

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

**Інженерно – хімічний факультет  
Кафедра хімічного, полімерного і силікатного машинобудування**

«На правах рукопису»  
УДК \_\_\_\_\_

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ О.Л.Сокольський

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

**Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра**

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

**зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»**

**на тему: «Лінія для виробництва полімерних листів з модернізацією екструдера»**

Виконав:

студент II курсу, групи ЛП-21мп  
Левченко Владислав Миколайович \_\_\_\_\_

Науковий керівник:

к.т.н., доц. Чемерис А. О. \_\_\_\_\_

Консультант з ТМ та Е:

ст. викл. Борщик Сергій Олександрович \_\_\_\_\_

Консультант з модернізації:

д.т.н., проф. Щербина Валерій Юрійович \_\_\_\_\_

Консультант з автоматизації

ст. викл. Жураковський Ярослав Юрійович \_\_\_\_\_

Рецензент: \_\_\_\_\_

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

Студент \_\_\_\_\_

Київ – 2024 року

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

**Кафедра хімічного, полімерного та силікатного машинобудування**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 133 «Галузеве машинобудування»

Освітньо-професійна програма «Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання виробництв полімерних і будівельних матеріалів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Олександр СОКОЛЬСЬКИЙ

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на магістерську дисертацію студенту**  
**Левченкові Владиславові Миколайовичу**

1. Тема дисертації «Лінія для виробництва полімерних листів з модернізацією екструдера», науковий керівник дисертації Чемерис А.О., к.т.н., доц., затверджені наказом по університету від «01» листопада 2023 р. № 5098-с.
2. Термін подання студентом дисертації: 22 січня 2024 року.
3. Об'єкт дослідження: екструдер для виробництва полімерних листів.
4. Вихідні дані: діаметр черв'яка  $D=125\text{мм}$ , робоча довжина черв'яка  $L=3125\text{ м}$ , вихідний канал головки –  $68*5$ , перероблюваний матеріал – ПЕНТ
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: літературний та патентний огляд стану питання, обґрунтування запропонованої модернізації, розрахунки працездатності машини, монтаж та експлуатація обладнання, автоматизація екструдера, стартап-проект, охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях, модернізація вузла установки та очікувані механіко-економічні показники, висновки.
6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу  
ЛП21мп.091243.000-70ВЗ – Черв'ячний екструдер ЧП125х25.  
ЛП21мп.091245.001-70ТС – Лінія для виробництва полімерних листів з модернізацією екструдера.  
ЛП21мп.091242.002-70 – Черв'як екструдера.  
ЛП21мп.091242.003-70 – Модернізований черв'як.  
ЛП21мп.091242.004-70ПЛ – Побудова в SolidWorks 3D-моделі модернізованого черв'яка.  
ЛП21мп.091240.005-70ПЛ – Розрахунки НДС черв'яка

ЛП21мп.091240.006-70ПЛ – Розрахунки НДС модернізації.

ЛП21мп.091240.007-70ПЛ – Порівняльний аналіз черв'яка до та після модернізації.

ЛП21мп.091240.008-70ТС – Автоматизована система управління для черв'ячного екструдера.

#### 7. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Монтаж та експлуатація обладнання	Борщик С.О., ст. викл		
Автоматизація обладнання	Жураковський Я.Ю., ст. викл		
Вибір модернізації черв'яка	Щербина Валерій Юрійович, д.т.н., проф.		

#### 9. Дата видачі завдання 4 вересня 2024

##### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Опис конструкцій базового обладнання, основних вузлів та принципу дії лінії виробництва полімерних листів	20.10.2023	
2	Технічні характеристики черв'ячного екструдера для виготовлення полімерних листів	25.10.2023	
3	Патентно-літературний огляд та вибір двох модернізацій	13.11.2023	
4	Розрахунки працездатності машини	02.12.2023	
5	Спеціальні розділи	16.12.2023	
6	Модернізація вузла установки	20.12.2023	
7	Очікувані механіко-економічні показники	04.01.2024	
8	Висновки. Перелік посилань. Додатки	19.01.2024	

Студент

Владислав ЛЕВЧЕНКО

Науковий керівник

Андрій ЧЕМЕРИС

## Реферат

Ціль роботи і розробка проектування – екструдер ЧП-125x25.

Мета проекту – проектування та розробка , відповідно до технічного завдання, червячного пресу для виготовлення листів, зважаючи на існуючі базові механізми; виконання та розробка модернізації та вдосконалення черв'яка екструдера та формуючої головки.

Методика розробки та обрахунків - аналітичний, розрахунковий, проектувальний; із застосуванням існуючих методів, обчислювальних машин, спеціальних програм та стандартних нормативних документів.

Під час розробки та проектуванні червячного пресу, опираючись на патентно-літературний огляд патентів, спеціальної конструкторської літератури, патентних досліджень, різноманітних розрахунків, було здійснено наступні кроки:

- досліджено параметри роботи та технології промислових червячних пресів та екструдерів для виробництва листів, досліджено технологічні параметри та опис цих апаратів.

- виконано розрахунки, що стосуються екструдера згідно з вихідними даними;

- в ході патентно-літературного огляду розроблено модернізації черв'яка приведенного екструдера;

- виконано розробку червячного пресу для лінії з виробництва полімерних листів.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** виготовлення листів, черв'ячний прес, черв'як екструдера, головка екструдера, корпус екструдера, технологічна лінія, поліетиленові листи.

## **Abstract**

The purpose of the work and design development is the WP125x25 extruder.

The purpose of the project is to design and develop, in accordance with the technical task, a worm press for the production of sheets, taking into account the existing basic mechanisms; implementation and development of modernization and improvement of the extruder worm and the forming head.

Methodology of development and calculations - analytical, calculation, design; using existing methods, computers, special programs and standard regulatory documents.

During the development and design of the worm press, based on the patent and literature review of patents, special design literature, patent research, various calculations, the following steps were taken:

- working parameters and technologies of industrial worm presses and extruders for the production of sheets were investigated, technological parameters and description of these devices were investigated.
- calculations related to the extruder according to the initial data were performed;
- in the course of the patent and literature review, modernization of the reduced extruder worm was developed;
- the development of a worm press for a line for the production of polymer sheets was completed.

**KEYWORDS:** sheet production, worm press, extruder worm, extruder head, extruder body, technological line, polyethylene sheets.

## ЗМІСТ

Вступ .....	3
1 Опис конструкцій базового обладнання, основних вузлів та принципу дії лінії виробництва полімерних листів.....	4
1.1 Призначення та галузь застосування екструдера .....	4
1.2 Опис базової конструкції, її основних частин та принципу дії .....	4
2. Технічна характеристика базової машини.....	9
3 Патентно-літературний огляд та обґрунтування модернізації екструдера.....	10
3.1 Вибір модернізації .....	10
4 Обґрунтування обраної модернізації .....	17
5 Розрахунки.....	18
5.1 Розрахунок геометричних параметрів черв'яка.....	18
5.2 Кінематичний розрахунок екструдера .....	19
5.2.1 Розрахунок продуктивності екструдера.....	19
5.3 Кінематичний розрахунок головки екструдера.....	21
5.3.1. Розрахунок коефіцієнта геометричної форми головки .....	21
5.3.2 Розрахунок перепаду тиску в головці .....	23
5.3.3 Розрахунок потужності приводу екструдера.....	25
5.4 Розрахунок працездатності черв'яка .....	26
5.4.1 Розрахунок черв'яка на міцність .....	26
5.4.2 Розрахунок черв'яка на стійкість.....	29
5.4.3 Розрахунок корпусу екструдера на міцність .....	30
5.4.4 Тепловий розрахунок .....	31
6 Спеціальні розділи .....	33
6.1 Монтаж та експлуатація.....	33
6.2 Автоматизація черв'ячного преса.....	44

<b>ЛП21мп.091245.01-70ПЗ</b>				
Зм.	Лист	№ докум	Підпис	Дата
Розраб		Левченко В.		
Перев				
Керів		Чемерис А.О.		
Н. Контр.				
Утв				
Лінія для виробництва полімерних листів з модернізацією екструдера				
		Лім	Аркуш	Аркушів
		1	85	
КПІ ім. Ігоря Сікорського				

6.2.1 Аналіз технологічного процесу виготовлення листів з ПЕНТ як об'єкта автоматизації.....	44
6.2.2 Автоматичне регулювання технологічного процесу .....	45
6.3 Стартап-проект .....	47
6.3.1 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту .....	52
6.3.2 Розроблення ринкової стратегії проекту .....	57
6.3.3 Висновки .....	59
6.4 Охорона праці .....	60
6.4.1 Повітря робочої зони.....	60
6.4.2 Освітлення.....	61
6.4.3 Пожежна безпека .....	62
6.4.4 Електробезпека .....	63
7 Модернізація установки.....	65
7.1 Розробка 3D-моделі базової і модернізованої деталі.....	65
7.2 Розрахунки базового та модернізованого вузла та їх порівняльний аналіз .	67
7.3 Висновки та рекомендації .....	71
8 Очікувані механіко-економічні показники.....	72
Висновки.....	73
Список використаних джерел.....	75
Додаток А. Специфікації.....	79
Додаток Б. Таблиця розглянутих патентів.....	82
Додаток В. Копії використаних для модернізації патентів.....	85

## ВСТУП

Дана робота надає комплексний аналіз екструдера, створеного для синтезу полімерних листів, з особливим акцентом на його нещодавні конструктивні вдосконалення. Ці вдосконалення були впроваджені для оптимізації процесу екструзії, що призвело до помітного поліпшення якості полімерних листів.

Важливість і актуальність теми, що розглядається, є очевидною, оскільки екструдери відіграють вирішальну роль у промисловому секторі, зокрема, у виробництві полімерних листів. Ці передові інженерні системи точно відкалібровані для застосування точного тепла і тиску до сирих полімерних матеріалів, що дозволяє перетворити їх на кінцевий продукт: полімерні листи. Завдяки своїй особливій конструкції та режимам роботи вони ефективно задовольняють зростаючий світовий попит на цей важливий матеріал, зберігаючи при цьому оптимальну продуктивність та ефективність.

Екструдери є основою сучасного виробництва полімерних листів і відіграють життєво важливу роль у цьому процесі. Відомі своєю винятковою надійністю, ефективністю та стійкістю до високотемпературних операцій, екструдери є ключовим компонентом у переробці полімерних матеріалів.

Ця дипломна робота має на меті надати всебічний огляд складної архітектури екструдерів, пояснити їхню ключову функцію у виробництві полімерних листів і заглибитися в їхні робочі механізми. Крім того, ця наукова стаття надасть всебічний аналіз основних технічних факторів, які впливають на ефективність і якість виготовлених полімерних листів.

Завдяки поглибленому вивченню складної структури та основних компонентів екструдерів, основною метою цього наукового дослідження є поглиблення теоретичного та практичного розуміння їхньої роботи та підкреслення їхньої вирішальної ролі у сучасному виробництві полімерних листів.

# 1 ОПИС КОНСТРУКЦІЙ БАЗОВОГО ОБЛАДНАННЯ, ОСНОВНИХ ВУЗЛІВ ТА ПРИНЦИПУ ДІЇ ЛІНІЇ ВИРОБНИЦТВА ПОЛІМЕРНИХ ЛИСТІВ

## 1.1 Призначення та галузь застосування екструдера

Екструдер для полімерів - це обладнання, яке плавить і формує полімери в різні форми. Він використовується для виробництва різноманітних виробів, таких як полімерні плівки, листи, труби, волокна та профілі. Одне з основних застосувань цього пристрою - виготовлення полімерних листів, які є тонкими і плоскими шарами пластику і можуть бути використані для різних цілей, від пакування до друку, ламінування, термоформування і т.д. Для виробництва полімерних листів розплавлений пластиковий матеріал подається екструдером через плоску матрицю. Товщина і ширина листа визначаються матрицею. Потім лист охолоджують, пропускаючи його через охолоджені ролики або водяну баню. Подальша обробка листа може здійснюватися шляхом різання, прорізання, намотування або нанесення покриття.

## 1.2 Опис базової конструкції, її основних частин та принципу дії

На рисунку 1.1 наведено технологічну схему виготовлення полімерних листів.

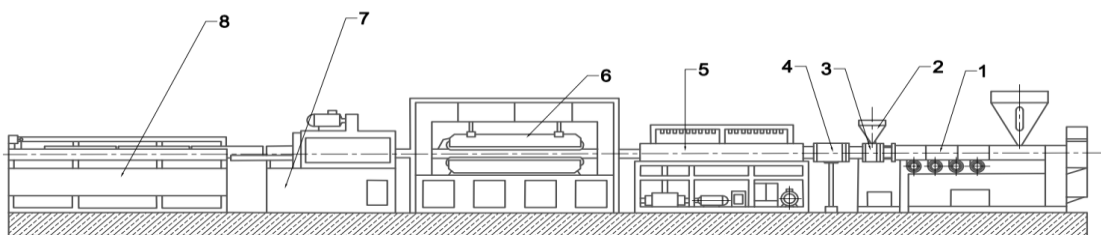


Рисунок 1.1 – Схема екструзійної лінії для виготовлення полімерних листів:

1 – одночерв'ячний прес; 2 – со-екструдер; 3 - головка; 4 – калібруючий пристрій; 5 – ванна охолодження водяна; 6 – пристрій тягнучий; 7 – машина відрізна; 8 – пристрій приймальний.

Лінія екструзії для виготовлення полімерних листів представляє собою спеціальний клас промислових автоматизованих конвеєрів, які призначені для формування листових виробів та плит різних застосувань і розмірів. Головними перевагами екструзійних ліній є висока продуктивність, а також простота конструкції та управління. Це дозволяє швидко змінювати обсяги виробництва і адаптувати тип та розміри виробів за короткий період часу.

Екструзійна лінія для виготовлення полімерних листів має різноманітні вузли, залежно від її призначення. Проте, кожен з них обов'язково включає декілька основних секцій, а саме:

- преса одночерв'ячного ЧП 125x25;
- со-екструдера
- установки головки плоскощільної;
- ванни охолодження водяної;
- машини тягнучої;
- машини відрізної;
- обладнання приймального;
- комплектних пристроїв керування електроприводами та засобами автоматичності.

Однією з основних технологій переробки пластмас та виготовлення з них різноманітних деталей та профільної продукції є екструзія. Вона полягає у приготуванні розплаву полімерів з подальшим видавлюванням його через формуючі сопла - спеціальні насадки, що надають матеріалу задану форму. Головний елемент виробничої лінії, який використовує подібну методику, є екструдер для пластику (рисунок 1.2).

Полімер, що підлягає переробці на черв'ячній машині, може мати форму смуги, шматків, гранул. Матеріал через завантажувальну воронку 9 потрапляє на поверхню черв'яка 6, що обертається, і його нарізкою захоплюється в циліндр 4. При цьому відбувається ущільнення та безперервне деформування матеріалу, що супроводжується переміщенням його вздовж циліндра 4 від завантажувальної воронки 9 до головки 13. Голівка 13 і розміщений у ній профілюючий інструмент

чинять опір осьовому руху матеріалу, внаслідок чого і в самій головці 13 і в циліндрі машини 4 виникає значний тиск, що впливає на роботу черв'ячної машини.

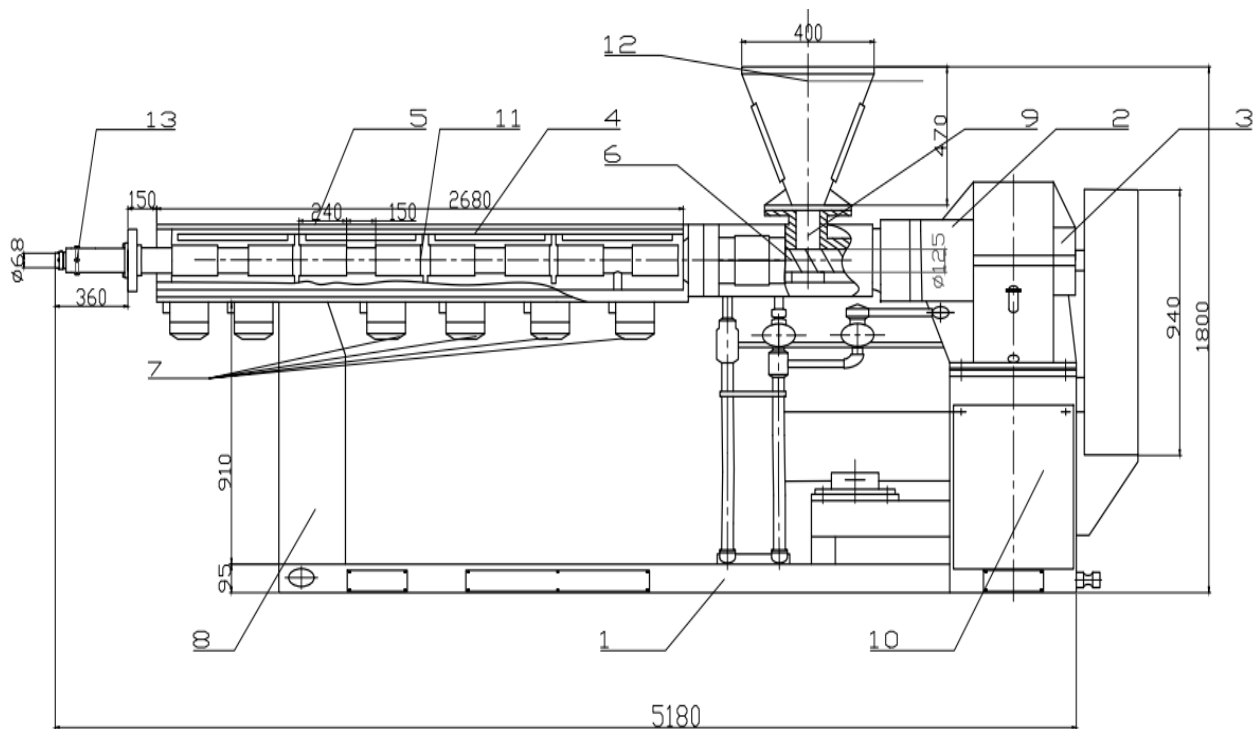


Рисунок 1.2 – Машина:

1 – рама; 2 – втулка; 3 – редуктор; 4 – корпус; 5 – кожух; 6 – черв'як;  
7 – система охолодження черв'яка; 8 – станина; 9 - воронка завантажувальна;  
10 – блок керування; 11 – нагрівачі; 12 – бункер; 13 – головка.

Перероблений матеріал послідовно проходить через чотири робочі зони машини: завантажувальну зону, зону пластикації, дозуючу зону та зону формування (або зону головки). У завантажувальній зоні черв'як 6 виконує функцію, що транспортує, і його завданням є безперервне переміщення матеріалу з воронки 9 у напрямку до голівки 13. У зоні пластикації за рахунок контакту з нагрітою поверхнею циліндра 4 і за рахунок перетворення механічної енергії на теплову здійснюється нагрів матеріалу нагрівачами 11 та його пластикація, перемішування та гомогенізація. Гвинтова нарізка черв'яка забезпечує деформування матеріалу і його безперервне переміщення вздовж циліндра 4 від воронки 9 до головки 13.

У дозуючій зоні черв'як є елементом гвинтового насоса; тут матеріал додатково гомогенізується і знаходиться в пластичному та в'язкотекучому стані. У четвертій зоні матеріал формується у заготовку того чи іншого профілю. Вирішальним фактором для переміщення матеріалу в черв'ячній машині є його взаємодія з поверхнею черв'яка 6 та циліндра 4. У зоні завантаження велике значення має величина коефіцієнта тертя між матеріалом та поверхнею циліндра 4. Щоб матеріал міг переміщатися вздовж осі черв'яка, коефіцієнт тертя матеріалу поверхні черв'яка може бути по можливості малий, а коефіцієнт тертя матеріалу лежить на поверхні циліндра досить великий. Якщо ця умова не виконується, матеріал може обертатися разом з черв'яком, не переміщаючись у напрямку головки. Сприятливий режим роботи машини в завантажувальній зоні досягається вибором відповідної геометрії гвинтової нарізки черв'яка, форми завантажувального отвору в циліндрі, обробкою поверхні черв'яка та циліндра, а також підбором потрібних теплових та швидкісних параметрів технологічного процесу.

У зоні пластикації здійснюються вирішальні процеси обробки матеріалу. Внаслідок опору головки 13, а також змінного обсягу гвинтової канавки черв'яка 6 в циліндрі 4 матеріал знаходиться під тиском і за рахунок зчеплення з робочою поверхнею черв'яка, що обертається, і нерухомою поверхнею циліндра втягується в складний рух. Деформації зсуву в міру переміщення матеріалу до голівки все більше і більше проникають у його глибину. Створюється потік матеріалу, який виявляє властивості аномально-в'язкої рідини. Переробка матеріалу у цій зоні машини має гідродинамічний характер. Це й покладено основою сучасної теорії роботи черв'ячної машини. У зоні пластикації відбувається основне нагрівання матеріалу; тут матеріал доводиться такого стану, щоб його можна було формувати з мінімальною витратою зусиль.

Він оснащений одним шнеком, і машина має одну зварену раму 1, в яку вбудований вертикальний редуктор 3 із втулкою 2. Через спеціальну муфту до редуктора приєднується електричний двигун. Таким чином, він знаходиться під вузлом пластифікації.

Нагрів відбувається за допомогою електричної шафи 10, яка автоматично регулює температуру. Корозійна стійкість забезпечується шляхом насичення елементів екструдера парами азоту. Завдяки цьому вони не виходять із ладу і є досить довговічними. Ще до рами приєднані прилади, що дозволяють здійснювати контроль за ходом виробництва 10. Вони керуються пультом оператора. Завдяки компактним розмірам пристрою шнек можна вставляти прямо у вихідний вал редуктора 3.

## 2. ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА БАЗОВОЇ МАШИНИ

Основні показники агрегату ЧП-125х25:

- 1) Продуктивність лінії – не більше 360 кг/год.
- 2) Характеристики виробів:
  - зовнішній діаметр – 10-35 мм;
  - товщина стінки – 20-45 мм;
- 3) Швидкість обертання шнека – 8-80 об/хв;
- 4) Потужність, що споживається – 24кВт;
- 5) Встановлена потужність – не більше 27кВт;
- 6) Електропостачання:
  - сітка змінного струму – трифазна з глухо заземленою нейтраллю;
  - напруга – 380/220 В;
  - частота – 50 Гц;
- 7) Повітропостачання:
  - стиснуте повітря 7–9 класу забрудненості за ГОСТ 17433-80;
  - тиск – 0,3–0,6 МПа;
  - об'ємна витрата – не більше 1,5 м<sup>3</sup>/год.
- 8) Габаритні розміри:
  - довжина – 4780 ± 200 мм;
  - ширина – 3700 ± 100 мм;
  - висота – 1800 ± 100 мм.
- 9) Маса – не більше 4400 кг.

### 3 ПАТЕНТНО-ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД ТА ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ ЕКСТРУДЕРА

Мета: провести патентно-літературний огляд екструдера для модернізації та вдосконалення черв'яка за допомогою зміни його геометричної форми, а також головки, в порожнині якої встановлений дорн з каналом для подачі повітря всередину порожнистого виробу.

#### 3.1 Вибір модернізації

За патентом [14] створено вдосконалений черв'як екструдера, який дозволяє регулювати температуру його робочої поверхні по довжині. Це досягається за допомогою герметичних кільцевих втулок з різною температурою кипіння, розташованих між зовнішньою трубою і стінкою вала. Герметичні втулки також теплоізовані одна від одної.

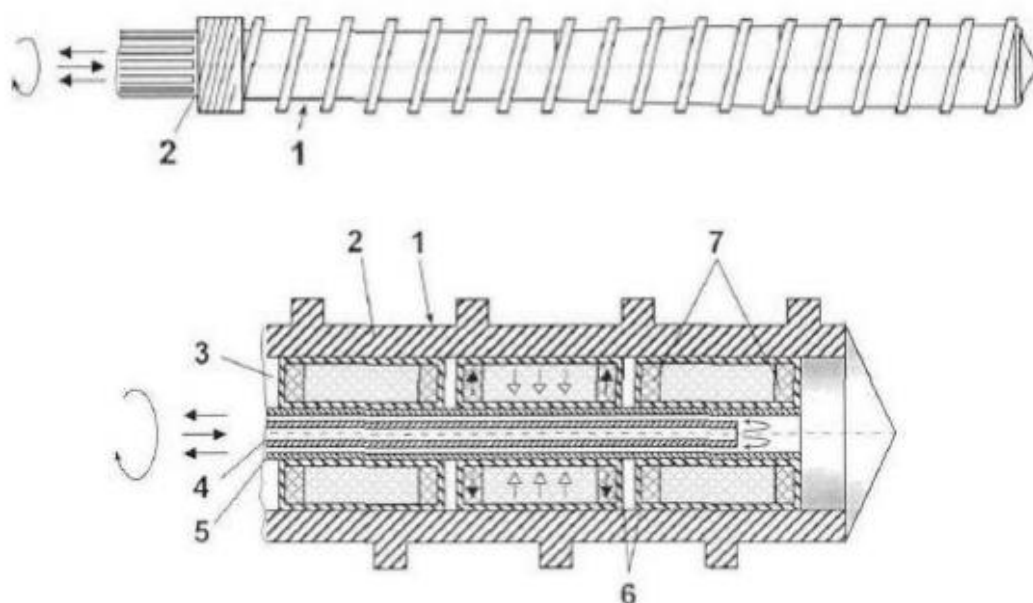


Рисунок 3.1 – черв'як екструдера за патентом [14]

За патентом [15] розроблено вдосконалений черв'як екструдера для перероблення полімерних матеріалів. Нове конструктивне виконання гребенів

нарізки, зокрема скошені пази в бік хвостовика вала, зменшує зворотний потік матеріалу і забезпечує високий змішувальний ефект черв'яка.

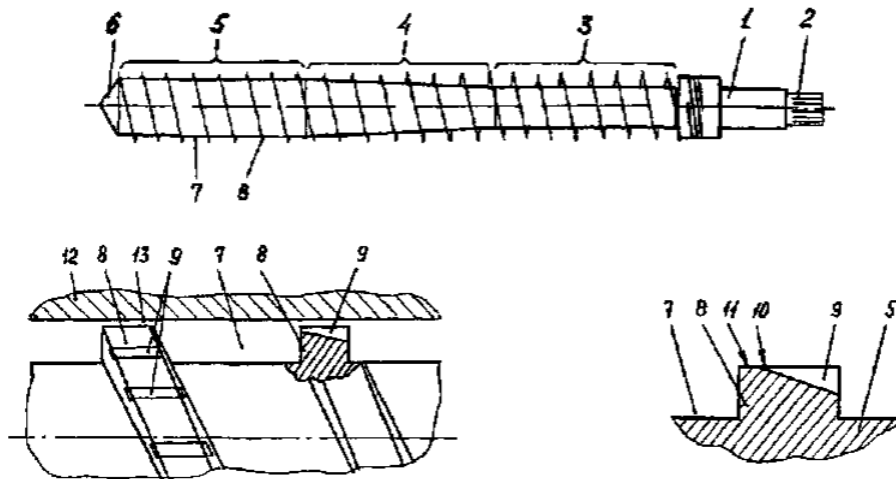


Рисунок 3.2 – черв'як екструдера за патентом [15]

За патентом [16] розроблено вдосконалений черв'як екструдера, який дозволяє регулювати висоту штифтів над поверхнею черв'яка і, отже, геометрію міжвиткового простору. Це розширює технологічні можливості черв'яка для обробки різноманітних матеріалів. У новому виконанні черв'яка ділянка зі штифтами представлена втулкою на валу з гвинтовою нарізкою, де штифти можуть контактувати з гвинтовою нарізкою вала та здійснювати зворотно-поступальне переміщення, а втулка може обертатися й фіксуватися в заданому положенні.

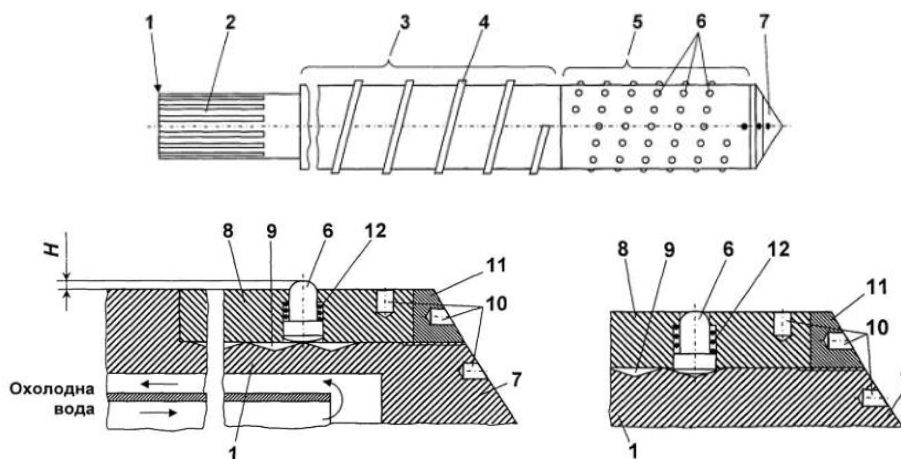


Рисунок 3.3 – черв'як екструдера за патентом [16]

За патентом [17] створено вдосконалений черв'як екструдера для отримання спінених виробів з полімерних композицій. Черв'як має зони подачі, плавлення, компресії, вакуумування та гомогенізації. Основна нарізка розташована у зонах подачі і плавлення, а додаткова сегментна нарізка - у зоні гомогенізації. Зона компресії представлена динамічним змішувальним елементом у вигляді зворотної криволінійної шестірні, а в зоні гомогенізації розташований короткий змішувальний елемент типу "шестірня". Зона вакуумування, розташована після зони компресії, виконана без нарізки зі зменшенням діаметра осереддя черв'яка для введення спінювального агента.

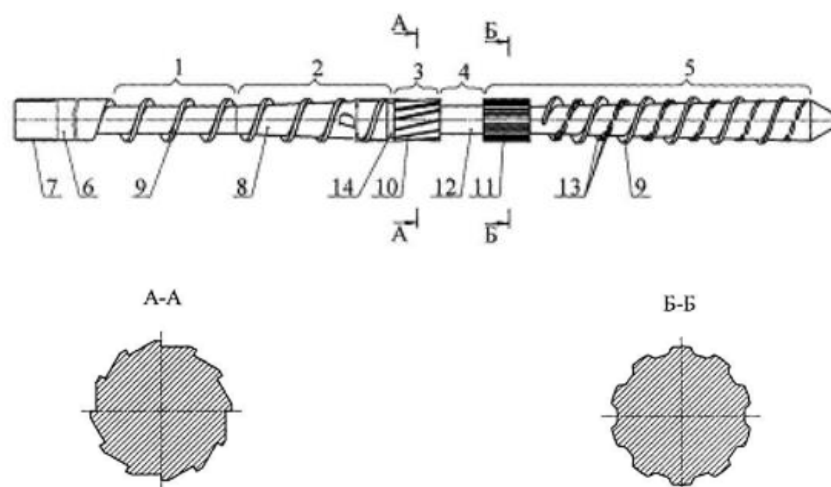
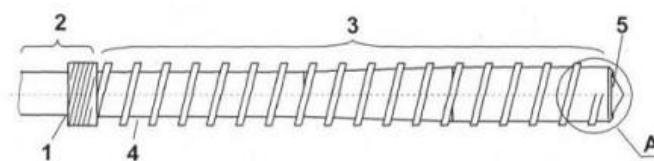


Рисунок 3.4 – черв'як екструдера за патентом [17]

За патентом [18] розроблено вдосконалений черв'як екструдера з новим конструктивним виконанням наконечника. Це дозволяє переміщати наконечник відносно робочої зони залежно від тиску, що діє на наконечник, згладжуючи пульсації потоку розплаву на виході з екструдера та забезпечуючи більш стабільну роботу екструдера. Наконечник оснащений пружним елементом, наприклад, пружиною стиснення, з можливістю осьового руху, а в найприйнятнішому виконанні пружний елемент має засіб регулювання його жорсткості.



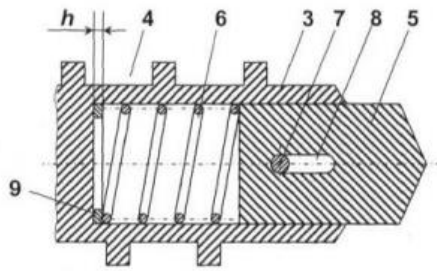


Рисунок 3.5 – черв'як екструдера за патентом [18]

За патентом [19] створено вдосконалений черв'як екструдера з покращеним змішувальним елементом. Нове конструктивне виконання гребенів змішувального елемента значно підвищує змішувально-диспергувальну спроможність черв'яка, поліпшуючи якість перероблюваного матеріалу. Змішувальний елемент має форму гвинтового гребеня з поперечними прорізами, і додатковий гвинтовий гребінь з іншим кроком, споряджений між гребенями гвинтової нарізки, є нововведенням для оптимізації функцій екструдера.

