

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

До захисту допущено

Завідувач кафедри

_____ О.В.Гондлях

«_____» _____ 2024 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: Екструзійна трубна лінія з модернізацією черв'ячного пресу.

Студент(-ка) групи IV к. ЛП-02 Петренко Вікторія Павлівна _____
(шифр групи) (прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Керівник проєкту: асистент, Гур'єва Л.Н _____
(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 (-ка) Петренко В.П.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інженерно-хімічний факультет

Кафедра хімічного, полімерного і силікатного машинобудування

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність –133 *Галузеве машинобудування*

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ **О.В.Гондлях**

«__» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Петренко Вікторії Павлівни

1. Тема проєкту « Екструзійна трубна лінія з модернізацією черв'ячного пресу », керівник проєкту, асистент Гур'єва Людмила Наумівна, затверджені наказом по університету від « . » 2024 р. №

2. Термін подання студентом проєкту .06.2024 р.

3. Вихідні дані до проєкту . об'єкт розробки – ЧП-63; габаритні розміри: довжина – $L=2170$ мм; ширина – $S=760$ мм; висота – $H=875$ мм; маса – $M=2100$ кг; діаметр черв'яка – $d=63$ мм; частота обертання черв'яка – $n=150$ об/хв, продуктивність $Q=120$ кг/год; матеріал, що подрібнюється – поліетилен низького тиску; потужність – $N=55$ кВт.

4. Зміст пояснювальної записки, включає:

Вступ.1 Призначення і галузь застосування екструдера. 2 Технічні характеристики екструдера ЧП-65. 3 Опис конструкції та призначення екструдера ЧП-63. 4 Літературний та патентний огляд стану питання, обґрунтування запропонованої модернізації. 5 Розрахунки. 6 Охорона праці. 7 Технологія Машинобудування. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу:

1. Загальний вид екструдера А1; 2. Завантажувальна воронка А1; 3. Корпус А1; 4. Черв'як А1; 5. Черв'як модернізований А1; 6. Даталювання ($A2+A3+A3$); 7. Плакати в кількості 2 штук з розрахунками на міцність А1.

6. Консультанти розділів проекту*

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

7. Дата видачі завдання 19.05.2024

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Вступ. Призначення і галузь застосування екструдера	19.05.2024-21.05.2024	
2	Технічні характеристики екструдера. Опис конструкції та принцип дії	20.05.2024-22.05.2024	
3	Літературно-патентний пошук	23.05.2024-28.05.2024	
4	Параметричні розрахунки та розрахунки на міцність	28.05.2024-01.06.2024	
5	Розрахунки в програмному забезпеченні ANSYS	31.05.2024-06.06.2024	
6	Охорона праці	05.06.2024-10.06.2024	
7	Технологія машинобудування	06.06.2024-11.06.2024	
8	Графічна частина	10.06.2024-13.06.2024	
9	Форматування записки. Висновки	12.06.2024-14.06.2024	

Студент

Петренко В. П.

Керівник проекту

Гур'єва Л. Н.

Реферат

Було розроблено бакалаврський дипломний проєкт (ДП) на тему «Екструзійна трубна лінія з модернізацією черв'ячного пресу».

Метою даного проєкту є модернізація екструдера ЧП-63. У дипломному проєкті містяться три текстові розділи: ПЗ (пояснювальна записка), Розрахунки та Технологія машинобудування, а також графічна частина. Загальний обсяг проєкту складає 76 сторінок, включаючи 34 рисунки, 3 таблиці, 19 джерел та 6 креслень. Методи розробки та проєктування - розрахункові, аналітичні, проєктувальні; з використанням загальновідомих методів, комп'ютерних програм, нормативних документів.

У процесі розробки та проєктування екструзійного агрегату, на основі аналізу науково-технічної літератури, нормативної та конструкторської документації, патентних досліджень та інженерно-технічних розрахунків, були виконані наступні етапи роботи:

- вивчено функції та принципи роботи конструкцій промислових екструдерів для виробництва поліетилену;
- проаналізовано технічні параметри та характеристики екструзійних машин;
- виконала ряд інженерних розрахунків, необхідних для проєктування та розробки екструдера, відповідно до технічного завдання;
- було модернізовано екструдер на основі патентних досліджень.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЧЕРВ'ЯЧНИЙ ПРЕС, ПОЛІЕТИЛЕН, ТРУБИ, ШНЕК, ЧЕРВ'ЯК.

Proposal

A bachelor's diploma project (DP) was developed on the topic "Extrusion Pipe Line with Modernization of the Worm Press." The aim of this project is to upgrade the WP-63 extruder.

The diploma project consists of three text sections: the explanatory note, calculations, and manufacturing technology, as well as a graphical part. The total volume of the project is 76 pages, including 34 figures, 3 tables, 19 sources, and 6 drawings.

The methods used for development and design include calculation, analytical, and design methods; employing well-known techniques, computer programs, and regulatory documents.

In the process of developing and designing the extrusion unit, based on the analysis of scientific and technical literature, regulatory and design documentation, patent research, and engineering calculations, the following stages of work were completed:

- studying the functions and operating principles of industrial extruder designs for polyethylene production;
- analyzing the technical parameters and characteristics of extrusion machines;
- performing a series of engineering calculations necessary for the design and development of the extruder according to the technical specifications;
- upgrading the extruder based on patent research.

KEYWORDS: SCREW PRESS, POLYETHYLENE, PIPES, SCREW, WORM.

Перелік позначень та скорочень

D, d – діаметр, м;
 G – витрата, $\text{м}^3/\text{с}$ або $\text{кг}/\text{с}$;
 H, h – висота, м;
 N – потужність, Вт;
 Q – тепловий потік, Вт;
 T – температура, К;
 b – ширина, м;
 m – маса, кг;
 n – частота обертання, с^{-1} ;
 q – густина теплового потоку, $\text{Вт}/\text{м}^2$;
 t – температура, $^{\circ}\text{C}$;
 α – коефіцієнт тепловіддачі, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$;
 δ – товщина, м;
 λ – коефіцієнт теплопровідності, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{K})$;
 ν – кінематичний коефіцієнт в'язкості, $\text{м}^2/\text{с}$;
 A – площа, м^2 ;
 K – коефіцієнт теплопередачі, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{K})$;
 η – коефіцієнт корисної дії (ККД);
 E – модуль Юнга, МПа;
 σ_t – границя текучості, МПа;
 ν – коефіцієнт Пуассона.

Скорочення:

ЧП – черв'ячний прес;

ІХФ – інженерно-хімічний факультет

Зміст

Вступ	8
1 Призначення та галузь застосування екструдера.....	9
1.1 Призначення екструдера та опис екструзійного метода.....	9
1.2 Застосування екструдера ЧП-63х25 для виготовлення поліетиленових труб.....	9
2 Технічні характеристики екструдера ЧП63х25.....	11
3 Опис будови та принцип роботи пресу ЧП63х25	12
4 Літературно-патентний огляд та обґрунтування вибору модернізації	14
4.1 Огляд літератури та патентів	14
4.2 Обґрунтування вибору модернізації черв'яка екструдера.....	20
4.3 Очікувані механіко-економічні показники.....	22
5 Розрахунки.....	23
5.1 Параметричні розрахунки	23
5.2 Розрахунки черв'яка на міцність	33
5.3 Тепловий розрахунок екструдера	37
5.4 Розрахунки в ANSYS.....	40
6 Охорона праці	46
7 Технологія машинобудування.....	54
7.1 Технологія виготовлення деталі.....	54
7.2 Вибір пристосування.....	63
Висновки	64
Перелік посилань	65
ДОДАТКИ.....	67

					ЛП02.167246.00-70ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Екструзійна трубна лінія з модернізацією черв'ячного пресу		
Розроб.		Петренко В.П.					
Перев.		Гур'єва Л. Н.					
Н. Контр.					КПІ ім. Ігоря Сікорського		
Затверд.		Сокольський О.Л					

Вступ

Сучасне хімічне машинобудування посідає одну із ключових ролей в економічній ланці в Україні та світі загалом. Ця галузь розвивається у багатьох напрямках та забезпечує працездатність таких галузей як металургійна, харчова, гірнична, медична, мікробіологічна та ще багато інших.

Важливо зазначити, що хімічне машинобудування є підмножиною важкого машинобудування.

Ця підгалузь машинобудування спеціалізується на розробці та виробництві хімічного, полімерного, паперового, гумотехнічного, нафто- та газопереробного, кріогенного та газоочисного обладнання та інших видів обладнання, що використовується в промисловості загалом.

Оскільки природні ресурси скорочуються, зростає потреба в пошуку альтернативних джерел енергії, матеріалів і продуктів штучного виробництва.

Багато з цих матеріалів створені на основі нафтопродуктів і вуглеводневих продуктів. Машинобудування, хімічна промисловість і нафтогазова промисловість взаємодіють, утворюючи цілісну систему.

Даний бакалаврський проєкт має за мету проєктування та модернізацію екструдера ЧП-63, який є важливою частиною процесу виробництва будівельних матеріалів у гірничодобувній та хімічній промисловості.

Задля досягнення та виконання мети дипломного проєкту, було проведено літературно-патентний огляд та був вибраний патент, який дозволяє процес виробництва полімерних труб і розроблено нову конструкцію екструдера, що має підвищити ефективність роботи в процесі виробництва.

1 ПРИЗНАЧЕННЯ І ГАЛУЗЬ ЗАСТОСУВАННЯ ЕКСТРУДЕРА ЧП-63

1.1 Призначення екструдера

Екструдер це машина, яка використовується для розм'якшення матеріалів і надання їм форми шляхом продавлювання крізь профільний інструмент (екструзійну головку). Зазвичай застосовується у виробництві полімерних матеріалів (пластмас, гумових сумішей та сумішей, які містять крохмаль і білок), феритових виробів (сердечники) і також у харчовій промисловості (локшина і т.п.).

Екструзія - це процес виробництва, в якому термопластичний матеріал (наприклад, полімери або метали) примушується пройти через формуючий елемент (зазвичай отвір або матрицю), що призводить до отримання продукту з певною геометричною формою або профілем. Цей метод використовується для виготовлення різноманітних виробів, таких як труби, профілі, плівки, арматурні деталі та інші конструкційні компоненти.

Основні переваги екструзії порівняно з іншими виробничими методами включають: здатність створювати складні геометрії; обробка крихких матеріалів: термопластичний матеріал в екструзії піддається лише стискальним і зсувним тискам, що робить цей метод особливо ефективним для обробки матеріалів з підвищеною крихкістю; екструзія дозволяє отримувати деталі з відмінною якістю поверхні без значного подальшого оброблення; підвищення міцності матеріалу (у випадку металеві екструзії).

1.2 Опис лінії виробництва труб з поліетилену

Лінія для виробництва поліетиленових труб низького тиску (див. Рис. 1.1) використовує метод екструзії з одночасним нанесенням зовнішнього антиадгезійного покриття.

Процес екструзії для виготовлення полімерних труб включає кілька основних секцій: екструдер, матриця, калібр, зубчастий насос для розплаву, охолоджуюча ванна, вимірювальний пристрій, пристрій для розтягування, укладач або намотувач, різак. Основне обладнання для екструзійного методу обробки пластмас включає одно- та двошнекові екструдери, що також відомі як черв'ячні преси.

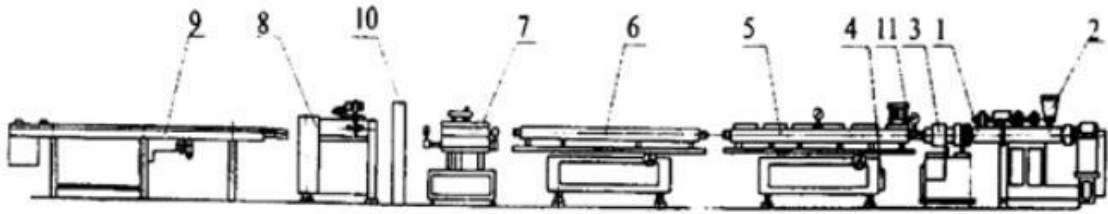


Рисунок 1.1 – Схема лінії для виробництва труб:

1 – екструдер; 2 – бункер; 3 – формуюча головка; 4 – вакуумна ванна; 5,6 – водяна ванна; 7 – тягучий пристрій; 8 – пристрій для розрізання; 9 – приймач; 10 – маркувальний пристрій; 11 – пристрій для калібрування

Екструзійні лінії мають кілька ключових переваг:

- вони легко експлуатуються, мають високу продуктивність і можуть швидко переналаштовуватись;
- це дозволяє швидко змінювати обсяг виробництва згідно з внутрішніми потребами компанії чи вимогами споживачів.

Розглянемо принцип роботи екструзійної лінії (див. Рис. 1.1). Виробництво труб за допомогою екструзійного обладнання є складним багатоступінчастим процесом. Спочатку гранульований матеріал завантажується в бункер 2, де він розплавляється і ретельно перемішується в нагрівальному циліндрі. Потім за допомогою шестереневого насоса з заздалегідь заданою швидкістю матеріал подається в головку екструдера 3, де відбувається формування продукції. Процес продовжується з проходженням труби через пристрій калібрування 11 і охолодження в вакуумній ванні 4 та водяних ваннах 5,6. Після цього труби проходять через процес протягування 7, маркування 10, обрізання 8 і надходять до приймального обладнання 9.

2 ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧП-63

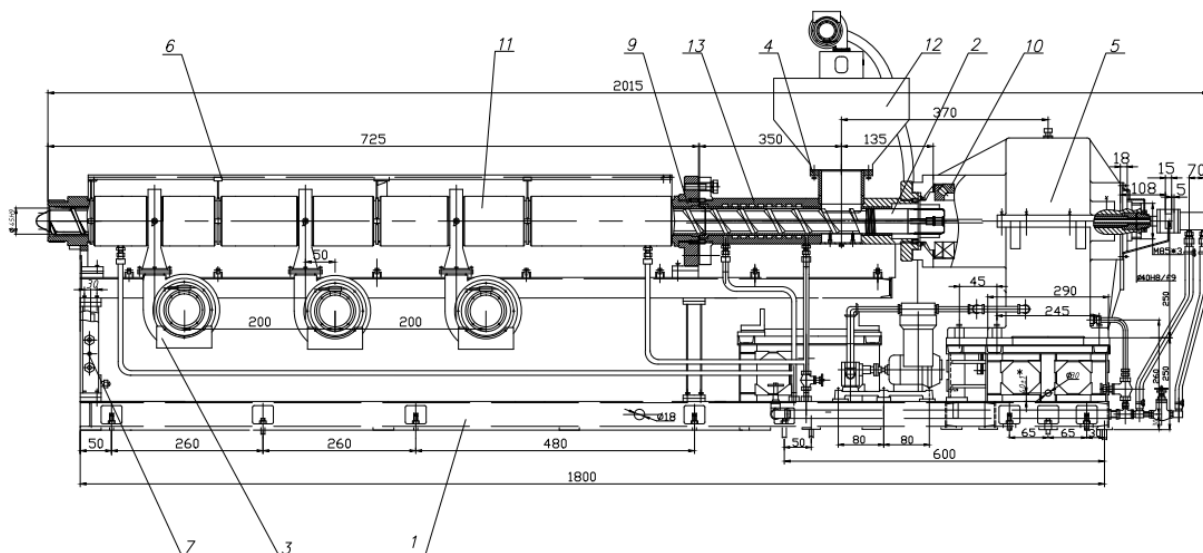
В таблиці 2.1 наведено основні характеристики ЧП-63.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики ЧП-63

№	Параметр	Позначення	Одиниці	Значення
1	Діаметр черв'яка	d	мм	63
2	Частота обертання черв'яка	n	об/хв	150
3	Потужність	N	кВт	55
5	Продуктивність	Q	кг/год	120
6	Габаритні розміри:			
	– довжина;	L	мм	2170
	– ширина;	S	мм	760
	– висота.	H	мм	875
7	Маса	M	кг	2100
8	Матеріал пресу ЧП 63х25	Сталь 38Х2МЮА		

3 ОПИС БУДОВИ ТА ПРИНЦИП РОБОТИ ПРЕСУ ЧП63х25

Черв'ячний екструдер ЧП63×25 призначений для постійної переробки гранул термопластів у рівномірно розплавлений стан і подальшого однорідного витискування через формуючий канал (див.рис. 3.1).



На схемі екструдера 63×25 (рис. 3.1) зображені наступні елементи:

1. Станина; 2. Черв'як; 3. Вентилятор; 4. Фланець воронки; 5. Редуктор; 6. Кожух; 7. Стояк; 8. Привід редуктора; 9. Фланець; 10. Опорний підшипник; 11. Корпус; 12. Бункер завантажувальний; 13. Охолоджуюча оболонка.

Основним робочим елементом шнекових пресів є циліндричний корпус з товстими стінками, в якому рухається і перемішує полімерний матеріал черв'як (шнек). Черв'яки мають різний діаметр, який може коливатися від 20 до 500 мм і більше, і характеризуються своєю геометрією поперечного перетину каналу, довжиною гвинтової стрічки, кроком, ступенем стискування і кількістю заходів нарізки.

