

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

**Інженерно-хімічний факультет
Кафедра хімічного полімерного і силікатного машинобудування**

«На правах рукопису»
УДК 678.057.3-036.4

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
О.Л.Сокольський
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ” 2024 р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
за освітньо-професійною програмою «Інжиніринг та комп’ютерно-інтегровані
технології проектування інноваційного галузевого обладнання»
зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
на тему: «Машина гумопереробна одночерв’ячна холодного живлення з
модернізацією робочих органів»**

Виконав:
студент VI курсу, групи ЛП-31мп
Плетньов Владислав Едуардович

Науковий керівник:
проф., д.т.н., с.н.с.

Мікульонок Ігор Олегович

Консультант з ТМ та Е
ст. викл. Борщик Сергій Олександрович
Консультант з модернізації
д.т.н., проф. Щербина Валерій Юрійович

Консультант зі стартап-проекту
К.е.н., доцент Юдіна Наталія Володимирівна

Рецензент:

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

Студент _____
(підпис)

Київ – 2024 рік

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

Кафедра хімічного полімерного і силікатного машинобудування

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 133 «Галузеве машинобудування»

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Олександр СОКОЛЬСЬКИЙ

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ на магістерську дисертацію студенту Плетньову В. Е.

1. Тема дисертації «машина гумопереробна одночерв'ячна холодного живлення з модернізацією робочих органів», науковий керівник дисертації Мікульонок І. О. проф., д.т.н., с.н.с., затверджені наказом по університету від «08» __11__ 2024р. № 5029-с
2. Термін подання студентом дисертації _____ 16 грудня 2024р.
3. Об'єкт дослідження: Машина гумопереробна одночерв'ячна типу МЧХ-160
4. Вихідні дані: діаметр черв'яка, мм – 160; кількість заходів черв'яка – 2; довжина нарізки черв'яка, мм – 2110; крок витка в зоні змішування й видавлювання, мм – 192 і 160, відповідно; діаметр осердя черв'яка в зоні завантаження й змішування, мм – 112 і 98, відповідно; діаметр осердя черв'яка на початку й в кінці зони виштовхування, мм – 98 і 112, відповідно; крок витка черв'яка в зоні завантаження, змішування й видавлювання, мм – 176, 192 і 160, відповідно; максимальна частота обертання черв'яка, об/хв – 50; властивості гумової суміші: густина, кг/м³ – 1375; питома масова теплоємність, Дж/(кг·К) – 1350; коефіцієнт тертя по сталі – 0,42.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: пояснювальна записка включає в себе: вступ; призначення та галузь застосування; конструкція та принцип дії машини; технічну характеристику; літературно-патентний огляд варіантів модернізації машини; обґрунтування вибраних варіантів модернізації; розрахунки, що підтверджують працездатність; спеціальні розділи; модернізація машини; специфікації.

Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: машина гумопереробна з модернізацією робочих органів (А2×4), корпус (А2×4), модернізований корпус

(A2×4), черв'як (A2×4), модернізований черв'як (A2×4), вузол упорного підшипника (A2×4), плакати розрахунків ANSYS (2 шт. A1).

6. Перелік публікацій: 2 тези.

7. Консультанти розділів дисертації

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

8. Дата видачі завдання 27.10.2024

9. Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Вступ; призначення та галузь застосування;	28.10.2024 – 29.10. 2024	
2	Конструкцію та принцип дії машини; технічну характеристику;	30.10. 2024 – 31.10. 2024	
3	Літературно-патентний огляд варіантів модернізації машини; обґрунтування вибраних варіантів модернізації;	01.11. 2024 – 04.11. 2024	
4	Розрахунки	05.11. 2024 – 11.11. 2024	
5	Креслення	12.11. 2024 – 21.11. 2024	
6	Спеціальні розділи	22.11. 2024–01.12. 2024	
7	3D моделювання та розрахунки в ANSYS	02.12. 2024 – 08.12. 2024	
8	Виправлення зауважень	09.12. 2024 – 16.12. 2024	

Студент

Владислав ПЛЕТНЬОВ

Науковий керівник

Ігор МІКУЛЬОНОК

РЕФЕРАТ

УДК 678.057.3-036.4

Магістерська дисертація на тему «Машина гумопереробна одночерв'ячна холодного живлення з модернізацією робочих органів» / КПП ім. Ігоря Сікорського; керівник І.О. Мікульонок, 2024. 147 с.: іл. – Викон. В.Е. Плетньов.

Пояснювальна записка складається зі вступу, семи розділів, висновків переліку посилан і трьох додатків. Загальний обсяг записки становить 147 сторінок, 61 рисунок, 26 таблиць, 3 додатки, 25 джерел інформації. Графічна частина містить 6 креслеників і 2 плакати.

Об'єкт дослідження – машина гумопереробна одночерв'ячна типу МЧХ-160.

Мета роботи: модернізація робочих органів машини гумопереробної одночерв'ячної холодного живлення.

У магістерській дисертації розглянуто принцип роботи та конструкцію машини. На основі аналізу технічної характеристики машини виконано параметричні й теплові розрахунки, а також розрахунки на міцність робочих органів, у тому числі в системі ANSYS. Результати розрахунків підтверджують працездатність та ефективність модернізацій.

Недоліком базової конструкції черв'яка є його малоефективне охолодження, а базової конструкції корпусу – недостатньо ефективна теплопередача між гільзою та корпусом. З метою модернізації було проведено літературно-патентний пошук варіантів модернізації. Запропоновано два варіанти модернізації, що полягають у виконання спірального каналу охолодження у гребені гвинтової нарізки черв'яка, що підвищує ефективність охолодження черв'яка, та заміною прошарку повітря в проміжку між гільзою та корпусом на термопасту, що знижує термічний опір стінки корпусу.

Пропоновані модернізації можуть бути впроваджені на Першому київському машинобудівному заводі (до 2018 року – завод «Більшовик»).

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ГУМОВА СУМІШ, ОДНОЧЕРВ'ЯЧНА МАШИНА, ЧЕРВ'ЯК, КОРПУС, ГІЛЬЗА, МОДЕРНІЗАЦІЯ.

ABSTRACT

UDC 678.057.3-036.4

Master's Thesis on the topic: "Cold-Feed Single-Screw Rubber Processing Machine with Modernized Working Components" / Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute; supervisor I.O. Mikulionok, 2024. 147 pages: illustrations. – Author: V.E. Pletnev.

The explanatory note consists of an introduction, seven chapters, conclusions, a list of references, and three appendices. The total volume of the note is 147 pages, including 61 figures, 26 tables, 3 appendices, and 25 sources of information. The graphic section includes 6 drawings and 2 posters.

Object of study: Cold-feed single-screw rubber processing machine of the MCH-160 type.

Purpose of the work: Modernization of the working components of a cold-feed single-screw rubber processing machine.

The master's thesis examines the operating principle and design of the machine. Based on the analysis of the machine's technical characteristics, parametric, thermal, and strength calculations of the working components were performed, including simulations in the ANSYS system. The calculation results confirm the operability and efficiency of the proposed modernizations.

The drawback of the baseline screw design is its inefficient cooling, while the baseline housing design demonstrates insufficient thermal transfer between the sleeve and the housing. To address these issues, a literary and patent review of modernization options was conducted. Two modernization approaches are proposed: implementing a spiral cooling channel in the screw thread crest, which enhances the screw's cooling efficiency, and replacing the air gap between the sleeve and the housing with thermal paste, reducing the thermal resistance of the housing wall.

The proposed modernizations can be implemented at the First Kyiv Machine-Building Plant (until 2018 – «Bolshevik» plant).

KEYWORDS: RUBBER COMPOUND, SINGLE-SCREW MACHINE,
SCREW, HOUSING, SLEEVE, MODERNIZATION.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

A – осьове зусилля, Н.

b – товщина витка, мм;

c – питома масова теплоємність суміші, Дж/(кг·К);

$d_{\text{вн}}$ – внутрішній діаметр, мм;

$d_{\text{сп}}$ – середній діаметр, мм;

D – зовнішній діаметр черв'яка, мм;

f – коефіцієнт тертя суміші по циліндру;

$F_{\text{в}}$ – площа зони виштовхування, мм²;

$F_{\text{с}}$ – площа поперечного перерізу черв'яка, м²;

$F_{\text{ч}}$ – поверхня теплообміну черв'яка, м²;

$G_{\text{см}}$ – максимальна продуктивність машини, кг/год;

$G_{\text{чер}}$ – загальна вага черв'яка, кг;

i – радіус інерції перерізу;

i – число заходів черв'яка;

J – момент інерції поперечного перерізу черв'яка;

K – загальне осьове зусилля, Н;

K – степінь стискання черв'яка;

K – коефіцієнт теплопередачі, $\frac{\text{кВт}}{\text{м}^2\text{К}}$;

l_1 – довжина каналу в черв'яку, м;

L – довжина нарізки черв'яка, мм;

$M_{\text{кр}}$ – крутний момент на черв'яку, Н·м;

n – максимальна частота обертання черв'яка, об/хв;

n – запас міцності;

N – потужність, яка передається черв'яком, кВт;

Nu – критерій Нусельта;

P – максимальний допустимий питомий тиск матеріалу, МПа;

P_r – тиск в головці, Н;

P_{oc} – осьове зусилля, яке виникає в гвинтовому каналі черв'яка, Н;

Pr – критерій Прандтля;

q – рівномірно розповсюджене навантаження від ваги черв'яка, Н;

Q – ефективна продуктивність машини, кг/год;

Q_{cm} – кількість тепла, що йде на розігрів суміші, кВт;

r_s – середній радіус витка в зоні виштовхування, м;

R – зовнішній радіус нарізки черв'яка м.

R – радіус черв'яка, м;

Re – критерій Рейнольдса

S_1 – крок витка в зоні завантаження, мм;

t – крок між витками, мм;

$t_{ксм}$ – температура суміші, К;

T – тангенціальна складова від тертя, кН;

$V_{п}$ – об'єм впадин черв'яка на довжині одного кроку, м³;

V – об'єм між двома витками черв'яка, м³;

$W_{н.о}$ – момент опору вигину перерізу, м³;

W_p – полярний момент опору, м³;

α_1 – коефіцієнт тепловіддачі від маси до стінки, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$;

β – коефіцієнт стану поверхні;

β – коефіцієнт заповнення об'єму між витками гумової суміші;

γ – питома вага води при кг/м^3 ;

γ_0 – питома вага гумової суміші, кг/м^3 ;

$\delta_{ст}$ – товщина стінки, крізь яку проходить теплопередача, м;

ϵ_{σ} – масштабний фактор, враховуючий зміну меж втоми при вигині;

$\eta_{пр}$ – коефіцієнт корисної дії приводу;

k_{σ} – ефективний коефіцієнт концентрації напружень;

λ – гнучкість вала черв'яка;

$\lambda_{п}$ – кут підйому витка;

$\lambda_{ст}$ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу стінки, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$;

μ – коефіцієнт, який залежить від способу кріплення;

ρ – густина суміші, кг/м^3 ;

ρ – кут тертя гумової суміші по сталі;

σ – навантаження, МПа;

σ_{-1} – межа втоми при вигині для матеріалу черв'яка, Мпа;

ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості води, $\text{м}^2/\text{с}$;

$\omega_{\text{ч}}$ – швидкість руху води в каналі черв'яка, м/с ;

ψ_{σ} – коефіцієнт, враховуючий вплив на витривалість постійного доданку напруження;

ЗМІСТ

ВСТУП.....	1
ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ГАЛУЗЬ ЗАСТОСУВАННЯ.....	2
1 КОНСТРУКЦІЯ ТА ПРИНЦИП ДІЇ МАШИНИ.....	3
2 ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА МАШИНИ.....	6
3 ЛІТЕРАТУРНО-ПАТЕНТНИЙ ОГЛЯД ВАРІАНТІВ МОДЕРНІЗАЦІЇ МАШИНИ.....	8
3.1 Літературно-патентний огляд варіантів модернізації.....	8
4 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБРАНИХ МОДЕРНІЗАЦІЙ.....	11
5 РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ МАШИНИ ..	17
5.1 Параметричні розрахунки.....	17
5.2 Тепловий розрахунок.....	22
5.3 Розрахунок на міцність.....	36
6 СПЕЦІАЛЬНІ РОЗДІЛИ.....	47
6.1 Монтаж і експлуатація.....	47
6.2 Розробка стартап проєкту.....	63
6.3 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	92
7 МОДЕРНІЗАЦІЯ МАШИНИ.....	98
7.1 Модернізація черв'яка.....	98
7.2 Модернізація робочого циліндра.....	117
ОЧІКУВАНІ МЕХАНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ.....	127
ВИСНОВКИ.....	128
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	129
ДОДАТОК А. Таблиця розглянутих патентів.....	132
ДОДАТОК Б. Специфікації.....	136
ДОДАТОК В. Науково-технічні досягнення.....	145

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку промисловості особливо актуальною є проблема переробки гумових сумішей для виробництва нових виробів. Одним із ключових напрямків є впровадження нових технологій, що дають змогу не лише знижувати використання первинних ресурсів, але й забезпечувати високу якість продукції. Важливу роль у цьому процесі відіграють машини для переробки гуми, зокрема машини одночерв'ячні холодного живлення (МЧХ).

Машини черв'ячні холодного живлення для переробки гуми дають змогу переробляти гумові матеріали при відносно низьких температурах, що забезпечує збереження фізико-хімічних властивостей вихідної сировини. МЧХ є ефективним обладнанням, яке використовується для подрібнення та подальшого формування гумових виробів. Завдяки своїй простоті конструкції та можливості регулювання процесів такі машини широко застосовуються у виробництві.

Метою даної дисертації є модернізація робочих органів машини гумопереробної одночерв'ячної холодного живлення.

ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ГАЛУЗЬ ЗАСТОСУВАННЯ

Машина гумопереробна одночерв'ячна холодного живлення (далі МЧХ) – Машина для перероблення гумових сумішей, температура яких у момент надходження до завантажувальної лійки становить 15–30 °С (ГОСТ 11441–93) [1]. Особливістю такої машини є холодне живлення, що означає, що матеріал подається до екструдера без попереднього нагрівання. Одночерв'ячна конструкція вказує на те, що в машині використовується один гвинтовий екструдер (черв'як), який забезпечує процес подрібнення та подальшої переробки матеріалу.

Основні етапи роботи включають:

Подавання сировини: гумові відходи подаються в екструдер без нагріву.

Подрібнення і формування: черв'як екструдера захоплює матеріал і подрібнює його, використовуючи механічне стискання і зсув.

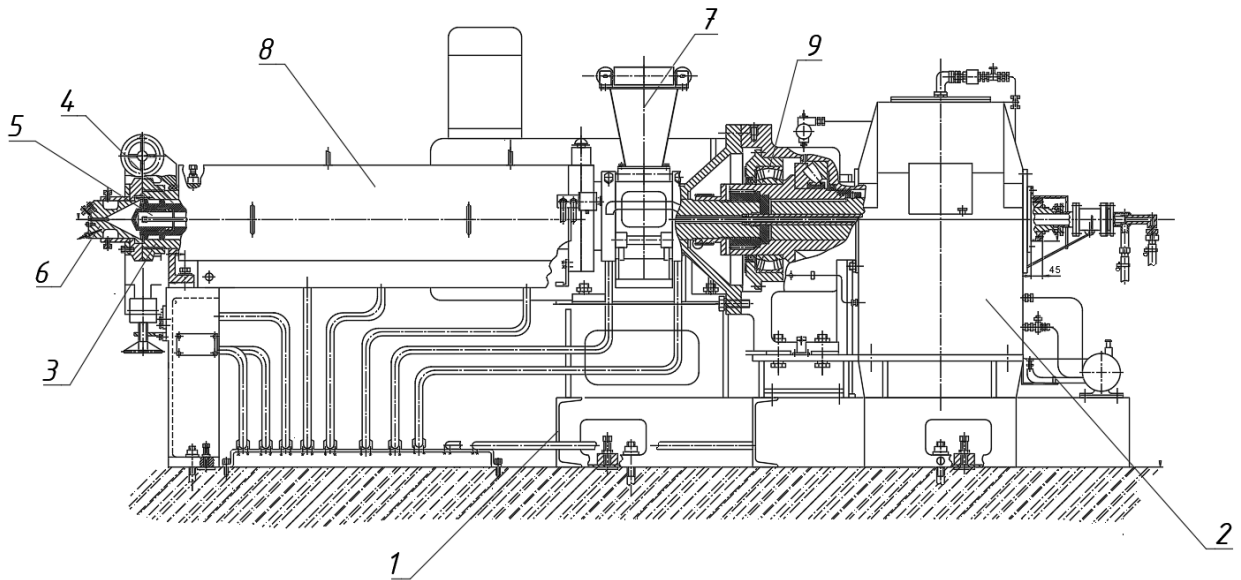
Виведення матеріалу: у процесі матеріал може нагріватися через тертя, але початково подається холодним.

Такі машини використовуються для переробки гуми у вторинну сировину, яка може бути використана для виготовлення нових продуктів, таких як гумові покриття, дорожні матеріали, гумові деталі тощо.

Подібні системи широко застосовуються в екологічних і виробничих сферах для зниження кількості відходів і повторного використання ресурсів.

1 КОНСТРУКЦІЯ ТА ПРИНЦИП ДІЇ МАШИНИ

МЧХ є складним механізмом та має доволі продуману конструкцію, що забезпечує високу продуктивність та ефективність. На рисунку 1.1 показано базову конструкцію МЧХ.



1 – рама; 2 – редуктор; 3 – циліндр; 4 – черв'як; 5 – система охолодження;
6 – головка; 7 – завантажувальна горловина; 8 – кожух;
9 – вузол упорного підшипника

Рисунок 1.1 – Машина МЧХ-160

Основними елементами машини є:

Рама – основна структура, на якій закріплені всі компоненти машини. Призначення для забезпечення стійкості, стабільності та міцності конструкції.

Редуктор – циліндрична двоступінчаста передача, що складається із зубчастих коліс, які перебувають у зачепленні, жорстко закріплених на валах, які в свою чергу встановлені у чавунному корпусі із горизонтальним роз'ємом. Опорою для валів у корпусі являються конічні роликові підшипники, а гумові манжети слугують ущільненням. У корпусі редуктора відбувається змащування

елементів для зменшення сили тертя та охолодження. Редуктор призначений для передачі обертального руху черв'яку.

Циліндр – має дві секції. Перша містить завантажувальну воронку, що виконує функцію живлення. Друга секція циліндра містить дві зони охолодження. Вона виконана у вигляді гільзи та закінчується різьбовим фланцем.

Черв'як – основний робочий елемент, що відповідає за переміщення матеріалу вздовж циліндра, шляхом обертання та захоплення сировини гвинтовою нарізкою. Виконаний зі змінним кроком та висотою нарізки витків.

Система охолодження – запобігає перегріванню елементів, що являється важливим для підтримання оптимальних умов роботи і запобігання зношування.

Головка – призначена для проходження крізь неї матеріалу та надання йому форми.

Завантажувальна горловина – важливий компонент, який призначений для завантаження крізь неї сировини до робочого циліндра.

Кожух – є зовнішньою оболонкою машини. Призначений для захисту внутрішніх компонентів та забезпечення герметичності системи.

Вузол упорного підшипника – сприймає осьові зусилля, що діють на черв'як.

Вся конструкція МЧХ змонтована на рамі. У даній машині гума подається крізь завантажувальну горловину 7 у робочий циліндр 3, де черв'як 4 здійснює обертальний рух завдяки редуктору 2. Осьове зусилля черв'яка на себе сприймає вузол упорного підшипника 9. Черв'як захоплює матеріал та переміщує його у напрямку до головки 6. Під час переміщення матеріалу, між ним та поверхнями черв'яка та циліндра виникає тертя. Завдяки тертю та дії тепла матеріал піддається стисканню та поступово стає розплавом, який витискається через головку. Для підтримання оптимального температурного режиму, машина оснащена системою охолодження 5. Температура та стан поверхні робочих органів значно впливають на коефіцієнт тертя між матеріалом та цими органами.

Циліндр машини може нагріватись, а черв'як охолоджуватись, для створення різних коефіцієнтів тертя під час робочого процесу.

В процесі роботи матеріал потрапляє в циліндр і починає переміщуватись. Під час переміщення збільшується пластичність і поліпшується перероблюваність матеріалу.

Відповідно до цього, черв'як поділяється на зони:

- зона завантаження (живлення) – приймає матеріал, захоплює та починає переміщувати;
- зона змішування (стискання) – в цій зоні матеріал переходить з твердого стану в термопластичний, в'язкий;
- зона видавлювання (дозування) – приймає пластичний матеріал з попередньої зони та гомогенізує його, підігріває та рівномірно видавлює через головку.

2 ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА МАШИНИ

Технічну характеристику МЧХ–160 наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічна характеристика МЧХ–160

Найменування параметра	Значення параметра
1	2
1. Продуктивність під час перероблення гумових сумішей, кг/год: з в'язкістю за Муні, не більше 55 одиниць з в'язкістю за Муні, не більше 75 одиниць з в'язкістю за Муні, не більше 125 одиниць	820-1250 620-930 400-620
2. Площа поперечного перерізу формованого виробу (заготовки), м ²	0,0005-0,0035
3. Діаметр черв'яка, мм	160 ^{-0,15} _{-0,50}
4. Відношення робочої довжини черв'яка до його діаметра	12
5. Відстань від основи машини до осі черв'яка	1000±2,8
6. Частота обертання черв'яка, об/с	0,083-0,83
7. Регулювання частоти обертання черв'яка	безступінчасте
8. Регулювання температурного режиму по зонах	автоматичне
9. Кількість зон регулювання	4
10. Максимальна температура води в циркуляційних контурах системи регулювання температури, К	363
11. Максимальна температура регулювання по зонах у робочому режимі, К	413

Таблиця 2.1, продовження

1	2
12. Тиск води на вході в станцію регулювання температури, МПа	0,2-0,4
13. Температура води на вході в станцію регулювання температури, К	288-298
14. Об'ємні витрати охолоджуючої води м ³ /с (м ³ /год)	0,0022(8)
15. Встановлена потужність, кВт, у тому числі: – електродвигунів; – електронагрівників	245,2 207 38,2
16. Живлення тиристорного агрегату та електродвигунів допоміжних приводів і ланцюгів управління від мережі змінного трифазного струму з нульовим проводом: – напруга, В – частота, Гц – номінальна напруга головного електродвигуна постійного струму, В	380 ⁺³⁸ ₋₁₉ 50±0,2 440
17. Габаритні розміри машини, мм, не більше довжина ширина висота	4300 1805 1765
18. Маса, кг, не більше	6800

3 ЛІТЕРАТУРНО-ПАТЕНТНИЙ ОГЛЯД ВАРІАНТІВ МОДЕРНІЗАЦІЇ МАШИНИ

У даному проєкті представлена розробка конструкції одночерв'ячної гумопереробної машини холодного живлення з модернізацією корпусу та черв'яка. Проєктований апарат включає горизонтальний корпус, теплоізоляційний кожух з воронкою та черв'як із формуючою головкою. У процесі роботи, гранульований матеріал потрапляє у завантажувальну воронку, де він розм'якшується, гомогенізується і надходить до профілювальної головки.

Основними об'єктами дослідження є:

- черв'ячні машини;
- черв'як машини;
- корпус машини.

Основними робочими органами машини є корпус і черв'як. Для подальшого аналізу була відібрана патентна документація, що стосується цих елементів.

3.1 Літературно-патентний огляд варіантів модернізації

1. Черв'як екструдера для перероблення полімерних матеріалів – UA1737U

Корисна модель стосується обладнання для переробки термопластичних та композиційних матеріалів і призначена для використання в екструзійних лініях з переробки полімерів. Особливу увагу модель приділяє вдосконаленню робочих органів, зокрема черв'яків одно- та двочерв'ячних екструдерів.

Завданням даної моделі є покращення конструкції черв'яка для ефективнішої переробки полімерних матеріалів. Основне нововведення полягає в оптимізації форми гребенів нарізки, що зменшує зворотний потік матеріалу через зазор між гребенем нарізки та корпусом екструдера. Це дозволяє не лише

підвищити продуктивність, але й зберегти високий рівень змішування матеріалів.

2. Черв'як екструдера для переробки високомолекулярних сполук і матеріалів на їх основі – UA10558U

Корисна модель відноситься до обладнання для переробки термопластичних і композитних матеріалів і призначена для використання в одно- або двочерв'ячних екструдерах для переробки полімерів. Основним завданням цієї моделі є вдосконалення конструкції черв'яка екструдера для ефективної переробки високомолекулярних сполук та матеріалів на їх основі.

Головною інновацією є нова конструкція гребенів нарізки черв'яка, яка забезпечує надійну термостабілізацію робочої поверхні. Це дозволяє ефективніше контролювати температуру під час процесу екструзії, що, в свою чергу, покращує якість переробки матеріалів та підвищує продуктивність обладнання.

3. Черв'як екструдера – UA90401U

Корисна модель стосується обладнання для переробки термопластичних та композиційних матеріалів і може застосовуватися в полімеропереробних екструзійних лініях, зокрема для виготовлення обертових робочих органів черв'ячних екструдерів.

Основним завданням моделі є вдосконалення черв'яка екструдера, де нове конструктивне виконання гребенів змішувального елемента суттєво підвищує його змішувально-диспергувальну здатність. Це, у свою чергу, значно покращує якість переробки матеріалів, забезпечуючи більш однорідне змішування та розплавлення полімерів.

4. Спосіб складання завантажувальної секції циліндра одночерв'ячного екструдера – UA153651U

Корисна модель стосується обладнання для переробки полімерів, пластмас та гумових сумішей, зокрема до одночерв'ячних екструдерів.

Завданням моделі є вдосконалення конструкції завантажувальної секції циліндра одночерв'ячного екструдера.

Нововведення полягає у способі складання завантажувальної секції, де між сполучними циліндричними поверхнями знімної гільзи і каналу корпусу використовується теплопровідний матеріал. Це рішення дозволяє суттєво знизити термічний опір теплопередачі між перероблюваним матеріалом і охолоджувальною водою. Як результат, зменшується потреба в охолоджувальній воді, що підвищує енергоефективність процесу.