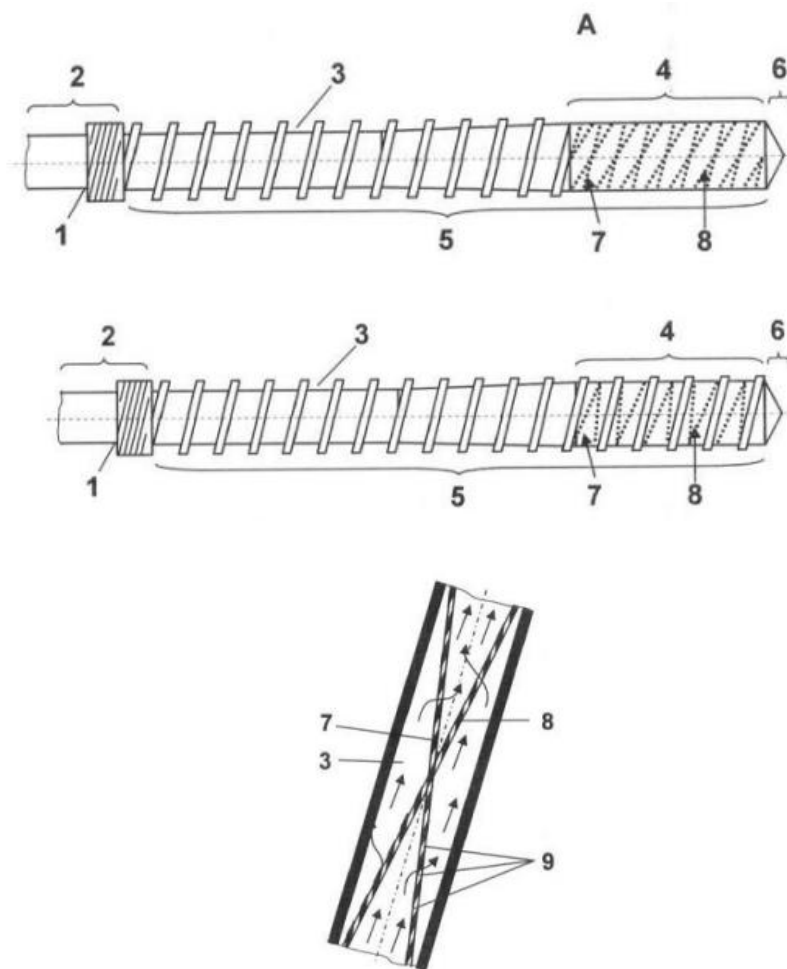


Рисунок 3.6 – черв'як екструдера за патентом [19]

За патентом [20] створено вдосконалений черв'як екструдера з новим конструктивним виконанням наконечника для ефективного згладжування пульсацій потоку розплаву в широкому діапазоні величин і швидкостей змінювання. Наконечник, оснащений пружним елементом, може здійснювати зворотно-поступальний рух в осьовому отворі вала, де встановлений шток з поршнем. Ділянка осьового отвору між наконечником і поршнем заповнена в'язкою рідиною, і на цій ділянці вала закріплено нерухому дросельну шайбу. Пружний елемент може бути розташований між поршнем та дном осьового отвору вала або між наконечником і дросельною шайбою. Це дозволяє отримати продукцію зі стабільними розмірами і формою.

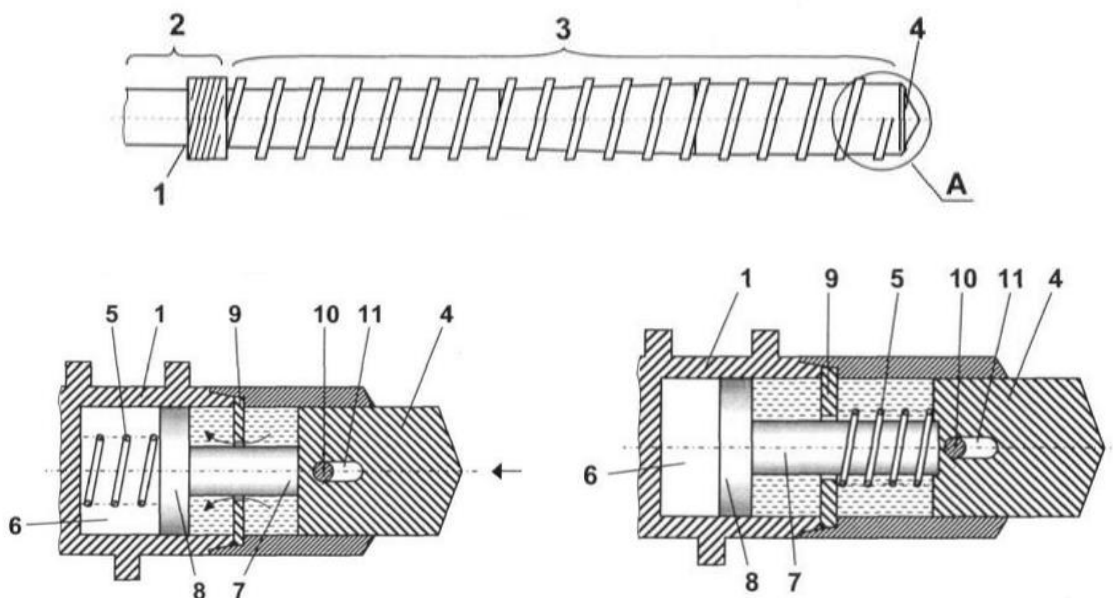


Рисунок 3.7 – черв'як екструдера за патентом [20]

За патентом [21] створено вдосконалену плоскощільну екструзійну головку для покращення гідравлічного опору та течії полімерного матеріалу. Змінено форму перехідної ділянки каналу, що забезпечує вирівнювання умов течії по всій ширині формуючої ділянки. Перехідна ділянка каналу виконана у вигляді рівнотовщинної щілини замкнутого перерізу на вході, що розгортається в напрямку виходу в щілину прямокутного перерізу. При цьому у розгортці перехідна ділянка каналу є в плані прямокутником.

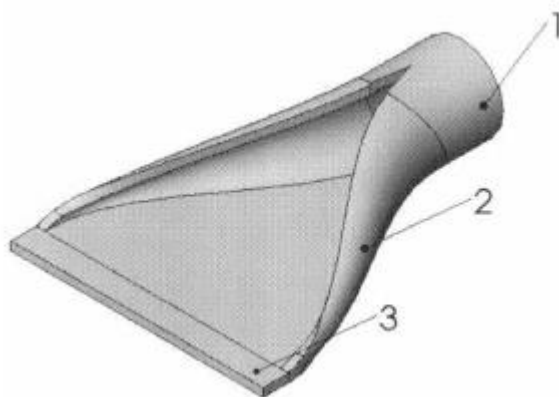


Рисунок 3.8 – Головка плоскощілинна за патентом [21]

За патентом [22] створено вдосконалену екструзійну головку для формування порожнистого виробу. Нове конструктивне виконання головки забезпечує потрібну температуру поверхні дорна, що призводить до високої якості порожнистого виробу без використання теплової автоматики системи термостабілізації дорна. Корпус головки виконано з немагнітного матеріалу, на зовнішньому боці розміщеного дорна змонтовано котушку індуктивності, а сам дорн виконано з магнітного матеріалу з точкою Кюрі, що відповідає температурі перебігу процесу формування.

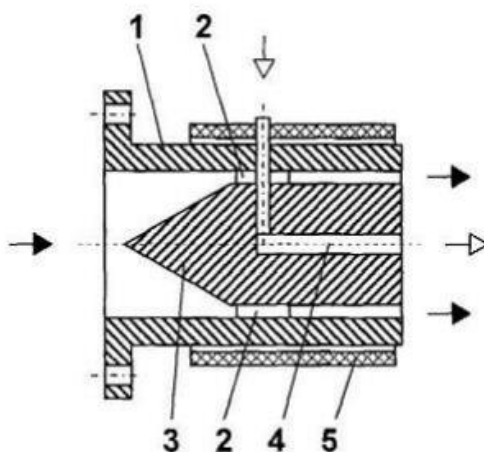


Рисунок 3.9 – Головка плоскощілинна за патентом [22]

За патентом [23] створено вдосконалий черв'ячний екструдер з регульованою геометрією черв'яка та окремими секціями для осердя та корпусу. Це виконання дозволяє швидко змінювати розміри екструдера, забезпечуючи

ефективну переробку різних матеріалів. Осердя черв'яка містить знімні втулки, які утворюють гвинтовий канал на своїй зовнішній поверхні.

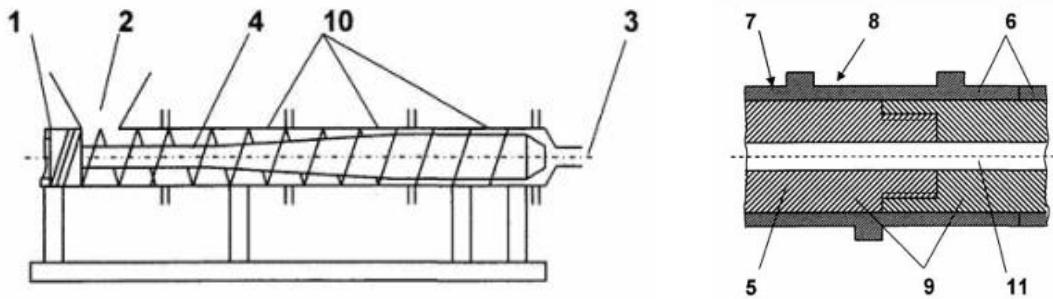


Рисунок 3.10 – черв'як екструдера за патентом [23]

За патентом [24] створено вдосконалений черв'як екструдера з новим конструктивним виконанням для підвищення ефективності процесу охолодження, що призводить до зменшення витрат охолоджувальної води. Робоча зона черв'яка утворена циліндричною ділянкою з глибокою нарізкою, конічною ділянкою з нарізкою, що зменшується, та циліндричною ділянкою з неглибокою нарізкою. Нововведенням є наявність порожнини осердя з поздовжніми шліцами з боку наконечника, при цьому поздовжні шліци можуть бути виконані в межах циліндричної ділянки з неглибокою нарізкою, а ділянка осердя з поздовжніми шліцами може бути знімною.

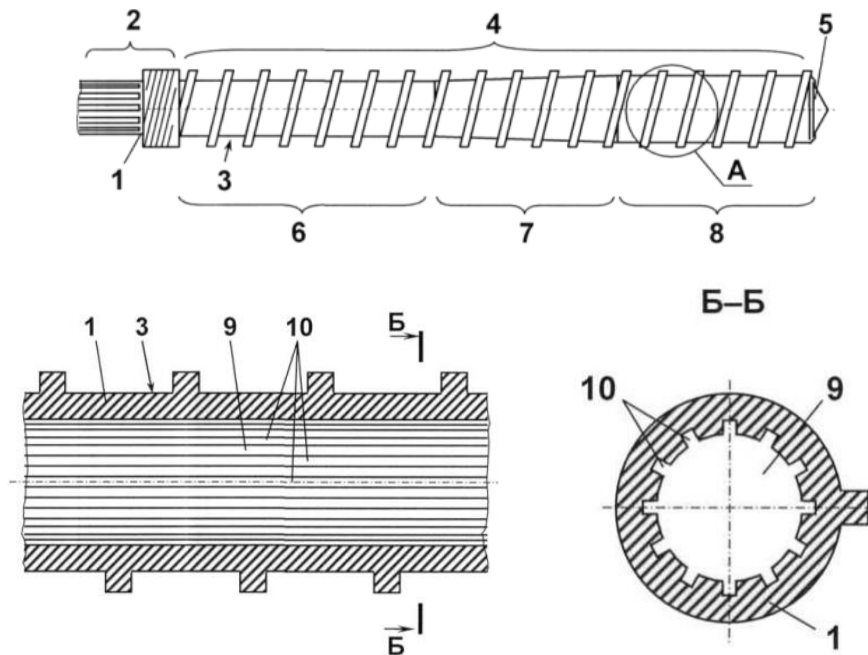


Рисунок 3.11 – Черв'як екструдера за патентом [24]

## 4 ОБҐРУНТУВАННЯ ОБРАНОЇ МОДЕРНІЗАЦІЇ

У результаті патентно-літературного огляду обрано патенти [21] та [24], за якими пропонується модернізувати екструдер.

Основна модернізація полягає у тому, що черв'як екструдера містить порожнисте осердя з послідовно розташованими хвостовиком, оснащеною гвинтовою нарізкою робочою зоною, а також знімним наконечником, при цьому робочу зону утворено послідовно розташованими циліндричною ділянкою з глибокою нарізкою, конічною ділянкою з нарізкою, що зменшується, та циліндричною ділянкою з неглибокою нарізкою. Порожнину осердя з боку наконечника виконано з поздовжніми шліцами.

Патент [24] було обрано для модернізації черв'ячного екструдера через його нове конструктивне виконання, що спрямоване на підвищення ефективності процесу охолодження. За допомогою цього вдосконалення можна зменшити витрати охолоджувальної рідини, що є важливим фактором в оптимізації енергоефективності та вартості виробництва.

Додаткова модернізація полягає у тому, що в плоскощілинній екструзійній головці, що містить канал для протікання розплаву, який складається з вхідної ділянки, перехідної ділянки та формуючої ділянки, яка має форму плоскої щілини, перехідну ділянку каналу виконано у вигляді рівнотовщинної щілини замкнутого перерізу на вході, що розгортається в напрямку виходу в щілину прямокутного перерізу, причому у розгортці перехідна ділянка каналу є в плані прямокутником.

Патент [21] також є оптимальним вибором для модернізації, оскільки змінення форми перехідної ділянки каналу в головці дозволяє покращити гідравлічний опір і умови течії полімерного матеріалу, що, в свою чергу, може призвести до підвищення якості та однорідності виготовленої продукції. Це покращення може вплинути на швидкість течії матеріалу та температурний режим, що є важливими для виробництва якісних продуктів.

## 5 РОЗРАХУНКИ

### 5.1 Розрахунок геометричних параметрів черв'яка

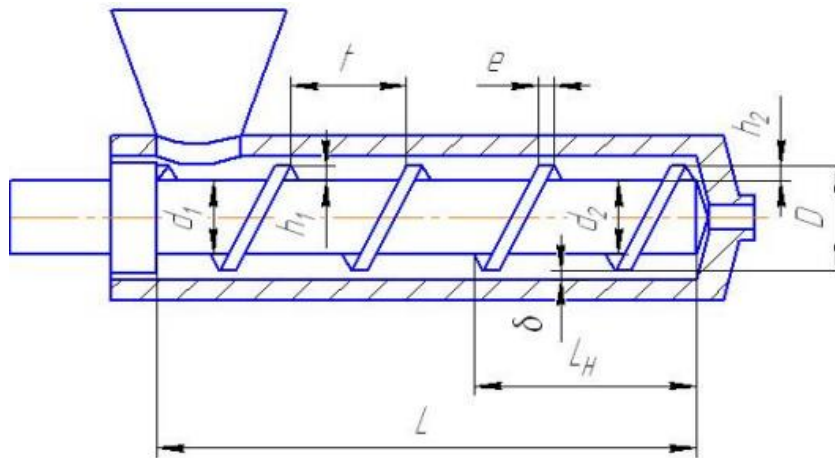


Рисунок 5.1 – Схема черв'ячного преса

Вихідні дані:

Діаметр черв'яка  $D=125\text{мм}$

Робоча довжина черв'яка  $L=25D$

Вихідний канал головки  $68*5$

Перероблюваний матеріал – ПЕНТ.

1. Загальна довжина черв'яка:

$$l_p = D \left( \frac{l_p}{D} \right) = 125 * 25 = 3125\text{мм}$$

2. Довжина зони дозування  $l_D$ :

$$l_D = (0.4 \dots 0.6)l_p = 0.57 * 3125 = 1800\text{мм}$$

3. Довжина зони завантаження  $l_3$ :

$$l_3 = (0.25 \dots 0.35)l_p = 0.29 * 3125 = 900\text{мм}$$

4. Довжина зони пластикації  $l_{\Pi}$ :

$$l_{\Pi} = l_p - l_D - l_3 = 3125 - 1800 - 900 = 425\text{см}$$

5. Крок нарізки витків  $t$ :

$$t = (0.8 \dots 1.2) * D = 0.8 * 125 = 100\text{мм}$$

6. Ширина витка  $e$ :

$$e = (0.08 \dots 0.12) * D = 0.08 * 125 = 10\text{мм}$$

7. Глибина нарізки в зоні навантаження  $h_1$ :

$$h_1 = (0.1 \dots 0.14) * D = 0.12 * 125 = 15\text{мм}$$

8. Зазор між гребнем черв'яка і корпусом  $\delta = (0.002 \dots 0.003) * D$ :

$$\delta = 0.0024 * 125 = 0.3\text{мм}$$

## 5.2 Кінематичний розрахунок екструдера

### 5.2.1 Розрахунок продуктивності екструдера

Продуктивність лінії для виробництва профілів з поліетилену визначається насамперед продуктивністю черв'ячного преса, тобто його пластикуючою спроможністю. Тому необхідно визначити масову продуктивність черв'ячного преса.

Продуктивність знаходимо за формулою,  $\text{мм}^3/\text{хв}$ : ,

$$Q_v = \frac{A * K_{\Gamma}}{K_{\Gamma} + B + C} * n$$

де  $K$  – коефіцієнт геометричної форми головки екструдера

$n$  – частота обертів черв'яка;

$A$  - відповідно постійні прямого потоку для шнеків з постійними геометричними розмірами, змінною глибиною і кроком нарізки в зоні дозування,  $\text{мм}^3$ ;

$B$  - відповідно постійні зворотного потоку для шнеків з постійними геометричними розмірами, змінною глибиною і кроком нарізки в зоні дозування,  $\text{мм}^3$ ;

$C$  - відповідно постійні потоку витоків для шнеків з постійними геометричними розмірами, змінною глибиною і кроком нарізки в зоні дозування,  $\text{мм}^3$ .

1. Глибина нарізки в усіх зонах:

$$i = 2$$

$$h_3 = 0.5 * \left[ D - \sqrt{D^2 - \frac{4 * h_1}{i} (D - h_1)} \right]$$

$$= 0.5 * \left[ 125 - \sqrt{125^2 - \frac{4 * 15}{2} (125 - 15)} \right] = 7 \text{ мм}$$

$$h_2 = h_1 - \frac{h_1 - h_3}{L} * L_0 = 15 - \frac{15 - 7}{3125} * 1562.5 = 11 \text{ мм},$$

$$d_1 = D - 2h_1 = 125 - 2 * 15 = 95 \text{ мм}$$

$$d_3 = D - 2h_3 = 125 - 2 * 7 = 111 \text{ мм}$$

Обчислюємо коефіцієнти геометричних параметрів шнека:

$$\sigma = 1 - \frac{6,9D}{2(h_2 - h_3)} \lg \frac{h_2}{h_3} + \frac{D^2}{2h_2h_3} = 1 - \frac{6.9 * 125}{2 * (11 - 7)} * 0.2 + \frac{125^2}{2 * 11 * 7}$$

$$= 80.9 \text{ мм}^{-2}$$

$$a = \frac{\pi^2}{h_2h_3} \left[ \frac{D(h_2 + h_3)}{2h_2h_3} - 1 \right] = \frac{3.14^2}{11 * 7} * \left[ \frac{125 * (11 + 7)}{2 * 11 * 7} - 1 \right] = 1.75 \text{ мм}^{-2}$$

$$b = \frac{2.3}{(h_2 - h_3)D^3} \lg \frac{h_2(D + d_3)}{h_3(D + d_1)} + \frac{2h_2h_3 + (h_2 + h_3)D}{2D^2h_2^2h_3^2} =$$

$$= \frac{2.3}{(11 - 7) * 125^3} * 0.227 + \frac{2 * 11 * 7 + (11 + 7) * 125}{2 * 125^2 * 11^2 * 7^2} = 1.3 * 10^{-5} \text{ мм}^{-4}$$

Розраховуємо сталі потоку:

1) Прямого:

$$A_1 = \frac{\pi^3(t - \lambda e)\sigma}{a + t^2b} = \frac{3.14^3 * (100 - 1 * 10) * 80.9}{1.75 + 100^2 * 1.3 * 10^{-5}} = 120000 \text{ мм}^3$$

2) Зворотнього:

$$B_1 = \frac{\pi t(t - \lambda e)}{12L_H(a + t^2b)} = \frac{3.14 * 100 * (100 - 1 * 10)}{12 * 1562.5 * (1.75 + 100^2 * 1.71) * 1.3 * 10^{-5}} = 6.8 \text{ мм}^3$$

3) Потоку витоків:

$$C_1 = \frac{\pi D \delta^3 t^2}{10eL_H \sqrt{\pi^2 D^2 + t^2}} = \frac{3.14 * 125 * 0.3^3 * 100^2}{10 * 10 * 1562.5 * \sqrt{3.14^2 * 125^2 + 100^2}} = 0.00167 \text{ мм}^3$$

Обраховуємо продуктивність екструдера:

Об'ємну:

$$Q_v = \frac{A_1 * K_r}{K_r + B_1 + C_1} * n = \frac{120000 * 4.15}{4.15 + 6.8 + 0.00167} * 60 = 2.7 * 10^3 \frac{\text{см}^3}{\text{хв}} = 45000 \frac{\text{мм}^3}{\text{с}}$$

де робоча обертання шнека:

$$n = 0.4n_{кр} = 0.5 * 2 = 1 \text{с}^{-1} = 60 \text{хв}^{-1}$$

$$n_{кр} = \frac{42.2}{60 * \sqrt{D}} = \frac{42.2}{60 * \sqrt{0.125}} = 2 \text{с}^{-1}$$

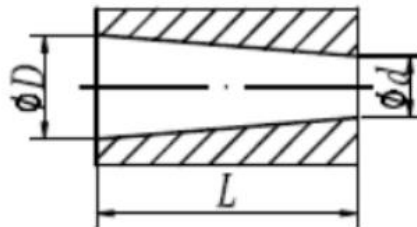
Масова продуктивність лінії становить:

$$Q_{ч} = \frac{60Q_v\rho_p}{10^6} = \frac{60 * 2.7 * 10^3 * 823}{10^6} = 133.32 \frac{\text{кг}}{\text{год}},$$

де  $\rho_p=823\text{кг/м}^3$  – густина розплаву ПЕНТ на виході з екструдера при температурі розплаву  $170^\circ\text{C}$ .

### 5.3 Кінематичний розрахунок головки екструдера

#### 5.3.1. Розрахунок коефіцієнта геометричної форми головки



1. Розраховуємо першу ділянку на вході;  $D = 125\text{мм}$ ;  $L = 70\text{мм}$ ;  $d=55\text{мм}$ ; коефіцієнт опору знаходимо за формулою:

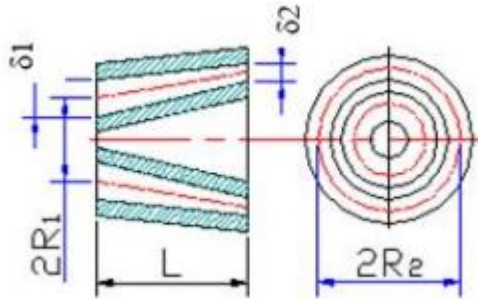
$$K_1 = \frac{3\pi D^3 d^3}{128L(D^2 + D * d + d^2)} = \frac{3 * 3.14 * 125^3 * 55^3}{128 * 70 * (125^2 + 125 * 55 + 55^2)} = 13384.3\text{мм}^3$$

2. Ділянка фільтра: вибираємо середню сітку з діаметром проволочки  $d=0.16\text{мм}$  і розміри контейнерів  $d_0 = 0.25\text{мм}$ ,  $n = 10$ ,  $\delta_\phi = 2 * d * n = 2 * 0.16 * 10 = 3.2\text{см}$ , площа фільтрувального елемента  $F = \pi * r^2 = 3.14 * 27.5^2 = 2374.6\text{мм}^2$ :

$$K_2 = \frac{n * F * d_0}{32 * \delta_\phi} = \frac{10 * 2374.6 * 0.25^2}{32 * 3.2} = 14.5\text{мм}^3$$

3. Ділянка решітки: товщина решітки  $\delta_p = D/5 = 125/5 = 25\text{мм}$ ; число отворів в решітці  $z=100$ , діаметр отворів  $d_p=3\text{мм}$ ; коефіцієнт опору:

$$K_3 = \frac{\pi * z * d_p^4}{128 * \delta_p} = \frac{3.14 * 100 * 3^4}{128 * 25} = 7.95\text{мм}^3$$

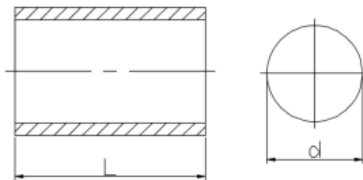


4. Коефіцієнт опору каналу 4 розраховується за формулою:

$$K_4 = \frac{\pi(R_1\delta_2 - R_2\delta_1)}{6Lm} = \frac{3.14 * (41.5 * 15 - 60.5 * 27)}{6 * 140 * (-0.0024)} = 1574.7\text{мм}^3$$

$$m = \frac{2.3(R_1 - R_2)^2}{(R_1\delta_2 - R_2\delta_1)^2} \lg\left(\frac{R_1\delta_2}{R_2\delta_1}\right) - \frac{(R_1 - R_2)(\delta_1 - \delta_2)}{(R_1\delta_2 - R_2\delta_1)\delta_1\delta_2} - \frac{\delta_1^2 - \delta_2^2}{2\delta_1^2\delta_2^2} =$$

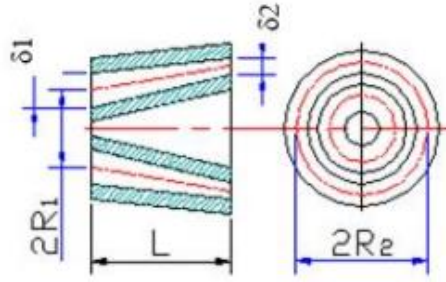
$$= \frac{2.3(41.5 - 60.5)^2}{(41.5 * 15 - 60.5 * 27)^2} * -0.42 - \frac{(41.5 - 60.5)(27 - 15)}{(41.5 * 15 - 60.5 * 27) * 27 * 15} - \frac{27^2 - 15^2}{2 * 27^2 * 15^2} = -0.0024$$



5. Циліндричний канал:  $R_3 = 70\text{мм}$ ,  $R_B = 55\text{мм}$ ,  $L = 110\text{м}$ ; коефіцієнт опору каналу розраховується за формулою:

$$K_5 = \frac{\pi}{8 * L} \left[ R_3^4 - R_B^4 - \frac{(R_3^2 - R_B^2)^2}{\ln\left(\frac{R_3}{R_B}\right)} \right] = \frac{3.14}{8 * 140} * \left[ 70^4 - 55^4 - \frac{(70^2 - 55^2)^2}{\ln\left(\frac{70}{55}\right)} \right]$$

$$= 789\text{мм}^3$$



6. Коефіцієнт опору каналу знаходимо за формулою:

$$K_6 = \frac{\pi * (R_1 * \delta_2 - R_2 * \delta_1)}{6 * L * m} = \frac{3.14 * (60.5 * 5 - 31.5 * 15)}{6 * 140 * -0.008} = 79.4 \text{ мм}^3$$

$$m = \frac{2.3 * (R_1 - R_2)^2}{(R_1 * \delta_2 - R_2 * \delta_1)^2} * \lg\left(\frac{R_1 * \delta_2}{R_2 * \delta_1}\right) - \frac{(R_1 - R_2) * (\delta_1 - \delta_2)}{(R_1 * \delta_2 - R_2 * \delta_1) \delta_1 * \delta_2} - \frac{\delta_1^2 - \delta_2^2}{2 * \delta_1^2 * \delta_2^2} =$$

$$= \frac{2.3 * (60.5 - 31.5)^2}{(60.5 * 5 - 31.5 * 15)^2} * (-0.1937) - \frac{(60.5 - 31.5) * (15 - 5)}{(60.5 * 5 - 31.5 * 15) * 15 * 5}$$

$$- \frac{15^2 - 5^2}{2 * 5^2 * 15^2} = -0.008$$

7. Коефіцієнт опору формуючого каналу розраховується за формулою:

$$K_7 = \frac{\pi}{8L} \left[ R_3^4 - R_B^4 - \frac{(R_3^2 - R_B^2)^2}{\ln\left(\frac{R_3}{R_B}\right)} \right] = \frac{3.14}{8 * 110} * \left[ 34^4 - 29^4 - \frac{(34^2 - 29^2)^2}{\ln\left(\frac{34}{29}\right)} \right]$$

$$= 31.75 \text{ мм}^3$$

8. Підставляємо всі значення в формулу коефіцієнту опору головки:

$$K_r = \frac{1}{\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} + \frac{1}{K_3} + \frac{1}{K_4} + \frac{1}{K_5} + \frac{1}{K_6} + \frac{1}{K_7}} =$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{13384.3} + \frac{1}{14.5} + \frac{1}{7.95} + \frac{1}{1574.7} + \frac{1}{789} + \frac{1}{79.4} + \frac{1}{31.75}} = 4.15 \text{ мм}^3$$

### 5.3.2 Розрахунок перепаду тиску в головці

1) Довжина зони дозування:

$$L_d = 0.57 * 3125 = 1800 \text{ мм}$$

$$\text{tg} \varphi = \frac{t}{\pi D} = \frac{100}{3.14 * 125} = 0.255$$

2) Градієнт швидкості зсуву:

$$\dot{\gamma}' = \frac{\pi D n}{60 * h_{cp}} = \frac{3.14 * 125 * 60}{60 * 9} = 43.6 c^{-1},$$

Ефективна в'язкість розплаву ПЕНТ по логарифмічній залежності  $\lg(\eta)=f(\lg(\dot{\gamma}'))$  при температурі розплаву в зоні дозування 170°C:

$$\lg(\eta) = -0.568 \lg(\dot{\gamma}') + 4.302$$

звідси  $\eta = 1280 \text{Па} * \text{с}$

3) Максимальний тиск розплаву в кінці шнека:

$$P_m = \frac{\pi D L_d \eta n}{h_{cp}^2 t g \varphi} = \frac{3.14 * 125 * 1800 * 1280 * 1}{9^2 * 0.255} = 43.8 \text{МПа}$$

1. Розраховуємо швидкість зсуву  $\dot{\gamma}'$ ,  $c^{-1}$  на простих ділянках 1<sub>1</sub>-1<sub>7</sub> головки.

$$\dot{\gamma}_1 = \frac{256Q}{\pi(D+d)^3} = \frac{256 * 45000}{3.14 * (125 + 68)^3} = 0.51 c^{-1}$$

$$\dot{\gamma}_2 = \frac{128Q}{n F d_0} = \frac{128 * 45000}{10 * 2374.6 * 0.25} = 970 c^{-1}$$

$$\dot{\gamma}_3 = \frac{32Q}{\pi z d_p^3} = \frac{32 * 45000}{3.14 * 30 * 3^3} = 566 c^{-1}$$

$$\dot{\gamma}_4 = \frac{22.3Q}{4\pi(R_1 + R_2)(\delta_1 + \delta_2)^2} = \frac{22.3 * 45000}{4 * 3.14 * (41.5 + 60.5)(27 + 15)^2} = 0.44 c^{-1}$$

$$\dot{\gamma}_5 = \frac{6Q}{\pi(R_3 + R_B)(R_3 - R_B)^2} = \frac{6 * 45000}{3.14 * (70 + 55)(70 - 55)^2} = 3 c^{-1}$$

$$\dot{\gamma}_6 = \frac{22.3Q}{4\pi(R_1 + R_2)(\delta_1 + \delta_2)^2} = \frac{22.3 * 45000}{4 * 3.14 * (60.5 + 31.5)(15 + 5)^2} = 2.2 c^{-1}$$

$$\dot{\gamma}_7 = \frac{6Q}{\pi(R_H + R_B)(R_H - R_B)^2} = \frac{6 * 45000}{3.14 * (34 + 29)(34 - 29)^2} = 55 c^{-1}$$

2. По логарифмічній залежності  $\lg(\eta) = -A \lg(\dot{\gamma}') + B$  при вибраній температурі розплаву в головці находимо ефективну в'язкість  $\eta$ .

$$170^\circ\text{C}: \lg(\eta) = -0.568 \lg(\dot{\gamma}') + 4.302;$$

$$\eta_1 = 10^{-0.568 \lg(\dot{\gamma}_1) + 4.302} = 10^{-0.568 \lg(0.51) + 4.302} = 29383 \text{Па} * \text{с}$$

$$\eta_2 = 10^{-0.568 \lg(\dot{\gamma}_2) + 4.302} = 10^{-0.568 \lg(970) + 4.302} = 403 \text{Па} * \text{с}$$

$$\eta_3 = 10^{-0.568 \lg(\dot{\gamma}_3) + 4.302} = 10^{-0.568 \lg(566) + 4.302} = 547.5 \text{Па} * \text{с}$$

$$\eta_4 = 10^{-0.568 \lg(\dot{\gamma}_4) + 4.302} = 10^{-0.568 \lg(0.4) + 4.302} = 33731 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\eta_5 = 10^{-0.568 \lg(\dot{\gamma}_5) + 4.302} = 10^{-0.568 \lg(3) + 4.302} = 10740 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\eta_6 = 10^{-0.568 \lg(\dot{\gamma}_6) + 4.302} = 10^{-0.568 \lg(2.2) + 4.302} = 12808.7 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

$$\eta_7 = 10^{-0.568 \lg(\dot{\gamma}_7) + 4.302} = 10^{-0.568 \lg(55) + 4.302} = 2058 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

3. По формулі  $\Delta P_i = \frac{Q \cdot \eta}{K_i}$  розраховуємо втрати тиску на елементарних

