

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

До захисту допущено

Завідувач кафедри

_____Олександр Сокольський

«_____» _____ 2026 р.

Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра

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

зі спеціальності: 133 «Галузеве машинобудування»

на тему: Екструдер для виробництва полімерних труб з модернізацією черв'яка

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

Толкачов Данило Антонович
(прізвище, ім'я, по батькові)

_____ (підпис)

Керівник проєкту доц., к.т.н. Шилович Тетяна Борисівна

_____ (вчена ступінь, звання, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Консультанти з питань

МОДЕРНІЗАЦІЇ:

д.т.н.,
проф.

Щербина В.Ю.

ТЕХ. МАШ.:

ст. викл.

Борщик С.О.

ОХОРОНИ ПРАЦІ:

ст. викл.

Ковтун А.І.

РЕЦЕНЗЕНТ

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

Студент _____

Київ 2026 рік

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

Факультет автоматизації, промислової інженерії та екології

Кафедра хімічного, полімерного і силікатного машинобудування

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – (133 *Галузеве машинобудування*)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ **Олександр Сокольський**

«___» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Толкачову Данилу Антоновичу

1. Тема проєкту «Екструдер для виробництва полімерних труб з модернізацією черв'яка», керівник проєкту Шилович Тетяна Борисівна доцент, затверджені наказом по університету від «19».05. 2026 р. № 1317-с
2. Термін подання студентом проєкту 12.06.2026 р.
3. Вихідні дані до проєкту

Машина черв'ячний екструдер 63х25, довжина $L = 3500$ мм, маса $M = 3400$ кг, діаметр черв'яка $d = 63$ мм, продуктивність до 120 кг/год, потужність $N = 72$ кВт

4. Зміст пояснювальної записки

Пояснювальна записка складається з таких текстових розділів як, «Вступ», «Призначення та галузь застосування екструдера», «Технічної характеристики екструдера», «Опис базової конструкції, її основних частин та принцип дії», «Літературний та патентний огляд», «Розрахунки», «Охорона праці та навколишнього середовища», «Технологія машинобудування», «Загальні висновки», «Перелік посилань», «Додатки».

5. Перелік графічного матеріалу

1 Загальний вид екструдера; 2 Технологія виробництва труб; 3 Креслення черв'яка; 4 Креслення машини після модернізації; 5 Креслення модернізованого черв'яка; 6 Плакат збірки 3D моделі модернізованого черв'яка; 7 Плакат числових розрахунків немодернізованого та модернізованого черв'яка;

6. Консультанти розділів проекту*

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

7. Дата видачі завдання: 18.05.26.....

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Вступ	18.05.26 – 20.05.26	
2	Призначення та галузь застосування екструдера	21.05.26 – 22.05.26	
3	Технічної характеристики екструдера	23.05.26 – 27.05.26	
4	Опис базової конструкції, її основних частин та принцип дії	28.05.26 – 30.05.26	
5	Літературний та патентний огляд	31.05.26- 02.06.26	
6	Розрахунки	03.06.26 – 05.06.26	
7	Охорона праці та навколишнього середовища	06.06.26 – 07.06.26	
8	Технологія машинобудування	07.06.26 – 08.06.26	
9	Загальні висновки	08.06.26 – 09.06.26	

Студент

Данило ТОЛКАЧОВ

Керівник проекту

Тетяна ШИЛОВИЧ

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ГАЛУЗЬ ЗАСТОСУВАННЯ ЕКСТРУДЕРА	10
1.1 Галузі застосування екструдерів	10
1.2 Класифікація екструдерів	11
1.3 Схема технології виготовлення труби	12
РОЗДІЛ 2. ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕКСТРУДЕРА	13
РОЗДІЛ 3. ОПИС БАЗОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ, ЇЇ ОСНОВНИХ ЧАСТИН ТА ПРИНЦИП ДІЇ	14
РОЗДІЛ 4. ЛІТЕРАТУРНИЙ ТА ПАТЕНТНИЙ ОГЛЯД	15
4.1 Огляд існуючих рішень	15
4.2 Обґрунтування запропонованої модернізації	23
РОЗДІЛ 5. РОЗРАХУНКИ	25
5.1 Розрахунок геометрії черв'яка і частоти його обертання	25
5.2 Кінематичні розрахунки	27
5.3 Потужність привода екструдера	29
5.4 Проектування модернізованого черв'яка екструдера	30
5.5 Числове моделювання модернізованого черв'яка	35
5.6 Результати числового моделювання	41
5.7 Розрахунки за допомогою C++	42
РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРИДОВИЩА	43
6.1 Вступ	43
6.2 Пожежна безпека	43
6.3 Теплові чинники	44
6.4 Механічна безпека	44
6.5 Електрична безпека	45
6.6 Виробничий шум та вібрація	46
6.7 Вимоги до повітря	47
РОЗДІЛ 7. ТЕХНОЛОГІЯ МАШИННОБУДУВАННЯ	49
7.1 Опис та призначення деталі	49
7.2 Розробка технологічного процесу виготовлення деталі	50
7.3 Призначення пристосування для обробки деталі	60
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	61
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	62
ДОДАТКИ	63

					ЛП22.167246.01 70 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Толкачов Д.А.			Екструдер для виробництва полімерних труб з модернізацією черв'яка	Літ.	Арк.	Архив
Перевір.		Шилович Т.Б.					4	65
						КПІ ім. Ігоря Сікорського		
Н. Контр.								
Затверд.		Сокольський О.Л.						

РЕФЕРАТ

Дипломний проєкт освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр» за напрямком підготовки 133 – Галузеве машинобудування на тему: «Екструдер для виробництва полімерних труб з модернізацією черв'яка». Об'єм проєкту складає 65 сторінку з використанням 11 таблиці, 36 рисунків і 29 посилань. Робота складається зі вступу, 7 розділів, висновків, переліку посилань та додатків.

Дипломний проєкт присвячений модернізації черв'ячного екструдера 63×25, призначеного для виробництва трубних виробів діаметром 100 мм із полівінілхлориду.

Метою роботи є модернізація екструдера шляхом переходу від суцільного черв'яка до двосекційної конструкції з незалежним приводом кожної секції. Таке рішення забезпечує розподіл осьових зусиль і крутних моментів між секціями, знижує навантаження на хвостову частину черв'яка та розширює технологічні можливості обладнання, зокрема при переробці вторинної полімерної сировини з підвищеним ступенем розпушеності.

У роботі розглянуто призначення та галузі застосування черв'ячних екструдерів, наведено їх класифікацію, описано технологічну схему виробництва труб. Визначено технічні характеристики базової машини. Також було проведено патентний огляд за допомогою якого було ознайомлення з можливими модернізаціями екструдерів. Обрано модернізацію та проведено розрахунки для доцільності її.

Розроблено креслення модернізованого екструдера для виробництва полімерних труб. Побудова 3Д моделі модернізованого черв'яка та його розрахунок. Розглянуто питання охорони праці та навколишнього середовища: проаналізовано пожежну небезпеку виробничого приміщення, теплові та механічні чинники небезпеки, вимоги до електробезпеки та акустичного середовища.

Ключові слова: ЕКСТРУДЕР, ЧЕРВ'ЯК, ЕКСТРУЗИЯ, ПОЛІВІНІЛХЛОРИД, ТРУБНІ ВИРОБИ, МОДЕРНІЗАЦІЯ, ДВОСЕКЦІЙНИЙ ЧЕРВ'ЯК, ГЕОМЕТРІЯ ЧЕРВ'ЯКА, ПРОДУКТИВНІСТЬ, ЕКСТРУЗІЙНА ГОЛОВКА, SOLIDWORKS, ANSYS.

ABSTRACT

Bachelor's degree thesis in the field of study 133 – Industrial Machinery Engineering on the topic: "Extruder for the Production of Polymer Pipes with Screw Modernization". The project comprises 65 pages, including 11 tables, 36 figures, and 29 references. The work consists of an introduction, 7 chapters, conclusions, a list of references, and appendices.

The thesis is dedicated to the modernization of the screw extruder 63×25, designed for the production of pipe products with a diameter of 100 mm from polyvinyl chloride.

The aim of the work is to modernize the extruder by transitioning from a solid screw to a two-section design with an independent drive for each section. This solution provides distribution of axial forces and torques between the sections, reduces the load on the tail part of the screw, and expands the technological capabilities of the equipment, particularly when processing secondary polymer raw materials with an increased degree of looseness.

The thesis examines the purpose and fields of application of screw extruders, presents their classification, and describes the technological scheme of pipe production. The technical characteristics of the base machine are defined. A patent review was also conducted, through which possible modernization approaches for extruders were explored. A modernization option was selected and calculations were performed to justify its feasibility.

Drawings of the modernized extruder for polymer pipe production were developed. A 3D model of the modernized screw was constructed and its calculations were carried out. Issues of occupational health and environmental safety were addressed: the fire hazard of the production facility was analyzed, along with thermal and mechanical hazard factors, electrical safety requirements, and acoustic environment standards.

Keywords: EXTRUDER, SCREW, EXTRUSION, POLYVINYL CHLORIDE, PIPE PRODUCTS, MODERNIZATION, TWO-SECTION SCREW, SCREW GEOMETRY, PRODUCTIVITY, EXTRUSION DIE, SOLIDWORKS, ANSYS.

ПЕРЕЛІК ПОЗНАЧЕНЬ

D – зовнішній діаметр черв'яка, мм;

L – довжина черв'яка, мм;

σ_t – границя текучості, МПа;

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

α – коефіцієнт прямого потоку, мм³;

β – коефіцієнт зворотного потоку, мм³;

γ – коефіцієнт потоку витoku, мм³;

λ – число заходів гвинтової нарізки, мм;

t – крок гвинтової нарізки черв'яка, мм;

λ – число заходів гвинтової нарізки, мм;

e – товщина гребеня нарізки черв'яка, мм;

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

D – зовнішній діаметр черв'яка, мм;

δ – висота зазору між черв'яком та корпусом, мм;

h_2 – глибина гвинтового каналу на початку зони стиснення, мм;

h_3 – глибина каналу в зоні дозування, мм;

d_3 – діаметр вала черв'яка в зоні дозування, мм;

d_1 – діаметр вала черв'яка під завантажувальною воронкою, мм;

Скорочення

ПЗ – пояснювальна записка;

ПВХ – полівінілхлорид;

ВСТУП

Сучасне виробництво полімерних труб висуває дедалі вищі вимоги до технологічного обладнання. Черв'ячний екструдер, є основним апаратом у цьому процесі. Зростання обсягів переробки полімерної сировини, зокрема вторинних полімерів, а також підвищені вимоги до якості та геометричної точності трубних виробів – вимагає постійного вдосконалення конструкцій екструзійного обладнання.

Традиційні конструкції черв'ячних екструдерів мають певні недоліки, що впливає на ефективність роботи. У суцільному черв'яку звичайної конструкції зазвичай навантаження зосереджуються в хвостовій частині. Такі навантаження призводить до прискореного зношування та ускладнює переробку сировини з нестандартними властивостями. Саме тому виникає потреба в модернізації існуючої конструкції з метою усунення цих недоліків.

Метою даного дипломного проекту є модернізація черв'ячного екструдера марки 63×25, призначеного для виробництва трубних виробів діаметром 100 мм із полівінілхлориду (ПВХ). Запропонована модернізація передбачає перехід від суцільного черв'яка до двосекційної конструкції з незалежним приводом кожної секції, що дає змогу рівномірно розподілити механічні навантаження, зменшити знос вузлів машини та розширити технологічні можливості обладнання.

Для досягнення поставленої мети вирішувались такі завдання:

- аналіз призначення, класифікації та галузей застосування черв'ячних екструдерів;
- вивчення базової конструкції екструдера 63×25, її основних вузлів та принципу роботи;
- проведення патентно-літературного огляду з метою обґрунтування запропонованого технічного рішення;
- виконання інженерних розрахунків геометрії черв'яка, кінематичних параметрів та потужності привода;

- проектування модернізованого черв'яка та його числове моделювання у середовищах SolidWorks і ANSYS;
- розробка технологічного маршруту виготовлення фланця корпусу;
- аналіз питань охорони праці та екологічної безпеки виробництва.

Об'єктом дослідження є черв'ячний екструдер для виробництва полімерних труб. Практичне значення роботи полягає в підвищенні ресурсу машини, зниженні пікових механічних навантажень на її вузли та розширенні номенклатури перероблюваної полімерної сировини без суттєвого ускладнення конструкції обладнання.

РОЗДІЛ 1. ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ГАЛУЗЬ ЗАСТОСУВАННЯ ЕКСТРУДЕРА

Екструдер – це промислова машина, призначена для формування виробів із пластичних матеріалів шляхом їх безперервного продавлювання через профілюючий інструмент – екструзійну головку.

Екструзія є безперервним технологічним процесом, який полягає у продавлюванні матеріалу з високою в'язкістю у пластифікованому стані крізь формувальне оснащення задля отримання виробу з поперечним перерізом потрібної форми [1]. Сировина у вигляді гранул або порошку завантажується в бункер, після чого шнек переміщує її вздовж нагрітого циліндра. Принцип роботи полягає в пластифікації твердого матеріалу до однорідної розплавленої маси та безперервному видавлюванні її у форму за допомогою сили зсуву, тиску та зовнішнього нагрівання, що створюються обертанням шнека.

Форма готового виробу визначається конфігурацією фільери – формувального отвору в екструзійній головці. Екструзійна головка є вузлом, що містить фільеру, калібруючі елементи та канали для розподілу розплаву. Якщо фільера має круглий отвір, то на виході отримують профіль з круглим перерізом (прут, труба), якщо щілинний – листовий або плівковий матеріал. Після виходу з екструдера виріб залишається гарячим, його температура коливається в межах 125–350°C. Щоб зафіксувати форму, його негайно охолоджують – зануренням у воду чи обдуванням холодним повітрям [2].

1.1 Галузі застосування екструдерів

Екструдери знаходять широке застосування в різних галузях промисловості [3]:

- *Полімерна промисловість* – виробництво труб, шлангів, плівок, листів, волокон, кабельної ізоляції та профілів складної форми.
- *Харчова промисловість* – виготовлення макаронних виробів, снєків, пластівців, а також кормів для тварин.
- *Гумова промисловість* – виробництво автомобільних профілів, ущільнювачів та шлангів.

- *Металургія* – пресування прутків та металевих профілів із кольорових металів і сплавів.
- *Будівельна галузь* – виробництво пластикових труб, кабель-каналів, віконних і дверних профілів.
- *Фармацевтична та хімічна промисловість* – виготовлення гранул, капсул, таблеток та полімерних напівфабрикатів.

1.2 Класифікація екструдерів

За типом основного робочого органу екструдери поділяються на одношнекові, двошнекові, багатошнекові, дискові, поршневі (плунжерні) та комбіновані.

Одношнекові екструдери є найбільш поширеними. Вони використовуються для переробки однорідних термопластів і відрізняються простотою конструкції та надійністю в експлуатації [4].

Двошнекові екструдери оснащені двома шнеками з паралельним або конічним розташуванням. Вони підходять для переробки порошкоподібної сировини, забезпечують кращий змішувальний ефект і короткий час перебування матеріалу в циліндрі, що є важливим при переробці термочутливих матеріалів. Недоліком є складніша конструкція і вища вартість.

Дискові екструдери застосовують у випадках, коли необхідне інтенсивне перемішування різних полімерних компонентів. Просування розплаву здійснюється за рахунок адгезії полімеру до рухомих частин машини.

Комбіновані (черв'ячно-дискові) екструдери поєднують шнековий і дисковий робочі органи, що забезпечує високоякісний змішувальний ефект при переробці композитних матеріалів.

За температурним режимом обробки матеріалу розрізняють *холодну* екструзію (без нагрівання, за рахунок тиску) та *гарячу* екструзію (з попереднім або супутнім нагріванням матеріалу).

1.3 Схема технології виготовлення труби

Гранули полімеру завантажують у бункер екструдера 1, де вони розплавляються і видавлюються через формуючу трубну головку 2. Трубчастий профіль 6 надходить всередину калібрувальної насадки (гільзи) 3, де частково охолоджується і набуває необхідних розмірів. Всередину труби підводиться стиснене повітря для притискання розплаву до стінок насадки або створюється вакуум між трубою та насадкою. Потім труба охолоджується у ванні з двома температурними зонами 4 і 5, проходить маркування в пристрої 7, простягається пристроєм 8, що тягне, і розрізається пилкою 9. Труби невеликого діаметру не розрізаються, а змотуються в бухти [5].

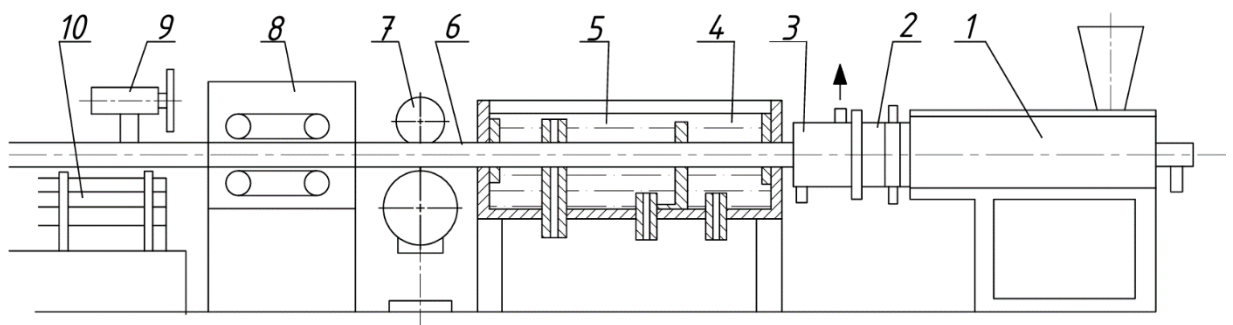


Рисунок 1.1 – Схема технології виготовлення труб [5]

- 1 – екструдер; 2 – формуюча головка; 3 – калібруюча насадка;
4 і 5 – перша і друга зони охолодження; 6 – труба; 7 – вимірювально-
маркуючий пристрій; 8 – подавач; 9 – пристрій, що відрізає;
10 – приймальний стіл (штабелюючий пристрій)

РОЗДІЛ 2.ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕКСТРУДЕРА

Для виробництва труб використовується черв'ячний екструдер з такими технічними характеристиками які наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики машини

Технічні характеристики	Одиниці вимірювання
Діаметр черв'яка	63 мм
Продуктивність	120 кг/год
Потужність споживання	5180 Вт
Максимальна потужність	72 кВт
Напруга	320 В
Тиск	1,87 МПа
Стиснуте повітря	0,6 МПа
Швидкість виготовлення продукту	1,5 м/хв
Тиск води	0,2–0,4 МПа
Об'ємна витрата	$3,63 \times 10^{-2}$ м³/год
Витрата	3–5 м³/год
Довжина	3500 мм
Ширина	500 мм
Висота	1410 мм
Маса	1400 кг

РОЗДІЛ 3. ОПИС БАЗОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ, ЇЇ ОСНОВНИХ ЧАСТИН ТА ПРИНЦИП ДІЇ

Під час обертання черв'яка 3, матеріал транспортується по гвинтовому каналу, утвореному внутрішньою поверхнею циліндра 2, й нарізкою черв'яка 3. Транспортування супроводжується інтенсивними деформаціями матеріалу та зростанням тиску за одночасного проходження різних процесів: нагрівання матеріалу за рахунок енергії дисипації та енергії, що підводиться від системи нагрівання циліндра, ініційовані зростаючою температурою та тиском хімічні, фазові та інші перетворення, ущільнення та монолітизація сипких матеріалів, змішування компонентів, вилучення з матеріалів газоподібних та інших компонентів. Завдяки цій різноманітності процесів екструдери використовують на різних стадіях в технологічних схемах виробництва полімерів і виробів із них, для переробки композиційних матеріалів із застосуванням полімерів, для переробки біосировини, вторинної сировини та інших матеріалів [6].

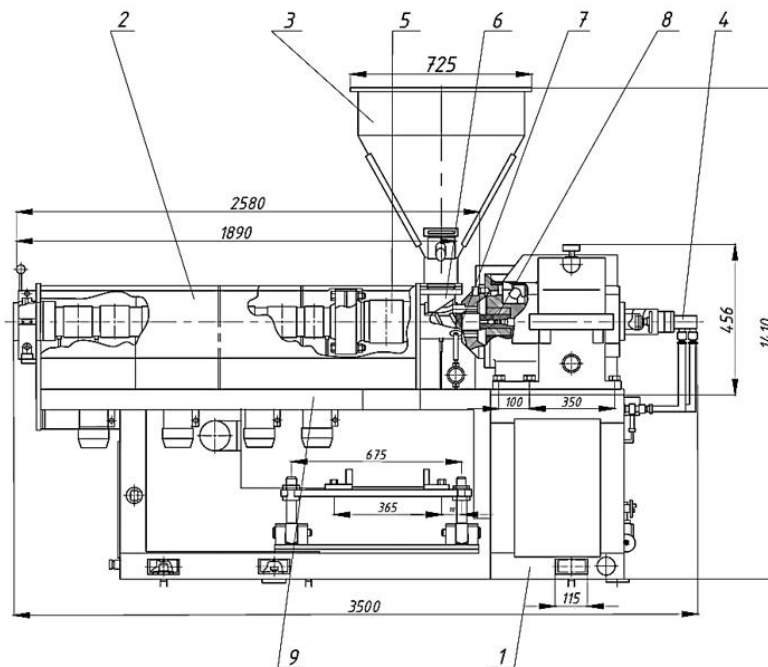


Рисунок 3.1 – Конструктивна схема одночерв'ячного екструдера

- 1 – рама; 2 – кожух корпусу; 3 – бункур; 4 – система охолодження;
5 – корпус; 6 – воронка завантажувальника; 7 – черв'як; 8 – втулка;
9 – плита несуча

РОЗДІЛ 4. ЛІТЕРАТУРНИЙ ТА ПАТЕНТНИЙ ОГЛЯД

4.1 Огляд існуючих рішень

У цьому розділі наведено результати патентно-літературного огляду конструкцій екструдерів, що застосовуються для виробництва труб із ПВХ. Огляд проведено з метою виявлення технічних рішень, які дають змогу усунути типові недоліки екструзійного обладнання, підвищити його надійність та виробничу ефективність, а також обґрунтувати вибір конструктивного вдосконалення для модернізації.

У патенті №112310 [10] вирішується задача забезпечення автоматичної та рівномірної подачі матеріалу, що сприяє підвищенню якості виробів і зменшенню кількості браку.

Поставлена задача вирішується конструкцією черв'ячного екструдера, який містить порожнистий корпус із завантажувальним і розвантажувальним отворами та розміщений у ньому черв'як із можливістю обертання. Черв'як споряджений вузлом опорного підшипника і виконаний по довжині із двох секцій. Секцію з боку завантажувального отвору виконано більшого діаметра з можливістю поздовжнього руху відносно іншої секції та споряджено незалежним приводом обертання. Новим є те, що ця секція кінематично пов'язана із заслінкою за допомогою важільного механізму з регульованою по довжині точкою опори.