4 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБРАНИХ МОДЕРНІЗАЦІЙ

У ході аналізу різних моделей обладнання для переробки полімерних матеріалів було відібрано два патенти для модернізації: UA153651U та UA10558U. Основними причинами цього вибору стали їхні технічні інновації та значний потенціал для підвищення ефективності процесу екструзії.

Вибір цих двох патентів для модернізації базується на їхньому потенціалі для підвищення ефективності переробки полімерів за рахунок оптимізації теплових характеристик та змішувально-диспергувальної здатності черв'яка. Обидва вдосконалення дозволяють зменшити витрати енергії, покращити контроль температури і, як наслідок, поліпшити якість кінцевого продукту.

Розглянемо детальніше ці патенти:

- **UA153651U Спосіб складання завантажувальної секції циліндра одночерв'ячного екструдера [9].**

Опис:

Корисна модель належить до обладнання для перероблення полімерів, пластмас і гумових сумішей, а саме до одночерв'ячних екструдерів.

Однією з функціональних зон одночерв'ячних екструдерів є зона завантаження вихідної сировини, насамперед гранул, порошку або пластівців.

Конструктивно завантажувальна функціональна зона виконується у вигляді однієї із секцій циліндра екструдера, а саме завантажувальної секції. Зазначена завантажувальна секція забезпечує подавання вихідної сировини в робочий канал екструдера, де вона захоплюється черв'яком, транспортується й стискається з поступовим генеруванням надлишкового тиску для подальшого проштовхування перероблюваного матеріалу крізь інші функціональні зони екструдера та екструзійну головку. Для запобігання передчасного плавлення полімеру під час його проходження завантажувальної секції її інтенсивно охолоджують проточною водою, що рухається спіральним каналом зовні корпусу завантажувальної секції. При цьому внаслідок інтенсивного зношування

поверхні робочого каналу корпусу в його циліндричному каналі розміщують знімну циліндричну гільзу [Шенкель Г. Шнековые прессы для пластмасс. Принцип действия, конструирования и эксплуатации; пер. с нем. – Ленинград : Госхимиздат, 1962. - С. 223, рис. 178].

Найбільш близьким аналогом є спосіб складання завантажувальної секції циліндра одночерв'ячного екструдера, що включає розміщення знімної циліндричної гільзи в циліндричному каналі корпусу завантажувальної секції з наступною фіксацією зазначеної гільзи від повороту та осьового переміщення за допомогою фіксатора [Лукач Ю.Е., Петухов А.Д., Сенатос В.А. Оборудование для производства полимерных плёнок. – Москва : Машиностроение, 1981. - С. 50, рис. 17].

Зазначений спосіб у разі потреби дає змогу швидко замінити знімну циліндричну гільзу, проте виконання зазначеної зміни передбачає наявність повітряного проміжку між сполучними циліндричними поверхнями знімної циліндричної гільзи та корпусу завантажувальної секції, що збільшує термічний опір теплопередачі від перероблюваного матеріалу до охолоджувальної води.

В основу корисної моделі поставлена задача вдосконалити спосіб складання завантажувальної секції циліндра одночерв'ячного екструдера, у якому його нова реалізація забезпечує наявність теплопровідного матеріалу в проміжку між сполучними циліндричними поверхнями знімної циліндричної гільзи й каналу корпусу завантажувальної секції, що знижує термічний опір теплопередачі від перероблюваного матеріалу до охолоджувальної води, а отже дає змогу зменшити витрату охолоджувальної води.

Поставлена задача вирішується тим, що у способі складання завантажувальної секції циліндра одночерв'ячного екструдера, що включає розміщення знімної циліндричної гільзи в циліндричному каналі корпусу завантажувальної секції з наступною фіксацією зазначеної гільзи від повороту та осьового переміщення за допомогою фіксатора, згідно з корисною моделлю, перед розміщенням знімної циліндричної гільзи в циліндричному

каналі корпусу завантажувальної секції щонайменше на одну з їхніх сполучних циліндричних поверхонь наносять термопасту.

Нанесення щонайменше на одну зі сполучних циліндричних поверхонь циліндричної гільзи й циліндричного каналу корпусу термопасту дає змогу замінити повітря термопастою в кільцевому проміжку між циліндричною гільзою й циліндричним каналом корпусу. Оскільки коефіцієнт теплопровідності повітря за температури 20 °C становить 0,026 Вт(м·K), а термопасту – не менше 4 Вт(м·K) [див.https://www.rcscomponents.kiev.ua/product/termopasta-ts-4-4-vt-m-k-7g-2ml_122551.html], то термічний опір зазначеного проміжку зменшується щонайменше в 150 разів.

Суть корисної моделі пояснює креслення, на якому зображено поздовжній розріз завантажувальної секції.

Пропонований спосіб реалізують наступним чином (рисунок 4.1). Спочатку на знімну циліндричну гільзу 1 та/або на поверхню циліндричного каналу корпусу 2 наносять термопасту. Після цього знімну циліндричну гільзу 1 розміщують у циліндричному каналі корпусу 2 завантажувальної секції, після чого зазначену циліндричну гільзу 1 фіксують від повороту та осевого переміщення за допомогою фіксатора, наприклад декількох штифтів 3. Під час роботи екструдера перероблюваний матеріал, що надходить крізь вікно 4 корпусу 2, захоплюється черв'яком (не показано) і транспортується вздовж знімної циліндричної гільзи 2. Внаслідок тертя матеріалу по поверхнях знімної циліндричної гільзи 2 та черв'яка виділяється теплова енергія, яку відводить охолоджувальна вода, що рухається спіральним каналом 5 корпусу 2 завантажувальної секції.

Пропонована корисна модель, нескладна у виготовленні та експлуатації, дає змогу зменшити витрату охолоджувальної води в завантажувальній секції циліндра одночерв'ячного екструдера.

Формула корисної моделі:

Спосіб складання завантажувальної секції циліндра одночерв'ячного екструдера, що включає розміщення знімної циліндричної гільзи в циліндричному каналі корпусу завантажувальної секції з фіксацією гільзи від повороту та осевого переміщення за допомогою фіксатора, при цьому перед розміщенням гільзи на одну з циліндричних поверхонь наносять термопасту.

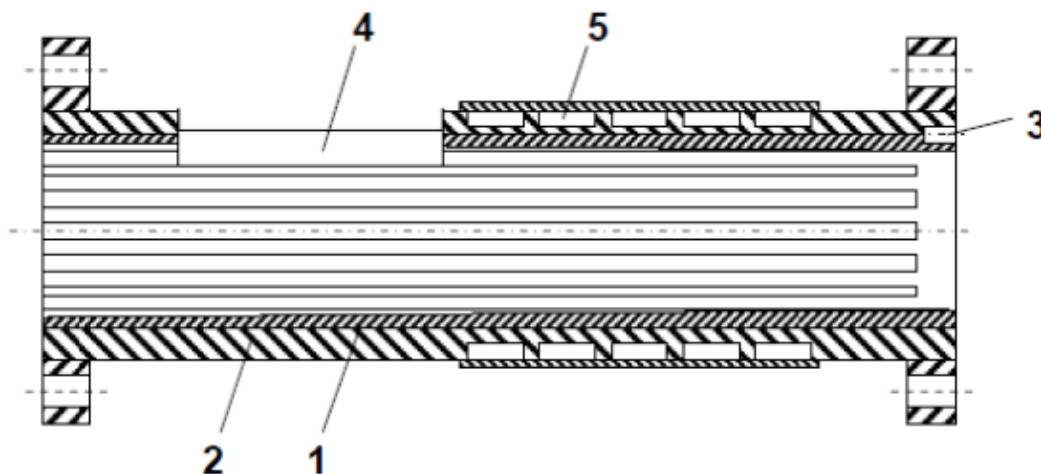


Рисунок 4.1 – Завантажувальна секція циліндра одночерв'ячного екструдера (пат. UA153651U)

- UA10558U черв'як екструдера для переробки високомолекулярних сполук і матеріалів на їх основі [7].

Корисна модель належить до обладнання для перероблення термопластичних матеріалів, у тому числі й композитних, і може бути використана в полімерпереробних одно- або двочерв'ячних екструдерах.

Для перероблення термопластичних матеріалів (полімерів, пластичних мас, гумових сумішей і композицій на їх основі) широкого поширення набули одно- та двочерв'ячні екструдери, робочими органами яких є черв'яки. Так, відомий черв'як екструдера для переробки високомолекулярних сполук і матеріалів на їх основі, що містить споряджений гвинтовою нарізкою вал [Шенкель Г. Шнековые прессы для пластмасс. Ленинград : ГИХП, 1962. – С.74, рис.78]. Така конструкція черв'яка не передбачає його терморегулювання, тому

її може бути використано лише в коротких черв'яках для переробки обмеженого класу матеріалів.

Найбільш близьким до пропонованої корисної моделі є черв'як екструдера для переробки високомолекулярних сполук і матеріалів на їх основі, що містить оснащений гвинтовою нарізкою порожнистий вал [Басов Н.И., Казанков Ю.В., Любартович В А Расчет и конструирование оборудования для производства и переработки полимерных материалов. – Москва : Химия, 1986. - С.184, рис. 4 26].

Цей черв'як, на відміну від аналога, що розглянуто, забезпечує можливість стабілізації або регулювання температури його робочої поверхні циркуляцією в порожнині вала рідкого теплоносія.

Проте за умови значного діаметра черв'яка і виконання його з корозієтрової сталі умови термостабілізації його робочої поверхні суттєво погіршується, що знижує ефективність екструдера в цілому.

В основу корисної моделі покладено задачу вдосконалити черв'як екструдера для переробки високомолекулярних сполук і матеріалів на їх основі, в якому нове конструктивне виконання гребенів його нарізки забезпечує надійну термостабілізацію робочої поверхні черв'яка.

Поставлена задача вирішується тим, що в черв'яку екструдера для переробки високомолекулярних сполук і матеріалів на їх основі, що містить оснащений гвинтовою нарізкою порожнистий вал, згідно з пропонованою корисною моделлю новим є те, що в гребені нарізки виконано канал, сполучений з порожниною вала.

Виконання в гребенях нарізки каналу, сполученого з порожниною вала, забезпечує підведення теплоносія безпосередньо до міжвиткового простору черв'яка, забезпечуючи при цьому мінімальний термічний опір процесу теплообміну між теплоносієм і перероблюваним матеріалом.

Суть корисної моделі пояснюється кресленням, на якому зображено поздовжній розріз черв'яка. Черв'як екструдера містить оснащений гвинтовою

нарізкою 1 порожнистий вал 2, у гребені 3 нарізки 1 якого виконано канал 4, сполучений з порожниною 5 вала 2 за допомогою каналів 6 (див. рисунок 4.2).

Черв'як працює в такий спосіб.

Рідкий теплоносій за допомогою коаксіально розташованої в порожнині 5 вала 2 труби з поршнем (не показані) циркулює в черв'яку. При цьому завдяки каналам 6 теплоносій також потрапляє і циркулює в гребені 3 нарізки 1, забезпечуючи теплообмін між ним і перероблюваним матеріалом. Канал 4 у гребені 3 при цьому може бути утворений, наприклад, виконанням проточки з боку вершини гребеня 3 з наступним наплавленням вершини гребеня 3 і подальшим її механічним обробленням. Пропонована корисна модель, нескладна у виготовленні та експлуатації, значно покращить умови роботи черв'ячних екструдерів.

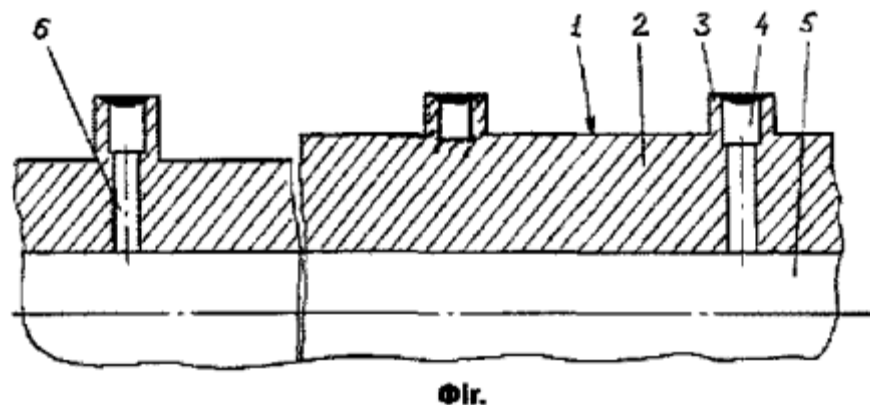
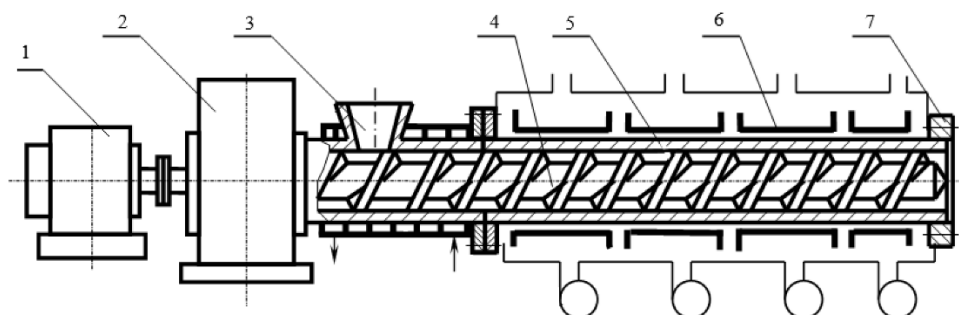


Рисунок 4.2 – Черв'як екструдера
(пат. UA10558U)

5 РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ МАШИНИ

5.1 Параметричні розрахунки

Мета: визначити геометричні параметри черв'яка; визначити продуктивність МЧХ; визначити тиск суміші в головці; визначити потужність приводу машини. Розрахункову схему машини наведено на рисунку 5.1.



1 – двигун; 2 – редуктор; 3 – завантажувальна горловина;
4 – черв'як; 5 – циліндр; 6 – нагрівники; 7 – головка

Рисунок 5.1 – Розрахункова схема машини

Вихідні дані:

Черв'як двозахідний, циліндричний з постійним кроком і змінною глибиною нарізки (таблиця 5.1).

Таблиця 5.1 – Вихідні дані до параметричного розрахунку

Зовнішній діаметр черв'яка, мм, D	160
Число заходів черв'яка, i	2
Внутрішній діаметр в зоні завантаження, мм, $d_{1\text{ вн}}$	112
Внутрішній діаметр в зоні змішування, мм, $d_{2\text{ вн}}$	98
Внутрішній діаметр на початку зони виштовхування, мм, $d_{3\text{ вн}}$	98

Таблиця 5.1, продовження

Внутрішній діаметр в кінці зони виштовхування, мм, $d_{4\text{ вн}}$	112
Крок витка в зоні завантаження, мм, S_1	176
Крок витка в зоні змішування, мм, S_2	192
Крок витка в зоні видавлювання, мм, S_3	160
Товщина витка, мм, b	12
Довжина нарізки черв'яка, мм, L	2110
Максимальна частота обертання черв'яка, об/хв, n	50
Питома масова теплоємність суміші, Дж/(кг·К), C	1350
Коефіцієнт тертя по сталі,	0,42
Густина суміші, кг/м ³ , ρ	1375

5.1.1 Визначення продуктивності черв'ячної машини

Середній діаметр в зоні завантаження

$$d_{cn} = \frac{D + d_{вн}}{2} = \frac{160 + 112}{2} = 136 \text{ мм.}$$

Середній внутрішній діаметр в зоні виштовхування

$$d_{ср.виш.} = \frac{d_{3\text{ вн}} + d_{4\text{ вн}}}{2} = \frac{98 + 112}{2} = 105 \text{ мм.}$$

Середній діаметр в зоні виштовхування

$$d_{ск} = \frac{D + d_{ср.виш.}}{2} = \frac{160 + 105}{2} = 132,5 \text{ мм.}$$

Кут підйому витка в зоні завантаження

$$\lambda_n = \arctg \frac{S_1}{\pi d_{cn}} = \arctg \frac{176}{\pi \cdot 136} = \arctg 0,4121394 = 22^\circ 24'.$$

Кут підйому витка в зоні виштовхування

$$\lambda_k = \arctg \frac{S_3}{\pi d_{ск}} = \arctg \frac{160}{\pi \cdot 132,5} = \arctg 0,384569 = 22^\circ 37'.$$

Об'єм впадини черв'яка на довжині одного кроку в зоні завантаження

$$V_n = \pi d_{cn} F_3,$$

де F_3 – площа зони завантаження

$$F_3 = \frac{D-d_{1\text{ вн}}}{2} \left(\frac{S_1}{i} - b \right) = \frac{160-112}{2} \cdot \left(\frac{176}{2} - 12 \right) = 1824 \text{ мм}^2;$$

$$V_n = \pi \cdot 136 \cdot 1824 = 0,779 \text{ м}^3.$$

Об'єм впадини черв'яка на довжині одного кроку в зоні виштовхування

$$V_k = \pi d_{ck} F_6,$$

де F_6 – площа зони виштовхування

$$F_6 = \frac{D-d_{cp.виш.}}{2} \left(\frac{S_3}{i} - b \right) = \frac{160-105}{2} \cdot \left(\frac{160}{2} - 12 \right) = 1870 \text{ мм}^2;$$

$$V_k = \pi \cdot 132,5 \cdot 1870 = 0,778 \text{ м}^3.$$

Степінь стискання черв'яка (I варіант)

$$K = \frac{V_n}{V_k} = \frac{0,779}{0,778} \approx 1.$$

Степінь стискання черв'яка (II варіант)

$$K = \frac{D^2 - d_{1\text{ вн}}^2}{D^2 - d_{1\text{ вн}}^2} = \frac{160^2 - 112^2}{160^2 - 112^2} = 1.$$

Ефективна продуктивність машини при максимальному числі обертів черв'яка і для добре перероблюваних сумішей

$$Q = 60 V n i \gamma_0 \beta,$$

де V – об'єм між двома витками черв'яка, $V = 0,778 \text{ м}^3$;

n – максимальне число обертів черв'яка, $n = 50 \text{ об/хв}$;

i – число заходів черв'яка, $i = 2$;

γ_0 – питома вага гумової суміші, $\gamma_0 = 1,375 \text{ кг/м}^3$;

β – коефіцієнт заповнення об'єму між витками гумової суміші, $\beta = 0,15$.

$$Q = 60 \cdot 0,778 \cdot 50 \cdot 2 \cdot 1,375 \cdot 0,15 = 963 \text{ кг/год.}$$

5.1.2 Визначення тиску суміші в головці

Тиск в головці визначається по формулі

$$P_r = \frac{P_{oc}}{F} = \frac{P_{oc}}{\pi R^2},$$

де P_{oc} – осьове зусилля, яке виникає в гвинтовому каналі черв'яка;

R – зовнішній радіус нарізки черв'яка, $R = 0,08$ м.

$$P_{oc} = \frac{71620 \cdot 1,36 \cdot N}{n r_s \operatorname{tg}(\alpha + \rho)},$$

де N – потужність, яка передається черв'яком, $N = 200$ кВт;

n – максимальне число обертів черв'яка, 50 об/хв;

r_s – середній радіус витка в зоні виштовхування, $r_s = 0,06625$ м;

α – кут підйому гвинтової лінії черв'яка, $\alpha = 22^\circ 37'$;

ρ – кут тертя гумової суміші по сталі, $\rho = \operatorname{arctg} 0,42 = 23^\circ$.

$$P_{oc} = \frac{71620 \cdot 1,36 \cdot 200}{50 \cdot 0,06625 \cdot \operatorname{tg}(22^\circ 37' + 23^\circ)} = 575570 \text{ Н}.$$

Питомий тиск в головці, яке розвиває черв'як складає

$$P_r = \frac{57557}{\pi \cdot 0,08^2} = 28,64 \text{ МПа}$$

Приймаємо $P_r = 28,64 \text{ МПа}$

Загальне осьове зусилля, яке діє на упорний підшипник, буде дорівнювати сумі сил A і тангенціальної складової тертя матеріалу об поверхню черв'яка

$$K = A + T, \quad (4.3)$$

де K – загальне осьове зусилля, Н;

A – осьове зусилля, Н.

$$A = F_c \cdot P_r. \quad (4.1)$$

Площа поперечного перерізу черв'яка

$$F_c = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 = 0,785 \cdot 0,16^2 = 0,020096 \text{ м}^2.$$

Тоді осьове зусилля за формулою (4.1)

$$A = 0,020096 \cdot 28,64 = 574,7550 \text{ кН}.$$

Тангенціальна складова від тертя

$$T = F_p \cdot 2\pi r_s \operatorname{tg} \rho, \quad (4.2)$$

де

$$F_p = \frac{1}{3} \cdot P \cdot \frac{l}{2} = \frac{Pl}{6} = \frac{28,6 \cdot 1,055}{6} = 5,029 \text{ кг/м},$$

l – довжина заповненої гвинтової частини черв’яка (приймається половина довжини гвинтової частини), $l = 1,055$ м.

Середній радіус витка черв’яка

$$r_s = \frac{160+112}{4} = 6,8 \text{ см} = 0,068 \text{ м.}$$

Коефіцієнт тертя $tg\rho = tg 23^\circ = 0,42$,

Тоді тангенціальна складова за формулою (4.2) становить

$$T = 5029 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 6,8 \cdot 0,42 = 902,443 \text{ кН.}$$

Загальне осьове зусилля визначається за формулою (4.3)

$$K = 574,755 + 902,443 = 1478,2 \text{ кН.}$$

5.1.3 Визначення потужності приводу черв’ячної машини

Визначимо потужність приводу машини

$$N = \frac{PDLftni}{3900 \cdot \eta}, \quad (4.4)$$

де P_r – тиск суміші при видавлюванні, $P_r = 28,64$ МПа;

D – діаметр робочої частини циліндра, $D = 160$ мм;

L – довжина робочої частини циліндра, $L = 1760$ мм;

f – коефіцієнт тертя суміші по циліндру, $f = 0,42$;

t – крок між витками, $t = 160$ мм;

n – число обертів черв’яка, $n = 50$ об/хв;

i – кількість заходів черв’яка, $i = 2$;

η – коефіцієнт корисної дії приводу і підшипників машини, $\eta = 0,8$.

Тоді потужність приводу машини за формулою (4.4) становить

$$N = \frac{28,6 \cdot 0,16 \cdot 1,76 \cdot 0,42 \cdot 0,16 \cdot 50 \cdot 2}{3900 \cdot 0,8 \cdot 10^3} = 174 \text{ кВт.}$$

Встановлюємо двигун потужністю $N = 200$ кВт.

Приведені розрахунки дали можливість отримати наступні параметри:

– Q – продуктивність машини, $Q = 963$ кг/год;

- P_r – тиск суміші в головці, $P_r = 28,64$ МПа;
- N – потужність приводу машини, $N = 200$ кВт.

5.2 Тепловий розрахунок

5.2.1 Тепловий розрахунок охолодження черв'яка

Метою є визначення необхідної поверхні теплообміну черв'яка, яка була б в змозі забезпечити відбір тепла

Вихідні дані:

діаметр каналу в черв'яку, м, D_1	0,05
довжина каналу в черв'яку, м, l_1	1,2
діаметр каналу в черв'яку, м, D_2	0,032
довжина каналу в черв'яку діаметром, м, l_2	0,91
кінцева температура суміші, К, $t_{ксм}$	413
початкова температура суміші, $t_{нсм}$	288

Розрахунок ведемо по методиці, приведеній в [3].

Розрахуємо поверхню теплообміну черв'яка

$$F_{\text{ч}} = \pi D_1 l_1 + \pi D_2 l_2 = \pi \cdot 0,05 \cdot 1,2 + \pi \cdot 0,032 \cdot 0,91 = 0,28 \text{ м}^2.$$

Визначаємо кількість тепла, що йде на розігрів суміші

$$Q_{см} = G_{см} C (t_{кгс} - t_{нгс}),$$

де $G_{см}$ – максимальна продуктивність машини $G_{см} = 1250$ кг/год;

C – питома теплоємність суміші $C = 1,35 \frac{\text{кДж}}{(\text{кгК})}$.

$$Q_{см} = \frac{1250}{3600} \cdot 1,35 \cdot (413 - 288) = 58,594 \text{ кВт.}$$

Кількість тепла, що виділяється за 1 годину роботи машини, становить, що вся корисна потужність перетворюється в тепло.

$$Q_N = 860N\eta_{np}\eta_2, \quad (4.5)$$

де N – встановлена потужність, $N = 200$ кВт;

η_{np} – коефіцієнт корисної дії приводу, $\eta_{np} = 0,8$;

η_2 – коефіцієнт використання корисної потужності, $\eta_2 = 0,6$.

Тоді визначимо кількість тепла за формулою (4.5)

$$Q_N = 860 \cdot 200 \cdot 0,8 \cdot 0,6 = 82,56 \text{ кВт.}$$

Кількість тепла, яке необхідно відвести охолоджуючою водою

$$Q_{вод} = Q_N - Q_{см} = 82,56 - 58,594 = 23,966 \text{ кВт.}$$

Вважаємо, що кількість тепла, яке повинно відводиться від кожної секції, пропорційна їх теплопередаючим поверхням.

Сумарна поверхня теплообміну машини рівна

$$F_{сум} = 1,3408 \text{ м}^2.$$

Поверхня теплообміну черв'яка

$$F_q = 0,28 \text{ м}^2.$$

Тоді кількість тепла, яке повинно бути відведено від черв'яка, рівна

$$Q_q = Q_{вод} \cdot \frac{F_q}{F_{сум}} = 23,966 \cdot \frac{0,28}{1,3408} = 5,004 \text{ кВт.}$$

Визначимо швидкість руху води в каналі черв'яка

$$\omega_q = \frac{G_q}{S_{кан.ср} \cdot \gamma \cdot 3600}, \quad (4.6)$$

де G_q – витрата води на охолодження черв'яка, $G_q = 2000$ кг/год;

γ – питома вага води при $t_g = 353$ К, $\gamma = 972$ кг/м³;

$S_{кан}$ – площа перерізу каналу черв'яка.

$$S_{кан.ср.} = \frac{S_{кан1} + S_{кан2}}{2}.$$

$\left. \begin{matrix} D_1 \\ d \end{matrix} \right\}$ – геометричні розміри I перерізу каналу черв'яка, $D_1 = 0,05$ м,

$d = 0,022$ м.

