка.

δ – величина зазору між гребенем черв'яка та циліндром.

6 РОЗРАХУНОК МОДЕРНІЗАЦІЇ

6.1 3D-моделювання модернізованого черв'яка та його подальший розрахунок в системі ANSYS

У ході роботи були проведені розрахунки та моделювання модернізованого та базового черв'яків екструдера за допомогою програмного забезпечення ANSYS[11] та 3D моделювання. Основна мета цих досліджень полягала у визначенні запасу міцності та аналізі деформацій і напружень у конструкції черв'яка під дією робочих навантажень.

Матеріал деталі: сталь 40XH2MA

Спочатку був створений 3D-модель черв'яка, яка імпортувалася в ANSYS для подальшого аналізу (Рис. 6.1). Використовуючи цю модель, було побудовано сітку, що дозволило провести точні розрахунки напружень і деформацій.

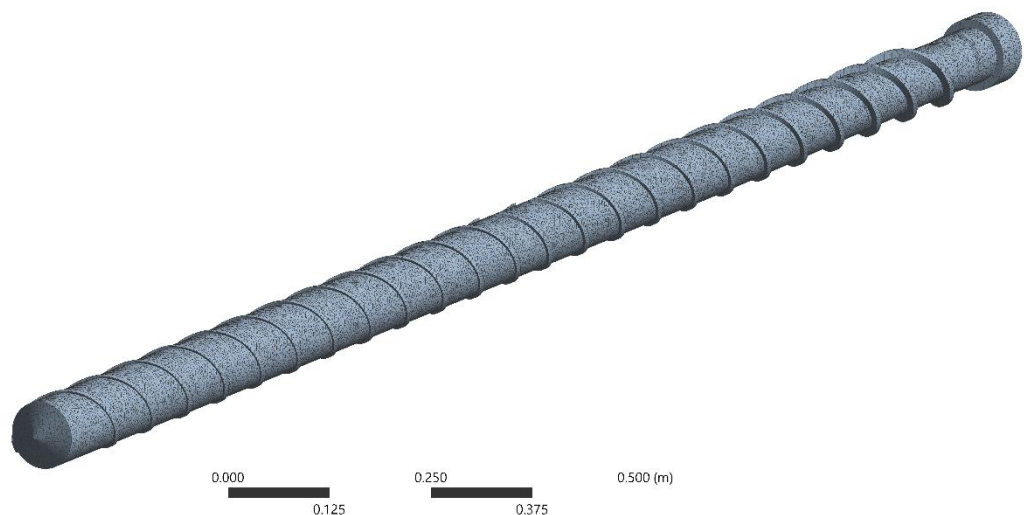
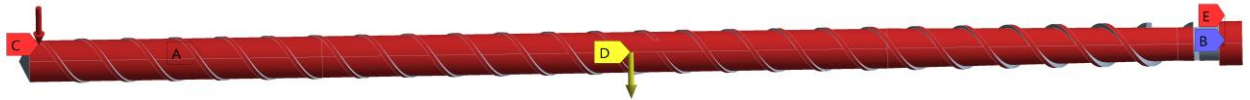


Рисунок 6.1 – Створення сітки на основі імпортованого 3D об'єкта

Зокрема, були визначені:

- Закріплення та прикладенні навантаження (Рис 6.2)

- Еквівалентні напруження (Рис. 6.3) у різних ділянках черв'яка, які допомогли оцінити максимальні робочі напруження, що виникають під час експлуатації;
- Деформації в напрямку дії навантаження (Рис. 6.4), що показали, як змінюється форма черв'яка під впливом зовнішньої сил;

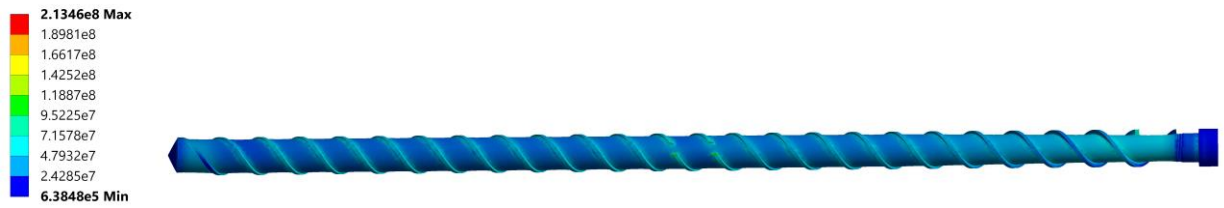


- A** Frictionless Support
- B** Cylindrical Support: 0. m
- C** Pressure: 4.e+007 Pa
- D** Standard Earth Gravity: 9.8066 m/s²
- E** Moment: 790. N·m

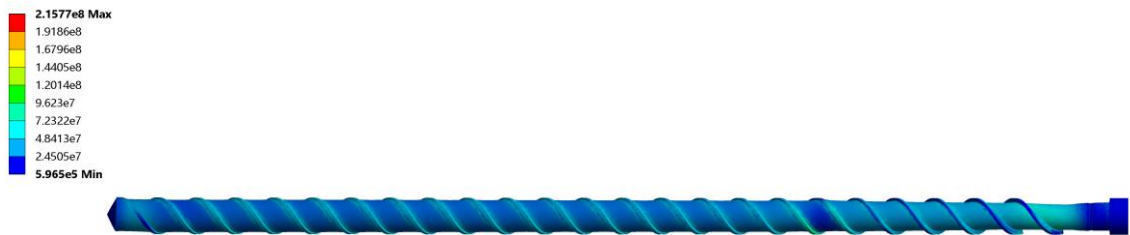
Рисунок 6.2 – Закріплення та прикладенні навантаження

В якості сил, які діють на конструкцію, використовувалися:

- Закріплення без тертя черв'яка в корпусі;
- Циліндричне закріплення;
- Тиск матеріалу; 40 МПа
- Гравітаційна сила конструкції; 9.8066 м/с²
- Момент сили; 790 Н·м



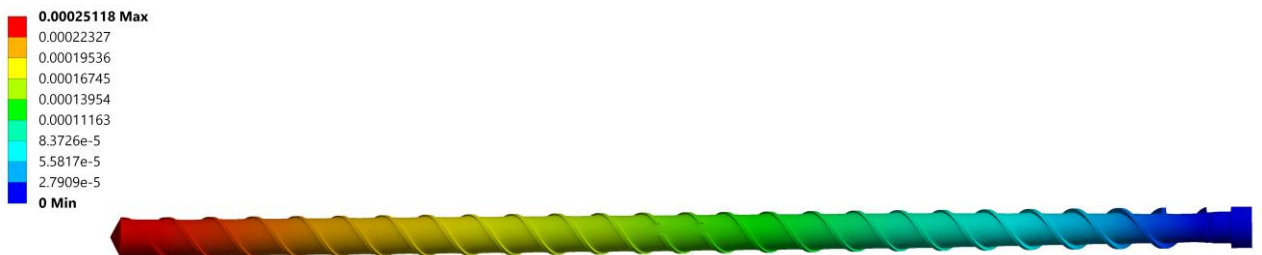
a



б

Рисунок 6.3 – Еквівалентні напруження черв'яка по Мізесу, Па

(*a*) модернізованої та (*б*) базової конструкції.



a



б

Рисунок 6.4 – Деформації в напрямку дії деформації, мм

(а) модернізованої та (б) базової конструкції.