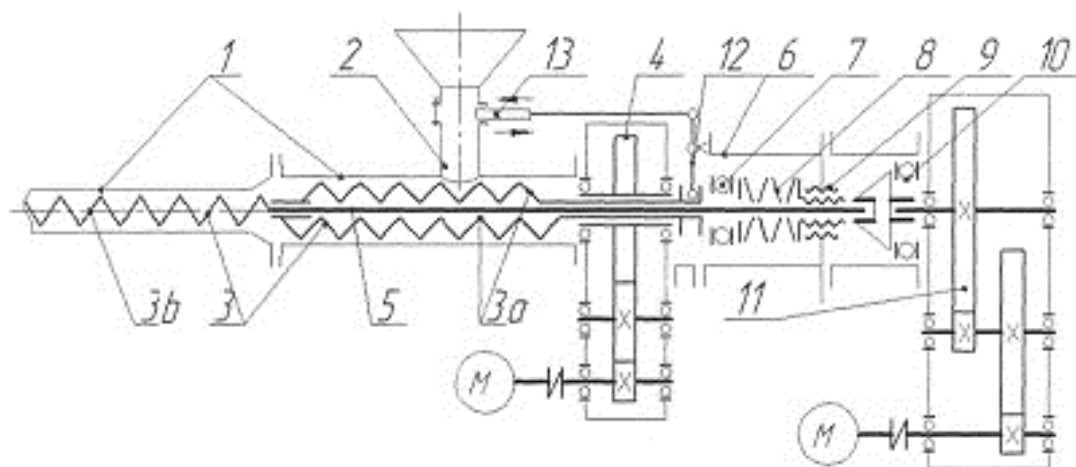


Рисунок 4.1 – Модернізована черв'ячна машина

Сировина подається через завантажувальну горловину 2 корпусу 1, де захоплюється першою секцією 3а шнека 3 і переміщується до другої секції 3б. За умови порушення узгодженості між роботою обох секцій 3а та 3б у робочому каналі екструдера можуть виникати перепади тиску, які усуваються шляхом відносного зміщення секцій або коригування швидкості їх обертання.

Якщо протитиск на вході у формуючу головку перевищує граничне значення, на яке налаштована пружина 8, секція 3а долає її зусилля та зміщується у бік хвостовика 5, приводячи через важільний механізм 12 у рух заслінку 13, що перекриває завантажувальний отвір горловини 2. При зниженні протитиску пружина 8 повертає секцію 3а у початкове положення, а важільний механізм 12 відповідно відкриває завантажувальну горловину 2.

Можливість регулювання точки опори важеля вздовж його довжини дозволяє синхронізувати зміну протитиску в головці з відповідною зміною витрати матеріалу, що переробляється.

У патенті №117354 [11] розглядається вдосконалення конструкції екструзійної головки. Запропоноване технічне рішення забезпечує рівномірне введення одного або декількох компонентів по всій площі поверхні каналу. Це допомагає покращенню характеристик течії розплаву полімеру, вирівнюванню профілю швидкостей та підвищенню якісних показників готової продукції.

Технічний результат досягається завдяки конструкції екструзійної головки. Вона включає корпус з каналом для транспортування матеріалу та принаймні одним підвідним отвором для введення компонентів на поверхню каналу. Відмінною рисою даної конструкції є, наявність поперечних канавок на поверхні каналу в місці з'єднання з підвідним отвором. Вони поступово зменшуються у напрямку руху матеріалу. В оптимальному варіанті виконання зазначені канавки мають профіль прямокутного трикутника.

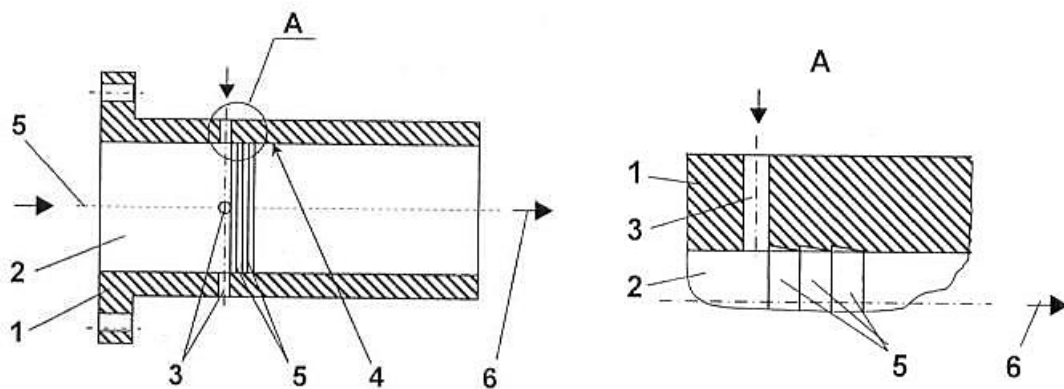


Рисунок 4.2 – Поздовжній розріз екструзійної головки

Принцип роботи екструзійної головки полягає в наступному. Розплавлений матеріал просувається крізь канал 2, розташований у корпусі 1. Через підвідні отвори 3 на внутрішню поверхню 4 каналу 2 надходить мастильна речовина або інші необхідні компоненти. Потрапляючи у поперечні канавки 5, ці компоненти підхоплюються потоком розплаву та рівномірно вкривають поверхню 4 каналу.

Завдяки тому, що канавки 5 поступово звужуються у напрямку переміщення матеріалу 6, в каналі не утворюються зони застою, що безпосередньо позначається на якості готового виробу. Таким чином, представлене технічне рішення оптимізує процес розподілу компонентів по поверхні каналу та забезпечує стабільність течії оброблюваного матеріалу по всьому поперечному перерізу каналу корпусу головки.

Патент №93385 [12] спрямований на вдосконалення конструкції шнека екструдера. Розроблене рішення передбачає виконання наконечника у вигляді рухомого елемента. Він здатний зміщуватися вздовж осі відносно робочої частини залежно від величини діючого тиску. Це дозволяє зменшити нерівномірність потоку розплаву на виході та підвищити стабільність роботи машини загалом.

Суть технічного рішення полягає у будові шнека, що складається з вала з послідовно розміщеними хвостовиком, робочою частиною з гвинтовою поверхнею та наконечником, виготовленим як окремий конструктивний елемент. Відповідно до корисної моделі, наконечник має можливість

переміщення вздовж осі відносно робочої частини. Він оснащений пружним елементом, зокрема пружиною стиснення. В оптимальному варіанті конструкції пружний елемент додатково має пристрій для налаштування його жорсткості.

Осьова рухомість наконечника забезпечує такий механізм компенсації. При раптовому зростанні тиску з боку формуючої головки наконечник зміщується у напрямку робочої зони. Унаслідок чого загальна довжина шнека зменшується, а об'єм робочого каналу збільшується, що спричиняє зниження тиску. Після нормалізації тиску пружний елемент повертає наконечник до початкового.

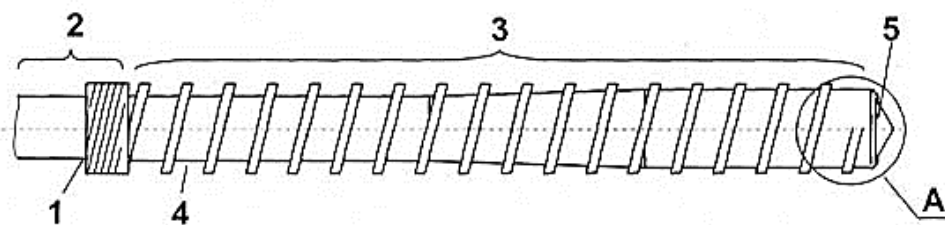


Рисунок 4.3 – Загальний вигляд черв'яка

Черв'як функціонує таким чином. Вихідна сировина послідовно транспортується гвинтовою нарізкою 4 робочої частини 3 від хвостовика 1 у бік наконечника 5. При цьому матеріал поступово ущільнюється, нагрівається та переходить у розплавлений стан. У зоні А відбувається кінцеве формування розплаву перед подачею до формуючої головки. У момент різкого зростання тиску з боку формуючої головки наконечник 5 зміщується у напрямку робочої частини 3, збільшуючи тим самим об'єм каналу та знижуючи тиск. Після встановлення нормального тискового режиму наконечник 5 під дією пружного елемента повертається у початкове положення.

Патент №119024 [13] присвячений удосконаленню конструкції черв'ячного екструдера. Запропоноване рішення забезпечує підвищений вихідний тиск та покращені змішувально-диспергувальні характеристики обладнання. Це позитивно позначається на якості кінцевої продукції.

Основою конструктивного рішення є введення до складу екструдера обертових елементів. Які встановлені у просторі між шнеком та корпусом. Екструдер складається з порожнистого корпусу та розміщеного в ньому шнека. Який обертається, та спільно формують робочий канал із принаймні однією зоною, де між шнеком і корпусом розташовані обертові елементи. Згідно з корисною моделлю, кожна така зона знаходиться в межах нарізки шнека. Обертові елементи виконані подовженої форми, а їх циліндричні торцеві ділянки входять у пази гребенів та суміжних витків нарізки.

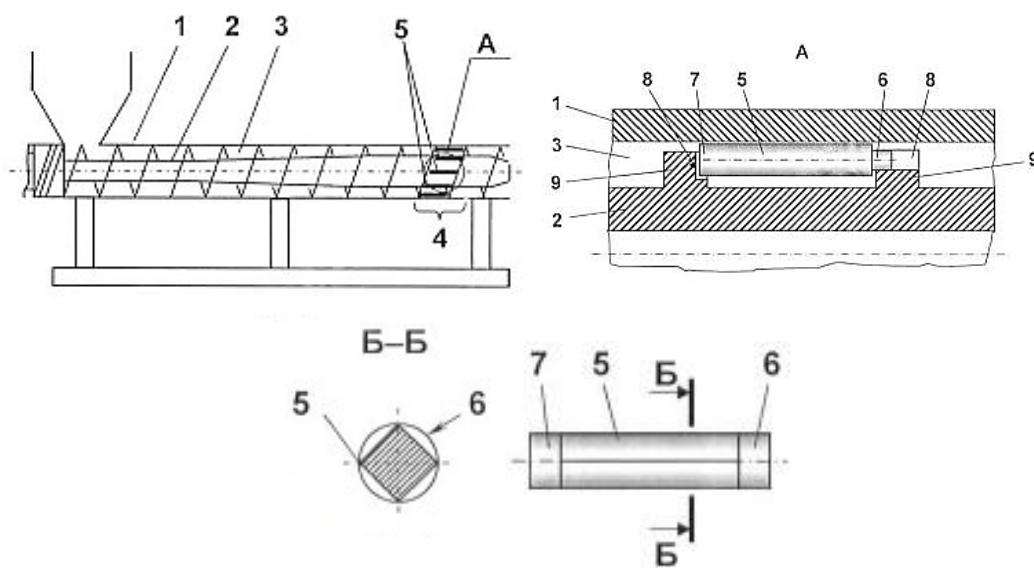


Рисунок 4.4 – Поздовжній розріз черв'ячного екструдера

Черв'ячний екструдер функціонує таким чином: матеріал надходить у приймальний бункер корпусу 2, де підхоплюється гвинтовою нарізкою шнека 1, і переміщується робочим каналом 3 до вихідної ділянки шнека. У зоні А розплав обтікає тіла обертання 5, внаслідок чого виникають підвищені деформації зсуву, що забезпечує інтенсивне змішування та подрібнення складових матеріалу і підвищує якість готового виробу. Тіла обертання 5 розміщені між опорними елементами 7 та 6 і утримуються за допомогою шайб 8 та фіксуючого елемента 9. Водночас тіла обертання 5 виконують опорну функцію, утримуючи шнек 1 від прогинання та зберігаючи кільцеву форму вихідного каналу, що гарантує рівномірність товщини стінок виготовлюваного трубчастого виробу.

Патент №119897 [14] спрямований на вдосконалення одношнекового екструдера. Запропонована конструкція змішувальної секції шнека забезпечує інтенсивні зсувні навантаження на кінцевій ділянці між шнеком і корпусом. Це сприяє кращій підготовці розплаву та підвищенню якості продукції.

Поставлена мета досягається конструкцією одношнекового екструдера, що включає порожнистий корпус з формуючою головкою. Також оснащений нерухомим дорном, та розміщений у корпусі шнек з можливістю обертання і насадною змішувальною секцією на вихідній ділянці. Відповідно до корисної моделі, змішувальна секція виконана порожнистою для встановлення в ній дорна формуючої головки та оснащена радіальними штифтами. Які встановлені в радіальних отворах шнека із забезпеченням їх зворотно-поступального переміщення. На ділянці розташування штифтів дорн має поперечний переріз некруглої форми, що може відповідати профілю еліпса, гіпоциклоїди, епіциклоїди або овалу Кассіні.

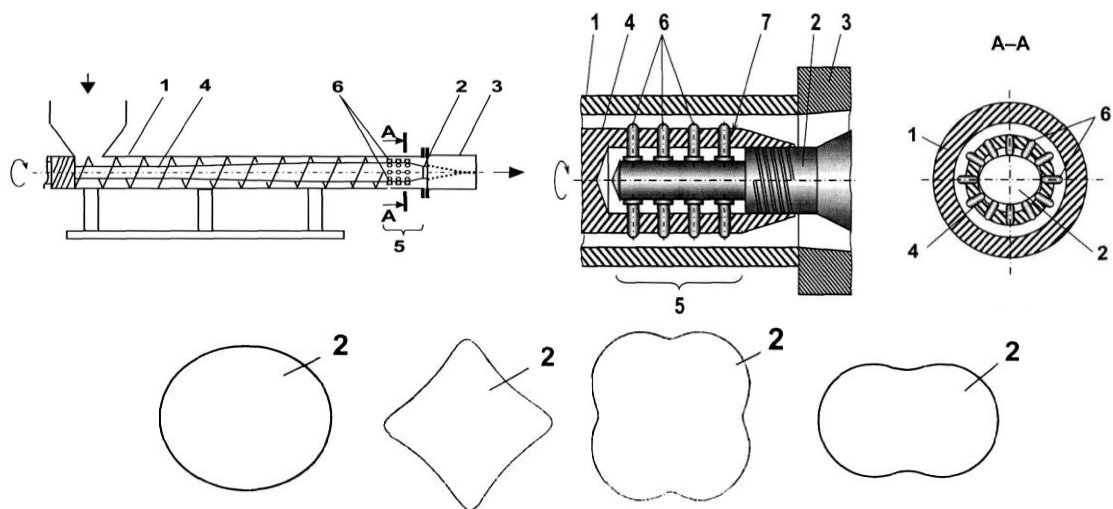


Рисунок 4.5 – Поздовжній розріз одночерв'ячного екструдера

Схема роботи даного екструдера є наступною: вихідний матеріал завантажується у приймальний бункер порожнистого корпусу 2, підхоплюється гвинтовою нарізкою шнека 1 і переміщується по робочому каналу 5 до його вихідної ділянки. В процесі обертання шнека 1 штифти 4 взаємодіють з профільною поверхнею нерухомого дорна 3 та здійснюють зворотно-поступальні переміщення у робочому зазорі між шнеком 1

і корпусом 2. Напрямні елементи 6 забезпечують рівномірний розподіл розплаву, а вихідний елемент 7 формує потрібний профіль виробу. Виникаючі при цьому підвищені деформації зсуву спричиняють інтенсивне перемішування розплавленого матеріалу та подрібнення його складових. Це підсилює змішувально-диспергувальний ефект екструзії, що покращує якісні показники готової продукції. Форма поперечного перерізу готового виробу 2 визначається конфігурацією вихідного отвору і може бути круглою, квадратною, фігурною або овальною, що видно з перерізу А–А.

Патент №137428 [15] присвячений удосконаленню конструкції шнека екструдера. Головною метою є, підвищення ефективності його охолодження та скорочення витрат охолоджувальної рідини.

Запропоноване технічне рішення стосується конструкції шнека з порожнистою серцевиною. Який включає послідовно розміщені хвостовик, робочу частину з гвинтовою нарізкою та знімний наконечник. Робоча частина складається з трьох послідовних зон: циліндричної з глибокою нарізкою, конічної з нарізкою змінної глибини та циліндричної з дрібною нарізкою. Відповідно до корисної моделі, порожнина серцевини з боку наконечника має поздовжні шліци. Які розташовані в межах циліндричної зони з дрібною нарізкою. В оптимальному варіанті виконання ділянка серцевини з поздовжніми шліцами є знімною.

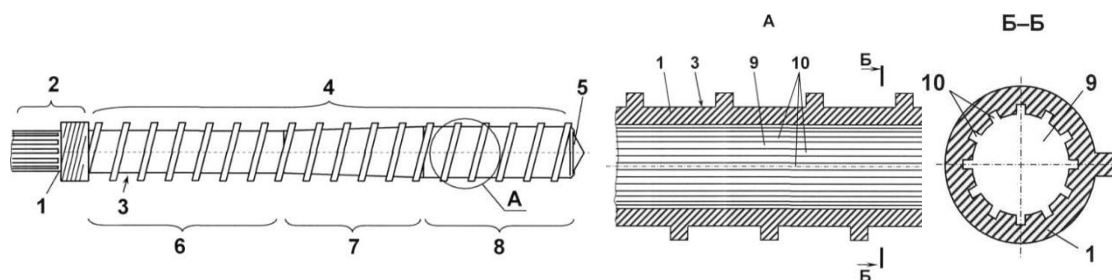


Рисунок 4.6 – Загальний вигляд черв'яка

Шнек працює за такою схемою: сировина поступово переміщується гвинтовою нарізкою 3 робочої частини 4 від хвостовика 2 до наконечника 5, при цьому матеріал послідовно ущільнюється, нагрівається та розплавляється. Робоча частина поділена на три зони — завантаження 6, стиснення 7 та

дозування 8, що забезпечує поступову підготовку матеріалу до екструзії. Одночасно через коаксіальну трубку 10 у внутрішню порожнину 9 серцевини 1 подається охолоджувальна вода, яка досягає наконечника 5, змінює напрямок руху та, відводячи тепло від серцевини 1, виводиться за межі шнека. З перерізу А та Б–Б видно, що серцевина 1 має порожнисту конструкцію з каналами 9 для подачі та відведення охолоджувальної рідини, а трубка 10 розміщена по осі шнека.

Патент №151520 [16] спрямований на подальше вдосконалення конструкції шнека екструдера. На відміну від рішення, описаного у патенті №137428 [15], дане технічне рішення орієнтоване на збільшення площі внутрішньої поверхні порожнини серцевини. Завдяки чому досягається вища ефективність охолодження шнека та знижується витрата охолоджувальної рідини.

Поставлена мета реалізується конструкцією шнека з порожнистою серцевиною. Що послідовно включає хвостовик, робочу частину з гвинтовою нарізкою та знімний наконечник, у порожнині якого виконані поздовжні шліци. Принциповою відмінністю запропонованої корисної моделі є те, що зазначені шліци розташовані під гострим кутом відносно поздовжньої осі серцевини.

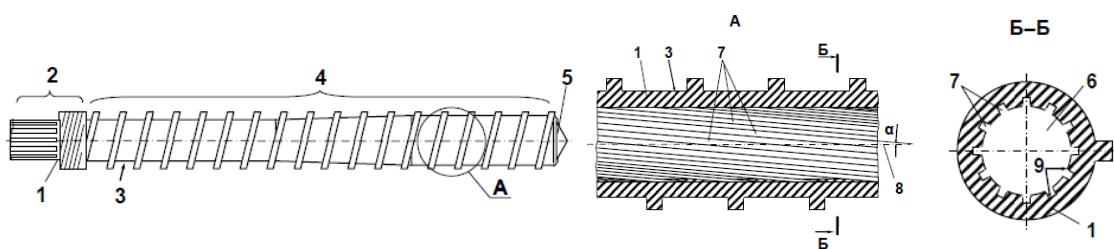


Рисунок 4.7 – Загальний вигляд черв'яка

Черв'як працює в такий спосіб. Сировина, що підлягає переробленню, послідовно просувається нарізкою 3 робочої зони 4 від хвостовика 2 до наконечника 5, поступово ущільнюючись, нагріваючись і плавлячись. По коаксіальній трубці 8 у порожнину 9 осердя 1 надходить охолоджувальна вода, яка виходить біля наконечника 5, повертається, охолоджує осердя 1 і

виводиться за межі черв'яка. Виконання похилих шліців 7 у порожнині 9 осердя 1 збільшує площу поверхні тепловіддачі з боку охолоджувальної води, що дає змогу пропорційно зменшити її витрату. Крім того, похилі шліци 7 забезпечують ефективну турбулізацію потоку води, що додатково інтенсифікує процес охолодження черв'яка. Кут нахилу шліців α , що видно з перерізу А, визначає інтенсивність турбулізації потоку охолоджувальної рідини.

4.2 Обґрунтування запропонованої модернізації

Для модернізації екструдера обрано патент №112310 [10], який відповідає першому з розглянутих технічних рішень і стосується двосекційного черв'яка з незалежним приводом.

Нова конструкція передбачає виконання черв'яка двосекційним із незалежним приводом обертання кожної секції, що дає змогу розвантажити найбільш навантажену хвостову частину черв'яка. Це забезпечує стабільні умови перероблення вторинної полімерної сировини з високим ступенем розпушеності завдяки можливості незалежного регулювання швидкостей обертання обох секцій, що суттєво розширює технологічні можливості екструдера.

Технічне рішення реалізується в черв'ячному екструдері, який містить порожнистий корпус із завантажувальним і розвантажувальним отворами та розміщений у ньому черв'як із можливістю обертання, оснащений вузлом опорного підшипника і виконаний по довжині із двох секцій. Секцію з боку завантажувального отвору виконано більшого діаметра з можливістю поздовжнього руху відносно іншої секції. Згідно з корисною моделлю, секцію з боку розвантажувального отвору оснащено незалежним приводом обертання.

Таким чином, завдяки застосуванню запропонованої корисної моделі досягається поліпшення експлуатаційних характеристик машини, особливо за рахунок підвищення надійності, внаслідок розвантаження хвостової частини черв'яка шляхом незалежної передачі осьових зусиль та обертових моментів

на кожен із секцій черв'яка незалежно. Такий підхід дає змогу модернізувати широкий типорозмірний ряд черв'ячних екструдерів для переробки термопластів із низькою насипною густиною.

РОЗДІЛ 5. РОЗРАХУНКИ

5.1 Розрахунок геометрії черв'яка і частоти його обертання

В цьому розділі розраховується параметри черв'яка екструдера з діаметром $D = 63$ мм та з робочою довжиною в спів відношенні 63х25.

Довжина робочої частини черв'яка $L_{\text{роб}}$:

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

Черв'як поділяється на три головні зони. На завантажувальну зону, зону стиснення та зону дозування

Довжина зони завантаження $L_{\text{зав}}$:

$$L_{\text{зав}} = (0,25 \dots 0,35) L_{\text{роб}}$$

$$L_{\text{зав}} = 0,25 \cdot 1575 = 493,75 \text{ мм}$$

так як, результат отримано не рівний приймаємо $L_{\text{зав}} = 494$ мм.

Довжина зони стиснення $L_{\text{ст}}$:

$$L_{\text{ст}} = (0,2 \dots 0,35) \cdot L_{\text{роб}}$$

$$L_{\text{ст}} = 0,2 \cdot 1575 = 315 \text{ мм}$$

зону стиснення приймаємо $L_{\text{ст}} = 315$ мм.

Довжина зони дозування $L_{\text{доз}}$:

$$L_{\text{доз}} = 1575 - 494 - 315 = 766 \text{ мм}$$

зону дозування приймаємо $L_{\text{доз}} = 315$ мм.