D_2 – зовнішній діаметр II перерізу каналу черв'яка, $D_2 = 0,032$ м.

$$S_{\text{кан1}} = \frac{\pi}{4}(D_1^2 - d) = \frac{\pi}{4} \cdot (0,05^2 - 0,022^2) = 0,00158 \text{ м}^2;$$

$$S_{\text{кан2}} = \frac{\pi}{4}(D_2^2 - d) = \frac{\pi}{4} \cdot (0,032^2 - 0,022^2) = 0,0004239 \text{ м}^2;$$

$$S_{\text{кан.ср.}} = \frac{0,00158 + 0,0004239}{2} = 0,001 \text{ м}^2.$$

Тоді швидкість руху води в каналі черв'яка визначимо за формулою (4.6)

$$\omega_{\text{ч}} = \frac{2000}{0,001 \cdot 972 \cdot 3600} = 0,57 \text{ м/с}.$$

Визначимо критерій Рейнольдса

$$Re = \frac{\omega_{\text{ч}} d_{\text{екв}}}{\nu}, \quad (4.8)$$

де ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості води при $t_T = 80^\circ\text{C}$,

$$\nu = 0,365 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с};$$

$d_{\text{екв}}$ – еквівалентний діаметр каналу.

$$d_{\text{екв.ср.}} = \frac{d_{\text{екв1}} + d_{\text{екв2}}}{2}; \quad (4.7)$$

$$d_{\text{екв1}} = D_1 - d = 0,05 - 0,022 = 0,028 \text{ м};$$

$$d_{\text{екв2}} = D_2 - d = 0,032 - 0,022 = 0,01 \text{ м}.$$

Тоді еквівалентний діаметр каналу визначимо за формулою (4.7)

$$d_{\text{екв.ср.}} = \frac{0,028 + 0,01}{2} = 0,019 \text{ м}.$$

Тоді критерій Рейнольда визначимо по формулі (4.8)

$$Re_T = \frac{0,57 \cdot 0,019}{0,365 \cdot 10^{-6}} = 29671 > 10000.$$

Звідси випливає, що режим течії води в каналі черв'яка – турбулентний.

Для турбулентного режиму течії води визначаємо критерій Нусельта

$$Nu_f = 0,021 \cdot Re_T^{0,8} \cdot Pr_T^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr_T}{Pr_{\omega}}\right)^{0,25} = 0,021 \cdot 29671^{0,8} \cdot 2,21^{0,43} \cdot$$

$$\left(\frac{2,21}{2,08}\right)^{0,25} = 113,$$

де Pr_T – критерій Прандтля при середній температурі теплоносія

$$t_T = 353 \text{ К}, Pr_T = 2,21;$$

Pr_{ω} – критерій Прандтля при середній температурі стінки зі сторони теплоносія $t_{\omega} = 358 \text{ K}$, $Pr_{\omega} = 2,08$.

Визначаємо тепловіддачі від стінки до води

$$\alpha_{2ч} = \frac{Nu\lambda}{d_{екв}} = \frac{113 \cdot 0,58}{0,019} = 3459 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}},$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності води при $t_T = 353 \text{ K}$, $\lambda = 0,58 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$;
 $d_{екв}$ – середній еквівалентний діаметр каналу, $d_{екв} = 0,019 \text{ м}$.

Для базового черв'яка:

Коефіцієнт теплопередачі

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{650} + \frac{0,025}{40} + \frac{1}{3460}} = 408 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}} = 0,408 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2\text{К}},$$

де α_1 – коефіцієнт тепловіддачі від маси до стінки, $\alpha_1 = 650 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$;

δ_{cm} – товщина стінки, крізь яку проходить теплопередача, $\delta_{cm} = 0,025 \text{ м}$;

λ_{cm} – коефіцієнт теплопровідності матеріалу стінки, $\lambda_{cm} = 40 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$.

Визначаємо необхідну поверхню теплообміну зони черв'яка, яка змогла б забезпечити відбір тепла

$$F_{ч,роз.} = \frac{Q_{ч}}{K\Delta t_{ч}},$$

де $Q_{ч}$ – кількість тепла, яке необхідне відвести від черв'яка,

$\overline{\Delta t_{ч}}$ – різниця між середньою температурою суміші і води.

$$Q_{ч} = 5,004 \text{ кВт},$$

$$288 \text{ К} \xrightarrow{\text{суміш}} 413 \text{ К},$$

$$353 \text{ К} \xrightarrow{\text{вода}} 355 \text{ К},$$

$$\overline{\Delta t_1} = 65 \text{ К} \quad \overline{\Delta t_2} = 58 \text{ К}$$

$$\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} = \frac{65}{58} = 1,12 < 2, \text{ то визначаємо середньоарифметичну різницю}$$

температур.

$$\overline{\Delta t} = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{2} = \frac{65 + 58}{2} = 61,5 \text{ К};$$

$$F_{q,роз.} = \frac{5,004}{0.408 \cdot 61.5} = 0,2 \text{ м}^2.$$

Дійсна поверхня теплообміну рівна

$$F_{q,дійс.} = 0,28 \text{ м}^2.$$

$$F_{дійс.} > F_{роз.}$$

Для модернізованого черв'яка:

Модернізація зменшує товщину стінки, через яку проходить теплопередача орієнтовно в 2 рази.

Коефіцієнт теплопередачі

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{650} + \frac{0,0125}{40} + \frac{1}{3460}} = 467 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}} = 0,467 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2\text{К}},$$

де α_1 – коефіцієнт тепловіддачі від маси до стінки, $\alpha_1 = 650 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$;

δ_{cm} – товщина стінки, крізь яку проходить теплопередача, $\delta_{cm} = 0,0125 \text{ м}$;

λ_{cm} – коефіцієнт теплопровідності матеріалу стінки, $\lambda_{cm} = 40 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$.

Визначаємо необхідну поверхню теплообміну зони черв'яка, яка змогла б забезпечити відбір тепла

$$F_{q,роз.} = \frac{Q_q}{K \Delta t_q},$$

де Q_q – кількість тепла, яке необхідне відвести від черв'яка,

$\overline{\Delta t_q}$ – різниця між середньою температурою суміші і води.

$$Q_q = 5,004 \text{ кВт},$$

$$288 \text{ К} \xrightarrow{\text{суміш}} 413 \text{ К},$$

$$353 \text{ К} \xrightarrow{\text{вода}} 355 \text{ К},$$

$$\overline{\Delta t_1} = 65 \text{ К} \quad \overline{\Delta t_2} = 58 \text{ К}$$

$$\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} = \frac{65}{58} = 1,12 < 2, \text{ то визначаємо середньоарифметичну різницю}$$

температур.

$$\overline{\Delta t} = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{2} = \frac{65 + 58}{2} = 61.5 \text{ К};$$

$$F_{q,roz.} = \frac{5,004}{0.467 \cdot 61.5} = 0,17 \text{ м}^2.$$

Дійсна поверхня теплообміну рівна

$$F_{q,дійс.} = 0,28 \text{ м}^2.$$

$$F_{дійс.} > F_{розр.}$$

Проаналізувавши результати розрахунків можна зробити висновок, що розрахункова поверхня теплообміну суттєво відрізняється від дійсної: розрахункова поверхня базового черв'яка приблизно в 1,4 разів менше дійсної, а модернізованого в 1.65 разів. Оскільки коефіцієнт теплопередачі в результаті модернізації збільшується на 18%, то відповідно на 18% можна зменшити витрату охолоджувальної рідини.

5.2.2 Тепловий розрахунок корпусу

Метою розрахунку є визначення необхідної поверхні теплообміну корпусу.

Вихідні дані:

діаметр корпусу, м, d	0,25
довжина I зони, м, l_I	0,7105
довжина II зони, м, l_{II}	0,7105

Розрахунок ведемо по методиці, приведеній в [3].

Кількість тепла, яка виділяється під час роботи машини $Q_N = 82.56 \text{ кВт}$

Кількість тепла, яка йде на розігрів суміші $Q_{CM} = 58,594 \text{ кВт}$

Кількість тепла, яку необхідно відвести охолоджувальною водою

$$Q_{вод} = 23,966 \text{ кВт.}$$

Приймаємо, що кількість тепла, яка відведена охолоджувальною водою від кожної зони, пропорційна їх теплопередаючим поверхням.

Сумарна поверхня теплообміну машини складає

$$F_{сум} = 1,3408 \text{ м}^2.$$

Поверхня теплообміну I зони корпусу

$$F_{KI} = \pi \cdot d \cdot l_I,$$

де d – діаметр корпусу, $d = 0,25$ м;

l_I – довжина I зони, $l_I = 0,7105$ м.

$$F_{KI} = \pi \cdot 0,25 \cdot 0,7105 = 0,558 \text{ м}^2.$$

Поверхня теплообміну II зони корпусу

$$F_{KII} = \pi \cdot d \cdot l_{II},$$

де d – діаметр корпусу, $d = 0,25$ м;

l_{II} – довжина II зони, $l_{II} = 0,7105$ м.

$$F_{KII} = \pi \cdot 0,25 \cdot 0,7105 = 0,558 \text{ м}^2.$$

Тоді, кількість тепла, яка має бути відведена від кожної зони корпусу, дорівнює

$$Q_{KI} = Q_{KII} = Q_{кор} \frac{F_{KI(II)}}{F_{сум}} = 29,966 \frac{0,558}{1,3408} = 12,47 \text{ кВт}.$$

Визначаємо швидкість руху води в каналах корпусу

$$W_{KI(II)} = \frac{G_{кор}}{S_{кан} \gamma \cdot 3600},$$

де $G_{кор}$ – витрата води на охолодження кожної зони корпусу (встановлено 2 насоси продуктивністю $G = 2000$ кг/год, $G_{кор} = 4000$ кг/год;

γ – густина води при $t_{\text{с}} = 353$ К, $\gamma = 972$ кг/м³;

$$S_{кан} = ab,$$

a , b – геометричні розміри каналу, $a = 0,22$ м, $b = 0,2$ м.

$$S_{кан} = 0,22 \cdot 0,2 = 0,044 \text{ м}^2;$$

$$W_{KI} = \frac{4000}{0,044 \cdot 972 \cdot 3600} = 0,026 \text{ м/с}.$$

Визначаємо критерій Рейнольдса

$$Re = \frac{\omega_{KI} d_{екв}}{\nu},$$

де $d_{екв}$ – еквівалентний діаметр каналу

$$d_{екв} = \frac{4 \cdot F}{\Pi},$$

$F = S$ – площа перерізу каналу, $F = S = 0,044 \text{ м}^2$.

Π – повний змочений периметр каналу:

$$\Pi = 2(a + b);$$

$$\Pi = 2(0,22 + 0,2) = 0,84 \text{ м};$$

$$d_{екв} = \frac{0,044}{0,84} = 0,0524 \text{ м}.$$

ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості води при $t_f = 353 \text{ К}$,

$$\nu = 0,365 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2};$$

$$Re = \frac{0,026 \cdot 0,0524}{0,365 \cdot 10^{-6}} = 3731 < 10000 ,$$

отже, режим течії води – перехідний.

Для перехідного режиму течії критерій Нусельта визначаємо з рівняння:

$$Nu_f = K_0 Pr_f^{0,43} \left(\frac{Pr_f}{Pr_\omega} \right)^{0,25},$$

де K_0 – коефіцієнт, який залежить від числа Re_f , $Re_f = 3731$ $K_0 = 11,02$

Pr_f – критерій Прандтля за середньої температури теплоносія $t_f = 353 \text{ К}$,

$$Pr_f = 2,21;$$

Pr_ω – критерій Прандтля за середньої температури стінки з боку теплоносія $t_\omega = 353 \text{ К}$, $Pr_\omega = 2,08$.

$$Nu = 11,02 \cdot 2,21^{0,43} \left(\frac{2,21}{2,08} \right)^{0,25} = 11,02 \cdot 1,406 \cdot 1,015 = 15,73.$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки до води визначаємо за формулою

$$\alpha_{2кор} = \frac{Nu_f \lambda}{d_{екв}},$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності води при $t_f = 353 \text{ К}$, $\lambda = 0,58 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$;

$d_{екв} = 0,0524 \text{ м}$ – еквівалентний діаметр каналу.

$$\alpha_{2кор} = \frac{15,73 \cdot 0,58}{0,0524} = 174 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} = 0,174 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Для базової конструкції корпусу:

Коефіцієнт теплопередачі визначаємо за формулою:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{1}{\alpha_2}},$$

де α_1 – коефіцієнт тепловіддачі від маси до стінки, $\alpha_1 = 650 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2\text{К}}$;

δ_{cm} – товщина стінки, через яку проходить теплопередача, $\delta_{cm} = 0,025 \text{ м}$;

λ_{cm} – коефіцієнт теплопровідності матеріалу стінки, $\lambda_{cm} = 40 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$.

$$K = \frac{1}{\frac{1}{650} + \frac{0,025}{40} + \frac{1}{174}} = 1261 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} = 0,126 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Визначаємо необхідну поверхню теплообміну зони корпусу, яка була б в змозі забезпечити відбір тепла

$$F_{корI} = \frac{Q_{кор}}{K \cdot \Delta \bar{t}_{кор}},$$

де $Q_{кор(II)}$ – кількість тепла, яку необхідно відвести від I зони корпусу

$$Q_{кор(II)} = 12,47 \text{ кВт};$$

$\Delta \bar{t}_{кор}$ – різниця між середньою температурою суміші та води;

$$323 \text{ К} \xrightarrow{\text{суміш}} 363 \text{ К}$$

$$338 \text{ К} \xrightarrow{\text{вода}} 340 \text{ К}$$

$$\overline{\Delta t_1 = 15 \text{ К} \quad \Delta t_2 = 23 \text{ К}}$$

відношення $\frac{\Delta t_{\delta}}{\Delta t_m} = \frac{23}{15} = 1,53 > 2$, отже, середню різницю температур

визначаємо як середньоарифметичну

$$\Delta \bar{t} = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2}{2} = \frac{15 + 23}{2} = 19 \text{ К},$$

де Δt_1 – менша різниця температур, $\Delta t_1 = 15 \text{ К}$;

Δt_2 – більша різниця температур, $\Delta t_2 = 23$;

$$F_{корI} = \frac{12,47}{0,126 \cdot 19} = 5,2 \text{ м}^2;$$

$$F_{кор.дI} = 0,558 \text{ м}^2.$$

$$F_{кор.дI} \ll F_{корI(розр)}$$

При розрахунку необхідної поверхні теплообміну II зони корпусу враховуємо, що температура води дорівнює 343 К.

Тоді $\gamma_{води} = 978 \text{ кг/м}^3$ – густина води при $t_g = 343 \text{ К}$;

ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості води при $t_g = 343 \text{ К}$,

$$\nu = 0,415 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}};$$

λ – коефіцієнт теплопровідності води при $t_g = 343 \text{ К}$, $\lambda = 0,574 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$;

Тоді:

$$W_{k(II)} = \frac{4000}{0,044 \cdot 978 \cdot 3600} = 0,026 \text{ м/с}.$$

Критерій Рейнольдса

$$Re = \frac{w_{кп} \cdot d_{екв}}{\nu} = \frac{0,026 \cdot 0,0524}{0,415 \cdot 10^{-6}} = 3260 < 10000,$$

де $d_{екв}$ – еквівалентний діаметр каналу, $d_{екв} = 0,0524 \text{ м}$.

Отже, режим течії води – перехідний.

Критерій Нусельта визначаємо за формулою

$$Nu_f = K_0 \cdot Pr_f^{0,43} \left(\frac{Pr_f}{Pr_\omega} \right)^{0,25},$$

де K_0 – коефіцієнт, який залежить від числа Re_f , $K_0 = 8,8$.

При $Re_f = 3260$ – $K_0 = 8,8$.

Pr_f – критерій Прандтля при середній температурі води $t_f = 343 \text{ К}$,
 $Pr_f = 2,55$;

Pr_ω – критерій Прандтля при середній температурі стінки зі сторони теплоносія $t_\omega = 348 \text{ К}$, $Pr_\omega = 2,38$.

$$Nu = 8,8 \cdot 2,55^{0,43} \left(\frac{2,55}{2,38} \right)^{0,25} = 8,8 \cdot 1,4956 \cdot 1,017 = 13,39.$$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки к воді визначаємо за формулою

$$\alpha_{2кор} = \frac{Nu_f \lambda}{d_{екв}},$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності води при $t_f = 343$ К, $\lambda = 0,574 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$;

$d_{екв}$ – еквівалентний діаметр каналу, $d_{екв} = 0,0524$ м;

$$\alpha_{2кор} = \frac{13,39 \cdot 0,574}{0,0524} = 134 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} = 0,134 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Для базової конструкції корпусу:

Коефіцієнт теплопередачі визначаємо за формулою:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{1}{\alpha_2}},$$

де α_1 – коефіцієнт тепловіддачі від маси до стінки, $\alpha_1 = 650 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$;

δ_{cm} – товщина стінки, крізь яку проходить тепловий потік, $\delta_{cm} = 0,025$ м;

λ_{cm} – коефіцієнт теплопровідності матеріалу стінки, $\lambda_{cm} = 40 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$.

$$K = \frac{1}{\frac{1}{650} + \frac{0,025}{40} + \frac{1}{134}} = 104 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} = 0,104 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Визначаємо необхідну поверхню теплообміну II зони корпусу, яка була б в змозі забезпечити відбір тепла.

$$F_{корII} = \frac{Q_{корII}}{K \Delta \bar{t}_{корII}},$$

де $Q_{кор(II)} = 12,47$ кВт – кількість тепла, яку необхідно відвести від II зони корпусу;

$\Delta \bar{t}_{корII}$ – різниця між середньою температурою суміші та води;

$$\begin{array}{ccc} 363 \text{ К} & \xrightarrow{\text{суміш}} & 393 \text{ К} \\ 343 \text{ К} & \xrightarrow{\text{вода}} & 345 \text{ К} \\ \hline \Delta t_1 = 20 \text{ К} & & \Delta t_2 = 48 \text{ К} \end{array}$$

$\frac{\Delta t_2}{\Delta t_1} = \frac{48}{20} = 2,4$, отже, середню різницю температур визначаємо як середньо логарифмічну.

$$\Delta \bar{t} = \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{2,3 \lg \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}} = \frac{48 - 20}{2,3 \lg \frac{48}{20}} = \frac{28}{2,3 \lg 2,4} = 32 \text{ K};$$

$$F_{корII} = \frac{12,47}{0,104 \cdot 32} = 3,74 \text{ м}^2.$$

$$F_{кор.дII} < F_{корII(розр)}$$

Для модернізованої конструкції корпусу з повітрям:

Коефіцієнт теплопередачі визначаємо за формулою:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{cm1}}{\lambda_{cm1}} + \frac{\delta_{нов}}{\lambda_{нов}} + \frac{\delta_{cm2}}{\lambda_{cm2}} + \frac{1}{\alpha_2}},$$

де α_1 – коефіцієнт тепловіддачі від маси до стінки, $\alpha_1 = 650 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$;

δ_{cm1} – товщина стінки, крізь яку проходить тепловий потік, $\delta_{cm1} = 0,008 \text{ м}$;

λ_{cm1} – коефіцієнт теплопровідності матеріалу стінки, $\lambda_{cm} = 40 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$.

δ_{cm2} – товщина стінки, крізь яку проходить тепловий потік, $\delta_{cm2} = 0,016 \text{ м}$;

λ_{cm2} – коефіцієнт теплопровідності матеріалу стінки, $\lambda_{cm} = 40 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$.

$\delta_{нов}$ – товщина шару повітря, крізь який проходить тепловий потік, $\delta_{нов} = 0,0001 \text{ м}$;

$\lambda_{нас}$ – коефіцієнт теплопровідності повітря, $\lambda_{нов} = 0,026 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$.

$$K = \frac{1}{\frac{1}{650} + \frac{0,008}{40} + \frac{0,0001}{0,026} + \frac{0,016}{40} + \frac{1}{134}} = 74 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} = 0,074 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}.$$

Визначаємо необхідну поверхню теплообміну II зони корпусу, яка була б в змозі забезпечити відбір тепла.

$$F_{корII} = \frac{Q_{корII}}{K \Delta \bar{t}_{корII}},$$

де $Q_{кор(II)} = 12,47 \text{ кВт}$ – кількість тепла, яку необхідно відвести від II зони корпусу;

$\Delta \bar{t}_{корII}$ – різниця між середньою температурою суміші та води;

$$363 \text{ K} \xrightarrow{\text{суміш}} 393 \text{ K}$$

$$343 \text{ K} \xrightarrow{\text{вода}} 345 \text{ K}$$

$$\overline{\Delta t_1 = 20 \text{ K} \quad \Delta t_2 = 48 \text{ K}}$$

$\frac{\Delta t_2}{\Delta t_1} = \frac{48}{20} = 2,4 > 2$, отже, середню різницю температур визначаємо як середньо логарифмічну.

$$\Delta \bar{t} = \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{2,3 \lg \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}} = \frac{48 - 20}{2,3 \lg \frac{48}{20}} = \frac{28}{2,3 \lg 2,4} = 32 \text{ K};$$

$$F_{корII} = \frac{12,47}{0,074 \cdot 32} = 5,26 \text{ м}^2.$$

$$F_{кор.дII} < F_{корII(розр)}$$

Для модернізованої конструкції корпусу з термопастою:

Коефіцієнт теплопередачі визначаємо за формулою:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{cm1}}{\lambda_{cm1}} + \frac{\delta_{nac}}{\lambda_{nac}} + \frac{\delta_{cm2}}{\lambda_{cm2}} + \frac{1}{\alpha_2}},$$

де α_1 – коефіцієнт тепловіддачі від маси до стінки, $\alpha_1 = 650 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{K}}$;

δ_{cm1} – товщина стінки, крізь яку проходить тепловий потік, $\delta_{cm1} = 0,008 \text{ м}$;

λ_{cm1} – коефіцієнт теплопровідності матеріалу стінки, $\lambda_{cm} = 40 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{K}}$.

δ_{cm2} – товщина стінки, крізь яку проходить тепловий потік, $\delta_{cm2} = 0,016 \text{ м}$;

λ_{cm2} – коефіцієнт теплопровідності матеріалу стінки, $\lambda_{cm} = 40 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{K}}$.

δ_{nac} – товщина шару термопасты, крізь який проходить тепловий потік, $\delta_{nac} = 0,0001 \text{ м}$;

λ_{nac} – коефіцієнт теплопровідності термопасты, $\lambda_{nac} = 5 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{K}}$.

$$K = \frac{1}{\frac{1}{650} + \frac{0,008}{40} + \frac{0,0001}{5} + \frac{0,016}{40} + \frac{1}{134}} = 104 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{K}} = 0,104 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2 \cdot \text{K}}.$$

Визначаємо необхідну поверхню теплообміну II зони корпусу, яка була б в змозі забезпечити відбір тепла.

$$F_{корII} = \frac{Q_{корII}}{K \Delta \bar{t}_{корII}},$$

де $Q_{кор(II)} = 12,47$ кВт – кількість тепла, яку необхідно відвести від II зони корпусу;

$\Delta \bar{t}_{корII}$ – різниця між середньою температурою суміші та води;

$$363 \text{ K} \xrightarrow{\text{суміш}} 393 \text{ K}$$

$$343 \text{ K} \xrightarrow{\text{вода}} 345 \text{ K}$$

$$\overline{\Delta t_1 = 20 \text{ K} \quad \Delta t_2 = 48 \text{ K}}$$

$\frac{\Delta t_2}{\Delta t_1} = \frac{48}{20} = 2,4 > 2$, отже, середню різницю температур визначаємо як середньо логарифмічну.

$$\Delta \bar{t} = \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{2,3 \lg \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}} = \frac{48 - 20}{2,3 \lg \frac{48}{20}} = \frac{28}{2,3 \lg 2,4} = 32 \text{ K};$$

$$F_{корII} = \frac{12,47}{0,104 \cdot 32} = 3,74 \text{ м}^2.$$

$$F_{кор.дII} < F_{корII(розр)}$$

Модернізація корпусу з використання двох частин (корпуса та гільзи) несе собою низку переваг, проте, через те що з'являється шар повітря між двома частинами, значно погіршується теплопередача від внутрішньої поверхні до зовнішньої, де відбувається охолодження. Цього можна уникнути шляхом заміни шару повітря на термопасту. Теплопередача від внутрішньої частини гільзи до зовнішньої поверхні корпусу, де відбувається охолодження, з використанням термопасту, ефективніше на 41% та практично не відрізняється від базової конструкції, де корпус складається з однієї цільної частини.

Проаналізувавши результати розрахунків можна зробити висновок, що розрахункова поверхня теплообміну суттєво відрізняється від дійсної: розрахункова поверхня I зони корпусу в 9 разів, II зони корпусу в 7 разів більше дійсної.

5.3 Розрахунок на міцність

Метою розрахунку є перевірка спроектованих розмірів черв'яка і визначення максимального допустимого прогину.

Вихідні дані:

Матеріал черв'яка	сталь 40Х;
встановлена потужність, кВт, N	200
кількість обертів черв'яка, об/хв, n	50
площа на яку діє тиск, м^2 , F	0,02
діаметр виступів черв'яка, м, D	0,160

Розрахункова схема сил, що діють на черв'як зображені на рисунку 5.2.