Розрахуємо коефіцієнт запасу міцності базової конструкції

$$n = \frac{\sigma_{\text{п}}}{\sigma_{\text{н}}} = \frac{880}{213} = 4,13$$

Розрахуємо коефіцієнт запасу міцності модернізованої конструкції

$$n = \frac{\sigma_{\text{п}}}{\sigma_{\text{н}}} = \frac{880}{215} = 4,09$$

Коефіцієнт запасу міцності модернізованої конструкції на приблизно 0.97% менший за коефіцієнт запасу міцності базової конструкції. Це незначна різниця, яка, швидше за все, не суттєво впливає на загальну надійність конструкції.

Результати аналізу продемонстрували, що запас міцності модернізованого черв'яка становить 4,09, що є допустимим і свідчить про здатність конструкції витримувати робочі навантаження без руйнування. Цей показник підтверджує, що проведені модифікації черв'яка були успішними і покращили його міцнісні характеристики.

Завдяки цим розрахункам та моделюванню вдалося не лише підтвердити надійність модернізованого черв'яка, але й оптимізувати його конструкцію для підвищення ефективності роботи екструдера.

Отримані дані стали основою для впровадження нової версії черв'яка у виробництво, що забезпечить його довговічність та стабільність роботи в умовах інтенсивної експлуатації.

7 ОХОРОНА ПРАЦІ

Закон України «Про охорону праці» був прийнятий 15 жовтня 1992 року.

Дія цього закону поширюється на підприємства всіх форм власності та на всіх працюючих громадян цієї країни.

Закон України «Про охорону праці» На встановлює пріоритет життя і здоров'я працівників, комплексне вирішення питань планування праці та соціального захисту працівників, які постраждали внаслідок нещасних випадків.

Закон встановлює нормативний документ, вимоги якого відповідають міжнародним стандартам і правилам.

Поліпшення умов праці та підвищення безпеки впливають на результати виробництва, продуктивність праці, якість і собівартість продукції, що випускається.

Площа приміщення:

$$S_{\Pi} = 85 \cdot 32 = 2720 \text{ м}^2$$

Характеристика виробничих шкідливостей і небезпек

Шкідливими і небезпечними виробничими факторами є:

1. Параметри повітря робочої зони;
2. Виробничий шум, створюваний електродвигунами, вентиляторами;
3. Можливість виникнення пожежі;
4. Виробниче освітлення;
5. Наявність елементів нагрітих до високих температур;

7.1 Повітря робочої зони

Загальнообмінна вентиляція в операторській встановлена за допомогою механічної витяжки для приточування повітря. Скрубер фільтрує вхідне повітря від пилу. Вентиляція приточування в цій системі подається в приміщення, а витяжка віддаляється. Приток повітря надходить у робочу зону, а витяжка надходить з верхньої зони ділянки.

Завдяки цьому прилади працюють таким чином, щоб концентрація шкідливих речовин і запиленого повітря в зоні обслуговування не перевищувала санітарних норм.

У цеху також є система опалення та кондиціонування повітря.

У виробничому приміщенні наступні параметри повітря (згідно ДСН 3.3.6.042-99):

- температура повітря в робочій зоні в холодний період року складає: 21-24°C – допустима і 20-22°C – фактична, а в теплий період: 20-24°C та 21-23°C відповідно; відносна вологість складає 38-55%; швидкість руху повітря – 0,3 м/с. Гранично допустима концентрація пилу 6 мг/м³ – допустима, 2 мг/ м³ – фактична.

7.2 Виробничий шум

На підприємстві, де встановлена обертова піч, джерела шуму включають: електродвигуни привода; редуктори; зубчасті передачі, опорні ролики, шум підшипників, вентилятори[12].

Рівень звуку складає 103 дБА під час роботи пристрою, а нормативне значення згідно ДСН 3.3.6.037-99 складає 80 дБА. Таким чином, були прийняті наступні заходи: застосовуються амортизатори (20 дБА).

Використовуємо змащення -10 дБА для всіх рухомих частин машини; застосовуємо балансування обертових частин машини.

Торсіон має в 1,5 рази більшу енергоємність, ніж пружини, тому він служить амортизатором.

Рівень звуку при експлуатації пристрою в робочий час складає 65 дБА, а нормативне значення згідно ДСН 3.3.6.037-99.

Коли оператор працює поза робочим місцем, навушники використовуються для захисту його органів слуху. Якісні моделі таких навушників: *Moldex M1 6100*, *JSP Sonis Compact AEB030-0CY-000*

7.3 Пожежна безпека

Серед найбільш ймовірних причин пожежі - несправність електрообладнання, коротке замикання струму і навантаження на силовий кабель, займання ізоляції електропроводки, займання сировини з поліетилену високої щільності і неправильне розташування.

Згідно ДСТУ Б В.1.1-36:2016, камера спроектованої машини для лиття під тиском містить в зоні займисті речовини класу П–Іа (ПУЕ), що означає, що вона відноситься до категорії займистих речовин В. згідно ДБН В.1.1-7:2016, будівля відноситься до першого ступеня вогнестійкості.

Наступні заходи можуть запобігти поширенню пожежі: дотримання технічних правил і стандартів експлуатації; обмеження використання відкритого вогню; своєчасне навчання персоналу техніці безпеки; куріння тільки в спеціально відведених місцях; організація кампаній по забезпеченню пожежної безпеки; наявність систем сигналізації, зокрема, засобів оперативного зв'язку з електричними пожежна сигналізація (ЕПС) і пожежна безпека[13].

Вогнегасник вуглекислотний ОУ - 5 (8 шт.) і порошковий ОП-10 (4 шт.) застосовується для гасіння невеликих вогнищ загоряння шляхом відключення і включення електрообладнання (напругою до 1000 В).