Довжина циліндричної частини черв'яка:

$$L_{\text{цик}} = (1 \dots 2) \cdot D = 1,111 \cdot 63 = 70 \text{ мм}$$

Довжина відбійної частини черв'яка:

$$L_{\text{відб}} = (0,1 \dots 0,5) \cdot D = 0,476 \cdot 63 = 30 \text{ мм}$$

Крок гвинтової лінії черв'яка:

$$t = (0,8 \dots 1,2) \cdot D = 1 \cdot 63 = 63 \text{ мм}$$

Кут підйому гвинтової лінії:

$$\varphi = \arctg \left(\frac{t}{\pi \cdot D} \right) = \arctg \left(\frac{63}{3,14 \cdot 63} \right) = 17,67^\circ$$

Товщина гребеня черв'яка:

$$e = (0,06 \dots 0,12) \cdot D = 0,11 \cdot 63 = 7 \text{ мм}$$

Зазор між черв'яком і гільзою:

$$\delta = (0,002...0,003) \cdot D = 0,0024 \cdot 63 = 0,15 \text{ мм}$$

Глибина гвинтового каналу в зоні завантаження:

$$h_1 = (0,12...0,16) \cdot D = 0,126 \cdot 63 = 8 \text{ мм}$$

Глибина гвинтового каналу в зоні дозування складає:

$$h_3 = 0,5 \left[D - \sqrt{D^2 - \frac{4 \cdot h_1}{i} \cdot (D - h_1)} \right] = 0,5 \left[63 - \sqrt{63^2 - \frac{4 \cdot 8}{2,7} \cdot (63 - 8)} \right] = 2,7 \text{ мм},$$

де $i = 2,7$ – ступінь стиску ПВХ.

Розраховуємо діаметр вала черв'яка під завантажувальною воронкою:

$$d_1 = D - 2h_1 = 63 - 2 \cdot 8 = 47 \text{ мм}$$

Розраховуємо діаметр вала черв'яка в зоні дозування:

$$d_3 = D - 2h_3 = 63 - 2 \cdot 2,7 = 57,6 \text{ мм}$$

Діаметр каналу для охолодження черв'яка:

$$d_0 = (0,15 ... 0,25) \cdot D = 0,25 \cdot 63 = 15,75 \text{ мм}$$

так як, результат отримано не рівний приймаємо $d_0 = 16 \text{ мм}$.

Діаметр шліцевого з'єднання $D_{\text{шл}}$ приймаємо як значення, менше за діаметр черв'яка і округлене до 5, при $D = 63$ приймаємо:

$$D_{\text{шл}} = 60 \text{ мм}$$

Довжина шліцевого зачеплення:

$$L_{\text{шл}} = (1,5...2) \cdot D_{\text{шл}} = 2 \cdot 60 = 120 \text{ мм}$$

Загальна довжина черв'яка:

$$L = L_{\text{роб}} + L_{\text{цил}} + L_{\text{пл}} = 1575 + 70 + 120 = 1765 \text{ мм}$$

Глибина гвинтового каналу на початку зони стиснення:

$$h_2 = h_1 - \frac{h_1 - h_3}{L} (L - L_{\text{ст}}) = 8 - \frac{8 - 2,7}{1765} (1765 - 315) = 3,65$$

Діаметр вала черв'яка на початку зони стиснення:

$$d_2 = D - 2h_2 = 63 - 2 \cdot 3,65 = 55,7 \text{ мм}$$

За даними розрахунками та отриманими даними, було побудовано черв'як екструдера (рис. 4.1).

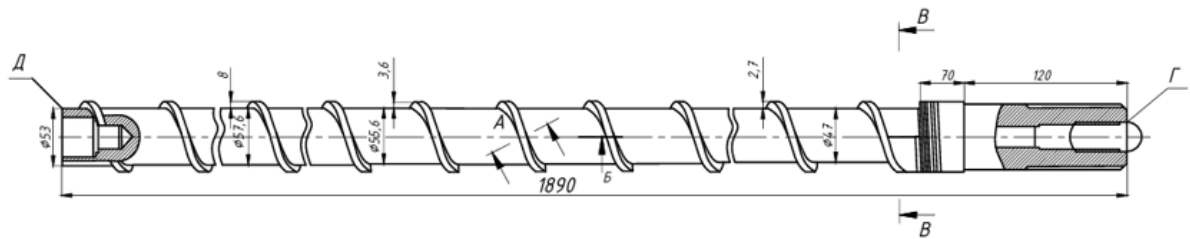


Рисунок. 5.1 – Черв'як екструдера

Черв'як виготовляється з високоякісної сталі. З границею текучості $\sigma_t=750\text{--}850$ МПа. Для цього черв'яка було обрано сталь 40ХН2МА, ця сталь піддається азотуванню і після цього шліфується.

Критична частота обертання черв'яка в зоні завантаження:

$$n_{\text{кр}} = \frac{42,2}{60\sqrt{D}} = \frac{42,2}{60\sqrt{0,063}} = 2,8 \text{ c}^{-1}$$

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

Робоча частота обертання черв'яка:

$$n_p = (0,2 \dots 0,7) \cdot n_{\text{кр}} = 0,35 \cdot 2,8 = 0,98 \text{ c}^{-1}$$

5.2 Кінематичні розрахунки

Ключову роль у забезпеченні продуктивності черв'ячної машини відіграє зона дозування шнека. Її ефективність безпосередньо визначається геометричними характеристиками черв'яка. При цьому загальна продуктивність екструдера залежить не лише від розмірів шнека та швидкості його обертання, але й суттєво обумовлена конструктивними особливостями формуючої головки [17].

У рамках гідродинамічного підходу до опису процесів взаємодії робочих органів із розплавом у зоні дозування екструдера виділяють три компоненти руху матеріалу:

1. Прямий потік – переміщення розплаву у міжвитковому каналі від зони завантаження до зони дозування вздовж осі шнека; виникає внаслідок обертального руху черв'яка відносно циліндра.

2. Зворотний потік – рух розплаву у протилежному напрямку, спричинений перепадом тиску вздовж шнека.

3. Потік виток – рух матеріалу через зазор між гребенями витків черв'яка та внутрішньою стінкою циліндра у напрямку від зони дозування.

Такий поділ на три складові є значною мірою умовним: насправді зворотна течія як окреме явище практично відсутня, а спостерігається лише часткове гальмування прямого потоку через опір, що чинить формуюча головка.

Об'ємна продуктивність черв'ячної машини для переробки полімерних матеріалів за одиницю часу визначається з урахуванням опору головки та геометрії зони дозування за такою залежністю:

$$Q = \frac{\alpha \cdot K_{\text{заг}} \cdot n_p}{K_{\text{заг}} + \beta + \gamma} = \frac{-3,392 \cdot 0,02272 \cdot 0,98}{0,02272 - 0,0019 + 5,5 \cdot 10^{-13}} = 3,63$$

де n_p – робоча швидкість обертання черв'яка;

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

$$\begin{aligned}\alpha &= \frac{\pi^3(t - \lambda e)c}{a + t^2b} = \frac{3,14^3(0,063 - 1 \cdot 0,007)0,97}{0,975 + 0,063^2 \cdot 120,73} = -3,392, \\ \beta &= \frac{\pi t(t - \lambda e)}{12L_{\text{доз}}(a + t^2b)} = \frac{3,14 \cdot 0,063(0,063 - 1 \cdot 0,007)}{12 \cdot 1,035(-0,975 + 0,063^2 \cdot 120,73)} = -0,0019 \\ \gamma &= \frac{\pi^2 D \delta^3 t^2}{10eL_{\text{доз}}\sqrt{\pi^2 D^2 + t^2}} = \frac{3,14^2 \cdot 0,063 \cdot 0,00015^3 \cdot 0,063^2}{10 \cdot 0,007 \cdot 1,035\sqrt{3,14^2 \cdot 0,063^2 + 0,063^2}} = \\ &= 5,5 \cdot 10^{-13}\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}c &= 1 - \frac{6,9D}{2(h_2 - h_3)} \lg\left(\frac{h_2}{h_3}\right) + \frac{D^2}{2h_2h_3} = \\ &= 1 - \frac{6,9 \cdot 0,063}{2(3,67 - 2,7)} \lg\left(\frac{3,67}{2,7}\right) + \frac{0,063^2}{2 \cdot 3,67 \cdot 2,7} = 0,97 \\ a &= \frac{\pi^2}{h_2h_3} \left(\frac{D(h_2 + h_3)}{2h_2h_3} - 1 \right) = \frac{3,14^2}{3,67 \cdot 2,7} \left(\frac{0,063(3,67 + 2,7)}{2 \cdot 3,67 \cdot 2,7} - 1 \right) = -0,975\end{aligned}$$

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

$$= \frac{2,3}{(3,67 - 2,7)0,063^3} \lg \left(\frac{3,67(0,063 + 0,0536)}{2,7(0,063 + 0,047)} \right) +$$

$$+ \frac{2 \cdot 3,67 \cdot 2,7 + (3,67 + 2,7)0,063}{2 \cdot 0,063^2 \cdot 3,67^2 \cdot 2,7^2} = 120,73$$

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

Вагова продуктивність розраховується, знаючи об'ємну продуктивність:

$$\Pi = Q \cdot \rho = (3,63 \cdot 1021) = 3706,23 \text{ кг/год},$$

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

5.3 Потужність привода екструдера

Визначення потужності, що споживається черв'ячною машиною, є необхідною умовою для розрахунку енергетичних витрат у процесі виготовлення виробів. В умовах стабільного режиму екструзії рівень споживаної потужності слугує індикатором стійкості технологічного процесу. Як правило, моніторинг здійснюється за показниками потужності, що споживається приводним механізмом.

Загальна потужність, яку витрачає шнек екструдера ($N_{\text{черв}}$, Вт) під час переробки пластмас, розподіляється між двома складовими: потужністю, що витрачається на транспортування матеріалу у гвинтовому каналі шнека (N_1), та потужністю, що витрачається на зрізання матеріалу у зазорі між гребенем витка та внутрішньою поверхнею циліндра або гільзи (N_2).

$$N_{\text{черв}} = N_1 \cdot N_2 = 217,64 \cdot 23,8 = 5180 \text{ Вт}$$

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

$$N_1 = \frac{\pi^3(t - e)LJ\mu_{\text{еф}1}}{t} n_p^2 + \alpha \cdot \Delta P \cdot n_p$$

$$N_1 = \frac{3,14^3(0,063 - 0,007)2,080 \cdot 0,0168 \cdot 1,9 \cdot 10}{0,063} 0,98^2 + 3,392 \cdot 1,87 \cdot 0,98 = 23,8 \text{ Вт}$$

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

$$J = \frac{\pi^2 D^2 - 4t^2}{\pi^2} + \frac{(D + (d_3))^3 - (D - (d_2))^3}{3(d_3 - d_2)} + \frac{\frac{2.3\pi^2 D^5 \lg h_2}{h_3}}{(t^2 + \pi^2 D^2)(h_2 - h_3)} =$$

$$= \frac{3,14^2 \cdot 0,063^2 - 4 \cdot 0,063^2}{3,14^2} + \frac{(0,063 + 0,0576)^3 - (0,063 - 0,05566)^3}{3(0,0576 - 0,05566)}$$

$$+ \frac{2,3 \cdot 3,14^2 \cdot \frac{0,063^5 \lg 3,67}{2,7}}{(0,063^2 + 3,14^2 \cdot 0,063^2)(3,67 - 2,7)} = 0,0168 \text{ м}^2$$

де D – діаметр черв'яка, м.

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

$$N_2 = \frac{\pi^3 D^3 e L \mu_{\text{эф2}}}{\delta t} n_p^2 = \frac{3,14^3 \cdot 0,063^3 \cdot 0,007 \cdot 2,080 \cdot 1,9 \cdot 10}{0,00015 \cdot 0,063} 0,98^2 = 217,64 \text{ Вт}$$

У вищенаведених формулах також фігурує ефективна в'язкість $\mu_{\text{эф1,2}}$, Па·с, що визначається за графічними залежностями для матеріалу, що використовується при виготовленні виробів (див. попередній розрахунок), залежно від швидкості зсуву $\gamma_{1,2}$, с^{-1} що визначається таким чином:

$$\dot{\gamma}_1 = \frac{\pi^2 (D - h_{\text{сер}}) (D - 2 h_{\text{сер}}) n}{h_{\text{сер}} \sqrt{\pi^2 (D - 2 h_{\text{сер}})^2 + t^2}} = \frac{3,14^2 (0,063 - 3,2) (0,063 - 2 \cdot 3,2) 2,7}{3,2 \sqrt{3,14^2 (0,063 - 2 \cdot 3,2)^2 + 0,007^2}} = 14,59$$

$$\dot{\gamma}_2 = \frac{\pi^2 D^2 n}{\delta \sqrt{\pi^2 D^2 + t^2}} = \frac{3,14^2 \cdot 0,063^2 \cdot 2,7}{0,00015 \cdot \sqrt{3,14^2 \cdot 0,063^2 + 0,007^2}} = 3558,5$$

$$\text{де } h_{\text{сер}} = \frac{h_2 + h_3}{2} = \frac{3,67 + 2,7}{2} = 3,2$$

Потужність двигуна привода екструдера $N_{\text{дв}}$ повинна бути вищою за потужність черв'яка екструдера $N_{\text{черв}}$.

Обрається асинхронний двигун з кількістю обертів близько $n_{\text{дв}} = 1500$ об/хв.

5.4 Проектування модернізованого черв'яка екструдера

Для модернізації черв'яка, було обрано патент №112310 [10].

Проектування 3D моделі відбувається в програмі «SolidWorks». Починаємо будувати 3D модель з вибору площини, на якій буде знаходитися перший ескіз. Будуємо перший «Sketch», та його обертаємо на 360° за допомогою команди «Revolved Boss/Base» (рис.5.2).

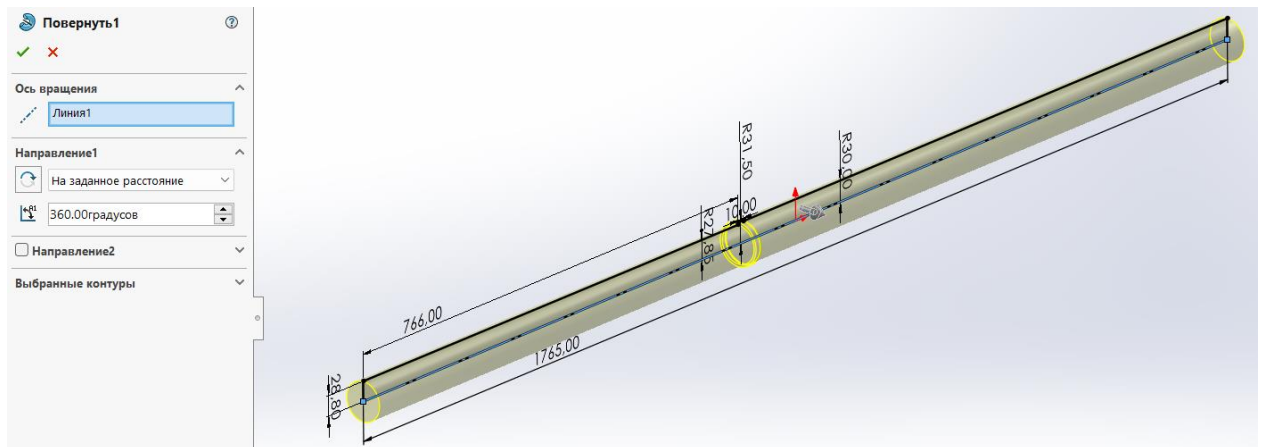


Рисунок 5.2 – Обертання ескізу

Далі обираємо площину від якої буде будуватися спіраль, та будуємо спіраль (рис 5.3).

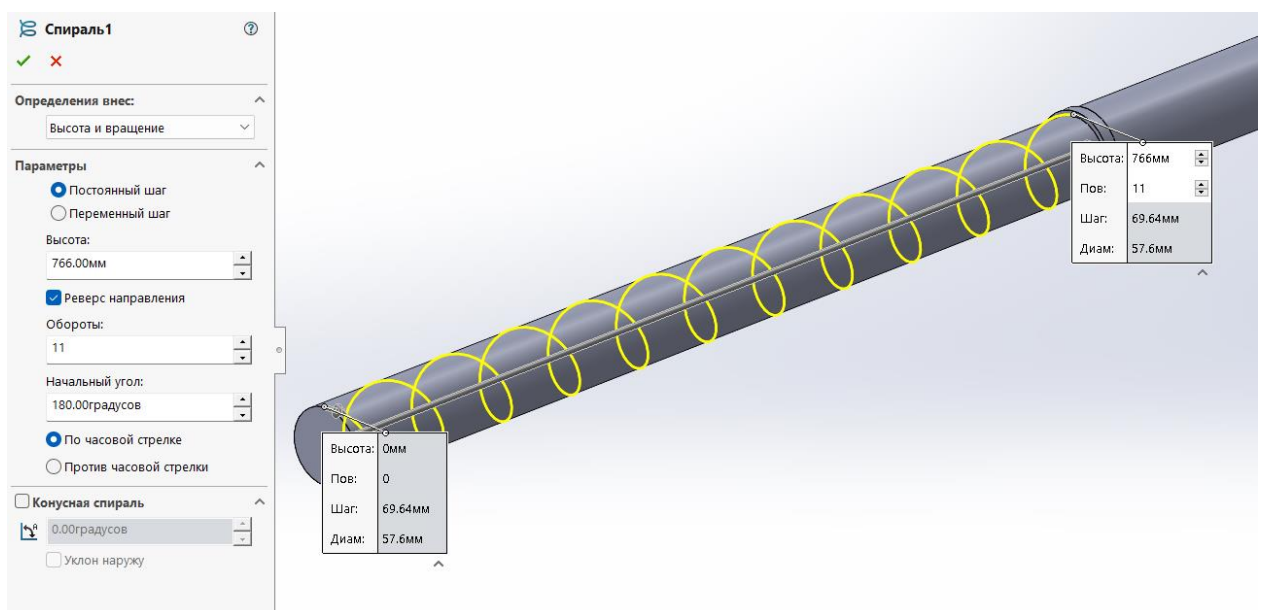


Рисунок 5.3 – Побудова спіралі

Побудова лопатей черв'яка. За допомогою видавлення по траєкторії. (рис.5.4).

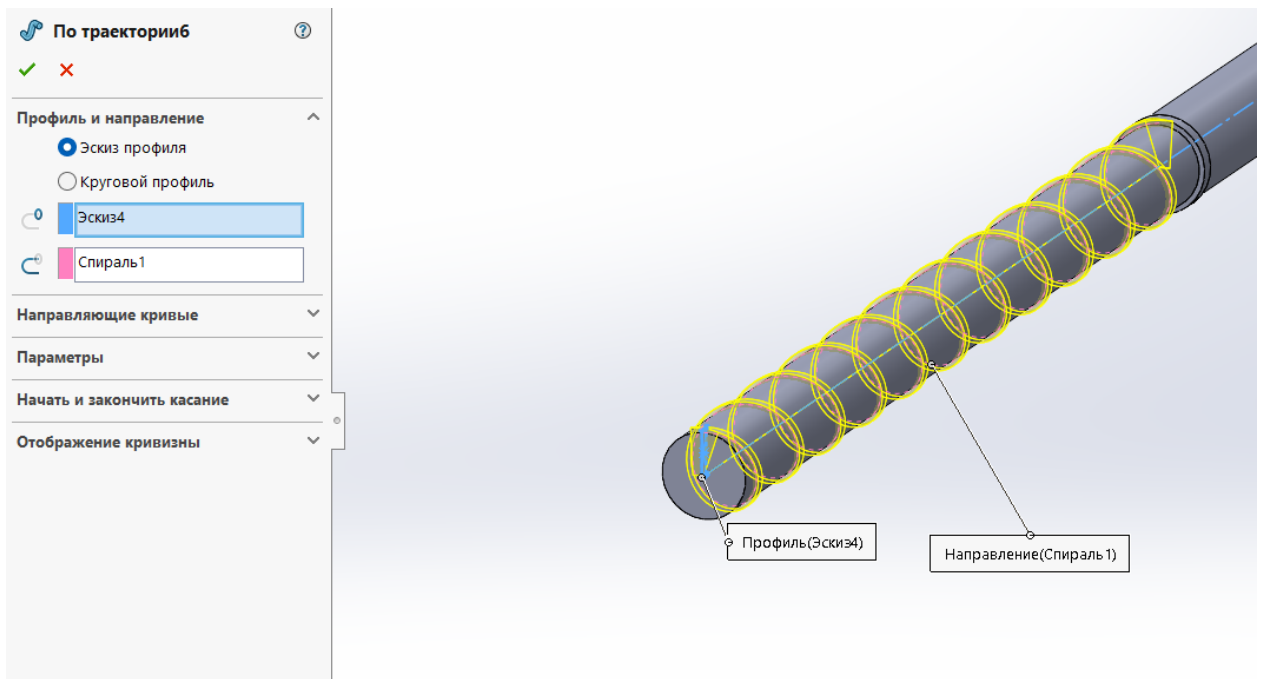


Рисунок 5.4 – Видавлення ескізу по траєкторії

Далі будемо охолоджувальний отвір в черв'яку (рис.5.5).

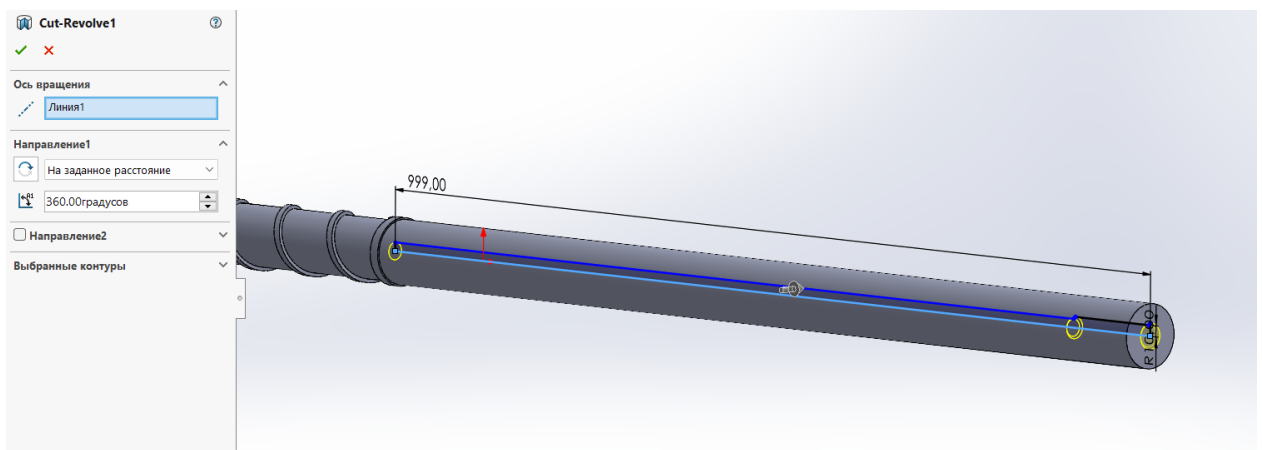


Рисунок. 5.5 – Побудова охолоджувального отвору

Так як черв'як модернізований і складається з двох частин, то починаємо будувати другу частину черв'яка (рис.5.6).