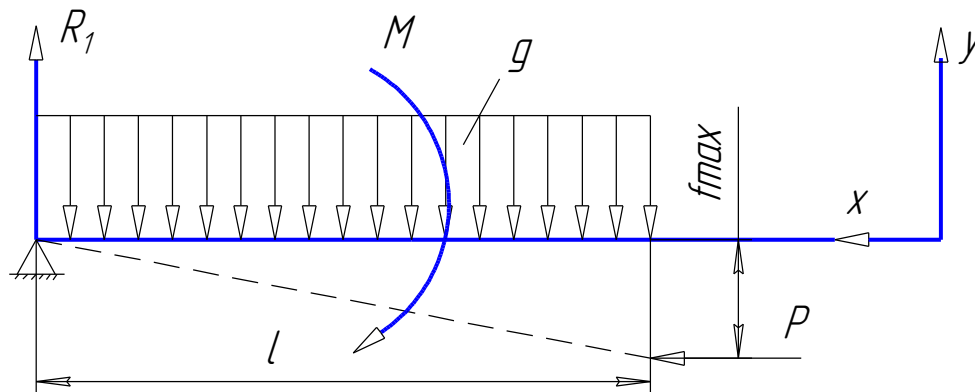


Рисунок 5.2 – Схема сил, що діють на черв'як

Розрахунок ведемо за методикою [3].

Максимальний прогин повинен бути менше практично встановленого зазору. Між черв'яком і внутрішнім діаметром циліндра корпусу для того, щоб не допустити ковзання витків черв'яка по внутрішній поверхні циліндра.

На черв'як діє сила P , крутний момент $M_{кр}$ та рівномірно розповсюджене навантаження q від власної ваги черв'яка.

Сили P та q викликають прогин черв'яка f .

Спочатку визначимо вихідні дані для розрахунку черв'яка. Крутний момент на черв'яку

$$M_{кр} = 9740 \frac{N}{n},$$

де N – встановлена потужність, $N = 200$ кВт;

n – кількість обертів черв'яка, $n = 50$ об/хв.

$$M_{кр} = 9740 \frac{200}{50} = 38960 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Осьове зусилля P визначаємо за формулою:

$$P = pF,$$

де P – максимальний допустимий питомий тиск матеріалу,

$$P = 28.68 \text{ МПа};$$

F – площа на яку діє тиск, м^2 , $F = 0,785 \cdot D^2$;

D – діаметр виступів черв'яка, $D = 0,160$ м;

$$P = 28680000 \cdot 0,785 \cdot 0,160^2 = 574750 \text{ Н}.$$

При розрахунку на міцність черв'яка можливо два варіанта розрахунку.

Для визначення розрахункової схеми попередньо перевіримо черв'як на гнучкість за формулою:

$$\lambda = \frac{\mu L}{i},$$

де λ – гнучкість вала черв'яка;

μ – коефіцієнт, який залежить від способу кріплення, $\mu = 2$;

L – робоча довжина черв'яка, $L = 0,211$ м;

i – радіус інерції перерізу, який визначається за формулою

$$i = \sqrt{\frac{J}{F}},$$

де J – момент інерції поперечного перерізу черв'яка в перерізі А-А;

$$J = \frac{\pi D^4}{64} (1 - \alpha^4);$$

$$\alpha = \frac{d}{D},$$

де d – діаметр отвору в черв’яку, $d = 0,032$ м;

D – діаметр впадин гвинтової нарізки, $D = 0,098$ м.

$$\alpha = \frac{0,032}{0,098} = 0,327;$$

$$J = \frac{\pi \cdot 0,098^4}{64} (1 - 0,327^4) = 0,00044736 \text{ м}^4.$$

F – площа поперечного перерізу черв’яка в перерізі А-А;

$$F = \frac{\pi D^2}{4} (1 - \alpha^2);$$

$$F = \frac{\pi \cdot 0,098^2}{4} (1 - 0,327^2) = 0,006733 \text{ м}^2;$$

$$i = \sqrt{\frac{0,00044736}{0,006733}} = 0,0258 \text{ м};$$

$$\lambda = \frac{2 \cdot 0,211}{0,0258} = 164 > 50.$$

Отже, розрахунок черв’яка проводимо по другому варіанту, на поздовжньо-поперечний вигин з урахуванням осьового зусилля P та власної ваги черв’яка.

Диференціальне рівняння вигнутої осі черв’яка:

$$EJ \frac{d^2 Y}{dx^2} = M_u;$$

$$M_u = \frac{q}{k^2} (1 - \cos k x) + M_n \cos x k + \frac{Q_n}{k} \sin k x,$$

де k – параметр:

$$k^2 = \frac{P}{E \cdot J};$$

$$k = \sqrt{\frac{P}{E \cdot J}},$$

P – осьове зусилля, яке діє на черв’як, $P = 574750$ Н.

$$J = J_{np} - J_o,$$

де J_{np} – приведений момент інерції поперечного перерізу черв’яка, який визначається з урахуванням впливу жорсткості витків;

$$J_{np} = \frac{\pi D_{i4}^4}{64} \left(0,375 + 0,625 \frac{D_{e4}}{D_{i4}} \right),$$

де D_{e4} – діаметр виступів черв'яка, $D_{e4} = 0,160$ м;

D_{i4} – діаметр впадин черв'яка, $D_{i4} = 0,98$ м.

$$J_{np} = \frac{\pi \cdot 0,098^4}{64} \left(0,375 + 0,625 \frac{0,16}{0,098} \right) = 6,31474 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4,$$

J_o – момент інерції отвору для охолодження черв'яка

$$J_o = \frac{\pi d^4}{64} = \frac{\pi \cdot 0,032^4}{64} = 5,145 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4;$$

$$J = 631,474 - 5,145 = 626,3 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4;$$

$$k = \sqrt{\frac{57475}{2,1 \cdot 10^6 \cdot 626,3}} = 0,00661.$$

M_n – початкове значення вигинаючого моменту при $x = 0$;

Q_n – початкове значення поперечної сили при $x = 0$;

Для знаходження цих величин використаємо граничні умови та одержимо:

а) при $x = 0$; $M_u = 0$; $M_n = 0$;

б) при $x = L$; $Q = q \cdot L$

Диференціюємо рівняння

$$\frac{d \cdot M_u}{d \cdot x} = Q = \frac{q}{k} \sin kx + Q_n \cos kx.$$

Підставимо в це рівняння другу граничну умову ($x = L$), одержимо

$$qL = \frac{q}{k} \sin kL + Q_n \cdot k \cdot L.$$

Звідки

$$Q_n = \frac{q \cdot \left(L - \frac{1}{k} \sin kL \right)}{\cos kL},$$

де q – рівномірно розповсюджене навантаження від ваги черв'яка;

$$q = \frac{G_{чep}}{L},$$

$G_{чep}$ – загальна вага черв'яка, $G_{чep} = 230,3$ кг;

L – робоча довжина черв'яка, $L = 0,211$ м;

L' – загальна довжина черв'яка. $L' = 0,2435$ м.

$$g = \frac{230,3}{0,211} = 1091 \text{ Н/м};$$

$$Q_u = \frac{1,091 \left(211 - \frac{1}{0,00661} \sin 0,00661 \cdot 0,211 \right)}{\cos 0,00661 \cdot 0,211} = \frac{1,091(0,211 - 151,29 \cdot \sin 1,39471)}{\cos 1,39471} =$$

$$= \frac{1,091(211 - 151,29 \cdot 0,984537)}{0,17518} = 3864 \text{ Н.}$$

Вигинаючий момент визначаємо з рівняння:

$$M_u = \frac{q}{k^2} (1 - \cos kx) + \frac{q \left(L - \frac{1}{k} \sin kL \right)}{k \cdot \cos kL} \sin kx;$$

$$\text{але } \frac{q \left(L - \frac{1}{k} \sin kL \right)}{\cos kL} = Q_u = 3864 \text{ Н,}$$

$$\text{тоді } M_u = \frac{q}{k^2} (1 - \cos kx) + \frac{Q_u}{k} \sin kx.$$

Для визначення $M_{u \max}$ продиференціюємо рівняння та знайдемо значення величини X , при якому значення величини моменту буде максимальним:

$$\frac{d \cdot M_u}{dx} = \frac{q}{k} \sin kx + \frac{q \left(L - \frac{1}{k} \sin kL \right)^k}{k \cdot \cos kL} \cos kx = 0;$$

$$tgkx = - \frac{k \left(L - \frac{1}{k} \sin kL \right)}{\cos kL} = \frac{\sin kL - kL}{\cos kL};$$

$$tgkx = tgkL - \frac{k \cdot L}{\cos kL};$$

$$tg0,00661 \cdot x = tg0,00661 \cdot 211 - \frac{0,00661 \cdot 211}{\cos 0,00661 \cdot 211}$$

$$= tg1,39471 - \frac{1,39471}{\cos 1,39471} =$$

$$= tg79^\circ 54' 40'' - \frac{1,39471}{\cos 79^\circ 54' 40''} = 5,62028 - \frac{1,39471}{0,17518} = -2,3413 tg0,00661 \cdot x$$

=

$$= -2,3413 \cdot 0,00661 \cdot x = \arctg(-2,3413);$$

$$x = \frac{-1,16714}{0,00661} = -176,6;$$

$$M \frac{1,091}{0,00661^2} [1 - \cos 0,00661(-176,6)] \frac{386,4}{0,00661} \sin 0(-176,6)_{u \max} =$$

$$\begin{aligned}
&= 24970,2[1 - \cos(-1,167)] + \frac{386,4}{0,00661} \sin(-1,167) = \\
&= 24970,2(1 - 0,3929) + \frac{386,4}{0,00661}(-0,9196) = 15159,4 - 53756,95 = \\
&\quad -38598 \text{ Н} \cdot \text{м}.
\end{aligned}$$

Визначаємо максимальне навантаження:

$$\sigma_{\max} = \frac{P}{F} + \frac{M_{\max}}{W_{н.о}},$$

де P – осьове зусилля $P = 574750 \text{ Н}$;

F – площа поперечного перерізу черв'яка, $F = 0,006733 \text{ м}^2$;

$W_{н.о}$ – момент опору вигину перерізу;

$$W_{н.о} = \frac{\pi}{32D} (D^4 - d^4) = \frac{\pi}{32 \cdot 16} (0,16^4 - 0,032^4) = 401,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3;$$

$$D = 0,160 \text{ м};$$

$$d = 0,032 \text{ м};$$

$$\sigma_{\max} = \frac{574750}{0,006733} \cdot \frac{38598}{401,3 \cdot 10^{-3}} = 95 \text{ МПа}.$$

Матеріал черв'яка – сталь 40Х.

Поверхня азотована.

Навантаження, що допускається для даної марки сталі

$$[\sigma]_{\text{дон}} = 195 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\max} < [\sigma]_{\text{дон}}.$$

Перевіряємо максимальний прогин вала черв'яка від розподіленого навантаження $g = 1,091 \text{ Н/м}$

$$f_{\max} = \frac{5gl^4}{384EJ},$$

J – момент інерції поперечного перерізу черв'яка, $J = 626,3 \text{ см}^4$;

$$f_{\max} = \frac{5 \cdot 1,091 \cdot 0,211^4}{384 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 626,3} = 0,02 \text{ м}.$$

Розрахунок черв'яка на міцність (втомну)

Переріз II-II

При сумісній дії вигинаючих та крутних моментів повний запас міцності складас

$$n = \frac{n_\sigma \cdot n_\tau}{\sqrt{n_\sigma^2 + n_\tau^2}} \geq [n],$$

де $[n]$ – допустимий запас міцності при розрахунку на втому, $[n] = 2,0$.

Запас міцності за границею втоми при врахуванні тільки вигину

$$n_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{k_\sigma}{\beta \varepsilon_\sigma} \cdot \sigma_a + \psi_\sigma \sigma_m}.$$

Матеріал черв'яка

сталь 40Х, вдосконалена.

Поверхня витків черв'яка азотована.

межа втоми при вигині для матеріалу черв'яка, МПа, σ_{-1} 360

ефективний коефіцієнт концентрації напружень, k_σ 2,3

середнє значення напруження в циклі, σ_m 0

коефіцієнт стану поверхні, β 1,9

масштабний фактор, враховуючий зміну меж втоми при вигині, ε_σ 0,59

коефіцієнт, враховуючий вплив на витривалість постійного доданку напруження, ψ_σ 0,1

$\sigma_a = \sigma_p$ – середнє робоче напруження циклу.

$$\sigma_p = \frac{M_{u \max}}{W_u},$$

де $M_{u \max}$ – максимальний вигинаючий момент, який діє на черв'як,

$$M_{u \max} = 38598 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

W_u – момент опору вигину.

$$W_u = \frac{J_x}{R_{lr}},$$

J_x – приведений момент інерції черв'яка, який визначається з урахуванням впливу жорсткості витків

$$J_x = J_{np} - J_o,$$

J_{np} – приведений момент інерції перерізу II-II черв'яка;

J_o – момент інерції отвору для охолодження черв'яка

$$J_{np} = \frac{\pi D_{i4}^4}{64} \left(0,375 + 0,625 \frac{D_{e4}}{D_{i4}} \right),$$

де D_{e4} – діаметр виступів черв'яка, $D_{e4} = 0,160$ м;

D_{i4} – діаметр впадин черв'яка, $D_{i4} = 0,098$ м.

$$J_{np} = \frac{\pi \cdot 0,098^4}{64} \left(0,375 + 0,625 \frac{0,16}{0,098} \right) = 631,474 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4;$$

$$J_o = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot 0,032^4}{64} = 5,145 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4,$$

d – діаметр отвору для охолодження черв'яка, $d = 0,032$ м;

$$J_x = 631,474 - 5,145 = 626,3 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4.$$

$$R_{i4} = \frac{D_{i4}}{2} = \frac{9,8}{2} - \text{радіус впадин черв'яка}$$

$$W_u = \frac{626,3 \cdot 10^{-8} \cdot 2}{0,098} = 127,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$

Напруження вигину

$$\sigma_p = \frac{385,98}{127,8 \cdot 10^{-3}} = 30,2 \text{ МПа}.$$

Запас міцності по межі втоми при врахуванні вигину

$$n_\sigma = \frac{3600}{\frac{2,3}{1,9 \cdot 0,59} \cdot 302 + 0,1 \cdot 0} = 5,8.$$

Запас міцності по межі втоми при врахуванні тільки кручення:

$$n_\tau = \frac{\tau_{-1}}{\tau_{розр} \left(\frac{k\tau}{\beta \cdot \varepsilon_\tau} + \psi_\tau \right)},$$

де τ_{-1} – межа втоми при крученні, $\tau_{-1} = 240$ МПа;

β – коефіцієнт стану поверхні, $\beta = 1,7$;

ε_τ – масштабний фактор, враховуючий зміну меж втоми при крученні, внаслідок впливу абсолютних розмірів вала, $\varepsilon_\tau = 0,59$;

k_τ – ефективний коефіцієнт концентрації напружень при крученні, $k_\tau = 1,7$;

ψ_τ – коефіцієнт, враховуючий вплив на втому постійного доданку напруження τ_m , $\psi_\tau = 0,05$;

$\tau_{розр}$ – розрахункове напруження кручення.

$$\tau_{розр} = \frac{M_{кр}}{2 \cdot W_p},$$

$M_{кр}$ – крутний момент, який діє на валу черв'яка, $M_{кр} = 38960 \text{ Н} \cdot \text{м}$;

W_p – полярний момент опору.

$$W_p = \frac{J_k}{R};$$

$$J_k = 2 \cdot J_x = 2 \cdot 626,3 = 1252,6;$$

$$W_p = \frac{2 \cdot 626,3 \cdot 10^{-8} \cdot 2}{0,098} = 255,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3;$$

$$\tau_{розр} = \frac{3896}{2 \cdot 255,6 \cdot 10^{-3}} = 76,2 \text{ МПа};$$

$$n_\tau = \frac{2400}{762 \left(\frac{1,5}{1,7 \cdot 0,59} + 0,05 \right)} = 2,04.$$

Повний запас міцності

$$n = \frac{5,8 \cdot 2,04}{\sqrt{5,8^2 + 2,04^2}} = 1,92.$$

$$n \approx [n]$$

Умова міцності виконується.

Переріз I-I

В перерізі I-I діє тільки крутний момент.

Запас міцності по межі втоми визначаємо за формулою:

$$n_{\tau} = \frac{\tau_{-1}}{\tau_{розр} \left(\frac{k_{\tau}}{\beta \cdot \varepsilon_{\tau}} + \psi_{\tau} \right)},$$

де τ_{-1} – межа втоми при крученні, $\tau_{-1} = 240$ МПа;

β – коефіцієнт стану поверхні при поверхневому азотуванні, $\beta = 1,7$;

$$\varepsilon_{\tau} = 0,59;$$

$$k_{\tau} = 1,7;$$

$$\psi_{\tau} = 0,05;$$

$$\tau_{розр} = \frac{M_{кр}}{2 \cdot W_p};$$

$$M_{кр} = 38960 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

W_p – момент опору крученню перерізу черв’яка з урахуванням жорсткості витків;

$$W_p = \frac{J_k}{R},$$

J_k – момент інерції кручення черв’яка;

R – радіус черв’яка, $R = 0,056$ м

$$J_k = 2 \cdot J_{черв};$$

$$J_{черв} = J'_{черв} - J_{отв};$$

$$J'_{черв} = \frac{\pi \cdot D_{i4}^4}{64} \left(0,375 + 0,625 \frac{D_{e4}}{D_{i4}} \right) = \frac{\pi \cdot 0,112^4}{64} \left(0,375 + 0,625 \frac{0,16}{0,112} \right) = 979 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4,$$

де D_{i4} – діаметр впадин черв’яка, $D_{i4} = 0,112$ м;

D_{e4} – діаметр виступів черв’яка, $D_{e4} = 0,16$ м.

$$J_{отв} = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot 0,032^4}{64} = 5,14 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4,$$

d – діаметр каналу черв’яка, $d = 0,032$ м.

$$J_{черв} = 979 - 5,14 \approx 974 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4;$$

$$J_k = 2 \cdot 974 \cdot 10^{-8} = 1948 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4;$$

$$W_p = \frac{1948 \cdot 10^{-8}}{5,6} = 347,86 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3;$$

$$\tau_{розр} = \frac{3896}{2 \cdot 347,86 \cdot 10^{-3}} = 56 \text{ МПа};$$

$$n_{\tau} = \frac{2400}{560 \left(\frac{1,7}{1,7 \cdot 0,59} + 0,05 \right)} = 2,5.$$

$$n_{\tau} > [n]$$

$$2,5 > 2$$

Умова міцності виконується.

Перевірено запроектовані розміри черв'яка ($D = 0,160$ м), що задовольняє умовам міцності; визначено максимальний допустимий прогин у першому та другому перерізах, що дорівнює 2,5 та 1,92 відповідно.

6 СПЕЦІАЛЬНІ РОЗДІЛИ

6.1 Монтаж і експлуатація

6.1.1 Монтаж машини МЧХ-160

Монтаж обладнання дозволяється виконувати лише особам, які досягли 18-річного віку, мають відповідну кваліфікацію та пройшли інструктаж з техніки безпеки

Під час монтажу вузлів агрегату необхідно використовувати підйомні механізми вантажопідйомністю не менше 5 тонн, дотримуючись встановлених правил безпеки.

Для монтажно-складальних робіт використовується справний та перевірений інструмент. Електромонтаж обладнання виконується згідно з "Правилами улаштування електроустановок" (ПУЕ) та вимогами безпеки, відповідно до ГОСТ 12.2.007.0-75.

Агрегат обов'язково потрібно заземлити згідно з вимогами ГОСТ 12.1.030-81.

Під час проведення монтажу введені в експлуатацію вимикачі повинні бути вимкнені. Необхідно вжити заходів для запобігання випадковому ввімкненню будь-яких приводів.

Підключення електроенергії, водопостачання та вентиляційної системи дозволяється лише після завершення монтажних робіт.

Після монтажу перед початком експлуатації необхідно:

перевірити наявність та міцність усіх кріплень, а також огороження обертових елементів;

переконатися у наявності та надійності заземлення.

На основі чинної документації, технологічних вимог і реальних умов роботи, експлуатуюча організація зобов'язана розробити інструкцію з техніки безпеки, яка має зберігатися поруч із агрегатом.

6.1.2 Порядок монтажу

Агрегат МЧХ-160 монтується на фундамент на першому поверсі виробничого приміщення без підвалів у зоні його встановлення. Фундамент має відповідати проектній документації.

Монтаж здійснюється так, щоб вісь черв'яка робочого органу була горизонтальною. Для перевірки використовується рівень, який встановлюється на циліндричну поверхню витків черв'яка у завантажувальному бункері. Горизонтальне положення коригується спеціальними пристроями, а фіксація виконується заливанням бетону під опорні поверхні.

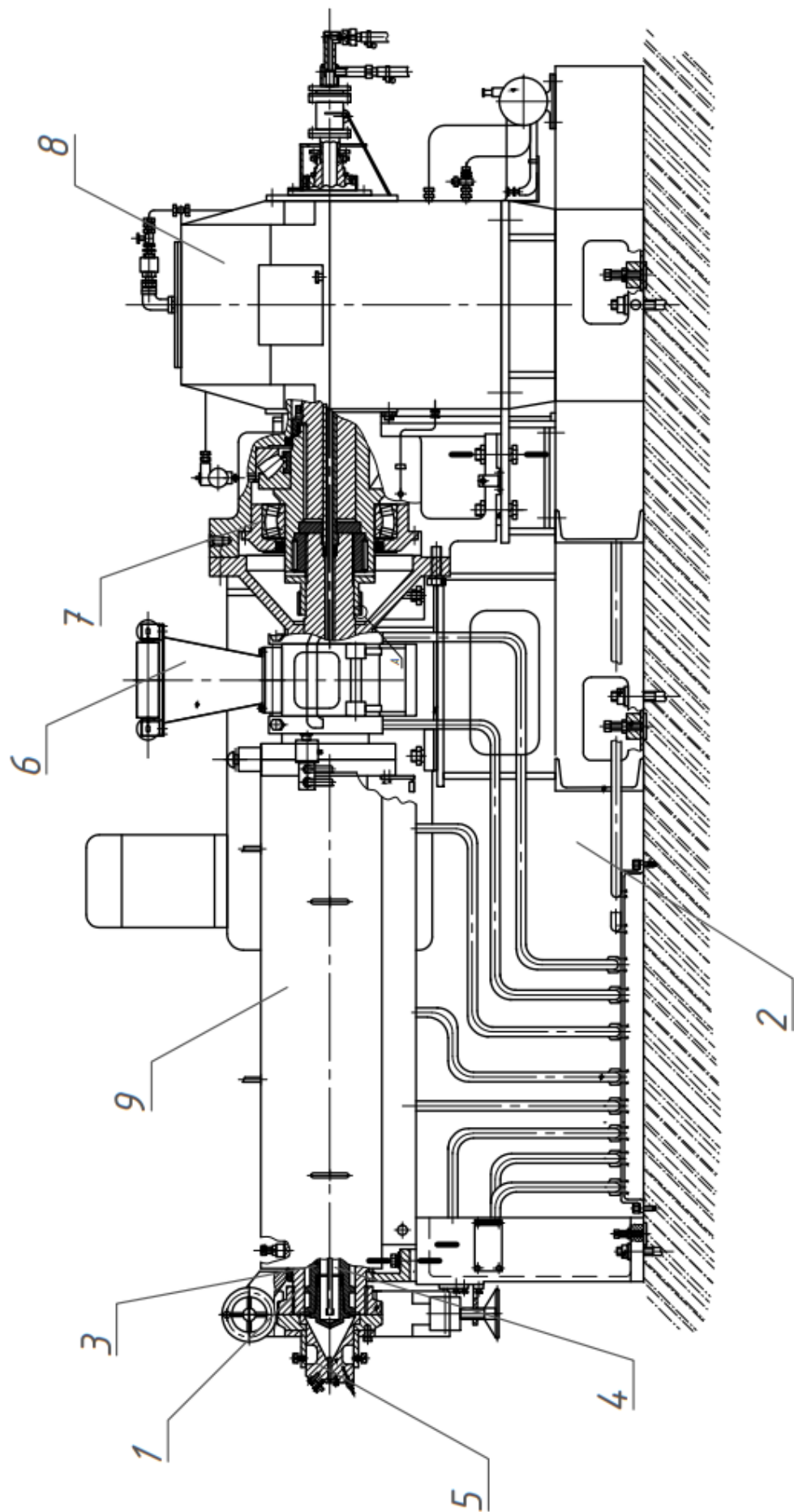
Для складання агрегату використовується підйомне обладнання вантажопідйомністю не менше 5 тонн.

Шафа управління (ШУ) та тиристорний модуль встановлюються на відстані до 5 метрів від агрегату у зручному для обслуговування місці.

До агрегату підводиться оборотна вода для охолодження робочого органу (підвідна труба Ду=15 мм, зливна — Ду=15 мм).

Після завершення монтажу встановлюються витяжні пристрої для зон завантаження сировини та вивантаження готового продукту.

Схему машини, план розміщення фундаментних болтів, схему монтажних робіт, операційну карту складальних робіт, схему та таблицю змащення (таблиця 6.10) наведено нижче.



МЧХ-160

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

[illegible]

[illegible]

Найменування і позначення виробу, механізму. Номера позицій на малюнку	Найменування змазочних матеріалів	Кількість точок змащування	Спосіб змащування	Періодичність перевірки змащування і заміни змазки
1. Редуктор і зубчаті зачеплення та підшипник вхідного вала	Масло И-Г-А-46 ГОСТ 20799-88	-	Заливний окунанням і розбризгуванням	Оновлювати масло 10 разів на місяць, потім кожні 6 місяців. Слідкувати за рівнем мастила і при необхідності поповнювати.
- Підшипники проміжного і вихідного валів	Літол ГОСТ 21150-87	4	Закладний, попередньо закладається 5кг.	Оновлювати 1 раз на місяць, після чого через кожні 3 місяця
2. Упорний підшипник	Літол-24 (ГОСТ 21150-87)	1	Шприцом через змащувальний отвір. Видалити стару змазку	Кожні 300-500 годин роботи або за графіком ТО

6.1.3 Експлуатація машини МЧХ-160

Експлуатацію агрегату можуть здійснювати особи віком від 18 років, які мають необхідну підготовку, ознайомлені з експлуатаційною документацією та пройшли інструктаж з техніки безпеки.