У приміщенні є пожежний гідрант і тепловий датчик, який спрацьовує, коли температура перевищує задану межу. Установка нуля захищає від статичного навантаження.

Порошковий вогнегасник ДСТУ 3105 Вексон-АВС 50 ТУ 2149-028-10968286 є основним засобом для гасіння пожежі. Вони складаються з 10 вогнегасників "САМ-6", "САМ-9", 5 ящиків з піском, засобів пожежогасіння (стаціонарних і ручних) та 4 пожежних гідрантів.

7.4 Освітлення на виробництві

Згідно стандарту ДБН В.2.5.28-2018 для нормальної роботи персоналу передбачена сумісна робота освітлення. Це означає, що штучне освітлення доповнює природне освітлення і освітлює приміщення, коли природне освітлення відсутнє або його недостатньо. У зовнішніх стінах є світлові отвори, тому природне освітлення буде по сторонам закладу.

Інструктаж по роботі і діям в надзвичайних ситуаціях є обов'язковим.

Робоче освітлення передбачено для загального освітлення площі робочої зони цеху.

Аварійне освітлення призначене для забезпечення мінімальної освітленості виробничих приміщень у разі раптового відключення робочого освітлення. В результаті такого відключення аварійне освітлення може привести до перебоїв в нормальному обслуговуванні обладнання і механізмів, тривалих перерв в технічних процесах і т.д.

Прилади для загального та місцевого освітлення відповідають стандарту ДБН В. 2.5.28-2018. щодо освітлення зони встановлення робочої зони

Ми вибираємо світильник DRL-250 потужністю 130 Вт з $F=9600$ лм при V розряді зорових (понад 3 мм до 10 мм) робіт. Встановлюємо 110 світильників у приміщенні, що дасть $E_{ef} = 190$ лк. Для цього типу роботи мінімальна освітленість E_{min} становить 150 лк. Зважаючи на те, що $E_{ef} > E_{min}$, приміщення відповідає вимогам ДБН В.2.5.28-2018.

7.5 Небезпека впливу елементів нагрітих до високих температур

Небезпечними елементами литьової машини є поверхні корпусу і пресформи, температура яких може досягати 2000 °С.

Наслідком дотику до нагрітих поверхонь можуть стати різноманітні травми та опіки. Щоб уникнути травм нагріті елементи лінії закриваються спеціальними кожухами і маркіруються попереджувачими знаками про наявність високої температури. Попереджувачі знаки ставляться на поверхні, температура яких перевищує 44°С, що відповідає ДСП 173-96.

7.6 Висновки до розділу

Одна з найважливіших деталей одночерв'ячного екструдера – це черв'як.

Для покращення деталі ми зробили літературно-патентний огляд з модернізації самого черв'яка. Дане конструктивне рішення дозволяє забезпечити кращу та повну суміш твердих та рідких залишків на стінках(витках) черв'яка.

Було також обговорено, наскільки важливою є система охорони праці та використання захисних заходів для запобігання несприятливим наслідкам на робочому місці. Реалізація цих кроків може сприяти зниженню ризику травматизму на роботі та покращити умови роботи.

8 ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ

8.1 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

8.1.1 Опис та призначення деталі

При виконанні розділу "Технологія машинобудування" було розроблено технологічний процес виготовлення деталі "Фланець" (рис. 8.1), призначено послідовність виконання технологічних операцій виготовлення деталі.

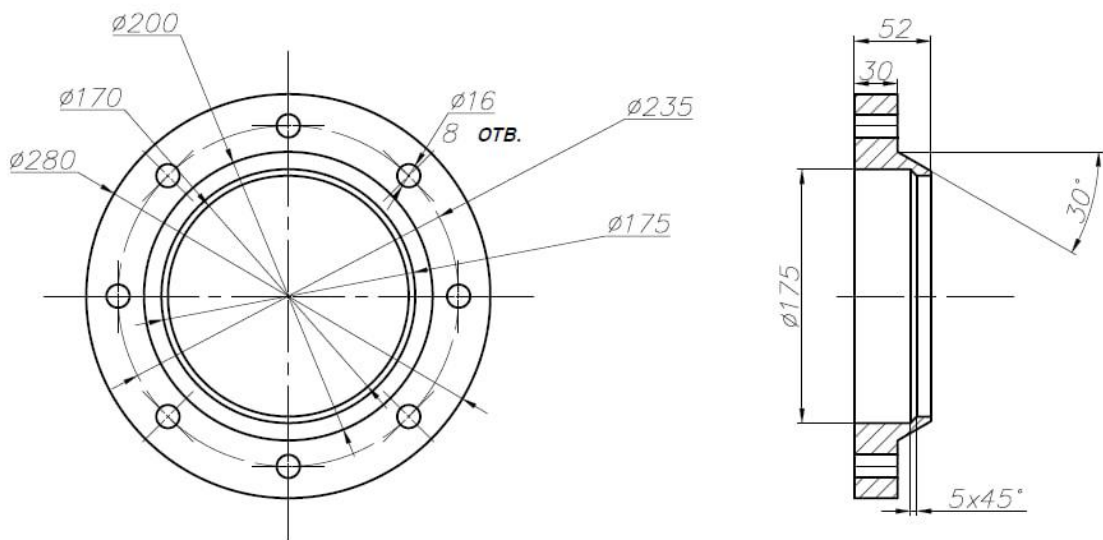


Рисунок 8.1 – Ескіз деталі "Фланець"

Фланець - це плоска кругла деталь з отворами для болтів і шпильок. Дана деталь для герметичного і міцного з'єднання трубопровідної арматури, труб між собою і до апаратів, машин та іншого обладнання, а також для з'єднання обертових частин, таких як вали, у складі фланцевих з'єднань.

Фланці забезпечують легкість монтажу і демонтажу, а також надійне та герметичне з'єднання[14].

Фланці широко застосовуються в нафтогазовій, хімічній, нафтохімічній, енергетичній, водопровідній та багатьох інших галузях промисловості. Вони забезпечують легке та надійне з'єднання труб, апаратів та інших компонентів, що дозволяє здійснювати швидке технічне обслуговування і ремонт.

8.1.2 Вибір заготовки для виготовлення деталі

Обраний матеріал для виготовлення деталі є сталь 45 ГОСТ 1055-88. Заготовку (рис. 8.2) отримуємо з круглого горечо-катоного прокату, прутки діаметром 280 мм і висотою 52 мм [15].