Коли черв'ячний вал обертається, то матеріал переміщується по внутрішній поверхні циліндра, утвореного гвинтовим каналом і нарізкою черв'яка. Цей процес супроводжується інтенсивними термопластичними перетвореннями матеріалу і зростанням тиску.

У екструдері одночасно відбуваються наступні процеси: полімерний матеріал нагрівається за рахунок енергії, що дисипується і подається від системи підігрівання циліндра; відбуваються фазові, хімічні та інші перетворення за високого тиску і температури, ущільнення та гомогенізація матеріалів; здійснюється змішування різних компонентів; відбувається видалення газоподібних та інших шкідливих домішок з матеріалів.

У зоні завантаження матеріал подається з бункера, переміщується в напрямку ділянки ущільнення і плавлення. Для підвищення продуктивності завантажувальна зона має більший об'єм гвинтового каналу черв'яка.

В зоні пластикації відбувається процес ущільнення, розплавлення і дегазації полімерного матеріалу, щоб ефективно виконати кожен із цих процесів, канал черв'яка в області плавлення виготовляється з поступово зменшуваним об'ємом гвинтового каналу. Це досягається шляхом зменшення глибини, кроку гвинтової лінії або обох цих параметрів одночасно.

В зоні дозування відбувається змішування розплаву і створення тиску, що сприяє просоченню розплаву через канал формуючої головки. Завантажувальна воронка складається з товстостінного циліндра з завантажувальним отвором і системою водяного охолодження, яка включає корпус і вставну гільзу. Бункер з автоматичним заповненням матеріалу кріпиться до воронки завантажувальної за допомогою фланця.

На поверхні гільзи температура контролюється за допомогою термоелектричного перетворювача, який входить до складу вторинного пристрою. Обладнаний корпус чотирма зонами електричного обігріву за допомогою нагрівачів. Окремі ділянки корпусу, а саме їх охолодження, забезпечується чотирма незалежними вентиляторами та системою водяного охолодження. За для точного контролю температури на корпусі встановлені термоелектричні перетворювачі.

Для зниження температури завантажувальної воронки, черв'яка та мастила в картері редуктора, використовується система охолодження.

За допомогою шліцевого з'єднання, черв'як закріплений до перехідної втулки блоку радіально – упорних підшипників. Через муфту, шнековий вал приєднується до тихохідного редуктора, також за допомогою шліцевого з'єднання.

За допомогою фланцевого з'єднання, формуючу головку прикріплюють до циліндра екструдера.

Із двох основних ділянок, таких як завантажувальна та плавильна складається корпус, вони з'єднуються за допомогою фланців між собою. Блок радіально-упорних підшипників кріпиться до завантажувальної воронки, хоча зазначити, що усі компоненти з'єднуються з використанням фланців. Нагрівачі встановлюються на плавильну ділянку корпусу, забезпечуючи його нагрівання і розплавлення полімеру. В завантажувальній частині корпусу є система каналів для водяного охолодження, що використовується для охолодження завантажувальної зони екструдера.

4 ЛІТЕРАТУРНИЙ ТА ПАТЕНТНИЙ ОГЛЯД, ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ МОДЕРНІЗАЦІЇ

4.1 Огляд літератури та патентів

Ціль проведення пошуку в літературі та патентах полягає в тому, щоб вибрати оптимальне технічне рішення для модернізації обладнання і обґрунтувати необхідність цієї модернізації для забезпечення більш ефективної роботи обладнання.

Оскільки метою дипломного проєкту є модернізація агрегату для виробництва полімерних труб, з даною метою було проведено патентний пошук, було використано бази патентів такі як: fips, epo, google patent. Та огляд спеціальної літератури.

Для перероблення і виготовлення термопластичних матеріалів (полімерів, пластичних мас, гумових сумішей і композицій на їх основі) широкого поширення набули одно- та двочерв'ячні екструдери, робочими органами яких є черв'яки [1].

Основними робочими органами агрегату для виробництва полімерних труб є шнек і барельєф (барабан), що обертається в ньому. Процес, що відбувається, - це транспортування матеріалу вздовж робочих органів, а також нагрівання матеріалу за рахунок енергії деформації та теплоти, що надходить від обігрівачів. Одночасно з транспортуванням відбуваються різноманітні процеси: ущільнення, розплавлення, формування та охолодження матеріалу.

Модернізація агрегату для виробництва полімерних труб має вирішальне значення, оскільки спрямована на досягнення оптимального рівномірного розплавлення полімеру. Це призводить до значного покращення якості та однорідності структури труб. Зменшення кількості дефектів, таких як недоліки на поверхні, пори або неоднорідності у структурі, стає ключовим результатом цієї модернізації.

Крім того, оптимізація процесу через модернізацію агрегату дозволяє підвищити міцність та еластичність отриманих труб. Такі покращення сприяють підвищенню продуктивності виробництва та зниженню відходів, що є критичними аспектами в сучасній промисловості.

Окрім цього модернізація черв'яка дозволить збільшити продуктивність агрегату та зекономити енергоресурси. Існує й інша проблема – домішки, що потрапляють в полімер і можуть значно негативно впливати на роботу шнека екструдера, провокуючи знос (абразивні частинки, такі як пісок,), корозія (хімічно активні домішки, такі як кислоти або луги), забивання (наприклад волокна). Вона може бути вирішена спеціальними домішками різного розміру.

В патентах [1,2] наведено типові конструкції завантажувальних пристрів для екструзійного агрегату. Ці конструкції мають низьку ефективність, не забезпечують стабільного дозування і потребують додаткових джерел живлення.

Патент під номером [3] розглядає удосконалення завантажувального пристрою для черв'ячного екструдера з метою збільшення надійності й жорсткості пристрою та зменшення крутного моменту завдяки новому виконанню перегрібача. Ця мета досягається шляхом впровадження щонайменше одного диска у боковій стінці кожного з них, в якому розміщено щонайменше один отвір з рухомим штирем, а зубці перегрібача розташовані на периферії цих дисків.

Черв'як, який описується у патенті [4] має унікальний наконечник. На відміну від стандартних, його зона дозування оснащена опуклим штовхальним заплечиком гребеня нарізки. Цей заплечик має поздовжні виступи, бокові грані яких скошені в напрямку обертання черв'яка. Тобто, відрізняється тим, що на скошених бокових гранях поздовжніх виступів виконані поперечні пази.

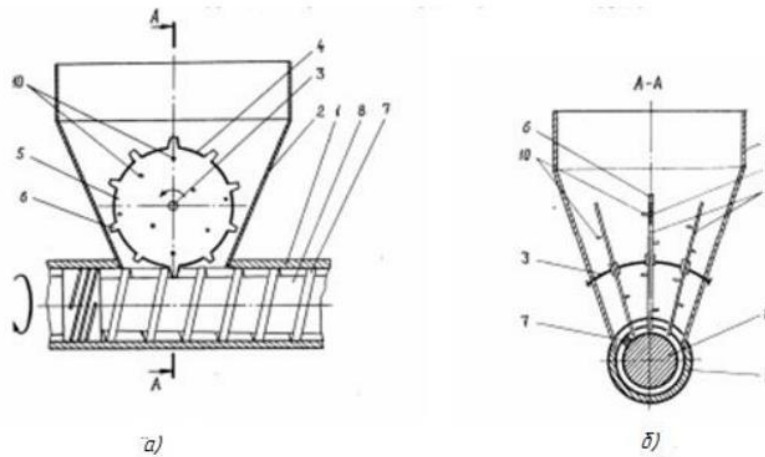


Рисунок 4.1 показує пристрій у поздовжньому розрізі (а) і у розрізі по А–А (б). Корпус-1, воронка-2, вісь-3, перегрібач-4, диск перегрібача-5, зубці перегрібача-6, гребінь черв'яка-7, черв'як-8, отвір-9, ворушильний штир-10.

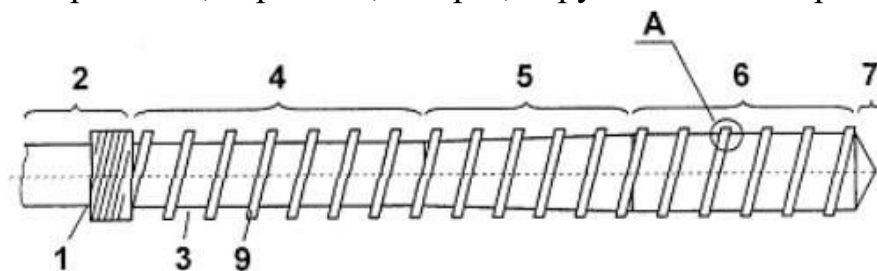


Рисунок 4.2 – Черв'як з модернізацією наконечника

Патентний винахід [5] відноситься до сторонньої модернізації – моемодернізації пристрою бічної подачі двошнекового екструдера.

Два шнеки обертально розташовані в корпусі машини, крок гвинтової нарізки шнека поступово зменшується від початку до кінця, тим самим зменшуючи порожнини в частинах шнека між шнеком і матеріалом.

Різьби двох шнеків розташовані в шаховому порядку, вільний простір гвинтових шнеків можна збільшити за рахунок асиметричного розташування, що також полегшує процес додавання матеріалу.

Порівняно з аналогами, бічний пристрій подавання двогвинтового екструдера має високий ефект подачі, плавний вихлоп, низький рівень забруднення та хороший ефект ущільнення.

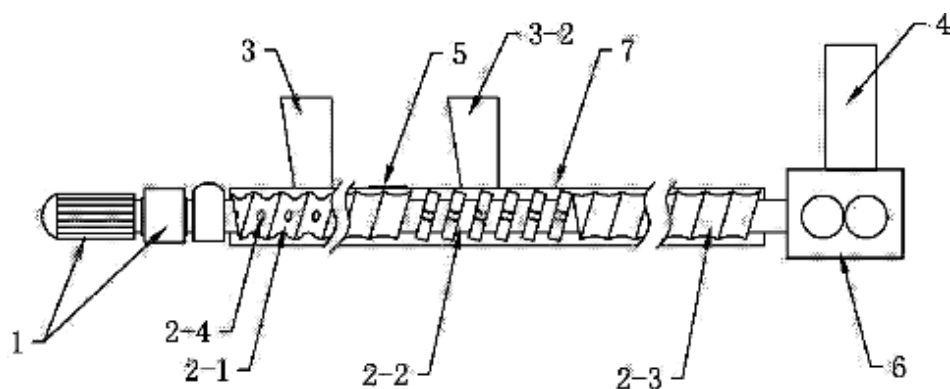


Рисунок 4.3 – Схематичне зображення, що показує структуру варіанту здійснення бічного завантажувального пристрою двохшнекового екструдера.

Екструдер 2 за цим варіантом здійснення містить обертовий приводний пристрій 1 шнека 2, два шнеки 2, корпус 7 забезпечений випускним отвором 5. Шнеки 2 послідовно забезпечені верхньою різбовою секцією 2-1, бар'єрною секцією плавлення 2-2 і нижньою різбовою секцією 2-3 від верхньої частини до нижньої. Бічний пристрій подачі 3 розташований над верхньою різбовою секцією 3-1, поверхня гвинта 2 верхньої різбової секції 2-1 забезпечена прорізом 2-4, який утворює більшу порожнину під бічним пристроєм подачі 3. Це створює сприятливі умови для додавання матеріалу та домішок і збільшує його кількість. Після того, як матеріал потрапляє в отвір 2-4, шнек 2 підводиться до нижньої частини через отвір 2-4 під час процесу обертання та транспортується вниз для підвищення ефективності транспортування матеріалу. Також на схемі: 3-2 область другого бічного бункера, 4 головний пристрій подачі, 5 вентиляційні отвори.

У корисній моделі [6] винахід, стосується пристроїв, процесів і екструзійних шнеків, призначених для обробки твердих мийних композицій у таких формах, як заготовки, бруски, таблетки, локшина й аналогічних форм, отриманих з екструдованих синтетичних мийних засобів, мила та їхніх комбінацій.

Цей винахід описує екструзійний шнек для обробки синтетичних мийних засобів, мила та їхніх комбінацій. Екструзійний шнек містить секцію подачі, секцію дозування та секцію стиснення.

Згадана секція стиснення має глибину проксимального каналу, що примикає до секції подачі, та глибину дальнього каналу, що примикає до секції дозування, і ступінь стиснення, що може перебувати в діапазоні від 2,2 до 4,1, наприклад, від 2,2 до 2,6. Екструзійний шнек може мати відношення довжини до діаметра (L/D), яке може становити від 4,0 до 6,0. Цей винахід також описує пристрій для обробки синтетичних мийних засобів, мила та їхніх комбінацій. Пристрій містить циліндр і зазначений екструзійний шнек.

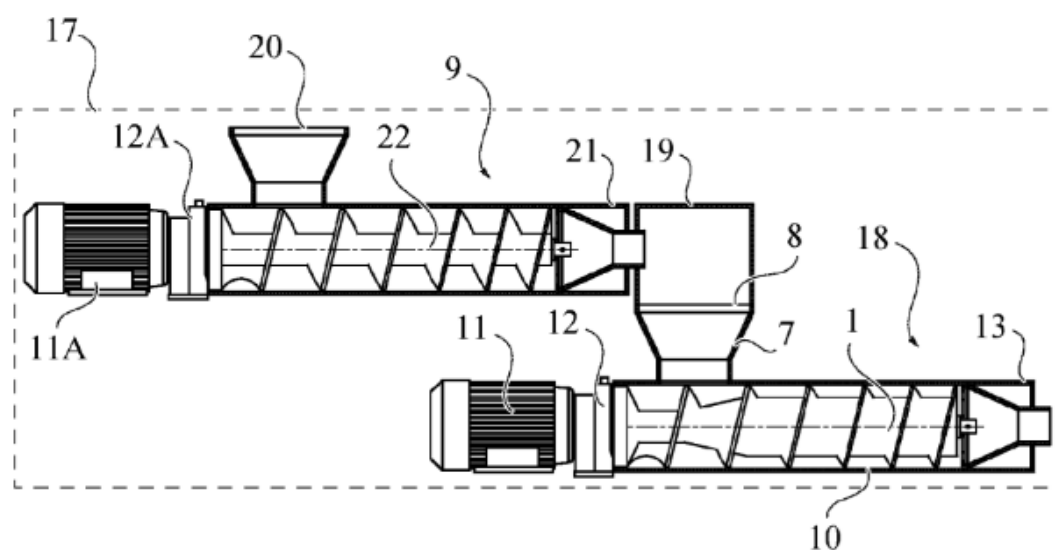


Рисунок 4.4 – Потік, що містить первинну і вторинну фази, який екструдується за допомогою шнека з конічною секцією, що входить в конус екструдера.

У цьому шнеці розкрито конічне гвинтове робоче колесо, що принаймні частково заходить у конус екструдера в зоні екструзії в блоці для виробництва поліпшеного багатофазного мильного бруска, що дозволяє використовувати ширший діапазон мильних матеріалів/формул, включаючи ширший діапазон матеріалів вторинних переривчастих фаз з аналогічною або трохи вищою твердістю порівняно з твердістю первинної безперервної фази, що робить виробництво більш здійсненним, простим і зручним.

4.2 Обґрунтування обраної модернізації

Основна причина мого вибору патенту [8] полягає в тому, що його методи та системи модернізації черв'яка екструдера дозволяють досягти якісного покращення якості виробів та зменшення споживання енергії під час процесу екструзії. Цей патент пропонує комплексний підхід до модернізації, який може бути відмінним варіантом для поліпшення функціональності та ефективності екструдера.

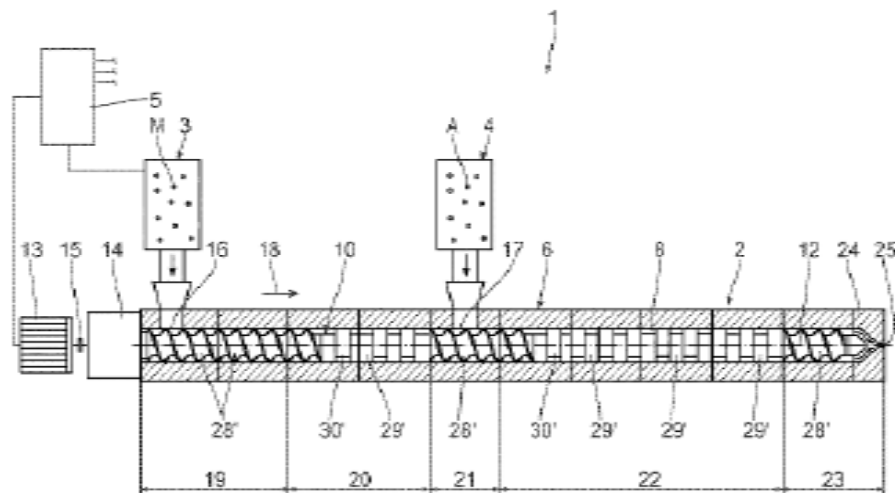


Fig. 1

Рисунок 4.5 - Загальний вид екструзійного апарату з модернізованим черв'яком. Патент 8. Основні компоненти: корпус, виливний отвір, головка черв'яка та ін.

Плюси та мінуси обраного патенту [8].

Плюси:

Покращена якість виробів: Оптимізована геометрія черв'яка дозволяє досягти рівномірного розподілу тиску та температури, що забезпечує високу якість кінцевої продукції.