Агрегат можна експлуатувати за умови:

наявності огорожень обертових деталей, теплоізоляційних кожухів і захисних кришок;

заземлення всіх елементів агрегату та перевіреної ізоляції струмоведучих частин;

ввімкнення системи вентиляції приміщення та витяжних пристроїв очищення повітря.

Відведення забрудненого повітря має здійснюватися спеціальними пристроями, передбаченими в технологічній лінії. Концентрація пилу в робочій зоні не повинна перевищувати 0,1 мг/м³ відповідно до ГОСТ 12.1.005-88.

Забороняється залишати працюючий агрегат без нагляду. У разі виявлення шуму чи інших несправностей, оператор повинен негайно вимкнути обладнання та повідомити про це начальника зміни.

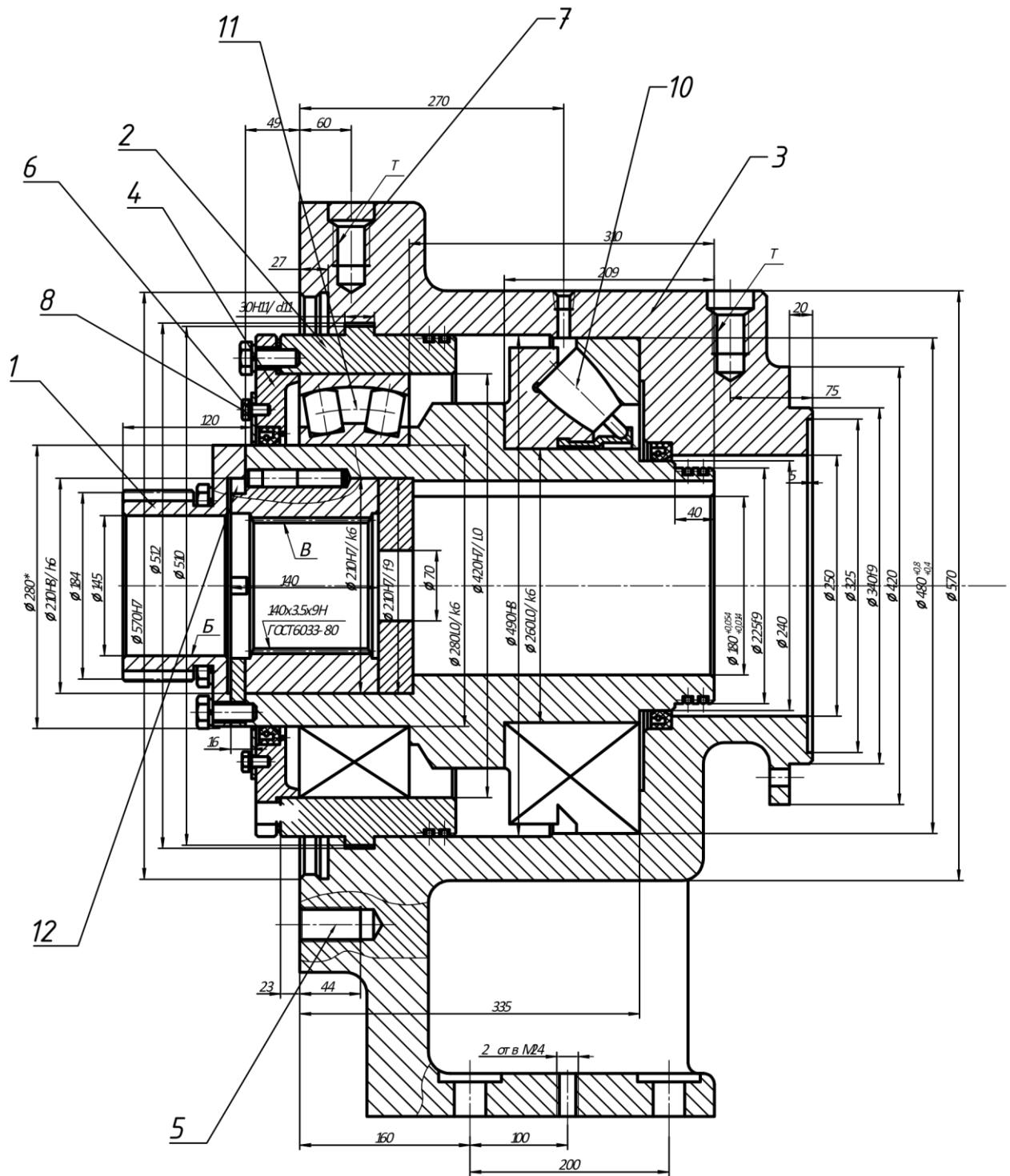
Всі ремонтні та обслуговувальні роботи необхідно виконувати після вимкнення електроживлення, водопостачання та вентиляції. Потрібно запобігти випадковому запуску агрегату під час таких робіт.

Не дозволяється відкривати дверцята електрообладнання або тиристорного модуля під час роботи агрегату.

Рівень шуму агрегату не повинен перевищувати допустимі значення, встановлені ГОСТ 12.1.003-83.

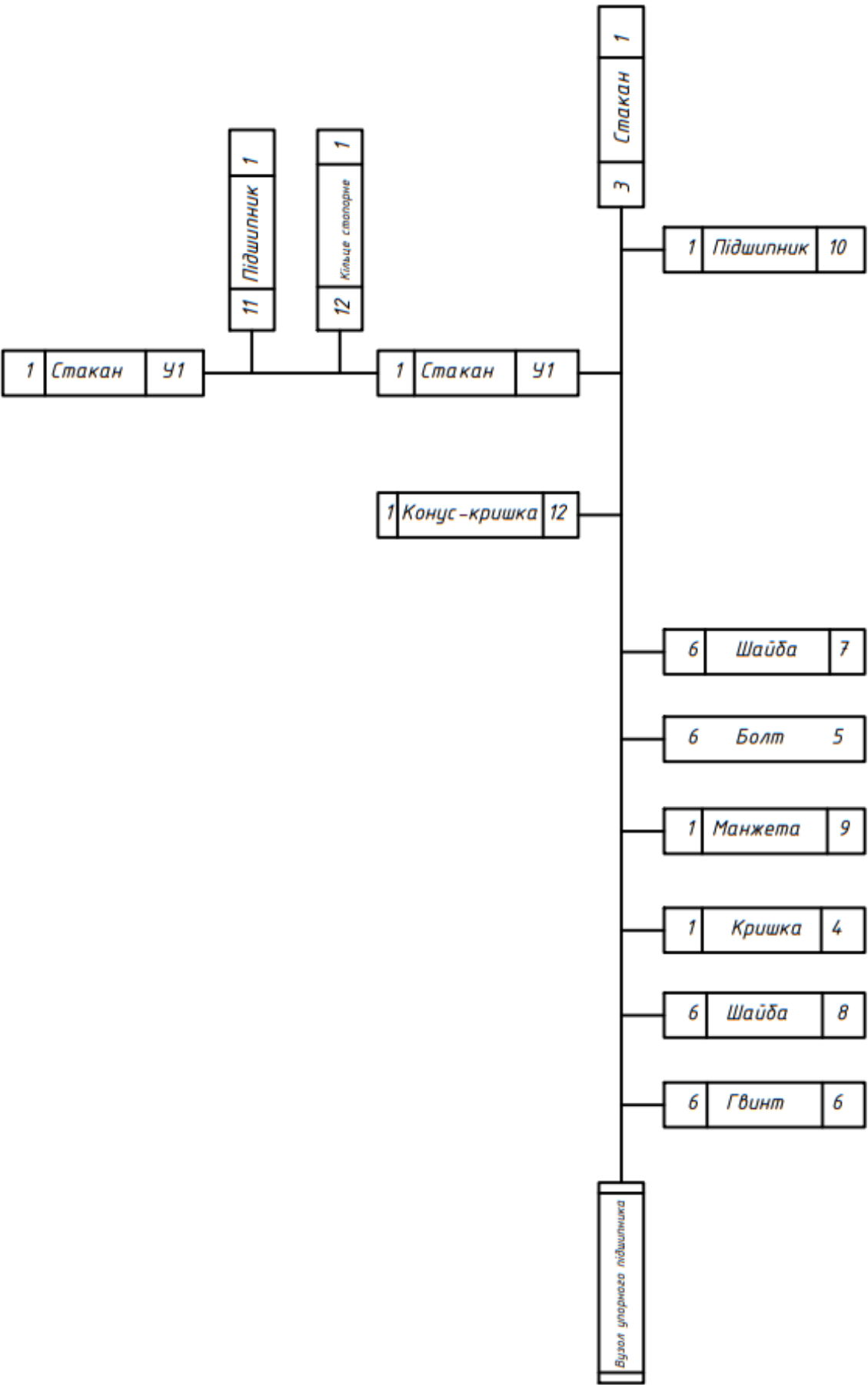
6.1.4 Складання упорного підшипника

Нижче наведено креслення упорного підшипника та його специфікацію, схему складання упорного підшипника та операційну карту складальних робіт.



					<i>Вузол упорного підшипника</i>			Літера	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						
Розробив		Плетньов								58
Перевірів		Борщик								
Т. контр.								Аркуш	Аркушів	
Затверд.		Сокольський						КПІ ім. Ігоря Сікорського		

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кіл.	Примітки
				<u>Документація</u>		
*)			ЛПЗ1мп. 704421.006	Складальне креслення	1	*)А2×4
				<u>Деталі</u>		
		1		Вал	1	
		2		Корпус-кришка	1	
		3		Стакан	1	
		4		Кришка	1	
				<u>Стандартні вироби</u>		
		5		Болт 20×20	6	
				ГОСТ 7796-70		
		6		Гвинт 8×10	6	
				ГОСТ 11644-80		
		7		Шайба 20	6	
				ГОСТ 6402-70		
		8		Шайба 6	6	
				ГОСТ 6402-70		
		9		Манжета 1.1.-160×190-1	1	
		10		Підшипник 7538	1	
				ГОСТ 333-79		
		11		Підшипник 1000932	1	
				ГОСТ 8338-75		
		12		Кільце А155	1	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Вузол упорного підшипника Літ Аркуш Аркушів 1 КПІ ім. Ігоря Сікорського	
Розробив	Плетньов					
Перевірив	Борщик					
Т. контр.						
Затверд.	Сокольський					



Складання упорного підшипника

Зм.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата	

Інв. № дубл.	Підпис і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підпис і дата	
Операційна карта складальних робіт					
№ операції	№ етапу	№ операції	Найменування операції		
			Обладнання(найменування, модель)		
Складання упорного підшипника					
Назва операції	Зміст переходу		Технологічний режим	К-ть	Пристосування
1.	На стакан 3 встановлюємо підшипник 10.		стакан 3	1	Інструмент
			Підшипник 10	1	
2.	На стакан 1 встановлюємо підшипник 11 і кільце стопорне 12.		Стакан 1	1	
			Підшипник 12	1	
3.	У стакан-корпус 2 встановлюємо манжету 9 і закриваємо кришкою 4		Стакан-корпус 2	1	
			Манжета 9	1	
			Кришка 4	1	
			розроб.	Плетень об.	Адж.
			Перевір.	Борщик	
					Додаток
Інв. № дубл.	Підпис і дата	Взам. інв. №	Інв. № дубл.	Підпис і дата	
Вич.	Лектор.	Модератор.	Підпис	Дата	Н.Лектор

6.2 Розробка стартап проєкту

6.2.1 Опис ідеї стартап-проєкту

Стартап спрямований на створення інженерного сервісу, що надає послуги з проектування, налагодження та ремонту обладнання для переробки полімерів. Основна ідея полягає у забезпеченні підприємств високоякісними технічними рішеннями, які допомагають підвищити ефективність виробничих процесів, оптимізувати витрати і зменшити простої (таблиця 6.2).

Таблиця 6.2 – Опис ідеї стартап-проєкту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Створення сервісу для надання інженерних послуг у сфері обладнання для переробки полімерів, а саме: - проектування; - налагоджування; - ремонт.	1.Розробка індивідуальних проєктів та налагодження обладнання для переробки полімерів	Зниження витрат завдяки підвищенню ефективності обладнання. Скорочення часу простою виробничих ліній за рахунок оперативного ремонту.
	2. Обслуговування, ремонт та модернізація обладнання	Підвищення якості продукції через оптимізацію технічних процесів. Економія часу та ресурсів завдяки оптимізації роботи обладнання

Даний стартап матиме наступну назву: «ПолімерТех». Його логотип зображено на рисунку 6.1.



Рисунок 6.1 – Логотип стартап-проєкту

Технічні переваги:

- *Висока ефективність обладнання.* Завдяки інноваційним підходам до проектування та налагодження, виробничі лінії досягають стабільної продуктивності та знижують енерговитрати;
- *Інтеграція автоматизованих рішень.* Впровадження сучасних технологій дозволяє автоматизувати частину процесів, зменшуючи потребу в ручному втручанні;
- *Швидкий ремонт та модернізація.* Стартап забезпечує оперативне відновлення функціональності обладнання, що мінімізує час простою;
- *Енергоощадність.* Модернізація застарілого обладнання дозволяє знизити споживання енергоресурсів, що відповідає сучасним екологічним стандартам.

Економічні переваги:

- *Зменшення витрат на технічне обслуговування.* Регулярний моніторинг стану обладнання скорочує ризики виникнення великих аварій, які потребують значних фінансових вкладень;
- *Підвищення продуктивності.* Завдяки налаштуванню та оптимізації обладнання клієнти отримують можливість збільшити обсяги виробництва без додаткових капіталовкладень;
- *Скорочення витрат на сировину.* Технічні рішення спрямовані на оптимізацію переробки полімерів, що знижує рівень відходів;

- *Довгострокова економія.* Інвестиції у послуги стартапу дозволяють підприємствам отримувати стабільну вигоду від підвищеної ефективності обладнання.

Порівняння з конкурентами:

- *Індивідуальний підхід.* На відміну від стандартних послуг конкурентів, стартап пропонує розробку проектів, адаптованих до потреб кожного клієнта;
- *Комплексність послуг.* Проект охоплює весь цикл робіт: від проектування до технічного супроводу після введення обладнання в експлуатацію;
- *Інноваційність.* Використання сучасних технологій, таких як автоматизовані системи управління, забезпечує конкурентну перевагу;
- *Швидкість виконання.* Стартап забезпечує швидке впровадження та обслуговування, що знижує втрати через простой виробничих ліній.

Аналіз ризиків та слабких сторін:

- *Висока конкуренція.* На ринку вже існують великі гравці, які мають усталену клієнтську базу;
- *Залежність від постачання компонентів.* Вчасне виконання замовлень може залежати від доступності обладнання та матеріалів;
- *Ризик невизнання бренду.* Новий стартап може зіткнутися зі складністю залучення клієнтів через недостатню обізнаність про його послуги;
- *Потреба в значних інвестиціях.* Для повноцінного запуску та функціонування проекту потрібні значні фінансові ресурси на закупівлю обладнання та маркетинг.

Сильні та слабкі сторони проекту наведено в таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) послуги конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект (інженерні послуги для обладнання з переробки полімерів)	Конкурент 1 (ТехСервіс ЛТД)	Конкурент 2 (МехаПолімер Сервіс)	Конкурент 3 (ГлобалПолімер)			
1	Швидкість виконання	2-3 дні	3-5 днів	7 днів	3-5 днів			+
2	Точність	99 %	98 %	98 %	99 %			+
3	Вартість	15000	15000	12000	20000		+	
4	Наявність гарантійного обслуговування	1 рік	6 місяців	6 місяців	1 рік			+

Запропонована ідея стартапу, що передбачає надання інженерних послуг у проектуванні, налагодженні та ремонті обладнання для переробки полімерів, є перспективною та конкурентоспроможною. Основні переваги включають високу швидкість виконання, точність налаштування обладнання, доступну вартість послуг та гарантійне обслуговування.

Порівняння з конкурентами показало, що стартап має низку сильних сторін, зокрема індивідуальний підхід до потреб клієнтів та впровадження сучасних рішень, які підвищують ефективність виробництва. Це створює умови для успішного запуску та залучення споживачів на ринку.

6.2.2. Технологічний аудит ідеї проєкту

В рамках даного підрозділу проводиться оцінка технологічної здійсненності ідеї стартапу, зокрема на етапі вибору та впровадження технологій для проектування, налагодження та ремонту обладнання для переробки полімерів (таблиця 6.4) .

Таблиця 6.4 – Технологічна здійсненність ідеї проєкту

№ п/п	Ідея проєкту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Розробка індивідуальних проєктів та налагодження обладнання для переробки полімерів. Обслуговування, ремонт та модернізація розробленого та реалізованого обладнання	Інженерні технології для проектування обладнання, автоматизація процесів. Технології моніторингу стану обладнання, дистанційний моніторинг	Існуючі технології для розробки та налаштування устаткування, потребують адаптації до специфічних умов. Існуючі рішення, для віддаленого моніторингу, потребують адаптації	Доступні для розробки та впровадження в рамках проєкту, але можуть вимагати додаткових інвестицій
Обрана технологія реалізації ідеї проєкту: CAD, SCADA, AI, інтеграція з іншими системами управління підприємством				

Обрана технологія реалізації ідеї стартапу базується на інтеграції сучасних інженерних рішень, автоматизації та використанні IoT для моніторингу, що дозволить ефективно проектувати, налаштовувати та обслуговувати обладнання для переробки полімерів. Цей підхід є технологічно здійсненним і доступним для впровадження в рамках запропонованого проєкту, оскільки існуючі рішення можна адаптувати до конкретних потреб клієнтів і використовувати з найменшими витратами часу та ресурсів.

6.2.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту

Аналіз ринкових можливостей дозволяє оцінити, наскільки вигідно та перспективно впроваджувати стартап на ринку інженерних послуг для проектування, налагодження та ремонту обладнання для переробки полімерів. Зокрема, аналіз включає визначення ринкових можливостей та загроз, що можуть вплинути на успіх проєкту.

Першим кроком є оцінка попиту на послуги стартапу. (таблиця 6.5).

Таблиця 6.5 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проєкту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	5–7 основних гравців, зокрема великих компаній, які займаються переробкою полімерів та обладнанням для цього
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	Обсяг ринку для інженерних послуг у галузі переробки полімерів оцінюється на рівні 100 млн грн/рік для України
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Ринок зростає, завдяки збільшенню попиту на переробку відходів, зростанню екологічних вимог і популяризації кругової економіки
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Високі вимоги до сертифікації та стандартів, необхідність значних інвестицій в технічну інфраструктуру
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Продукція має відповідати ДСТУ, ISO 9001, а також технічним вимогам для кожного виду обладнання, що використовується для переробки полімерів
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	15–20% рентабельності, що є порівняно високим показником в галузі, проте також залежить від ефективності використання технологій і скорочення витрат

Ринок для стартапу є перспективним, оскільки ринок зростає завдяки підвищенню попиту на переробку полімерів і екологічні ініціативи. Основними викликом є висока конкуренція. Рентабельність ринку на рівні 15–20% є привабливою, що свідчить про потенціал для інвестицій і успіху стартапу, якщо буде забезпечено ефективне управління ресурсами та інноваціями

Визначення цільових груп клієнтів є ключовим етапом для успішного запуску проєкту. Вони можуть включати як великі промислові підприємства, так і малий та середній бізнес, що займається переробкою полімерних матеріалів (таблиця 6.6).

Таблиця 6.6 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проєкту

№ п/п	Потреби, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Зниження витрат на переробку полімерних матеріалів	Зниження витрат на переробку полімерних матеріалів	Акцент на високу продуктивність та автоматизацію процесів. Пріоритет на економію на масштабі виробництва	Надійність, автоматизація, висока продуктивність, швидкість налаштування
2	Впровадження екологічно чистих технологій переробки	Малі та середні підприємства з переробки полімерів	Пошук рішень, які дозволяють оптимізувати витрати при збереженні екологічних стандартів. Зростаюча увага до енергоефективності	Доступність, компактність, екологічність, енергоефективність

Таблиця 6.6, продовження

№ п/п	Потреби, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
3	Забезпечення відповідності екологічним стандартам	Державні підприємства та екологічні організації	Інтерес до технологій, що відповідають екологічним вимогам, часто з обмеженнями за бюджетами та термінами реалізації	Дотримання екологічних стандартів, довговічність, простота в обслуговуванні

Аналіз попиту та потенційних груп клієнтів демонструє значний потенціал ринку для стартапу. Є можливість розробити спеціалізовані рішення для кожної групи клієнтів, враховуючи їхні потреби та бюджетні обмеження. Ринок має високий попит на інженерні послуги у проектуванні, налагоджуванні та ремонті обладнання для переробки полімерів, що відкриває перспективи для успішного входу стартапу на цей ринок. підґрунтя для впровадження нашого стартапу.

З одного боку, існують фактори, які створюють можливості для розвитку бізнесу, зокрема зростаючий попит на екологічно чисті технології, державні програми підтримки та розвиток інноваційних технологій (таблиця 6.7). З іншого боку, на ринку є значні загрози, такі як висока конкуренція, зміни в законодавстві, необхідність великих інвестицій та ризики, пов'язані з нестачею кваліфікованих кадрів (таблиця 6.8). Для успішного запуску стартапу важливо правильно оцінити ці фактори та розробити стратегію, що дозволяє ефективно реагувати на можливі виклики та використовувати наявні можливості.

Таблиця 6.7 – Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Висока конкуренція на ринку	Наявність численних гравців на ринку з подібними послугами. Висока конкурентна боротьба за клієнтів.	Розробка унікальних пропозицій, зосередження на якості та інноваціях.
2	Жорсткі екологічні та технічні стандарти	Технічні вимоги до обладнання для переробки полімерів, що можуть змінюватися, потребують високої відповідності.	Інвестування в дослідження та розробки для забезпечення відповідності стандартам.
3	Необхідність значних інвестицій	Потреба в значних капіталовкладеннях для запуску проекту (покупка обладнання, розробка технологій).	Пошук інвесторів або залучення кредитного фінансування для покриття витрат.
4	Ризики дефіциту кваліфікованих кадрів	Недостатній рівень кваліфікації робітників для реалізації технологій переробки полімерів.	Організація навчання та підвищення кваліфікації працівників або залучення зовнішніх фахівців.
5	Енергетична криза	Перебої в енергопостачанні, що ускладнюють роботу обладнання та процес виробництва.	Впровадження резервних джерел енергії (генератори, сонячні панелі), оптимізація споживання електроенергії.
6	Ризики інфраструктурної нестабільності через воєнні дії	Руйнування інфраструктури (доріг, комунікацій) через воєнні дії, що ускладнює логістику та постачання матеріалів.	Розробка резервних логістичних маршрутів, налагодження співпраці з локальними постачальниками.

Таблиця 6.8 – Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Зростаючий попит на екологічні технології	Підвищений попит на технології, що забезпечують екологічне виробництво та переробку відходів.	Використання інноваційних технологій для приваблення екологічно орієнтованих клієнтів.
2	Державні програми підтримки	Наявність державних програм підтримки екологічних та інженерних проектів (пільгові кредити, гранти).	Використання державних субсидій та грантів для фінансування розвитку проекту.
3	Технологічні інновації	Розвиток нових технологій в області переробки полімерів, автоматизації та інтернету речей.	Впровадження нових технологій, розробка власних інноваційних рішень.
4	Розширення ринку переробки відходів	Зростання попиту на послуги з переробки відходів полімерів завдяки зростаючій свідомості населення щодо екології.	Активне просування послуг серед потенційних клієнтів, що працюють із полімерними відходами.
5	Партнерства з великими компаніями	Можливість укладення угод з великими компаніями, які потребують високоякісного обладнання та послуг для переробки полімерів.	Укладання стратегічних партнерств для отримання стабільного потоку замовлень.
6	Відновлення інфраструктури після війни	Відновлення та модернізація промислових потужностей і логістики створює нові можливості для розвитку бізнесу.	Активне впровадження інновацій у процес виробництва та логістики для оптимізації роботи.

Аналіз факторів для ринкового впровадження стартапу показує, що проект має значний потенціал завдяки зростаючому попиту на екологічні технології та підтримці з боку держави. Однак існують загрози у вигляді високої конкуренції, необхідності великих інвестицій та змін у законодавстві. Для успішного запуску стартапу потрібно зосередитися на інноваціях, партнерствах та швидкій адаптації до змін у ринковому середовищі. Це дозволить максимально використати можливості ринку та мінімізувати ризики.

Важливо розуміти, як конкуренція впливає на успішність стартапу в галузі переробки полімерів. Оцінка типу, рівня і специфіки конкуренції дозволяє вибрати правильні стратегії для досягнення конкурентних переваг на ринку (таблиця 6.9).

Таблиця 6.9 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Тип конкуренції - олігополія	Кілька основних гравців займають значну частку ринку.	Компанії повинні орієнтуватися на інноваційні технології, щоб виділятися на фоні конкурентів.
2. За рівнем конкурентної боротьби - Національний рівень	Конкуренція, що охоплює всю країну.	Для успіху важливо забезпечити високу якість послуг і вирішувати потреби національного ринку.
3. За галузевою ознакою - Внутрішньогалузева конкуренція	Конкуренція між компаніями, що спеціалізуються на переробці полімерів.	Потрібно постійно вдосконалювати технології та знаходити нові шляхи оптимізації.
4. Конкуренція за видами товарів - Товарно-видова конкуренція	Конкуренція, зокрема в межах окремих типів обладнання для переробки полімерів.	Компанія може виділитися шляхом надання більш ефективних та екологічно чистих рішень.

Таблиця 6.9, продовження

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
5. За характером конкурентних переваг - Нецінова конкуренція	Конкуренція з акцентом на інновації, технічні рішення та післяпродажне обслуговування.	Зосередження на розвитку технологічних переваг та наданні додаткових послуг для клієнтів.
6. Інтенсивність конкуренції - Марочна конкуренція	Конкуренція, де важливу роль відіграє репутація бренду. Фокус на побудові сильної брендової ідентичності та забезпеченні високої якості послуг.	Постійне вдосконалення технологій, робота над брендом і підвищення рівня сервісу допоможе зберегти конкурентоспроможність.