(Максимально допустимі відхилення $+0.8 \dots - 2$ мм.) ГОСТ 2590-2006.

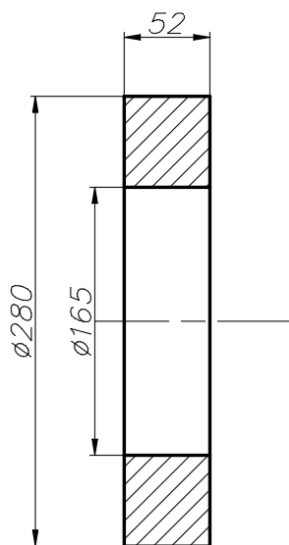


Рисунок 8.2 – Заготовка деталі "Фланець"

8.1.3 Технологічний процес виготовлення деталі

Технологічний процес виготовлення деталі "Фланець", що був розроблений у процесі виконання дипломного проекту, представлений у

маршрутній карті, картах ескізів та операційних картах

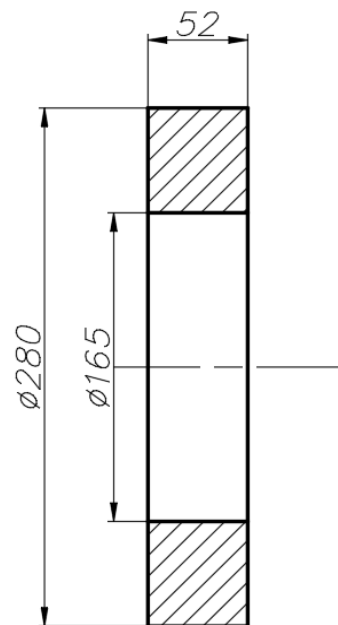
ГОСТ 3.1118-82 Форма 1

Дубл.																			
Взамін.																			
Підпис																			
Розробив	Резник О.О.					НТУУ "КПІ", ІХФ				ЛП01.117241.005-70									
Перевірив	Борицький С.О.																		
Н. контр.						Фланець								Н					
M01	Сталь ГОСТ 1055-85																		
	Код		ОВ	МД	ОМ	Н.роз	КВМ	код.загот	Профіль і розміри			КД	МЗ						
M02			K ₂	4,72	1		0,8					1							
A	Цех	Уч	Рм	Опер	Код, найменування операції				Позначення документа										
B	Код, найменування обладнання				См	Проф.	P	Уп	Kp	Коод	Он	Он	Куш	Тп.з	Т.шт				
A01				005	3608 Токарна				60141.00001; 20141.00001; 10ПН _{XX-XX}										
B02	38261.XXXX Токарно-револьверний верстат ІГ325					18632	3	10	1	1	1	50	1						
03																			
A04				010	3608 Токарна				60141.00002; 20141.00003; 10ПН _{XX-XX}										
B05	38261.XXXX Токарно-револьверний верстат ІГ325					18632	3	10	1	1	1	50	1						
06																			
A07				015	4233 Свердлильна				60141.00002; 20141.00003; 10ПН _{XX-XX}										
B08	38261.XXXX Свердлильний верстат НС-16					18632	3	10	1	1	1	50	1						
09																			
A10																			
B11																			
12																			
A13																			
B14																			
15																			
МК	Обробка різанням																		

ГОСТ 3.1105-84 Форма 7

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

Розробив	Резник О.О.			НТУУ "КПІ", ІХФ	ЛП01.117241.005-70	005			
Перевірів	Борицький С.О.								
Н. контр.				Фланець		Н			



KE

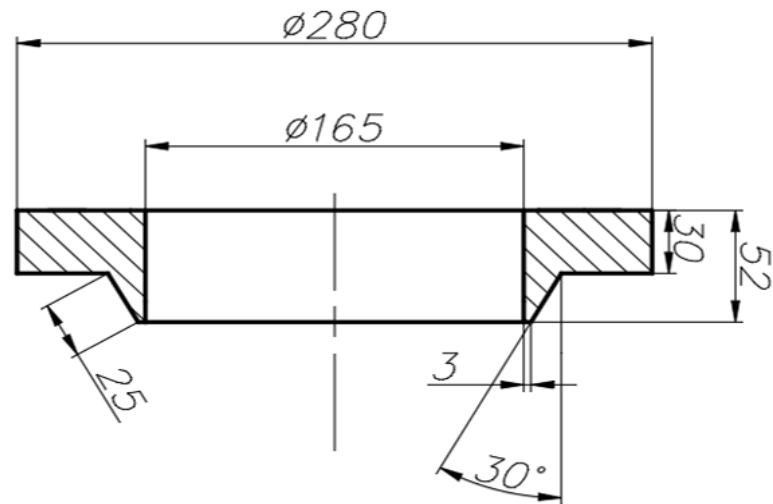
Обробка різанням

ГОСТ 3.1105-84 Форма 7

Дубл.			
Взамін.			
Підпис			

						Зм	Ар	№ док.	Підпис
									Дата

Розробив	Резник О.О.			НТУУ "КПІ", ІХФ	ЛП01.117241.005-70	010				
Перевірів	Борищук С.О.									
				Фланець				Н		
Н. контр.										



KE

Обробка різанням

<i>Зм</i>	<i>Ар</i>	<i>№ док.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>

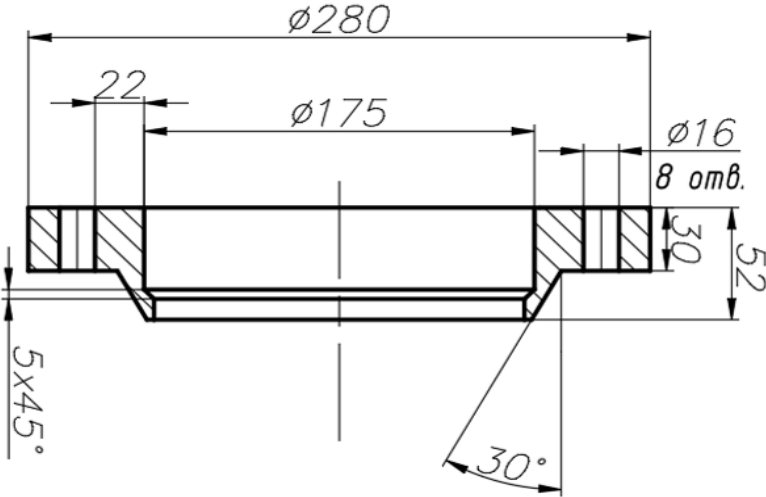
Technical drawing of a mechanical part, likely a flange or coupling, showing a cross-section. The part has an outer diameter of $\phi 175$ and an inner diameter of $\phi 165$. The total thickness is 52, with a central bore of 10. The part features a 5x45 chamfer on the outer edge and a 30mm wide section on the inner bore.