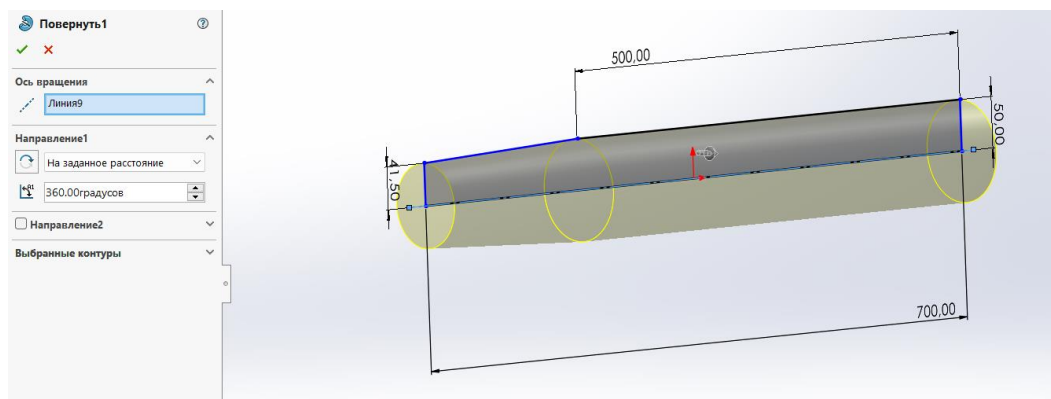


Рисунок. 5.6 – Побудова основи другої частини черв'яка

Далі будуюмо спіраль та ескіз, та створюємо лопаті за допомогою видавлення по траєкторії (рис.5.7).

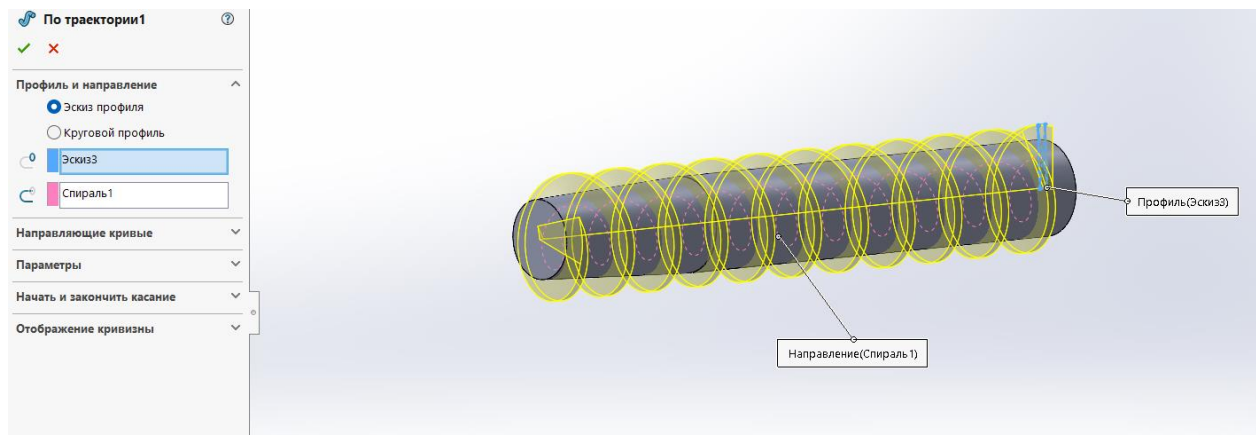


Рисунок. 5.7 – Побудова лопатей

Далі в цьому черв'яку будуюмо отвір, за допомогою якого він буде насаджуватися на перший черв'як (рис.5.8).

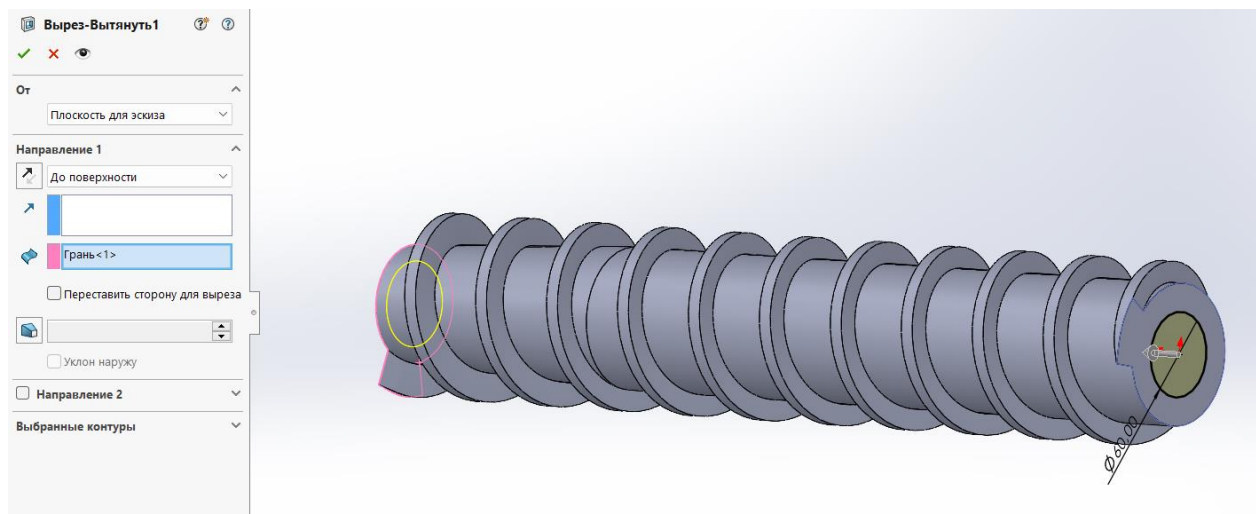


Рисунок. 5.8 – Створення отвору

Потім будуюмо накінецьник цього черв'яка (рис.5.9).

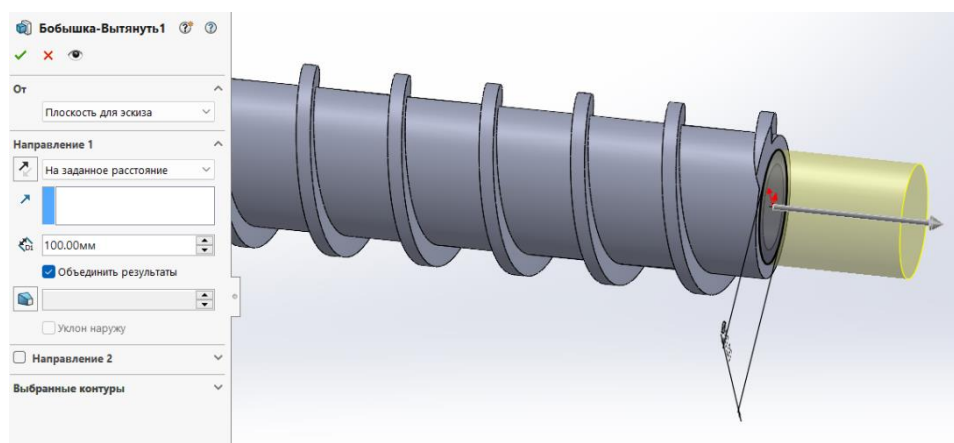


Рисунок 5.9 – Побудова накінецьника

Далі будуємо шпонковий паз, для цього потрібно побудувати додаткову площину та задати їй залежність. Потім на ній створюємо ескіз шпонкового пазу та видавлюємо його (рис.5.10).

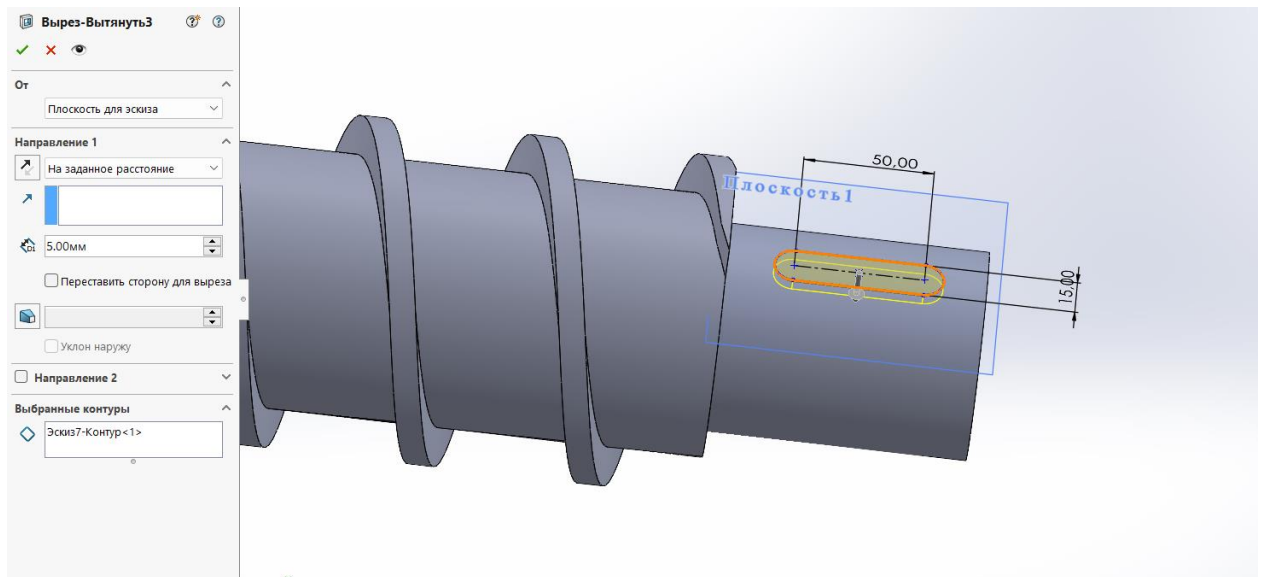


Рисунок. 5.10 – Побудова шпонкового пазу

Далі потрібно побудувати обмежувач, який запобігає проходженню матеріалу до обертового механізму (рис.5.11).

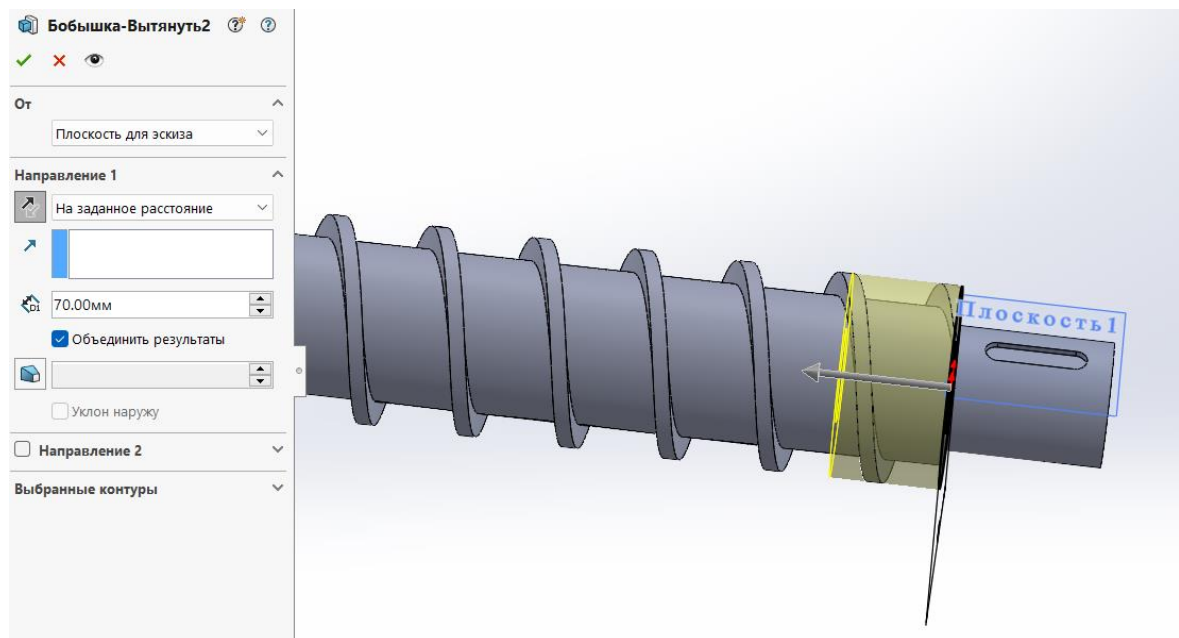


Рисунок 5.11 – Побудова обмежувача

Потім на початку цього черв'яка, створюємо лопаті конусоподібні (рис.5.12).

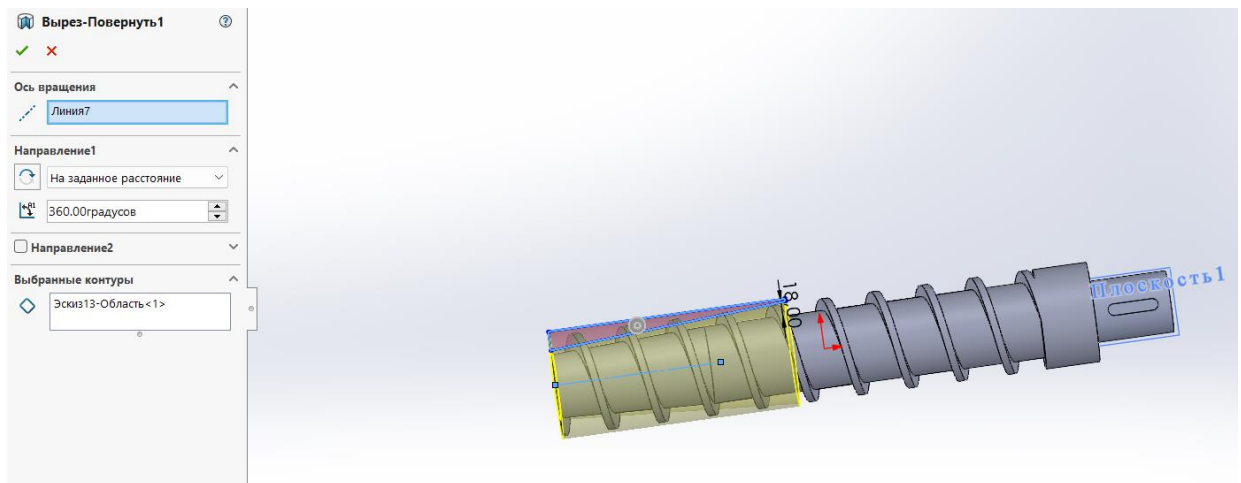


Рисунок 5.12 – Побудова конусоподібних лопатей

Отримуємо збірку готового двосекційного черв'яка.

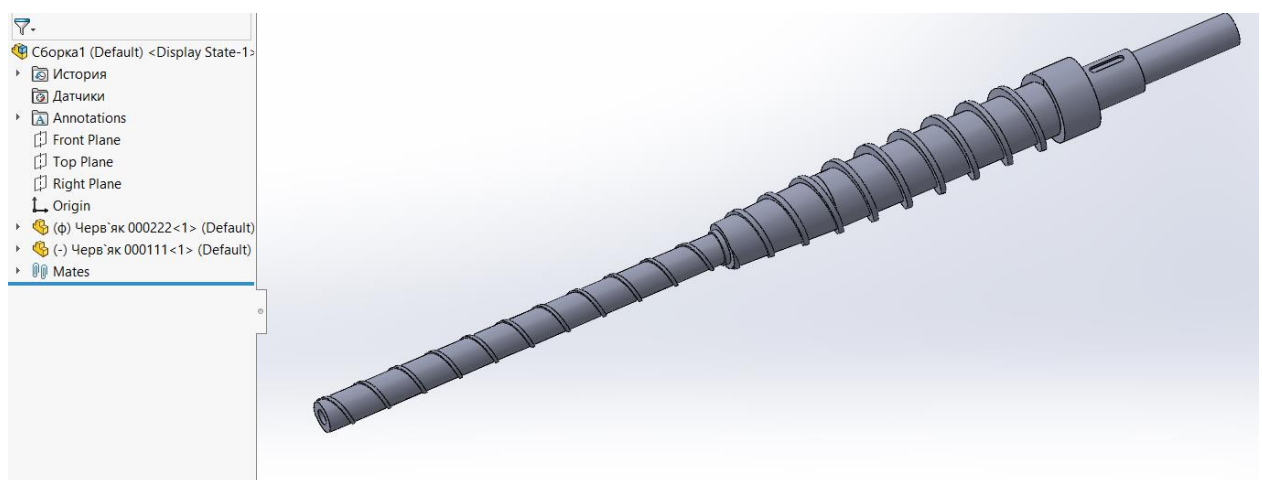


Рисунок 5.13 – Готовий черв'як

5.5 Числове моделювання модернізованого черв'яка

Розрахунки відбуваються в програмному забезпеченні ANSYS. Даний вузол виготовлений зі сталі 40ХН2МА ДСТУ 7806:2015. Вписуємо значення межі текучості $\sigma_t = 850$ МПа в рядок «Tensile Yield Strength» та «Compressive Yield Strength», які є межами текучості при розтягу та стиску. Також змінюємо межі міцності $\sigma_B = 1050$ МПа, в «Tensile Ultimate» та «Compressive Ultlength».

Табл. 5.1 – Характеристики матеріалу 40ХН2МА

Позначення	Значення	Пояснення
E , (ГПа)	2,1	Модуль Юнга
ν	0,3	Коеф. Пуассона
σ_y , МПа	850	Границя текучості
σ_u , МПа	1050	Границя міцності

Ці значення задаємо в програму (рис. 5.14).

Properties of Outline Row 3: Structural Steel				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
3	Density	7850	kg m ⁻³	
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion			
6	Isotropic Elasticity			
7	Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio		
8	Young's Modulus	2,1E+05	MPa	
9	Poisson's Ratio	0,3		
10	Bulk Modulus	1,75E+11	Pa	
11	Shear Modulus	8,0769E+10	Pa	
12	Strain-Life Parameters			
20	S-N Curve	Tabular		
24	Tensile Yield Strength	8,5E+08	Pa	
25	Compressive Yield Strength	8,5E+08	Pa	
26	Tensile Ultimate Strength	1,05E+09	Pa	
27	Compressive Ultimate Strength	1,05E+09	Pa	

Рисунок 5.14 – Задання характеристик матеріалу

Для того щоб почати проводити розрахунки потрібно про-імпортувати 3d модель в цю програму (рис. 5.15).

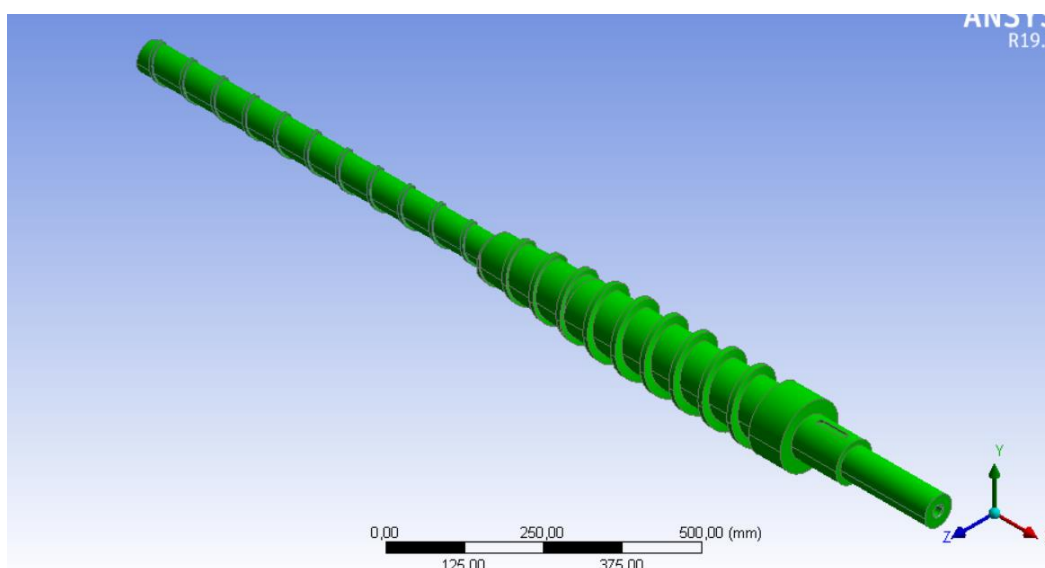


Рисунок 5.15 – Імпорт черв'яка

Для подальших розрахунків зробимо перерізи моделі. Так буде краще та зручніше працювати з деталлю, а також для полегшення бачення внутрішніх поверхонь моделі (рис 5.16).

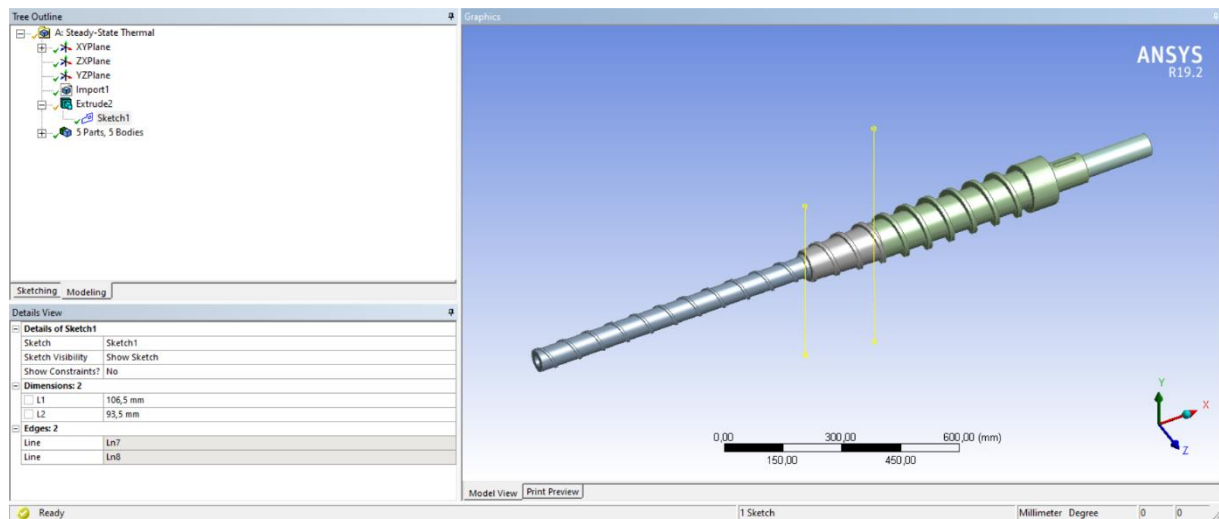


Рисунок 5.16 – Черв'як з перерізами

Так як, для виготовлення труби використовується ПВХ матеріал, який має температуру розплаву 170° , то задаємо розподіл температур з розрахунком що деталь нагрівається до цієї температури. Температури задано згідно з довідниковими даними (рис.5.17 та рис.5.18).