Зниження споживання енергії: Використання нових матеріалів та конструкційних рішень дозволяє зменшити витрати енергії під час процесу екструзії, що може призвести до економії витрат на виробництво.

Висока ефективність: Модернізований екструдер може працювати з більшою продуктивністю та ефективністю, що дозволяє підвищити виробничі обсяги.

Мінуси:

Високі витрати на модернізацію: Хоча модернізація може призвести до зменшення витрат енергії та підвищення якості виробів, вона може потребувати значних інвестицій у впровадження нових матеріалів та технологій.

Складність впровадження: Необхідно ретельно розробити та впровадити нові конструкційні рішення, що може потребувати часу та ресурсів.

Цей винахід відноситься до галузі хімічного машинобудування і може бути використаний для виготовлення різноманітних профільних виробів з пластмас методом екструзії.

Всі з розглянутих патентів мають свої переваги та недоліки, ось чому потрібно обирати і проводити огляд патентів. Основним перевагами патентів 1 та 2 є нескладна у виготовленні та експлуатації модель. Основним недоліком патенту 10 є висота вартість а складність реалізації.

Модернізація шнека, яка описана у патенті US2024042649A1, спрямована на забезпечення ефективного використання матеріалу та мінімізацію відходів шляхом оптимізації процесу екструзії. Ця модернізація може включати вдосконалення дизайну шнека, застосування нових матеріалів або технологій, а також впровадження автоматизованих систем контролю якості.

Отже, оновлений шнек володіє численними перевагами, що роблять його оптимальним вибором: ефективність (максимальна використаність матеріалу, мінімальні втрати), якість (покращений контроль процесу, високоякісний результат) та стабільність (рівномірне завантаження, зменшення ризику).

4.3 Очікувані механіко-економічні показники

В результаті проектування екструзійної трубної лінії для виробництва труб з поліетилену, було реалізовано модернізацію геометрії черв'яка екструдера, яка представляє собою черв'як, оснащений зоною інтенсивного перемішування, що знаходиться в межах зони дозування екструдера. Зона динамічного змішування характеризується наявністю змішувальних елементів, які мають форму овалу і розташовані поздовжньо по всій зоні з поворотом на 90° відносно один одного.

Модернізація, реалізована у цьому дипломному проєкті, дозволить значно покращити процес гомогенізації полімерного матеріалу, за рахунок наявності зони інтенсивного змішування, із елементами овальної форми, гладка поверхня яких сприятиме тимчасовій затримці матеріалу в зоні дозування за рахунок більшої площі перерізу каналу.

5 Розрахунки

5.1 Параметричні розрахунки

5.1.1 Розрахунок геометрії черв'яка і частоти обертання

У цьому дипломному проєкті використовується екструдер з черв'яком, зовнішній діаметр якого становить 63 мм згідно з ГОСТ 114441-65. При обробці пластифікованого ПВХ встановлено відношення довжини робочої частини до діаметра на рівні $25D$. Додаткові характеристики шнека визначаються відповідно до вихідного матеріалу, який у даному випадку є пластикаційним полівінілхлоридом. Основні характеристики черв'яка обчислюються за відповідними формулами, а діаметр черв'яка є визначальним параметром для продуктивності черв'ячної машини.

На рис. 5.1 представлена схема черв'яка.

Ціль: встановлення параметрів геометрії черв'яка.

Вихідні дані:

- D , м 0,063;
- L/D , м 25;
- ПНТ (матеріал: поліетилен низького тиску).

Крок профілю - це відстань між однаковими точками двох послідовних витків, виміряна вздовж осі черв'яка:

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

Для переробки поліетилену вибираємо шнек однозаходний.

Кут підйому гвинтової лінії у середині корпусу:

$$\varphi = \arctg \frac{t}{\pi \cdot D} = \arctg \frac{63}{3,14 \cdot 63} = 17^\circ 65'.$$

Товщина гребеня черв'яка для одночерв'ячних машин:

$$e = (0,08 \div 0,12) \cdot D = 0,1 \cdot 63 = 6,3 \text{ мм.}$$

Зазор між черв'яком і гільзою складає

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

Найбільш часто застосовують профіль нарізки, що характеризується наявністю радіуса закруглення:

$$R = (0,12 \div 0,18) \cdot D = 0,16 \cdot 63 = 10,08 \text{ мм.}$$

$$r = (0,06 \div 0,016) \cdot D = 0,08 \cdot 63 = 5,04 \text{ мм.}$$

Глибина гвинтового каналу під завантажувальною лійкою складає:

$$h_1 = (0,12 \div 0,016) \cdot D = 0,14 \cdot 63 = 8,52 \text{ мм.}$$

Глибина гвинтового каналу в зоні дозування складає :

$$h_2 = 0,5 \cdot \left[D - \sqrt{D^2 - \frac{4h_1}{i} \cdot (D - h_1)} \right] = 0,5 \cdot \left[63 - \sqrt{63^2 - \frac{4 \cdot 8,52}{2,1} \cdot (63 - 8,52)} \right] = 3,01 \text{ мм,}$$

де $i = 2,1$ –ступінь стиску ПНТ

Діаметр внутрішнього отвору шнека приймаємо: $d_{вн} = 30 \text{ мм.}$

Діаметр стержня під завантажувальною горловиною:

$$d_1 = D - 2 \cdot h_1 = 63 - 2 \cdot 8,52 = 45,96 \text{ мм.}$$

Діаметр стержня в зоні дозування:

$$d_2 = D - 2 \cdot h_2 = 63 - 2 \cdot 3,01 = 56,98 \text{ мм.}$$

Довжина торпеди:

$$L_{торп} = (0,6 \div 0,8) \cdot D = 0,7 \cdot 63 = 45 \text{ мм.}$$

Довжина робочої частини шнека приймається:

$$L_{роб} = (20 \div 30) \cdot D = 25 \cdot 63 = 1575 \text{ мм.}$$

Довжина зони завантаження приймається:

$$L_{зав} = (1,5 \div 3) \cdot D = 2,5 \cdot 63 = 157,5 \text{ мм.}$$

Довжина зони дозування приймається:

$$L_{доз} = (10 \div 17) \cdot D = 17 \cdot 63 = 1120 \text{ мм.}$$

Довжина зони стискування приймається:

$$L_{ст} = L_{роб} - L_{доз} - L_{зав} = 1575 - 1120 - 157,5 = 297,4 \text{ мм.}$$

Довжина шліцевого зачеплення приймається: $L_{шл} = 85 \text{ мм.}$

Довжина циліндричної частини шнека:

$$L_{\text{цил}} = (2 \div 3) \cdot D = 2,4 \cdot 63 = 150,2 \text{ мм.}$$

Довжина відбійної ділянки приймається:

$$L_{\text{відб}} = (0,1 \div 0,7) \cdot D = 0,65 \cdot 63 = 40 \text{ мм.}$$

Загальна довжина шнека:

$$L_{\text{заг}} = L_{\text{роб}} + L_{\text{відб}} + L_{\text{цил}} + L_{\text{торн}} = 1575 + 40 + 150 + 45 = 1810 \text{ мм.}$$

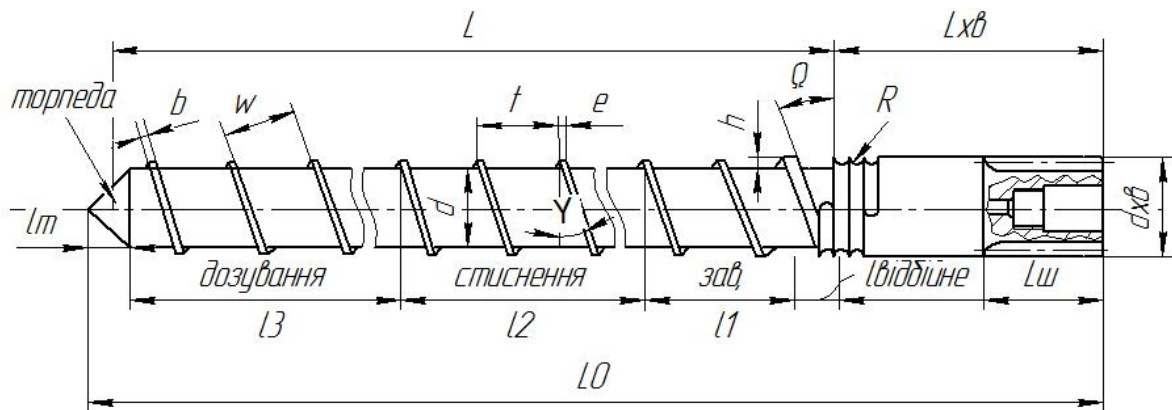


Рис. 5.1 – Схема черв'яка (розрахункова).

Цей розрахунок дозволив визначити основні геометричні параметри шнекового вала, які будуть використані для подальших розрахунків.

5.1.2 Визначення коефіцієнта геометричної форми головки

Формули, засновані на спрощеному аналітичному методі розрахунку коефіцієнта геометричної форми головки, дозволяють точно визначити характеристики каналів простішої форми для практичних обчислень. Для цього розплав, що протікає через канал головки, аналізується на кілька простіших компонентів, і здійснюється розрахунок для кожного з них.

1. Круглий циліндричний канал:

$$K_{\phi} = \frac{\pi \cdot d^4}{128 \cdot L},$$

де d-діаметр круглого циліндричного каналу, L-довжина круглого циліндричного каналу

$$K_1 = \frac{3,14 \cdot 3,6^4}{128 \cdot 60} = 0,1 \text{ см}^3.$$

2. Конічний кільцевий канал з конічною щілиною:

$$K_{kk} = \frac{\pi(R_0 \cdot \delta_2 - R_1 \cdot \delta_1)}{6 \cdot L \cdot m},$$

де R_1 - середній радіус отвору на вході;

R_0 - середній радіус отвору на виході;

δ_1 - висота щілини на вході матеріалу в кільцеву щілину;

δ_2 - висота щілини на виході матеріалу з кільцевої щілини;

L - довжина конічного каналу з конічною щілиною.

$$m = \frac{2,3(R_0 - R_1)^2}{(R_0 \cdot \delta_2 - R_1 \cdot \delta_1)^2} \cdot \lg \frac{R_0 \cdot \delta_2}{R_1 \cdot \delta_1} - \frac{(R_0 - R_1) \cdot (\delta_1 - \delta_2)}{(R_0 \cdot \delta_2 - R_1 \cdot \delta_1) \cdot \delta_1 \cdot \delta_2} - \frac{\delta_1^2 - \delta_2^2}{2 \cdot \delta_1^2 \cdot \delta_2^2},$$

$$m = \frac{2,3 \cdot (0,7 - 9,5)^2}{(0,7 \cdot 1 - 9,5 \cdot 1)^2} \cdot \lg \frac{0,7 \cdot 1}{9,5 \cdot 1} - \frac{(0,7 - 9,5) \cdot (1 - 1)}{(0,7 \cdot 1 - 9,5 \cdot 1) \cdot 1 \cdot 1} - \frac{1^2 - 1^2}{2 \cdot 1^2 \cdot 1^2} = -2,6 \frac{1}{\text{см}^2}.$$

$$K_2 = \frac{3,14 \cdot (0,7 \cdot 1 - 9,5 \cdot 1)}{6 \cdot 16 \cdot (-2,6)} = 0,11 \text{ см}^3.$$

3. Решітка:

$$K_p = \frac{z \cdot \pi \cdot d_p^4}{128 \cdot b},$$

де z – кількість отворів;

d_p - діаметр окремих отворів в решітці в см;

b – товщина решітки в см.

$$K_3 = \frac{160 \cdot 3,14 \cdot 0,7^4}{128 \cdot (-2,7)} = 0,35 \text{ см}^3.$$

4. Конічний кільцевий канал з конічною щілиною:

$$K_{kk} = \frac{\pi(R_0 \cdot \delta_2 - R_1 \cdot \delta_1)}{6 \cdot L \cdot m},$$

де R_1 - середній радіус отвору на вході;

R_0 - середній радіус отвору на виході;

δ_1 - висота щілини на вході матеріалу в кільцеву щілину;

δ_2 - висота щілини на виході матеріалу з кільцевої щілини;

L - довжина конічного каналу з конічною щілиною.

$$m = \frac{2,3(R_0 - R_1)^2}{(R_0 \cdot \delta_2 - R_1 \cdot \delta_1)^2} \cdot \lg \frac{R_0 \cdot \delta_2}{R_1 \cdot \delta_1} - \frac{(R_0 - R_1) \cdot (\delta_1 - \delta_2)}{(R_0 \cdot \delta_2 - R_1 \cdot \delta_1) \cdot \delta_1 \cdot \delta_2} - \frac{\delta_1^2 - \delta_2^2}{2 \cdot \delta_1^2 \cdot \delta_2^2},$$

$$m = \frac{2,3 \cdot (9,4 - 9,8)^2}{(9,4 \cdot 0,4 - 9,8 \cdot 1)^2} \cdot \lg \frac{9,4 \cdot 0,4}{9,8 \cdot 1} - \frac{(9,4 - 9,8) \cdot (1 - 0,4)}{(9,4 \cdot 0,4 - 9,8 \cdot 1) \cdot 1 \cdot 0,4} - \frac{1^2 - 0,4^2}{2 \cdot 1^2 \cdot 0,4^2} = -2,7 \frac{1}{\text{см}^2}.$$

$$K_4 = \frac{3,14 \cdot (9,4 \cdot 0,4 - 9,8 \cdot 1)}{6 \cdot 1 \cdot (-2,7)} = 1,17 \text{ см}^3.$$

5. Конічний кільцевий канал з конічною щілиною:

$$K_{kk} = \frac{\pi(R_0 \cdot \delta_2 - R_1 \cdot \delta_1)}{6 \cdot L \cdot m},$$

де R_1 - середній радіус отвору на вході;

R_0 - середній радіус отвору на виході;

δ_1 - висота щілини на вході матеріалу в кільцеву щілину;

δ_2 - висота щілини на виході матеріалу з кільцевої щілини;

L - довжина конічного каналу з конічною щілиною.

$$m = \frac{2,3(R_0 - R_1)^2}{(R_0 \cdot \delta_2 - R_1 \cdot \delta_1)^2} \cdot \lg \frac{R_0 \cdot \delta_2}{R_1 \cdot \delta_1} - \frac{(R_0 - R_1) \cdot (\delta_1 - \delta_2)}{(R_0 \cdot \delta_2 - R_1 \cdot \delta_1) \cdot \delta_1 \cdot \delta_2} - \frac{\delta_1^2 - \delta_2^2}{2 \cdot \delta_1^2 \cdot \delta_2^2},$$

$$m = \frac{2,3 \cdot (9,5 - 15,8)^2}{(9,5 \cdot 0,2 - 15,8 \cdot 0,73)^2} \cdot \lg \frac{9,5 \cdot 0,2}{15,8 \cdot 0,73} - \frac{(9,5 - 15,8) \cdot (0,73 - 0,2)}{(9,5 \cdot 0,2 - 15,8 \cdot 0,73) \cdot 0,73 \cdot 0,2} - \frac{0,73^2 - 0,2^2}{2 \cdot 0,73^2 \cdot 0,2^2} = -14,72 \frac{1}{\text{см}^2}.$$

$$K_4 = \frac{3,14 \cdot (9,5 \cdot 0,2 - 15,8 \cdot 0,73)}{6 \cdot 8 \cdot (-14,72)} = 0,43 \text{ см}^3.$$

Загальний коефіцієнт геометричної форми для всієї головки можна визначити, як суму опорів окремих ділянок головки :

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\hat{E}_1} + \frac{1}{\hat{E}_2} + \frac{1}{\hat{E}_3} + \frac{1}{\hat{E}_4} + \frac{1}{\hat{E}_5}},$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{0,07} + \frac{1}{0,11} + \frac{1}{0,35} + \frac{1}{1,17} + \frac{1}{0,043}} = 0,0199 \text{ см}^3.$$

5.1.3 Розрахунок продуктивності ЧП63×25

Мета цього дослідження полягає в обчисленні максимальної теоретичної продуктивності установки під час переробки ПНТ.

Вихідні дані включають максимальне число обертів черв'яка ($N = 2,5$ об/с), зовнішній діаметр черв'яка ($D = 0,063$ м), крок черв'яка ($t = 0,063$ м), ширину витка ($E = 0,0063$ м), число заходів черв'яка ($I = 1$), діаметр сердечника черв'яка в зоні завантаження ($D_1 = 0,046$ м), глибину гвинтового каналу в різних зонах ($H_1 = 0,0085$ м та $H_2 = 0,003$ м) і матеріал- поліетилен низького тиску.