Обробка різанням

ГОСТ 3.1105-84 Форма 7

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

Розробив	Резник О.О.			НТУУ "КПІ", ІХФ	ЛП01.117241.005-70				020			
Перевірів	Борицький С.О.											
Н. контр.				Фланець						Н		



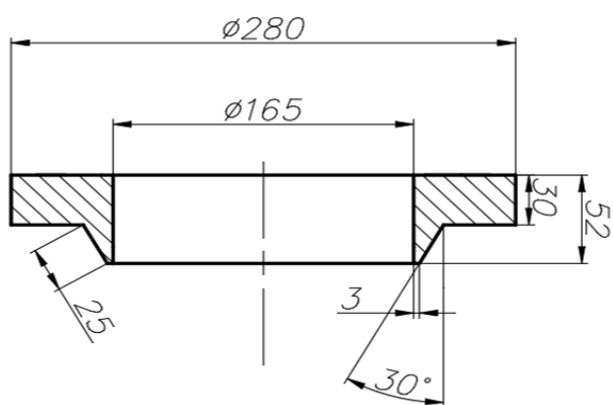
КЕ	Обробка різанням									
----	------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Дубл.			
Взамін.			
Підпис			

						Зм	Ар	№ док.	Підпис

Дата

Розробив	Резник О.О.			НТУУ "КПІ", ІХФ	ЛП01.117241.005-70								
Перевірів	Борищук С.О.												
				Фланець							Н		005
Н. контр.													



Назва операції				Матеріал		
Токарна				Сталь ГОСТ 1050-88		
Твердість	ОВ	МД	Профіль і розміри		МЗ	Коод
Обладнання, пристрій ЧПК				Позначення програми		
Токарний верстат 1Г325						
То	Тд	Тп.з	Тшт.	МОР		
				Емульсія		

Р		ПН	Дабо В	L	t	i	s	n	v
P01	1.Точити торець, витримуючи розміри під кутом 30°								
T02									
03									
O04									
T05									
T06									
P07									
08									
09									
O10									
OK	Обробка різанням								

ГОСТ 3.1404-86 Форма 2

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

Розробив	Резник О.О.			НТУУ "КПІ", ІХФ	ЛП01.117241.005-70								
Перевірів	Борицький С.О.												
Н. контр.				Фланець							Н		010

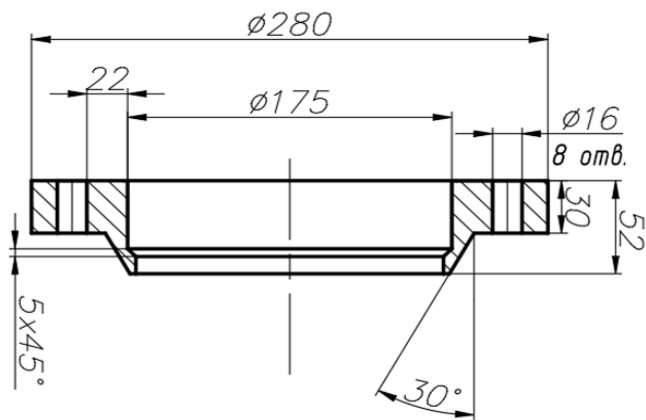
	Назва операції				Матеріал			
	Токарна				Сталь ГОСТ 1050-88			
	Твердість	ОВ	МД	Профіль і розміри		МЗ		Коод
	Обладнання, пристрій ЧПК				Позначення програми			
	Токарний верстат 1Г325							
	То	Тд	Тп.з	Тшт.	МОР			
					Емульсія			

P		ПН	Дабо В	L	t	i	s	n	v
P01	1.Розточити отвору Ø 165								
T02	2.Зняти фаску (5x45°)								
03	3.Свердлити отвір Ø165								
O04									
T05									
T06									
P07									
08									
09									
O10									
OK	Обробка різанням								

Дубл.			
Взамін.			
Підпис			

						Зм	Ар	№док.	Підпис
									Дата

Розробив	Резник О.О.			НТУУ "КПІ", ІХФ	ЛП01.117241.005-70				
Перевірів	Борицький С.О.								
				Фланець			Н		015
Н. контр.									



Назва операції				Матеріал		
Свердильна				Сталь ГОСТ 1050-88		
ОВ	МД	МД	Профіль і розміри		МЗ	Коод
Обладнання, пристрій ЧПК				Позначення програми		
Свердильний верстат НС-16						
То	Тд	Тп.з	Тшт.	МОР		
				Емульсія		

P		ПН	Дабо В	L	t	i	s	n	v
P01	1.Розточити 8 отворів Ø16								
T02	2.Свердління 8 отворів Ø16.								
O3									
O04									
T05									
T06									
P07									
O8									
O9									
O10									
OK	Обробка різанням								

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Було розроблено і виконано креслення основної машини – черв'ячного екструдера, усієї лінії виробництва труб, корпусу, фланця та гільзи. Особлива увага приділялася модернізації черв'яка екструдера, що включала розробку креслень модернізованої деталі та проведення відповідних розрахунків.

Був також проведений патентний огляд існуючих рішень для вдосконалення черв'яка екструдера, один з них ми обрали для ДП.

Також були виконані базові розрахунки: параметричні розрахунки, розрахунок черв'яка на міцність та тепловий розрахунок екструдера

За допомогою програмного забезпечення ANSYS були проведені детальні розрахунки, зокрема аналіз напружень і деформацій у конструкції черв'яка, що дозволило визначити запас міцності модернізованого черв'яка, який становить 4.13, що є допустимим і свідчить про надійність конструкції. Були розроблені плакати А1 формату які наглядно показують виконання 3D-моделі для числового розрахунку та результат моделювання модернізованої конструкції

Було також обговорено, наскільки важливою є система охорони праці та використання захисних заходів для запобігання несприятливим наслідкам на робочому місці. Реалізація цих кроків може сприяти зниженню ризику травматизму на роботі та покращити умови роботи.

Був виконаний розділ з технології машинобудування, були розроблені технології виготовлення заготовки, деталі.

Також були написані тези на всеукраїнську конференцію за темою "Лінія для виробництва труб з модернізацією екструдера" і виконана доповідь. Ці тези включають основні аспекти модернізації та аналізу екструзійного обладнання, що дозволяє поділитися отриманими результатами і досвідом з науковою спільнотою.