ділянках головки:

$$\Delta P_1 = \frac{Q \cdot \eta_1}{K_1} = \frac{45000 \cdot 29383}{13384.3 \cdot 10^6} = 0.1 \text{ МПа}$$

$$\Delta P_2 = \frac{Q \cdot \eta_2}{K_2} = \frac{45000 \cdot 403}{14.5 \cdot 10^6} = 1.25 \text{ МПа}$$

$$\Delta P_3 = \frac{Q \cdot \eta_3}{K_3} = \frac{45000 \cdot 547.5}{7.95 \cdot 10^6} = 3.1 \text{ МПа}$$

$$\Delta P_4 = \frac{Q \cdot \eta_4}{K_4} = \frac{45000 \cdot 33731}{1574.7 \cdot 10^6} = 1 \text{ МПа}$$

$$\Delta P_5 = \frac{Q \cdot \eta_5}{K_5} = \frac{45000 \cdot 10740}{789 \cdot 10^6} = 0.6 \text{ МПа}$$

$$\Delta P_6 = \frac{Q \cdot \eta_6}{K_6} = \frac{45000 \cdot 12808.7}{79.4 \cdot 10^6} = 7.2 \text{ МПа}$$

$$\Delta P_7 = \frac{Q \cdot \eta_7}{K_7} = \frac{45000 \cdot 2058}{31.75 \cdot 10^6} = 2.9 \text{ Па}$$

Сумарний тиск:

$$\Delta P = 0.1 + 1.25 + 3.1 + 1 + 0.6 + 7.2 + 2.9 = 16.15 \text{ Мпа}$$

### 5.3.3 Розрахунок потужності приводу екструдера

Потужність (Вт), використовувальна екструдером (N), витрачається на переміщення маси матеріалу вздовж спірального каналу до головки та далі (N<sub>1</sub>), а також на зріз матеріалу (розплаву) в зазорі між гребнем шнека та внутрішньої стінки циліндра (N<sub>2</sub>):

$$N = N_1 + N_2.$$

Для шнека з змінною глибиною нарізки:

Потужність, споживана в гвинтовому каналі:

$$N_1 = \frac{\pi(t - e)}{t} (\pi D^2 - 4h_2^2) * \lambda * L * \eta * n^2 + \frac{A_1}{K} \eta Q n =$$

$$= \frac{3.14 * (100 - 10)}{100} * (3.14 * 125^2 - 4 * 11^2) * 1 * 3125 * 1280 * 1^2$$

$$+ \frac{120000}{31.75} * 1280 * 100000 * 1 = 10.03 \text{ кВт}$$

Діаметр валу шнека на початку напірної ділянки:

$$d_2 = D - 2h_2 = 9 - 2 * 0.6725 = 7.66 \text{ см}$$

Швидкість зсуву спірального каналу шнека:

$$\gamma_k = \frac{\pi^2 * (D - h_{cp})(D - 2h_{cp}) * n}{h_{cp} \sqrt{\pi^2 (D - 2h_{cp})^2 + t^2}} = \frac{3.14^2 * (125 - 11) * (125 - 2 * 11) * 1}{11 * \sqrt{3.14^2 * (125 - 2 * 11)^2 + 100^2}}$$

$$= 31.08 \text{ с}^{-1}$$

1. Потужність, споживана в зазорі між гребнем і корпусом:

$$N_2 = \frac{\pi D^3 e L \lambda \eta}{\delta t} n^2 = \frac{3.14 * 125^3 * 10 * 3125 * 1280}{0.3 * 100} * 1 * 1^2 = 817.7 \text{ Вт}$$

$$\gamma_3 = \frac{\pi^2 * D^2 * n}{\delta \sqrt{\pi^2 D^2 + t^2}} = \frac{3.14^2 * 125^2 * 1}{0.3 * \sqrt{3.14^2 * 125^2 + 100^2}} = 1268 \text{ с}^{-1}$$

2. Потужність, споживана в зоні дозування:

$$N_d = N_1 + N_2 = 10037 + 817.7 = 10855 \text{ Вт}$$

3. Потужність, споживана черв'яком:

$$N_r \approx 2N_d = 2 * 10855 = 21.7 \text{ кВт}$$

4. Потужність двигуна:

ККД приводу приймаємо  $\eta = 0.7 \div 0.8$ .

$$N_{дв} = \frac{N_r}{\eta} = \frac{21.7}{0.7} = 31 \text{ кВт}$$

Обираємо двигун 4А200М2У3  $N_{дв} = 37 \text{ кВт}$

## 5.4 Розрахунок працездатності черв'яка

### 5.4.1 Розрахунок черв'яка на міцність

Розрахункова схема шнека показана на рисунку 5.2. Нормальні напруги викликаються осьовою силою  $F_z$  і розподіленим  $q$ . Максимальні напруги будуть виникати в місці закріплення шнека (у правого підшипника):

$$\sigma = \frac{F_z}{A} + \frac{M_{зг}}{W_x};$$

де  $M_{зг}$  - максимальний згинальний момент від розподіленого навантаження шнека;  
 $A$  - площа поперечного перерізу шнека;  $W_x$  - осьовий момент опору

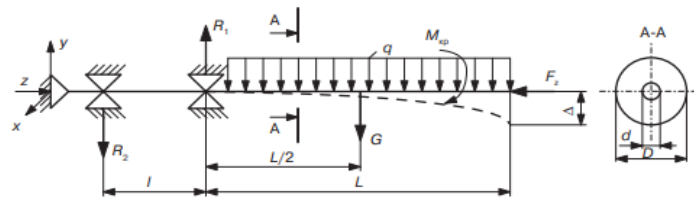


Рисунок 5.2 – Розрахункова схема навантаження шнека і його опор

При розрахунку шнека визначають максимальні дотичні напруження, що виникають на поверхні шнека від дії крутного моменту:

$$M_{кр} = \frac{30 * N}{\pi n} = \frac{30 * 21700}{3.14 * 60} = 3455.4 \text{ Нм},$$

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

Максимальне осьове зусилля  $F_z$ , що діє на шнек, визначається як

$$F_z = \frac{2 * M_{кр}}{D} \text{tg}\varphi = \frac{2 * 3455.4}{0.125} * 0.255 = 14098 \text{ Н}$$

Розподілене навантаження від власної ваги:

$$q = \frac{9.81 * G}{l_p} = \frac{9.81 * 295.5}{3.125} = 927.6 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

де  $G$ - маса черв'яка, кг:

$$G = \frac{\pi * D^2}{4} * \rho * l_p = \frac{3.14 * 0.125^2 * 7710 * 3.125}{4} = 295.5 \text{ кг}$$

$l_p=2.7$  - довжина робочої частини, м.

$$M_{\text{max}} = \frac{1}{2} * q * l_p^2 = \frac{1}{2} * 927.6 * 3.125^2 = 4530 \text{ Нм}$$

Осьовий момент опору:

$$W_x = \frac{\pi * d^3(1 - \alpha^4)}{32} = \frac{3.14 * 0.095^3(1 - 0.28^4)}{32} = 8.4 * 10^{-5} \text{Нм},$$

d - діаметр осердя в зоні завантаження.

Стискне напруження:

$$\sigma_{\text{ст}} = \frac{F_z}{F} + \frac{M_{\text{max}}}{W_x} = \frac{14098}{6.5 * 10^{-3}} + \frac{4530}{8.4 * 10^{-5}} = 56.1 \text{МПа}.$$

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

$$F = \frac{\pi * d * (1 - \alpha^2)}{4} = \frac{3.14 * 0.095^2 * (1 - 0.28^2)}{4} = 6.5 * 10^{-3} \text{м}^2$$

Дотичне напруження:

$$\tau = \frac{M_{\text{кр}}}{W_p} = \frac{3455.4}{16.7 * 10^{-5}} = 20.7 \text{МПа}.$$

де  $W_p$ - полярний момент опору:

$$W_p = \frac{\pi * d * (1 - \alpha^4)}{16} = \frac{3.14 * 0.095^3(1 - 0.28^4)}{16} = 16.7 * 10^{-5} \text{м}^3$$

Максимальний прогин шнека під дією власної ваги дорівнює

$$\Delta = \frac{\rho g A L^4}{8 E J_x} = \frac{\rho g \pi D^2}{32 E J_x} L^4 \left(1 - \frac{d^2}{D^2}\right) = \frac{7710 * 9.81 * 3.14 * 0.125^2}{32 * 2.09 * 10^{11} * 1.2 * 10^{-6}} * 3.125^4 \\ = 0.00044 \text{м} = 0.44 \text{мм}$$

де E - модуль пружності першого роду матеріалу шнека;

$J_x$  - осьовий момент інерції поперечного перерізу шнека:

$$J_x = \frac{\pi D^4}{64} = \frac{\pi * 0.125^4}{64} = 1.2 * 10^{-5}$$

Еквівалентне напруження за третьою теорією міцності, згідно з:

$$\sigma_{\text{екв}} = \sqrt{\sigma_{\text{ст}}^2 + 4 * \tau^2} = \sqrt{56.1^2 + 4 * 20.7^2} = 69.72 \text{МПа}$$

Коефіцієнт запасу повинен перевищувати допустиме значення:

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

Матеріал червяка - сталь 38Х2МЮА для якої  $\sigma_t = 665 \text{МПа}$ .

Значення допустимого коефіцієнта запасу зазвичай  $[n]=1,6\dots2,5$ .

$$n = \frac{665}{69.72} = 9.5$$

#### 5.4.2 Розрахунок черв'яка на стійкість

Оскільки черв'як витримує загальний момент навантаження від циклічної дії власної ваги, доцільна його перевірка на витривалість.

$$n_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1}}{(k_{\sigma})_d \sigma_a + \psi_{\sigma} \sigma_c} = \frac{0.4 * 1300}{6.6 * 11.79 + 0.25 * 0} = 6.68$$

де  $n_{\sigma}$  – коефіцієнт запасу міцності під час циклічного навантаження;

$\sigma_{-1}$  – допустиме напруження під час циклічного навантаження (беруть  $\sigma_{-1}=0,4*\sigma_B$ ;

$\sigma_a$  – амплітуда змінювання напружень, у цьому випадку вони змінюються від  $(+\sigma_{max} -\sigma_{max})$ ;

$\sigma_{max}$  – найбільше напруження від дії згинального моменту;

$$\sigma_a = \frac{M_{max}}{W_x} = \frac{4530}{38.4 * 10^{-5}} = 11.79 \text{ МПа};$$

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

$\psi_{\sigma}$  – коефіцієнт, що залежить від виду матеріалу, для сталей з  $\sigma_B=1200\dots1400$  МПа;  $\psi_{\sigma}=0,25$ ;

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

$$(k_{\sigma})_d = \frac{k_{\sigma}}{\beta * \varepsilon} = \frac{2}{1 * 0.3} = 6.6$$

де  $k_{\sigma}$  – коефіцієнт концентрації напружень, для цього випадку  $k_{\sigma}=1,9\dots2$ ;

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

$\varepsilon$  – коефіцієнт, який враховує розмір перерізу деталі; для деталей з легуваних сталей за наявності концентрації напружень  $\varepsilon=0,3$ .

Таким чином, черв'як є витривалим.

### 5.4.3 Розрахунок корпусу екструдера на міцність

**Мета:** розрахувати корпус екструдера та визначити мінімальну товщину стінки корпусу, яка задовольняє умову міцності, також розрахувати шнек, за допомогою аналітичного способу та за допомогою програмування, і порівняти два методи.

#### Вихідні данні для розрахунку корпусу екструдера

Вихідні дані:

Внутрішній тиск преса $P$ , МПа	50
Допустиме напруження для Сталі 38Х2МЮА, МПа	665
Внутрішній діаметр корпусу $D$ , м	125
Зовнішній діаметр корпусу $D_3$ , м	140
Технологічна прибавка $C_3$ , м	0.0003
Швидкість корозії $\vartheta$ , м/рік	0.0001
Термін використання $\tau$ , років	15

#### Теоретичні відомості:

Розрахункова товщина стінки:

$$S_r = \frac{D}{2} \left( \sqrt{\frac{([\sigma] + P)}{([\sigma] - P)}} - 1 \right) = \frac{125}{2} * \left( \sqrt{\frac{665 + 50}{665 - 50}} - 1 \right) = 4.89 \text{ мм}$$
$$S = S_r + C_1 + C_2 + C_3 = 4.89 + 2.675 = 7.6 \text{ мм}$$

де  $C_1$  - прибавка на компенсацію корозії;  $C_2$  - прибавка на компенсацію мінусового допуску до товщини листа:

$$C_1 = \vartheta \tau = 0.125 * 15 = 1.875 \text{ мм}$$

$$C_2 = 0.05 * 0.68 = 0.034 = 0.5 \text{ мм}$$

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 1.875 + 0.5 + 0.3 = 2.675 \text{ мм}$$

Допустимий внутрішній надлишковий тиск, МПа

$$[P] = \frac{2 * [\sigma] * \varphi (S - C)}{D + S - C} = \frac{2 * 665 * 2.55 * (7.6 - 2.675)}{125 + 7.6 - 2.675} = 128.6$$

Перевіряємо умову міцності корпусу:  $P < [P]$

$$\text{Запас міцності: } n = \frac{[P]}{P} = \frac{128.6}{50} = 2.6$$

#### 5.4.4 Тепловий розрахунок

Тепловий баланс екструдера визначається рівнянням:

$$E_H + E_{ш} = E_M + E_0 + E_{п},$$

де  $E_H$  - теплота, що надходить від зовнішніх обігрівачів, кВт;  $E_{ш}$  - теплота, що виділяється при роботі шнека (так званий дисипативний нагрів-внутрішня теплота тертя), кВт;  $E_M$  - теплота, яка йде з нагрітим матеріалом, кВт;  $E_0$  - теплота, уносима системою охолодження (водою, повітрям та ін.), кВт;  $E_{п}$  - втрати тепла в навколишнє середовище, через кожух екструдера, кВт.

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

$$E_H = E_M + E_0 + E_{п} - E_{ш} = 2.34 + 120 + 0.01 - 110.7 = 11.65 \text{ кВт}$$

Складові рівняння балансу визначаються наступним чином:

$$E_M = G_M * c_M (t_k - t_{п})$$

де  $c_M = 44 * 10^{-2} \text{ кДж/(кг*К)}$ ;

$t_k = 160 \text{ К}$ ,  $t_{п} = 26 \text{ К}$ ;

$$G_M = \frac{Q}{3600} = \frac{133.32}{3600} = 0.037 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$$

де  $Q$ -масова продуктивність екструдера, кг / год.

$$E_M = 0.037 * 44 * 10^{-2} * (170 - 26) = 2.34 \text{ кВт}$$

$$E_0 = G_B * c_B (t_{B1} - t_{B2})$$

де  $G_B$  - кількість води для охолодження, кг/с:

$$G_B = 997 * \frac{3.14 * 0.064}{4} * 0.25 = 12.5 \text{ кг/с}$$

$c_M$  - питома теплоємність води;  $c_B = 0.6 \text{ кДж/(кг*К)}$ ;

$t_{B1}$ ,  $t_{B2}$  - кінцева і початкова температура води, К;  $t_k = 160 \text{ К}$ ,  $t_{п} = 26 \text{ К}$ ;

$$E_0 = 12.5 * 0.6 * (32 - 16) = 120 \text{ кВт}$$

Втрати тепла в навколишнє середовище, через кожух екструдера, кВт:

$$E_{п} = F_k \alpha (t_{п} - t_c) = 0.93 * 0.01044 * (26 - 16) = 0.01 \text{ кВт}$$

$$F_k = \pi d_k L_k = 3.14 * 0.095 * 3.125 = 0.93 \text{ м}^2$$

$$\alpha = (9.74 + 0.07 \Delta t) 10^{-3} = (9.74 + 0.07 * 10) * 10^{-3} = 0.01044 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{ К}}$$

$$\Delta t = t_{п} - t_c = 26 - 16 = 10 \text{ }^\circ\text{C}$$

де  $F_k$  - площа зовнішньої поверхні корпусу екструдера;

$\alpha$  - коефіцієнт теплопередачі, кВт/(м<sup>2</sup> \* К);

$t_{\text{п}}$  - температура зовнішньої поверхні ізолюваного корпусу; С<sup>0</sup>;

$t_c$  - температура навколишнього середовища, С<sup>0</sup>;

$D_k$  - діаметр корпусу з ізоляцією, м;

$L_k$  - довжина корпусу, м.

Теплота, що виділяється при роботі шнека, кВт:

$$\begin{aligned} E_{\text{ш}} &= \left( \frac{\pi^3 D^3 \eta_1 L}{h} + \frac{QP}{\cos^2 \varphi} + \frac{\pi^2 D^2 n^2 \eta_2 e L}{\delta \text{tg} \varphi} \right) * 9.8 * 10^{-10} \\ &= \left( \frac{3.14^3 * 125^3 * 1200 * 3125}{7} + \frac{0.08 * 50 * 10^6}{\cos^2(14^\circ 20')} \right. \\ &\quad \left. + \frac{3.14^2 * 125^2 * 1^2 * 1280 * 10 * 3125}{0.3 * 0.255} \right) * 9.8 * 10^{-10} = 110.7 \text{ кВт} \end{aligned}$$









**Таблиця змащення черв'ячного пресу ЧП125x25**

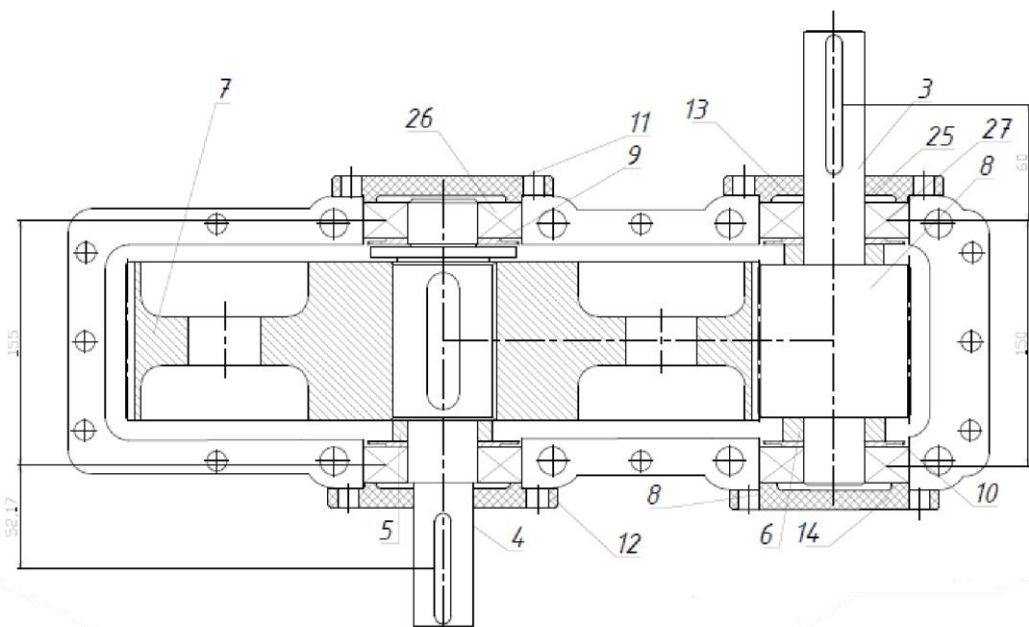
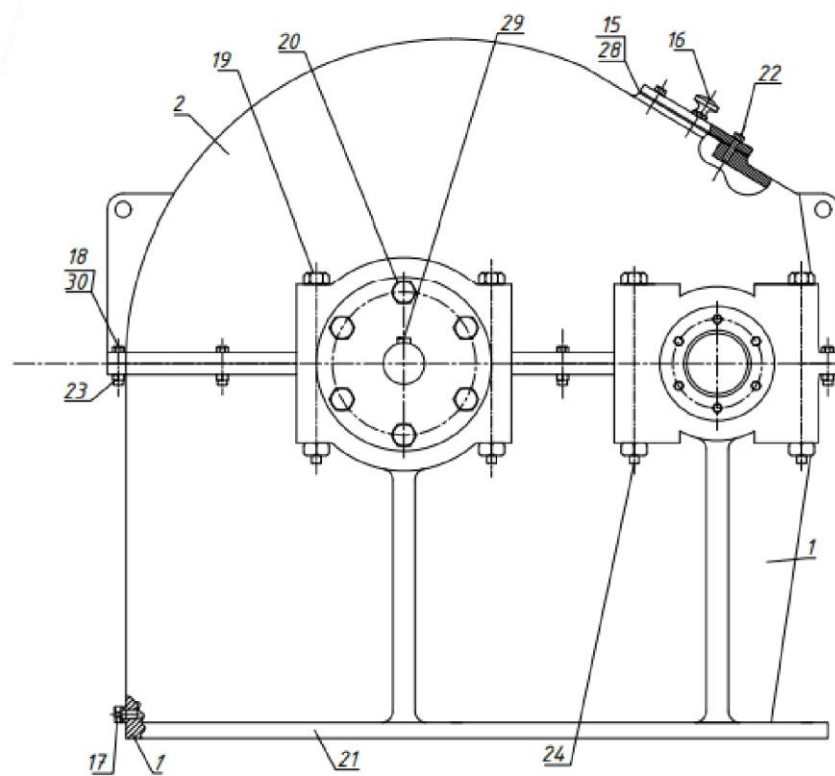
№ позиції	Найменування і позначення змащувального вузла	Найменування змащувального матеріалу	Кількість точок змащування	Спосіб нанесення мастила	Періодичність
1	Вузол опірною підшипника	Мастило ТАП-15 ГОСТ 23652-79	3	До місць змащування мастило потрапляє по системі вимушеного змащування від насоса	Зміну мастил проводити один раз на 6 місяців.
2	Підшипник електродвигуна	Згідно з інструкції заводу виробника			
3	Редуктор	Солідол М та мастило індустріальне 30 ГОСТ 20799-75	4	З'єднання змащуються за допомогою пресмастилок	Зміну мастил проводити один раз на 6 місяців
4	Підшипник електродвигуна вентилятора	Згідно з інструкції заводу виробника			

Інд. №	Підпис і дата	Взам. інв.	Інв. № дубл.	Підпис і дата	
НТУУ "КІП"		Операційна карта слюсарних, слюсарно-складальних та електромонтажних робіт			
		Найменування операції			
№		Монтаж редуктора			
№	№ част	Зміст переходу			
1	№ опер	Напресовуємо вал вхідний: підшипник, масловідбійне кільце, вал шестерні, дві опорні втулки			
			Технологічний режим	Кіл.	
			Прокладка	1	
			4-х елементна		
			Прокладка	1	
			огл. люку		
			Пробка	1	
			зливна		
			Гвинт М6х60	10	
			Гвинт М10х150	8	
			Гвинт М6х20	12	
			Гвинт М8х20	12	
			Гвинт М6х15	2	
			Гайка М6х60	10	
			Розроб.	Левченко В.М.	Арк.
			Перевір.	Борщук С.О.	2
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата	Н.контр.
					1

Обладнання (найменування, модель)







Редуктор циліндричний

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кільк.	Замітки
				<b><u>Документація</u></b>		
A3				Складальне креслення	1	
				<b><u>Деталі</u></b>		
		1		Корпус редуктора	1	
		2		Кришка редуктора	1	
		3		Вал вхідний	1	
		4		Вал вихідний	1	
		5		Зубчасте колесо	1	
		6		Втулка	1	
		7		Втулка	1	
		8		Кришка глуха	1	
		9		Кришка з отвором	1	
		10		Кришка глуха	1	
		11		Кришка з отвором	1	
		12		Масловідбійне кільце	2	
		13		Оглядовий люк	1	
		14		Отдушина	1	
		15		Прокладка вихідного валу	2	
		16		Прокладка вхідного валу	2	
		17		Прокладка чотирьох-елементна	1	
		18		Прокладка оглядового люку	1	
		19		Пробка зливна	1	

Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Левченко В.				Літ	Аркуш	Аркушів
Перев.							1	2
Керів.		Борщик С.						
Н.конт								
Затв.						КПІ ім. Ігоря Сікорського		



## 6.2 Автоматизація черв'ячного преса

### 6.2.1 Аналіз технологічного процесу виготовлення листів з ПЕНТ як об'єкта автоматизації

ПЕНТ - це термопластичний полімер, який широко використовується для виготовлення плівок, пляшок, волокон та інших виробів. Листи з ПЕНТ мають високу міцність, жорсткість, стійкість до температури, хімічних речовин та ультрафіолетового випромінювання. Для виготовлення листів з ПЕНТ застосовують процес екструзії, який полягає в нагріванні, пластифікації, формуванні та охолодженні полімерної суміші.

Основні етапи технологічного процесу виготовлення листів з ПЕНТ такі:

- Підготовка сировини. ПЕНТ подрібнюється на гранули або частинки, які перемішуються з необхідними добавками, такими як стабілізатори, пігменти, наповнювачі тощо.

- Екструзія. Сировина подається в екструдер, де вона нагрівається до температури плавлення (230-260 °C) і пластифікується. Потім вона просувається через плоску головку, яка формує її в лист товщиною від 0,1 до 2 мм. Швидкість екструзії залежить від властивостей ПЕНТ, температури, тиску, геометрії головки та інших параметрів.

- Охолодження. Лист з ПЕНТ проходить через каландрувальні валки, які забезпечують його рівномірне охолодження, вирівнювання та надання потрібної шорсткості поверхні. Температура охолодження впливає на кристалізацію, орієнтацію та механічні властивості листа.

- Нарізання. Лист з ПЕНТ ріжеться на певні розміри за допомогою ножиць або ножа, який рухається синхронно з листом. Нарізані листи складаються в пачки або намотуються в рулони для подальшого транспортування та зберігання.

Технологічний процес виготовлення листів з ПЕНТ є об'єктом автоматизації, оскільки він вимагає точного керування температурою, тиском, швидкістю, геометрією та якістю продукції. Автоматизація технологічного процесу виготовлення листів з ПЕНТ дозволяє підвищити продуктивність, зменшити

витрати сировини та енергії, покращити безпеку роботи та забезпечити стабільну якість виробів. Для автоматизації технологічного процесу виготовлення листів з ПЕНТ застосовують різні засоби, такі як датчики, контролери, приводи, регулятори, індикатори, інтерфейси тощо.

### **6.2.2 Автоматичне регулювання технологічного процесу**

Екструзія листів з ПЕНТ є одним з найпоширеніших способів виготовлення плоских виробів з цього полімеру. Екструзія полягає в тому, що полімерна суміш під тиском просувається через плоску головку, яка формує лист потрібної товщини і ширини. Після виходу з головки лист охолоджується і нарізається на певні розміри.

Автоматичне регулювання технологічного процесу екструзії листів з ПЕНТ полягає в тому, що керуючі впливи на об'єкт регулювання (екструдер, головка, каландрувальні валки, ножиці тощо) формуються на основі інформації про стан регульованих параметрів, яка отримується за допомогою вимірювальних пристроїв (термопар, манометрів, тахометрів, товщиномірів, шириномірів тощо).

Схему автоматизації процесу екструзії листів представлено на рисунку 6.1.

Для забезпечення якості листів з ПЕНТ необхідно підтримувати постійними або змінювати за певним законом такі параметри технологічного процесу, як:

- температура полімерної суміші в екструдері і головці;
- тиск полімерної суміші в екструдері і головці;
- швидкість екструзії листа;
- температура охолодження листа;
- товщина і ширина листа.

Ці параметри впливають на кристалізацію, орієнтацію, механічні, термічні, оптичні та інші властивості листа .

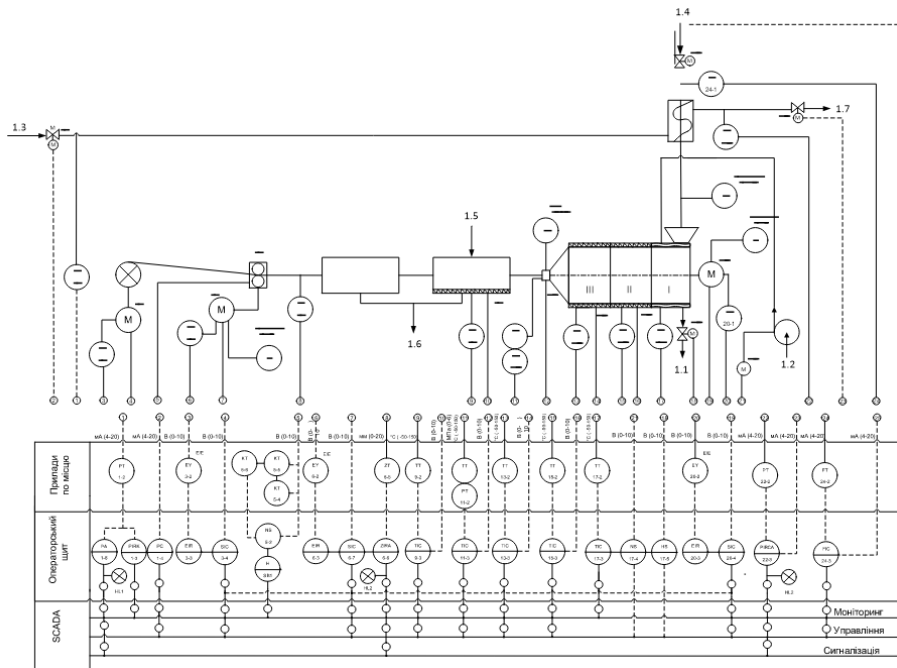


Рисунок 6.1 – Схема автоматичного контролю черв'ячного екструдера

Таблиця 6.1 – Основні параметри та їх характеристики для автоматизації процесу

Найменування сигналу	Діапазон вимірювання	Од. вимірювання	Тип сигналу
Тиск пари на вході осушувача	0...30	МПа	4...20 мА
Тиск пари на виході осушувача	0...30	МПа	4...20 мА
Верхній граничний тиск на вході в осушувач	-	МПа	4...20 мА
Нижній граничний тиск на виході в осушувач	-	МПа	4...20 мА
Тиск в формуючій головці	0...50	МПа	4...20 мА
Температура в резервуарі з гарячою водою	0...70	°С	4...20 мА
Команда запуску\відключення нагрівача	-		4...20 мА
Температура в формуючій головці	0...450	°С	4...20 мА
Команда запуску\відключення нагрівача	-		4...20 мА
Температура в 1 зоні екструдера	0...450	°С	4...20 мА
Команда запуску\відключення охолодження	-		4...20 мА
Температура в 2 зоні екструдера	0...450	°С	4...20 мА
Команда запуску\відключення нагрівача	-		4...20 мА
Температура в 3 зоні екструдера	0...450	°С	4...20 мА
Команда запуску\відключення охолодження	4...20	мА	----
Витрата сипучого матеріалу	0...20000	Кг/год	4...20 мА

Стан вхідної задвижки осушувача для сипучого матеріалу	0...100	%	4...20 мА
Стан вхідної задвижки осушувача для пари	0...100	%	4...20 мА
Стан вихідної задвижки осушувача для пари	0...100	%	4...20 мА
Стан задвижки відведення етиленгліколя з 1 циліндра	0...100	%	4...20 мА
Команда вхідної задвижки для сипучого матеріалу	-		4...20 мА
Команда відкриття\закриття вхідної задвижки для пари	-		4...20 мА
Команда відкриття\закриття вихідної задвижки для пари	-		4...20 мА
Команда відкриття\закриття вихідної задвижки для охолодження	-		4...20 мА
Значення діаметра нитки	0...10	Мм	4...20 мА
Верхнє граничне значення відхилення діаметра нитки	-		4...20 мА
Нижнє граничне значення відхилення діаметра нитки	-		4...20 мА
Швидкість обертання двигуна 1	0...7000	об/хв	4...20 мА
Швидкість обертання двигуна 2	0...7000	об/хв	4...20 мА
Швидкість обертання двигуна 3	0...7000	об/хв	4...20 мА
Команда зміни швидкості обертання двигуна 1	-		4...20 мА
Команда зміни швидкості обертання двигуна 2	-		4...20 мА
Команда зміни швидкості обертання двигуна 3	-		4...20 мА

### 6.3 Стартуп-проект

У сучасному світі, де зростає усвідомлення екологічних проблем та прагнення до використання відновлюваних джерел енергії, SolFlex Innovations стоїть на передових рубежах розробки гнучких сонячних панелей. Наш стартап виходить за межі стандартного підходу до виробництва сонячних елементів, пропонуючи новаторське рішення, що поєднує в собі гнучкість, високу ефективність та стійкість.

SolFlex Innovations зосереджується на розробці гнучких сонячних панелей, які можуть бути легко інтегровані в різноманітні побутові та промислові застосування. Наші продукти відкривають нові можливості для використання сонячної енергії, забезпечуючи ефективне та стильне рішення для виробництва електроенергії в будь-яких умовах.

Гнучкість наших сонячних панелей дозволяє їм легко адаптуватися до різних форм та поверхонь, що відкриває безліч застосувань у вигляді рухомих елементів, вбудованих систем електропостачання, транспортних засобів та багато іншого. SolFlex Innovations прагне створити енергетично-ефективне майбутнє, в якому використання сонячної енергії стає доступним та простим для кожного.

У даному розділі буде проведено всебічний аналіз стартапу SolFlex Innovations, включаючи оцінку ринкових умов, стратегію розвитку, визначення конкурентних переваг та розробку маркетингового плану. Детально висвітлено фактори, які впливають на конкурентоспроможність даного проєкту, а також проведено дослідження його потенціалу для відповіді на потреби цільової аудиторії.