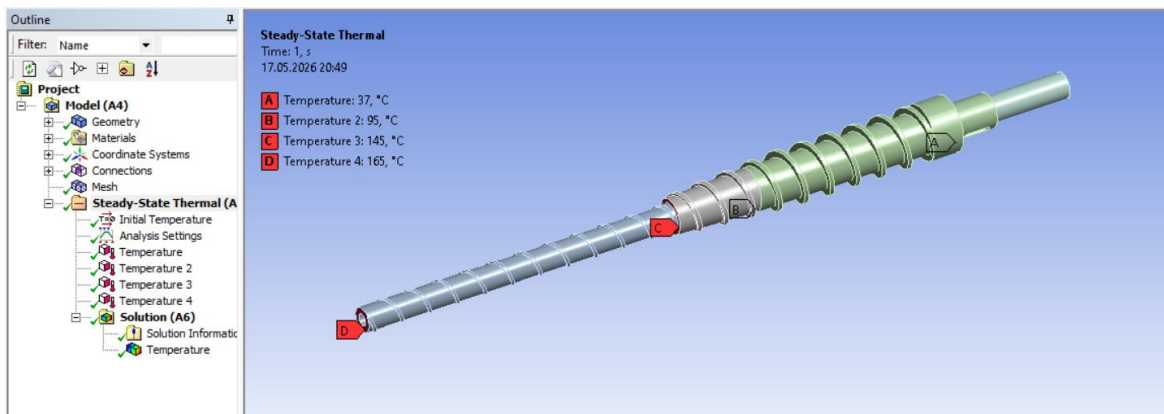


Рисунок 5.17 – Розподіл температур

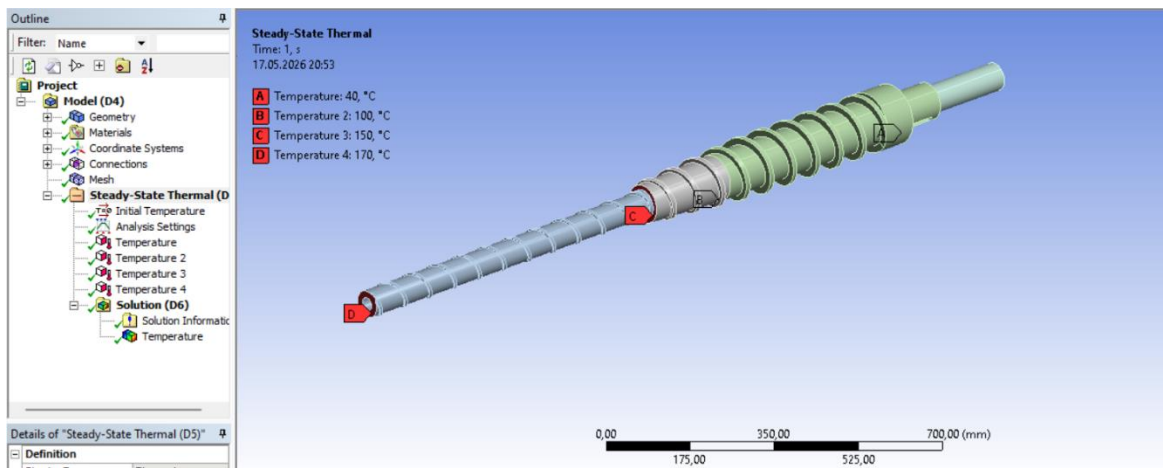


Рисунок 5.18 – Розподіл температур

Для правильного розподілу температур на деталі переносимо ці дані в окремий проект та задаємо проімпортовану температуру на зовнішню та внутрішню поверхні. Щоб отримати поступовий перепад температури.(рис.5.19).

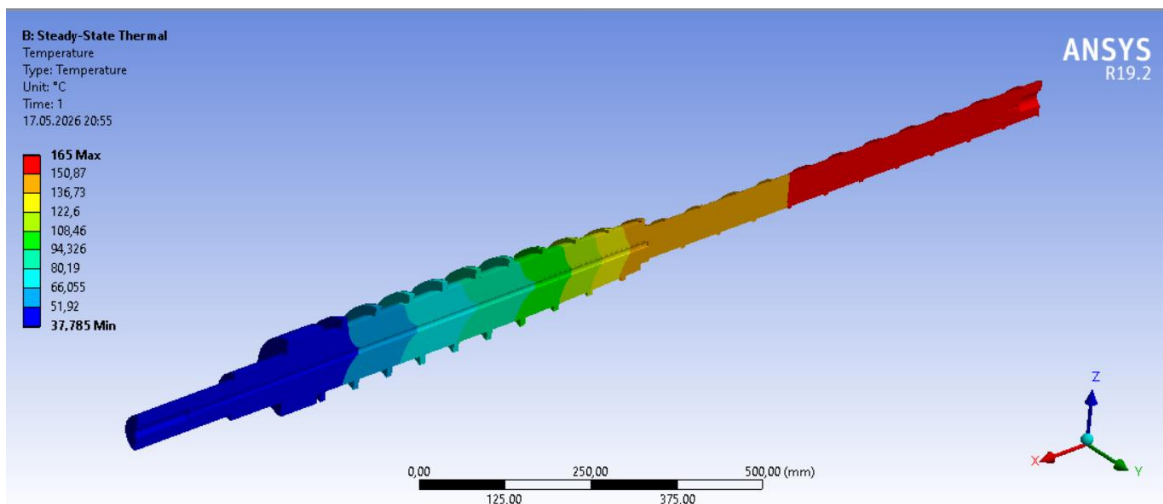


Рисунок 5.19 – Розподіл температур

Далі задаємо закріплення, крутний момент та силу (рис.5.20).

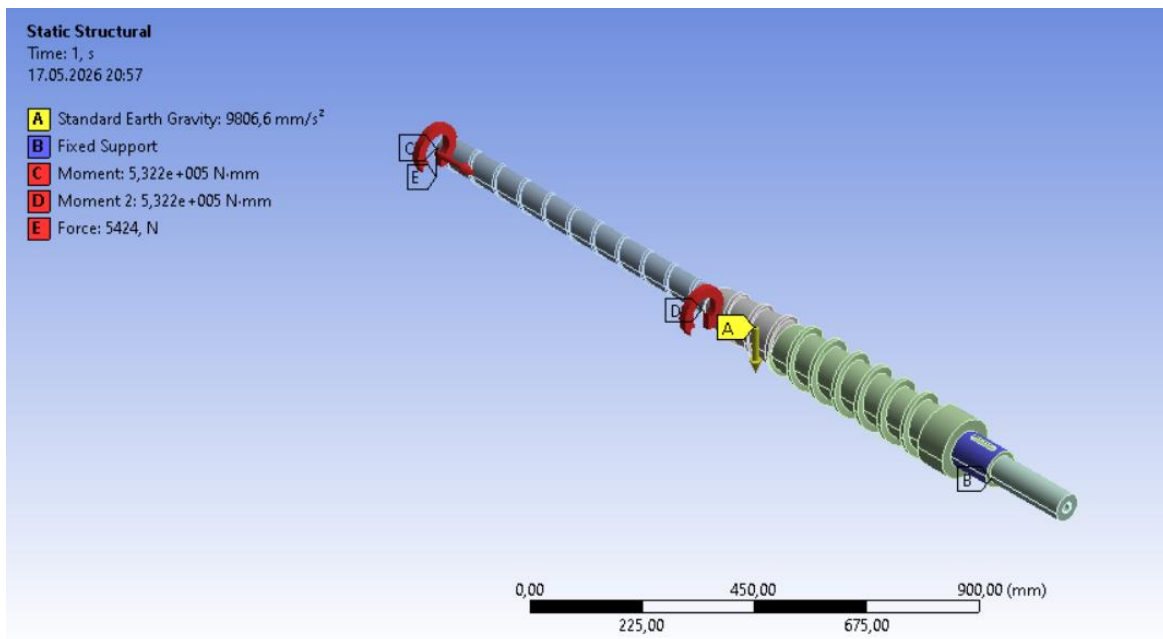


Рисунок 5.20 – Задання фізичних навантажень

Отримуємо загальні переміщення деталі (рис.5.21).

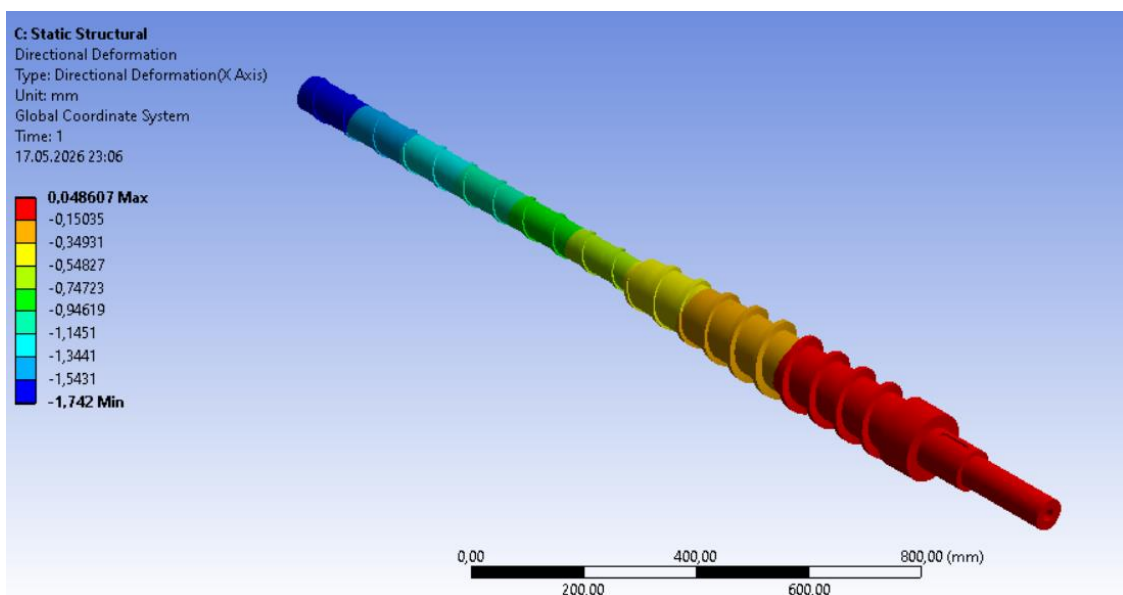


Рисунок 5.21 – Загальні переміщення в мм

Далі отримуємо еквівалентні напруження (рис 5.22).

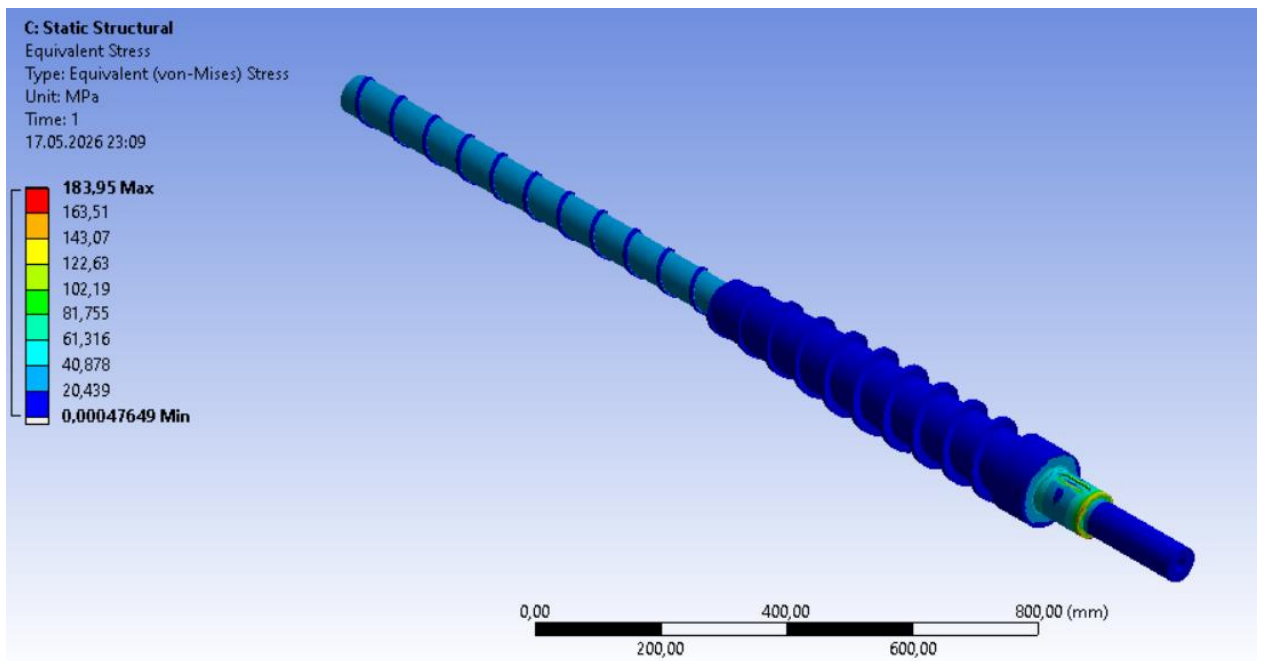


Рисунок 5.22 – Еквівалентне напруження

Далі перевіряємо запас міцності (рис 5.23).

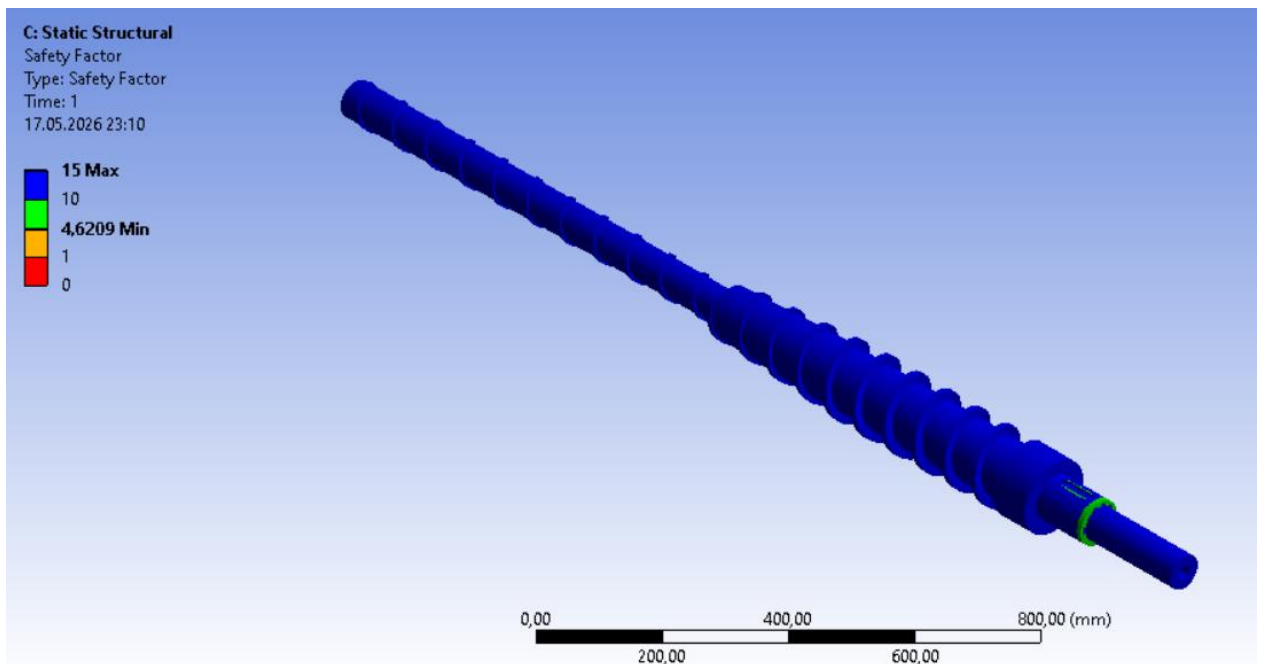


Рисунок 5.23 – Запас міцності

Отримуємо результат міцності 4,6209. Коефіцієнт запасу міцності модернізованої деталі розраховується так: $n = \frac{\sigma_t}{\sigma_{\text{екв}}} = \frac{850}{183,95} = 4,6208208$

Результат немодернізованого червв'яка 4,176. Коефіцієнт запасу міцності немодернізованої: $n = \frac{\sigma_t}{\sigma_{\text{екв}}} = \frac{850}{203,55} = 4,17588$

а це означає що черв'яки витримують напруження та є працездатними.

5.6 Результати числового моделювання

Результати числового моделювання підтверджують, що модернізований черв'як двосекційної конструкції забезпечує вищий рівень міцності порівняно з суцільним черв'яком.

Завдяки двом секціям було розвантажено хвостову частину черв'яка. Також збільшилася продуктивність, яка впливає на більшу кількість готової продукції.

Обидва варіанти розраховані за однакових умов навантаження та з використанням однакового матеріалу.

За результатами розрахунку максимальні еквівалентні напруження у немодернізованому черв'яку становлять 203,55 МПа. У модернізованому варіанті цей показник знизився до 183,95 МПа.

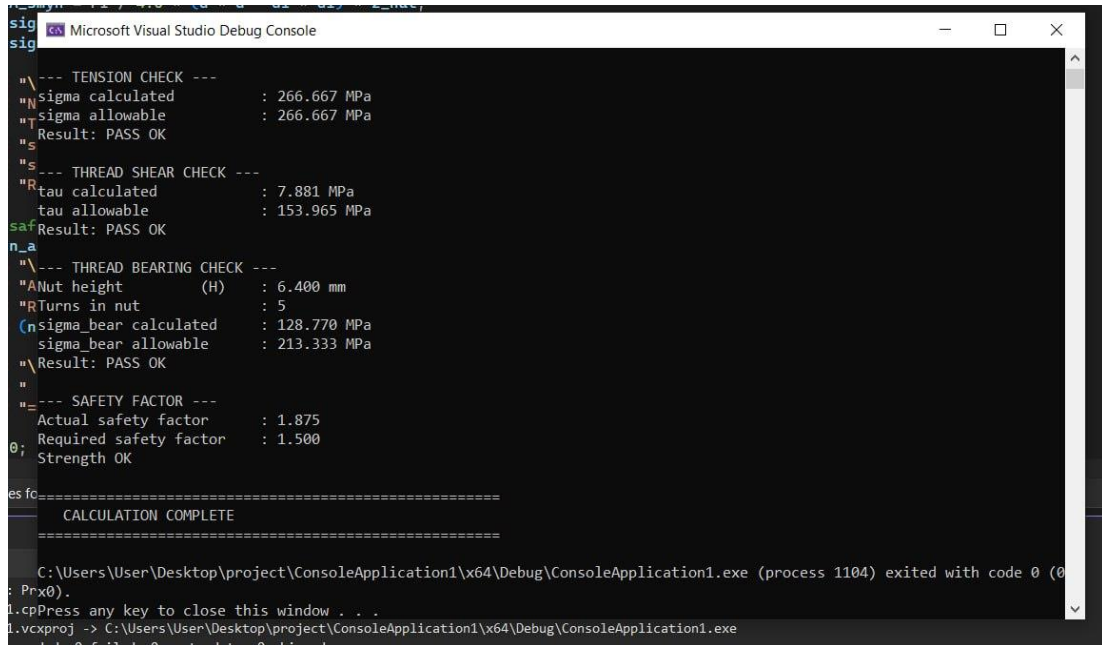
Максимальні напруження в обох випадках зосереджені в зоні переходу від тіла черв'яка до хвостовика – в місці різкої зміни перерізу. Саме тут виникають найбільші концентрації напружень при передачі крутного моменту. Завдяки вдосконаленій геометрії перехідної зони модернізована конструкція характеризується нижчими піковими напруженнями, що позитивно впливає на довговічність черв'яка при циклічних навантаженнях.

Мінімальний коефіцієнт запасу міцності для немодернізованого черв'яка становить 4,176. Для модернізованого варіанта цей показник дорівнює 4,621.

Підвищення мінімального коефіцієнта з 4,176 до 4,621 у модернізованому варіанті означає, що найбільш навантажена зона деталі стала менш критичною. Це підвищує надійність черв'яка при тривалій експлуатації та збільшує ресурс роботи без ремонту.

5.7 Розрахунки за допомогою C++

В цьому розділі проводяться розрахунки болта М8, довжиною 70 мм. Розрахунки проводяться для геометрії різьби болта, допустимих напружень, розрахунки зусилля, перевірку на зріз різьби та перевірку на зминання різьби. Такі болти використовуються для з'єднання двосекційних корпусів в модернізованому екструдері. Для розрахунків було використано програмне забезпечення C++. Отримані результати можна побачити на (рис. 5.24).



```
Microsoft Visual Studio Debug Console

--- TENSION CHECK ---
sigma calculated      : 266.667 MPa
sigma allowable      : 266.667 MPa
Result: PASS OK

--- THREAD SHEAR CHECK ---
tau calculated        : 7.881 MPa
tau allowable         : 153.965 MPa
Result: PASS OK

--- THREAD BEARING CHECK ---
Nut height (H)        : 6.400 mm
Turns in nut          : 5
sigma_bear calculated : 128.770 MPa
sigma_bear allowable  : 213.333 MPa
Result: PASS OK

--- SAFETY FACTOR ---
Actual safety factor   : 1.875
Required safety factor : 1.500
Strength OK

=====
CALCULATION COMPLETE
=====

C:\Users\User\Desktop\project\ConsoleApplication1\x64\Debug\ConsoleApplication1.exe (process 1104) exited with code 0 (0x0).
Press any key to close this window . . .
```

Рисунок 5.24 – Отримані результати в C++

Отримані результати:

1. Перевірка на розтяг:

$$\sigma_{\text{допустиме}} = 266.667 \text{ МПа}$$

2. Перевірка різьби на зріз:

$$\tau_{\text{розрахункове}} = 7.881 \text{ МПа}$$

$$\tau_{\text{допустиме}} = 153.965 \text{ МПа}$$

3. Перевірка різьби на зминання:

$$\sigma_{\text{зминання допустиме}} = 213.333 \text{ МПа}$$

4. Коефіцієнт запасу міцності:

$$\text{Фактичний коефіцієнт} = 1.875$$

$$\text{Необхідний коефіцієнт} = 1.500$$

РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРИДОВИЩА

6.1 Вступ

Охорона праці є невід'ємною складовою будь-якого виробничого процесу на підприємстві. Цей розділ аналізує можливі ризики та, запобігає нещасних випадків. В перероблювальній промисловості, де використовується обладнання з підвищеною небезпекою, мають бути створенні безпечні умови для працівників. Виконання вимог охорони праці на підприємстві є обов'язком роботодавця відповідно до статті 13 Закону України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-XII [18].

Зазвичай на підприємствах стаються випадки травмування та захворювань, через порушення правил безпеки. Екструдер, це складна технологічна машина, яка має свої вимоги для безпечного використання. Щоб уникнути ризиків, потрібно дотримуватися правил безпеки працівникам та підприємцю дотримуватися всіх вимог з охорони праці.

Метою цього розділу є аналіз умов праці в робочому цеху, площею 102 м² та об'ємом 1250 м³. Визначення потенційних небезпек та ризиків для працівників, які працюють з екструзійним обладнанням. Основною потенційною небезпекою є, можливість виникнення пожежі, теплові чинники, механічна небезпека, електрична небезпека, шум на робочому місці.

6.2 Пожежна небезпека

У процесі роботи черв'ячного екструдера відбувається плавлення ПВХ за температури 185°C. З огляду на ці умови, до ймовірних чинників виникнення пожежі належать: недотримання технологічних параметрів процесу; несправності в електричному обладнанні або мережі; куріння поза відведеними для цього місцями.

За характером пожежної небезпеки приміщення, в якому розміщується екструдер лінії виробництва труб, відноситься до категорії В – у ньому присутні горючі речовини. Клас зони за вибухо- та пожежонебезпекою – П-Па відповідно до ПУЕ.

Згідно з ДБН В.1.1-7:2016 [19], будівля має I ступінь вогнестійкості, кількість поверхів та площа поверху не обмежуються. Ширина евакуаційних виходів становить 0,9 м, коридорів – 1,1 м відповідно до ДБН В.1.1-7:2016.

Для захисту від накопичення статичної електрики передбачено заземлення технологічного обладнання.

У приміщенні встановлено три модулі автоматичного порошкового пожежогасіння САМ-9. Як первинні засоби пожежогасіння передбачено: чотири вуглекислотні вогнегасники ОУ-3 та шість ящиків з піском.

6.3 Теплові чинники

Нагрівальні компоненти екструзійного циліндра та формуючої головки розігріваються до температур, що перевищують 60–70°C. Безпосереднє торкання до розігрітих поверхонь здатне спричинити теплові ураження шкіри різного ступеня складності.