Всі виконані завдання в рамках дипломного проектування сприяли досягненню поставлених цілей, підтвердили правильність обраних рішень у проектуванні і модернізації екструдера, а також забезпечили отримання цінного практичного досвіду для подальшої професійної діяльності.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Сокольський О. Л., Сівецький В. І., Мікульонок І. О. Проектування формуючих пристроїв обладнання для переробки пластмас: навч. посіб. Київ: НТУУ «КПІ», 2014. 148 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/25307>
2. Основи проектування одночерв'ячних екструдерів: навч. посіб. / І. О. Мікульонок, О. Л. Сокольський, В. І. Сівецький, Л. Б. Радченко. Київ: НТУУ «КПІ», 2015. 200 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/25367>
3. Патент №US4733970A United States, МПК В29С 48/66, В29В 1/06. Extruder Worm. Lucien D.Y., заяв. 09.09.1985, опубл. 29.03.1988.
4. Патент №EP0046631A2, МПК В29F 3/02. Extruder Worm. Wheeler Norton Cooper Jr, Rahim Waseem, заяв. 08.07.1981, опубл. 03.03.1982.
5. Патент №CA2208739A1, МПК В29С 47/60. Extruder Worm. Jenkins Steven R., Hyun Kun S., заяв. 14.12.1995, опубл. 11.07.1996.
6. Патент №US4798473A United States, МПК В29В 1/06. Extruder Worm. Chistiaan J. Rauwendaal, заяв. 15.02.1985, опубл. 17.01.1989.
7. Патент №U2000909282 Ukraine, МПК В29С 47/60, В30В 11/22. Черв'як екструдера. Мікульонок І.О., заяв. 09.09.2009, опубл. 11.01.2010.
8. Патент №US0104093A United States, МПК В29С 47/64. Extruder Worm. Martin Wurtele., заяв. 28.03.2002, опубл. 05.06.2003.
9. Андреев І. А., Мікульонок І. О. Розрахунок, конструювання та надійність обладнання хімічних виробництв: Термінологічний словник. Київ: ІВЦ «Політехніка», 2002. 216 с.
10. 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. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/64996>
11. Ансіс : веб-сайт. URL: <https://www.ansys.com/> дата звернення (25.05.2024)

12. 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>
13. Державні сайти України : веб-сайт. URL: <https://te.dsp.gov.ua/ohorona-pratsi-na-pidpryyemstvi-shho-potribno-znaty/> дата звернення (24.05.2024)
14. Верховна Рада України. Законодавство України : веб-сайт. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text> дата звернення (22.05.2024)
15. Щербина В.Ю., Швачко Д.Г., Гур'єва Л.Н. Технологія виробництва матеріалів і виробів будівельного призначення [Електронний ресурс] / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2024. – 188с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/66516>
16. Щербина В.Ю., Гондлях О.В., Сівецький В.І. Інжиніринг інноваційних технологій та обладнання. Механічне обладнання для виробництва в'язучих будівельних матеріалів [Електронний ресурс] / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2022. – 147 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/45720>
17. Горбатюк Є.О., Мазур М.П., Зенкін А.С., Каразей В.Д. Технологія машинобудування: Навчальний посібник. Львів: “Новий Світ – 2000”, 2009 – 358 с.
18. Технологія машинобудування: Посібник-довідник для виконання кваліфікаційних робіт: Навч. Посібник / І.І. Юрчишин та інші. – Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2009 -528 с.

ДОДАТКИ

Д.1 – Таблиця розглянутих патентів

№ п.п	Предмет пошуку	№ свідоцтва, МПК, країна, автор	Сутність заявки, технічного рішення і ціль його створення
1	Черв'як екструдера	US4733970A МПК B29C 48/66, B29B 1/06 Lucien D.Y.	Метою винаходу є вдосконалення конструкції черв'яка екструдера, що забезпечує регулювання висоти штифтів над поверхнею черв'яка для керування геометрією міжвиткового простору.
2	Черв'як екструдера	EP0046631A2 МПК B29F 3/02 Wheeler Norton Cooper Jr, Rahim Waseem	Метою винаходу є створення черв'яка екструдера зі змінною геометрією гвинтового виступу вздовж його довжини для поліпшення процесу плавлення та зменшення енергоспоживання і нагрівання матеріалу.
3	Черв'як екструдера	CA2208739A1 МПК B29C 47/60 Jenkins Steven R., Hyun Kun S.	Метою винаходу є конструкція черв'яка екструдера, яка забезпечує ефективне розділення рідкої і твердої фаз полімерного матеріалу в зоні плавлення для покращення процесу змішування.
4		US4798473A МПК B29B 1/06	Метою винаходу є створення черв'яка екструдера з покращеним змішуванням рідкої та твердої фаз за рахунок регулювання ширини

	Черв'як екструдера	Chistiaan J. Rauwendaal	каналів для твердої фази і розплаву на різних ділянках зони плавлення.
5	Черв'як екструдера	UA47082U МПК B29C 47/60, B30B 11/22. Мікульонок І.О.;	Метою винаходу є конструкція черв'яка, яка забезпечує повернення частини розплавленого полімеру з робочої сторони виступу на зворотню для перемішування з твердою фазою.
6	Черв'як екструдера	US0104093A1 МПК B29C 47/64 Martin Wurtele	Метою винаходу є створення черв'яка екструдера зі зміщеними ділянками гвинтового виступу.

[illegible]

[illegible]

Д.2 - КОД ПРОГРАМИ

(програма складена на мові програмування C++)