SolFlex Innovations приділяє особливу увагу досягненню чистої води та санітарії (ЦСР 6) через використання гнучких сонячних панелей для живлення систем очищення води. Такий підхід сприяє забезпеченню доступу до безпечної води та покращенню санітарних умов, особливо в регіонах з обмеженим доступом до енергії.

Через використання гнучких сонячних панелей SolFlex у промисловості та комерційному будівництві, стартап допомагає досягти чистої енергії та доступності (ЦСР 7). Це сприяє зменшенню викидів CO<sub>2</sub> та енергетичній ефективності, що є важливим для сталого розвитку.

Зокрема, SolFlex Innovations сприяє інноваціям та інфраструктурному розвитку (ЦСР 9), представляючи реальні рішення для використання сонячної енергії в різних галузях. Це включає в себе застосування сонячних панелей для живлення систем водопостачання, освітлення та інших інфраструктурних потреб.

За допомогою своїх технологій SolFlex Innovations також здійснює внесок у зменшення енергетичних нерівностей (ЦСР 10), дозволяючи різним групам населення використовувати відновлювану енергію та знижуючи їх енергетичні витрати.

Стартап спрямований на запобігання змінам клімату (ЦСР 13), пропонуючи реальні та ефективні рішення для використання чистої енергії та зменшення вуглецевого сліду виробництва.

Загалом, SolFlex Innovations впроваджує практичні інновації, які враховують потреби сьогодення та сприяють досягненню конкретних цілей сталого розвитку.

Ці цілі підтверджують важливість та актуальність нашого проєкту, оскільки він спрямований на вирішення екологічних та кліматичних проблем шляхом впровадження ефективних технологій у виробництво цементу.

SolFlex Innovations спрямований на реалізацію своїх інновацій на наступних трьох ринках:

Ринок комерційної нерухомості (Ринок А):

SolFlex пропонує гнучкі сонячні панелі для інтеграції в комерційних будівлях. Це включає в себе офісні будівлі, торгові центри, готелі та інші комерційні об'єкти, де можна використовувати сонячну енергію для зменшення витрат на електроенергію та підвищення енергетичної ефективності.

Ринок промисловості (Ринок В):

SolFlex розширює свої можливості на промисловий сектор, де гнучкі сонячні панелі можуть бути використані для живлення виробничих процесів, зменшення викидів в атмосферу та оптимізації витрат електроенергії в промислових комплексах.

Ринок житлової нерухомості (Ринок С):

SolFlex орієнтується на ринок житлової нерухомості, пропонуючи гнучкі сонячні панелі для використання в житлових будинках. Це спрямовано на забезпечення власників житла чистою та відновлюваною енергією, а також на підвищення енергетичної ефективності житлових приміщень.

Таким чином, SolFlex Innovations активно експансується на різні ринки, пропонуючи різноманітні рішення для комерційної, промислової та житлової сфер.

Ми маємо намір представити на ринок гнучкі сонячні панелі під назвою SolFlex Innovations, які стануть новаторським рішенням для використання відновлюваної енергії. Планується вивести на ринок наш стартап шляхом партнерства з лідерами у відповідній галузі та запуску просувальних кампаній, що підкреслять переваги наших гнучких сонячних панелей.

Наша команда прагне забезпечити ефективне використання сонячної енергії у різноманітних сферах. Основною стратегією є підтримка наших клієнтів у переході до сталого виробництва та використання екологічно чистих технологій. Ми плануємо активно впроваджувати принципи сталого виробництва та екологічної відповідальності в промисловість гнучких сонячних панелей, сприяючи зменшенню вуглецевого сліду та використанню чистої енергії виробничих процесів.



Рисунок 6.2 – Логотип стартап-проекту

Таблиця 6.2 представляє бізнес-план, згідно якого планується впроваджуватися наш стартап. Як ми можемо бачити, наша ідея має широкий обсяг застосування, що і відображено і у таблиці. Заплановані впровадження технологій та використання нашої продукції можуть мати позитивний вплив для різних сегментів ринку.

Таблиця 6.2 – Бізнес ідея стартап-проект

Ідея	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розробка гнучких сонячних панелей для використання відновлюваної енергії	1. Комерційна нерухомість (офісні будівлі, торгові центри, готелі)	Зменшення витрат на електроенергію, підвищення енергетичної ефективності
	2. Промисловість (виробничі комплекси)	Оптимізація витрат електроенергії, зменшення викидів CO <sub>2</sub>
	3. Житлова нерухомість	Чиста та відновлювана енергія для власників житла, підвищення енергетичної ефективності
	4. Аграрний сектор (ферми, тепличні комплекси)	Зменшення витрат на електроенергію, енергозбереження
	5. Сфера освітлення та інфраструктури	Забезпечення чистою енергією для освітлення та інших потреб
	6. Громадські об'єкти та міська інфраструктура	Розширення можливостей для використання відновлюваної енергії, зменшення енергетичних витрат
	7. Технологічні стартапи та інноваційні компанії	Інтеграція з передовими технологіями, покращення сталості та розвитку

Наведена нижче таблиця розглядає ключові аспекти ідеї нашого стартапу SolFlex Innovations у порівнянні з конкурентами. Оцінка враховує екологічну чистоту, якість, ефективність, рівень інновацій та підтримку для замовників.

Таблиця 6.3 – Порівняльний аналіз стартапів

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	Мій проєкт	Конкурент 1	Конкурент 2	Конкурент 3
1	Екологічна чистота	S	N	W	N
2	Висока якість	S	N	S	S
3	Ефективність	S	W	W	N
4	Інновації	S	N	S	N
5	Підтримка замовників	S	N	N	S

Примітка: W (слабка сторона), N (нейтральна сторона), S (сильна сторона)

### Висновки:

SolFlex Innovations орієнтований на широкий спектр сегментів ринку, забезпечуючи вигоди для комерційної нерухомості у вигляді зменшення витрат на

електроенергію та підвищення енергетичної ефективності, для промисловості – оптимізацію витрат електроенергії та зменшення викидів CO<sub>2</sub>, для житлової нерухомості – надання власникам чистої та відновлюваної енергії та підвищення енергетичної ефективності. Аграрний сектор отримує можливість зменшення витрат на електроенергію та енергозбереження. Сфера освітлення та інфраструктури отримує нові можливості для використання відновлюваної енергії. Громадські об'єкти та міська інфраструктура можуть розширити можливості для використання чистої енергії та зменшення енергетичних витрат.

### 6.3.1 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту

Вивчення ринкових можливостей виявляється невід'ємним етапом при оцінці перспектив запуску нашого стартап-проєкту [17]. У таблиці 6.4 наведено попередню характеристику потенційного ринку для нашого проєкту. Цей аналіз визначає основні показники стану ринку та його ключові характеристики, що надасть можливість зробити висновки про його привабливість та можливості для успішного входу на нього.

Таблиця 6.4 – Попередня характеристика запуску проєкта

№ п/п	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гравців (од)	5
2	Загальний обсяг продаж	Прогнозується великий попит у сферах комерційної нерухомості, промисловості та інших сегментах, очікується збільшення обсягів у продажах з року в рік.
3	Динаміка ринку	Річний зріст використання сонячної енергії та гнучких панелей становить понад 15%, що свідчить про стабільний розвиток ринку.
4	Наявність обмежень для входу	Високі витрати на вході та технічна складність можуть становити бар'єри, проте нові технології зменшують ці обмеження.

5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Стандарти високої екологічної чистоти та ефективності дозволяють отримати позитивну реакцію споживачів та ринкових учасників.
6	Середня норма рентабельності по ринку	Приблизно 20% рентабельність в сферах застосування сонячних панелей.

Ринок для входу стартапу SolFlex Innovations є привабливим і обіцяючим, оскільки відзначається обмеженою конкуренцією (5 основних гравців), великим загальним обсягом продажів у різних сегментах, стійким ростом використання сонячної енергії, а також високими стандартами екологічної чистоти та ефективності. Нові технології можуть зменшити обмеження для входу, хоча високі витрати та технічні труднощі можуть залишатися бар'єрами. Середня рентабельність на ринку становить приблизно 20%, забезпечуючи привабливий рівень інвестиційної привабливості. При цьому слід враховувати конкурентний тиск, необхідність в сертифікації та постійний моніторинг динаміки ринку.

Один із важливих етапів в оцінці можливостей стартап-проекту полягає в детальному аналізі потенційних замовників та їх вимог до продукту. У таблиці 6.5 представлені характеристики цільової аудиторії та різноманітні вимоги різних сегментів клієнтів, що визначають особливості їх поведінки на ринку та відмінності в сприйнятті продукту.

Таблиця 6.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Поведінка цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Зелена енергія та висока ефективність	Комерційні будівельні компанії	Великі обсяги та вимоги до енергоефективності	Висока ефективність, інтеграція зелених технологій
2	Споживання енергії відновлювального джерела	Промислові підприємства	Потужність та надійність для великих виробничих потреб	Стабільність роботи, легкість обслуговування

3	Оптимізація використання енергії в господарствах	Сільсько-господарські підприємства	Потреба у системах, що пристосовані до роботи в аграрному середовищі	Спеціалізовані рішення, витривалість у роботі в сільському господарстві
4	Впровадження зелених технологій в освітніх закладах	Університети та навчальні установи	Енергоефективність та навчання студентів екологічності	Інтеграція з освітніми програмами, відповідність екологічним стандартам
5	Розвиток зручних енергетичних рішень для домогосподарств	Індивідуальні споживачі	Прагнення до зменшення власних витрат та вибір екологічно чистих опцій	Простота використання, економічність, естетика

Дослідження вказує на перспективність стартап-проекту SolFlex Innovations на ринку, оскільки його інноваційний продукт - гнучкі сонячні панелі - знаходить широке застосування в будівельній галузі, сільському господарстві та освітній сфері. Це відкриває нові можливості для розвитку проекту. Значущою є також доступність технологій, які вже існують на ринку. Для досягнення конкурентоспроможності на ринку, проект повинен володіти унікальністю продукту та стратегією, яка відповідає потребам та уподобанням споживачів. Це включає виробництво продукції з важливими конкурентними перевагами, такими як висока якість, інноваційність та персоналізований сервіс. Аналіз конкуренції та урахування характеристик ідеї проекту (таблиця 6.3) та вимог споживачів до товару (таблиця 6.4) дозволяють визначити та обґрунтувати перелік факторів конкурентоспроможності[18]. Результати аналізу оформлюються в таблицю 6.6.

Таблиця 6.6. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Унікальність продукту або послуги	Споживачі визнають особливі характеристики нашого продукту, визначені його новаторськими технологіями та унікальними властивостями, які складно відтворити. Це дає їм перевагу у виборі постачальника, оскільки наш продукт виходить за рамки звичайних стандартів і відповідає їхнім потребам та очікуванням.

2	Надійність продукту або послуги	Для споживачів важлива висока якість виготовлення сонячних панелей або надання послуг, що відповідає їхнім вимогам. Це включає відповідність стандартам, точність та здатність задовольняти їхні потреби.
3	Цінова конкурентоспроможність	Клієнти оцінюють конкурентоспроможність цін порівняно з іншими виробниками на ринку та можливість альтернативних цінових пропозицій. Вони розглядають оптимальне співвідношення ціни та якості.
4	Маркетинг та брендінг	Наша ефективна рекламна кампанія та відомий бренд збільшують впізнаваність компанії та надають споживачам впевненість у якості наших сонячних панелей.
5	Доступність на ринку	Споживачі цінують ефективну рекламну кампанію та підтримку бренду, яка забезпечує відомість виробника та створює впевненість у якості продукту чи послуги.
6	Обслуговування та підтримка	Якість обслуговування після продажу та клієнтська підтримка є важливою для споживачів, оскільки вони розраховують на гарантії та сервісні послуги, які підтримають їхні покупки.
7	Ефективність операцій	Споживачі оцінюють ефективність процесів виробництва та постачання, оскільки це впливає на якість продукту, витрати та можливість підтримувати конкурентоспроможні ціни. Зменшення витрат та підвищення продуктивності дозволяють нам зберігати конкурентоспроможність на ринку.
8	Взаємодія з клієнтами	Задоволеність та лояльність клієнтів стають ключовими факторами, що впливають на нашу конкурентоспроможність. Ми виявляємо здатність адаптуватися до потреб клієнтів та надаємо персоналізовану підтримку, що сприяє збереженню їхньої лояльності та впевненості у наших послугах та продуктах.

Аналіз факторів конкурентоспроможності виявив ключові аспекти, що визначають успішність підприємства на ринку. Наш стартап, який розробляє інноваційні сонячні панелі, має унікальні технології та особливості, що створюють конкурентну перевагу. Висока якість та надійність наших сонячних панелей сприяють привабливості для клієнтів. Крім того, ми встановлюємо правильне ціноутворення, маємо успішний бренд та рекламу, що впливають на вибір споживачів. Надаючи адаптоване післяпродажне обслуговування та демонструючи ефективність у виробництві, ми важливо впливаємо на лояльність клієнтів та підтримуємо конкурентоспроможність.

Таблиця 6.7 надає порівняльний аналіз сильних та слабких сторін наших сонячних панелей порівняно з конкурентами за ключовими факторами конкурентоспроможності, оціненими за 20-бальною шкалою. Рейтинг наших сонячних панелей у порівнянні з конкурентами визначено за трьома категоріями: від -3 до +3, відображаючи негативні, нейтральні та позитивні позиції[19].

Таблиця 6.7 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін SolFlex

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1- 20	Рейтинг товарів –конкурентів у порівнянні з SolFlex						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Унікальність продукту або послуги	16			■	▼	—		
2	Надійність продукту або послуги	15				■	▼—		
3	Цінова конкуренто спроможність	14			▼	—■			
4	Маркетинг та брендінг	17			—	▼■			
5	Доступність на ринку	15			—	▼	■		
6	Обслуговування та підтримка	18			—	■	▼		
7	Ефективність операцій	14			—	■	▼		
8	Взаємодія з клієнтами	18			▼—	■			

Примітка: — - конкурент А, ▼ - конкурент В, ■ - конкурент С

З аналізу таблиці 6.7 видно, що SolFlex має ряд суттєвих конкурентних переваг у порівнянні з конкурентами. Найсильнішими сторонами продукту є унікальність продукту та послуги, маркетинг та брендінг, а також обслуговування та підтримка. Ці аспекти вказують на високу конкурентоспроможність SolFlex в ринковому середовищі.

З іншого боку, є певні аспекти, які можуть вимагати уваги та поліпшень. Наприклад, цінова конкурентоспроможність та ефективність операцій потребують удосконалення для забезпечення кращого конкурентного положення. Додатково, взаємодія з клієнтами може стати більшою перевагою, якщо буде акцентована на взаємодію з аудиторією.

Отже, для подальшого успіху SolFlex рекомендується зосередитися на поліпшенні цінової конкурентоспроможності та ефективності операцій, а також акцентувати увагу на взаємодії з клієнтами, з метою підвищення конкурентоспроможності та задоволення потреб ринку.

Завершаючий етап нашого аналізу ринку та можливостей впровадження стартап-проекту є розробка SWOT-таблиці (матриця, яка складається з аналізу сильних, слабких сторін, можливостей та загроз) (табл. 6.8).

Таблиця 6.8 – SWOT-аналіз SolFlex

<b>Сильні сторони</b> 1. Унікальність 2. Маркетинг та брендинг 3. Обслуговування та підтримка	<b>Слабкі сторони</b> 1. Цінова конкурентоспроможність 2. Ефективність операцій 3. Взаємодія з клієнтами
<b>Можливості</b> 1. Ринкові можливості 2. Технологічний прогрес 3. Партнерство та стратегічні альянси	<b>Загрози</b> 1. Конкуренція 2. Зміни у регулюванні 3. Економічні труднощі

SWOT-аналіз стартапу "SolFlex" вказує на декілька ключових позитивних аспектів, таких як унікальність продукту, сильний маркетинг та висока якість обслуговування. Для подальшого розвитку слід акцентувати увагу на поліпшенні цінової конкурентоспроможності та ефективності операцій, підвищенні персоналізації та взаємодії з клієнтами. Розширення на нові ринки та використання новітніх технологій також можуть сприяти стабільному росту та уникненню можливих загроз.

### 6.3.2 Розроблення ринкової стратегії проекту

Перший крок для розроблення ринкової стратегії – розроблення стратегії охоплення ринку, а саме опис цільових груп потенційних споживачів (табл. 6.9) [21].

Таблиця 6.9 – Стратегія охоплення ринку

№ п/п	Опис профілю цільової групи	Готовність сприйняти продукт	Орієнтований попит	Інтенсивність конкуренції	Простота входу в сегмент
1	Малий бізнес - офісні приміщення	Висока	Середній	Середній	Середня
2	Фітнес-центри та спортивні клуби	Середня	Високий	Низький	Висока
3	Ресторани та кафе	Середня	Високий	Середній	Середня
4	Медичні установи та клініки	Висока	Середній	Середній	Низька

5	Освітні заклади та навчальні центри	Висока	Середній	Низький	Середня
---	-------------------------------------	--------	----------	---------	---------

Серед п'яти наведених груп споживачів можна виокремити дві групи, які можуть бути привабливими для стратегічного входу на ринок (обрано стратегію диференційованого маркетингу):

**Фітнес-центри:** Ця група може зацікавитися оптимізацією своїх послуг, зробивши їх привабливими для клієнтів. А той факт, що впровадження оптимальних рішень з використання «зеленої енергетики» є популярним серед здорового та спортивного прошарку населення підвищує шанси на успішну імплементацію даного проєкту.

**Медичні установи:** враховуючи їхню готовність до інновацій та використання додаткових безкоштовних джерел енергії, вони можуть бути зацікавлені в засобах для поліпшення обслуговування пацієнтів.

Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку (табл. 6.10).

Таблиця 6.10 – Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проєкту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції	Базова стратегія розвитку
1	Масове просування продукту шляхом реклами в соціальних мережах та медіа, нативної реклами в культурних продуктах	Інтеграція реклами в соціальних мереж та засобах масової інформації. Основні канали комунікації: соцмережі, відеохостинги, співпраця з лідерами думок та інфлюенсерами, реклама в кіно та іграх.	<p>Всеохопність аудиторії</p> <p>Демонстративність і наочність презентативного контенту</p> <p>Велика помітність і доступність для пересічного споживача</p>	Стратегія диференціації

Стратегія масового просування продукту шляхом реклами в соцмережах та медіа, нативної реклами в культурних продуктах має на меті активне залучення аудиторії через популярні та актуальні канали зв'язку. Обрана альтернатива має всі шанси для того, щоб зацікавити потенційних споживачів нашого продукту завдяки різноманітним форматам реклами та тісній співпраці з лідерами думок. Такий підхід, за очікуваннями, сприятиме стрімкому просуванню на ринку та матиме позитивний вплив аудиторії на обізнаність про новий продукт.

### **6.3.3 Висновки**

Можливості комерціалізації на ринку: Ретельний аналіз ринку та його динаміки демонструє попит на пропонований продукт чи послугу. Перспективи рентабельності на ринку виглядають обіцяюче, особливо з огляду на відповідність проекту сучасним екологічним та економічним вимогам.

Перспективи впровадження: Існують обіцяючі перспективи впровадження проекту, оскільки існують чіткі цільові групи клієнтів. Аналіз бар'єрів входження свідчить про можливість їх подолання в майбутньому. Навіть при наявності конкуренції на ринку, проект має свої унікальні конкурентні переваги, що можуть забезпечити йому перевагу.

Обрана стратегія ринкової реалізації: Обрана стратегія впровадження стартап-проекту є цілеспрямованою і враховує переваги ринкової стратегії, зосередженої на потребах та особливостях цільових груп споживачів, конкурентній обстановці та можливостях впровадження.

Доцільність подальшої імплементації проекту: З урахуванням усіх аспектів, подальша реалізація проекту є виправданою. Робота над стартап-проектом вартує уваги та інвестицій, оскільки в ньому міститься великий потенціал для успіху на ринку, враховуючи аналіз ситуації та стратегічного планування.

Узагальнено, стартап-проект виявляє перспективи успішної комерціалізації на ринку, і його подальша імплементація є доцільною з урахуванням зазначених висновків та аналізу ринкових умов.

## 6.4 Охорона праці

Згідно із законодавством, що регулює охорону праці, виробничі потужності, обладнання та технологічні процеси повинні відповідати стандартам безпечних умов праці.

Тема дипломного проекту звучить як "Лінія для виробництва полімерних листів з модернізацією екструдера". Цей проект призначений для оптимізації обробки структурних термопластів та композицій на їх основі. Оператор встановлює параметри та керує процесами. У цеху, де розташована робоча панель на відстані 3 метрів від живильника, площа цеху складає  $S = 700 \text{ м}^2$ , а об'єм  $V = 4200 \text{ м}^3$ . Усі розроблені машини та обладнання повинні відповідати вимогам безпеки та виробничої гігієни.

Розділ, присвячений охороні праці, охоплює такі питання: правовий захист працівників, усунення причин травматизму та профілактика професійних захворювань, нещасні випадки на виробництві та інші важливі аспекти. До шкідливих та небезпечних факторів виробництва входять:

- якість повітря на робочій зоні;
- належне промислове освітлення;
- заходи пожежної безпеки;
- дотримання електробезпеки.

### 6.4.1 Повітря робочої зони

Робота операторів вважається фізично важкою, оскільки вони працюють з мобільною установкою протягом двох змін в умовах постійного шуму та пилу. Ця діяльність також є виснажливою, оскільки енергія, витрачена організмом, може перевищувати 293 Вт, тому робітникам потрібне спеціальне приміщення для відпочинку.

У таблиці 6.11, згідно з ГОСТ 12.1.005 – 88, вказані параметри температури, вологості та швидкості повітря в робочій зоні для даного виду діяльності.

Таблиця 6.11 – Стандарти умов праці за ГОСТ 12.1.005-88

Категорія робіт - III					
Температура, °С		Відносна вологість, %		Швидкість руху повітря, м/с	
Оптимальна	Фактична	Оптимальна	Фактична	Оптимальна	Фактична
19-25	19-20	Не більше 75	40-66	Не більше 0,2	0,2
19-25	20-25	Не більше 75	40-70	Не більше 0,2	0,2

Мікрокліматичні параметри влітку регулюються за допомогою вентиляції, а взимку – температурою водних теплоносіїв, що знаходиться в межах 70 – 90 °С. Згідно з ДСН В.2.5 – 67: 2013, під час роботи пильниці важливо забезпечити герметичність для ізоляції продуктів, таких як випаровування трансформаторної оливи та пил солей.

#### 6.4.2 Освітлення

Виробничі приміщення освітлюються природним світлом протягом світлої пори доби. Для забезпечення достатнього рівня освітленості використовується бокове освітлення через світлові отвори в зовнішніх стінах.

Спостереження за технологічним процесом, зокрема робота з обслуговування обладнання, відповідно до ДБН В.2.5 - 28:2018, віднесено до розряду VI, підрозряду «а». Освітленість робочої зони оператора повинна становити  $E_{нор} = 150$  лк.

Розрахунок освітлення проводиться для темної пори доби, оскільки обладнання працює в 3 зміни, а виробництво є безперервним. На підприємстві використовуються загальне освітлення люмінесцентними лампами ЛДЦ-40, потужність яких складає 40 Вт, а світловий потік  $F = 2100$  лм при освітленні  $E_f = 100$  лк.

За допомогою методу коефіцієнта використання світлового потоку розраховуємо загальне освітлення горизонтальної поверхні для ламп будь-якого

типу. У вирішенні задачі використовуються лампи зі світловим потоком  $F = 8300$  лм, типу лампи накаливання Г, потужність 500 Вт, напруга 220 В. Таким чином, фактична освітленість  $E_f = 170$  лк, і загальна кількість лампочок складає 40 штук, що відповідає вимогам ДБН В.2.5 - 28:2018.

### 6.4.3 Пожежна безпека

Під час виробництва полімерної плівки на технічній лінії можуть виникнути різні джерела пожежної небезпеки, такі як:

- Машинна олива;
- Замашенна ганчірка;
- Електричне обладнання;
- Електропроводка.

Оскільки матеріал – полімер, може спалахнути при перевищенні температури порогового значення. При температурі більше  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$  можливе спалахування таких речовин як формальдегід, ацетальдегід, ацетон, метиловий спирт, кетони, окис, двоокис вуглецю. При температурі більше  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  - кислоти, ефіри, альдегіди, перекисні сполуки.

Виробниче приміщення, де розташована виробнича лінія, відноситься до категорії «В» згідно з ДСТУ Б В.1.1-36:2016 і класу зони П-Іа (ПУЕ), що відповідає ступеню вогнестійкості III згідно з ДБН В.1.1-7:2016.

Основні причини пожежі можуть включати несправність електрообладнання, струмові перевантаження, великі перехідні опори та іскри під час електро- та газозварювальних робіт.

Для запобігання пожежі слід використовувати вогнетривкі матеріали та вживати організаційні заходи.

У разі пожежі для гасіння використовують порошкові вогнегасники САМ-9 (84 шт.) та ОП-10 (10 шт.) для гасіння електромереж.

На вогнегасниках повинні бути чіткі позначення, такі як товарний знак заводу-виробника, маса балона, номер балона по системі нумерації підприємства-виробника, робочий тиск та пробний гідравлічний тиск, дата виготовлення

(випробування) і рік наступного випробування, об'єм балона, вид термообробки та клеймо ОТК.

В разі пожежі спрацьовує теплова сигналізація, така як аварійні теплові прилади. Згідно з СНиП 2.09.02-85, в приміщенні повинні бути два евакуаційні виходи, а шляхи евакуації повинні мати ширину не менше одного метра, двері на маршруті евакуації - не менше 0,8 м.

#### 6.4.4 Електробезпека

Оскільки установка може розташовуватися на відкритому повітрі, відповідно до Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), вона вважається особливо небезпечною, оскільки на обладнання можуть впливати природні фактори.

Устаткування живиться трифазною напругою 220/380 В та частотою 50 Гц. З огляду на це, існує ризик потрапляння напруги на робочий персонал, тому її необхідно заземлити. Схема заземлення наведена на рисунку 6.3, відповідно до Державного стандарту України Б В.2.5-82:2016.

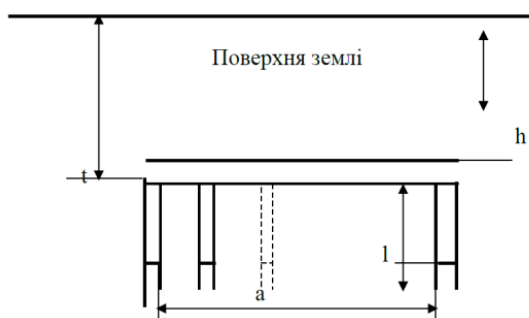


Рисунок 6.3 – Схема заземлення

Для забезпечення електробезпеки рекомендується:

а) в робочому режимі:

забезпечення недосяжності струмопровідних частин (ізоляція, розташування на недосяжній висоті більше 2,5 м, огорожа);

наявність маркувань на електричних частинах устаткування (фарбування, надписи, позначення);

подвійна ізоляція;

б) в аварійному режимі:

Забезпечення електробезпеки при проектуванні апаратів на виробництві є важливим чинником, оскільки це визначає безпеку робочого персоналу. Всі заходи проведені відповідно до Державного стандарту України Б В.2.5-82:2016.

## 7 МОДЕРНІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ

### 7.1 Розробка 3D-моделі базової і модернізованої деталі

Побудова та розрахунки деталей базової та модернізованої конструкції шнека були виконані за допомогою програмного продукту SolidWorks.

1. Створюємо ескіз профілю черв'яка.

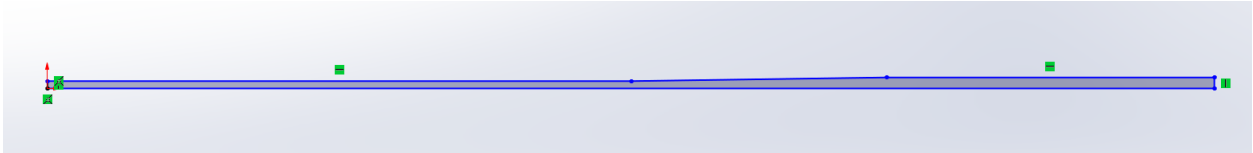


Рисунок 7.1 – ескіз профілю черв'яка

2. Видавлюємо ескіз обертанням

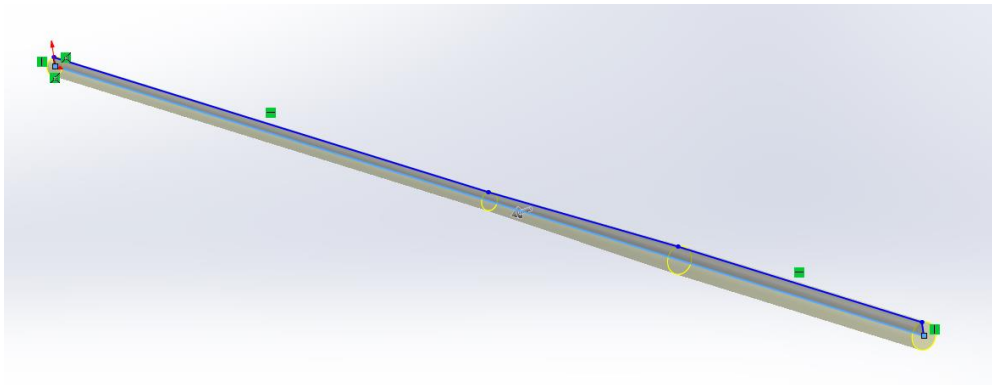


Рисунок 7.2 – видавлений профіль

3. Виконуємо нарізку за допомогою створення 3D-спіралі та вказування профіля майбутньої нарізки

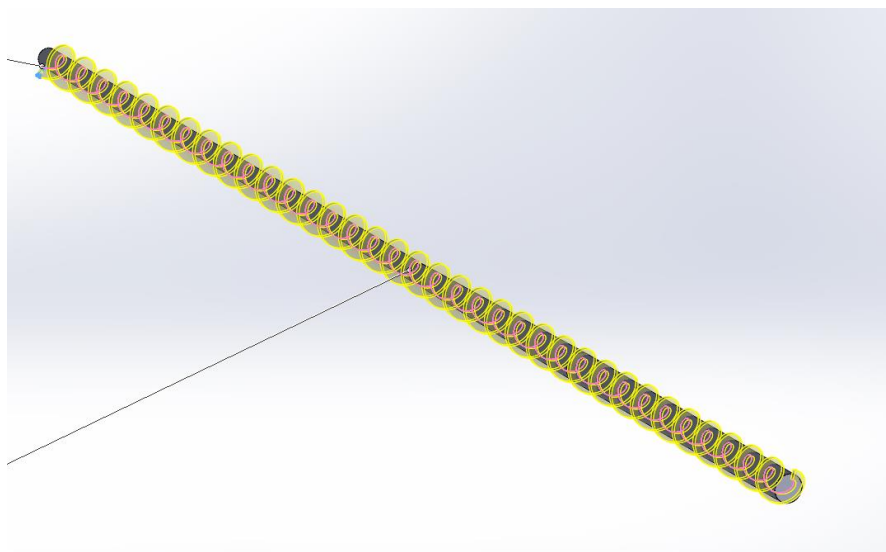


Рисунок 7.3 – видавлена нарізка

4. Побудуємо хвостовик

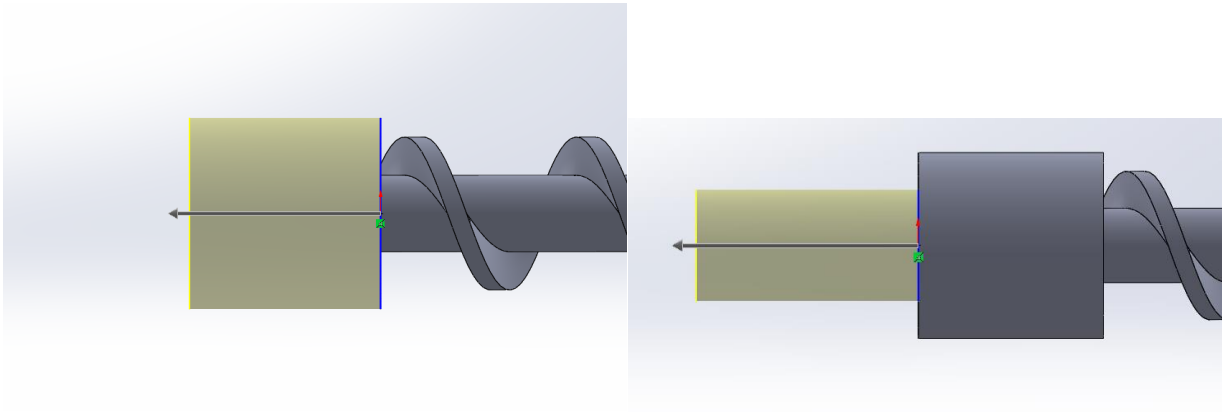


Рисунок 7.4 – побудова хвостовика

5. Створюємо ескіз шліців для хвостовика, видавлюємо.