Під час роботи обладнання, відбувається конвективне та радіаційне теплоутворення. Температура повітря на робочому місці може перевищувати допустимі норми, особливо у літній період. Це призводить до теплового перевантаження організму та зниження продуктивності праці.

Регулювання мікрокліматичних умов здійснюється відповідно до ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» [20], який визначає граничні показники температури, вологості та інтенсивності руху повітряних мас у виробничих зонах.

6.4 Механічна небезпека

Обертові частини екструдера – шнек, муфти, ремінна або зубчаста передача приводу – є джерелами механічної небезпеки. Потрапляння кінцівок або одягу у рухомі частини може спричинити серйозні травми.

Особливу небезпеку становить зона завантажувального отвору. Матеріал подається у бункер вручну або за допомогою транспортера. Недостатня огороженості цієї зони підвищує ризик травмування.

Нормативний документ: ДСТУ EN ISO 12100:2016 «Безпечність машин. Загальні принципи проектування. Оцінювання ризиків та зменшення

ризиків»[21] визначає вимоги до огорожень, блокувань для захисних пристроїв.

6.5 Електрична небезпека

Машина має знаходитися у сухому цеху з нормальними кліматичними умовами. Підлога – залізобетонна, що повністю відповідає вимогам електробезпеки згідно з ДСТУ ІЕС 60364-4-41:2022 «Захист від ураження електричним струмом в електроустановках» [22]. Пульт керування працює від мережі 220 В / 50 Гц, електродвигуни лінії – від мережі 380 В / 50 Гц.

Основні заходи електробезпеки

Захисна апаратура. На щиті керування встановлюються автоматичні вимикачі та пристрої захисного відключення, які миттєво розривають коло живлення при виникненні надструмів, коротких замикань або витоків струму на корпус. Вимоги до монтажу та налаштування такої апаратури визначаються правилами улаштування електроустановок (ПУЕ) [23].

Захисне заземлення. Усі металеві корпуси електродвигунів, екструдера та інших вузлів лінії підключаються до захисного заземлювального контуру, що унеможливорює появу небезпечного потенціалу при пробіі ізоляції.

Ізоляція струмопровідних частин. Кабелі та провідники живлення прокладаються у захисних коробах або трубах. Опір ізоляції перевіряється під час планових технічних оглядів. Клемні з'єднання та розподільні колодки розміщуються у закритих електрошкафах зі ступенем захисту не нижче IP54 відповідно до вимог ПУЕ [23].

Навчання та допуск персоналу. Усі працівники, що обслуговують лінію, зобов'язані пройти первинний інструктаж з електробезпеки та отримати відповідну групу електробезпеки. Повторні інструктажі проводяться не рідше одного разу на рік згідно з вимогами НПАОП 0.00-7.14-17 «Вимоги безпеки та захисту здоров'я під час використання виробничого обладнання працівниками» [24].

Технічне обслуговування та періодичні перевірки. Стан ізоляції, надійність контактних з'єднань і справність захисних пристроїв перевіряються

під час щомісячних технічних оглядів та планових ремонтів. Порядок проведення таких перевірок визначається НПАОП 25.0-1.04-13 «Правила охорони праці на підприємствах з виробництва пластмасових виробів», а загальні принципи оцінювання ризиків обладнання – ДСТУ EN ISO 12100:2016 «Безпечність машин. Загальні принципи проектування» [21].

6.6 Виробничий шум та вібрація

Робота екструдера супроводжується постійним механічним шумом та вібрацією. Це виникає через механічну частину машини. Умови з підвищеним рівнем шуму призводить до зниження слуху, підвищеної втомлюваності та зростання ризику виробничих травм. Відповідно до ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» [25] допустимий рівень шуму на постійних робочих місцях не повинен перевищувати 80 дБА, а оптимальний показник для операторських приміщень становить 60 дБА.

З метою забезпечення нормативних показників шумового навантаження на виробництві застосовується комплекс технічних та організаційних заходів.

Першочерговим є застосування акустичних матеріалів та звукопоглинальних конструкцій. Внутрішні поверхні виробничого приміщення облицьовуються панелями з мінеральної вати або перфорованими акустичними плитами, що поглинають значну частину відбитого звуку. Вимоги до таких конструктивних рішень визначає ДБН В.1.1-31:2013 «Захист територій, будинків і споруд від шуму» [26].

На конструкційному рівні для такого обладнання передбачається встановлення машини на вібророзв'язках або амортизаторах, що суттєво знижує вібрації, які передається на підлогу та несучі конструкції будівлі. Додатково проводиться своєчасне змащення підшипникових вузлів, затяжка кріплень та заміна спрацьованих деталей.

За умови, коли технічні засоби не забезпечують повного зниження шуму до нормативного рівня, працівники забезпечуються засобами індивідуального захисту органів слуху – противошумними навушниками або беруші із

відповідним показником шумозаглушення. Порядок забезпечення та застосування таких засобів регламентується НПАОП 0.00-4.26-96 «Положення про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту» [27].

6.7 Вимоги до повітря

Якість повітря у виробничих приміщеннях безпосередньо впливає на безпеку персоналу та характеристики готової продукції, тому до нього висуваються чіткі нормативні вимоги.

Насамперед, повітря у робочій зоні не повинно містити пилу, аерозолів та сторонніх домішок. Так як, забруднені частинки здатні осідати на поверхнях, потрібно робити вологе прибирання. Для приміщень із категорією робіт середньої важкості, температура повітря має становити 19–25 °С, у теплий період 17–23 °С.

Важливою умовою є наявність ефективної системи вентиляції, яка забезпечує безперервне видалення надлишкового тепла від екструдерів, вологи та технологічних парів. Що регламентується ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» [28].

Окремої уваги потребує контроль вмісту шкідливих речовин. Під час переробки полімерів за підвищених температур, можливе виділення парів формальдегіду, ацетальдегіду та продуктів термодеструкції. Концентрація таких виділень не повинна перевищувати гранично допустимих значень. За наявності інтенсивних технологічних викидів необхідно встановлювати місцеві витяжні пристрої безпосередньо над зонами нагріву та формування, а загальну вентиляцію доповнювати фільтрами класу не нижче F7.

Крім безпеки персоналу, чистота повітря безпосередньо впливає на якість готової продукції. Мікрочастинки та хімічні домішки можуть спричиняти дефекти на поверхні труб – раковини та неоднорідність стінки. Тому контроль повітряного середовища є невід'ємною частиною системи управління якістю виробництва відповідно до ДСТУ EN ISO 15874-2:2022

«Системи трубопроводів із пластмас для гарячого та холодного водопостачання» [29].

Контроль усіх зазначених параметрів мікроклімату та вмісту шкідливих речовин слід проводити не рідше одного разу на квартал із фіксацією результатів у журналі виробничого контролю.

РОЗДІЛ 7. ТЕХНОЛОГІЯ МАШИННОБУДУВАННЯ

7.1 Опис та призначення деталі

Метою цього розділу є представлення технологічного процесу виготовлення деталі, а саме фланець корпуса (рис. 7.1). Фланець – використовується для з'єднання вузлів. В даному випадку він з'єднує двосекційний корпус.

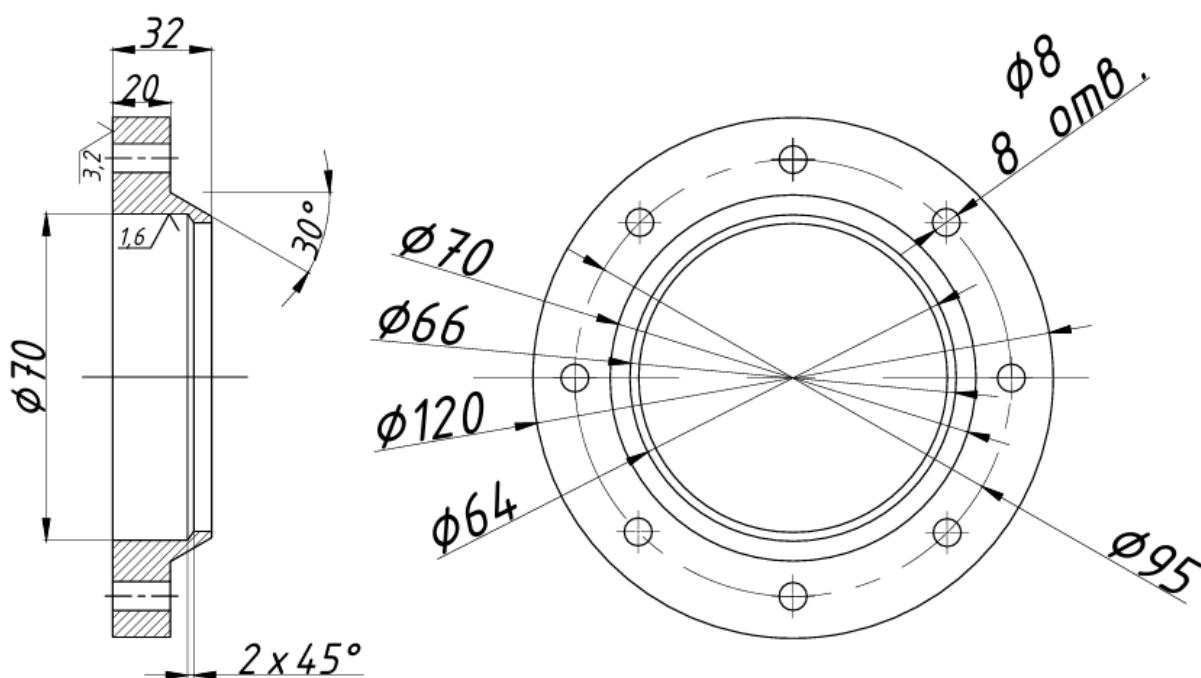


Рисунок 7.1 – Фланець корпуса.

Даний фланець корпуса виготовлений з заготовки зі сталі 40Х. Це конструкційна легрована сталь із вмістом хрому 0,8–1,1%, що забезпечує підвищену міцність ($\sigma_b = 980$ МПа, $\sigma_T = 785$ МПа), задовільну зварюваність та оброблюваність різанням у загартованому стані. Завдяки простій геометричній формі заготовка легко формується до проведення відпалу. Форма для заготовки береться за потрібними розмірами для деталі. Діаметром заготовка 122 мм, а товщиною 35 мм (рис. 7.2). Так як деталь не складна, то для її виготовлення потрібно використати токарний станок та свердлильний станок.

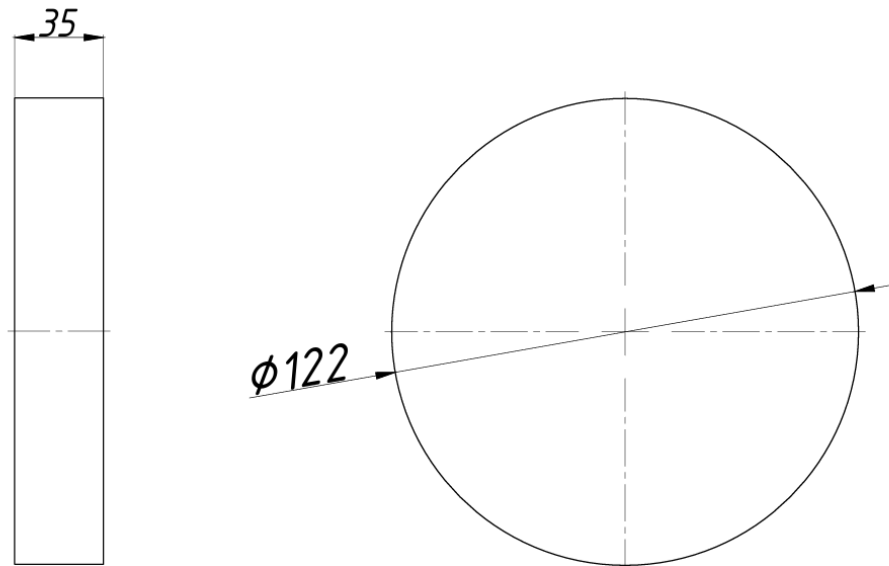


Рисунок 7.2 – Заготовка для деталі.

7.2 Розробка технологічного процесу виготовлення деталі

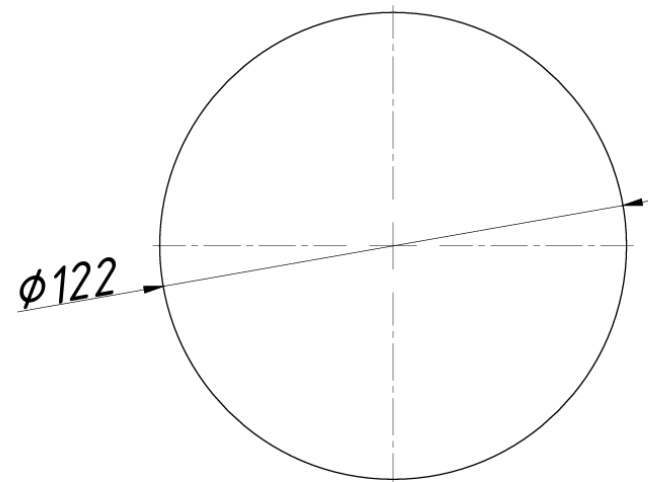
Для виготовлення цієї деталі потрібно виконати токарні роботи, такі як чорнові та чистові. А також на свердлильному станку, просвердлювання.

										ДСТУ 3.1118-82				Форма 1		
Дубл.																
Взамін.																
Підпис											Зм	Ар	№ док.	Підпис	Дата	
Розробив	Толкачов Д.А.					НТУУ "КПІ", ФАПІЕ										
Перевірів	Борщик С.О.															
										Фланець Корпуса			Н			
Н. контр.																
M01	Сталь 45Х ГОСТ 4543-71															
	Код		ОВ	МД	ОМ	Н.роз	КВМ	код.загот	Профіль і розміри			КД	МЗ			
M02			Кз	150	1		0,77					1	195			
А	Цех	Уч	Рм	Опер	Код, найменування операції				Позначення документу							
Б	Код, найменування обладнання				См	Проф.	Р	Уп	Кр		Коод	Он	Оп	Кшт	Тп.з	Т.шт
A01				005	3608 Заготівельна				60141.00001; 20141.00001; 10П№ХХ-ХХ							
B02	38261.XXXX Токарний верстат 16K20					18632	3	10	1		1	1	50	1		
03																
A04				010	3608 Токарна чорнова				60141.00003; 20141.00002; 10П№ХХ-ХХ							
B05	38261.XXXX Токарний верстат 16K20					18632	3	10	1		1	1	50	1		
06																
A07				020	4621 Свердлильна				60141.00002; 20141.00002; 10П№ХХ-ХХ							
B08	38261.XXXX Радіально-свердлильний верстат 2Н53					18632	3	10	1		1	1	50	1		
09																
A10				015	4621 Токарна чистова				60141.00002; 20141.00003; 10П№ХХ-ХХ							
B11	38261.XXXX Токарний верстат 16K20					18632	3	10	1		1	1	50	1		
12																
A13																
B14																
15																
МК	Обробка різанням															

Дубл.			
Взамін.			
Підпис			

						Зм	Ар	Недок.	Підпис
									Дата

Розробив	Толкачов Д.А.			НТУУ "КПІ", ФАПІЕ					005			
Перевірів	Борщик С.О.											
				Фланець корпусу						Н		
Н. контр.												

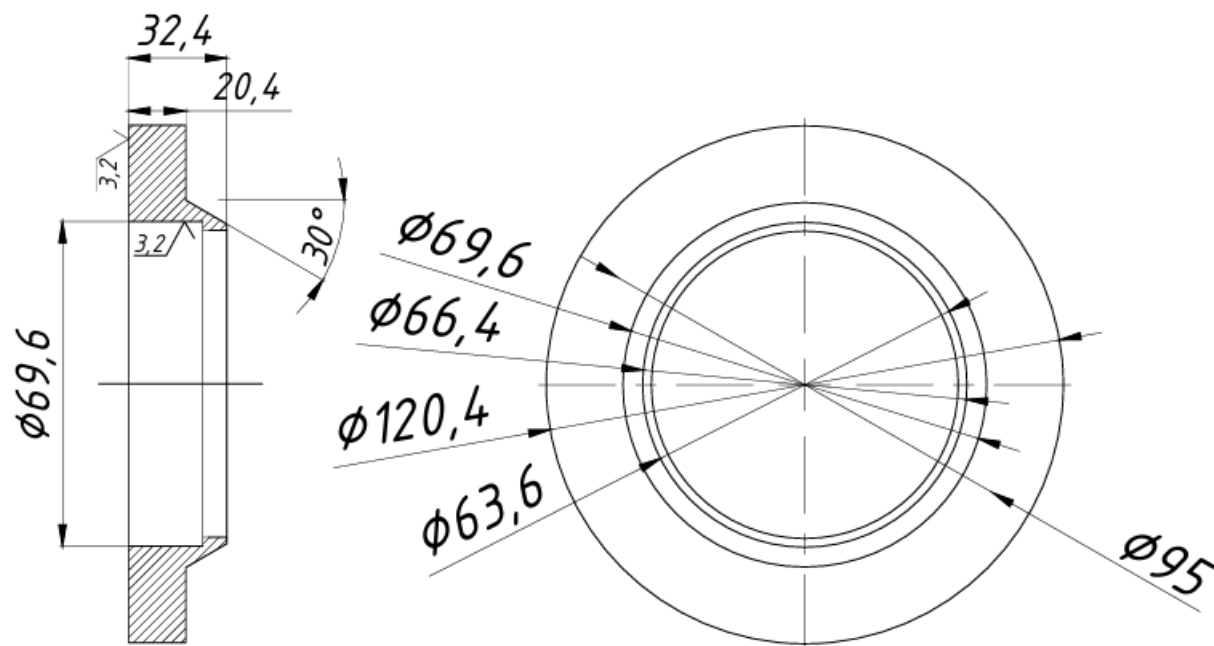


КЕ	Обробка різанням								
----	------------------	--	--	--	--	--	--	--	--

Дубл.			
Взамін.			
Підпис			

Зм	Ар	Недок.	Підпис	Дата

Розробив	Толкачов Д.А.			НТУУ "КПІ", ФАПІЕ		010			
Перевірів	Борщук С.О.								
				Фланець корпусу			Н		
Н. контр.									



KE

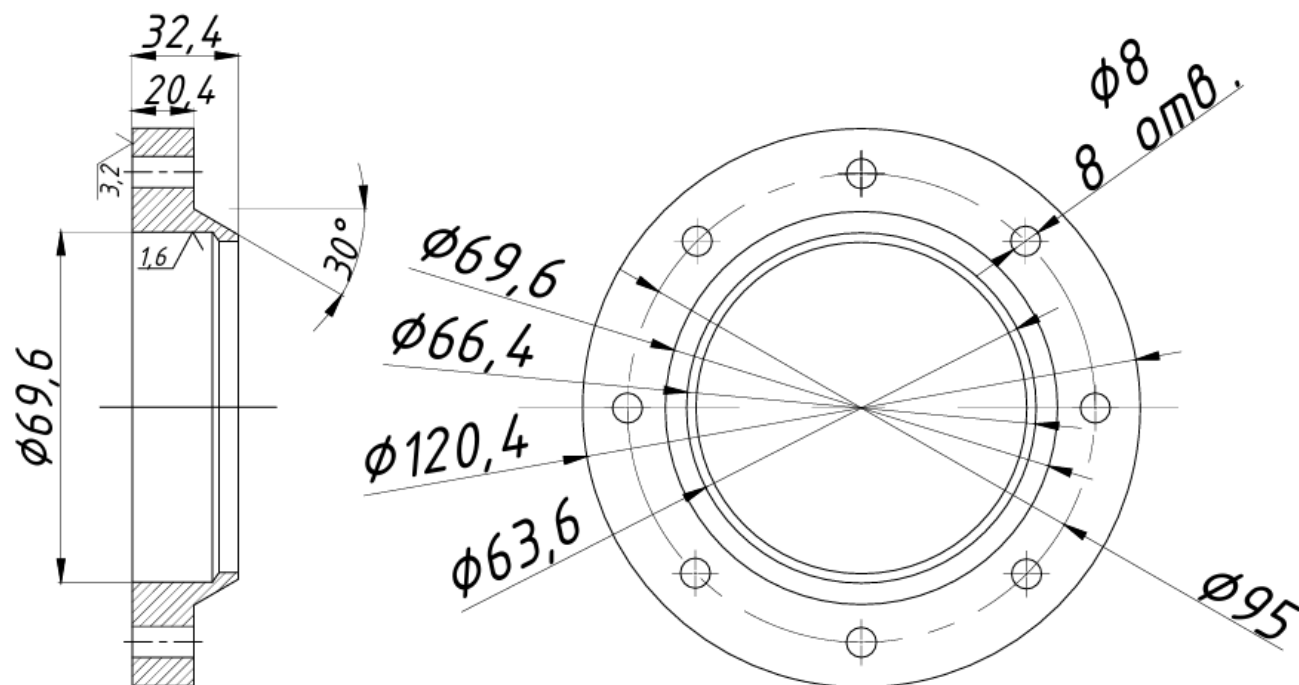
Обробка різанням

Дубл.			
Взамін.			
Підпис			

--	--	--	--	--

Зм	Ар	Недок.	Підпис	Дата

Розробив	Толкачов Д.А			НТУУ "КПІ", ФАПІЕ		020				
Перевірів	Борщик С.О.									
Н. контр.				Фланець корпусу				Н		



KE

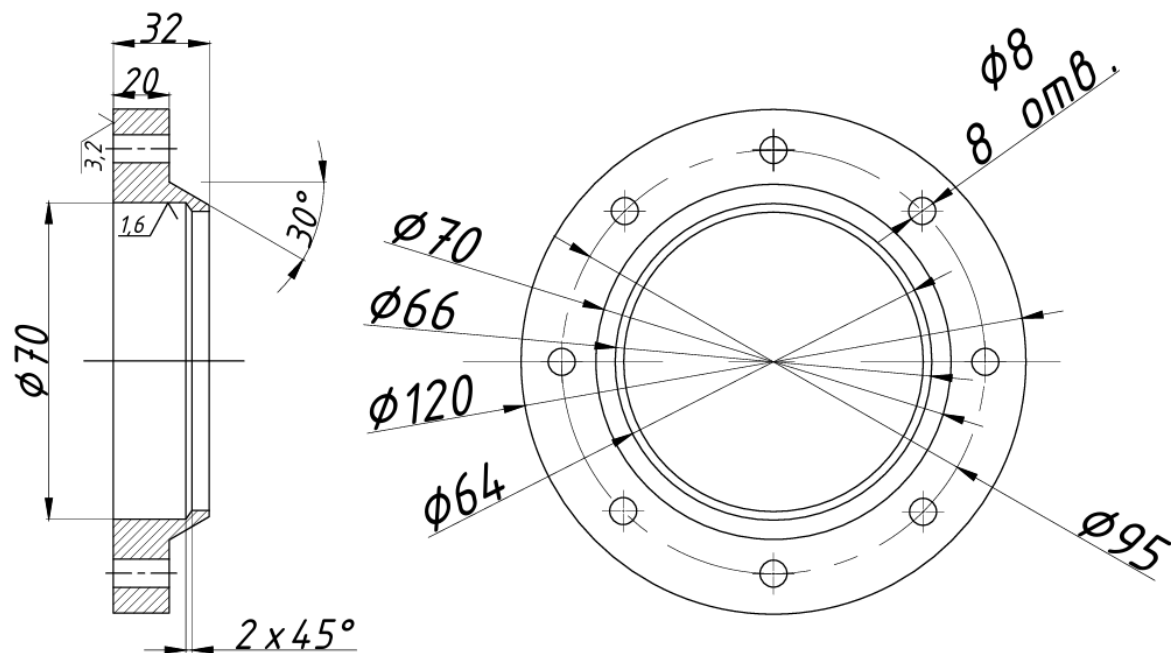
Обробка різанням

Дубл.			
Взамін.			
Підпис			

--	--	--	--	--

Зм	Ар	Недок.	Підпис	Дата

Розробив	Толкачов Д.А.			НТУУ "КПІ", ФАПІЕ		015			
Перевірів	Борщик С.О.								
				Фланець корпусу			Н		
Н. контр.									