Аналіз конкурентного середовища показує, що на ринку переробки полімерів існує сильна конкуренція з боку кількох основних гравців, що змагаються за ринкову частку. Конкуренція має національний характер і є в основному внутрішньогалузевою. Важливу роль у конкурентній боротьбі відіграють нецінові фактори, такі як інноваційні технології та репутація бренду. Для стартапу важливо орієнтуватися на ці фактори, вдосконалюючи технічні рішення і створюючи унікальну пропозицію для клієнтів. Залучення інвестицій в новітні технології та побудова сильної брендової ідентичності дозволить стартапу ефективно конкурувати на ринку.

Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі, використовуючи модель п'яти сил М. Портера. Це дозволяє глибше зрозуміти ринкову структуру та основні фактори, що впливають на конкуренцію. Таблиця 6.10 містить результати цього аналізу.

Таблиця 6.10 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	- ТехСервіс ЛТД - МехаПолімер Сервіс - ГлобалПолімер	Бар'єри входження в ринок: - технологічні; - фінансові; - маркетингові.	Фактори сили постачальників: - унікальні технології; - доступ до ресурсів; - репутація.	Фактори сили споживачів: - вимоги до якості; - цінова чутливість; - свідомість;	Фактори загроз з боку замінників: - альтернативні технології; - цінова конкуренція; - інновації в галузі.
Висновки:	Конкурентний тиск на початку буде мінімальним, оскільки кількість гравців на ринку обмежена, але з ростом попиту конкуренція посилюється.	Бар'єри для входу на ринок середні. Необхідно мати значні інвестиції в новітнє обладнання та технології. Нові учасники повинні мати доступ до висококваліфікованих кадрів і можливість залучення інвестицій для старту..	Постачальники мають значну силу на ринку через обмежену кількість великих компаній, що постачають специфічні матеріали та обладнання для переробки полімерів. Залежність від постачальників може обмежувати можливість зниження витрат та варіативності продуктів.	Споживачі мають значну силу, оскільки можуть вибирати з великої кількості пропозицій. Вони орієнтовані на якість та інноваційність, тому потрібно оновлювати технології, щоб задовольняти вимоги клієнтів і підтримувати конкурентоспроможність.	Загроза заміщення з боку інших технологій переробки, таких як хімічне чи механічне перероблення полімерів. Однак інженерні послуги з налаштування обладнання мають свою унікальність, що знижує ризик повного заміщення.

Аналіз умов конкуренції за моделлю п'яти сил М. Портера показав, що ринок переробки полімерів має помірний рівень конкуренції з боку існуючих та потенційних гравців. Бар'єри для входу середні, а постачальники та споживачі мають значну силу. Загроза заміщення існує, але інженерні послуги з налаштування обладнання мають унікальність, що знижує ризик заміщення. У таких умовах стартап може знайти своє місце, орієнтуючись на інновації та високоякісні рішення.

На основі аналізу конкуренції, проведеного в таблиці 6.10, а також із урахуванням характеристик ідеї проекту (табл. 6.3), вимог споживачів до товару (табл. 6.6) та факторів маркетингового середовища (табл. 6.7 та 6.8) визначаємо та обґрунтовуємо перелік факторів конкурентоспроможності (табл. 6.11).

Таблиця 6.11 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Використання інноваційних технологій	Клієнти цінують інноваційність, оскільки це дозволяє отримати продукцію більшої ефективності та надійності, що зменшує їхні витрати.
2	Надійність обладнання	Надійність обладнання гарантує тривалу безперебійну роботу та зменшує ризики простоїв у виробництві, що є важливим для клієнтів.
3	Точність роботи	Обладнання забезпечує високу точність переробки полімерів, що дозволяє клієнтам отримувати якісну продукцію без відхилень у розмірах чи формах.
4	Енергоефективність	Обладнання споживає мінімальну кількість енергії, що знижує витрати клієнтів на експлуатацію та відповідає сучасним екологічним вимогам.
3	Гнучкість	Гнучкий підхід дозволяє адаптувати пропозицію до індивідуальних потреб клієнта, що є вирішальним фактором для багатьох.
4	Швидкість	Швидке виконання замовлень дозволяє клієнтам економити час та швидше запускати свої проекти.
5	Екологічна орієнтація	Екологічна чистота продукції відповідає сучасним трендам, що важливо для клієнтів, які орієнтуються на сталі цінності.
6	Ціна	Клієнти шукають оптимальне співвідношення ціни та якості. Конкурентна ціна продукції та послуг дозволяє їм отримати вигоду без втрати якості. Також можливість індивідуальних знижок чи спеціальних умов робить вашу пропозицію привабливішою.

Перелік факторів конкурентоспроможності показує, що успіх стартапу залежатиме від використання інноваційних технологій, надійності обладнання, точності роботи, енергоефективності, гнучкості в обслуговуванні клієнтів, екологічної орієнтації та конкурентних цін. Зосередження на цих аспектах дозволить стартапу ефективно конкурувати на ринку та задовольнити вимоги сучасних клієнтів.

Надалі за визначеними факторами конкурентоспроможності в таблиці 6.11 проводимо аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (табл. 6.12).

Таблиця 6.12 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали /1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з ПолімерТех						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Використання інноваційних технологій	18		@	⊠		○		
2	Надійність обладнання	18		⊠	○		@		
3	Точність роботи	18		⊠	@		○		
4	Енергоефективність	20	⊠	@	○				
5	Гнучкість	20	○	@	⊠				
6	Швидкість	18		@	⊠		○		
7	Екологічна орієнтація	15				@⊠○			
8	Ціна	20	○	⊠	@				

@ – перший конкурент «ТехСервіс ЛТД»

⊠ – другий конкурент «МехаПолімер Сервіс»

○ – третій конкурент «ГлобалПолімер»

Сильні сторони проекту:

Проект має значні конкурентні переваги в використанні інноваційних технологій, надійності обладнання, точності роботи, енергоефективності, гнучкості, швидкості та ціновій політиці. Проте деякі конкуренти також

демонструють сильну сторону в цих параметрах, окрім факторів «ціна», «енергоефективність» та «гнучкість».

Екологічна орієнтація стартапу відповідає рівню конкурентів.

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних та слабких сторін, загроз та можливостей (табл. 6.13) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, сильних і слабких сторін в таблиці 6.12 .

Таблиця 6.13 – SWOT – аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: 1. Використання інноваційних технологій. 2. Надійність обладнання. 3. Точність роботи. 4. Енергоефективність 5. Гнучкість 6. Швидкість 7. Екологічна орієнтація. 8. Ціна.	Слабкі сторони: 1. Складність у виході на ринок із сильною конкуренцією.
Можливості: 1. Зростання попиту на екологічно чисті технології. 2. Державні програми підтримки . 3. Технологічні інновації . 4. Розширення ринку переробки відходів. 5. Партнерства з великими компаніями. 6. Відновлення інфраструктури після війни.	Загрози: 1. Висока конкуренція з боку існуючих гравців ринку. 2. Жорсткі екологічні та технічні стандарти. 3. Необхідність значних інвестицій. 4. Ризики дефіциту кваліфікованих кадрів. 5. Енергетична криза. 6. Ризики інфраструктурної нестабільності через воєнні дії.

SWOT-аналіз показав, що стартап має значні переваги завдяки використанню інноваційних технологій, надійності обладнання, точності роботи, енергоефективності, гнучкості, швидкості, екологічній орієнтації та ціні проте на початковому етапі важливо врахувати слабкі сторони, такі як складність у виході на ринок із сильною конкуренцією.

З огляду на перспективні можливості, основний акцент слід зробити на вихід на ринок із сильним маркетингом, розширення послуг та використання підтримки держави. Одночасно потрібно мінімізувати загрози, працюючи над партнерствами із постачальниками та формуючи конкурентні переваги.

На основі SWOT-аналізу далі розробляємо та аналізуємо альтернативи ринкової поведінки, з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (табл. 6.14), для виведення стартапу на ринок, а також орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проєкти конкурентів, які можуть бути виведені на ринок.

Таблиця 6.14 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проєкту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Партнерство з існуючими гравцями ринку та залучення інвестицій	Співпраця з технічними партнерами, інвестиції.	від 6 до 12 міс.
2	Розширення послуг за рахунок державних грантів і програм	Участь у грантових конкурсах, державні екологічні ініціативи	від 1 до 2 років
3	Вихід на міжнародний ринок із власними ресурсами	Власні фінансові резерви, залучення міжнародних партнерів	3+ роки

Найкращим варіантом є перша альтернатива, оскільки залучення партнерів та інвестицій забезпечує швидкий доступ до ресурсів і дозволяє почати реалізацію проєкту вже в короткостроковій перспективі. Інші альтернативи можуть бути реалізовані на наступних етапах розвитку стартапу.

6.2.4. Розроблення ринкової стратегії проєкту

Важливим етапом в розвитку будь-якого проєкту є аналіз цільових груп потенційних споживачів (табл. 6.15), особливо у сфері аналізу якості води. Розглядаючи вимоги та особливості кожної групи клієнтів, ми можемо легше визначити які аспекти нашого продукту є найбільш значущими для різних сегментів ринку.

Таблиця 6.15 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Підприємства, що займаються переробкою полімерів. Вимагають послуг для ремонту, технічного обслуговування та модернізації обладнання.	Висока, за умови, що продукт відповідає вимогам сертифікації та забезпечує підвищення продуктивності.	Значний, оскільки більшість підприємств мають регулярну потребу у технічних послугах.	Середня, оскільки є конкуренти, що працюють із великими замовниками, проте ринок залишається доволі перспективним.	Висока, за умови наявності технічної експертизи та конкурентоспроможних цін.
2	Підприємства-виробники пластикової продукції. Потребують регулярного обслуговування ліній виробництва для мінімізації зупинок.	Середня, оскільки більшість клієнтів орієнтовані на стабільну роботу та ефективність обладнання.	Високий, з огляду на значну кількість підприємств у галузі та постійне зростання виробництва пластику.	Висока, через наявність великих сервісних компаній, які вже займають значну частку ринку.	Середня, потребує налагодження стосунків із клієнтами та створення конкурентних пропозицій.

Таблиця 6.15, продовження

3	Нові виробники полімерної продукції. Зацікавлені у комплексних рішеннях – проектуванні та встановленні обладнання.	Низька, оскільки нові компанії часто працюють з обмеженим бюджетом та зосереджені на мінімізації витрат.	Невеликий, бо сегмент формується поступово, але має перспективу для зростання.	Низька, оскільки конкуренція у цьому сегменті ще незначна, однак великі гравці можуть зайняти частину ринку.	Висока, за умови надання комплексних послуг із встановлення, налаштування та підтримки обладнання.
---	--	--	--	--	--

Які цільові групи обрано:

Для максимального охоплення та ефективності діяльності стартапу обрано сегменти:

1. Підприємства, що займаються переробкою полімерів – мають значний потенціал і стабільний попит.
2. Підприємства-виробники пластикової продукції – перспективний сегмент із високим попитом, попри конкуренцію.

Обрано два ключові сегменти: підприємства з переробки полімерів та виробники пластикової продукції. Вони демонструють високу готовність до співпраці, значний попит і мінімальні бар'єри входу за умови якісного обслуговування. Це створює перспективи для стабільного розвитку стартапу, довгострокового співробітництва та поступового розширення частки ринку.

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформулювати базову стратегію розвитку (табл. 6.16).

Таблиця 6.16 – Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
2	Пропозиція послуг малим і середнім виробникам полімерів	Нішеве охоплення в спеціалізованих галузях	Гнучкість у підходах, швидкість реагування, конкурентоспроможні ціни	Розвиток сервісу з орієнтацією на індивідуальні потреби малого і середнього бізнесу

Завдяки цій стратегії можна ефективно охопити ринок і адаптувати бізнес до його потреб, водночас зберігаючи ключові конкурентні переваги, такі як якість і гнучкість послуг.

Наступним нашим кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 6.17).

Таблиця 6.17 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проєкт «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Ні, існують конкуренти з подібними послугами	Компанія буде шукати споживачів серед конкурентів, надаючи кращу якість обслуговування	Компанія не буде копіювати продукти, а лише вдосконалюватиме їх у відповідь на конкурентні пропозиції	Стратегія диференціації з фокусом на високоякісне обслуговування і технології

Стартап-проект не є «першопрохідцем» на ринку, проте компанія спрямовуватиме зусилля на привертання нових клієнтів, надаючи вищу якість обслуговування.

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту, а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки далі розробляємо стратегію позиціонування (табл. 6.18), котра полягає у формуванні ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну проєкт .

Таблиця 6.18 – Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проєкту (три ключових)
1	Якість, точність та надійність	Лідерство через інновації	Якість, технологічність, надійність	1. Висока точність у виконанні 2. Інноваційні технології 3. Надійність і стабільність обслуговування
2	Доступність та ефективність ціни	Конкурентоспроможність за ціною	Вартість, ефективність, доступність	1. Доступні ціни 2. Підвищена ефективність 3. Рішення, що економлять час
3	Індивідуальний підхід до кожного клієнта	Індивідуалізація послуг	Індивідуальний підхід, адаптація до потреб, гнучкість	1. Персоналізація послуг 2. Гнучкість в обслуговуванні 3. Підхід, орієнтований на конкретні потреби

Ці три пункти дозволяють створити чітке позиціонування стартапу на ринку, підкреслюючи важливі аспекти для цільової аудиторії, а також виділяють ключові конкурентні переваги.

6.2.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проєкту

Першим кроком в розробленні маркетингової програми стартап-проєкту є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач (табл. 6.19).

Таблиця 6.19 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Надійність роботи обладнання	Висока продуктивність та мінімальні простої	Використання сучасних матеріалів, технологій зносостійкості, оперативне обслуговування
2	Енергоефективність	Зменшення витрат на енергоспоживання	Інноваційні технології контролю та економії енергії
3	Довговічність	Подовжений термін служби та низькі витрати на ремонт	Надійні комплектуючі, тестування під навантаженням, гарантійне обслуговування

У результаті аналізу визначено ключові переваги концепції потенційного товару, що базуються на задоволенні основних потреб споживачів, таких як надійність роботи обладнання, енергоефективність та довговічність.

Далі розробляємо трирівневу маркетингову модель товару, а саме: уточнюємо ідея продукту та/або послуги, його фізичні складові, особливості процесу його надання (табл. 6.20).

Таблиця 6.20 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Задовольнити основні потреби споживачів у якісному ремонті та налагодженні обладнання для переробки полімерів. Основна функціональна вигода: підвищення продуктивності.		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх/Тл/Е/Ор
	1. Надійність, 2. Гарантія якості, 3. Високий рівень сервісу 4. Виконання робіт вчасно, 5. Точність, 6. Ефективність, 7. Організованість.	М	Вр Тх Тл Е Ор
	Якість: Відповідність стандартам якості, виконання нормативних вимог.		
III. Товар із підкріпленням	До продажу: Рекомендації щодо вибору оптимального рішення. Безкоштовна консультація.		
	Після продажу: Гарантійне обслуговування, технічна підтримка.		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: - Патентування унікальних технологій та розробок, використаних у проектуванні та налаштуванні обладнання для переробки полімерів. Це включає спеціальні методи налагодження та ремонту, які забезпечують високий рівень ефективності і зниження витрат на обслуговування обладнання. - Інтелектуальна власність на розроблені алгоритми для оптимізації роботи обладнання та поліпшення процесу виробництва, що дасть конкурентну перевагу у вигляді збільшення продуктивності. - Використання сертифікації та брендування для послуг і продуктів стартапу, що дозволяє створити індивідуальність компанії та підвищити рівень довіри з боку клієнтів. Крім того, кожен клієнт отримає унікальний ключ до програмного забезпечення для моніторингу ефективності роботи обладнання, що підвищить захищеність і унеможливить підробку результатів або зміну налаштувань без авторизації.			

Потенційний товар буде захищений від копіювання завдяки патентуванню унікальних технологій і розробок для переробки полімерів, інтелектуальній власності на алгоритми оптимізації роботи обладнання, а також використанню сертифікації та брендування. Додатково, індивідуальний ключ для програмного

забезпечення для моніторингу ефективності забезпечить додатковий рівень захисту та запобігає несанкціонованим змінам налаштувань.

Далі проводимо експресним методом визначення цінових меж (табл. 6.21), якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар, що передбачає аналіз ціни на товари-аналоги, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів.

Таблиця 6.21 – Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	250000 грн / 1 замовлення	125000 грн	Високий – великі підприємства Середній – цехи та ІП	Нижня межа: 125000, Верхня межа: 225000

Визначення меж ціни на товар базується на порівнянні з існуючими товарними аналогами та замінниками на ринку, а також на врахуванні платоспроможності цільової групи. Це дає змогу знайти оптимальну цінову стратегію, що дозволяє забезпечити конкурентоспроможність товару та задоволення потреб споживачів.

Наступним кроком визначаємо оптимальну систему збуту, в межах якого приймається рішення (табл. 6.22).

Таблиця 6.22 – Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Клієнти зацікавлені в високоякісному обладнанні для переробки полімерів та обслуговуванні і ремонті цього обладнання. Готові до довгострокових відносин.	Прямий збут через власних представників, надання консультацій і технічної підтримки.	Прямий канал збуту (без посередників)	Власна система збуту через представників компанії для забезпечення максимального контролю за процесом продажу та взаємодії з клієнтами.

Оптимальна система збуту для стартапу передбачає використання власних каналів збуту без посередників. Такий підхід дозволяє забезпечити кращий контроль за процесом продажу та наданням послуг, а також налаштувати безпосередній контакт з клієнтами, що особливо важливо для інноваційного продукту в висококонкурентному середовищі.

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій (табл. 6.23), яка опирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів [48].

Таблиця 6.23 – Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Клієнти орієнтовані на інноваційні рішення та ефективність в обробці полімерів.	Онлайн-ресурси, соціальні мережі, професійні платформи, виставки та конференції.	Висока ефективність, інноваційність технологій, зниження витрат на обслуговування.	Донести, що товар є унікальним рішенням для оптимізації процесів з переробки полімерів, а також надає конкурентні переваги завдяки високій якості та інноваціям.	Технологія майбутнього для оптимізації виробництва, що дозволяє знижувати витрати та підвищувати продуктивність. Слоган: «Інновації, на яких будується майбутнє виробництва».

Ринкова програма для стартапу, що спеціалізується на наданні інженерних послуг у проектуванні, налаштуванні та ремонті обладнання для переробки полімерів, повинна включати наступні елементи для ефективного запуску та розвитку:

1. **Концепція товару:** Стартап пропонує високоякісні інженерні послуги, що охоплюють проектування, налаштування та обслуговування спеціалізованого обладнання для переробки полімерів. Використання інноваційних технологій, зокрема у сфері автоматизації процесів та оптимізації виробництва, дозволяє забезпечити ефективність і довговічність обладнання. Крім того, будуть надані гарантії на виконані роботи, що підвищить довіру клієнтів.

2. **Концепція збуту:** Для реалізації послуг планується встановлення партнерських відносин з підприємствами, що займаються переробкою полімерів, а також компаніями, що мають потребу в модернізації або ремонті обладнання. Пропонується активно рекламувати послуги через онлайн-платформи, участь у промислових виставках та конференціях. Крім того, важливо створити зручну систему замовлення та консультацій для клієнтів через інтернет.

3. **Концепція просування:** Методи просування будуть включати рекламу у фахових виданнях, спеціалізованих форумах і в Інтернеті. Особлива увага приділятиметься участі в виставках та конференціях, щоб забезпечити більш глибоке знайомство потенційних клієнтів з продукцією та послугами стартапу. Рекламні повідомлення повинні акцентувати увагу на унікальних перевагах використання новітніх технологій у переробці полімерів, зниженні витрат на обслуговування та збільшенні ефективності обладнання.

Попередній аналіз можливостей ціноутворення: Ринок переробки полімерів є висококонкурентним, однак завдяки високій якості послуг та інноваційним рішенням ціноутворення має бути орієнтоване на середній рівень ціни з акцентом на індивідуальний підхід до кожного клієнта. Оцінка ціни повинна базуватися на витратах на обладнання, розробку інженерних рішень, а також необхідності у постійному оновленні технологій.

Таким чином, ринкова програма для стартапу забезпечить ефективне позиціонування на ринку інженерних послуг, що сприятиме розвитку компанії і забезпечить її конкурентоспроможність.

Висновки:

Розробка маркетингової програми для стартапу, який спеціалізується на наданні інженерних послуг у проектуванні, налаштуванні та ремонті обладнання для переробки полімерів, передбачає комплексний підхід до формування стратегії розвитку та конкуренції, визначення цінової політики та розроблення системи збуту та комунікацій. Всі ці елементи є ключовими для забезпечення успіху стартапу на ринку.

1. **Аналіз конкурентоспроможності** стартапу показав, що він має всі шанси стати лідером у своєму сегменті завдяки використанню передових технологій, індивідуальному підходу до клієнтів та високому рівню кваліфікації персоналу. Переваги стартапу включають запровадження новітніх інженерних рішень, а також адаптацію послуг до потреб різних сегментів ринку.
2. **Базова стратегія розвитку** націлена на забезпечення стабільного входу на ринок з подальшою експансією за рахунок партнерських відносин з підприємствами, що займаються переробкою полімерів, а також розвитку власної онлайн-платформи для зручності взаємодії з клієнтами.
3. **Стратегія конкурентної поведінки** передбачає орієнтацію на інноваційність та високі стандарти обслуговування, що дозволяє зайняти стійку позицію в умовах високої конкуренції.
4. **Позиціонування стартапу** здійснюється через акцент на високій якості та ефективності обладнання для переробки полімерів, зниженні витрат на обслуговування та ремонти, що створює конкурентні переваги в галузі.
5. **Цінова політика** формується з урахуванням ринкових умов та витрат на надання послуг, зокрема з використанням передових технологій та матеріалів, що дає змогу запропонувати конкурентоспроможні ціни з фокусом на довгострокове співробітництво з клієнтами.
6. **Система збуту** орієнтована на використання прямого каналу збуту, а також на партнерські взаємовідносини з іншими підприємствами галузі.

Оптимальна глибина каналу збуту та вид посередників були вибрані з огляду на специфіку ринку та потреби клієнтів.

7. **Маркетингові комунікації** спрямовані на активне просування через участь у виставках, онлайн-рекламу, фахові видання та платформу для зворотного зв'язку з клієнтами, що дозволить сформувати сильну та впізнавану торгову марку.

У загальному підсумку, стартап має чітко визначену стратегію для досягнення високої конкурентоспроможності, що базується на інноваціях, високій якості послуг та ефективних методах збуту та просування. Підтримка інтелектуальної власності, запровадження сучасних технологій та розробка індивідуальних рішень для кожного клієнта стануть основними факторами успіху стартапу на ринку.

6.3 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

Промислові підприємства, де здійснюється переробка гуми, характеризуються підвищеним ризиком для здоров'я і безпеки працівників. Вплив небезпечних і шкідливих факторів, таких як висока температура обладнання, обертання робочих частин, токсичні випари або пил, може негативно позначатися як на фізичному, так і на психоемоційному стані працівників.

Основним завданням інженера з охорони праці є запобігання шкідливому впливу цих факторів, забезпечення працівників засобами захисту, а також розробка та впровадження інструкцій, які регулюють безпечну експлуатацію обладнання.

У цьому розділі розглядаються ризики та заходи безпеки для оператора, який обслуговує гумопереробну машину одночерв'ячну холодного живлення.

6.3.1 Загальні вимоги до оператора

До виконання робіт на гумопереробній машині допускаються особи, які:

- досягли 18-річного віку;
- пройшли медичний огляд і не мають протипоказань за станом здоров'я;
- пройшли навчання за відповідною спеціальністю, а також первинний інструктаж із техніки безпеки;
- пройшли стажування на робочому місці протягом не менше 10 змін під керівництвом кваліфікованого працівника;
- успішно склали іспит на знання техніки безпеки та отримали дозвіл на роботу.

6.3.2 Основні ризики роботи

До ключових небезпек і шкідливих факторів під час роботи з гумопереробною машиною відносяться:

- контакт із рухомими частинами обладнання (черв'як, вали, приводи);
- ураження електричним струмом;
- підвищений рівень шуму і вібрації;
- виділення токсичних речовин або пилу під час переробки гуми;
- небезпека виникнення пожеж через нагрівання матеріалів чи обладнання.

6.3.3 Вимоги безпеки перед початком роботи

- Оператор повинен бути забезпечений засобами індивідуального захисту, такими як спецодяг, рукавички, захисні окуляри, респіратор і взуття з антиковзким покриттям.
- Переконався у справності засобів пожежогасіння, обладнання та електропристроїв.
- Провести огляд робочої зони, прибрати зайві предмети, забезпечити вільний доступ до аварійних виходів і пожежного інвентарю.
- Перед запуском обладнання перевірити справність черв'яка, контрольних приладів і систем охолодження.
- При зміні зміни передати зміннику або отримати від нього інформацію про всі несправності чи особливості роботи машини.

6.3.4 Електробезпека

- Роботи з гумопереробною машиною дозволяються тільки після проходження інструктажу з електробезпеки.
- Переконався у справності заземлення обладнання, ізоляції кабелів і наявності захисних пристроїв (автоматичних вимикачів, запобіжників).
- Заборонено використовувати пошкоджене електрообладнання або працювати у вологих умовах без додаткових заходів безпеки.
- Усі підключення та обслуговування електроприладів мають виконуватися лише після повного знеструмлення обладнання.

- У разі виникнення несправностей в електросистемах слід негайно припинити роботу, повідомити відповідальну особу та чекати інструкцій.

6.3.5 Безпека при роботі з рухомими частинами

- Забороняється виконувати роботи без установлених захисних кожухів на рухомих частинах машини (черв'як, приводи, ремені).

- Перед запуском обладнання переконатися у відсутності сторонніх предметів у зоні обертання.

- Забороняється контакт із обертовими деталями під час роботи машини.

- Усі налагоджувальні роботи виконуються тільки після повного зупинення й знеструмлення машини.

6.3.6 Захист від шуму і вібрації

- Для зменшення впливу шуму слід використовувати спеціальні навушники або беруші.

- Для зниження вібрації встановлюються антивібраційні підкладки або опори під машину.

- Оператор повинен робити регулярні перерви для зниження навантаження на слуховий апарат і опорно-руховий апарат.