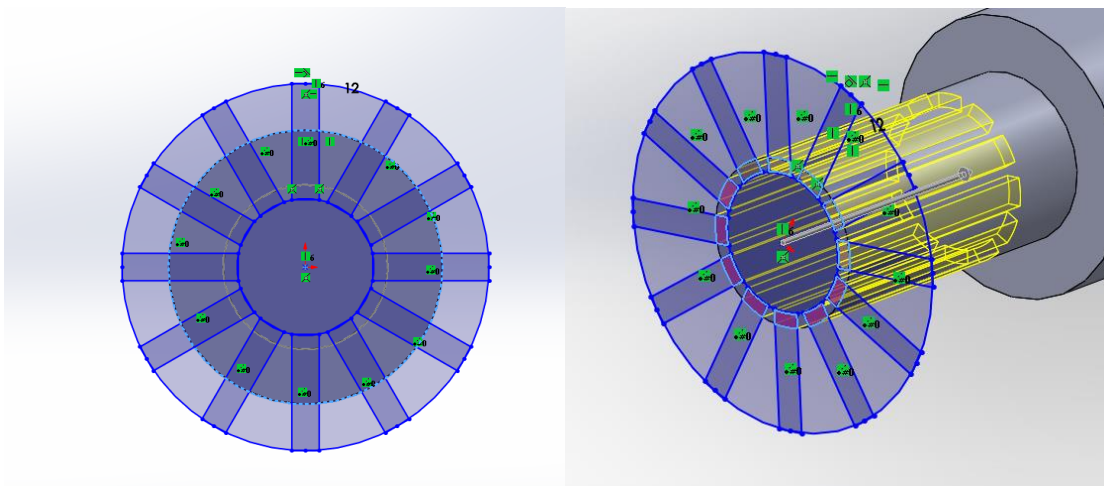


Рисунок 7.5 – побудований хвостовик

6. Створюємо кінцевик: будуємо ескіз і видавлюємо обертанням

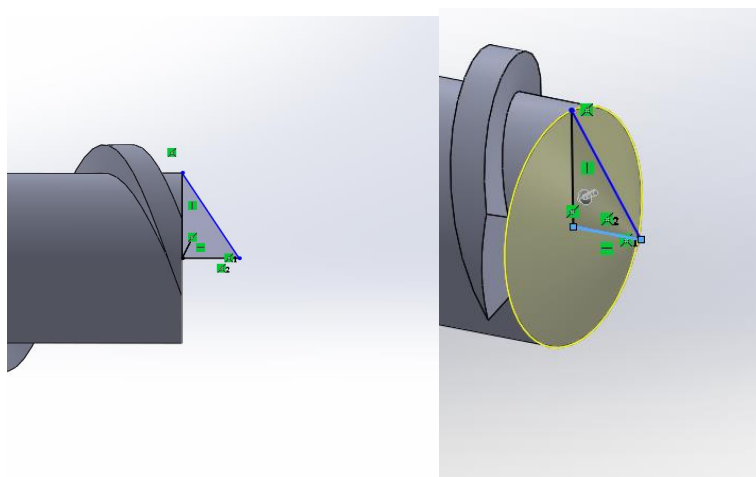


Рисунок 7.6 – виконання хвостовика

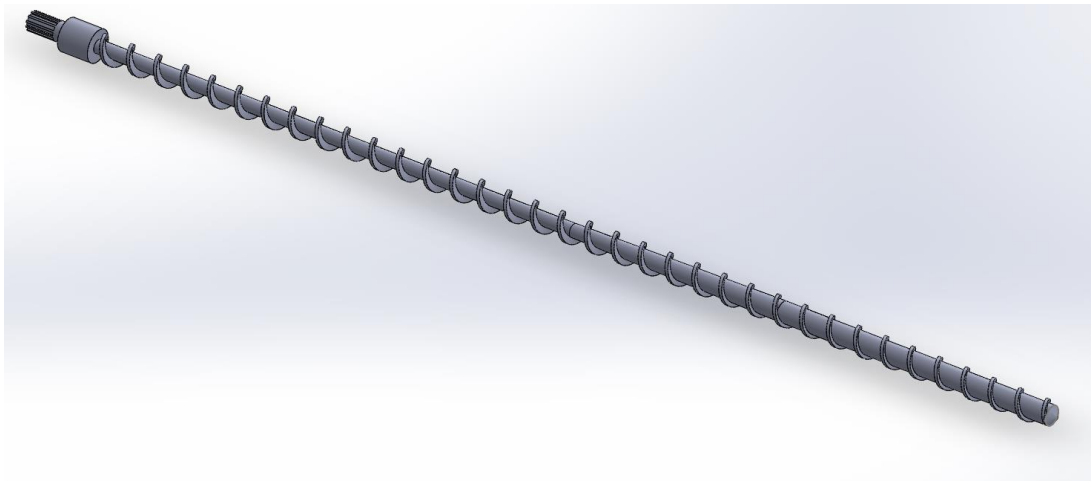


Рисунок 7.7 - Готова модель базової конструкції черв'яка.

Для модернізованого креслення шнека скористаємося тим самим алгоритмом побудови, з однією відмінністю - будемо ескіз повздовжніх шліців, вирізаємо.

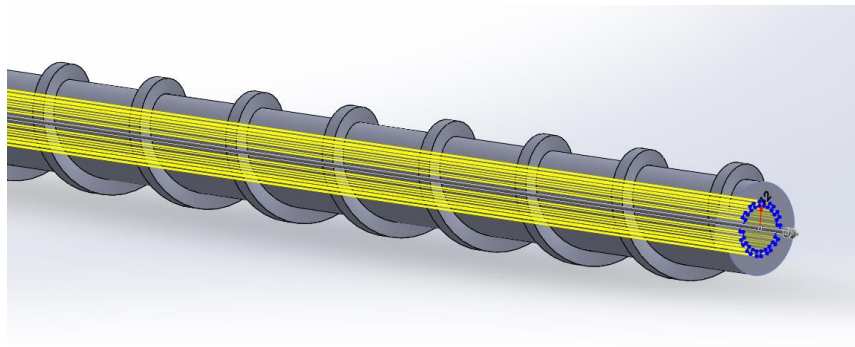
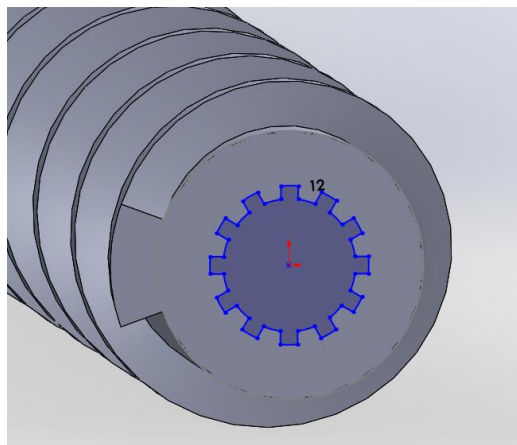


Рисунок 7.8 – ескіз шліців та його видавлювання

## 7.2 Розрахунки базового та модернізованого вузла та їх порівняльний аналіз

Розглянемо методику розрахунків шнека. Для шнека базової та модернізованої за патентом № 137428 буде проведена аналогічна методика.

1. Для розрахунків шнека необхідно задати матеріал. В нашому випадку було обрано сталь AISI S7.
2. Створюємо в Solidworks Simulation статичний розрахунок.
3. Створюємо сітку скінченних елементів.

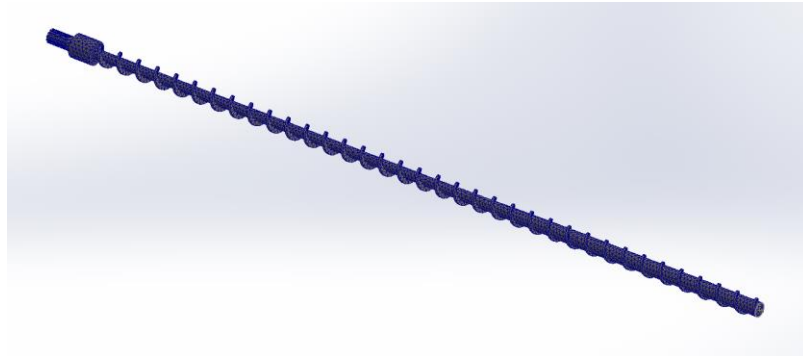


Рисунок 7.9 – сітка скінченних елементів для шнека

4. Закріплюємо на кінці шнек та додаємо навантаження

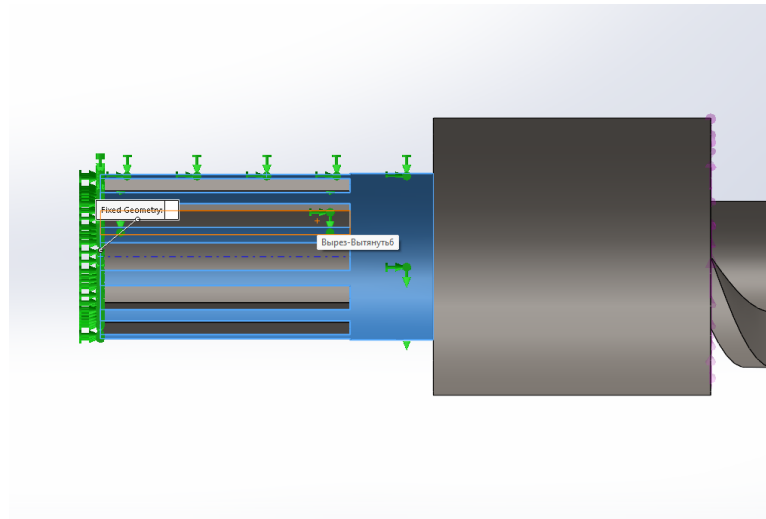


Рисунок 7.10 – закріплення шнека за допомогою Fixed Support

5. Накладаємо навантаження – момент та температуру.

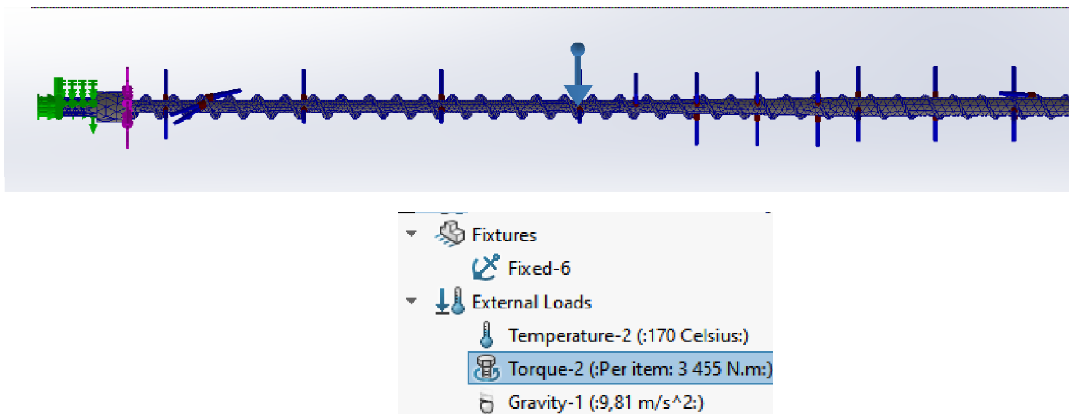


Рисунок 7.11 – накладання навантажень на шнек

6. Запускаємо розрахунок і отримуємо та отримуємо наступні результати.

Базова конструкція:

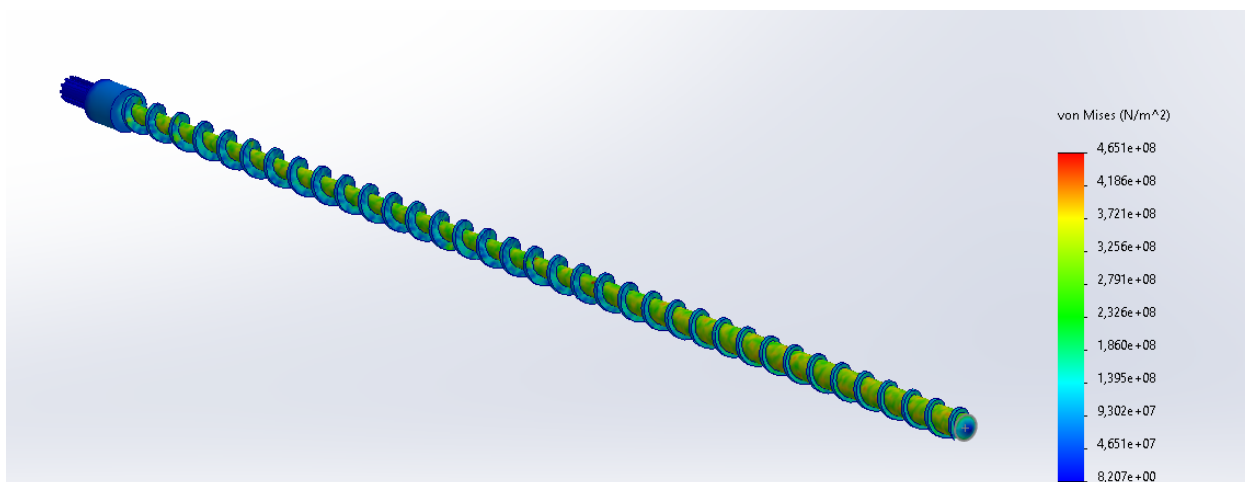


Рисунок 7.12 – напруження за Мізесом

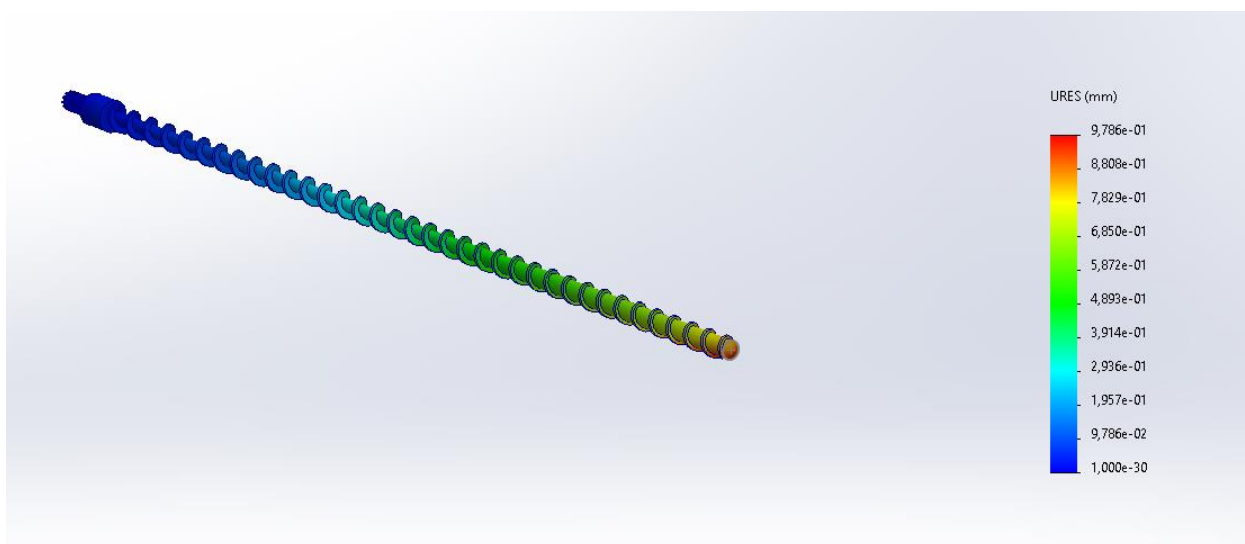


Рисунок 7.13 – результуючі переміщення

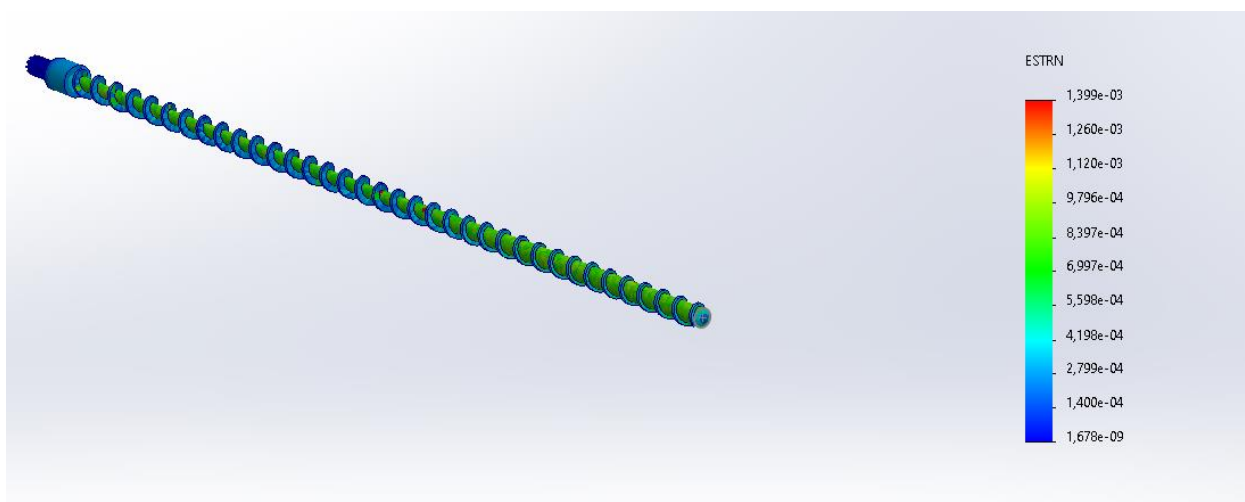


Рисунок 7.14 – еквівалентні деформації

Модернізована конструкція:

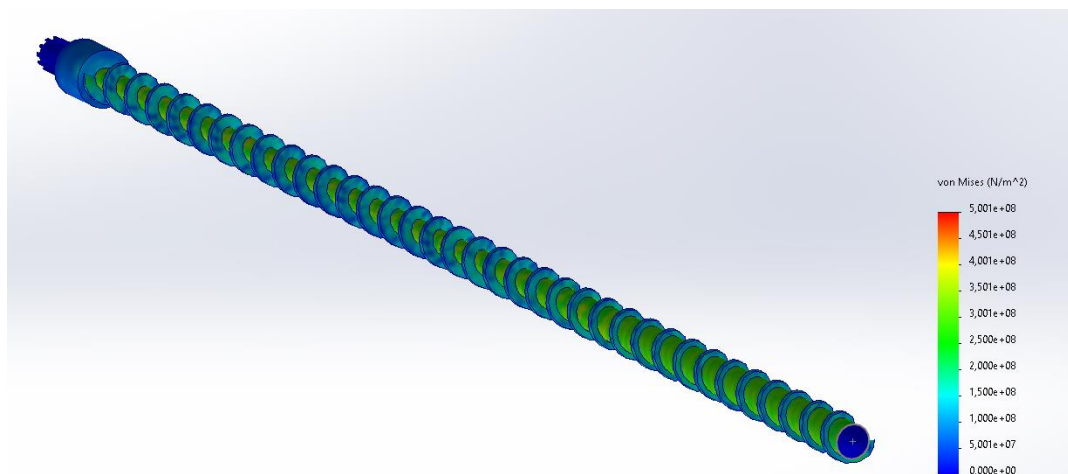


Рисунок 7.15 – напруження за Мізесом

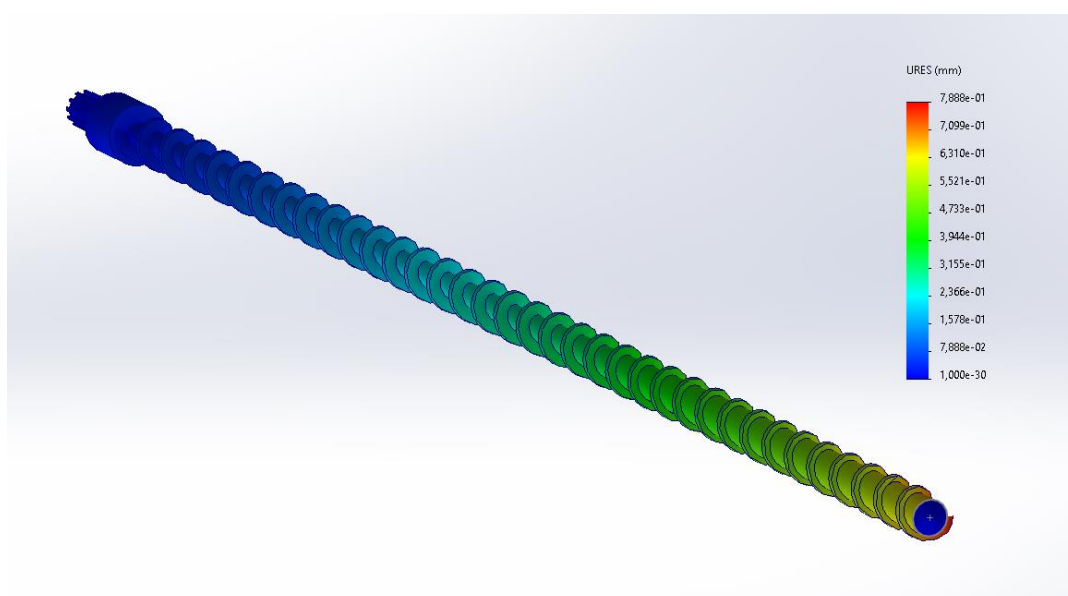


Рисунок 7.16 – результуючі переміщення

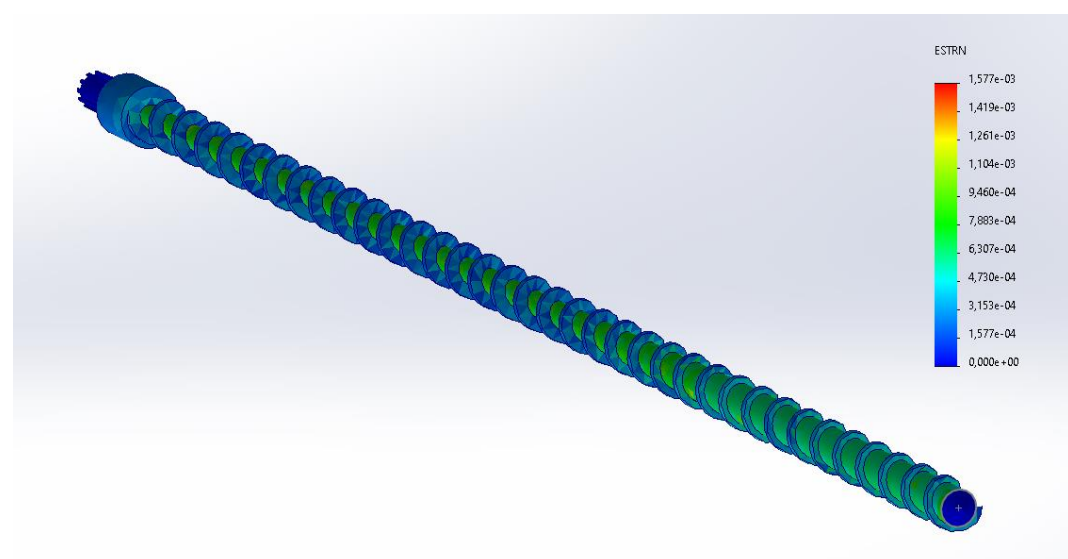


Рисунок 7.17 – еквівалентні деформації

### 7.3 Висновки та рекомендації

За результатами аналізу базової та модернізованої конструкції шнека екструдера можна зробити наступні висновки та надати рекомендації щодо їх експлуатації:

1. Всупереч початковим очікуванням, модернізована конструкція продемонструвала незначне збільшення пікового напруження порівняно з базовим варіантом. Однак, дуже важливим є обґрунтувати причини, які послугували цим результатам. Оптимізовані канали потоку та покращена зона змішування потребувала незначних геометричних коригувань, що призвело до спостережуваних коливань напружень. Важливо, що ці напруження залишаються в межах безпечного робочого діапазону матеріалу, не створюючи загрози для механічної цілісності.

2. Усуваючи локальні точки перегріву, поздовжні щілини сприяють більш рівномірній температурі розплаву по всій довжині шнека. Це може призвести до покращення консистенції продукту та зменшення термічної деградації та зниження теплового навантаження на сам шнек, що потенційно збільшує його термін служби і надійність.

Незважаючи на те, що це позитивні кроки на шляху до покращення терморегулювання та потенційного підвищення якості продукції, для повного розкриття потенціалу конструкції можуть знадобитися подальші дослідження та оптимізація.

3. Моніторинг та обслуговування:

- Проводити систематичний моніторинг температур та механічних параметрів для попередження можливих аномалій.
- Забезпечити регулярне технічне обслуговування конструкції для збереження оптимальних експлуатаційних умов.
- Розглянути можливість впровадження режимів роботи з пониженими температурами для мінімізації теплових навантажень

## 8 ОЧІКУВАНІ МЕХАНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ

Розподіл напружень: Хоча модернізована конструкція демонструє незначне збільшення пікових напружень порівняно з базовим варіантом, дуже важливо розглядати це спостереження в контексті. Оптимізовані канали потоку та покращені зони змішування потребували незначних геометричних коригувань, щоб врахувати варіації напружень. Важливо, що ці напруження залишаються в межах безпечної робочої області матеріалу, не створюючи загрози для механічної цілісності.

Покращення однорідності розплаву: Зменшення локальних точок перегріву сприяє рівномірній температурі розплаву, підвищенню консистенції продукту і зменшенню термічної деградації.

Підвищена стабільність матеріалу: Нижчі робочі температури призводять до зниження теплового навантаження на шнек, що потенційно подовжує термін його служби і зменшує потребу в технічному обслуговуванні.

Виробничі потужності: Початкове моделювання показує потенційне збільшення пропускної здатності на 5,8% для ПЕНТ завдяки оптимізованим каналам потоку. Однак необхідні подальші випробування, щоб визначити, чи можна узагальнити цей приріст для різних матеріалів та умов експлуатації.

Витрати на технічне обслуговування: Збільшення терміну служби шнека на 16% за рахунок зменшення теплового навантаження може призвести до значної економії коштів завдяки меншій кількості замін і скороченню часу простою. Оптимізований графік технічного обслуговування, пристосований до модернізованої конструкції, матиме вирішальне значення для максимізації цих переваг.

Капітальні інвестиції: Впровадження нової конструкції призведе до збільшення витрат на 12% порівняно з базовим гвинтом. Сюди входять витрати на матеріали, виробництво і можливу модернізацію обладнання, щоб пристосувати його до шліцьового наконечника.

## ВИСНОВКИ

У результаті виконання магістерської дисертації було розглянуто процес виробництва полімерних листів методом екструзії, зокрема черв'ячий прес. Було проведено аналіз існуючих методів модернізації екструдерів і було обрано дві модернізації: шнека та плоскощілинної головки.

Модернізація шнека передбачає виконання повздожніх шліців з боку наконечника для покращення тепловідведення та покращення його експлуатаційної надійності.

Переваги модернізації шнека:

1. Зменшення локальних точок перегріву, що призводить до покращення однорідності розплаву.
2. Підвищення стабільності матеріалу через зниження теплового навантаження на шнек.
3. Зменшена потреба в технічному обслуговуванні.

Модернізація головки передбачає виконання перехідної ділянки каналу у вигляді рівнотовщинної щілини замкнутого перерізу на вході, що розгортається в напрямку виходу в щілину прямокутного перерізу.

Переваги модернізації екструдера:

1. Забезпечення покращення гідравлічного опору та течії полімерного матеріалу
2. Вирівнювання умов течії по всій ширині формуючої ділянки.

На основі проведених досліджень розроблено стартап-проект модернізації черв'ячного преса для виробництва полімерних листів. Проект передбачає розробку і впровадження нової конструкції шнека та головки, переваги яких:

1. Покращення ефективності виробництва полімерних листів.
2. Зменшення витрат на виробництво листів та обслуговування.
3. Підвищення якості готових виробів.

Проект має значний потенціал для успіху, оскільки відповідає актуальним потребам полімерної промисловості.

Очікуваний термін окупності проекту становить 1.5-2 роки.

В результаті виконання розділу "Монтаж та експлуатація" були розроблені та оформлено технологію збирання редуктора черв'ячного пресу, операційну карту слюсарних, слюсарно-складальних та електромонтажних робіт при монтажі редуктора та черв'ячного преса та схему змащення черв'ячного преса.

Для підвищення ефективності експлуатації було розроблено функціональну схему автоматизації.

При монтажі та експлуатації модернізованого черв'яка необхідно дотримуватися всіх правил охорони праці. Зокрема, необхідно використовувати засоби індивідуального захисту та дотримуватися технологічної карти монтажу.

До очікувано механіко-економічних показників належать:

Збільшення пропускної здатності на 5,8% для ПЕНТ завдяки оптимізованим каналам потоку.

Витрати на технічне обслуговування: Збільшення терміну служби шнека на 16% за рахунок зменшення теплового навантаження.

Було побудовано моделі базової та модернізованої конструкції шнека. конструкцій.