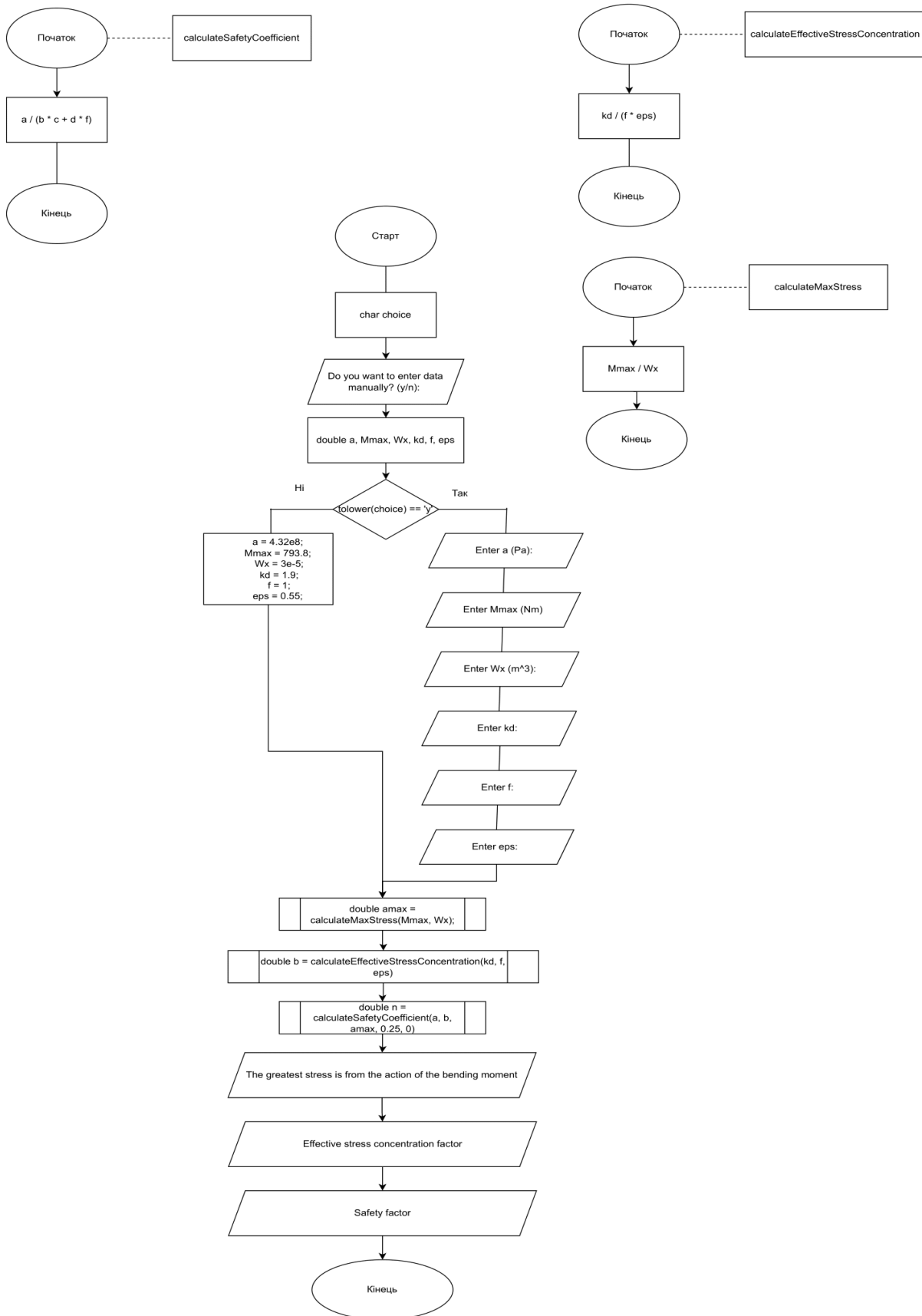
```
#include <iostream>
// Функція для розрахунку коефіцієнта запасу міцності
double calculateSafetyCoefficient(double a, double b, double c, double d, double f)
{
    return a / (b * c + d * f);
}
// Функція для розрахунку найбільшого напруження від дії згинального моменту
double calculateMaxStress(double Mmax, double Wx) {
    return Mmax / Wx;
}
// Функція для розрахунку ефективного коефіцієнта концентрації напружень
double calculateEffectiveStressConcentration(double kd, double f, double eps) {
    return kd / (f * eps);
}
int main() {
    char choice;
    std::cout << "Do you want to enter data manually? (y/n): ";
    std::cin >> choice;
    double a, Mmax, Wx, kd, f, eps;
    if (tolower(choice) == 'y') {
        // Введення даних вручну
        std::cout << "Enter a (Pa): ";
        std::cin >> a;
        std::cout << "Enter Mmax (Nm): ";
        std::cin >> Mmax;
        std::cout << "Enter Wx (m^3): ";
        std::cin >> Wx;
        std::cout << "Enter kd: ";
        std::cin >> kd;
        std::cout << "Enter f: ";
        std::cin >> f;
        std::cout << "Enter eps: ";
        std::cin >> eps;
    }
    else {
        // Використання вже наявних даних
        a = 4.32e8; // Па
        Mmax = 793.8; // Нм
    }
}
```

```

    Wx = 3e-5; // м^3
    kd = 1.9; // коефіцієнт концентрації напружень
    f = 1; // коефіцієнт якості поверхні деталі
    eps = 0.55; // коефіцієнт який враховує розмір перерізу деталі
}
// Розрахунок значень
double amax = calculateMaxStress(Mmax, Wx);
double b = calculateEffectiveStressConcentration(kd, f, eps);
double n = calculateSafetyCoefficient(a, b, amax, 0.25, 0);
// Виведення результатів
std::cout << "The greatest stress is from the action of the bending moment: " <<
amax << " Pa\n";
std::cout << "Effective stress concentration factor: " << b << "\n";
std::cout << "Safety factor: " << n << std::endl;
return 0;
}

```

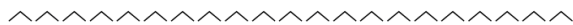
Д.3 – СХЕМА АЛГОРИТМУ ПРОГРАМИ



Д.4 – ТАБЛИЦЯ ІДЕНТИФІКАТОРІВ

Змінна	Опис	Значення	Розмірність
a	Допустиме напруження під час циклічного навантаження	$4.32 \cdot 10^8$	Па
Mmax	Максимальний згинальний момент	793,8	Нм
Wx	Момент інерції поперечного перерізу	$3 \cdot 10^{-5}$	м ³
Kd	Коефіцієнт концентрації напружень	1,9	безрозмірний
f	Коефіцієнт якості поверхні деталі	1	Безрозмірний
eps	Коефіцієнт, що враховує розмір перерізу деталі	0.55	Безрозмірний
Amax	Найбільше напруження від дії згинального моменту	$2.6 \cdot 10^7$	Па
b	Ефективний коефіцієнт концентрації напружень	3,64	безрозмірний
n	Коефіцієнт запасу міцності	4,56	Безрозмірний

СЕКЦІЯ ОБЛАДНАННЯ ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ І ПІДПРИЄМСТВ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ



Вдосконалення конструкції черв'яка одночерв'ячного екструдера

Резник О.О. студ., Олексишен В.О. PhD, ас., Витвицький В.М., PhD, ас.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Розглянуто модернізацію екструдера для виготовлення труб шляхом вдосконалення конструкції черв'яка. Запропонована нова конструкція черв'яка включає зони змішування та трансформації, а також зону розвантаження, що забезпечує більш ефективне та рівномірне пластифікування матеріалу. Основною інновацією є наявність прорізів у витках черв'яка, які дозволяють частині розплавленого матеріалу повертатися до сусідніх витків, забезпечуючи кращу однорідність та якість кінцевого продукту. Модернізація екструдера дозволяє знизити енергетичні витрати, підвищити продуктивність та мінімізувати ризик виникнення дефектів у готових трубах.