Ефективність продуктивності черв'ячної машини при максимальному числі обертів черв'яка досліджується для оптимального екструзії сумішей:

$$Q = 60V_{cp}NI\rho\beta,$$

де $\rho = 1,34 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ - густина суміші (ПНТ),

$\beta = 0,2$ – коефіцієнт заповнення між витками,

V_{cp} - середній об'єм простору між двома нитками однозахідного черв'яка:

$$V_{cp} = \frac{V_H + V_K}{2},$$

де V_H об'єм гвинтового каналу черв'яка, який відноситься до одного кроку біля завантажувальної горловини:

$$V_H = \frac{\pi(D^2 - D_1^2)}{4}(T - E) = \frac{3,14(0,063^2 - 0,046^2)}{4}(0,063 - 0,0063) = 85 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

V_K - об'єм гвинтового каналу шнека, який відноситься до одного кроку біля головки:

$$V_K = \frac{\pi(D^2 - D_1^2)}{4}(T - E) = \frac{3,14(0,063^2 - 0,057^2)}{4}(0,063 - 0,0063) = 32 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

$$V_{cp} = \frac{V_H + V_K}{2} = \frac{85 + 32}{2} \cdot 10^{-6} = 58,5 \text{ м}^3.$$

Ступінь стискування:

$$K = \frac{V_H}{V_k} = \frac{85 \cdot 10^{-6}}{32 \cdot 10^{-6}} = 2,65.$$

Розрахункова продуктивність преса:

$$Q = 60V_{cp} \cdot \pi \cdot \rho \cdot \beta = 60 \cdot 58,5 \cdot 10^{-6} \cdot 150 \cdot 1,34 \cdot 10^3 \cdot 0,2 = 140 \text{ кг / год}.$$

Продуктивність машини за технічним завданням:

$$Q = 120 \text{ кг / год}.$$

Повна продуктивність $Q = 140 \text{ кг / год}$, отже продуктивність машини по технічному завданню задовольняється.

5.1.4 Розрахунок тиску, який розвиває черв'як

Мета: визначити тиск, який розвиває шнек.

Вихідні дані:

- Встановлена потужність, N , кВт	55
- Максимальне число обертів черв'яка, n , об/хв	150
- Зовнішній діаметр черв'яка, D , м	0,063
- Внутрішній діаметр черв'яка, $D_в$, м	0,057
- К.К.Д. приводу екструдера, η	0,8

Розрахунок проведено відповідно до методики [6].

Осьове зусилля, яке виникає у гвинтовому каналі черв'яка, визначається за формулою:

$$P_z = \frac{19500 \cdot N \cdot \eta \cdot \operatorname{tg} \varphi}{N_1 \cdot D} = \frac{19500 \cdot 55 \cdot 0,8 \cdot \operatorname{tg}(17^\circ 40')}{150 \cdot 0,063} = 28146 \text{ Н},$$

$\alpha = 17^\circ 40'$ - кут підйому витка в зоні дозування.

Питомий тиск, який розвиває черв'як:

$$P = \frac{P_z}{F} = \frac{P_z}{\pi \cdot (R^2 - R_в^2)} = \frac{28146}{3,14 \cdot (0,0315^2 - 0,0285^2)} = 44115789 \text{ Па} = 44,1 \text{ МПа},$$

де $R = 0,0315 \text{ м}$ - зовнішній радіус витків черв'яка,

$R_в = 0,0285 \text{ м}$ - внутрішній радіус витків черв'яка.

Приймаємо розрахунковий тиск рівним $P = 45 \text{ МПа}$.

5.1.5 Розрахунок потужності приводу преса ЧП-63 при переробці ПНТ

Мета: визначити потужність приводу преса, яка затрачається на переробку ПНТ.

Вихідні дані:

- Масова продуктивність машини, G , кг/с	0,02
- Об'ємна витрата розплаву ПВХ, V , $\text{м}^3/\text{с}$	$24,8 \cdot 10^{-6}$
- Тиск в пресі, P , МПа	$75 \cdot 10^6$
- Температура матеріалу, що завантажується, T_1 , $^{\circ}\text{C}$	20
- Температура стінки, $T_{ст}$, $^{\circ}\text{C}$	250
- Температура плавлення розплаву, $T_{пл}$, $^{\circ}\text{C}$	200
- Діаметр сердечника черв'яка на початку зони дозування, D_H , м	0,046
- Діаметр сердечника черв'яка в кінці зони дозування, D_3 , м	0,057
- Глибина каналу на початку зони дозування, H_H , м	0,0085
- Глибина каналу в кінці зони дозування, H_3 , м	0,003
- Середнє значення глибини нарізки в зоні подачі, H_{1cp} , м	0,005
- Довжина зони гранулювання черв'яка, L_2 , м	1,57

Корисна потужність, яка витрачається в шнековій машині на переробку матеріалу:

$$N = N_1 + N_2 + N_3 + N_r ,$$

де N_1 - потужність, яка витрачається в зоні подачі. Внаслідок її відносної малості нехтуємо нею.

$N_2 = N_2' + N_2''$ - потужність, яка витрачається в зоні плавлення.

N_2' - потужність, яка витрачається на тертя та дисипацію енергії в зазорі Δ між циліндром і поверхнею пробки твердого тіла,

N_2'' - потужність, яка витрачається в зазорі Δ між циліндром і гребенем витка.

$$N_2' = \mu_{ef} \cdot \Delta W_{np}^2 \cdot \frac{T - T \cdot E}{2 \cdot \Delta O \cdot tg \varphi} \cdot L_2 .$$

ΔW_{np} - швидкість переміщення пробки твердої фази циліндра по відношенню до стінки циліндра:

$$\Delta W_{np} = ((\pi \cdot D \cdot N - W_{np} \cdot \cos \varphi)^2 + (W_{np} \cdot \sin \varphi)^2)^{0,5} = ((3,14 \cdot 0,063 \cdot 3 - 0,26 \cdot 0,952846)^2 + (0,26 \cdot 0,307478)^2)^{0,5} = 0,26 \frac{M}{c}.$$

$$W_{np} = \frac{G}{\rho_H \cdot B \cdot H_{1cp}} = \frac{0,02}{820 \cdot 0,019 \cdot 0,005} = 0,26 \frac{M}{c},$$

$\rho_H = 820 \frac{K\Gamma}{M^3}$ - насипна густина матеріалу,

B - ширина гвинтового каналу:

$$B = T \cdot \sin \varphi = 0,063 \cdot \sin(17^\circ 40') = 0,019,$$

де $\varphi = 17^\circ 40'$ - кут підйому витка

Величина ефективної в'язкості визначається за середньою температурою пристінного шару і середньому градієнту швидкості:

$$T_{cm} = \frac{T_y + T_{nl}}{2} = \frac{250 + 200}{2} = 225^\circ C,$$

де $\gamma = \frac{\Delta W_{np}}{\Delta O}$ - середній градієнт швидкості,

$$\Delta O = \frac{2 \cdot (I - E)}{\rho_H \cdot W_{np} \cdot \sin \varphi} \cdot \phi - \text{товщина шару розплаву над пробкою матеріалу в просторі між}$$

витками

Параметр ϕ визначається:

$$\phi = \frac{\lambda \cdot (T_y - T_{nl})}{C_T \cdot (T_{nl} - T_1) + r_{nl}} = \frac{0,17 \cdot (250 - 200)}{1,29 \cdot (200 - 20)} = 0,0366,$$

де $\lambda = 0,17 \frac{Bm}{M^2 \cdot ^\circ K}$ - теплопровідність розплаву полімеру,

$C_T = 1,29 \frac{KJ}{K\Gamma \cdot ^\circ C}$ - питома теплоємність твердої фази полімеру.

Величиною r_{nl} нехтуємо.

Визначаємо величину ΔO :

$$\Delta O = \frac{2 \cdot (I - E)}{\rho_H \cdot W_{np} \cdot \sin \varphi} \cdot \phi = \frac{2 \cdot (0,063 - 0,0063)}{820 \cdot 0,26 \cdot 0,303478} \cdot 0,0366 = 0,000064m.$$

Середній градієнт швидкості:

$$\gamma = \frac{\Delta W_{np}}{\Delta O} = \frac{0,26}{0,000064} = 4062c^{-1}.$$

Приймаємо $\mu_{ef} = 110 Па \cdot c$.

Отже, потужність N_2' , яка витрачається на тертя та дисипацію енергії в зазорі Δ між циліндром і поверхнею пробки твердого тіла, дорівнює:

$$N_2' = \mu_{ef} \cdot \Delta W_{np}^2 \cdot \frac{T - T \cdot E}{2 \cdot \Delta O \cdot tg \varphi} \cdot L_2 = 110 \cdot 0,26^2 \cdot \frac{0,063 - 0,063 \cdot 0,0063}{2 \cdot 0,000064 \cdot 0,318471} \cdot 1,57 = 17825 Bm = 17,8 кВт.$$

Визначаємо потужність N_2'' , яка витрачається в зазорі Δ між циліндром і гребенем витка:

$$N_2'' = \mu_{ef} \cdot I \cdot E \cdot L_2 \cdot \frac{\pi^2 \cdot D^2 \cdot N^2}{\Delta \cdot tg \varphi} = 110 \cdot 1 \cdot 0,0063 \cdot 1,56 \cdot \frac{3,14^2 \cdot 0,063^2 \cdot 2,5^2}{0,000189 \cdot 0,318471} = 4440,5 Bm = 4,44 кВт.$$

Потужність в зоні дозування витрачається на подолання тертя, плавлення в каналі черв'яка і в зазорі між циліндром і гребенем витка черв'яка. Потужність, яка витрачається в каналі шнека в зоні дозування :

$$N_3' = \mu_{ef} \cdot N^2 \cdot \frac{\pi^3 \cdot (T - I \cdot E) \cdot L_2 \cdot \theta_2}{T}.$$

Коефіцієнт θ визначається за формулою:

$$\theta = \frac{\pi^2 \cdot D^2 - 4T^2}{\pi^2} + \frac{[D + D_3]^3 + [D + D_H]^3}{3(D_3 - D_H)} + \frac{2,3\pi^2 \cdot D^5}{(T^2 + \pi^2 \cdot D^2) \cdot [H_H - H_3]} = \frac{3,14^2 \cdot 0,063^2 - 4 \cdot 0,063^2}{3,14^2} + \text{тоді}$$

$$\frac{(0,063 + 0,057)^3 - (0,063 + 0,046)^3}{3(0,057 - 0,046)} + \frac{2,3 \cdot 3,14^2 \cdot 0,063^5}{(0,06^2 + 3,14^2 \cdot 0,063^2) \cdot (0,0085 - 0,003)} = 0,109.$$

потужність N_3' , дорівнює:

$$N_3' = 0,109 \cdot 110 \cdot 2,5^2 \cdot \frac{3,14^3 \cdot (0,063 - 1 \cdot 0,0063) \cdot 1,56}{0,063} = 3257,3 Bm = 3,26 кВт.$$

Потужність, яка втрачається в зазорі на ділянці зони дозування:

$$N_3'' = \mu_{ef} \cdot I \cdot E \cdot L_2 \cdot \frac{\pi^2 \cdot D^2 \cdot N^2}{\Delta \cdot tg \varphi} = 110 \cdot 1 \cdot 0,0063 \cdot 1,56 \cdot \frac{3,14^2 \cdot 0,063^2 \cdot 2,5^2}{0,000189 \cdot 0,318471} = 444,1 Bm = 4,44 кВт.$$

Потужність, яка втрачається в каналі формувальної головки:

$$N_r = V \cdot P_r = 24,8 \cdot 10^{-6} \cdot 50 \cdot 10^6 = 1240 Bm = 1,24 кВт.,$$

де $V = 24,8 \cdot 10^{-6} \frac{m^3}{c}$ - об'ємна витрата розплаву.

Загальні втрати потужності в черв'ячній машині складають:

$$N_{инд} = N_2' + N_2'' + N_3' + N_3'' + N_r = 17,8 + 4,44 + 3,26 + 4,44 + 1,24 = 31,2 кВт.$$

Потужність електродвигуна приводу машини :

$$N_E = \frac{N}{\varepsilon} = \frac{31,2}{0,7} = 44,56 \text{ кВт} ,$$

де $\varepsilon = 0,4 \dots 0,8$ - коефіцієнт, який враховує втрати енергії в приводі черв'ячної машини.

Встановлено двигун потужністю $N = 55 \text{ кВт}$, найближчою найбільшою за номінальним рядом потужностей двигунів.

5.2 Розрахунки черв'яка на міцність

5.2.1 Розрахунок на міцність

Метою розрахунку є визначення працездатності черв'яка, який піддається дії таких силових факторів, як осьове зусилля P_{oc} , рівномірно розподілене навантаження від власної ваги q та обертальний момент $M_{об}$.

Схема навантаження черв'яка та епюри напружень зображені на рис. 5.1.

Розраховуємо крутний момент:

$$\dot{I}_{\partial} = \frac{9550 \cdot N}{n} = \frac{9550 \cdot 80}{150} = 5,09 \cdot 10^3 \text{ І} \cdot \dot{\text{і}} .$$

де $N = 80$ – потужність, яка споживається черв'яком, кВт;

$n = 150$ - швидкість обертання черв'яка, об/хв.

Осьове зусилля:

$$P_{oc} = \frac{2 \cdot M_{кр}}{D} = \frac{2 \cdot 5,09 \cdot 10^3}{0,063} = 53,1 \text{ кН}.$$

де $D = 0,063$ - зовнішній діаметр черв'яка, м;

$\varphi = 18,19^\circ$ - кут підйому нарізки.

Розподілене навантаження від власної ваги:

$$q = \frac{9,81 \cdot G}{l_p} = \frac{9,81 \cdot 45,4}{1,89} = 235,6 \text{ Н / м}.$$

де G - маса черв'яка, кг;

$l_p = 1,89$ - довжина робочої частини, м.

$$G = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \rho \cdot l_p = \frac{3,14 \cdot 0,063^2 \cdot 7710 \cdot 1,890}{4} = 45,4 \text{ кг}.$$

$$\dot{I}_{\max} = \frac{1}{2} \cdot q \cdot l_{\partial}^2 = \frac{1}{2} \cdot 235,6 \cdot 1,89^2 = 420,8 \text{ І} \cdot \dot{\text{і}} .$$

W_x - осьовий момент опору:

$$W_x = \frac{\pi \cdot d^3 (1 - \alpha^4)}{32} = \frac{3,14 \cdot 0,047^3 (1 - 0,29^4)}{32} = 1,01 \cdot 10^{-5}$$

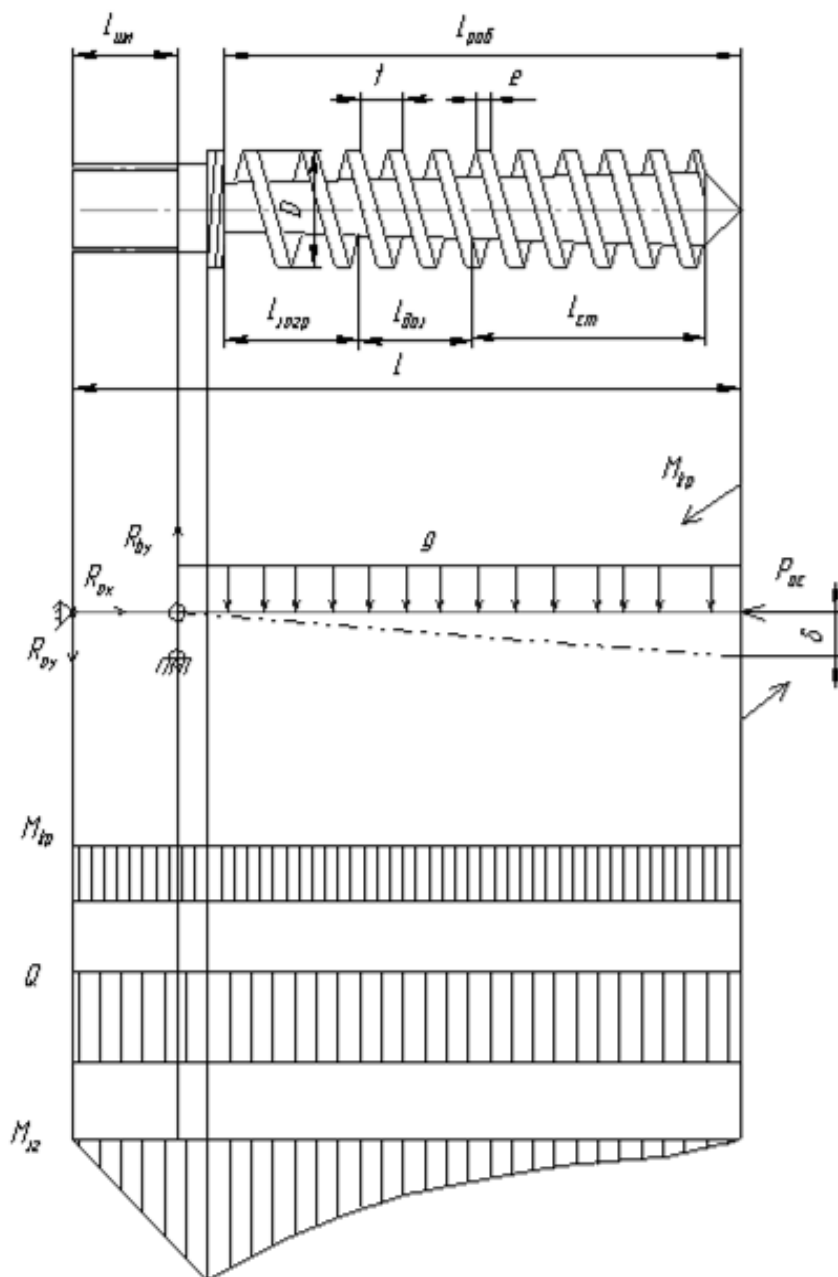


Рис.5.1. Розрахункова схема шнека та епюри напружень.