Розрахунки проводилися за допомогою статичного розрахунок та проведено порівняльний аналіз розрахунків

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мікульонок І.О., Сокольський О.Л., Сівецький В.І. Основи проектування одночерв'ячних екструдерів. / Мікульонок І.О., Сокольський О.Л., Сівецький В.І. – Київ: НТУУ «КПІ», 2015. – 201 с
2. Шенкель. Г., Шнековые прессы для пластмасс. Принцип действия, конструирование и эксплуатация. / Шенкель. Г. – Ленинград: Государственное научно-Техническое Издательство Химической литературы, 1962. – 470 с.
3. З. Танмор, К. Гогос. Теоретические основы переработки полимеров. / З. Танмор, К. Гогос – Москва: «Химия», 1984. – 631 с.
4. Розрахунок корпусу екструдера, методична література, 2021. – 2 с
5. Кривошей В.Н. и др. Справочник по полимерной упаковке. – К.: «Техника», 1982. – 132 с.
6. Тагер А.А. Физико-химия полимеров. М.: Химия, 1978.
7. Гуль В.Е., Кулезнев В.Н. Структура и механические свойства полимеров. М.: Высш. шк., 1979.
8. Виноградов Г.В., Малкин А.Я. Реология полимеров. М.: Химия, 1977.
9. Тугов И.И., Кострыкина Г.И. Химия и физика полимеров. М.: Химия, 1989.
10. Энциклопедия полимеров. Т. 1-3. М.: Сов. энциклопедия, 1972-1978.
11. Литвенец Ю.И. Технологические и энергетические расчеты при переработке полимеров экструзией. / Литвенец Ю.И. – Екатеринбург: Министерство образования и науки Российской Федерации, 2010 – 56с.
12. Шерышев М.А., Лясников Н.Н. Механические расчеты оборудования для переработки пластмасс. / Шерышев М.А., Лясников Н.Н. – Санкт-Петербург, 2014. – 399 с.
13. Сівецький В.І., Щербина В.Ю., Гондляр О.В. Інжиніринг інноваційних технологій та обладнання. Лінії для виготовлення листових і профільних полімерних виробів [Електронний ресурс] / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2022. – 113 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/45732>

14. Патент № 146329 UA, МПК В29С 48/84. ЧЕРВ'ЯК ЕКСТРУДЕРА/  
МІКУЛЬОНОК ІГОР ОЛЕГОВИЧ, ЛУКІНЮК МИХАЙЛО ВАСИЛЬОВИЧ  
заявл. 29.09.2020, опубл. 10.02.2021.
15. Патент № 1737 UA, МПК В29С4 7/60. ЧЕРВ'ЯК ЕКСТРУДЕРА ДЛЯ  
ПЕРЕРОБЛЕННЯ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ/ Мікульонок Ігор  
Олегович, Новік Валерій Олександрович, Радченко Леонід Борисович,  
Сівецький Володимир Іванович, заявл. 03.07.2002, опубл. 15.04.2003
16. Патент № 47082 UA, МПК В29С 47/60. ЧЕРВ'ЯК ЕКСТРУДЕРА/  
МІКУЛЬОНОК ІГОР ОЛЕГОВИЧ, ВІНОГРАДОВ ЄВГЕНІЙ ЮРІЙОВИЧ,  
заявл. 09.09.2009, опубл. 11.01.2010
17. Патент № 60303 UA, МПК В29С 47/60. ЧЕРВ'ЯК ЕКСТРУДЕРА ДЛЯ  
ВИГОТОВЛЕННЯ СПІНЕНИХ ПОЛІМЕРІВ / ГОЖЕНКО ЛЮБОВ  
ПЕТРІВНА, ЛУКАШОВА ВІКТОРІЯ ВОЛОДИМИРІВНА, заявл.  
17.01.2011, опубл. 10.06.2011
18. Патент № 93385 UA, МПК В29В 17/00. ЧЕРВ'ЯК ЕКСТРУДЕРА/  
Мікульонок Ігор Олегович, Сокольський Олександр Леонідович, Федченко  
Євген Олександрович, заявл. 08.05.2014, опубл. 25.09.2014.
19. Патент № 90401 UA, МПК В29В 7/60. ЧЕРВ'ЯК ЕКСТРУДЕРА/ Сівецький  
Володимир Іванович, Мікульонок Ігор Олегович, Сокольський Олександр  
Леонідович, Кушнір Михайло Сергійович, заявл. 19.12.2013, опубл.  
26.05.2014.
20. Патент № 102908 UA, МПК В29С 47/60. ЧЕРВ'ЯК ЕКСТРУДЕРА/  
МІКУЛЬОНОК ІГОР ОЛЕГОВИЧ, СОКОЛЬСЬКИЙ ОЛЕКСАНДР  
ЛЕОНІДОВИЧ, ІВЦЬКИЙ ІГОР ІГОРОВИЧ, заявл. 21.05.2015, опубл.  
25.11.2015.
21. Патент № 31538 UA, МПК В29С 47/14. Плоскощілинна екструзійна головка  
/ Сівецький Володимир Іванович, Сокольський Олександр Леонідович,  
Півненко Сергій Васильович; заявл. 19.12.2007, опубл. 10.04.2008
22. Патент № 68120 UA, МПК В29С 47/20. ЕКСТРУЗІЙНА ГОЛОВКА ДЛЯ  
ФОРМУВАННЯ ПОРОЖНИСТОГО ВИРОБУ/ ГОНЧАРЕНКО ВАСИЛЬ

- ВЛАСОВИЧ, МАРТИНЕНКО НАТАЛІЯ МИХАЙЛІВНА, МІКУЛЬОНОК ІГОР ОЛЕГОВИЧ; заявл. 05.10.2011, опубл. 12.03.2012.
23. Патент № 43556 UA, МПК В29С 47/38. Черв'ячний екструдер / Мікульонок Ігор Олегович ; заявл. 02.03.2009, опубл. 25.08.2009
24. Патент. № 137428 UA, МПК В29С 48/00. Черв'як екструдера / Мікульонок Ігор Олегович, Карвацький Антон Янович, Терлецький Олександр Ігорович, заявл. 06.03.2019, опубл. 25.10.2019.
25. Маркетинг стартап-проектів [Електронний ресурс] : навчальний посібник для усіх спеціальностей другого освітнього ступеню «магістр» / С. О. Солнцев, О. В. Зозульов, Н. В. Юдіна, Т. О. Царьова, Н. В. Язвінська ; за заг. ред. С.О. Солнцева ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 3,2 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 218 с. URL <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/27437>
26. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.
27. Standard Management Systems QUALITY MANAGEMENT Textbook for students and post-graduate students on specialty 131 "Applied mechanics" / S. Fomichov, A. Banin, I. Skachkov, V. Lysak, O. Gaievskiy, N. Yudina, Kiev: KIM, 2018 – P. 266
28. Yudina N.V. Methods of the Startup-Project Developing Based on 'the FourDimensional Thinking' in Information Society // Marketing and Management of innovations. – 3'2017. – P.245-256.-DOI:10.21272/mmi.2017.3-23 Access mode <http://mmi.fem.sumdu.edu.ua/journals/2017/3/245-256>.
29. Nataliya Yudina, Olena Pidlisna Marketing Perception Of Technological Uncertainty By Decision-Makers. Economic Bulletin Of National Technical University Of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute". Kyiv: Management And Marketing Faculty Of National Technical University Of

- Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, 2021. №18 (2021). PP. 1-10  
URL : <http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/238105>
30. Nataliya Yudina Future Study Implementation Into Marketing Activity Of Companies. Economic Bulletin Of National Technical University Of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute". Kyiv: Management And Marketing Faculty Of National Technical University Of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, 2021. №18 (2021). PP. 1-9 URL :  
<http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/240315>
31. Юдіна Н. В. «Дорожня карта» підприємства у контексті футурології техногенної економіки. Традиції і інновації. [Електронний ресурс] / Н. В. Юдіна // Інновації та фундаментальні науки в умовах техногенної економіки : зб. матеріалів міждисциплінар. наук.-практ. конф., Київ, 25 листоп. 2016 р. / [уклад. Л. І. Юдіна]. – К., 2016. – Режим доступу :  
<http://futureslog.com.ua/publish/2/Zbirnyk.pdf#page=6>.
32. Беспалов, В. И. (2014). Охрана труда на промышленных предприятиях: учебник / В. И. Беспалов, В. А. Глаголев, Е. Н. Кириенко. – М.: Экзамен, 2014. – 448 с.
33. Сафонов, А. А. (2016). Охрана труда и техника безопасности: учебное пособие / А. А. Сафонов. – М.: Издательский центр "Академия", 2016. – 320 с.
34. Петров, І. В. (2018). Охорона праці та безпека у небезпечних виробництвах: підручник / І. В. Петров. – К.: Видавництво "Університет", 2018. – 256 с.
35. Шевченко, М. А. (2016). Нормативні основи охорони праці в Україні: науково-практичний посібник / М. А. Шевченко. – Львів: Світ, 2016. – 180 с

## **Додаток А. Специфікації**

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
				<u>Документація</u>		
	A1		ЛП21мп.091243.000-70В3	Загальний вигляд		
				<u>Деталі</u>		
		1	ЛП21мп.091243.000.001	Рама	1	
		2	ЛП21мп.091243.000.002	Вузол опорного підшипника	1	
		3	ЛП21мп.091243.000.003	Редуктор	1	
		4	ЛП21мп.091243.000.004	Корпус	1	
		5	ЛП21мп.091243.000.005	Кожух	1	
		6	ЛП21мп.091243.000.006	Черв'як	1	
		7	ЛП21мп.091243.000.007	Система охолодження	4	
		8	ЛП21мп.091243.000.008	Станина	1	
		9	ЛП21мп.091243.000.009	Воронка завантажувальна	1	
		10	ЛП21мп.091243.000.010	Блок керування	1	
		11	ЛП21мп.091243.000.011	Нагрівач	6	
		12	ЛП21мп.091243.000.012	Бункер	1	
		13	ЛП21мп.091243.000.013	Головка	1	

<b>ЛП21мп.091243.01-70ТЕ</b>				
Зм	Арк	Недокум.	Підпис	Дата
Розроб.	Левченко В.М			
Перевір.				
Керів	Чемерис А.О.			
Н.контр.				
Затв.				
Машина черв'ячна ЧП125х25			Літера	Аркуш
				1
			КПІ ім.І.	Аркушів
			Сікорського	1



**Додаток Б. Таблиця розглянутих патентів**

### Додаток Б. Таблиця розглянутих патентів

№ з/п	Предмет пошуку	Країна видачі, вид та номер документу	Суть інженерно-технічного рішення
1	Черв'як екструдера	UA, патент № 146329	<p>Створено вдосконалений черв'як екструдера, який дозволяє регулювати температуру його робочої поверхні по довжині. Це досягається за допомогою герметичних кільцевих втулок з різною температурою кипіння, розташованих між зовнішньою трубою і стінкою вала.</p> <p>Герметичні втулки також теплоізовані одна від одної.</p>
2	Черв'як екструдера	UA, патент № 1737	<p>Розроблено вдосконалений черв'як екструдера для перероблення полімерних матеріалів. Нове конструктивне виконання гребенів нарізки, зокрема скошені пази в бік хвостовика вала, зменшує зворотний потік матеріалу і забезпечує високий змішувальний ефект черв'яка.</p>
3	Черв'як екструдера	UA, патент № 47082	<p>Розроблено вдосконалений черв'як екструдера, який дозволяє регулювати висоту штифтів над поверхнею черв'яка і, отже, геометрію міжвиткового простору. Це розширює технологічні можливості черв'яка для обробки</p>

			<p>різноманітних матеріалів. У новому виконанні черв'яка ділянка зі штифтами представлена втулкою на валу з гвинтовою нарізкою, де штифти можуть контактувати з гвинтовою нарізкою вала та здійснювати зворотно-поступальне переміщення, а втулка може обертатися й фіксуватися в заданому положенні.</p>
4	Черв'як екструдера	UA, патент № 60303	<p>Створено вдосконалений черв'як екструдера для отримання спінених виробів з полімерних композицій. Черв'як має зони подачі, плавлення, компресії, вакуумування та гомогенізації. Основна нарізка розташована у зонах подачі і плавлення, а додаткова сегментна нарізка - у зоні гомогенізації. Зона компресії представлена динамічним змішувальним елементом у вигляді зворотної криволінійної шестірні, а в зоні гомогенізації розташований короткий змішувальний елемент типу "шестірня". Зона вакуумування, розташована після зони компресії, виконана без нарізки зі зменшенням діаметра осереддя черв'яка для введення спінювального агента.</p>

5	Черв'як екструдера	UA, патент № 90401	Створено вдосконалений черв'як екструдера з покращеним змішувальним елементом. Нове конструктивне виконання гребенів змішувального елемента значно підвищує змішувально-диспергувальну спроможність черв'яка, поліпшуючи якість перероблюваного матеріалу. Змішувальний елемент має форму гвинтового гребеня з поперечними прорізами, і додатковий гвинтовий гребінь з іншим кроком, споряджений між гребенями гвинтової нарізки, є нововведенням для оптимізації функцій екструдера.
6	Черв'як екструдера	UA, патент № 93385	Розроблено вдосконалений черв'як екструдера з новим конструктивним виконанням наконечника. Це дозволяє переміщати наконечник відносно робочої зони залежно від тиску, що діє на наконечник, згладжуючи пульсації потоку розплаву на виході з екструдера та забезпечуючи більш стабільну роботу екструдера. Наконечник оснащений пружним елементом, наприклад, пружиною стиснення, з можливістю осьового руху, а в найприйнятнішому виконанні пружний елемент має засіб регулювання його жорсткості.

7	Черв'як екструдера	UA, патент № 102908	<p>Створено вдосконалений черв'як екструдера з новим конструктивним виконанням наконечника для ефективного згладжування пульсацій потоку розплаву в широкому діапазоні величин і швидкостей змінювання. Наконечник, оснащений пружним елементом, може здійснювати зворотно-поступальний рух в осьовому отворі вала, де встановлений шток з поршнем. Ділянка осьового отвору між наконечником і поршнем заповнена в'язкою рідиною, і на цій ділянці вала закріплено нерухому дросельну шайбу. Пружний елемент може бути розташований між поршнем та дном осьового отвору вала або між наконечником і дросельною шайбою. Це дозволяє отримати продукцію зі стабільними розмірами і формою.</p>
8	Головка плоскощілинна	UA, патент № 31538	<p>Створено вдосконалену плоскощілинну екструзійну головку для покращення гідравлічного опору та течії полімерного матеріалу. Змінено форму перехідної ділянки каналу, що забезпечує вирівнювання умов течії по всій ширині формуючої ділянки. Перехідна ділянка каналу виконана у вигляді рівнотовщинної щілини замкнутого</p>

			перерізу на вході, що розгортається в напрямку виходу в щілину прямокутного перерізу. При цьому у розгортці перехідна ділянка каналу є в плані прямокутником.
9	Головка плоскощілинна	UA, патент № 68120	Створену вдосконалену екструзійну головку для формування порожнистого виробу. Нове конструктивне виконання головки забезпечує потрібну температуру поверхні дорна, що призводить до високої якості порожнистого виробу без використання теплової автоматики системи термостабілізації дорна. Корпус головки виконано з немагнітного матеріалу, на зовнішньому боці розміщеного дорна змонтовано котушку індуктивності, а сам дорн виконано з магнітного матеріалу з точкою Кюрі, що відповідає температурі перебігу процесу формування.
10	Черв'як екструдера	UA, патент № 43556	Створено вдосконалений черв'ячний екструдер з регульованою геометрією черв'яка та окремими секціями для осердя та корпусу. Це виконання дозволяє швидко змінювати розміри екструдера, забезпечуючи ефективну переробку різних матеріалів. Осердя черв'яка містить знімні втулки, які

			утворюють гвинтовий канал на своїй зовнішній поверхні.
11	Черв'як екструдера	UA, патент № 137428	Створено вдосконалений черв'як екструдера з новим конструктивним виконанням для підвищення ефективності процесу охолодження, що призводить до зменшення витрат охолоджувальної води. Робоча зона черв'яка утворена циліндричною ділянкою з глибокою нарізкою, кінчною ділянкою з нарізкою, що зменшується, та циліндричною ділянкою з неглибокою нарізкою. Нововведенням є наявність порожнини осердя з поздовжніми шліцами з боку наконечника, при цьому поздовжні шліци можуть бути виконані в межах циліндричної ділянки з неглибокою нарізкою, а ділянка осердя з поздовжніми шліцами може бути знімною.

**Додаток В. Копії використаних для модернізації патентів**



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **31538** (13) **U**  
(51) МПК (2006)  
B29C 47/14

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під  
відповідальність  
власника  
патенту

### (54) ПЛОСКОЩІЛИННА ЕКСТРУЗІЙНА ГОЛОВКА

1

2

(21) u200714324

(22) 19.12.2007

(24) 10.04.2008

(46) 10.04.2008, Бюл.№ 7, 2008 р.

(72) СІВЕЦЬКИЙ ВОЛОДИМИР ІВАНОВИЧ, UA,  
СОКОЛЬСЬКИЙ ОЛЕКСАНДР ЛЕОНІДОВИЧ, UA,  
ПІВНЕНКО СЕРГІЙ ВАСИЛЬОВИЧ, UA

(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
УКРАЇНИ "КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИ-  
ТУТ", UA

(57) Плоскощільнна екструзійна головка, що міс-  
тить канал для протікання розплаву, який склада-

ється з вхідної ділянки, перехідної ділянки та фор-  
муючої ділянки, яка має форму плоскої щілини,  
яка **відрізняється** тим, що перехідну ділянку ка-  
налу виконано у вигляді рівнотовщинної щілини  
замкнутого перерізу на вході, що розгортається в  
напрямку виходу в щілину прямокутного перерізу,  
поздовжня вісь якої лежить перпендикулярно на-  
прямку руху виробу, який формується, причому у  
розгортці перехідна ділянка каналу є в плані пря-  
мокутником.

Корисна модель відноситься до області пере-  
робки полімерів та композицій на їх основі, зокре-  
ма, до екструзійного обладнання. Корисна модель  
може бути використана в технологічних лініях по  
виготовленню листів та плоскої плівки.

Як найближчий аналог (прототип) вибрана  
плоскощільнна екструзійна головка для форму-  
вання полімерних виробів, що містить канал для  
протікання розплаву, який складається з вхідної,  
перехідної та формууючої ділянки, яка має форму  
плоскої щілини [1].

Наведена конструкція має той недолік, що во-  
на розрахована на конкретні технологічні режими  
та перероблювальні матеріали, тому для корекції  
локальних витрат розплаву по ширині потребує  
використання дроселюючих пристроїв для балан-  
сування потоку по ширині щілини.

В основу корисної моделі поставлена задача  
вдосконалення плоскощільнної екструзійної голо-  
вки шляхом змінення форми перехідної ділянки  
каналу, який забезпечує вирівнювання гідравліч-  
ного опору та умов течії полімерного матеріалу по  
всій ширині формууючої ділянки.

Поставлена задача вирішується тим, що в  
плоскощільнній екструзійній головці, що містить  
канал для протікання розплаву, який складається з  
вхідної ділянки, перехідної ділянки та формууючої  
ділянки, яка має форму плоскої щілини, новим є  
те, що перехідну ділянку каналу виконано у вигляді  
рівнотовщинної щілини замкнутого перерізу на  
вході, що розгортається в напрямку виходу в щі-  
лину прямокутного перерізу, поздовжня вісь якої  
лежить перпендикулярно напрямку руху виробу,

який формується, причому у розгортці перехідна  
ділянка каналу є в плані прямокутником.

Перераховані вище ознаки складають сутність  
корисної моделі.

Наявність причинно-наслідкового зв'язку між  
сукупністю істотних ознак корисної моделі і одержу-  
ваним технічним результатом полягає в наступно-  
му.

Завдяки наявності перехідної ділянки каналу,  
виконаної у вигляді рівнотовщинної щілини, яка у  
розгортці є в плані прямокутником, довжина та  
переріз каналу на будь-якій траєкторії руху рідини  
по ширині щілини буде однаковою, що забезпечує  
вирівнювання гідравлічного опору головки та умов  
течії, запобігає утворенню застійних зон.

Корисна модель пояснюється рисунком, де по-  
казано схему каналу головки.

Екструзійна головка містить канал для проті-  
кання розплаву, який складається з вхідної ділянки  
1, перехідної ділянки 2 у вигляді рівнотовщинної  
щілини замкнутого перерізу на вході, що розгорта-  
ється в напрямку виходу в щілину прямокутного  
перерізу, поздовжня вісь якої лежить перпендику-  
лярно напрямку руху виробу, який формується,  
причому у розгортці перехідна ділянка каналу є в  
плані прямокутником, та формууючої ділянки 3, яка  
має форму плоскої щілини. В поздовжньому пере-  
різі перехідна ділянка може мати вигляд прямоку-  
тника або щілини з висотою, що зменшується в  
напрямку формууючої ділянки 3.

Корисна модель працює таким чином.

Розплав, що входить у головку, потрапляє з  
вхідної ділянки каналу 1 в перехідну ділянку 2, і

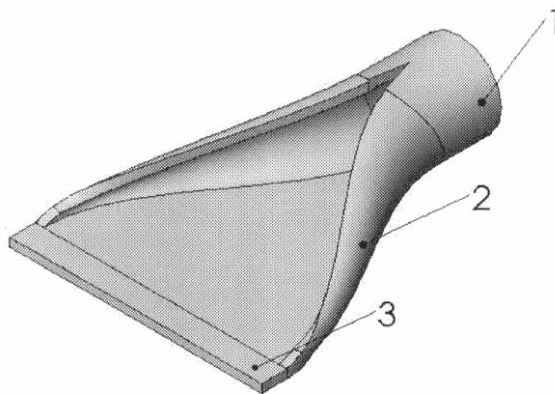
UA (19) 31538 (13) U

завдяки тому, що остання має таку форму, що її розгорткою є в плані прямокутник, будь-яка лінія току розплаву від вхідної до вихідної щілини буде практично рівною за поперечним перерізом і довжиною. Завдяки цьому розплав потрапляє до формуючої ділянки 3 з однаковою швидкістю і властивостями по ширині, що робить конструкцію універсальною, тобто незалежною від технологічного режиму та властивостей перероблюваного матеріалу і виключає необхідність використання дроселюючих пристроїв для балансування потоку.

Таким чином, використання описаної корисної моделі дозволить універсалізувати конструкцію плоскощільних екструзійних головок та зменшити кількість рухомих елементів в них.

Джерела інформації:

1. Басов Н.И., Брагинский В.А., Казаков Ю.В. Расчёт и конструирование формующего инструмента для изготовления изделий из полимерных материалов: Учебник для вузов. -М.: Химия, 1991. - 352с.



Фіг.



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **137428** (13) **U**  
(51) МПК (2019.01)  
**B29C 48/00**  
**B29C 48/84** (2019.01)

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ  
ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА  
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА  
УКРАЇНИ

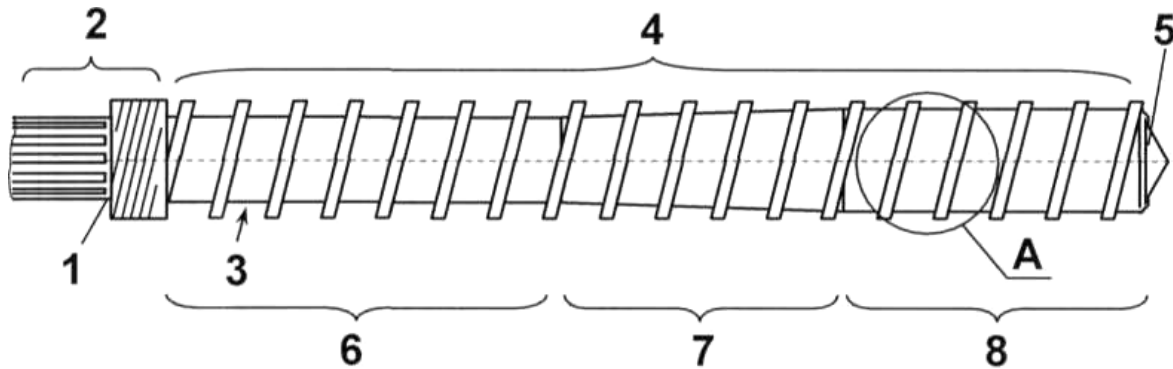
## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: <b>u 2019 02287</b>	(72) Винахідник(и): <b>Мікульонок Ігор Олегович (UA), Карвацький Антон Янович (UA), Терлецький Олександр Ігорович (UA)</b>
(22) Дата подання заявки: <b>06.03.2019</b>	(73) Власник(и): <b>НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ "КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО", просп. Перемоги, 37, м. Київ-56, 03056 (UA)</b>
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>25.10.2019</b>	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>25.10.2019, Бюл.№ 20</b>	

## (54) ЧЕРВ'ЯК ЕКСТРУДЕРА

### (57) Реферат:

Черв'як екструдера містить порожнисте осердя з послідовно розташованими хвостовиком, оснащеною гвинтовою нарізкою робочою зоною, а також знімним наконечником, при цьому робочу зону утворено послідовно розташованими циліндричною ділянкою з глибокою нарізкою, конічною ділянкою з нарізкою, що зменшується, та циліндричною ділянкою з неглибокою нарізкою. Порожнину осердя з боку наконечника виконано з поздовжніми шліцами.



Фіг. 1

UA 137428 U



Корисна модель належить до обладнання для перероблення термопластичних полімерів і пластмас, а також гумових сумішей, і може бути використана в конструкціях черв'ячних екструдерів.

Для перероблення термопластичних матеріалів широкого поширення набули одно- та двочерв'ячні екструдери, основними робочими органами яких є черв'яки.

Відомий черв'як екструдера, що містить порожнисте осердя з послідовно розташованими хвостовиком, оснащеною гвинтовою нарізкою робочою зоною, а також знімним наконечником, при цьому робочу зону утворено послідовно розташованими циліндричною ділянкою з глибокою нарізкою, конічною ділянкою з нарізкою, що зменшується, та циліндричною ділянкою з неглибокою нарізкою, а в гребені нарізки робочої зони виконано канал, сполучений з порожниною вала [пат. України № 10558 U, МПК В29С 47/60, опубл. 15.11.2005]. Недоліком конструкції цього черв'яка є її низька технологічність і складність його очищення від відкладень охолоджувальної води.

Найбільш близьким до пропонованої корисної моделі є черв'як екструдера, що містить порожнисте осердя з послідовно розташованими хвостовиком, оснащеною гвинтовою нарізкою робочою зоною, а також знімним наконечником, при цьому робочу зону утворено послідовно розташованими циліндричною ділянкою з глибокою нарізкою, конічною ділянкою з нарізкою, що зменшується, та циліндричною ділянкою з неглибокою нарізкою [Рябинин Д.Д., Лукач Ю.Е. Червячные машины для переработки пластических масс и резиновых смесей. - М.: Машиностроение, 1965. - С. 209, рис. 101].

На відміну від аналога, що розглянуто, зазначений черв'як більш технологічний у виготовленні, проте він не забезпечує високої ефективності процесу охолодження черв'яка, що призводить до надмірної витрати охолоджувальної води.

В основу корисної моделі поставлено задачу вдосконалити конструкцію черв'яка екструдера, у якому його нове конструктивне виконання забезпечує високу ефективність процесу охолодження черв'яка, що сприяє зменшенню витрати охолоджувальної води.

Поставлена задача вирішується тим, що в черв'яку екструдера, що містить порожнисте осердя з послідовно розташованими хвостовиком, оснащеною гвинтовою нарізкою робочою зоною, а також знімним наконечником, при цьому робочу зону утворено послідовно розташованими циліндричною ділянкою з глибокою нарізкою, конічною ділянкою з нарізкою, що зменшується, та циліндричною ділянкою з неглибокою нарізкою, згідно з пропонованою корисною моделлю, новим є те, що порожнину осердя з боку наконечника виконано з поздовжніми шліцами. У найприйнятніших прикладах виконання черв'яка поздовжні шліци виконано в межах циліндричної ділянки з неглибокою нарізкою, а ділянку осердя з поздовжніми шліцами виконано знімною.

Виконання порожнини осердя з боку наконечника з поздовжніми шліцами збільшує площу поверхню тепловіддачі з боку охолоджувальної води, а отже зменшує її витрату (пропорційно збільшенню площі поверхні). Виконання поздовжніх шліців у межах циліндричної ділянки з неглибокою нарізкою забезпечує не лише інтенсифікацію процесу охолодження черв'яка саме на ділянці з найбільшим тепловиділенням, а й високу міцність його попередніх ділянок і черв'яка в цілому. І, нарешті, виконання ділянки осердя з поздовжніми шліцами знімною істотно підвищує технологічність і ремонтпридатність черв'яка.

Суть корисної моделі пояснюється кресленнями, на яких зображено:

- на Фіг. 1 - загальний вигляд черв'яка;
- на Фіг. 2 - розріз виносного елемента А на Фіг. 1;
- на Фіг. 3 - переріз за Б-Б на Фіг. 2.

Черв'як екструдера містить порожнисте осердя 1 з послідовно розташованими хвостовиком 2, оснащеною гвинтовою нарізкою 3 робочою зоною 4, а також знімним наконечником 5. Робочу зону 4 при цьому утворено послідовно розташованими циліндричною ділянкою з глибокою нарізкою 6, конічною ділянкою 7 з нарізкою, що зменшується, та циліндричною ділянкою з неглибокою нарізкою 8, а порожнину 9 осердя 1 з боку наконечника 5 виконано з поздовжніми шліцами 10. У найприйнятнішому прикладі виконання черв'яка поздовжні шліци 10 виконано в межах циліндричної ділянки з неглибокою нарізкою 8, яку виконано знімною (з'єднуваною з іншою частиною осердя 1 за допомогою різьби).

Черв'як працює в такий спосіб.

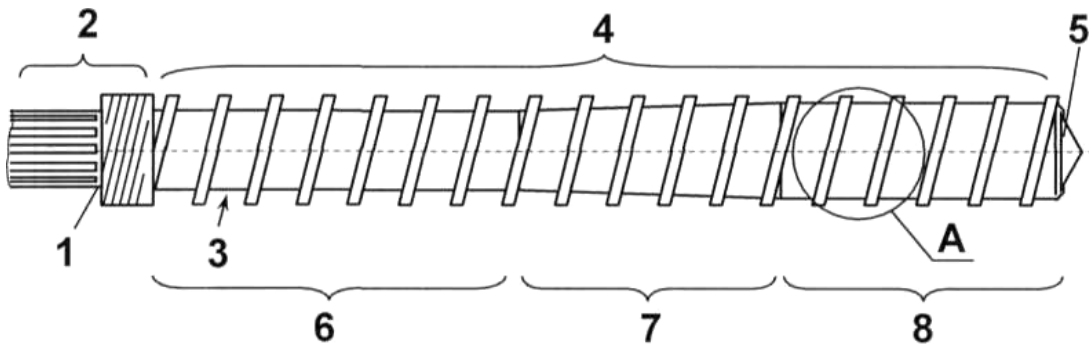
Сировина, що підлягає переробленню, послідовно просувається нарізкою 3 робочої зони 4 від хвостовика 2 до наконечника 5, поступово ущільнюється, нагрівається і плавиться. У порожнину 9 осердя 1 черв'яка по коаксіальній трубці (не показано) надходить охолоджувальна вода, яка виходить із зазначеної трубки біля наконечника 5, повертається, охолоджує осердя 1 черв'яка й виводиться за його межі.

Виконання порожнини осердя 1 з боку наконечника 5 з поздовжніми шліцами 10 збільшує площу поверхню тепловіддачі з боку охолоджувальної води, а отже дає змогу зменшити її витрату (пропорційно збільшенню площі поверхні).

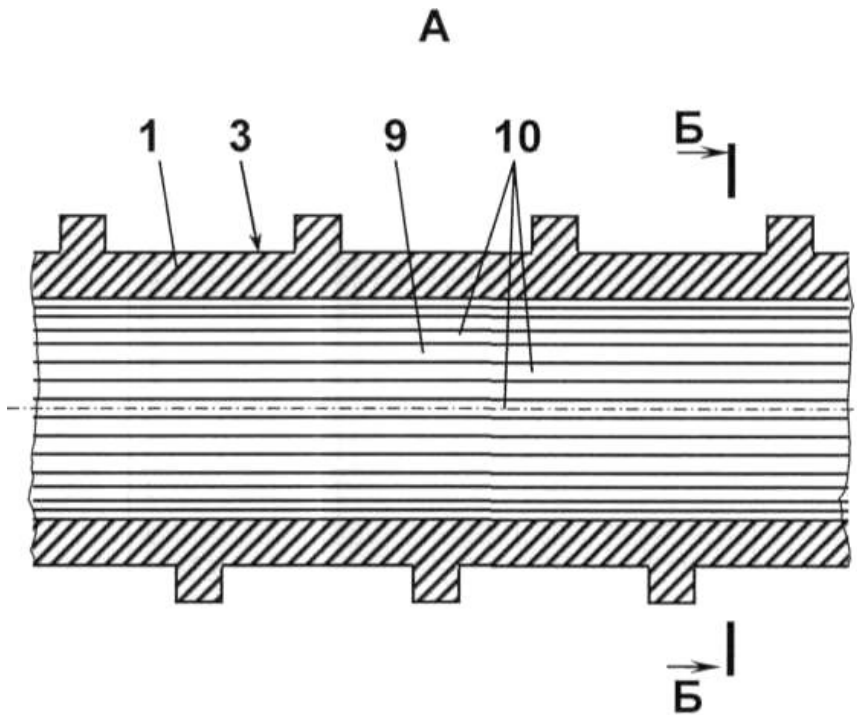
Пропонована корисна модель, нескладна у виготовленні та експлуатації, істотно поліпшує умови роботи черв'ячних екструдерів.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

1. Черв'як екструдера, що містить порожнисте осердя з послідовно розташованими хвостовиком, оснащеною гвинтовою нарізкою робочою зоною, а також знімним наконечником, при цьому робочу зону утворено послідовно розташованими циліндричною ділянкою з глибокою нарізкою, конічною ділянкою з нарізкою, що зменшується, та циліндричною ділянкою з неглибокою нарізкою, який **відрізняється** тим, що порожнину осердя з боку наконечника виконано з поздовжніми шліцами.
2. Черв'як за п. 1, який **відрізняється** тим, що поздовжні шліці виконано в межах циліндричної ділянки з неглибокою нарізкою.
3. Черв'як за п. 2, який **відрізняється** тим, що ділянку осердя з поздовжніми шліцами виконано знімною.