KE

Обробка різанням

Дубл.																			
Взамін.																			
Підпис																			
Розробив	Толкачов Д.А.																		
Перевірів	Борщик С.О.																		
Н. контр.																			
				НТУУ "КПІ", ФАПІЕ															
				Фланець корпусу								Н				005			
				Назва операції								Матеріал							
				Відрізання								Сталь 45Х ГОСТ 4543-2016							
				Твердість	ОВ	МД		Профіль і розміри				МЗ		Коод					
					кє	150						195		0,77					
				Обладнання, пристрій ЧПК								Позначення програми							
				Токарний верстат 16К20															
				То	Тд	Тп.з	Тшт.					МОР							
												Емульсія							
Р					ПН	Дабо В	L	t		i	s	n	v						
P01	1. Відрізання заготовки.																		
T02																			
O3																			
O04																			
T05																			
T06																			
P07																			
O8																			
O9																			
O10																			
OK					Обробка різанням														

Дубл.														
Взамін.														
Підпис														
Розробив	Толкачов Д.А.													
Перевірів	Борщик С.О.													
Н. контр.														
				НТУУ "КПІ", ФАПІЕ										
				Фланець корпусу						Н		010		
				Назва операції				Матеріал						
				Токарна				Сталь 45Х ГОСТ 4543-2016						
				Твердість	ОВ	МД	Профіль і розміри		МЗ		Коод			
					кє	150			195		0,77			
				Обладнання, пристрій ЧПК				Позначення програми						
				Токарний верстат 16К20										
				То	Тд	Тп.з	Тшт.	МОР						
								Емульсія						
Р		ПН	Дабо В	L	t	i	s	n	v					
P01	1. Підрізати до потрібної форми;													
T02	2. Точити складну поверхню;													
O3	3. Точити діаметр Ø63,6 начорно;													
O04	4. Точити діаметр Ø69,6 начорно;													
T05														
T06														
P07														
O8														
O9														
O10														
OK	Обробка різанням													

Дубл.																			
Взамін.																			
Підпис																			
										Зм	Ар	№ док.	Підпис	Дата					
Розробив	Толкачов Д.А.							НТУУ "КПІ", ФАПІЕ											
Перевірів	Борщик С.О.																		
Н. контр.								Фланець корпуса		Н		020							
								Назва операції				Матеріал							
								Свердлильна				Сталь 45Х ГОСТ 4543-2016							
								ОВ	МД	МД	Профіль і розміри				МЗ	Коод			
									кг	150					195	0,77			
																Позначення програми			
								Радіально-свердлильний верстат 2Н53											
								То	Тд	Тп.з	Тшт.	МОР							
								Емульсія											
Р				ПН	Дабо В	L	t	i	s	n	v								
P01	1. Свердлити 8 отворів Ø8.																		
T02																			
O3																			
O04																			
T05																			
T06																			
P07																			
O8																			
O9																			
O10																			
OK	Обробка різанням																		

Дубл.															
Взамін.															
Підпис															
										Зм	Ар	№ док.	Підпис	Дата	
Розробив	Толкачов Д.А.							НТУУ "КПІ", ФАПІЕ							
Перевірів	Борщик С.О.														
							Фланець корпуса				Н		020		
							Назва операції			Матеріал					
							Токарна			Сталь 45Х ГОСТ 4543-2016					
							ОВ	МД	МД	Профіль і розміри		МЗ	Коод		
								кг	150			195	0,77		
							Обладнання, пристрій ЧПК					Позначення програми			
							Токарний верстат 16К20								
							То	Тд	Тп.з	Тшт.	МОР				
												Емульсія			
Р					ПН	Дабо В	L	t	i	s	n	v			
P01	1. Точити складну поверхню начисто;														
T02	2. Точити діаметр Ø64 начорно;														
O03	3. Точити діаметр Ø70 начорно;														
O04	5. Точити діаметр Ø120 начорно;														
T05	6. Точити діаметр товщина 32 начорно;														
T06															
P07															
O08															
O09															
O10															
OK	Обробка різанням														

7.3 Призначення пристосування для обробки деталі

Для точного свердління отворів у деталі використовується кондуктор (рис. 7.3). Це технологічне пристосування, в якому заготовка надійно фіксується, а свердло направляється через загартовані втулки, запресовані в плиту кондуктора.

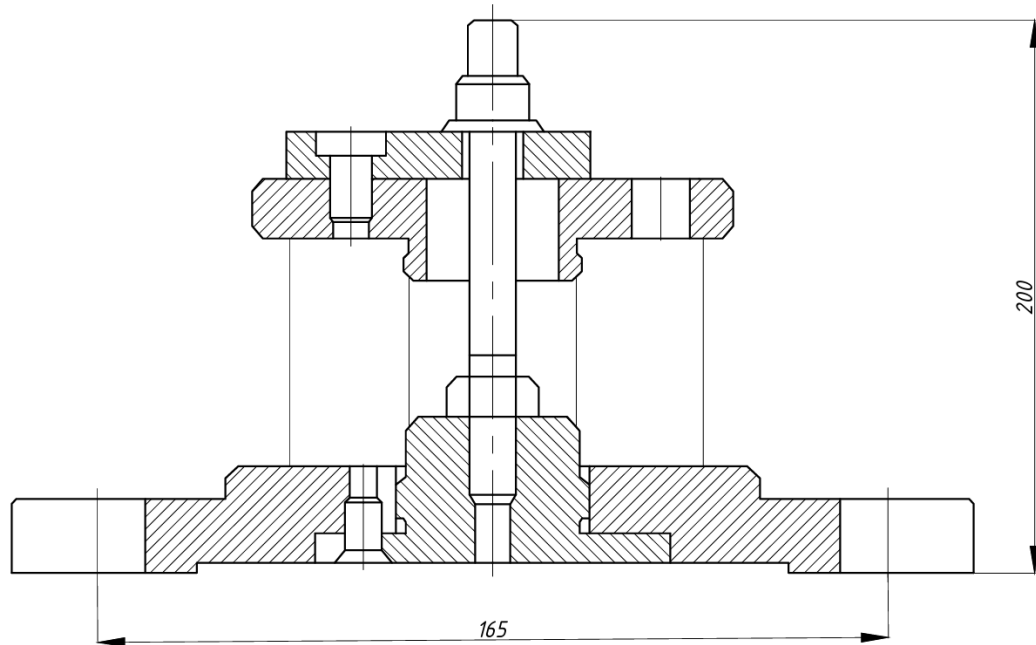


Рисунок 7.3 – Розріз кондуктора

Застосування кондуктора дає змогу уникнути попереднього розмічання отворів та повністю виключає відхилення інструменту від заданого напрямку, що забезпечує високу точність обробки деталі.

Деталь встановлюється на настановну втулку і базується по площині корпусу. Після цього кондукторна плита з напрямними втулками, опускається зверху, а затискна гайка через центральну тягу і нижню опорну гайку, надійно фіксує деталь.

Характерною особливістю конструкції є швидкозмінна втулка зі стопорним гвинтом, що дозволяє без переустановки деталі послідовно виконувати свердління.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дипломному проєкті було виконано модернізацію черв'ячного екструдера 63×25, призначеного для виробництва ПВХ-труб діаметром 100 мм.

За результатами виконаної роботи можна зробити такі висновки:

Проблему базової конструкції визначено та обґрунтовано. У стандартному суцільному черв'яку всі механічні навантаження, осьові сили та крутні моменти, зосереджуються в його хвостовій частині. Це прискорює знос деталі.

На основі патентного огляду запропоновано перехід від суцільного черв'яка до двосекційної конструкції з незалежним приводом кожної секції. Такий підхід дозволяє рівномірно розподілити навантаження між секціями, зменшити пікові напруження та подовжити ресурс машини без суттєвого ускладнення її конструкції.

Визначено геометрію черв'яка, кінематичні параметри, а також необхідну потужність привода. Розрахунки підтвердили відповідність модернізованої конструкції заявленій продуктивності – до 120 кг/год.

Побудовано 3D-модель і проведено числове моделювання. У середовищах SolidWorks та ANSYS виконано моделювання модернізованого черв'яка. Результати підтвердили, що двосекційна конструкція забезпечує більш рівномірний розподіл напружень порівняно з базовим варіантом.

Розглянуто питання охорони праці та безпеки. Проаналізовано основні небезпечні чинники виробництва: пожежну небезпеку, теплові та механічні ризики, вимоги до електробезпеки, шуму та якості повітря в робочій зоні. Умови експлуатації відповідають чинним нормативним вимогам.

Розроблено технологічний маршрут виготовлення фланця корпусу. Визначено послідовність операцій механічної обробки деталі із зазначенням обладнання, інструменту та режимів різання.

Таким чином, запропонована модернізація є технічно доцільною. Вона підвищує надійність екструдера, знижує навантаження на його вузли та розширює номенклатуру перероблюваної сировини, без значного зростання складності та вартості конструкції.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Мікульонок І. О. Механічні та гідромеханічні процеси, апарати і машини хімічної технології: Навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 175 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/66408> (дата звернення: 18.05.2026).
2. Пакувальне обладнання: Підручник / О. М. Гавва, А. П. Беспалько, А. І. Волчко, О. О. Кохан. Київ : ІАЦ «Упаковка», 2010. 744 с. URL: https://cpsm.kpi.ua/nauka/knigi/Kov_PakObl_lab-2013.pdf (дата звернення: 19.05.2026).
3. Мікульонок І.О. Технологія перероблення полімерів : підруч. 5-те вид., переробл. та доповн. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. – 314 с. Доступ: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/74268> (дата звернення: 21.05.2026).
4. Основи проектування одночерв'ячних екструдерів: навч. посіб. / І. О. Мікульонок, О. Л. Сокольський, В. І. Сівецький, Л. Б. Радченко. Київ: НТУУ «КПІ», 2015. 200 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/25367> (дата звернення: 22.05.2026).
5. Мікульонок І. О. Моделювання обладнання технологічних ліній для перероблення пластмас і гумових сумішей на базі валкових машин : монографія. Київ : НТУУ «КПІ», 2013. 243 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/37520> (дата звернення: 23.05.2026).
6. Основні процеси, машини та апарати хімічних виробництв: Підручник / І. В. Коваленко, В. В. Малиновський. Київ : Інрес : Воля, 2005. 264 с. URL: https://cpsm.kpi.ua/Doc/PAHV_uch.pdf (дата звернення: 25.05.2026).
7. URL: Вікіпедія - Вільна енциклопедія. <https://uk.wikipedia.org/wiki/Екструзія> (дата звернення: 25.05.2026).
8. Костюченко, Д. О., & Щербина, В. Ю. (2026, February). АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЕКТУВАННЯ КОРПУСУ ГОЛОВКИ ЕКСТРУДЕРА. In *The 4 th International scientific and practical conference "Innovation and development in world science" (February 2-4, 2026) MDPC Publishing, Zurich, Switzerland*. 2026. 332 p. (p. 68).
9. Hurin, R., Gondliakh, O., Sokolskyi, O., Shcherbina, V., & Antonyuk, S. (2025). Influence of carbon nanotubes on the characteristics of polymer melt flow during

extrusion of two-layer pipes. Bulletin of NTUU «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Series «Chemical Engineering, Ecology and Resource Saving», (2), 20–31. <https://doi.org/10.20535/2617-9741.2.2025.333972>

10. Черв'ячний екструдер : пат. В29С47/38 В29С47/60 Україна. № u201606439; №112310. – 3с. (дата звернення: 30.05.2026).

11. Екструзійна головка : пат. В29С47/12 Україна. № u201613571; №117354. – 3с. (дата звернення: 01.06.2026).

12. Черв'як екструдера: пат. В29С17/00 Україна. № u201404917; №93385. – 3с. (дата звернення: 01.06.2026).

13. Черв'ячний екструдер : пат. В29С47/36 В30В9/14 Україна. № u201701975; №119024. – 3с. (дата звернення: 02.06.2026).

14. Одночерв'ячний екструдер : пат. В29С47/36 В30С11/24 Україна. № u201704609; №119897. – 3с. (дата звернення: 02.06.2026).

15. Черв'як екструдер : пат. В29С48/00 В29С48/84 Україна. № u201902287; №137428. – 3с. (дата звернення: 02.06.2026).

16. Черв'як екструдер : пат. В29С48/50 Україна. № u202201283; №151520. – 3с. (дата звернення: 02.06.2026).

17. Коваленко І. В., Малиновський В. В. Розрахунки основних процесів, машин та апаратів хімічних виробництв: Навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Київ : «Норіта-плюс», 2007. 216 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/1646> (дата звернення: 04.06.2026).

18. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-ХІІ. *Відомості Верховної Ради України*. 1992. № 49. Ст. 668. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12> (дата звернення: 06.06.2026).

19. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. Київ : Мінрегіон України, 2017. 37 с. URL: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-916> (дата звернення: 06.06.2026).

20. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Київ : Міністерство охорони здоров'я України, 1999. 16 с. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0042282-99> (дата звернення: 06.06.2026).

21. ДСТУ EN ISO 12100:2016. Безпечність машин. Загальні принципи проектування. Оцінювання ризиків та зменшення ризиків. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2017. 84 с. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=73825 (дата звернення: 06.06.2026).

22. ДСТУ ІЕС 60364-4-41:2022. Захист від ураження електричним струмом в електроустановках. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. 76 с. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=60364-4-41 (дата звернення: 06.06.2026).

23. НПАОП 0.00-7.14-17. Вимоги безпеки та захисту здоров'я під час використання виробничого обладнання працівниками. Київ : Міністерство соціальної політики України, 2017. 24 с. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0742-17> (дата звернення: 06.06.2026).

24. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Київ : Міністерство охорони здоров'я України, 1999. 28 с. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0037282-99> (дата звернення: 06.06.2026).

25. ДБН В.1.1-31:2013. Захист територій, будинків і споруд від шуму. Київ : Мінрегіон України, 2014. 72 с. URL: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-1040> (дата звернення: 06.06.2026).

26. НПАОП 0.00-4.26-96. Положення про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту. Київ : Держнагляд охорони праці України, 1996. 18 с. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0446-96> (дата звернення: 07.06.2026).

27. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. Київ : Мінрегіон України, 2013. 149 с. URL: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-1048> (дата звернення: 07.06.2026).

28. ДСТУ EN ISO 15874-2:2022. Системи трубопроводів із пластмас для гарячого та холодного водопостачання. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. 48 с. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=15874-2

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Таблиця патентного огляду

№ з/п	Предмет пошуку	Країна видачі, вид і номер документа	Сутність заявленого технологічного рішення
1	Черв'ячний екструдер з автоматичною подачею матеріалу	Україна Корисна модель № 112310	Черв'як виконано двосекційним. Секція з боку завантажувального отвору кінематично пов'язана із заслінкою через важільний механізм з регульованою точкою опори. Забезпечує автоматичну та рівномірну подачу матеріалу, покращує якість виробів та зменшує кількість браку.
2	Екструзійна головка з рівномірним розподілом компонентів	Україна Корисна модель № 117354	В місці сполучення отвору підведення компонентів (зокрема змащувального агента) з каналом виконано поперечні канавки, що сходяться нанівець у напрямку руху матеріалу (форма прямокутного трикутника). Забезпечує рівномірний розподіл компонентів по поверхні каналу, покращує умови течії розплаву полімеру.
3	Черв'як екструдера з рухомим наконечником	Україна Корисна модель № 93385	Наконечник черв'яка виконано з можливістю осьового руху відносно робочої зони та споряджено пружним елементом (пружиною стиснення) з засобом регулювання жорсткості. Забезпечує згладжування пульсацій потоку розплаву на виході з екструдера та стабільну роботу.
4	Черв'ячний екструдер з обертовими елементами	Україна Корисна модель № 119024	Кожна ділянка робочого каналу з обертовими елементами розташована в межах нарізки черв'яка; елементи виконані поздовжніми з циліндричними кінцями, розміщеними в пазах гребенів витків. Середня частина елемента має некруглий переріз. Забезпечує підвищений тиск, інтенсивне перемішування, диспергування та рівнотовщинність трубчастого виробу.

№ з/п	Предмет пошуку	Країна видачі, вид і номер документа	Сутність заявленого технологічного рішення
5	Одночерв'ячний екструдер зі змішувальною секцією та штифтовим черв'яком	Україна Корисна модель № 119897	Змішувальна секція черв'яка оснащена радіальними штифтами та виконана порожнистою для розміщення дорна. Дорн у поперечному перерізі виконано некруглої форми (еліпс, гіпоциклоїда, епіциклоїда або овал Кассіні). Штифти здійснюють зворотно-поступальний рух при обертанні черв'яка, забезпечуючи інтенсивне перемішування та диспергування.
6	Черв'як екструдера з охолодженням через поздовжні шліци (пряме розташування)	Україна Корисна модель № 137428	Порожнина осердя черв'яка з боку наконечника виконана з поздовжніми шліцами в межах циліндричної ділянки з неглибокою нарізкою (знімна ділянка). Збільшує поверхню тепловіддачі та підвищує ефективність охолодження черв'яка, зменшує витрату охолоджувальної води.
7	Черв'як екструдера з охолодженням через похилі поздовжні шліци	Україна Корисна модель № 151520	Поздовжні шліци порожнини осердя черв'яка розташовані під гострим кутом до поздовжньої осі осердя. Збільшення площі поверхні тепловіддачі та забезпечення турбулізації охолоджувальної води інтенсифікує процес охолодження черв'яка та зменшує витрату охолоджувальної води.

ДОДАТОК Б

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка	
				Документація			
A1			ЛП22.161543.02-70	Екструдер 63х25 для виробництва трубних виробів діаметром 100 мм			
				Складальні одиниці			
		1	ЛП22.161543.02.001-70	Рама	1		
		2	ЛП22.161543.02.002-70	Кожух корпуса	1		
		3	ЛП22.161543.02.003-70	Бункер	1		
		4	ЛП22.161543.02.004-70	Система охолодження	1		
		5	ЛП22.161543.02.005-70	Корпус	1		
		6	ЛП22.161543.02.006-70	Воронка завантажувальника	1		
				Деталі			
		7	ЛП22.161543.02.007-70	Черв'як			
		8	ЛП22.161543.02.008-70	Втулка			
		9	ЛП22.161543.02.009-70	Плита несуча			
				Стандартні вироби			
		10		Болт М16х50 ГОСТ 7798-70	6		
		11		Болт М12х30 ГОСТ 7798-70	8		
		12		Болт М12х50 ГОСТ 7798-70	6		
		13		Гайка М16.6.019 ГОСТ 5915-70	6		
		14		Гайка М12.6.019 ГОСТ 5915-70	14		
		15		Шайба 12.65Г.019 ГОСТ 640-70	6		
		16		Шайба 16.65Г.019 ГОСТ 640-70	14		
				ЛП22.161543.000-70 ВЗ			
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Толкачов Д.А.						
Перев.	Шилович Т.Б.						
Н.Конт.							
Затв.	Сокольський О.Л						
Екструдер 63х25 для виробництва трубних виробів діаметром 100 мм					Літ.	Аркуш	Аркушів
						1	1
					КПІ ім. Ігоря Сікорського		

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
				<u>Документація</u>		
A1			ЛП22.161543.05-70	Екструдер 63х25 для виробництва трубних виробів діаметром 100 мм		
				<u>Складальні одиниці</u>		
		1	ЛП22.161543.05 001-70	Рама	1	
		2	ЛП22.161543.05 002-70	Кожух корпусу	1	
		3	ЛП22.161543.05 003-70	Бункер	1	
		4	ЛП22.161543.05 004-70	Система охолодження	1	
		5	ЛП22.161543.05 005-70	Корпус	1	
		6	ЛП22.161543.05 006-70	Воронка завантажувальника	1	
		7	ЛП22.161543.05 007-70	Мотор	2	
		8	ЛП22.161543.05 008-70	Редуктор	2	
		9	ЛП22.161543.05 009-70	Вентелятори	4	
				<u>Деталі</u>		
		10	ЛП22.161543.05 010-70	Черв'як	7	
		11	ЛП22.161543.05 011-70	Втулка	8	
		12	ЛП22.161543.05 012-70	Плита несуча	9	

					ЛП22.161543.003-70 СК				
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата					
Розроб.	Толкачов Д.А.				Екструдер для виробництва полімерних труб з модернізацією черв'яка		Літ.	Аркуш	Аркушів
Перев.	Шилович Т.Б.							1	2
							КПІ ім. Ігоря Сікорського		
Н.Конт.									
Затв.	Сокольський О.Л								

[illegible]

ДОДАТОК В

```

#include <iostream>
#include <cmath>
#include <iomanip>

using namespace std;

const double PI = 3.14159265358979323846;

int main() {
    cout << fixed << setprecision(3);
    cout << "=====\n";
    cout << " BOLT M8 x 70 - STRENGTH CALCULATION\n";
    cout << "=====\n\n";

    const double d = 8.0;
    const double pitch = 1.25;
    const double L = 70.0;
    const double sigma_t = 400.0;
    const double sigma_b = 500.0;
    const double s_safety = 1.5;

    cout << "--- INPUT DATA ---\n";
    cout << "Bolt designation : M" << (int)d << " x " << (int)L << " mm\n";
    cout << "Thread pitch (p) : " << pitch << " mm\n";
    cout << "Strength class : 5.8\n";
    cout << "Yield strength (sigma_t) : " << sigma_t << " MPa\n";
    cout << "Ultimate strength (sigma_b) : " << sigma_b << " MPa\n";
    cout << "Safety factor (n) : " << s_safety << "\n\n";

    double d1 = d - 1.0825 * pitch;
    double d2 = d - 0.6495 * pitch;
    double A1 = PI / 4.0 * d1 * d1;
    double As = PI / 4.0 * pow((d2 + d1) / 2.0, 2);
    int z = (int)(L / pitch);

    cout << "--- THREAD GEOMETRY ---\n";
    cout << "Inner diameter (d1) : " << d1 << " mm\n";
    cout << "Mean diameter (d2) : " << d2 << " mm\n";
    cout << "Area by d1 (A1) : " << A1 << " mm^2\n";
    cout << "Stress area (As) : " << As << " mm^2\n";
    cout << "Number of turns (z) : " << z << "\n\n";

    double sigma_allow = sigma_t / s_safety;
    double tau_allow = sigma_allow / 1.732;

    cout << "--- ALLOWABLE STRESSES ---\n";
    cout << "Allowable tension [sigma] : " << sigma_allow << " MPa\n";
    cout << "Allowable shear [tau] : " << tau_allow << " MPa\n\n";

    double F_max = sigma_allow * As;
    cout << "--- FORCES ---\n";
    cout << "Max axial force (F) : " << F_max << " N ("
    << F_max / 1000.0 << " kN)\n";
}

```

```

// --- tension check ---
double sigma_calc = F_max / As;
cout << "\n--- TENSION CHECK ---\n";
cout << "sigma calculated : " << sigma_calc << " MPa\n";
cout << "sigma allowable : " << sigma_allow << " MPa\n";
cout << "Result: " << (sigma_calc <= sigma_allow ? "PASS OK\n" : "FAIL\n");

// --- thread shear check ---
double tau_calc = F_max / (PI * d1 * pitch * z * 0.87);
cout << "\n--- THREAD SHEAR CHECK ---\n";
cout << "tau calculated : " << tau_calc << " MPa\n";
cout << "tau allowable : " << tau_allow << " MPa\n";
cout << "Result: " << (tau_calc <= tau_allow ? "PASS OK\n" : "FAIL\n");

// --- bearing/crushing check ---
double H_nut = 0.8 * d;
int z_nut = (int)(H_nut / pitch);
double A_smyrn = PI / 4.0 * (d * d - d1 * d1) * z_nut;
double sigma_sm = F_max / A_smyrn;
double sigma_sm_allow = 0.8 * sigma_allow;

cout << "\n--- THREAD BEARING CHECK ---\n";
cout << "Nut height (H) : " << H_nut << " mm\n";
cout << "Turns in nut : " << z_nut << "\n";
cout << "sigma_bear calculated : " << sigma_sm << " MPa\n";
cout << "sigma_bear allowable : " << sigma_sm_allow << " MPa\n";
cout << "Result: " << (sigma_sm <= sigma_sm_allow ? "PASS OK\n" : "FAIL\n");

// --- safety factor ---
double n_actual = sigma_b / sigma_calc;
cout << "\n--- SAFETY FACTOR ---\n";
cout << "Actual safety factor : " << n_actual << "\n";
cout << "Required safety factor : " << s_safety << "\n";
cout << (n_actual >= s_safety ? "Strength OK\n" : "Strength NOT OK\n");

cout << "\n===== \n";
cout << " CALCULATION COMPLETE\n";
cout << "===== \n";

return 0;
}

```

ДОДАТОК Г

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет автоматизації, промислової інженерії та екології
Кафедра хімічного, полімерного та силікатного машинобудування
Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України
Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України
Академія будівництва України
Громадська організація «Клуб пакувальників»

**ЗБІРНИК ДОПОВІДЕЙ
XXIII Всеукраїнської
науково-практичної конференції**

**ЕФЕКТИВНІ ПРОЦЕСИ ТА
ОБЛАДНАННЯ ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ
ТА ПАКУВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ**

Київ, 8-9 червня 2026 року

УДК 678.05
ББК 30

Збірник доповідей XXIII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Ефективні процеси та обладнання хімічних виробництв та пакувальної техніки». Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2026. – 128 с.