Стискне напруження:

$$\sigma_{cm} = \frac{P_{oc}}{F} + \frac{M_{max}}{W_x} = \frac{53,1 \cdot 10^3}{1,23 \cdot 10^{-3}} + \frac{420,8}{1,01 \cdot 10^{-5}} = 84,8 \text{ МПа.}$$

де F - площа небезпечного перерізу (під завантажувальною воронкою в місці початку нарізки, де найбільші навантаження і найменша площина, без урахування площі перерізу витків):

$$F = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} (1 - \alpha^2) = \frac{3,14 \cdot 0,047^2}{4} (1 - 0,29^2) = 1,23 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

$$\alpha = \frac{d_0}{d_1} = \frac{0,014}{0,047} = 0,29.$$

d_0 - діаметр осердя в зоні завантаження;

Дотичне напруження:

$$\tau = \frac{M_{кр}}{W_p} = \frac{5,09 \cdot 10^3}{2,02 \cdot 10^{-5}} = 252 \text{ МПа}.$$

де W_p - полярний момент опору:

$$W_p = \frac{\pi \cdot d_1^3 (1 - \alpha^4)}{16} = \frac{3,14 \cdot 0,047^3 \cdot (1 - 0,29^4)}{16} = 2,02 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$$

Еквівалентне напруження за третьою теорією міцності:

$$\sigma_{cm} = \sqrt{\sigma_{cm}^2 + 4 \cdot \tau^2} = \sqrt{84,8^2 + 4 \cdot 252^2} = 511 \text{ МПа}.$$

Коефіцієнт запасу повинен перевищувати допустиме значення:

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

Матеріал черв'яка - сталь 38Х2МЮА для якої $\sigma_t = 880$ МПа.

Значення допустимого коефіцієнта запасу зазвичай 1,6...2 [n]

$$n = \frac{880}{511} = 1,72 \in [1,6; 2]$$

Умова міцності черв'яка виконується.

5.2.2 Розрахунок на стійкість

Так як черв'як може витримувати згинальний момент навантаження від циклічної дії своєї ваги, рекомендується провести його перевірку на міцність. Необхідно розрахувати коефіцієнт запасу міцності під час циклічного навантаження.

$$n_a = \frac{\sigma_{-1}}{(k_\sigma) d \cdot \sigma_a + \psi_\delta \cdot \sigma_c} = \frac{0,4 \cdot 880}{4,643 \cdot 41,66 + 0,25 \cdot 0} = 1,82$$

де $\sigma_{-1} = 0,4 \cdot \sigma_s$ - допустиме напруження під час циклічного навантаження ($\sigma_s = 1200...1400$ МПа);

σ_a - амплітуда змінювання напружень, у цьому випадку вони змінюються від

$$+\sigma_{\hat{a}\hat{b}} - \sigma_{\hat{a}\hat{b}} + 41,66 \leq \sigma_{\hat{a}} \leq -41,66$$

де σ_{max} - найбільші напруження від дії згинального моменту:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W_x} = \frac{420,8}{1,01 \cdot 10^{-5}} = 41,66 \text{ МПа.}$$

$\sigma = 0$ - середнє напруження циклу, оскільки цикл симетричний; $\psi_{\sigma} = 0,25$; $(k_{\sigma})_d$ - ефективний коефіцієнт концентрації напружень, який можна знайти за формулою:

$$(k_{\sigma})_d = \frac{k_{\delta}}{(\beta \cdot \varepsilon)} = \frac{1,95}{1 \cdot 0,42} = 4,643$$

де $k_{\delta} = 1,9..2$ - коефіцієнт концентрації напружень; β - коефіцієнт, який враховує якість поверхні деталі (для полірованої поверхні черв'яка $\beta = 1$), $\varepsilon = 0,42$ - коефіцієнт, який враховує розмір перерізу деталі і обирається в залежності від діаметра з таблиць. Всі умови розрахунку черв'яка на стійкість виконуються.

5.2.3 Розрахунок на жорсткість

Для забезпечення умов жорсткості важливо, щоб максимальний прогин черв'яка був меншим за конструкційний зазор: $\delta_{\nabla \max} \geq \delta_k$.

Маємо такі вихідні дані:

Матеріал черв'яка сталь 38Х2МЮА, діаметр черв'яка $d = 63 \text{ мм}$, зазор між корпусом і черв'яком $\delta = 0,15 \text{ мм}$, Е-модуль пружності.

- $E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$;
- $I = 9,278 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4$ – полярний момент інерції перетину черв'яка;
- $P_{oc} = 53,1 \text{ кН}$.

Максимальний прогин дорівнює :

$$\delta = \frac{1}{EI} \left[\frac{q}{k^2} \left(\frac{1}{k^2} + \frac{l_p}{2} \right) - \frac{1}{k} \left(\frac{q}{k^2} + A \cdot l_p \right) \cdot \cos(k \cdot l_p) - \frac{1}{k^2} \left(\frac{q \cdot l_p}{k} - A \right) \cdot \sin(k l_p) \right];$$

де

$$k = \sqrt{\frac{P_{i \hat{n}}}{EI}} = \sqrt{\frac{53100}{2 \cdot 10^{11} \cdot 9,278 \cdot 10^{-7}}} = 0,53;$$

$$A = \frac{q \left[l_p - \frac{1}{k} \sin(kl_p) \right]}{k \cdot \cos(kl_p)} = \frac{2,35 \cdot \left[1,89 - \frac{1}{0,53} \sin(1,89 \cdot 0,53) \right]}{0,53 \cdot \cos(0,53 \cdot 1,89)} = 8,24;$$

Максимальний прогин :

$$\delta_{\max} = \frac{1}{2 \cdot 10^{11} \cdot 9,278 \cdot 10^{-7}} \left[\begin{aligned} & \frac{2,35}{0,53^2} \left(\frac{1}{0,53^2} + \frac{1,89}{2} \right) - \\ & \frac{1}{0,53} \left(\frac{1,89}{0,53^2} + 8,24 \cdot 1,89 \right) \cdot \cos(0,53 \cdot 1,89) - \\ & - \frac{1}{0,53^2} \left(\frac{2,35 \cdot 1,89}{0,53} - 8,24 \right) \cdot \sin(0,53 \cdot 1,89) \end{aligned} \right] = 0,08 \text{ мм};$$

Прогин знаходиться в межах допустимого значення.

5.2.4 Розрахунок шліцевого з'єднання

Черв'як з валом вузла упорного підшипника з'єднується шліцевим евольвентним з'єднанням 60×1,5×9 ГОСТУ 6033-80, яке розраховують на зміцнення втулки в місці її зіткнення з бічними поверхнями зубців.

$$\sigma_{зм} = \frac{M_{кр}}{\psi \cdot z \cdot h \cdot l \cdot r_{cp}} \leq [\sigma]_{зм},$$

де $M_{кр}=5,09 \text{ кН} \cdot \text{м}$ – крутний момент, діє на валу черв'яка, $[\sigma]_{зм}=60 \text{ МПа}$ - напруга зім'ягнення, що допускається на бічних поверхнях зубцешліцевих з'єднань, $\psi=0,75$ - коефіцієнт, що враховує нерівномірність розподілу навантаження по зубцях,

$Z = 28$ - число зубців,

$L = 8,5 \text{ см}$ - робоча довжина уздовж осі валу;

h - робоча висота контактуючих зубців в радіальному напрямі;

r_{cp} - середній радіус, тобто відстань від осі обертання валу до середини висоти зубця:

$$r_{cp} = \frac{D_{\epsilon} + D_a}{4}, \quad h = \frac{D_{\epsilon} - D_a}{2}$$

де $D_b=6,0 \text{ см}$ - зовнішній діаметр,

D_a - внутрішній діаметр (кола виступів для отворів);

$m = 0,3 \text{ см}$ – модуль.

При центруванні по боковим поверхням зубців: $D_a = D - 2 \cdot m = 6,3 - 2 \cdot 0,3 = 5,7$ см,

$$r_{\text{н\ddot{o}}} = \frac{6,3 + 5,7}{4} = 3\text{мм}, \quad h = \frac{6,3 - 5,7}{2} = 0,3\text{мм}$$

$$\sigma_{\text{н\ddot{o}}} = \frac{5090}{0,75 \cdot 28 \cdot 0,3 \cdot 20 \cdot 3} = 13,5 \text{ І І \ddot{a}}.$$

$$\sigma_{\text{см}} \prec [\sigma]_{\text{см}}$$

5.3 Тепловий розрахунок

Теплофізичні властивості полімерних сумішей, що перероблюються. Питома теплоємність для поліетилену:

$$C_{\text{сум.}} = 0,36 \text{ ккал/}(\text{кг} \cdot \text{K}) = 1,5 \text{ кДж/}(\text{кг} \cdot \text{°C});$$

Коефіцієнт теплопровідності :

$$\lambda = 0,105 \text{ Вт/}(\text{м}^2 \cdot \text{K});$$

Вхідна температура полімеру:

$$T_{\text{вх.}} = 20\text{°C};$$

Температура полімеру на виході з машини :

$$T_{\text{вих.}} \leq 200\text{°C};$$

Температура охолоджувального повітря :

$$t_{\text{п}} = 25\text{°C};$$

Прес охолоджується за допомогою повітряних вентиляторів, які забезпечують необхідне охолодження корпусу.

Максимальна температура нагріву у вторинному контурі становить 80 °C.

Кількість тепла, яке передається від полімерної суміші до охолоджувального повітря через розділяючі поверхні, розраховується за основним рівнянням теплопередачі.

$$N_{\text{охол.}} = K \cdot F \cdot \Delta t_{\text{сер}},$$

де K – коефіцієнт теплопередачі, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$;

F – площа поверхні теплообміну, м^2 ;

$\Delta t_{\text{сер.}}$ – середньологаритмичний температурний напір між полімерною сумішшю та охолоджувальним повітрям.

Коефіцієнт теплопередачі визначимо за формулою:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\sigma_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_2}}, \frac{Bm}{m^2 \cdot C},$$

де α_1 – коефіцієнт тепловіддачі від полімерної суміші до стінки.

Значення цього коефіцієнта можна орієнтовно прийняти

$$\alpha_1 = 2000 \frac{Bm}{m^2 \cdot C};$$

$\delta_{ст.} = 0,018$ м – товщина тепловіддаючої стінки;

$\lambda_{ст.} = 60 \frac{Bm}{m \cdot C}$ - коефіцієнт теплопровідності стінки;

α_2 – коефіцієнт тепловіддачі від стінки до повітря

$$\alpha_2 = \frac{Nu * \lambda_{..n}}{d_{екв.}},$$

де $\lambda_n = 2,689 * 10^{-2} \frac{Bm}{m \cdot C}$ - коефіцієнт теплопровідності повітря при 40°C;

$d_{екв.}$ – еквівалентний діаметр охолоджувального каналу, м.

$$d_{екв.} = \frac{4 * f_k}{\Pi},$$

де $f_k = \frac{\pi * (d_2^2 - d_1^2)}{4} = \frac{3,14 * (0,150^2 - 0,1^2)}{4} = 0,0098$ м² – площа перетину охолоджувального каналу;

$$\Pi = \pi * d_2 + \pi * d_1 = 3,14 * 0,15 + 3,14 * 0,1 = 0,785$$
 м.

Змочуваний периметр охолоджувального каналу (в поперечному перетині):

$$d_{екв.} = 4 * 0,0098 / 0,785 = 0,05$$
 м.

Для вибору критеріального рівняння, що визначає значення Nu, знайдемо режим руху охолоджувального повітря в рубашці секції ЧМ .

При вимушеній течії:

$$Re = V_{сер.} * d_{екв.} * \rho / \mu = V_{сер.} * d_{екв.} / \nu,$$

де $V_{сер.}$ – середня швидкість руху повітря в охолоджувальних каналах.

Попередньо приймемо витрати повітря на одну секцію машини ЧПК 125*25 орієнтовно 400 м³/год. Тоді швидкість повітря в рубашці охолодження складатиме :

$$V_B = \frac{G_{\phi}}{3600 * f_k} = \frac{400}{3600 * 0,0098} = 11,3 \frac{м}{с}.$$

$\nu = 16,42 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{c}$ - коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря при 40°C [6].

$$\text{Тоді } Re = V_B \cdot d_{\text{екв.}} / \nu = \frac{11,3 \cdot 0,05}{16,42 \cdot 10^{-6}} = 34451.$$

$$34451 > 10000 ,$$

тобто маємо турбулентний режим руху, при якому для визначення Nu рекомендується наступне рівняння: [1]

$$Nu = 0,76 \cdot Re^{0,5} \cdot Pr_{\text{pid.}}^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr_{\text{pid.}}}{Pr_{\text{ст.}}} \right)^{0,25},$$

де $Pr_{\text{ст.}}$ та $Pr_{\text{pid.}}$ - критерії Прандтля для рідини при температурі стінки та температурі охолоджувального повітря відповідно [6].

$$Pr_{\text{pid.}} = 0,70013 \text{ при температурі } 40^\circ\text{C}.$$

Для визначення $Pr_{\text{ст.}}$ приймаємо попередньо:

$$t_{\text{ст.}} = t_{\text{в.сеп.}} + 15^\circ\text{C} = 40 + 15 = 55^\circ\text{C}; Pr_{\text{ст.}} = 0,7 [6]$$

$$Nu = 0,76 \cdot 34451^{0,5} \cdot 0,7^{0,43} \cdot \left(\frac{0,7}{0,7} \right)^{0,25} = 121.$$

$$\alpha_2 = \frac{121 \cdot 2,689 \cdot 10^{-2}}{0,05} = 65 \frac{Bm}{m^2 \cdot ^\circ C}.$$

Визначаємо коефіцієнт теплопередачі:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{2000} + \frac{0,018}{60} + \frac{1}{65}} = 68 \frac{Bm}{m^2 \cdot ^\circ C}.$$

Середньо логаритмічний температурний напір визначимо з наступного рівняння:

$$\Delta t_{\text{сеп.}} = \frac{\Delta t_{\delta} - \Delta t_{\text{м.}}}{2,3 \cdot Lg \frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_{\text{м.}}}}.$$

$$\Delta t_{\delta} = 200 - 40 = 160^\circ\text{C} \quad \text{та} \quad \Delta t_{\text{м.}} = 60 - 36 = 24^\circ\text{C}.$$

$$\Delta t_{\text{сеп.}} = \frac{160 - 24}{2,3 \cdot Lg \frac{160}{24}} = 71,8^\circ\text{C}.$$

Поверхня охолодження ЧП складається з наступних складових:

а) для машини ЧП63х30

$$F_k = \pi \cdot D_H \cdot L \cdot \varphi, m^2,$$

де $D_n = 0,1$ м – зовнішній діаметр циліндра;

$L = 2$ м – довжина циліндра;

$\varphi = 0,9$ – коефіцієнт, що враховує поверхню, зайняту фланцями

$$F_k = 3,14 * 0,1 * 2 * 0,9 = 0,57 \text{ м}^2;$$

Кількість тепла, що відводиться з охолоджуючим повітрям:

$$N_{охол.}^1 = 80 * 0,57 * 71,8 = 32,7 \text{ кВт.}$$

Перевіримо зовнішню t_{cm} поверхні теплопередаючій стінки ЧМ (ПЕ):

$$N_{охол.}^1 = \alpha_2 * F_{сум.} * (t_{cm} - t_e) = \alpha_2 * F_{сум.} * \Delta t,$$

$$\text{звідки } \Delta t = \frac{N_{охол.}^1}{\alpha_2 * F_m} = \frac{3270}{100 * 0,57} = 57^\circ \text{C.}$$

$t_{cm} = \Delta t + t_n = 57 + 39 = 96^\circ \text{C}$, що є задовільно.

Остаточно приймаємо сумарну продуктивність вентиляторів $400 \text{ м}^3/\text{год.}$

5.4 Розрахунки в ANSYS

Для аналізу та визначення напружень, що виникають під час експлуатації завантажувального пристрою екструдера, у даній роботі використовувався програмний комплекс "ANSYS".

Це програмне забезпечення дозволяє вирішувати різноманітні завдання в областях міцності, теплопередачі, гідро- та газодинаміки, електромагнетизму, а також проводити міждисциплінарний аналіз, що охоплює всі ці аспекти. ANSYS також підтримує оптимізацію конструкцій на основі використання всіх вищезазначених типів аналізу.

У програмному комплексі "ANSYS" був створений проект зі статичною постановкою задачі. Геометрія була імпортована в середовище проекту, автоматично розділена сіткою скінченних елементів та встановлено матеріал та його властивості.

Вихідні дані для розрахунку:

Матеріалом для черв'яка екструдера є сталь 38Х2МЮА з такими властивостями:

- модуль Юнга (E) = $2 \cdot 10^5$ МПа;
- границя текучості (σ_T) = 735 МПа;
- коефіцієнт Пуассона (ν) = 0,3;
- густина (ρ) = 7850 кг/м³.