Ключові слова: екструдер, модернізація, черв'як, виготовлення труб, зона змішування та трансформації, зона розвантаження.

Вступ. У сучасному виробництві труб важливо забезпечити високу ефективність та якість продукції, що досягається завдяки постійному вдосконаленню технологічного обладнання [1]. Одним з ключових елементів у цьому процесі є екструдер [2-3]. У цій роботі розглядається модернізація екструдера, що передбачає вдосконалення конструкції черв'яка.

Основна частина. Основна ідея модернізації [4] полягає у введенні спеціальних зон змішування та трансформації, а також зон розвантаження, що забезпечує більш рівномірне і ефективне пластування матеріалу (Рис.1). Черв'як модернізованого екструдера має щонайменше один виток, розділений на послідовні зони, включаючи зону змішування та трансформації для пластифікації матеріалу та наступну зону розвантаження для його виведення. Важливим елементом конструкції є наявність прорізів у витках черв'яка, що дозволяє повертати частину масового потоку до сусіднього витка, забезпечуючи кращу однорідність маси та ефективність процесу.

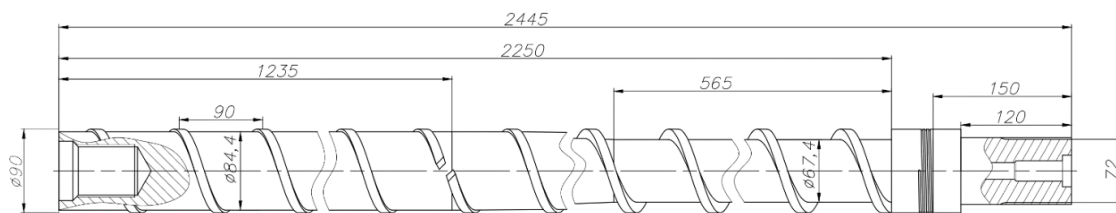


Рисунок 1 – Схема модернізованого черв'яка

Ця модернізація дозволяє не тільки підвищити продуктивність екструдера, але й покращити якість кінцевого продукту за рахунок більш ретельного змішування та однорідності матеріалу. Таким чином, запропонована конструкція шнека сприяє усуненню недоліків традиційних екструдерів, зберігаючи при цьому простоту структури та надійність роботи без втрати ефективності.

Конструктивні особливості модернізованого черв'яка:

– Шнек модернізованого екструдера має зону змішування та трансформації, в якій відбувається пластифікація матеріалу. В цій зоні встановлені спеціальні прорізи, що дозволяють частині розплавленого матеріалу повертатися до попереднього витка, забезпечуючи його повторне змішування з твердими частками.

– Зміна геометрії черв'яка в зоні розвантаження дозволяє зменшити опір потоку та забезпечити плавний вихід матеріалу, що мінімізує ризик виникнення дефектів у готових трубах.

– Прорізи в черв'яку розташовані так, щоб забезпечити безперервний потік розплавленого матеріалу між сусідніми витками. Це дозволяє досягти ефекту каскадного змішування, що сприяє кращій однорідності маси.

– Осьове зміщення витків у зоні прорізів створює умови для більш ефективного розділення та повернення розплавленого матеріалу без втрати продуктивності екструдера.

Переваги модернізованого черв'яка [4]:

– Підвищена однорідність матеріалу: Завдяки повторному змішуванню та ефективному теплообміну в зоні трансформації, якість кінцевого продукту значно покращується.

– Зменшення енергетичних витрат: Оптимізація конструкції черв'яка дозволяє знизити енергоспоживання екструдера, що робить процес більш економічно вигідним.

– Зниження ризику виникнення дефектів: Плавний вихід матеріалу в зоні розвантаження мінімізує ймовірність виникнення дефектів у готових трубах, таких як тріщини чи порожнини.

Принцип роботи екструдера:

Черв'ячний екструдер працює за наступним принципом. Полімерні гранули завантажуються у бункер, звідки вони потрапляють у воронку завантажувальну. Далі матеріал надходить до черв'яка, який обертається в середині корпусу. При обертанні черв'як транспортує гранули вздовж циліндра, де вони поступово нагріваються завдяки нагрівачам, встановленим вздовж корпусу. Матеріал плавиться і перетворюється на в'язку масу, яка під дією черв'яка проштовхується вперед. Після проходження через черв'як, розплавлений полімер надходить до екструзійної головки, де йому надається необхідна форма труби. Охолодження матеріалу відбувається за допомогою системи охолодження, яка забезпечує стабільність розмірів і форми готового виробу.

Висновки. Модернізація екструдера шляхом вдосконалення конструкції черв'яка демонструє значні переваги у виробництві труб. Запропоновані зміни дозволяють підвищити однорідність та якість кінцевого продукту, знизити енергетичні витрати та мінімізувати ризики виникнення дефектів. Ці удосконалення не тільки підвищують ефективність виробничого процесу, але й сприяють економічній вигідності та конкурентоспроможності підприємства на ринку.

Таким чином, впровадження модернізованого черв'яка у виробничі лінії є важливим кроком до підвищення якості та продуктивності в індустрії виготовлення труб, забезпечуючи при цьому стійке зростання та розвиток галузі.

Перелік посилань

1. Мікульонюк І. О. Технологічні основи перероблення полімерних матеріалів: навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 293 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/35084>
2. Сокольський О. Л., Сівецький В. І., Мікульонюк І. О. Проектування формуючих пристроїв обладнання для переробки пластмас: навч. посіб. Київ: НТУУ «КПІ», 2014. 148 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/25307>
3. Основи проектування одночерв'ячних екструдерів: навч. посіб. / І. О. Мікульонюк, О. Л. Сокольський, В. І. Сівецький, Л. Б. Радченко. Київ: НТУУ «КПІ», 2015. 200 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/25367>
4. Патент №US0104093A United States, МПК В29С 47/64. Extruder Worm. Martin Wurtele., заяв. 28.03.2002, опубл. 05.06.2003.