6.3.7 Безпека під час роботи у запиленому середовищі

- Робоче приміщення повинно бути оснащене ефективною вентиляційною системою для видалення пилу й токсичних випарів, що утворюються під час переробки гуми.

- Працівники повинні використовувати респіратори, захисні окуляри та рукавички, які відповідають умовам роботи.

- Регулярне прибирання приміщення має запобігати накопиченню пилу в робочій зоні.

6.3.8 Пожежна безпека

- Усі працівники мають пройти інструктаж із пожежної безпеки.
- У приміщенні повинні бути вогнегасники, пожежні ковдри та система пожежної сигналізації.
- Заборонено використовувати відкритий вогонь або нагрівальні пристрої поблизу машини під час її роботи.
- Матеріали, які легко займаються (гумова крихта, олії, мастила), мають зберігатися в спеціально відведених зонах.

6.3.9 Безпека у надзвичайних ситуаціях

Ризики, пов'язані з бойовими діями:

У разі оголошення повітряної тривоги чи виникнення бойових дій поблизу підприємства, оператори повинні негайно зупинити роботу, знеструмити машину та перейти до найближчого укриття.

Укриття мають бути обладнані:

- аптечками першої допомоги;
- запасами питної води;
- радіоприймачами або іншими засобами отримання оперативної інформації;
- засобами для тривалого перебування (ліхтарі, павербанки).

Якщо машина працює з легкозаймистими матеріалами, необхідно передбачити заходи щодо її безпечної зупинки та мінімізації ризику займання.

Алгоритм дій у надзвичайних ситуаціях:

- у разі аварії, пожежі чи витoku токсичних речовин необхідно негайно зупинити машину, повідомити відповідальних осіб і діяти згідно з планом ліквідації наслідків;
- при обстрілах або інших бойових діях усі працівники мають слідувати до укриття, залишивши приміщення через визначені евакуаційні виходи;

- заборонено залишати укриття до отримання офіційного сигналу про безпеку («Відбій тривоги»).

Організаційні заходи:

- керівництво підприємства повинно регулярно проводити навчання працівників з правил поведінки під час надзвичайних ситуацій, включаючи сценарії бойових дій;

- повинні бути чітко визначені відповідальні особи за координацію дій у кризових умовах;

- періодично перевіряються укриття, засоби пожежогасіння, евакуаційні плани та обладнання для надзвичайних ситуацій.

Висновок

Експлуатація гумопереробної машини одночерв'ячної холодною живлення вимагає дотримання високих стандартів охорони праці, враховуючи специфічні ризики, такі як контакт із рухомими частинами, виділення токсичних речовин, підвищений рівень шуму й вібрації. Особливу увагу слід приділяти питанням електробезпеки, пожежної безпеки та забезпеченню захисту в умовах запиленості.

Додатковим викликом для підприємств у сучасних умовах є необхідність врахування факторів воєнного стану. Це включає створення надійних укриттів, розробку алгоритмів дій під час повітряних тривог і бойових дій, а також забезпечення працівників засобами захисту та підтримки. Регулярна оцінка ризиків, навчання персоналу та технічне обслуговування машини є ключовими елементами забезпечення безпечної роботи.

Очікується, що впровадження описаних заходів дозволить мінімізувати ризики для здоров'я і життя працівників, підвищити рівень технологічної безпеки й ефективності виробничих процесів. Дотримання цих вимог сприятиме не лише виконанню нормативів охорони праці, але й зниженню впливу на навколишнє середовище через належну організацію роботи.

Модернізація гумопереробної машини також відкриває можливості для підвищення продуктивності обладнання та оптимізації робочих процесів, що є важливим кроком для забезпечення конкурентоспроможності підприємства навіть у складних умовах.

7 МОДЕРНІЗАЦІЯ МАШИНИ

7.1 Модернізація черв'яка

Для розробки 3D моделі базової конструкції (рисунок 7.1) черв'яка використовувалась система CATIA v5.

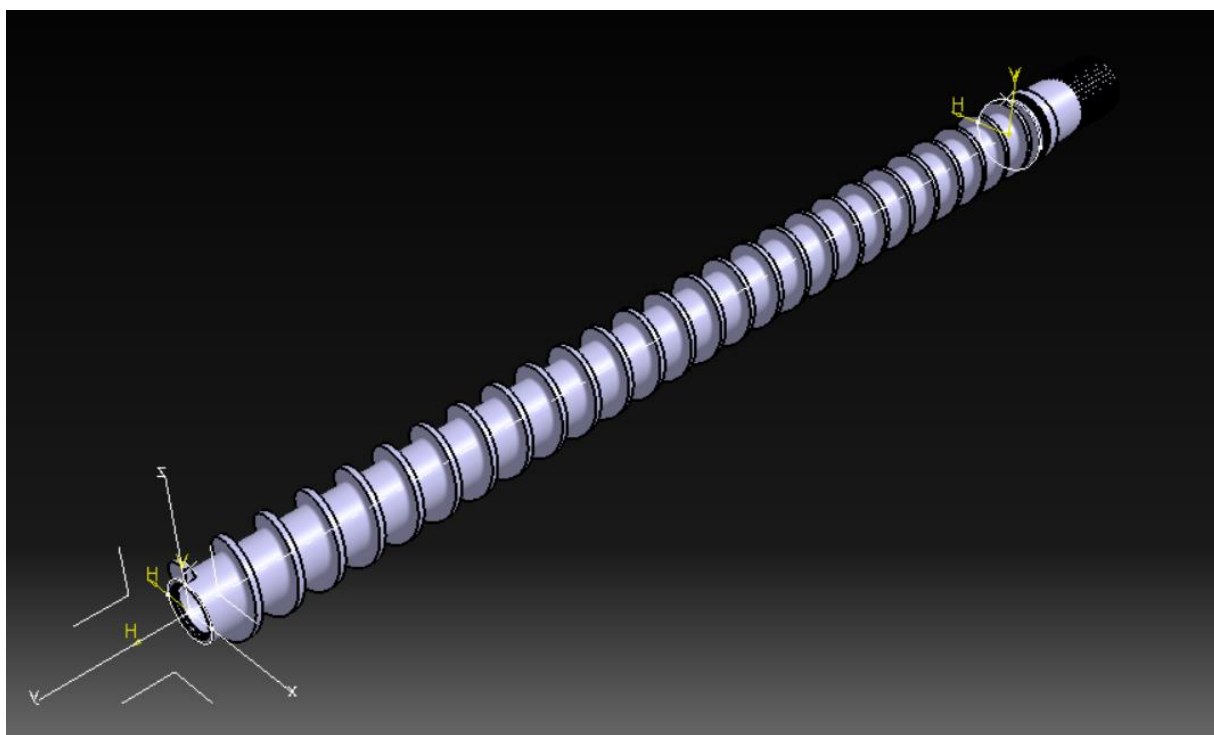


Рисунок 7.1 – Модернізована конструкція черв'яка

Суть модернізації полягає у виконанні спірального каналу охолодження у витках черв'яка, сполученого з порожниною в середині вала (рисунок 7.2).

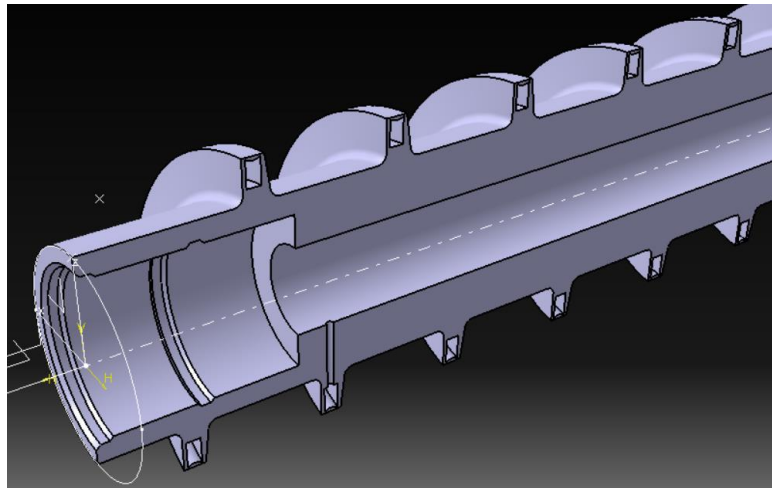


Рисунок 7.2 – Поздовжній переріз модернізованого черв'яка

7.1.1 Розрахунок базового черв'яка в системі ANSYS

Для розрахунку черв'яка використовуємо систему ANSYS.

Так як модель є симетричною, то у подальшому розрахунку будемо розглядати половину конструкції. Так як черв'як піддається температурним навантаженням, переходимо до системи ANSYS та створюємо модуль Steady-State Thermal. У розділ Geometry імпортуємо завчасно підготовлену половину 3D моделі (рисунок 7.3).

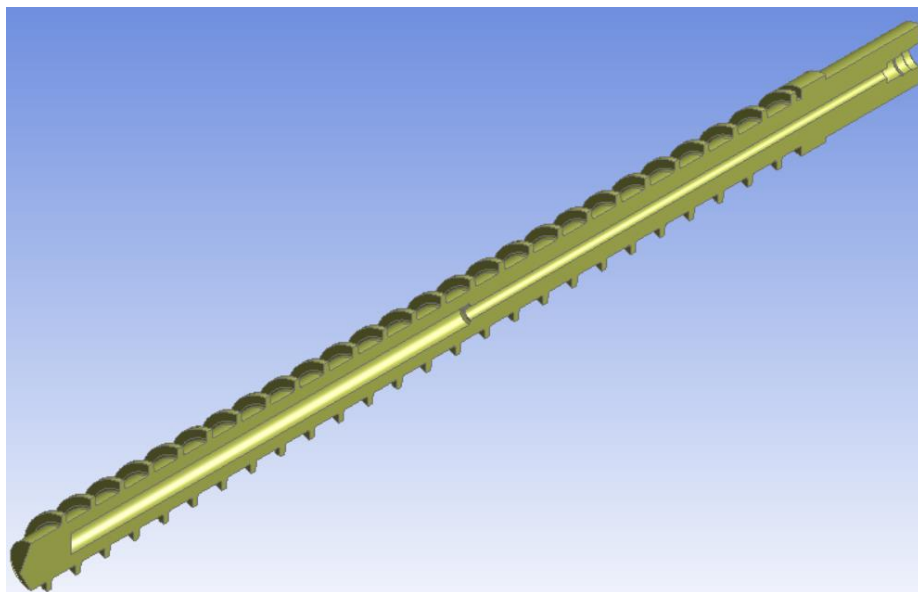


Рисунок 7.3 – Розрахункова модель черв'яка в системі ANSYS

Наступним кроком переходимо у розділ Model, де накладаємо сітку скінченних елементів (рисунок 7.4), задаємо матеріал сталь 40Х для моделі та задаємо зміну температури по зовнішній поверхні (рисунок 7.5).

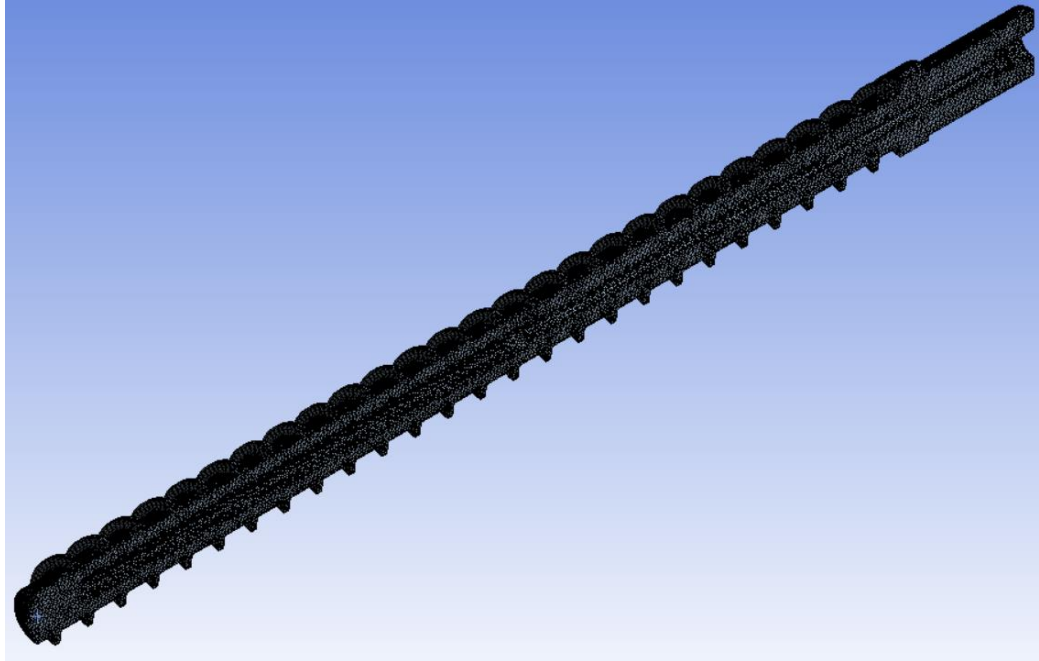


Рисунок 7.4 – Сітка скінченних елементів на моделі

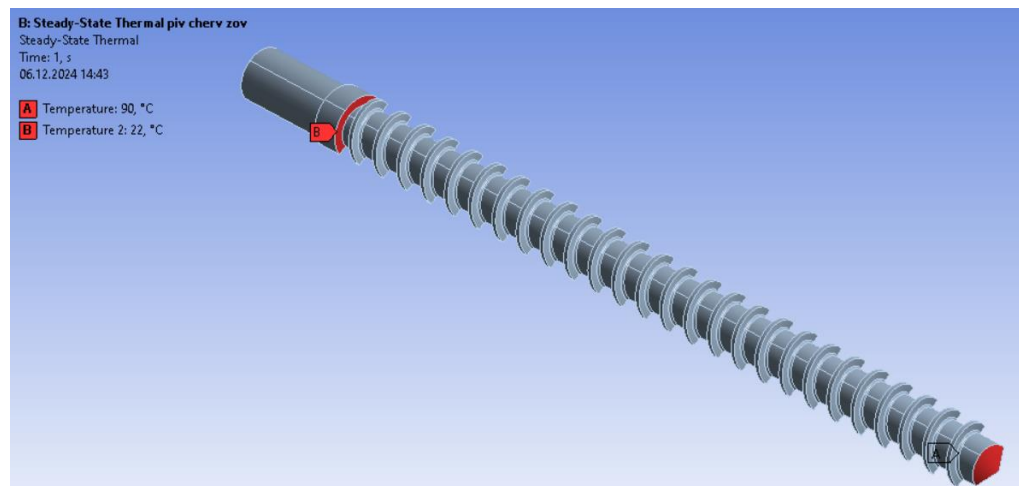


Рисунок 7.5 – Розподіл температур по зовнішній поверхні черв'яка

Отриманий результат градієнту температур по зовнішній поверхні показано на рисунку 7.6.

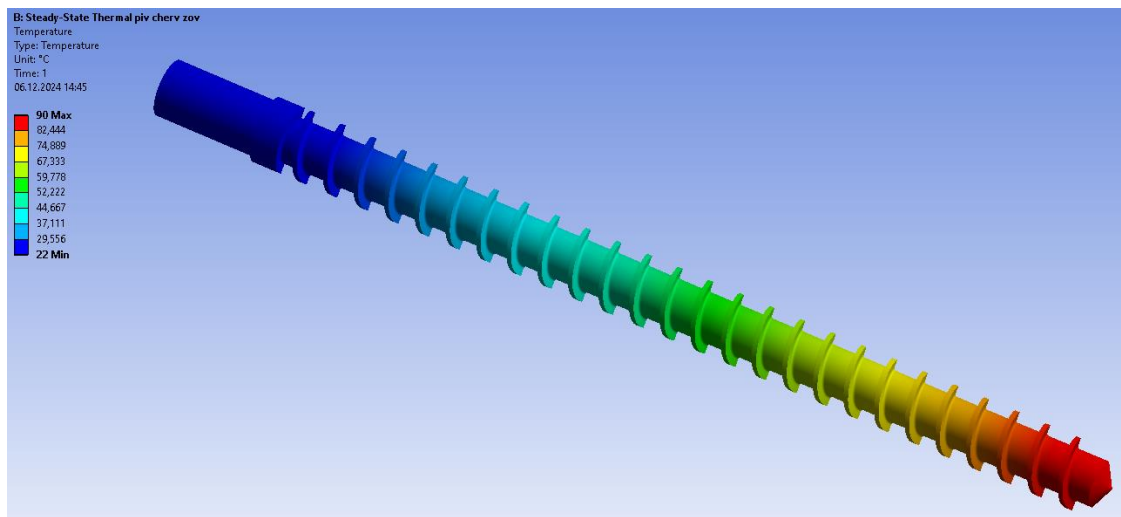


Рисунок 7.6 – Результат розподілу температур по зовнішній поверхні черв'яка

Створюємо ще один модуль Steady-State Thermal, в який переносимо Engineering Data Geometry і Model з попереднього. В цьому модулі задаємо розподіл температур по каналу охолодження (рисунок 7.7). Результат наведено на рисунку 7.8.

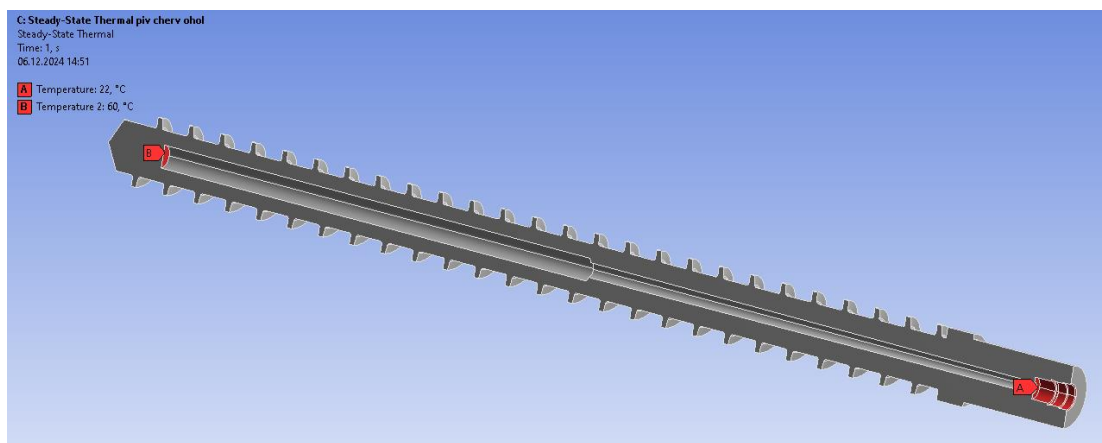


Рисунок 7.7 – Розподіл температур по каналу охолодження черв'яка

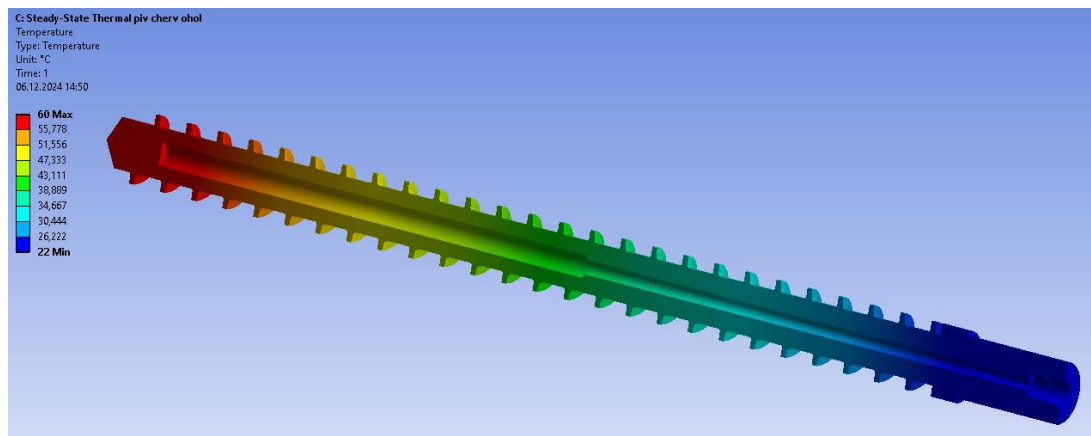


Рисунок 7.8 – Результат розподілу температур по каналу охолодження черв'яка

Створюємо ще один модуль Steady-State Thermal, в який переносимо Engineering Data Geometry і Model з попереднього. В цей модуль також переносимо Solution з двох попередніх в Setup. Це дасть нам змогу імпортувати розподіл температур по зовнішній поверхні і по каналу охолодження. Накладаємо відповідні розподіли до відповідних поверхонь (рисунок 7.9 та рисунок 7.10) та як результат отримаємо загальний розподіл температур по черв'яку (рисунок 7.11) та густину теплового потоку (рисунок 7.12).

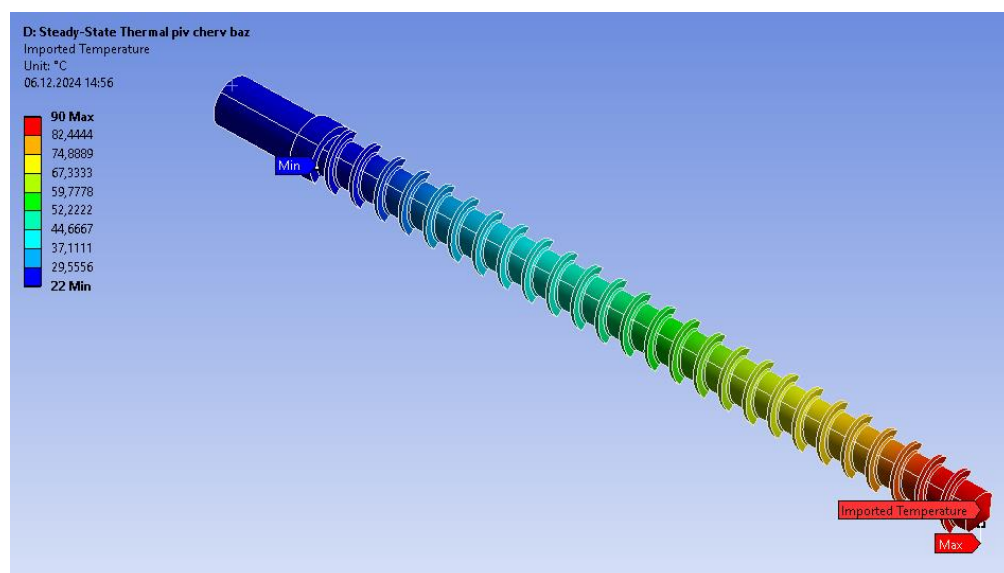


Рисунок 7.9 – Імпортована температура зовнішньої поверхні черв'яка

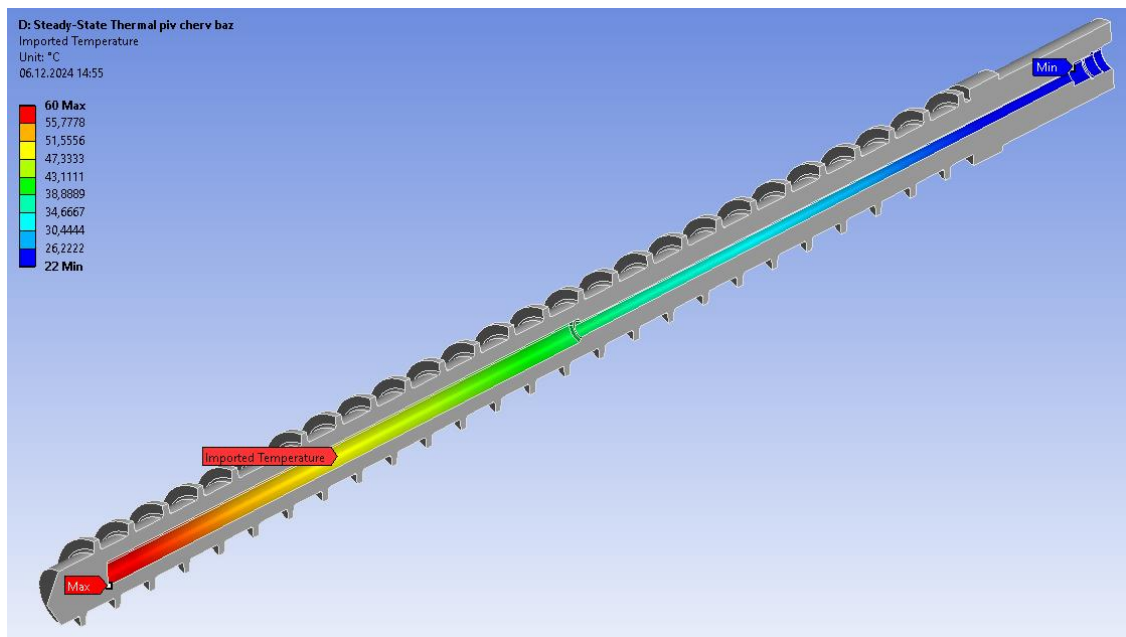


Рисунок 7.10 –Імпортована температура каналу охолодження черв'яка

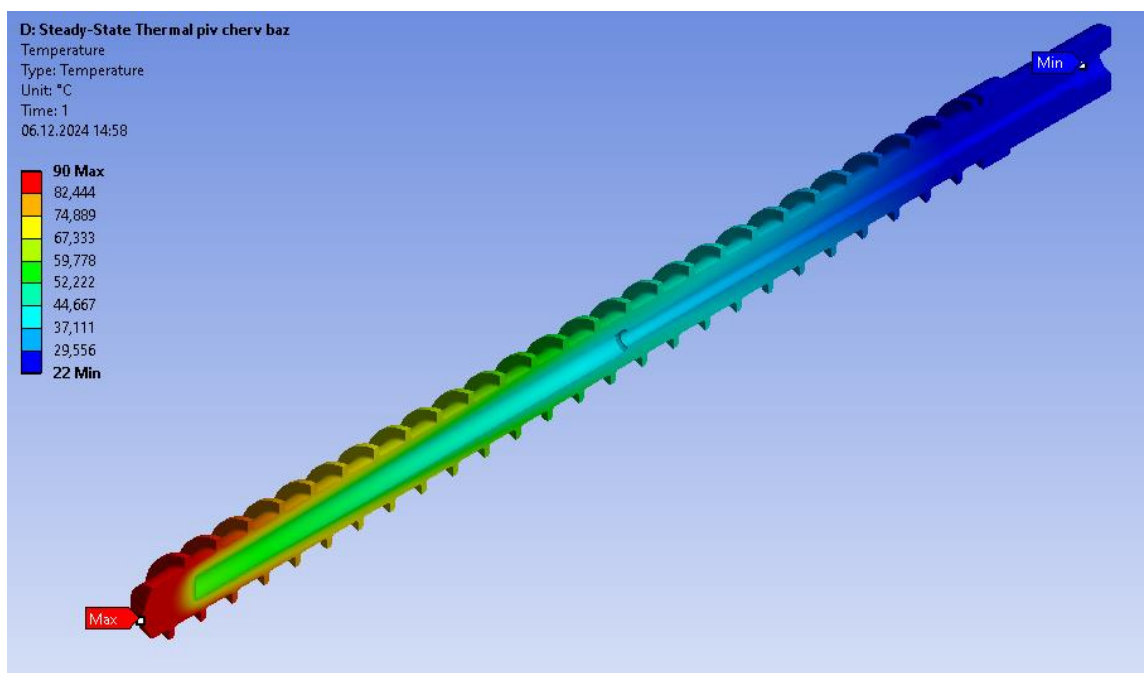


Рисунок 7.11 – Загальний розподіл температур по черв'яку

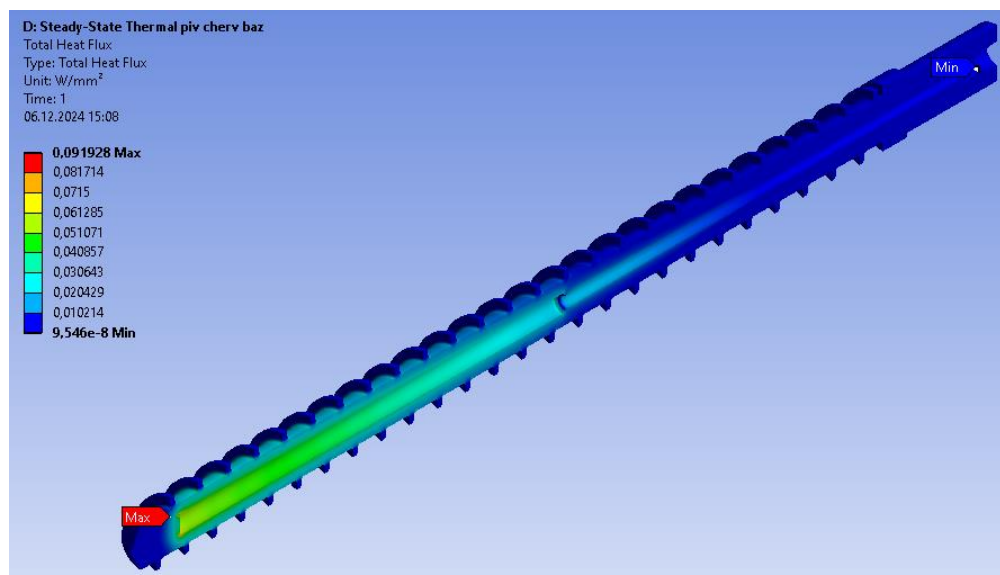


Рисунок 7.12 –Густина теплового потоку модернізованого черв'яка

Створюємо модуль Static Structural, в який переносимо Engineering Data Geometry і Model з попереднього, а також Solution попереднього в Setup. Задаємо закріплення для моделі, тиск який діє на поверхню та осьове зусилля та крутний момент (рисунок 7.12).