Розрахунок проводився з урахуванням температурних та статичних навантажень, для цього було використано програмні модулі Steady-State Thermal та Static Structural.

5.1. У робочому просторі Workbench створюємо проект Steady-State Thermal.

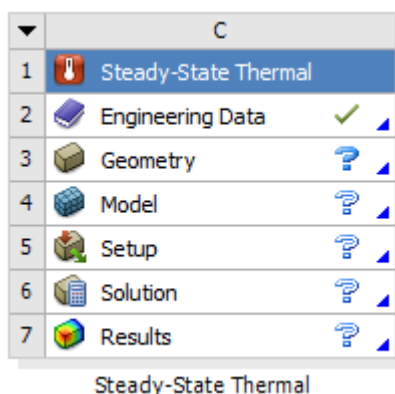


Рисунок 5.1 – створення проекту для виконання теплового розрахунку.

5.2. Відкриваємо розділ Geometry. Натискаємо File > Import External Geometry File... > Обираємо модель (половинку) модернізованого черв'яка, створену в програмі Solidworks та збережена в форматі STEP > Відкрити > Generate.

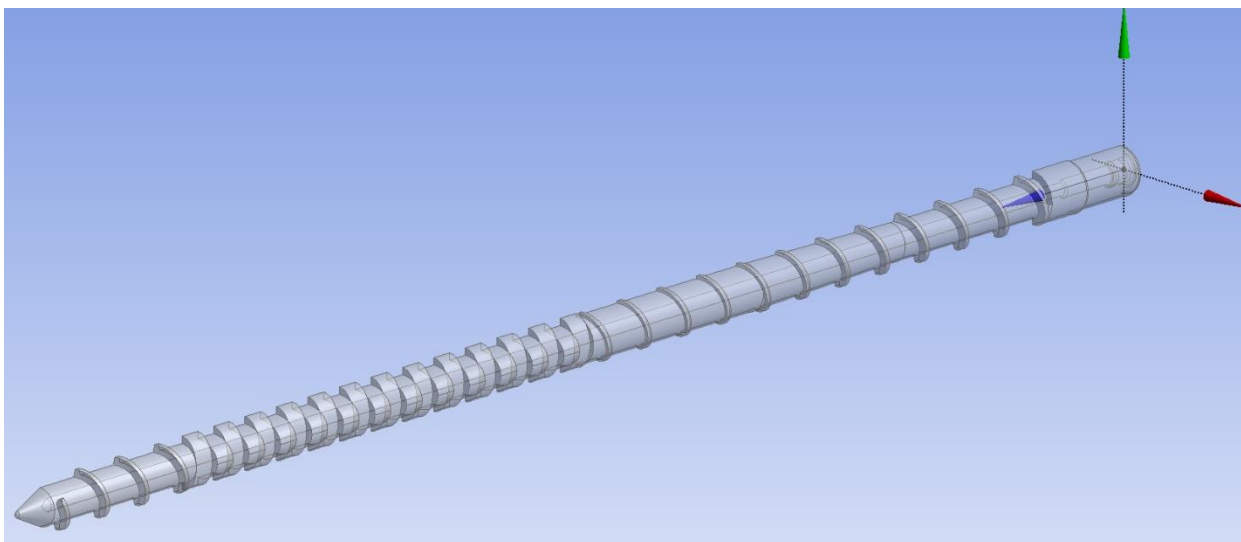


Рисунок 5.2 – занесення 3D-моделі в розділ Geometry.

5.3. Заходимо на Model. У розділі Mesh генеруємо сітку скінченних елементів (Generate Mesh). Після чого, в розділі Mesh, виставляємо розмір елемента в пункті Element Size ставимо 3 мм; натискаємо на Mesh ПКМ -> Update.

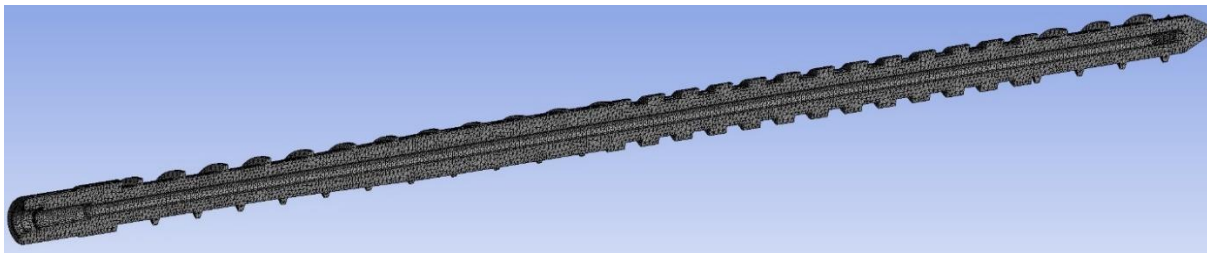


Рисунок 5.3 – Генерування сітки скінченних елементів.

5.4. В розділі Steady-State Thermal задаємо дії температур (Temperature) на поверхні черв'яка.

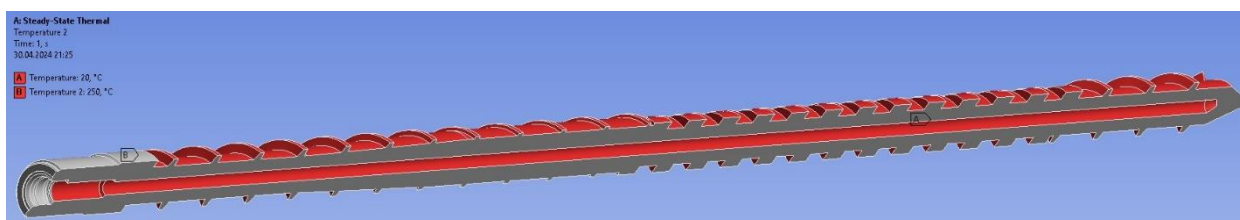


Рисунок 5.4 – Задаємо дію температур.

5.5. В розділі Solution обираємо розрахунки які нам потрібні, а саме: Thermal -> Temperature -> натискаємо Solve.

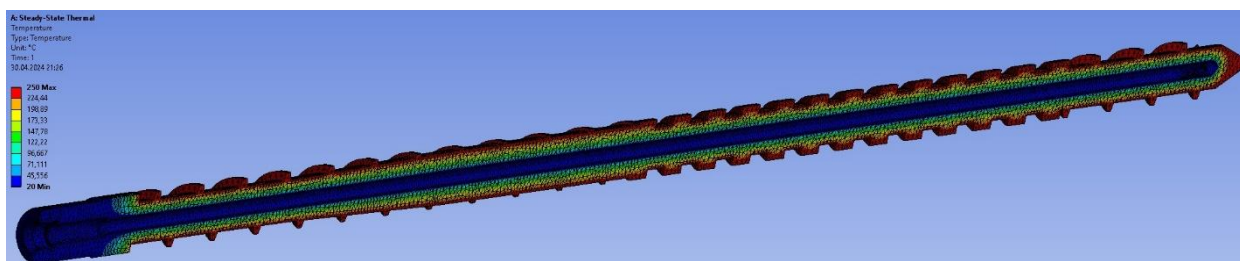


Рисунок 5.5 – Розподіл температур.

5.6. Тепер повертаємось у робочий простір Workbench і створюємо проект Static Structural.

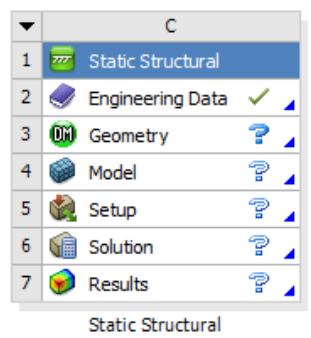


Рисунок 5.6 – створення проекту для виконання розрахунку на міцність.

5.7. Перетягуємо розділ Geometry з проекту Steady-State Thermal у розділ Geometry проекту Static Structural, а розділ Solution з проекту Steady-State Thermal у розділ Setup проекту Static Structural.

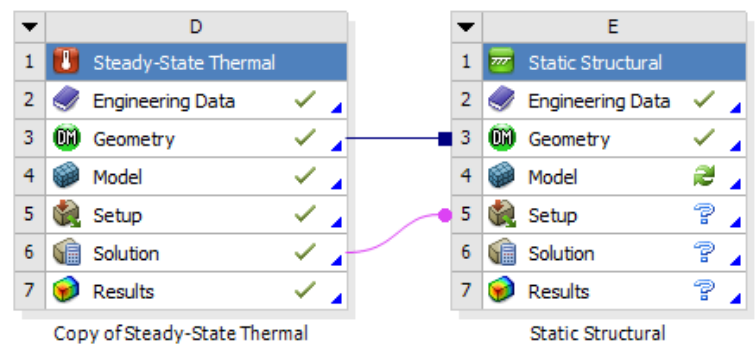


Рис. 5.7 – перенесення даних з проекту Steady-State Thermal у проект Static Structural.

5.8. Заходимо на Model. У розділі Mesh генеруємо сітку скінченних елементів (Generate Mesh). Після чого, в розділі Mesh, виставляємо розмір елементу в пункті Element Size ставимо 3 мм; натискаємо на Mesh ПКМ -> Update.

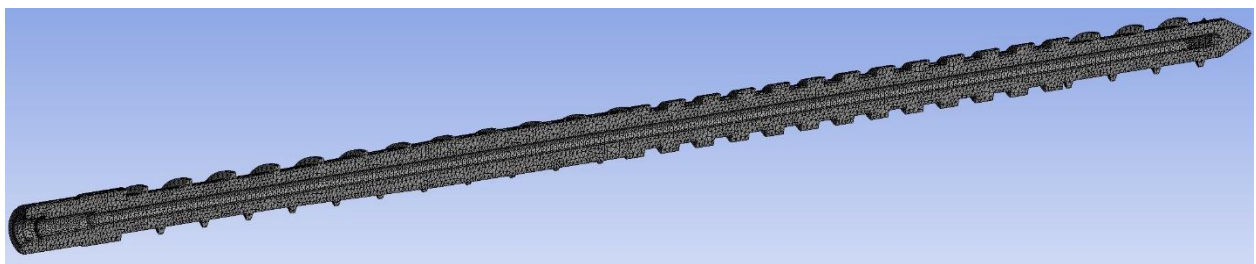


Рисунок 5.8 – Генерування сітки скінченних елементів у проекті Static Structural.

5.9. У розділі Static Structural задаємо закріплення за допомогою команди Displacement та Fixed Support.

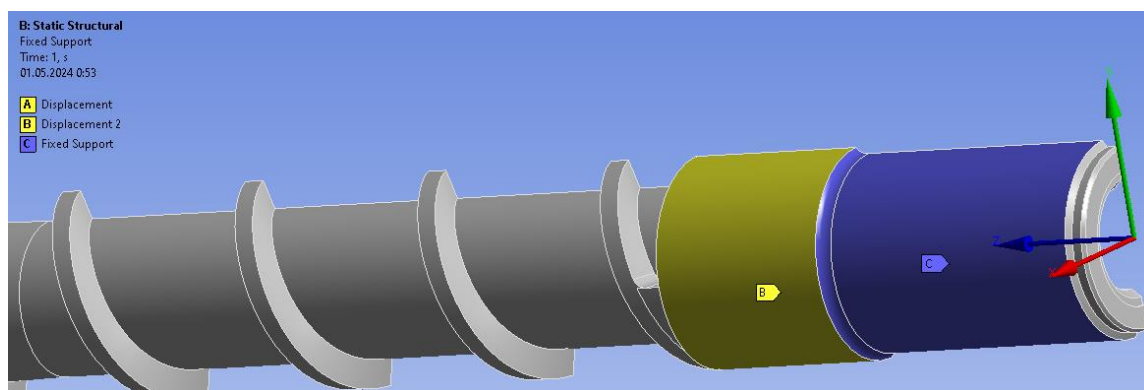


Рисунок 5.9 – Задаємо закріплення конструкції.

5.10. З використанням команди Standard Earth Gravity задаємо дію гравітації на конструкцію (Inertial > Standard Earth Gravity > -Y Direction).

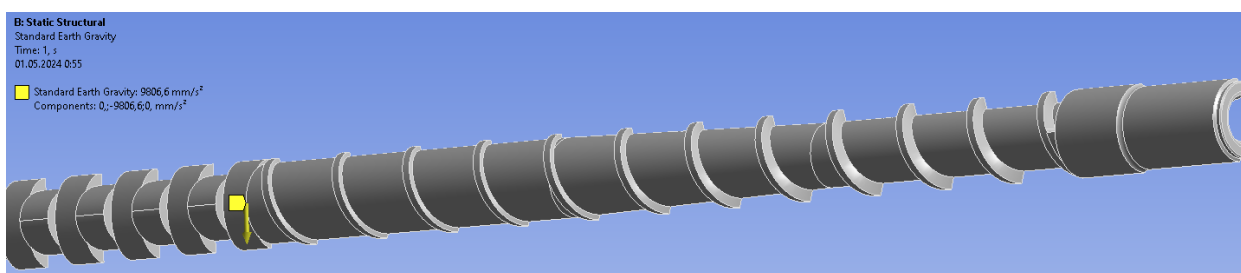


Рисунок 5.10 – Задаємо дію гравітації на конструкцію.

5.11. З використанням команди Pressure задаємо тиск який діє на зовнішню поверхню конструкції.

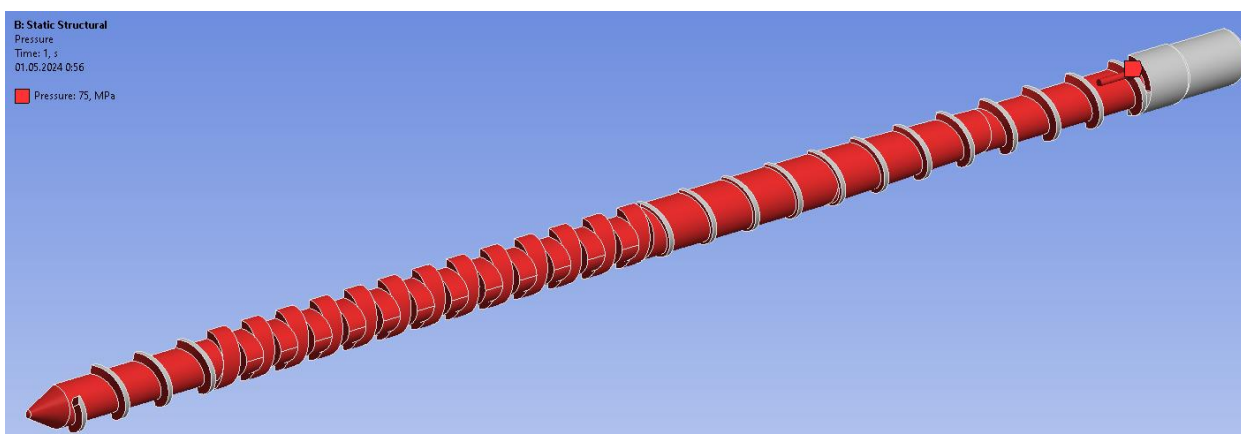


Рисунок 5.11 – Задаємо навантаження.

5.12. В розділі Solution обираємо розрахунки які нам потрібні, а саме: загальні деформації (Total Deformation), еквівалентні напруження (Equivalent Stress) та коефіцієнт запасу міцності (Safety Factor).

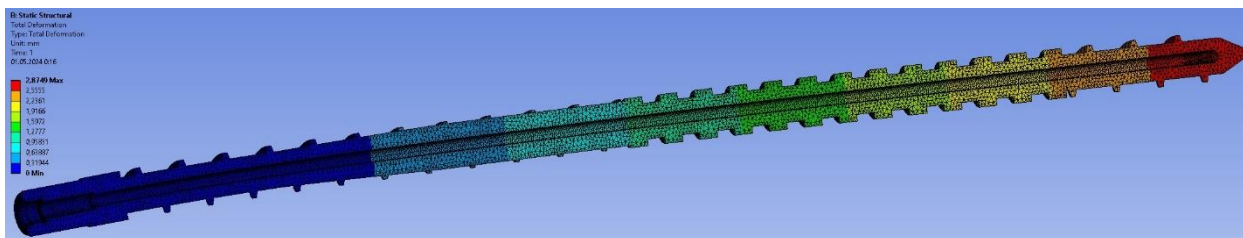


Рисунок 5.12 – Результати розрахунку загальних деформацій.

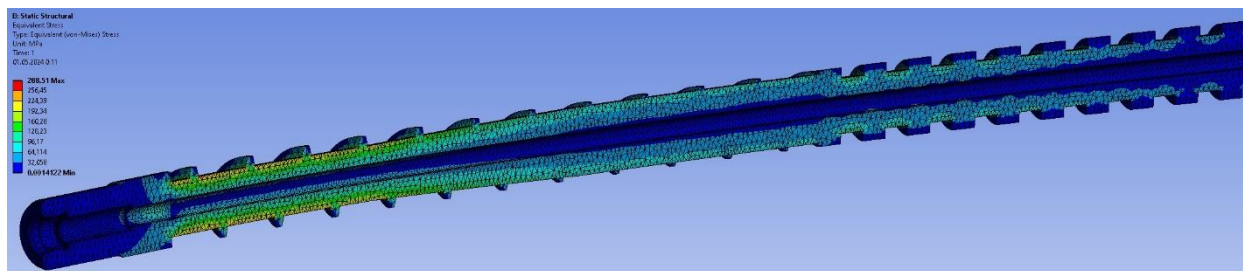


Рисунок 5.13 – Результати розрахунку еквівалентних напружень.