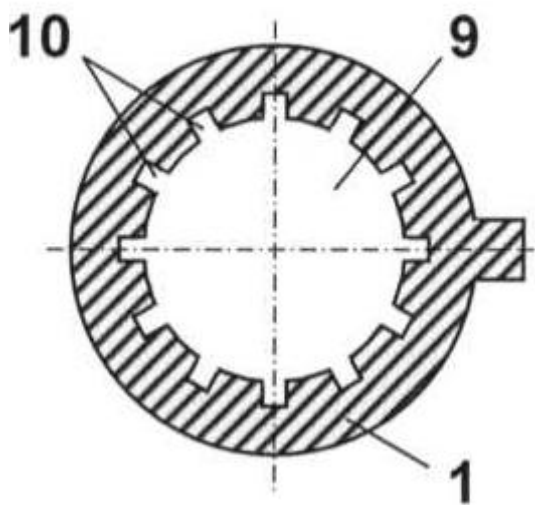


Фіг. 1



Фіг. 2

**Б-Б**



**Фіг. 3**

---

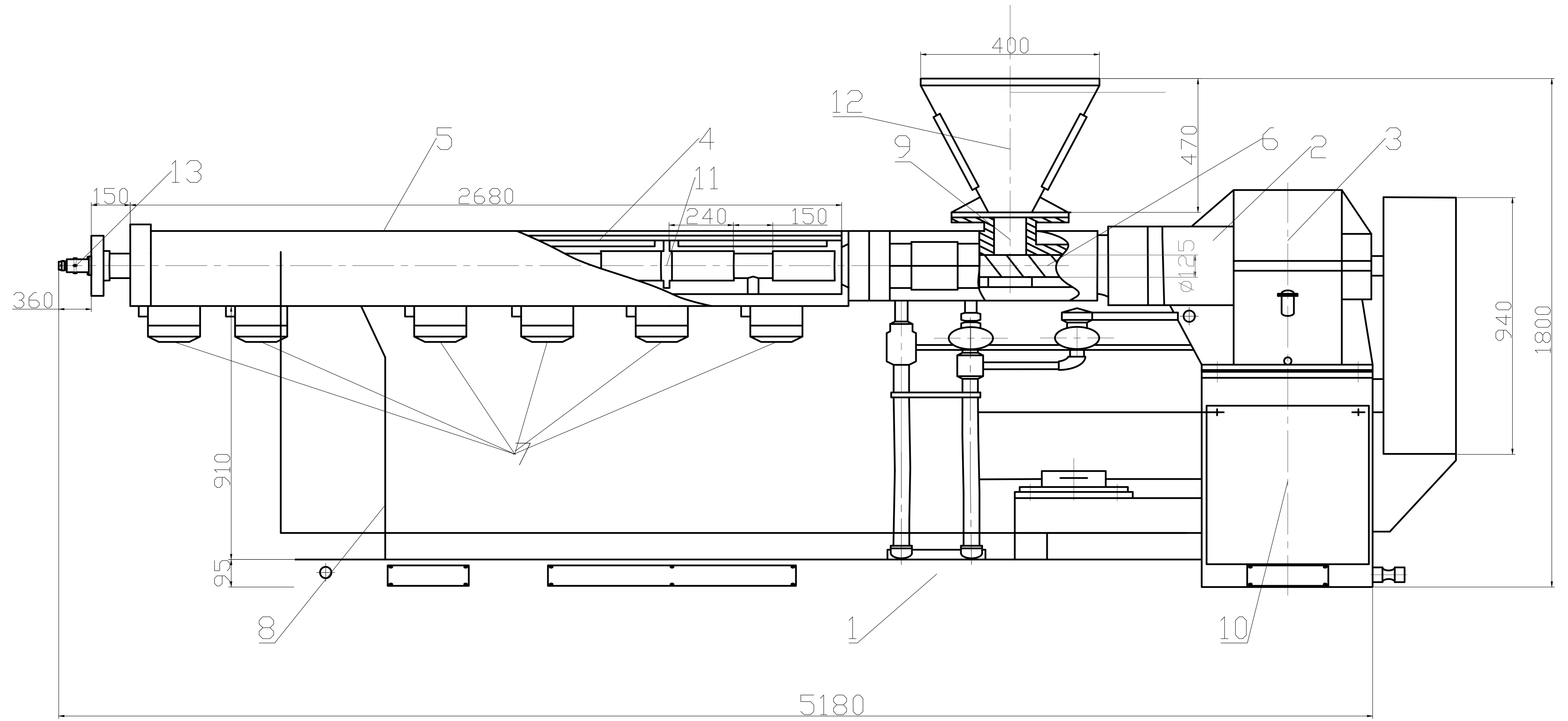
Комп'ютерна верстка А. Крижанівський

---

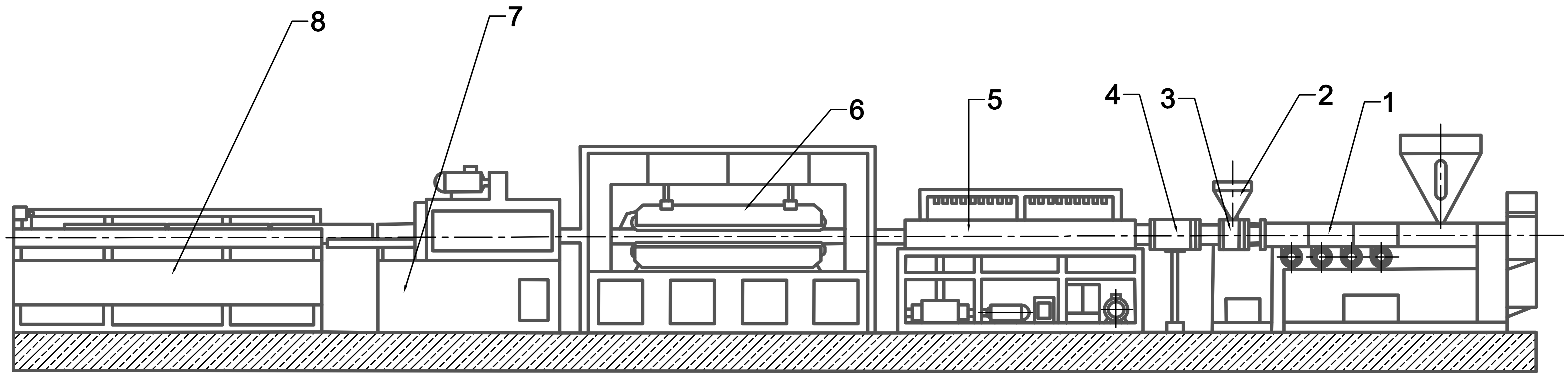
Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України,  
вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

---

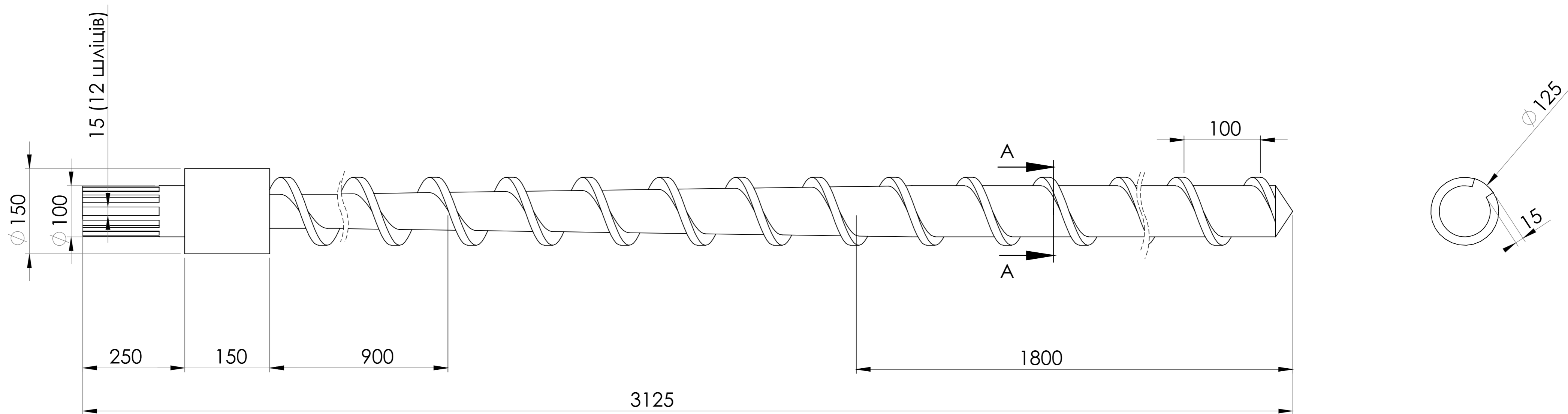
ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601



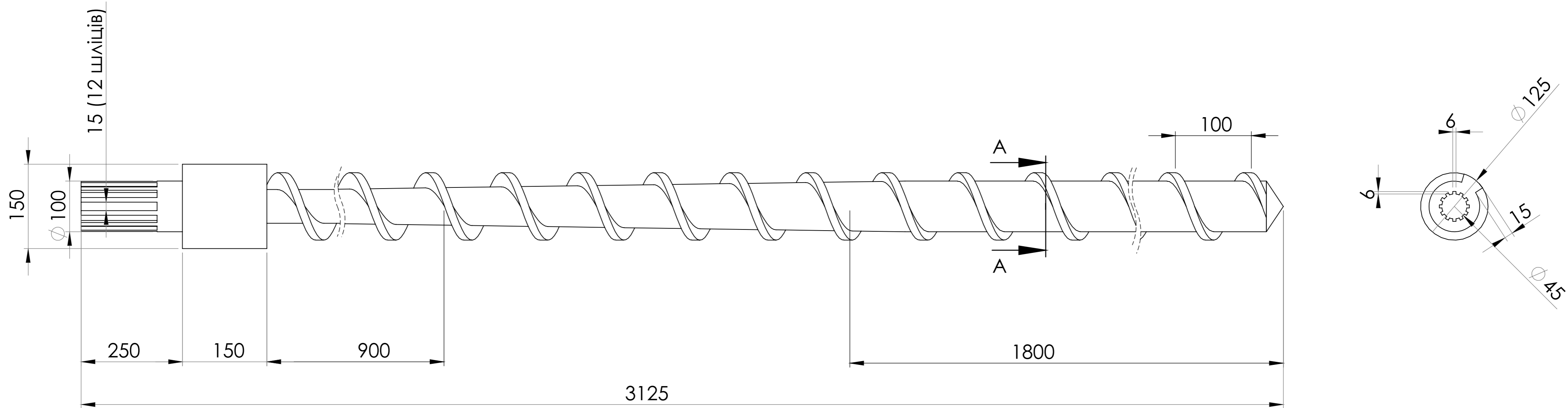
					<b>ЛП21мп.091243.000-70В3</b>			
Эм.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата	Черв'ячний екструдер ЧП125-25	Літ.	Маса	Масштаб
Розроб.	Левченко В.							1 : 20
Перев.	Чемерис А.О.					Аркуші	Аркуш	
Т.контр.						<b>КПІ ім. І. Сікорського</b>		
Н.контр.								
Затв.	Чемерис А.О.							



					<b>ЛП21мп.091245.001-70ТС</b>			
Эм.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата	Лінія для виробництва листів з модернізацією екструдера	Літ.	Маса	Масштаб
Розроб.	Левченко В.							1 : 20
Перев.	Чемерис А.О.					Аркуші	Аркуші	
Т.контр.						КПІ ім. І. Сікорського		
Н.контр.								
Затв.	Чемерис А.О.							



				<b>ЛП21мп.091241.002-70</b>		
				<b>Черв'як екструдера</b>		
				1 : 50		
				<b>КПІ ім. І. Сікорського</b>		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Літ.	Маса
Розроб.		Левченко В.				
Перев.		Чемерис А.О.			Аркуші	Аркуш
Т.контр						
Н.конт						
Затв.		Чемерис А.О.				

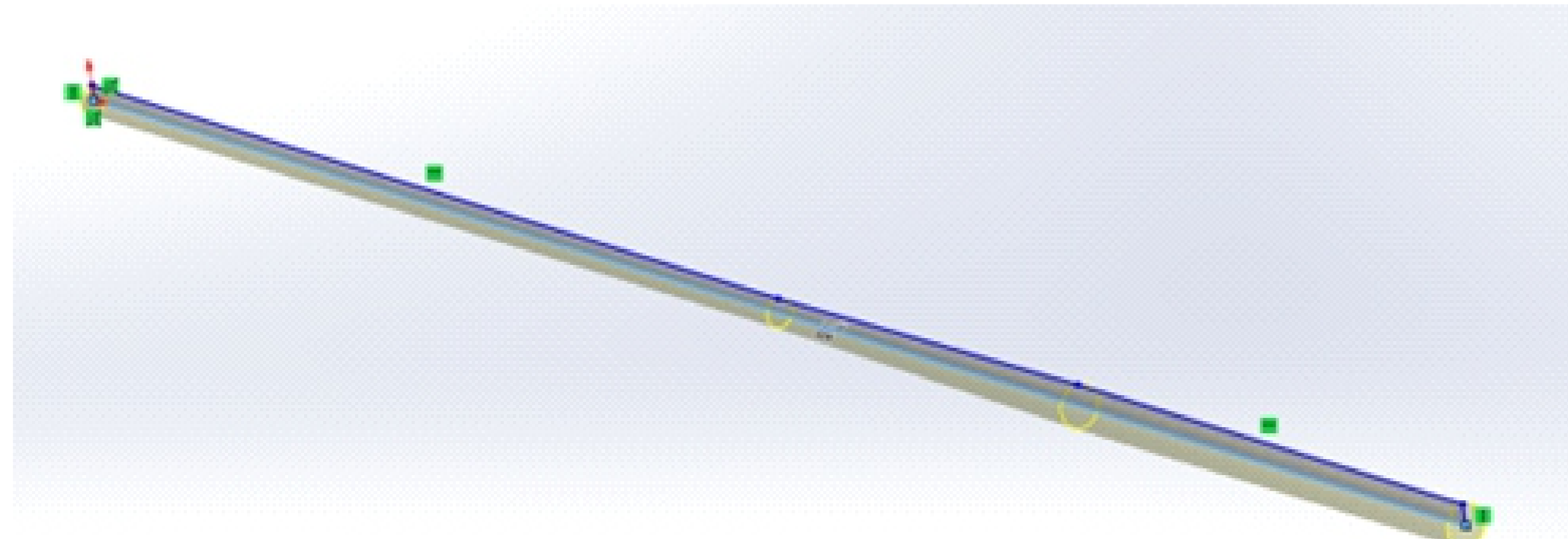


				<b>ЛП21мп.091241.003-70</b>		
				<b>Модернізований черв'як</b>		
Зм. Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КПІ ім. І. Сікорського		
Розроб.	Левченко В.					
Перев.	Чемерис А.О.					
Т.контр						
Н.конт						
Затв.	Чемерис А.О.			Аркуші	Аркуш	1 : 50

**Побудова ескізу черв'яка**



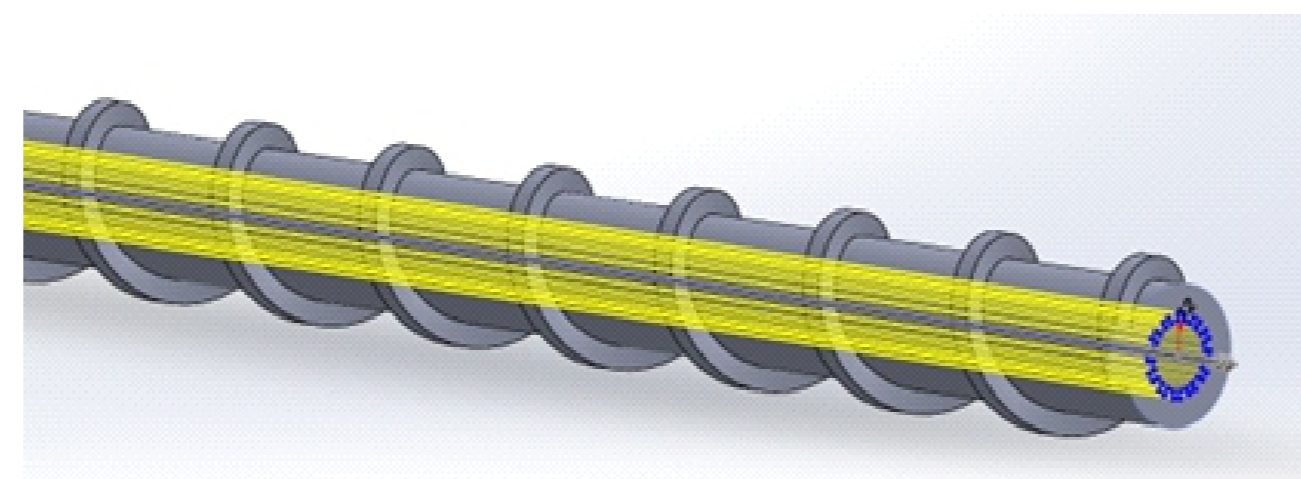
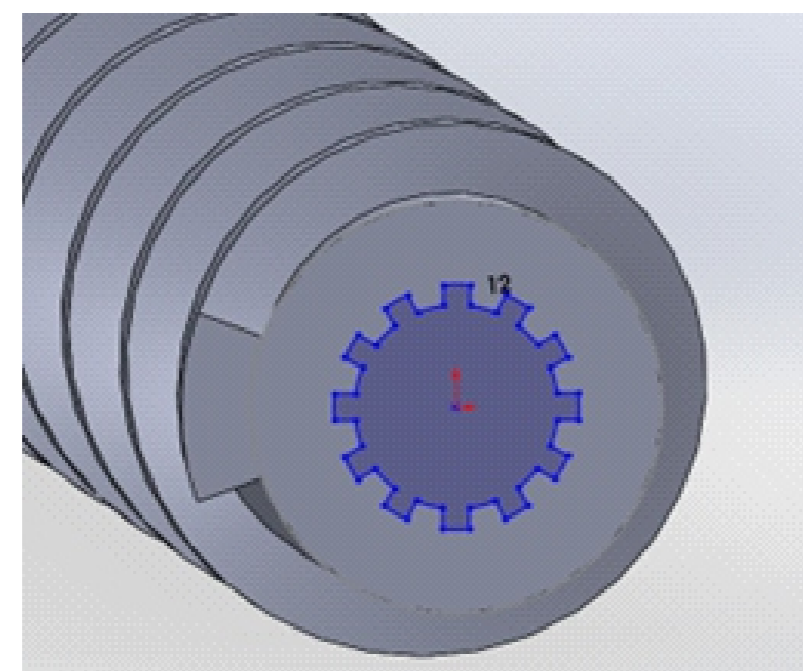
**Видавлення ескізу черв'яка**



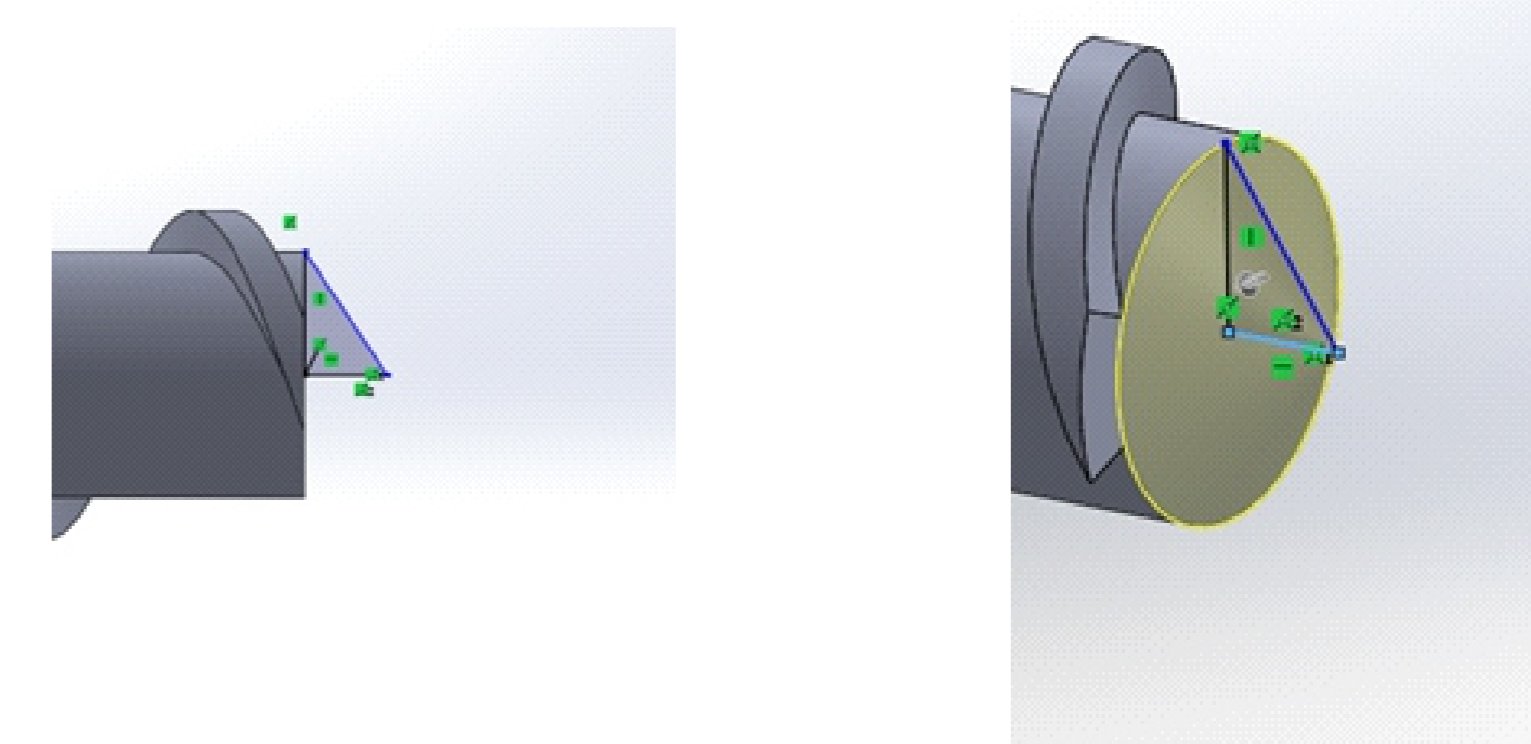
**Виконання побудови нарізки**



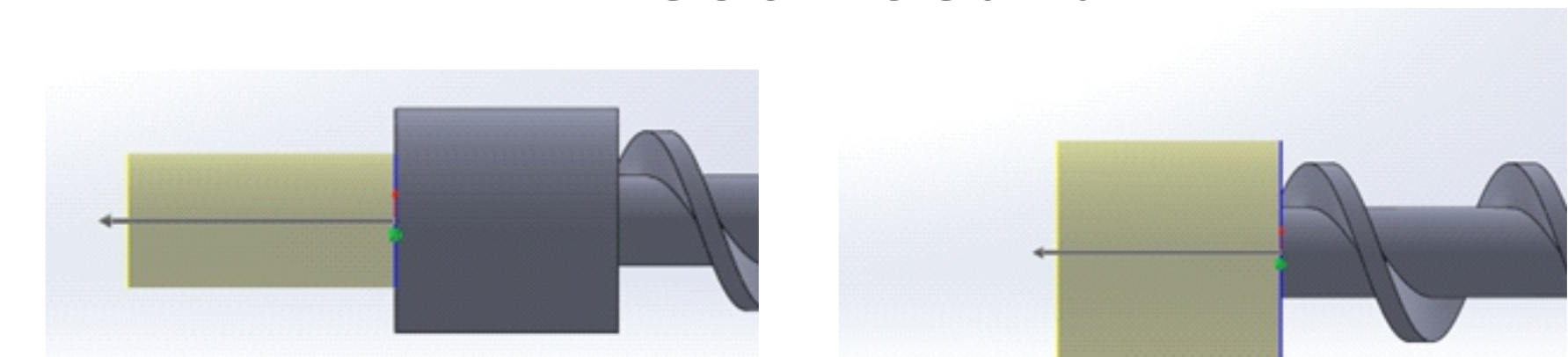
**Вирізання шліців**



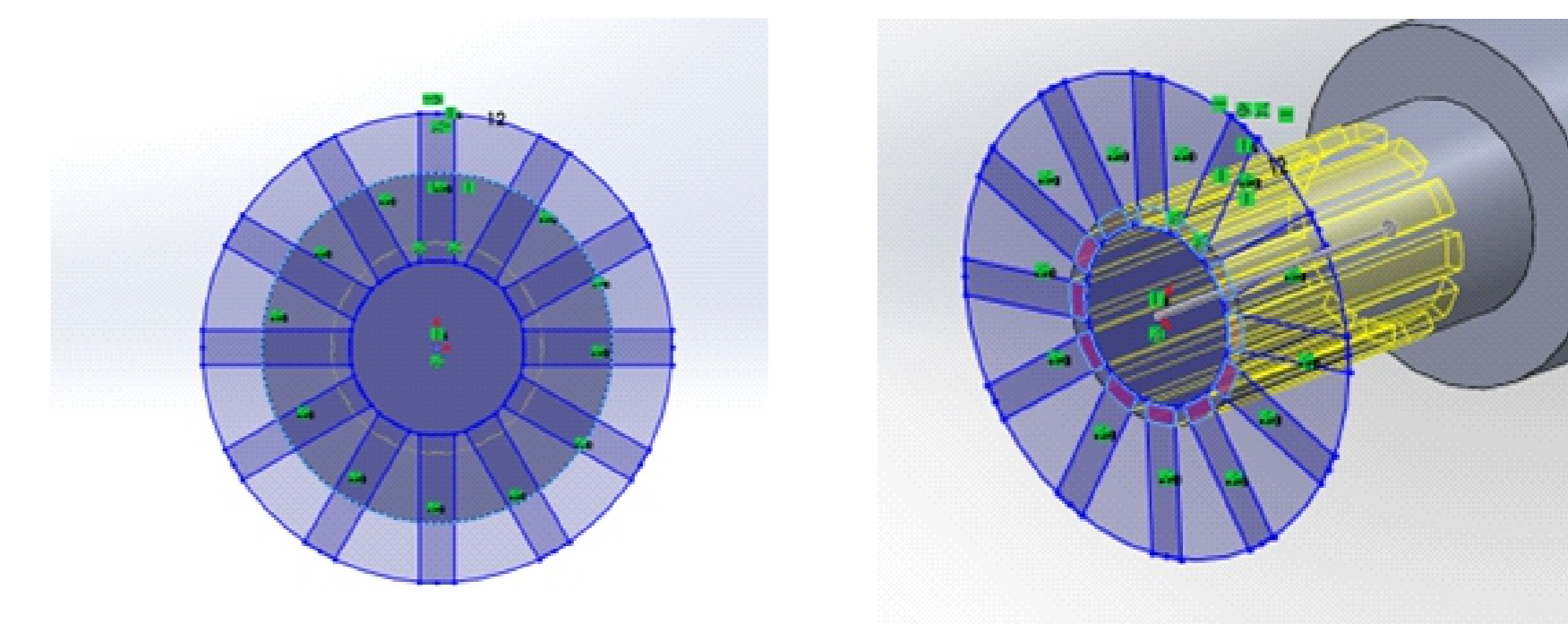
**Побудова кінцевика**



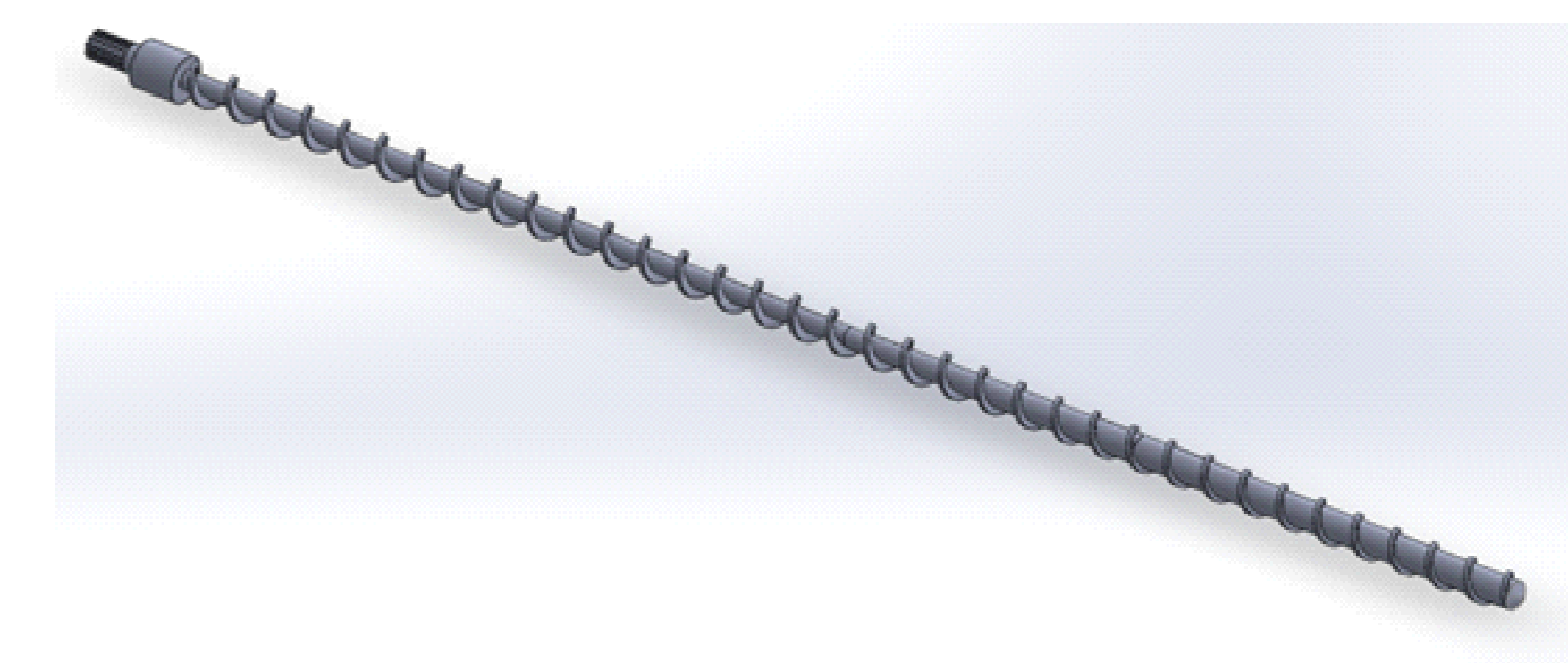
**Видавлювання хвостовика**



**Виконання шліців на хвостовику**



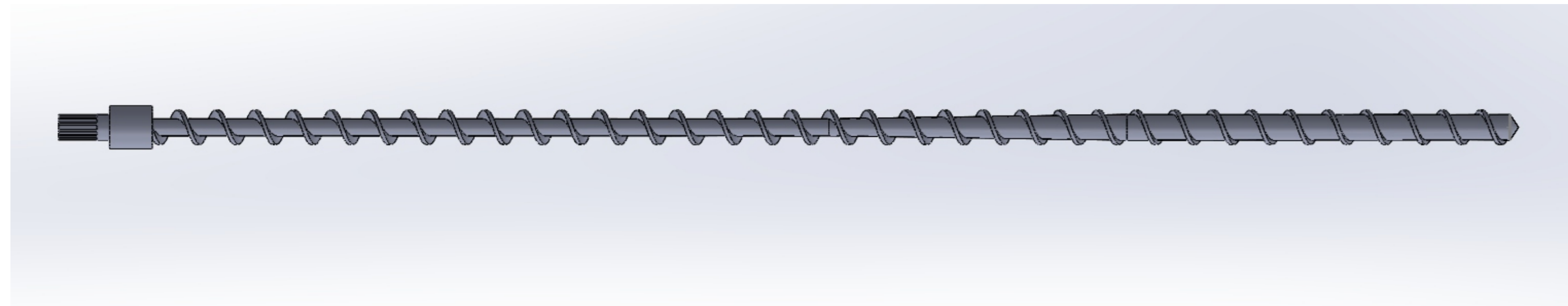
**Готова модель**



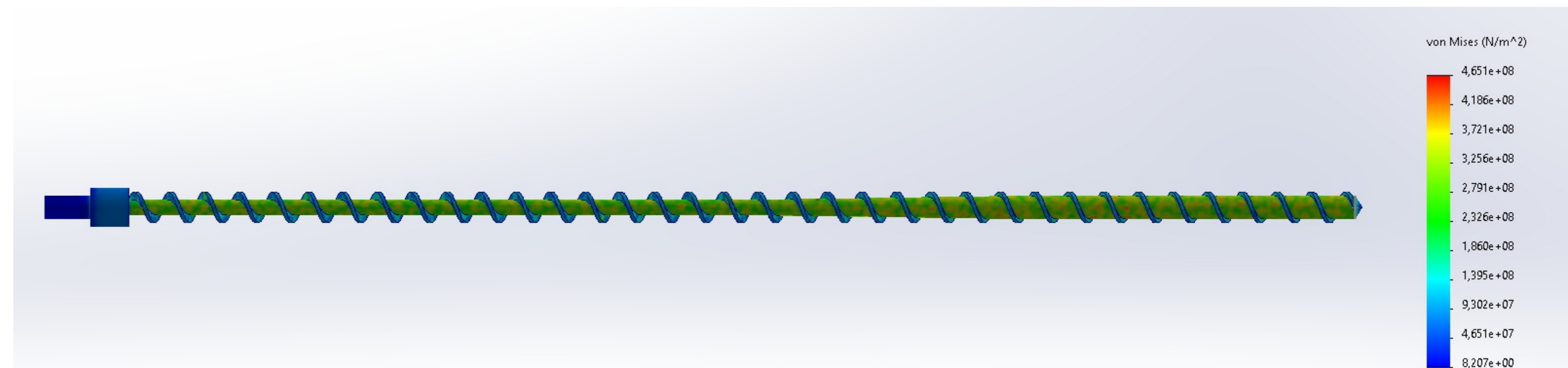
					ЛП21мп.091240.004-70ПЛ				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Побудова в SolidWorks		Літ.	Маса	Масштаб
Розроб.		Левченко В.			3D-моделі модернізованого черв'яка				1 : 2,5
Перев.		Чемерис А.О.					Аркуші	Аркуші	
Т.контр.							КПІ ім. І. Сікорського		
Н.контр.									
Затв.		Чемерис А.О.							