Видання містить програму та доповіді (в редакції авторів) XXIII Всеукраїнської науково-практичної конференції, що відбулася на кафедрі хімічного, полімерного і силікатного машинобудування факультету автоматизації, промислової інженерії та екології Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» 8-9 червня 2026 року.

Для науковців, аспірантів і студентів вищих навчальних закладів.

Рекомендовано до друку Вченою радою ФАПІЕ КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Співорганізатори конференції:

Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України

Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України

Академія будівництва України

Громадська організація «Клуб пакувальників»

Голова оргкомітету:

заслужений працівник народної освіти України, д-р техн. наук, професор каф. ХПСМ КПІ ім. Ігоря Сікорського Панов Є.М.

Заступники голови - члени організаційного комітету:

д-р техн. наук, доцент, зав. каф. ХПСМ КПІ ім. Ігоря Сікорського Сокольський О.Л.,

д-р техн. наук, старш. наук. співроб., професор, професор каф. ХПСМ КПІ

ім. Ігоря Сікорського Карвацький А.Я.,

заслужений винахідник України, д-р техн. наук, старш. наук. співроб., професор,

професор каф. ХПСМ КПІ ім. Ігоря Сікорського Мікульонок І.О.,

канд. техн. наук, професор, професор каф. ХПСМ КПІ ім. Ігоря Сікорського Сівецький В.І.,

д-р техн. наук, професор, зав. відділом ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України Пашенко Є.О.,

заслужений діяч науки і техніки України, академік Академії будівництва України, д-р техн. наук,

професор, зав. каф. МОТП КНУБА Назаренко І.І.,

академік Академії будівництва України, д-р техн. наук, професор, професор Сахаров О.С.

канд. техн. наук, президент ГО «Клуб пакувальників» Халайджі В.В.

Секретар конференції:

PhD, асистент каф. ХПСМ КПІ ім. Ігоря Сікорського Витвицький В.М.

Верстка та видання:

PhD, асистент каф. ХПСМ КПІ ім. Ігоря Сікорського Витвицький В.М.

Відповідальний за випуск
Сокольський О.Л., доктор техн. наук, доцент,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ЗМІСТ**СЕКЦІЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ПРОЕКТУВАННЯ І РОЗРАХУНКІВ
ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ТА ПРОЦЕСІВ**

Стор.

Горбатенко М.В., Шеремет Я.В., Гондляр О.В. Підвищення надійності роботи

роликоопори стрічкового конвеєра	5
Dunin K. D., Ratushynskiy I.I., Hondliakh O. V. Co-extrusion Head for the Production of Double-Layer Pipes with Enhanced Interlayer Adhesion	11
Сопулє Н.Е., Демидик О.І., Шеремет Я.В., Борщик С.О. Млин трубний з модернізацією розвантажувальної частини.....	15
Єлінов М.М., Бернадін В.М., Гур'єва Л.Н. Підвищення теплопровідності дорнотримача формуючої головки для екструзії труб	19
Вітківська А.В., Гунчар Д.О., Гур'єва Л.Н. Модернізація пластикаційного механізму термопластавтомата ТПА-250.....	24
Карвацький А.Я., Походенко О.Т., Луцевят І.О. Аналіз перспективи застосування біоміметичних полімерно-керамічних композитних матеріалів в авіабудуванні	27
Бондаренко А.М., Сокольський О.Л. Мікромеханічний аналіз та моделювання лляних/епоксидних ламінатів	29
Сідоров Д.Е., Гарбовський Д.А. Дослідження модернізованого шнека дозатора гранул Козік Д.О., Сорока І.Д., Сідоров Д.Е. Теплове моделювання локального впливу CO ₂ -лазера на OLIO Laserrubber	32
Панцир А.С., Чемерис А.О. Моделювання процесів змішування розплавів термопластів у динамічному змішувачі.....	35
Шілович Т.Б., Тарасюк Х.І., Козловець А.О. Модернізація формуючої головки	37
Шілович І.Л., Гроховецький В.С. Дослідження електричного стану робочої комірки печі Ачесона	40
Панченко О.В., Іваннікова К.Е., Швачко Д.Г. Дослідження модернізованої міжкамерної перегородки трубного млина.....	43
Курлович О.А., Стерпу А.Е., Швачко Д.Г. Модернізація натяжного пристрою пластинчастого живильника	47
Шпак О.Л., Яцук В.Д. Мікульонік І.О., Швачко Д.Г. Удосконалення футерівки однокамерного млина	51
Іванюк О.Є., Витвицький В.М., Мікульонік І.О. Оцінка напружено-деформованого стану вдосконаленої конструкції черв'яка екструдера	55
Шапран Д.Р., Швець Д.А., Витвицький В.М., Мікульонік І.О. Дослідження напружено-деформованого стану корпусу екструдера	58
Витвицький В.М., Походенко О.Т., Карвацький К.Ю. Дослідження руйнування матеріалів методами молекулярної динаміки з використанням силового поля ReaxFF..	62
Пушкарьова К.К., Глумаков І.О., Снігур О.В. Наномодифікація гідротехнічних бетонів як спосіб покращення їх водостійкості та довговічності	66
	69

СЕКЦІЯ МАШИНИ І ТЕХНОЛОГІЇ ПАКУВАННЯ

Слабинський С.О., Карасьов В.С., Федоряченко Ю.А., Герасименко Ю.Ю. Модернізація багатоспіральної екструзійної головки для переробки полімерів з високою температурою плавлення	72
Гафинець Т.М., Козловець А.О., Казак І.О. Модернізація екструзійної головки екструдера для виготовлення полімерної рукавної плівки з метою підвищення якості..	75
Ковтанюк Р.О., Партоленко О.К., Олексішен В.О. Модифікація екструзійної головки екструдера для виготовлення полімерної рукавної плівки	77

Йовченко М.В., Сокольський О.Л., Партоленко О.К. Модернізація штока дозатора розливного автомата карусельного типу	80
Новохатський Д.О., Сокольський О.Л., Коцюба З.М. Форма для термоформування ємностей з багаторазовим відкриванням	82
Крижановський О.І., Шатківський М.О., Швачко Д.Г. Удосконалення агрегату з виробництва рукавної плівки.....	84
Кривенко Н.Р., Шилович Т.Б. Утилізація штучного каучуку як одне з рішень по збереженню навколишнього середовища	87

СЕКЦІЯ ОБЛАДНАННЯ ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ І ПІДПРИЄМСТВ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Буканов М.С., Чобіток С.В., Казак І.О. Удосконалення конструкції ексцентрикового валу щокової дробарки для забезпечення самобалансування	89
Вовк В.В., Федірко С.О., Казак І.О. Удосконалення теплового регулювання валка вальців для гуми	91
Кушнар'єв Р.О., Стерпу А.Е., Казак І.О. Удосконалення конструкції шнекового живильника на основі застосування шнеку гребінчастою структурою для забезпечення стабільного транспортування матеріалу	93
Іщук В.Є., Загорський І.Б., Гур'єва Л.Н. Екструзійна головка для виробництва виробів з полімерних матеріалів.....	95
Шевцов А.О., Луцевят І.О., Гур'єва Л.Н. Черв'ячна машина для перероблення матеріалів з використанням високомолекулярних сполук.....	97
Гунчар Д.О., Віноват І.О., Мікульонюк І.О. Насадка тепломасообмінного апарату у вигляді опукло-увігнутої оболонки.....	100
Козловський І.А., Бернадін В.М., Мікульонюк І.О. Насадка-трансформер тепломасообмінного апарату	102
Шапран Д.Р., Швець Д.А., Мікульонюк І.О., Витвицький В.М. Удосконалення змішувальної ділянки корпусу одношнекового преса	104
Іванюк О.Є., Гануш Р.О., Мікульонюк І.О., Витвицький В.М. Удосконалення наконечника шнека одношнекового преса	106
Лабуренко Д.О., Шермазанян А.О., Олексішен В.О. Модифікована конструкція екструдерного шнека для підвищення ефективності процесу екструзії.....	108
Хорошун Ю.В., Сокольський О.Л., Скомороха Н.В. Вдосконалення завантажувального бункера екструдера	110
Костюченко Д.О., Мальчевський О.Т., Сокольський О.Л. Покращення процесу утилізації полімерів методом екструзії шляхом модернізації конструкції черв'яка.....	112
Білецький К.М., Сокольський О.Л., Коцюба Н.М. Модернізація футеровки барабанного кульового млина.....	114
Кочума М.В., Сівецький В.І. Комбінована система терморегулювання валків валкових машин для переробки полімерних матеріалів	116
Ходжаян С.К., Бондар Р.В., Сідоров Д.Е. Вдосконалення конструкції екструдера для	

переробки термопластів.....

118

Воробйов К.В., Сідоров Д.Е. Вальці для підготовки гумової суміші з модернізацією валків

119

Пригода Р.С., Петров Д.Г., Швачко Д.Г. Модернізація дебалансного вібратора віброшнекового живильника комбікормового виробництва

121

Ткаченко В.І., Шилович Т.Б., Демидик О.І. Дослідження енергоефективності та надійності модернізованої валкової дробарки для подрібнення механічного забруднення у стічній воді

124

Толкачов Д.А., Шилович Т.Б. Екструдер з модернізованим черв'яком

126

Екструдер з модернізованим черв'яком

Толкачов Д.А., студ., Шилович Т.Б., к.т.н., доц.

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

У роботі розглянуто конструкцію, принцип дії та розрахунок одночерв'ячного екструдера 63×25, призначеного для виробництва трубних виробів із полівінілхлориду (ПВХ) діаметром 100 мм. На основі патентно-літературного огляду обґрунтовано вибір модернізації черв'яка: перехід від односекційної до двосекційної конструкції з незалежним приводом. Виконано інженерні розрахунки геометрії черв'яка, продуктивності, перепаду тиску в екструзійній головці та потужності приводу. Досліджено напружено-деформований стан 3D-модель модернізованого черв'яка у середовищі ANSYS. Отримані результати підтверджують працездатність конструкції.

Ключові слова: екструдер, модернізація, черв'як, екструзія, полівінілхлорид.

Вступ. Екструзія є одним із найпоширеніших методів безперервного формування виробів із термопластів. Черв'ячні екструдери широко використовуються у полімерній, будівельній та хімічній промисловості для виробництва труб, плівок, профілів і кабельної ізоляції [1]. Постійне зростання обсягів переробки полімерних матеріалів, у тому числі вторинної сировини, висуває підвищені вимоги до надійності та продуктивності екструзійного обладнання [2].

Одним із найбільш навантажених вузлів черв'ячного екструдера є черв'як, зокрема його хвостова частина, яка сприймає значні осьові зусилля та крутні моменти. Знос або руйнування цього вузла призводить до зупинки виробництва та суттєвих економічних втрат. Тому вдосконалення конструкції черв'яка є актуальним завданням [2].

Метою роботи є модернізація одночерв'ячного екструдера 63×25 шляхом переходу до двосекційної конструкції черв'яка з незалежним приводом кожної секції. Таке рішення дозволяє розподілити навантаження між секціями, підвищити надійність машини та розширити діапазон перероблюваної сировини.

Методи і матеріали.

Для досягнення поставленої мети застосовано комплекс методів.

1. Патентно-літературний огляд. Проаналізовано сім технічних рішень [3-9] щодо вдосконалення конструкцій черв'яків та екструзійних головок із патентних баз даних України. Критеріями відбору слугували: підвищення надійності вузлів, стабілізація потоку розплаву, покращення змішувального ефекту та можливість переробки матеріалів із низькою насипною густиною.

2. Аналітичні розрахунки. Інженерні розрахунки виконано на основі гідродинамічного підходу до аналізу течії розплаву в зоні дозування черв'яка. Об'єктом розрахунку є екструдер із черв'яком діаметром $D = 63$ мм та відношенням $L/D = 25$. Перероблюваний матеріал –

полівінілхлорид (ПВХ) з температурою переробки 170°C. Матеріал черв'яка – сталь 40ХН2МА з межею текучості $\sigma_T = 850$ МПа, яка після азотування піддається шліфуванню для підвищення зносостійкості робочої поверхні.

3. CAD/CAE моделювання. Тривимірну модель двосекційного черв'яка побудовано у середовищі SolidWorks методами твердотільного параметричного моделювання. Числовий розрахунок напружено-деформованого стану виконано у програмному пакеті ANSYS з урахуванням температурних навантажень, крутного моменту та осьових сил, що діють на черв'як під час роботи екструдера.

Результати та обговорення.

Вибір модернізації. За результатами патентного огляду для модернізації обрано технічне рішення відповідно до патенту №112310 – двосекційний черв'як із незалежним приводом обертання кожної секції [3]. Перша секція (з боку завантажувального отвору) виконана більшого діаметра з можливістю поздовжнього переміщення відносно другої секції та оснащена незалежним приводом [3]. Така конструкція дозволяє розвантажити хвостову частину черв'яка шляхом незалежної передачі осьових зусиль та обертів на кожну секцію, що суттєво підвищує надійність машини.

Геометричні параметри черв'яка. Розраховано основні геометричні параметри черв'яка (рис. 1):

- крок гвинтової лінії $t = 63$ мм;
- глибина каналу в зоні завантаження $h_1 = 8$ мм, у зоні дозування $h_3 = 2,7$ мм;
- загальна довжина черв'яка $L = 1765$ мм;
- зазор між черв'яком і гільзою $\delta = 0,15$ мм;
- робоча частота обертання черв'яка $n_p = 0,98$ с⁻¹.

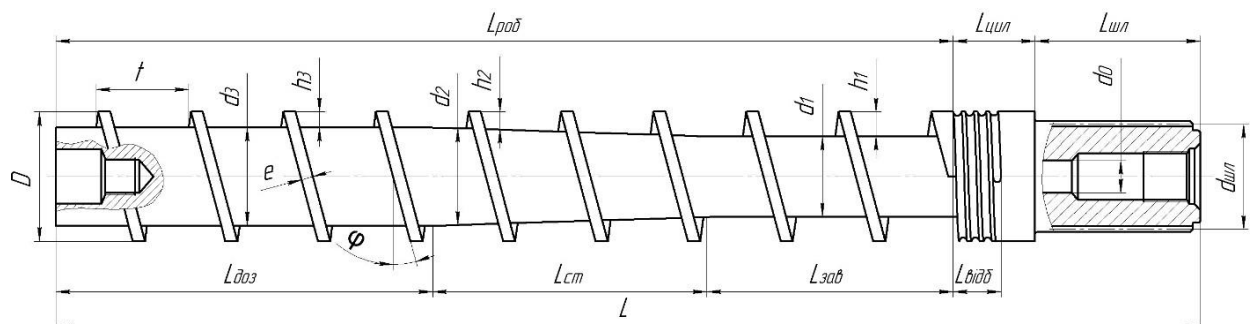


Рисунок 1 – Схема черв'яка екструдера 63×25 із позначенням геометричних параметрів [10]

3D-моделювання та числовий розрахунок міцності. У середовищі SolidWorks побудовано 3D-модель двосекційного черв'яка (рис. 2). Конструктивно черв'як складається з двох секцій із різними геометричними параметрами нарізки, охолоджувального каналу, наконечника та шпонкового пазу для з'єднання секцій. Конусоподібні лопаті на початку другої секції забезпечують плавне захоплення матеріалу та зниження пікових навантажень.

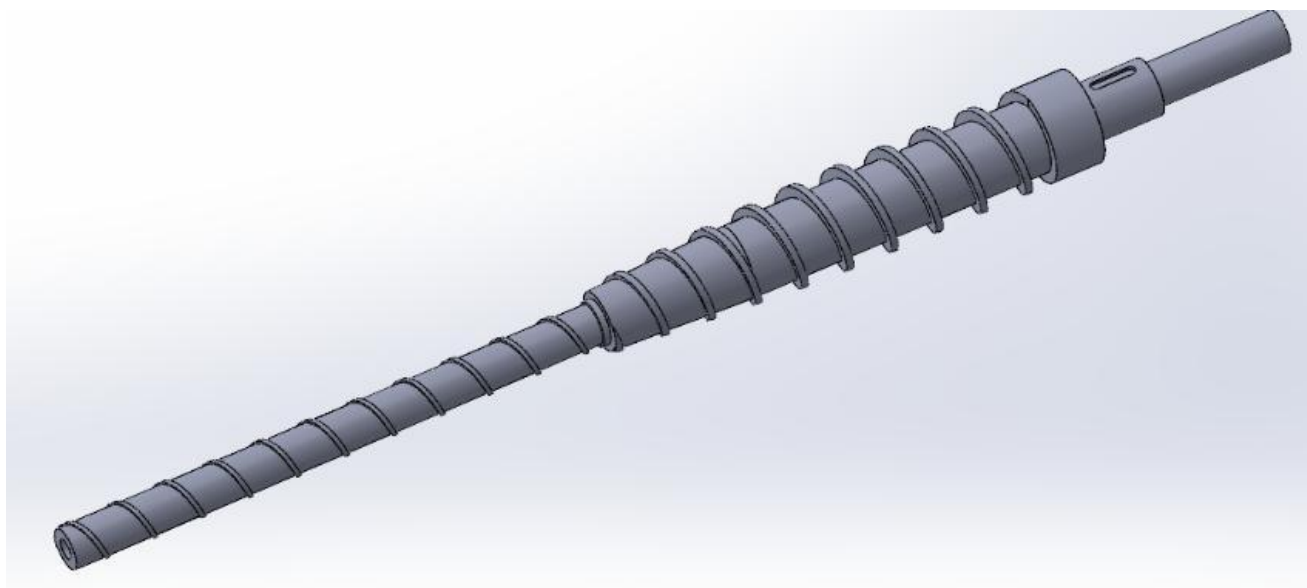


Рисунок 2 – 3D-модель модернізованого двосекційного черв'яка (SolidWorks)

Числовий розрахунок у ANSYS виконано при температурі розплаву ПВХ $t = 170^{\circ}\text{C}$ з урахуванням фактичних крутного моменту та осьової сили. За результатами розрахунку:

- максимальне еквівалентне напруження $\sigma_{\text{екв}} = 183,95 \text{ МПа}$;
- коефіцієнт запасу міцності $n = \sigma_t / \sigma_{\text{екв}} = 850 / 183,95 = 4,62$.

Отримане значення коефіцієнта запасу міцності суттєво перевищує нормативне значення, що підтверджує достатню міцність модернізованої конструкції черв'яка за реальних умов експлуатації.

Висновки.

За результатами виконаної роботи отримано наступне:

1. На основі аналізу результатів патентного пошуку обрано та обґрунтовано модернізацію черв'яка екструдера 63×25 відповідно до патенту №112310 – перехід до двосекційної конструкції з незалежним приводом кожної секції.
2. Виконано повний комплекс інженерних розрахунків: визначено геометричні параметри черв'яка, розраховано продуктивність $Q = 3,63 \text{ см}^3/\text{с}$ ($\Pi = 3706 \text{ кг/год}$), перепад тиску в головці $\Delta P = 1,87 \text{ МПа}$ та розрахункову потужність двигуна $N_{\text{дв}} = 8633 \text{ Вт}$.
3. За результатами числового дослідження міцності в ANSYS підтверджено працездатність модернізованої конструкції: коефіцієнт запасу міцності становить $n = 4,62$, що відповідає вимогам надійної тривалої експлуатації.

Застосування двосекційного черв'яка дозволяє розвантажити хвостову частину – найбільш напружену зону традиційного черв'яка – шляхом незалежної передачі осьових зусиль та крутних моментів на кожен секцію, що суттєво підвищує ресурс обладнання та розширює діапазон перероблюваної сировини.

Перелік посилань

1. Вікіпедія - Вільна енциклопедія. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Екструзія> (дата звернення: 19.04.2026).
2. Мікульонок І. О. Механічні та гідромеханічні процеси, апарати і машини хімічної технології : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 172 с. URL: Доступ: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/66408>
3. Черв'ячний екструдер : пат. В29С47/38 В29С47/60 Україна. № u201606439; №112310. – 3с. (дата звернення: 29.04.2026)
4. Екструзійна головка : пат. В29С47/12 Україна. № u201613571; №117354. – 3с. (дата звернення: 29.04.2026)
5. Черв'як екструдера: пат. В29С17/00 Україна. № u201404917; №93385. – 3с. (дата звернення: 29.04.2026)
6. Черв'ячний екструдер : пат. В29С47/36 В30В9/14 Україна. № u201701975; №119024. – 3с. (дата звернення: 29.04.2026)
7. Одночерв'ячний екструдер : пат. В29С47/36 В30С11/24 Україна. № u201704609; №119897. – 3с. (дата звернення: 29.04.2026)
8. Черв'як екструдера : пат. В29С48/00 В29С48/84 Україна. № u201902287; №137428. – 3с. (дата звернення: 29.04.2026)
9. Черв'як екструдера : пат. В29С48/50 Україна. № u202201283; №151520. – 3с. (дата звернення: 29.04.2026)
10. Витвицький В. М., Мікульонок І. О. Моделювання процесу живлення черв'ячного екструдера полімерною сировиною. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 136 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/41177>