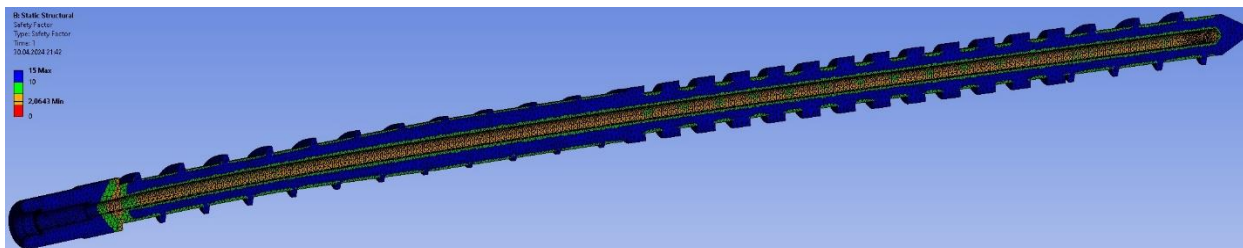


Рисунок 5.14 – Результати розрахунку запасу міцності.

З розрахунків видно, що коефіцієнт запасу міцності становить 2.0643, тобто $k > 1.6$. Це говорить про те, що деталь не зламається.

Модернізована модель пройшла випробування на міцність.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці - це система заходів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності працівників під час трудової діяльності. Вона включає в себе різноманітні аспекти, такі як соціально-економічні, правові, технічні, організаційні, реабілітаційні, лікувально-профілактичні, санітарно-гігієнічні та інші заходи.

Тема дипломного проектування: екструзійна трубна лінія з модернізацією черв'ячного пресу. Оператор лінії встановлює параметри технологічного процесу та відповідає за їх контроль. Пульти оператора розташовані у виробничому приміщенні на відстані 3 метрів від живильника. Площа цеху становить 800 квадратних метрів, а його об'єм - 4800 кубічних метрів.

Задля забезпечення безпеки працівників і створення сприятливих умов під час виробництва необхідно провести аналіз шкідливих та небезпечних факторів і вжити відповідних заходів. Машини та механізми повинні відповідати вимогам техніки безпеки та виробничої санітарії перед тим, як бути введені в експлуатацію. Нові машини не можуть бути випущені у серійне виробництво, поки не пройдуть перевірку на відповідність вимогам охорони праці.

Небезпечними й шкідливими факторами на виробництві є:

- виробничий шум ;
- повітря робочої зони,
- пожежна небезпека
- промислове освітлення.

6.1 Виробничий шум

Джерелом шуму при роботі лінії є: вентилятори, редуктори, системи охолодження.

При експлуатації обладнання, значення шуму $L_{вдж} = 100$ дБА.

Я рекомендую прийняти наступні обмеження для захисту від виробничого шуму:

- застосування захисних кожухів;
- змащування всіх поверхонь, що труться і наявність прокладочних матеріалів.

Це призведе до зниження рівня шуму на величину $\Delta L = 30$ дБА.

Крім того, джерелами вібрації є електродвигун та обертові частини лінії. Вібрація спричиняється початковою неправильністю установки обертових деталей та недостатньо щільним з'єднанням цих деталей з фундаментом.

У цьому випадку виникає технологічна вібрація, яка передається через несучі поверхні до оператора. Робітник відчуває легку вібрацію, оскільки знаходиться біля пульта управління, віддалено від основи машини. Таким чином, нормальна технологічна вібрація не впливає на організм оператора. Рівень технологічної вібрації у виробничому приміщенні не перевищує 90 дБ при частоті 4 Гц, що відповідає вимогам ДСТУ ГОСТ 12.1.012:2008.

6.2 Повітря робочої зони

Оператори, які працюють на пересувній установці, виконують важку фізичну роботу через умови, в яких вони знаходяться: шум, пил, праця в 2 зміни. Енерговитрати в таких умовах становлять більше 291-349 Дж/с (251-300 ккал/год.), тому передбачено можливість відпочинку персоналу в закритому приміщенні. Це є III- категорія робіт.

Оптимальні і фактичні значення температури, відносної вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні для цієї категорії робіт наведені у таблиці 1 (Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99).

Фактичні та оптимальні значення параметрів температури, відносної вологості і швидкості повітря у робочій зоні.

Таблиця 1

Сезон року	Категорія робіт – III					
	Температура, °С		Відносна вологість, %		Швидкість руху повітря, м/с	
	Оптим.	Фактич.	Оптим.	Фактич.	Оптим.	Фактич.
холодний	19-25	19-20	Не більше 75	40-65	Не більше 0,2	0,2
теплій	19-25	20-25	Не більше 75	40-70	Не більше 0,2	0,2

У зимовий період температурний режим забезпечується за допомогою водяного опалення при температурі теплоносія 70-90 °С, а влітку використовується вентиляційна система.

Під час експлуатації лінії відбувається викид шкідливих речовин, таких як гази і пил з відкритих резервуарів або через витоки технологічного обладнання з завантажувального бункера. Тому для їх усунення встановлюється місцева вентиляція. У цеху також проводиться загальнообмінна вентиляція відповідно до ДБН В.2.5-67:2013.

Компонентами для виготовлення полімерних труб можуть бути не лише полімери, а й різноманітні барвники для покриття труб, це залежить від технологічного процесу за яким будуть виготовляти труби.

Ефективна робота системи вентиляції забезпечується у випадку, коли об'єм витягнутого повітря менший за об'єм подаваного. Для цієї мети рекомендується встановлювати витяжні установки, наприклад, вісьові вентилятори типу МЦ-4, які характеризуються наступними параметрами: продуктивність $J_v = 1200 \text{ м}^3/\text{год}$, розвинутий повний тиск $H_v = 65 \text{ Па}$, кількість обертів колеса $n = 930 \text{ об/хв}$, та ККД $\eta = 0,42$. Для ефективного видалення шкідливих речовин над завантажувальним бункером та екструзійною головкою рекомендується встановлювати витяжні установки з вільним простором між джерелом і приймачем, що захищений від зовнішнього середовища.

6.3 Пожежна безпека

У виробничому цеху з технологічною лінією для полімерних труб існує кілька потенційних небезпек: наявність машинного масла, електропроводки та електрообладнання, змащеної ганчірки. Крім того, враховуючи, що полімери є основним матеріалом для виробництва труб, деякі їх складові можуть загорітися при досягненні певних температурних меж:

- При температурі понад 150 °С це стосується кислот, ефірів, альдегідів та перекисних зв'язків;
- При температурі понад 120 °С – формальдегіду, ацетальдегіду, ацетону, метилового спирту, кетонів, оксиду та двоокису вуглецю.

Приміщення, де знаходиться лінія, відповідає категорії "В" (пожежонебезпечна) згідно з ДСТУ Б В.1.1-36:2016, і класифікується як зона П-Па (згідно ПУЕ), з вогнестійкістю ІІІ згідно з ДБН В.1.1-7:2016.

Причини пожежі, які можливі на виробництві:

- несправність електрообладнання;
- іскри при електро- і газозварювальних роботах;
- струм, перевантаження, великі перехідні опори.

На мою думку, заходи щодо запобігання пожежі включають використання негорючих матеріалів та організаційні заходи.

Для гасіння пожежі використовують порошкові вогнегасники САМ - 9 (84 шт.), а для гасіння електромереж - порошкові вогнегасники ОП-10 (10 шт.).

Для забезпечення безпеки та ідентифікації, на верхній частині кожного балона необхідно чітко нанести ці позначки:

- Номер балона за системою нумерації підприємства-виробника;
- Дата виготовлення (випробування) і наступний рік випробування;
- Товарний знак заводу- виробника;
- Об'єм та маса балона;
- Робочий тиск та пробний гідравлічний тиск;
- Клеймо ОТК.

Під час пожежі працює пожежна сигналізація, включаючи теплові попереджувальні пристрої та аварійні сигнали. У разі виникнення пожежі необхідно негайно покинути приміщення через два евакуаційні виходи, як вимагає СНиП 2.09.02-85.

На першому поверсі цеху ширина евакуаційних шляхів складає не менше одного метра, а ширина дверей на шляху евакуації - не менше 0,8 метра.

6.4 Промислове освітлення

Правильне проектування та виконання освітлення на підприємствах є ключовим фактором для забезпечення нормальної виробничої діяльності. Оптимальні умови освітлення значно впливають на збереження зору, стан нервової системи людини та безпеку на виробництві.

Згідно з санітарними нормами, я вважаю, що важливо максимально використовувати природне освітлення приміщень, що сприяє захисту організму, стимулює й нормалізує роботу різних систем. У денний час виробничі приміщення освітлюються природним світлом, тому, я рекомендую, використовувати бокове освітлення через світлові прорізи в зовнішніх стінах.

LED лампи є ідеальним рішенням для освітлення виробничих приміщень завдяки своїм численним перевагам. Вони є енергоефективними, споживають менше електроенергії та перетворюють більшу частину споживаної енергії в світло. Це дозволяє знижувати енергетичні витрати підприємства та сприяє екологічності виробництва. Також, LED лампи мають тривалий термін служби, що знижує частоту заміни ламп та витрати на обслуговування. Вони забезпечують високоякісне освітлення з рівномірним розподілом світла, що важливо для виробничих приміщень.

LED лампи також екологічні, не містять шкідливих речовин та мають менший негативний вплив на екологію. Вони миттєво запускаються та не мерехтять, що забезпечує комфортні умови для працівників. LED системи також легко інтегруються з системами автоматичного керування освітленням, що дозволяє регулювати яскравість залежно від потреб та умов освітленості. Для забезпечення оптимальних умов освітлення на виробництві слід дотримуватися санітарних норм та рекомендацій щодо інтенсивності освітлення, рівномірності освітлення та колірної температури.

При проектуванні системи освітлення важливо враховувати розміщення світильників та використання автоматичного регулювання. Забезпечення правильного промислового освітлення підвищує ефективність виробництва, покращує умови праці та сприяє загальному добробуту працівників.

7 ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ

7.1 Технологія виготовлення деталі

7.1.1 Опис і призначення фланця

У розділі "Технологія машинобудування" дипломного проєкту було розроблено технологічний процес виготовлення елемента "Фланець" та визначено порядок виконання технологічних операцій для його виготовлення.

На Рисунку 7.1, показано деталь «Фланець», що є складовою екструзійної трубної лінії і виконує роль з'єднувального елемента між формуючою головкою та корпусом черв'ячного екструдера.

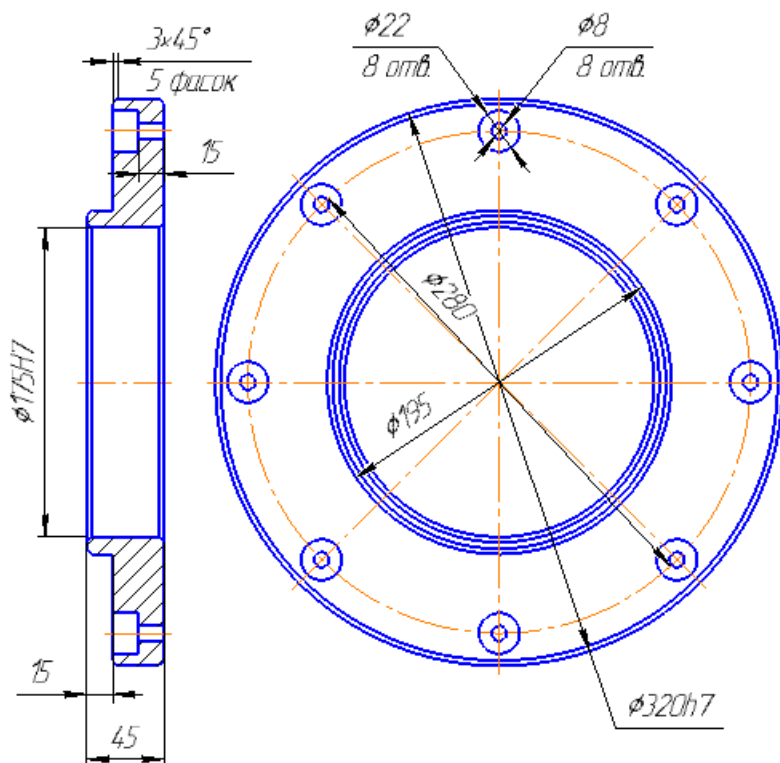


Рисунок 7.1 – Ескіз деталі «Фланець»

У результаті побудови креслення було зазначено наступне:

- на кресленні вказано всі розміри, необхідні для виготовлення деталі;
- точність виготовлення поверхонь відповідають всім вимогам;
- шорсткість усіх поверхонь зазначено згідно з ГОСТ 2789-73

Матеріал з якого виготовлялась деталь – Ст45 (ГОСТ 1050-88). Заготовка для виготовлення деталі (Рис. 7.2) була отримана методом об'ємної штамповки. Заготовка за своєю конфігурацією досить проста і легка в отриманні; формувальні уклони та класи точності відповідають вимогам стандартів; мінімальні відходи матеріалу при механічній обробці.

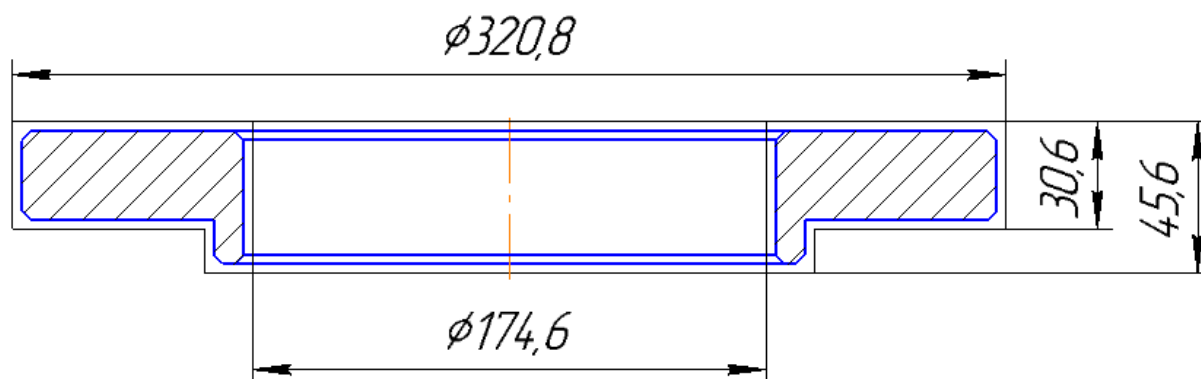


Рисунок 7.2 – Заготовка деталі «Фланець»

З метою реалізації найбільш якісного та продуктивного процесу виготовлення фланця, в кожній операції будуть присутні спеціальні пристрої зі швидкодіючими затискним механізмом заготовок.

Обробка буде виконуватися стандартним інструментом. Матеріал робочої ріжучої поверхні – твердий сплав Т15К6, свердло – швидкоріжуча сталь Р6М5.

7.1.2 Розробка технологічного процесу виготовлення деталі

Технологічний процес виготовлення фланця, розроблений при виконанні дипломної роботи, поданий у маршрутній карті, картах ескізів та операційних картах.

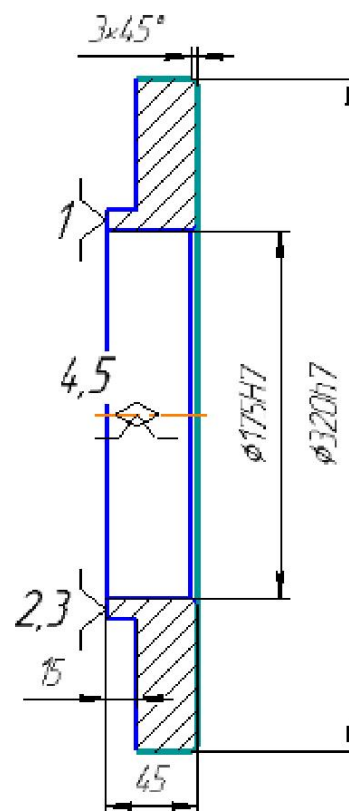
Які будуть наведені далі в попередньо вказаному вище порядку.