# Розрахунок напружено-деформованого стану базової конструкції черв'яка

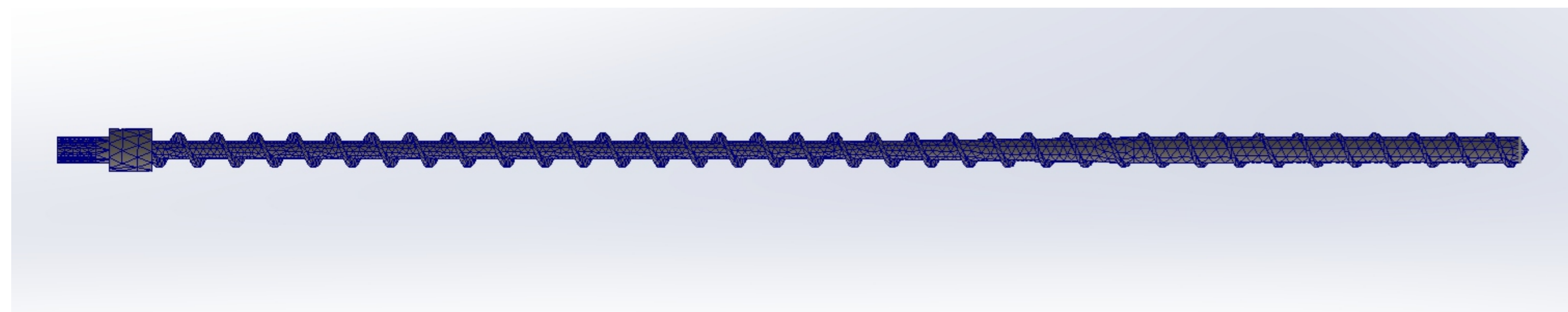
3D-модель



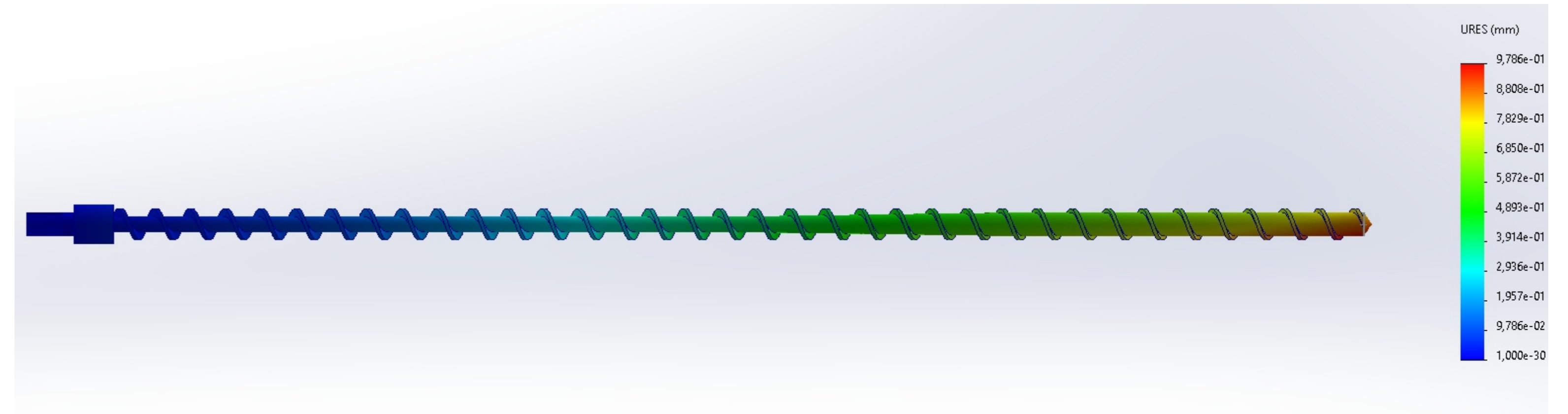
Напруження за Мізесом



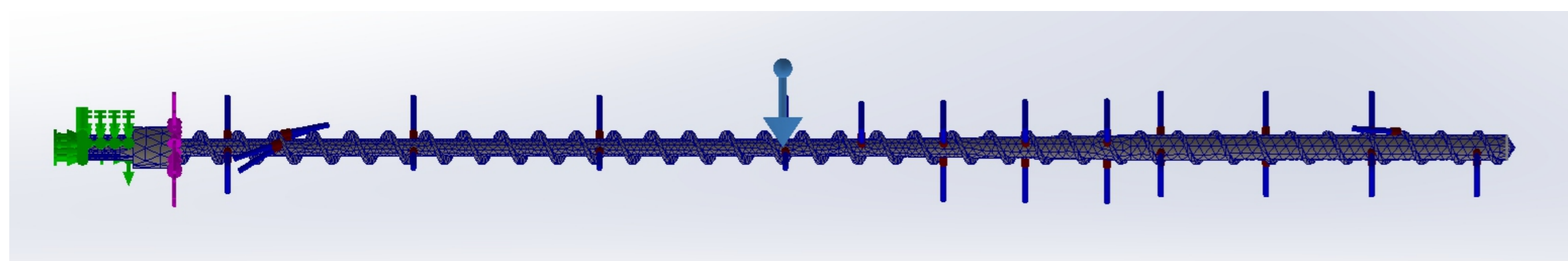
Сітка скінченних елементів



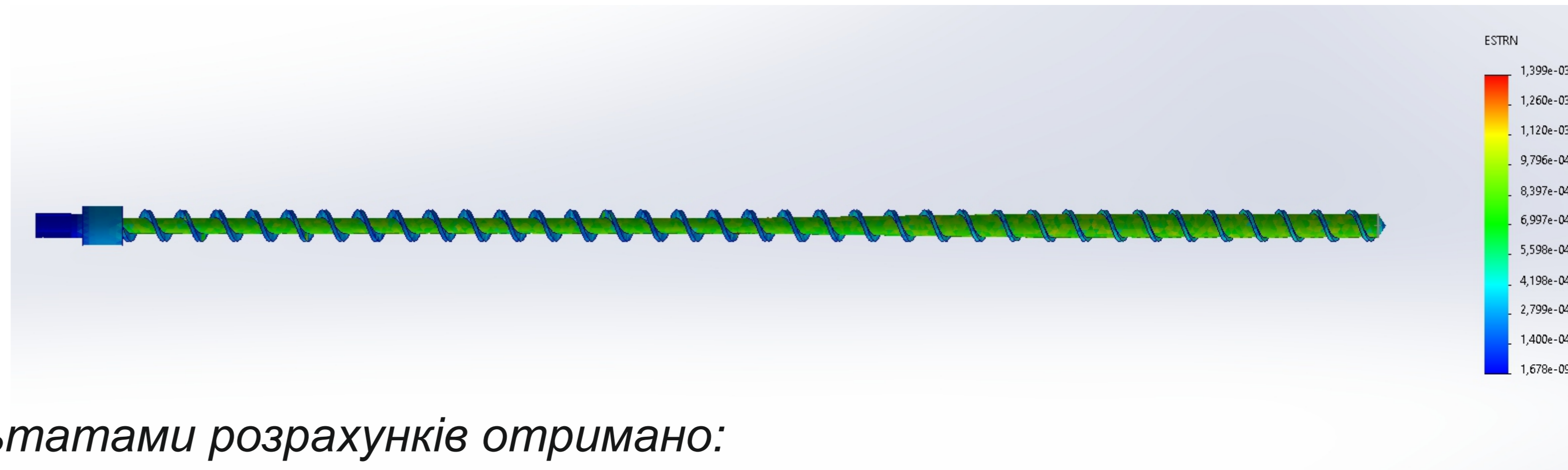
Еквівалентні переміщення



Накладення навантажень на черв'як



Еквівалентні деформації



- Fixtures
  - Fixed-6
- External Loads
  - Temperature-2 (:170 Celsius:)
  - Torque-2 (:Per item: 3 455 N.m:)
  - Gravity-1 (:9,81 m/s^2:)

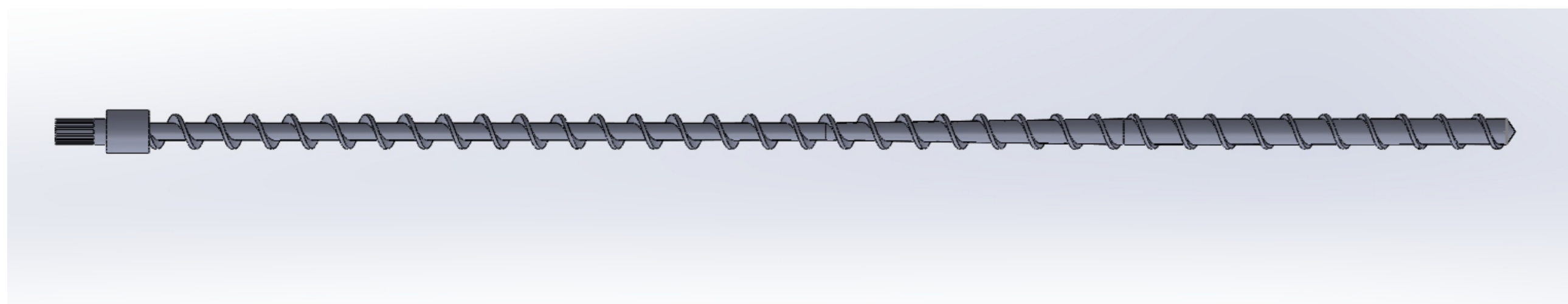
За результатами розрахунків отримано:

- Максимальні напруження, які виникають в черв'яку - складають  $G_{max} = 465$  МПа.
- Оскільки максимальні напруження менші за допустимі напруження сталі AISI S7 ( $G_{max} < [G] = 1035$  МПа), то умова міцності виконується та деформації, які виникають в черв'яку складають менше 0,002 мм, що підтверджує надійність черв'яка.

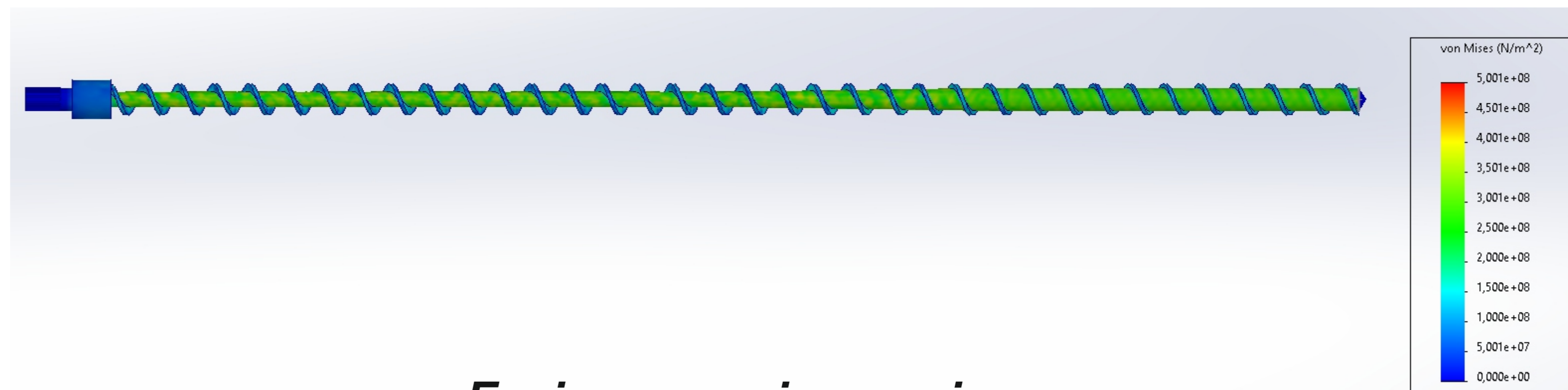
				ЛП21мп.091240.005-70ПЛ				
Зм.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	Розрахунки НДС черв'яка	Літ.	Маса	Масштаб
Розроб.	Левченко В.					1 : 2,5		
Перев.	Чемерис А.О.					Аркуші	Аркуші	
Т.контр.						КПІ ім. І. Сікорського		
Н.контр.								
Затв.	Чемерис А.О.							

# Розрахунок напружено-деформованого стану модернізованого черв'яка

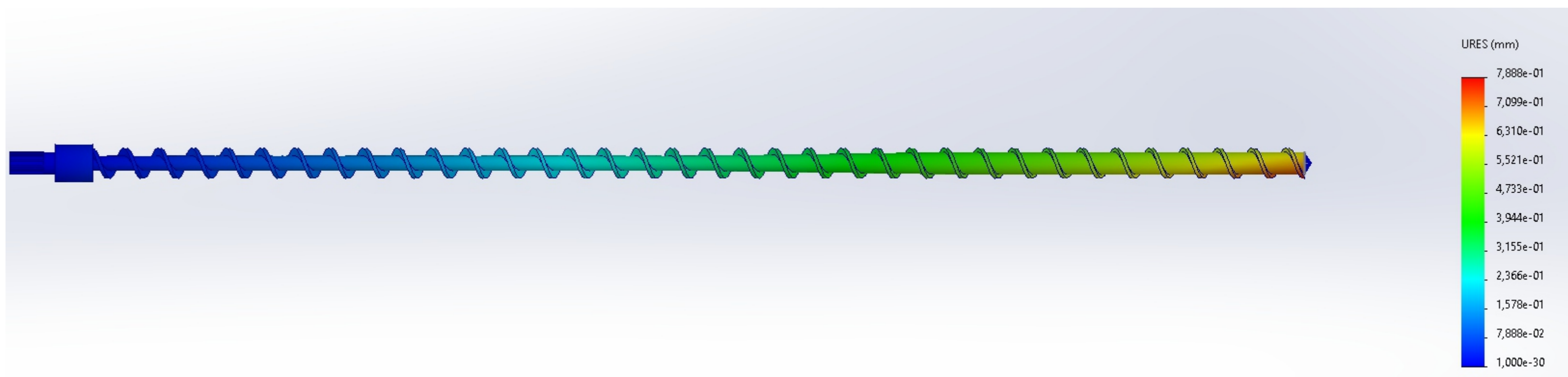
3D-модель



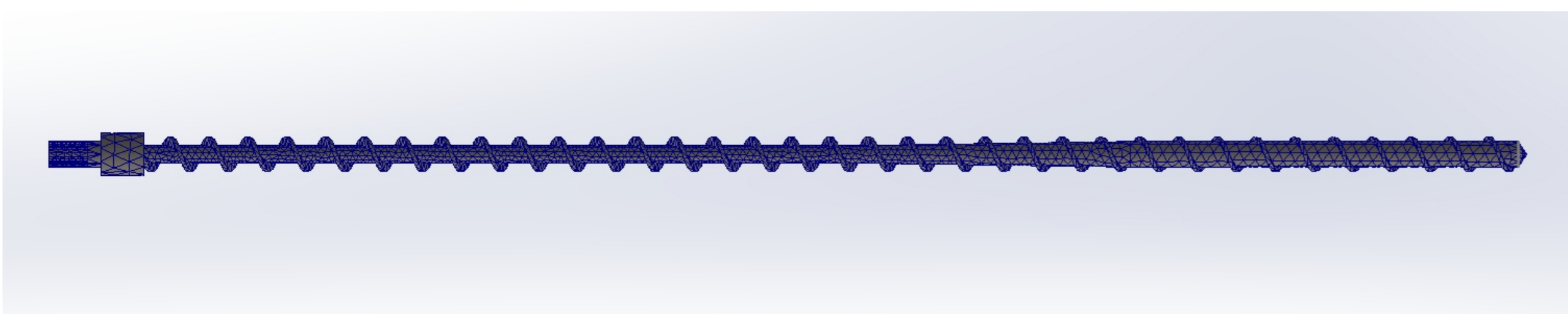
Напруження за Мізесом



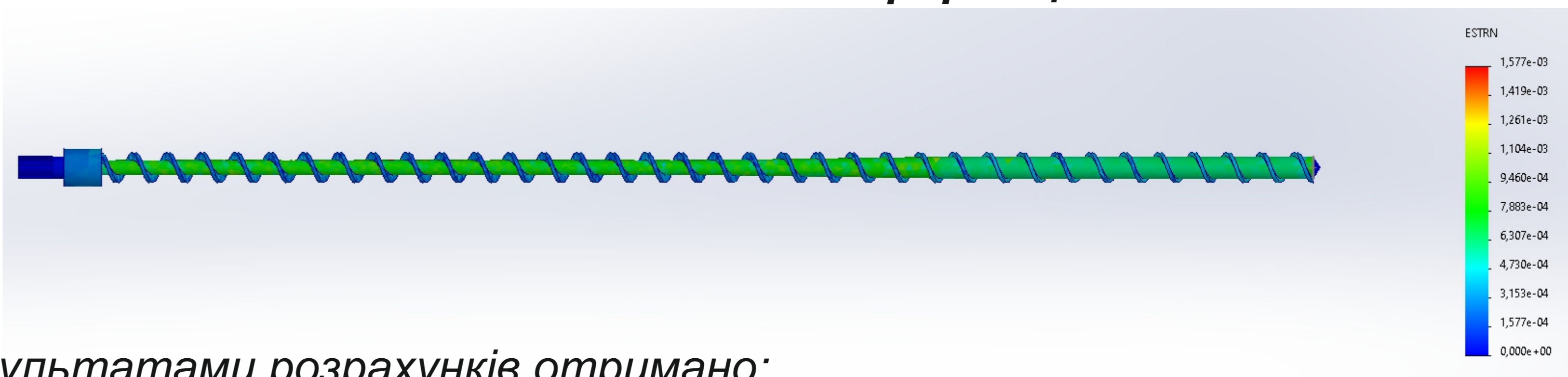
Еквівалентні переміщення



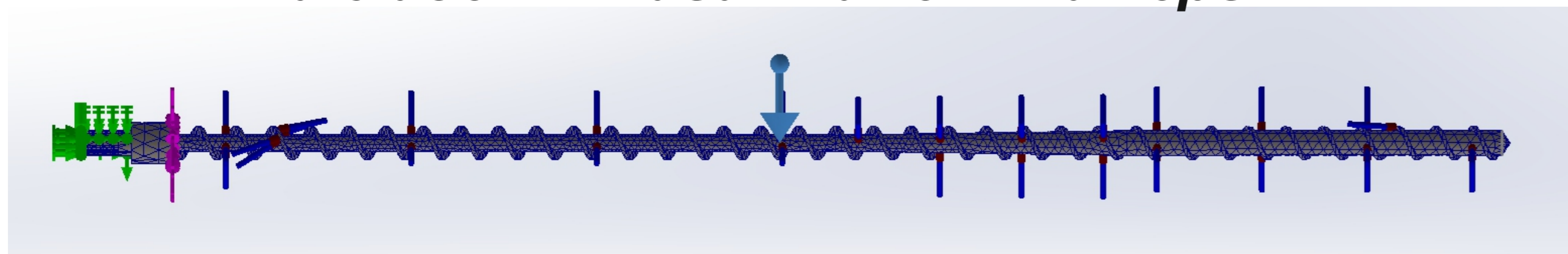
Сітка скінченних елементів



Еквівалентні деформації



Накладення навантажень на черв'як



- Fixtures
  - Fixed-6
- External Loads
  - Temperature-2 (:170 Celsius:)
  - Torque-2 (:Per item: 3 455 N.m:)**
  - Gravity-1 (:9,81 m/s^2:)

За результатами розрахунків отримано:

- Максимальні напруження, які виникають в черв'яку - складають  $G_{max} = 500$  МПа.
- Оскільки максимальні напруження менші за допустимі напруження сталі AISI S7 ( $G_{max} < [G] = 1035$  МПа), то умова міцності виконується та деформації, які виникають в черв'яку складають менше 0,002 мм, що підтверджує надійність черв'яка.

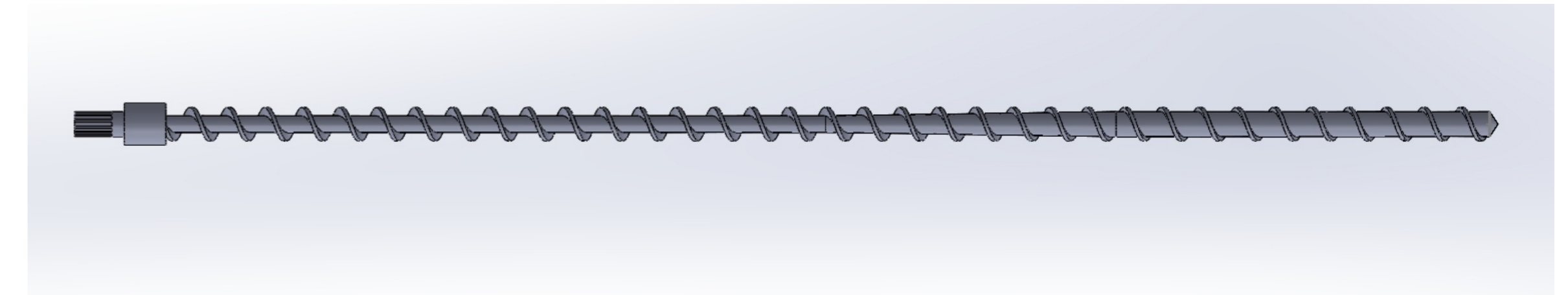
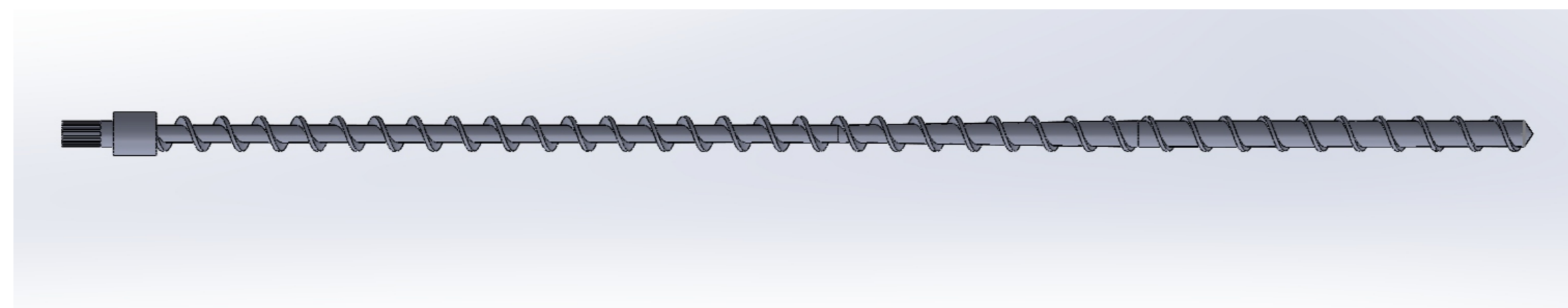
				ЛП21мп.091240.006-70				
Зм.	Арх.	№ докум.	Підпис	Дата	Розрахунки НДС модернізації	Літ.	Маса	Масштаб
Розроб.	Левченко В.							1 : 2,5
Перев.	Чемерис А.О.					Аркуші	Аркуші	
Н.контр						КПІ ім. І. Сікорського		
Затв.	Чемерис А.О.							

# Порівняльний аналіз черв'яка до та після модернізації

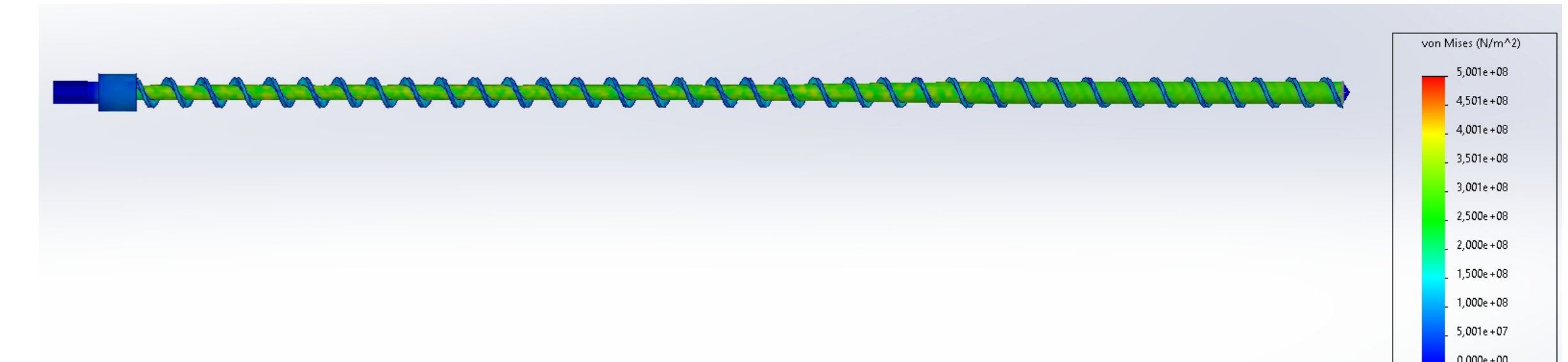
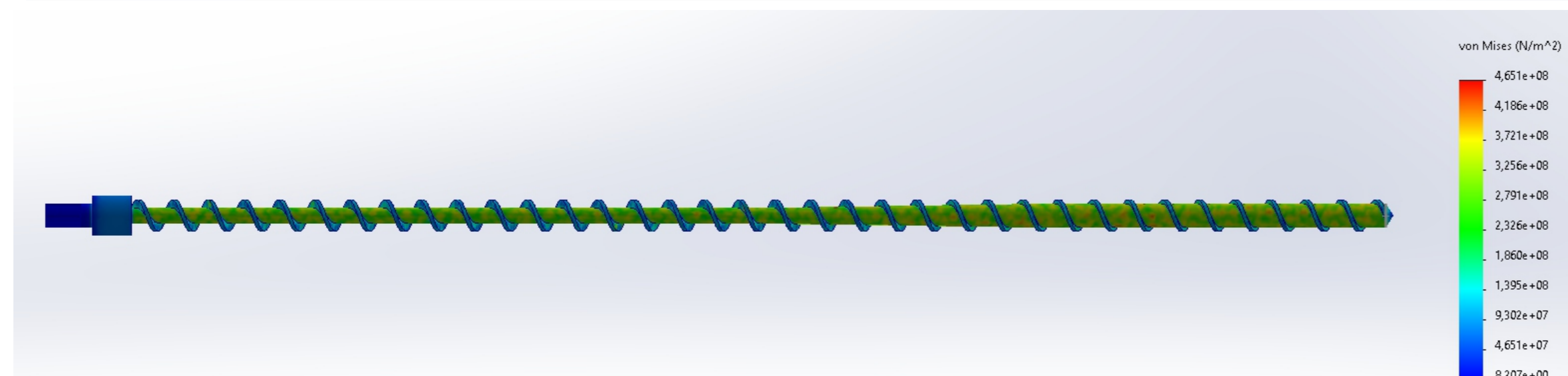
Базова конструкція  
черв'яка

Модернізований черв'як  
за патентом №137428

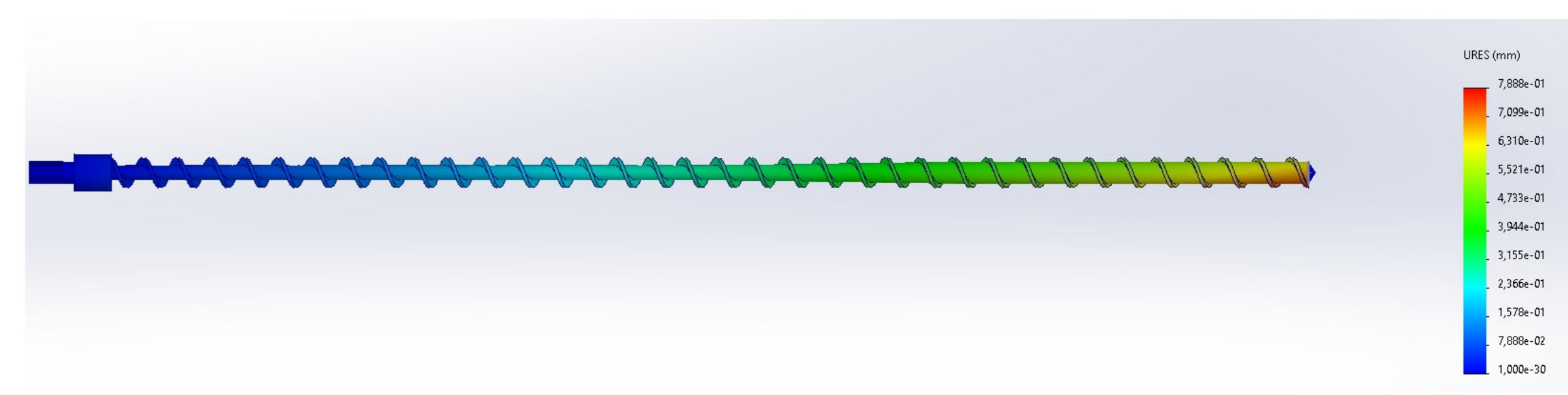
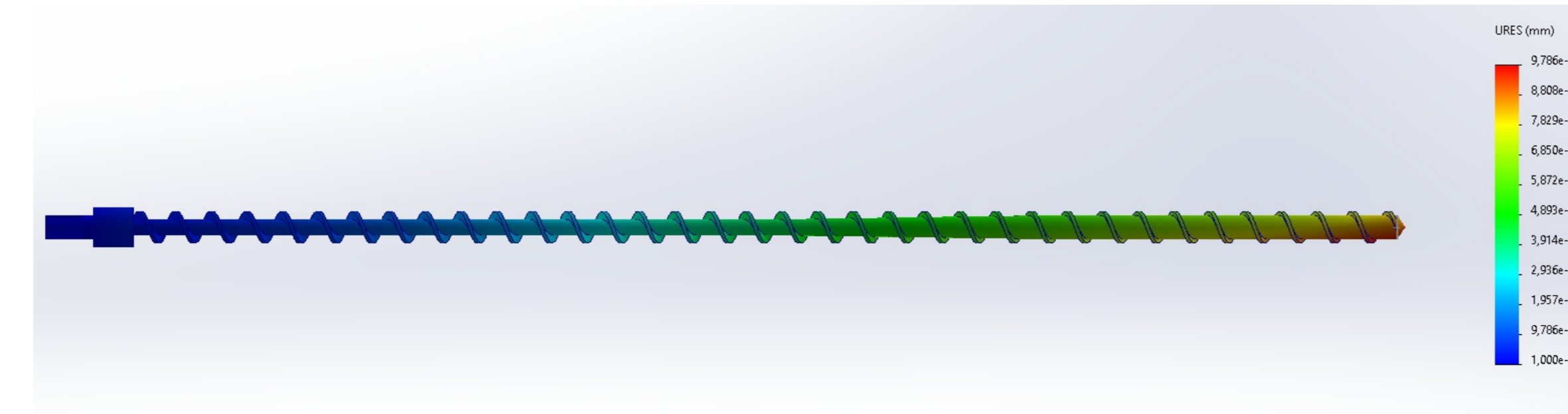
3D-модель



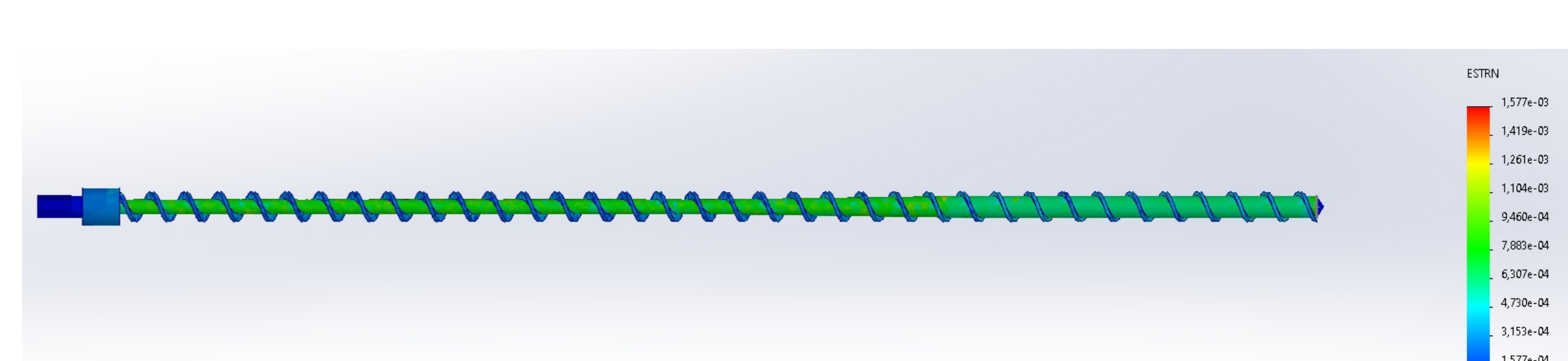
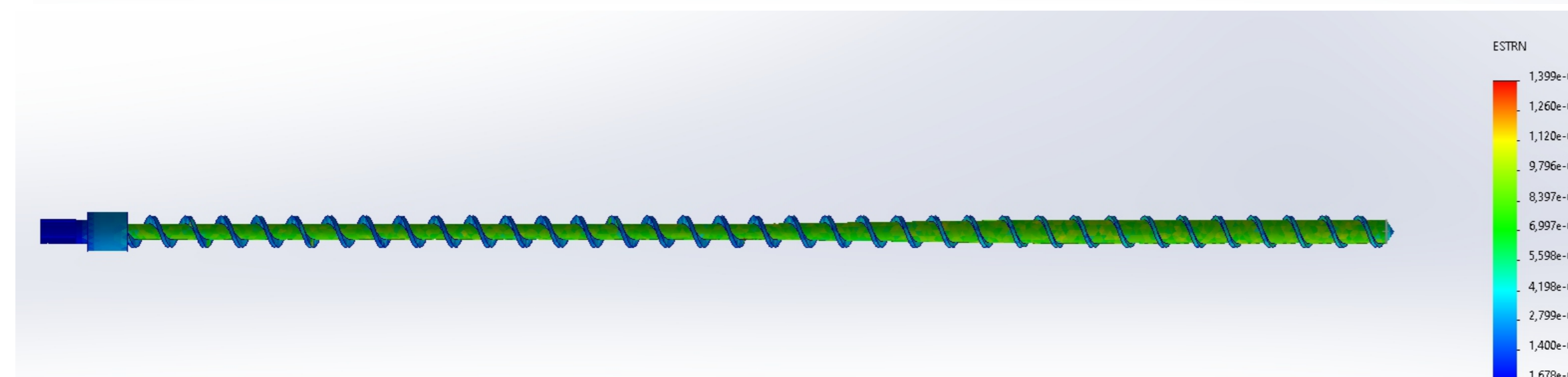
Еквівалентні  
напруження за  
Мізесом



Еквівалентні  
переміщення



Еквівалентні  
деформації



За результатами розрахунків напружено-деформованого стану отримано такі висновки:

1. Напруження та деформації модернізованого черв'яка трішки більші за напруження та деформації для базової конструкції. Це пояснюється тим, що базова конструкція черв'яка була виконана суцільною, у той час як модернізована конструкція виконана з повздовжніми шліцами по всій довжині зони дозування.
2. Модернізована конструкція черв'яка забезпечує усунення локальних перепадів напружень, що імовірно позитивно вплине на міцність, довговічність і строк його експлуатації.

					ЛП21мп.091240.007-70ПЛ		
Зм.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	Літ.	Маса	Масштаб
Розроб.		Левченко В.					
Перев.		Чемерис А.О.					
Т.контр.					Аркуші	Аркуші	
Н.контр.					КПІ ім. І. Сікорського		
Затв.		Чемерис А.О.					