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

[illegible]

ГОСТ 3.1105-84 Форма 7

Дубл.										
Взамін.										
Підпис							Зм	Ар	№ док.	Підпис
Розробив	Петренко В.П.			КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІХФ	ЛП02.167245.006-70СБ				005	
Перевірів	Борщик С.О.									
Н. контр.					ФЛАНЕЦЬ				Н	



КЕ

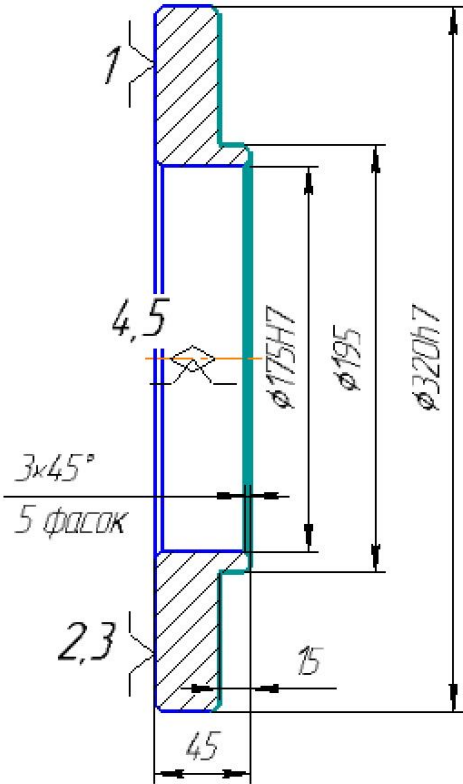
Обробка різанням

ГОСТ 3.1105-84 Форма 7

Дубл.			
Взамін.			
Підпис			

Зм	Ар	№док.	Підпис	Дата					

Розробив	Петренко В.П.			КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІХФ	ЛП02.167245.006-70СБ	010
Перевірів	Борщик С.О.					
Н. контр.				ФЛАНЕЦЬ	Н	



КЕ

Обробка різанням

Форма 2

[illegible]

Форма 2

[illegible]

7.2 Вибір пристосування

Пристрій для обробки, який буде використовуватися для свердління восьми отворів Ø8 мм та zenкерування восьми отворів Ø22 мм – кондуктор для свердління, зображений на кресленні *ЛП02.167245.006-70СБ*.

Зазвичай свердління отворів в масовому виробництві однакових деталей реалізується з використанням кондуктора. Кондуктор являє собою шаблон з отворами, що використовується для точного розміщення та закріплення на оброблюваній заготовці. Його широко застосовують у машинобудуванні для оптимізації процесу обробки деталей. Кондуктор із заготовкою змонтований на столі верстата. Отвори кондуктора використовуються як направляючі для свердла, за рахунок оснащення отворів кондуктора спеціальними втулками, це дозволяє значно підвищити точність просвердлених отворів.

Кондуктор складається з основи 3, на якій за допомогою гвинтів 8 закріплено палець 4, на якому базується деталь 6. Плита кондуктора 5, що містить спеціальну направляючу втулку 1 для свердла 10, встановлюється зверху деталі 6, базуючись на шпильці 7. Деталь 6 притискається за допомогою затискної шайби 2 та гайки 9 (Рис. 7.3).

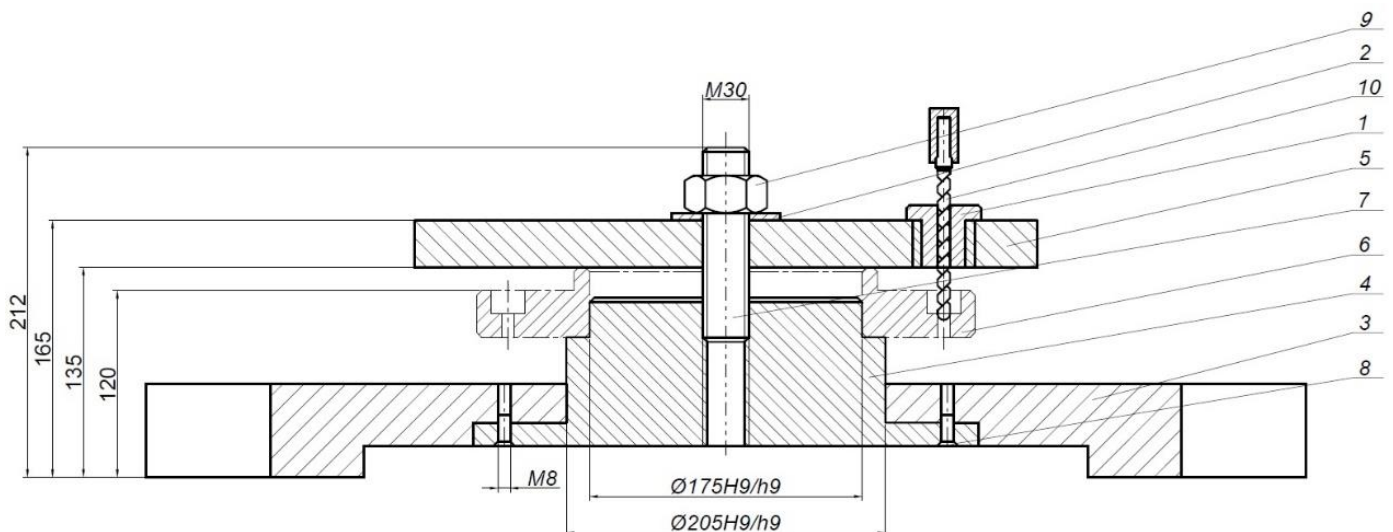


Рисунок 7.3 – Кондуктор для свердління:

1 – Втулка спеціальна; 2 – Затискна шайба; 3 – Основа; 4 – Палець; 5 – Плита кондуктора; 6 – Деталь; 7 – Шпилька; 8 – Гвинт; 9 – Гайка; 10 –Свердло.

ВИСНОВКИ

Виконано дипломний проєкт на тему «Екструзійна трубна лінія з модернізацією черв'ячного пресу». Мета якого полягала в дослідженні конструкції, функціональності та принципу дії екструдера з метою його подальшого вдосконалення.

Головною ціллю проєкту був розрахунок характеристик завантажувального пристрою екструзійного агрегата. Для цього були проведені наступні етапи виконання роботи:

- Було проведено детальне ознайомлення з конструкцією та технічними характеристиками черв'ячного екструдера;
- Описано призначення та галузь застосування;
- Було проведено літературно-патентний огляд, метою якого було виявлення найбільш актуальної проблеми черв'ячного екструдера та способу рішення цієї проблеми;
- Був розроблений технологічний процес виготовлення складової екструдера – фланця;
- Було проведено розрахунок модернізованого черв'яка на міцність в системі ANSYS з урахуванням температурних та статичних навантажень.

Модернізація шнека, яка описана у патенті US2024042649A1, спрямована на забезпечення кращого рівня однорідності полімерного матеріалу за рахунок зміни геометрії зони дозування черв'яка.

В результаті розрахунків модернізованого черв'яка на міцність в програмі ANSYS було визначено, що коефіцієнт запасу міцності становить 2.0643, тобто $k > 1.6$. Модернізована модель пройшла випробування на міцність.

В ході створення розділу "Охорона праці" були виявлені небезпечні фактори для персоналу, який обслуговує машину та були розроблені шляхи їх подолання відповідно до санітарних норм.

Також, було розглянуто механіко-економічні показники модернізації екструдера, а саме його шнека. Ці показники підтверджують, що обране рішення є доцільним та ефективним для роботи екструдера.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Основи проектування одночерв'ячних екструдерів : навч. посіб./
І. О. Мікульонко, О. Л. Сокольський, В. І. Сівецький, Л. Б. Радченко . – К. : НТУУ
«КПІ», 2015. – 200 с.
2. "Recent Developments in Extruder Screw Design":
3. "Polymer Extrusion: Principles and Practice":
4. "Екструзія полімерних композицій" (Мікульонко І.О.):
5. "Технологія полімерів та композицій" (Мікульонко І.О.):
6. Екструдювання полімерних матеріалів: технологія та обладнання"
(Петренко О.В., Шумовський В.М.):
7. "Технологія полімерних матеріалів та виробів" (Кравченко І.О., Ткаченко
Л.В., Шибанов А.К.):
8. <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/083081691/publication/US2024042649A1?q=pn%3DUS2024042649A1>
9. <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/063872153/publication/CN108705756A?q=pn%3DCN108705756A>
10. Україна, патент №110885 UA, Автор: Віллеруа де Гало Грегуар (FR),
Лефрер Яннік (FR), Рейє Матьє (FR).- Опубл. 25.02.2016
11. <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/067302498/publication/US2021061347A1?q=US2021061347A1>
12. <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/077491741/publication/EP4111111A1?q=EP4111111A1>
13. <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/074120192/publication/CN112233445A?q=CN112233445A>
14. Пат.України № 135758 U, МПК B65G 47/44 (2006.01),опубл.10.07.2019.
15. <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/056267221/publication/A89061U?q=pn%3DUA89061U>
16. Пат.України № 1028 U, МПК B29C 47/10 ,опубл.15.08.2001.
17. <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/080113405/publication/WO2022137204A1?q=pn%3DWO2022137204A1>

18. Основи охорони праці: Підручник. 2-ге видання, доповнене та перероблене./К.Н.Ткачук, М.О. Халимовський, В.В. Зацарний, Д.В. Зеркалов. За ред. К.Н. Ткачука і М.О. Халімовського. – К.: Основа, 2006 – 448с.

19. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. Підручник — Львів: УАД,2006. – 336 с.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Таблиця розглянутих патентів

Таблиця А.1 (Таблиця розглянутих патентів).

№	Предмет пошуку	Країна видачі, вид і номер документа	Мета заявленого технологічного рішення і спосіб його виконання
1	Завантажувальний пристрій черв'ячного екструдера	Україна, патент накорисну модель №1028 UA	Мета заявленого технологічного рішення полягає в підвищенні надійності пристрою за рахунок використання перегібу у вигляді щонайменше одного диска. Кожен з цих дисків має у боковій стінці щонайменше один отвір, в якому встановлений ворухильний штир. Цей спосіб дозволяє забезпечити більш стійку та надійну роботу пристрою шляхом створення додаткових точок опори та зменшення зносу чи можливих поломок. Додаткові диски та ворухильні штирі підвищують стійкість та ефективність роботи пристрою, забезпечуючи його більш довговічне функціонування.
2	Телескопічний завантажувальний пристрій	Україна, патент на корисну модель №135758 UA	Мета: удосконалити завантажувальний пристрій шляхом жорсткого з'єднання першого циліндра з завантажувальною частиною, що закріплена до стріли підйомного механізму, а другий циліндр забезпечений опорними лапами, що спираються на повітряні балони, які розташовані у стакані циліндричної форми, причому довжина першого циліндра повинна бути більше ходу телескопічної частини, що дозволяє регулювати довжину пристрою і, як результат, знижує пилоутворення.
3	Завантажувальний пристрій за знімною головкою для заглибного завантаження	Україна, патент №110885 UA	Мета: усунути проблеми винесення вихідних матеріалів при відсутності якого-небудь попереднього зволоження, і це також для повторно використовуваних первинних матеріалів, таких, як мінеральна вата, що містять значну частку органічних матеріалів.
4	Черв'як екструдера, що містить пристрій бічної подачі двошнекового екструдера	Китай, патент CN108790098A	Мета: забезпечити машину через пристрій бокової подачі двошнекового екструдера з хорошим ефектом подачі, плавним відпрацьованим газом і високою ефективністю ущільнення. Виконання: два шнека розташовані з можливістю обертання, кроки гвинтової нарізки поступово зменшуються від верхньої частини до нижньої, так щоб вихлоп був більш плавний, і зменшилось забруднення зменшується. Гвинтова нарізка двох шнеків розташована в шаховому порядку, вільний простір можна збільшити за рахунок асиметричного розташування..

Продовження таблиці А.1

5	Черв'як екструдера	Україна, патент UA89061U	Черв'як, встановлений в опорному підшипнику, при цьому черв'як кінематично з'єднаний із заслінкою через важільний механізм, а важільний механізм має точку опори, що регулюється по довжині.
6	Метод та система модернізації екструдера	Світова Організація Інтелектуальної Власності (міжнародний патент), WO202213720 4A1	Мета цього патенту полягає в розробці методу модернізації екструдера для зменшення ризику засмічення та підвищення якості виробів. Спосіб виконання включає використання спеціальних пристроїв та систем фільтрації для уникнення домішок у полімерних матеріалах та покращення їхньої якості.
7	Екструзійний апарат з підвищеною ефективністю та зменшеним споживанням енергії	Китай, CN112233445A	Мета цього патенту полягає в розробці екструзійного агрегату з підвищеною ефективністю та зменшеним споживанням енергії. Спосіб виконання включає використання нових конструкційних матеріалів з покращеною теплоізоляцією та оптимізацію системи охолодження для зниження енерговитрат та підвищення продуктивності..
8	Метод та система модернізації шнека екструдера	Сполучені Штати Америки, патент US2024042649A1	Мета цього патенту полягає в розробці методу модернізації черв'яка екструдера для поліпшення якості та ефективності процесу екструзії полімерів. Спосіб виконання включає використання нових матеріалів та конструкційних рішень для оптимізації геометрії черв'яка та забезпечення рівномірного та ефективного розподілу тиску та температури під час екструзії.
9	"Екструзійний апарат з покращеною стабільністю та точністю"	Європейський Союз, EP4111111A1	Мета цього патенту полягає в розробці екструзійного агрегату з покращеною стабільністю та точністю процесу екструзії. Спосіб виконання включає використання нових систем керування та моніторингу параметрів процесу для забезпечення точного контролю над тиском, температурою та іншими параметрами екструзії.
10	Екструзійний апарат з покращеною стійкістю до зношування	Сполучені Штати Америки, патент US2021061347A1	Мета цього патенту - розробка екструзійного агрегату з покращеною стійкістю до абразивного зносу та збільшеною тривалістю служби. Спосіб виконання включає використання нових матеріалів з високою твердістю та міцністю для виготовлення деталей черв'яка екструдера та його збільшення товщини в областях, що піддаються зносу.

ДОДАТОК Б

Специфікації складальних креслеників

[illegible]

[illegible]

[illegible]

ДОДАТОК В
Особисті досягнення

Покращення гомогенізації полімерного матеріалу шляхом модернізації зони дозування черв'яка екструдера

Петренко В.П., студ., Мальчевський О.Т., асп., Гур'єва Л.Н., ас.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

В роботі розглянуто варіант модернізації черв'яка екструдера для виготовлення полімерних труб за для досягнення кращого рівня однорідності полімерного матеріалу за рахунок зміни геометрії зони дозування черв'яка.

Ключові слова: екструдер, черв'як, модернізація, гомогенізація, однорідність, зона дозування, полімер.

Вступ. Однією з головних особливостей екструдерів є їхня безперервність та висока продуктивність процесу переробки різноманітних виробів, особливо полімерних [1]. Однак при переробці полімерних матеріалів дуже часто зустрічається неякісні вироби, причиною яких є недостатній рівень гомогенізації.

Запропонована модернізація [2] стосується зони дозування черв'яка екструдера і передбачає наявності зони динамічного змішування, яка розташована посередині зони дозування (Рис. 1). Зона динамічного змішування являє собою змішувальні елементи овальної форми, які повздовжньо розташовані по всій довжині зони з поворотом на 90° відносно один одного. Довжина змішувальних елементів знаходиться в діапазоні 0,03 - 0,1 від довжини зони інтенсивного змішування. Довжина зони інтенсивного змішування становить приблизно $1/3$ від довжини зони дозування.

В корпусі екструдера 2 знаходиться черв'як 1, зона дозування якого складається з трьох секцій: I, II, III (Рис. 1), з початкової секції I матеріал потрапляє в зону динамічного змішування, де відбувається активний процес гомогенізації за рахунок овальних змішувальних елементів з гладкою поверхнею, після чого матеріал потрапляє в кінцеву секцію зони дозування, де відбувається його проштовхування до вихідного отвору.

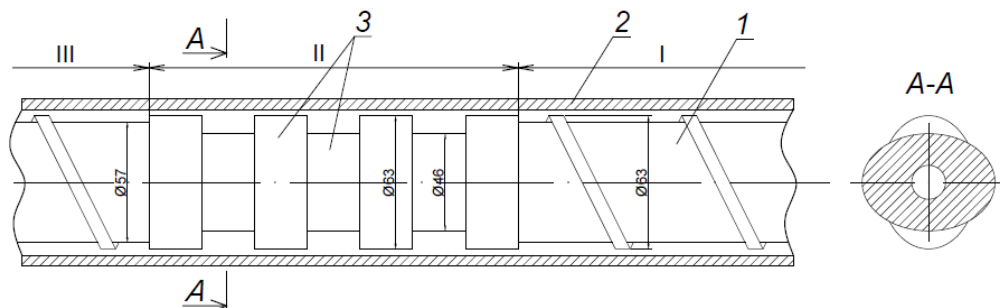


Рисунок 1 – Конструкція модернізованого черв'яка:

1 – черв'як; 2 – корпус екструдера; 3 – змішувальні елементи; I – початкова секція зони дозування; II – зона інтенсивного змішування; III – кінцева секція зони дозування

Висновки. За рахунок модернізації зони дозування черв'яка екструдера шляхом її оснащення зоною інтенсивного змішування із змішувальними елементами, процес гомогенізації відбуватиметься значно краще, за рахунок гладкої поверхні овальних елементів, які сприяють тимчасового затримання матеріалу в зоні дозування за рахунок більшої площини перерізу каналу.

Перелік посилань

1. Мікульонюк І.О. Механічні, гідромеханічні і масообмінні процеси та обладнання хімічної технології: підручник. Київ: НТУУ «КПІ», 2014. 340 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/38169>
2. Treatment element for treating material by means of a screw machine : pat.US2024042649A1 USA / Н. Johannes; заявл. 03.08.2023; опуб. 08.02.2024.