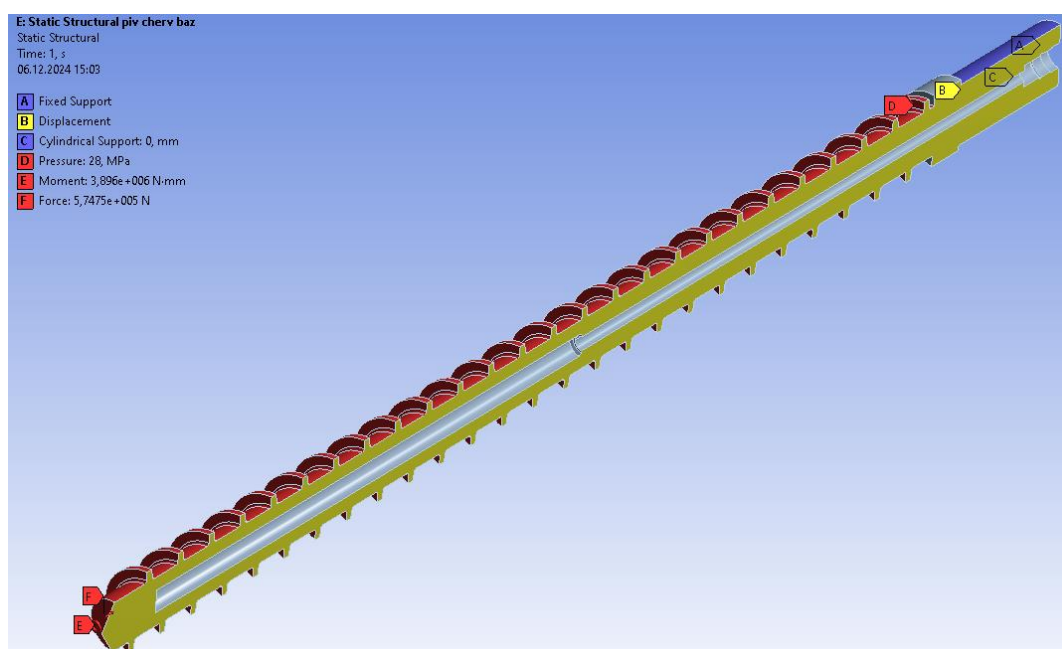


Рисунок 7.14 – Закріплення та навантаження черв'яка

Розраховуємо загальні деформації (рисунок 7.14), еквівалентні напруження за мізесом (рисунок 7.15) та коефіцієнт запасу міцності конструкції (рисунок 7.16).

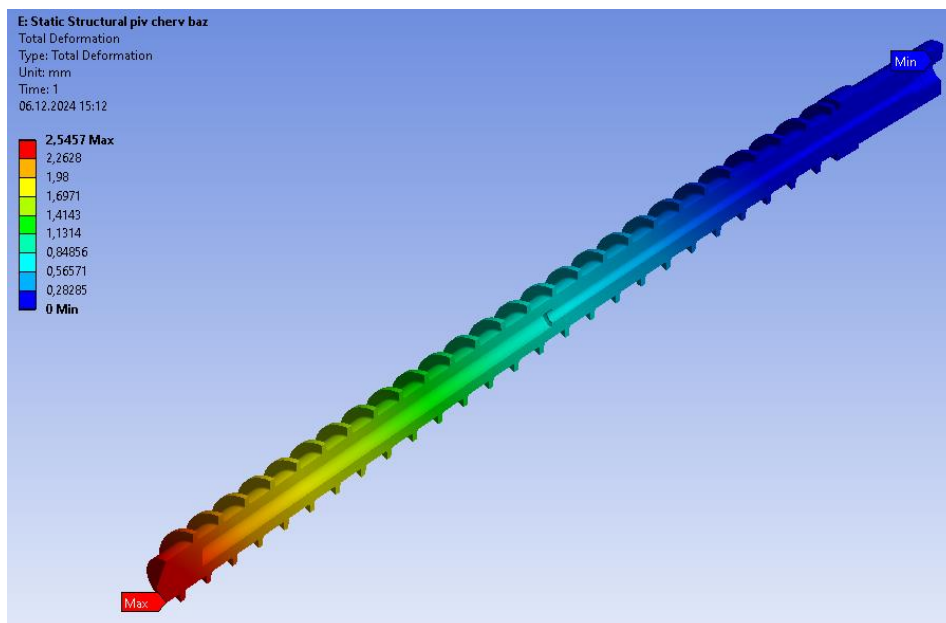


Рисунок 7.14 – Загальні деформації черв'яка

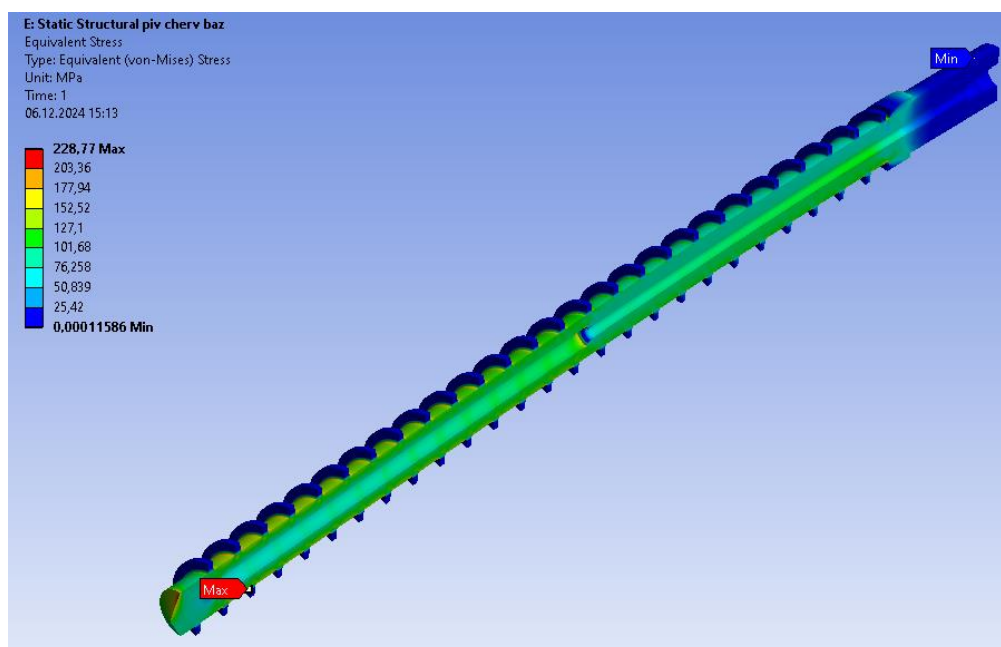


Рисунок 7.15 – Еквівалентні напруження черв'яка за мізесом

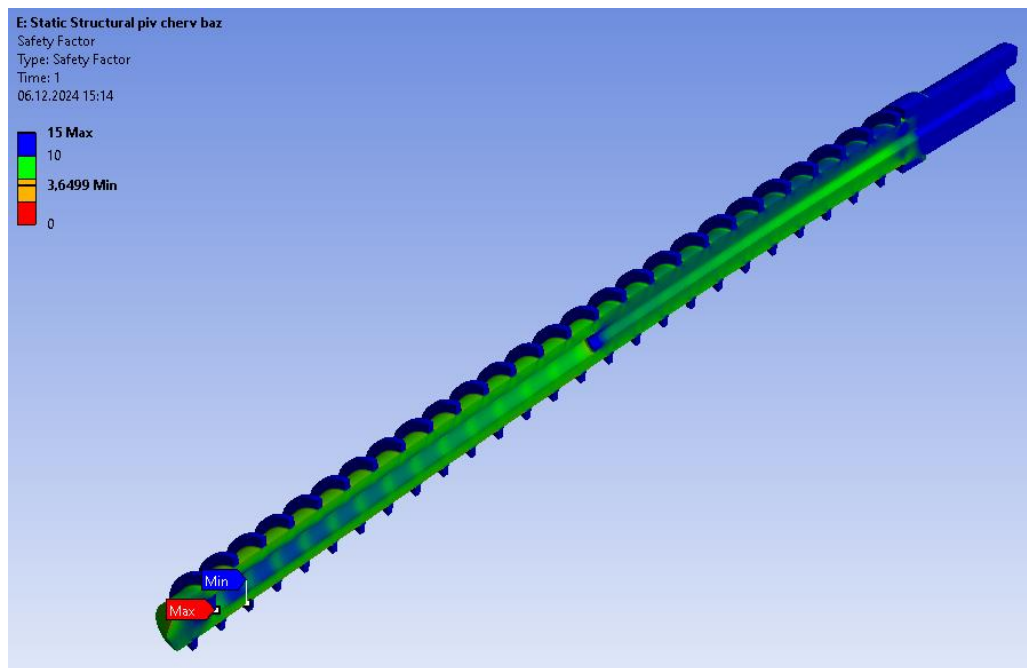


Рисунок 7.16 – Коефіцієнт запасу міцності черв'яка

Загальну схему проєкту розрахунку показано на рисунку 7.17.

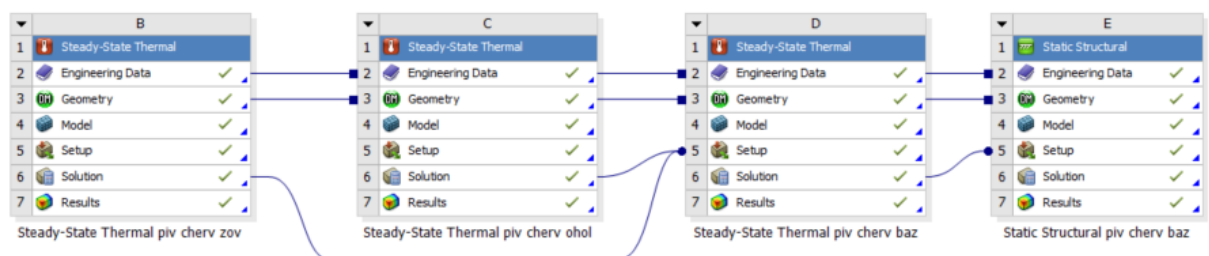


Рисунок 7.17 – Проєкт розрахунку базового черв'яка

7.1.1 Розрахунок модернізованого черв'яка в системі ANSYS

В цілому проєкт розрахунку виконується так само як і для базової конструкції. Єдиною відмінністю є створення ще одного модуля Steady-State Thermal, в якому задається розподіл температур по спіральному каналу охолодження

Так як черв'як піддається температурним навантаженням, переходимо до системи ANSYS та створюємо модуль Steady-State Thermal. У розділ Geometry імпортуємо завчасно підготовлену половину 3D моделі (рисунок 7.18).

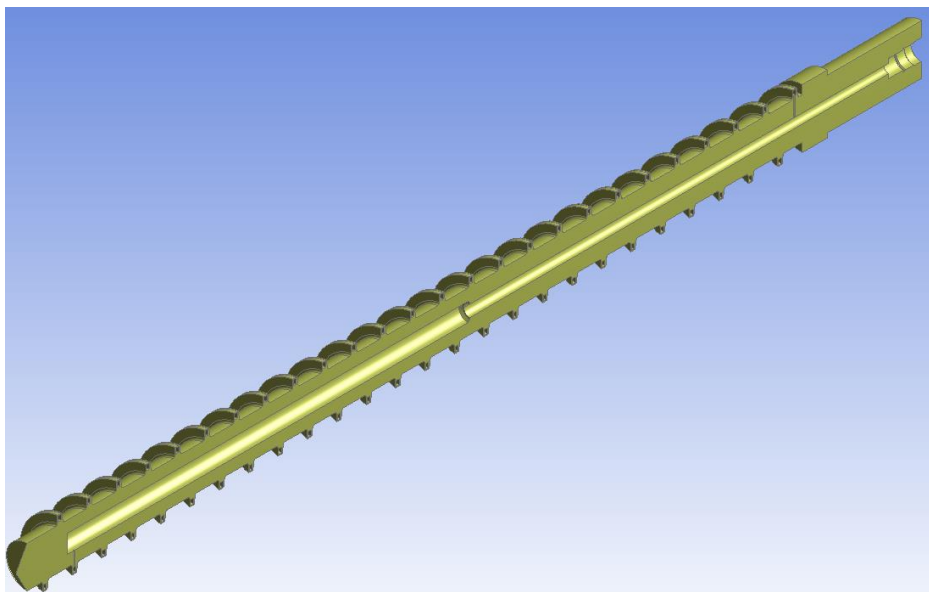


Рисунок 7.18 – Розрахункова модель модернізованого черв'яка в системі ANSYS

Наступним кроком переходимо у розділ Model, де накладаємо сітку скінченних елементів (рисунок 7.19), задаємо матеріал сталь 40Х для моделі та задаємо зміну температури по зовнішній поверхні (рисунок 7.20).

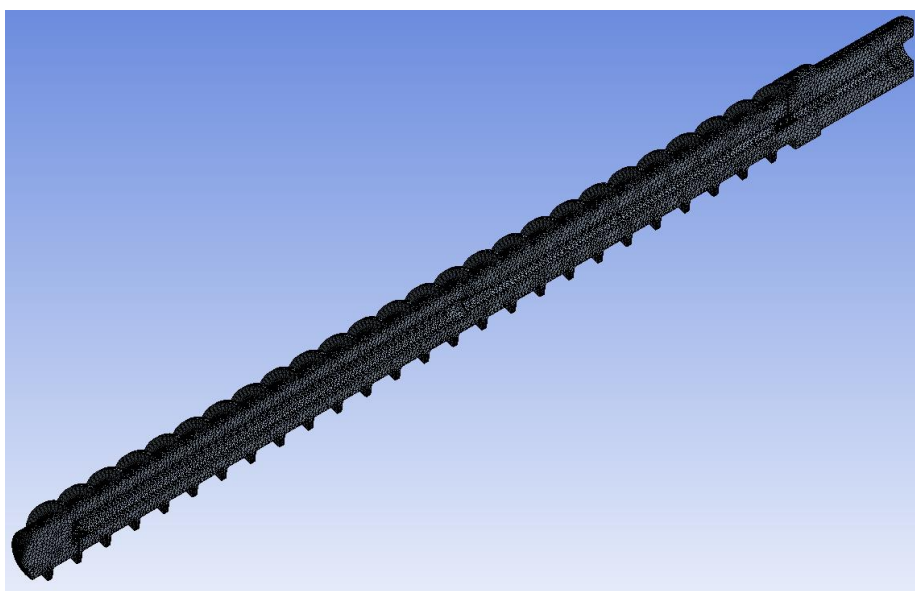


Рисунок 7.19 – Сітка скінченних елементів на моделі модернізованого черв'яка

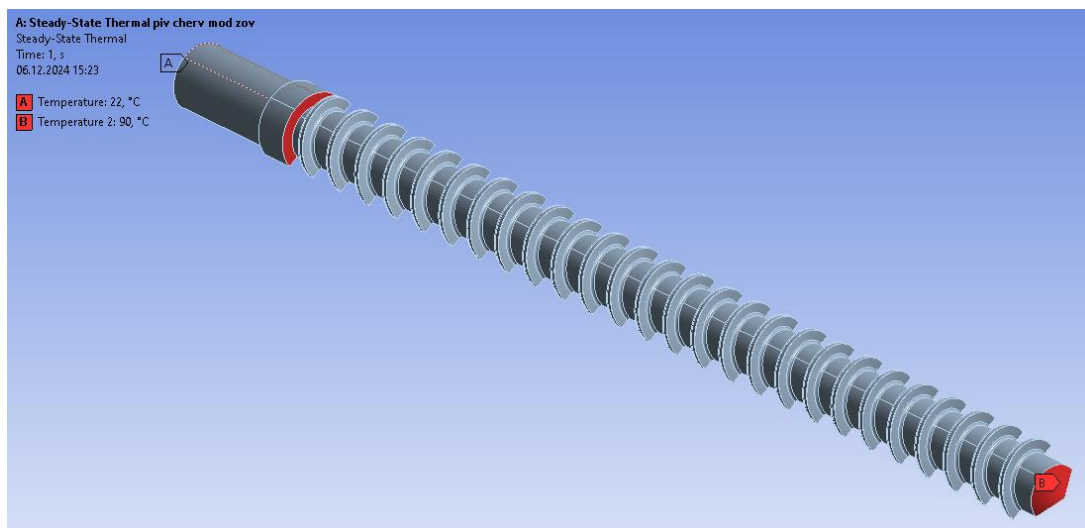


Рисунок 7.20 – Розподіл температур по зовнішній поверхні модернізованого черв'яка

Отриманий результат градієнту температур по зовнішній поверхні показано на рисунку 7.21.

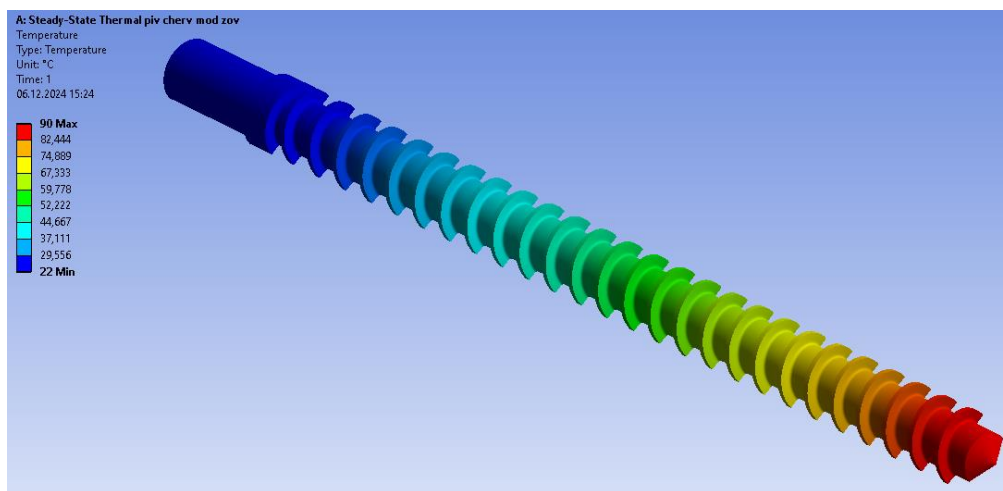


Рисунок 7.20 – Результат розподілу температур по зовнішній поверхні черв'яка

Створюємо ще один модуль Steady-State Thermal, в який переносимо Engineering Data Geometry і Model з попереднього. В цьому модулі задаємо

розподіл температур по каналу охолодження (рисунок 7.21). Результат наведено на рисунку 7.22.

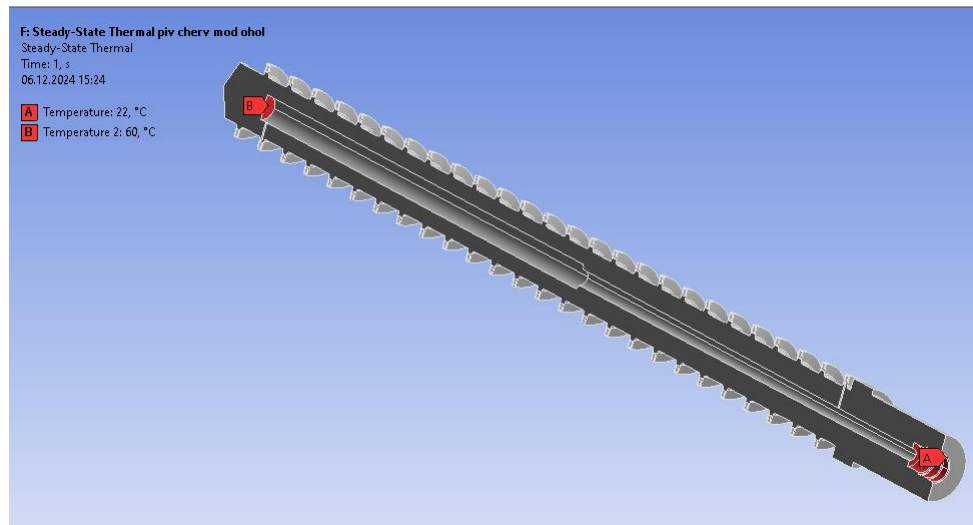


Рисунок 7.21 – Розподіл температур по каналу охолодження модернізованого черв'яка

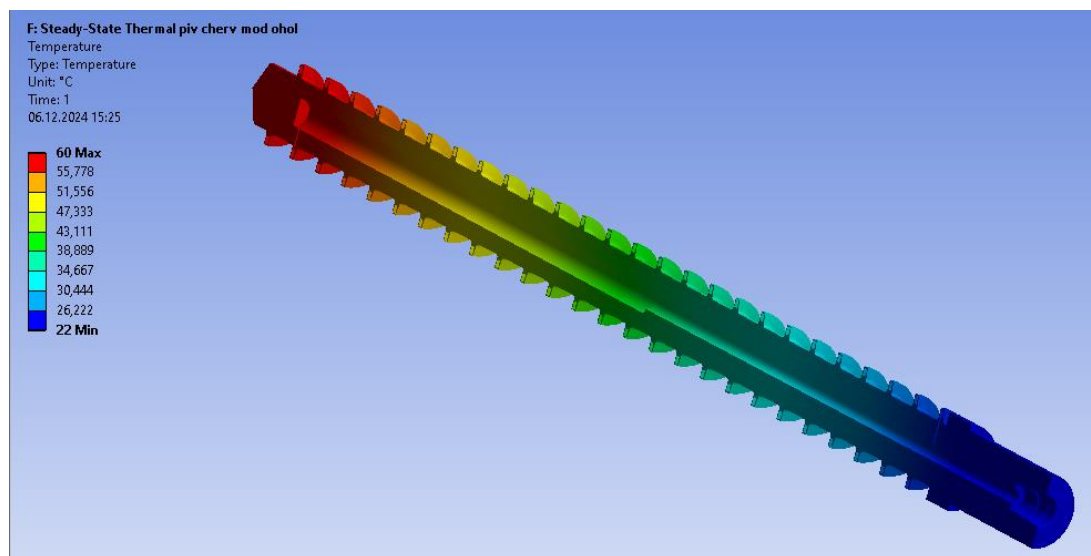


Рисунок 7.22 – Результат розподілу температур по каналу охолодження модернізованого черв'яка

Створюємо ще один модуль Steady-State Thermal, в який переносимо Engineering Data Geometry і Model з попереднього. В цьому модулі задаємо

розподіл температур по спіральному каналу охолодження (рисунок 7.23).
Результат наведено на рисунку 7.24.

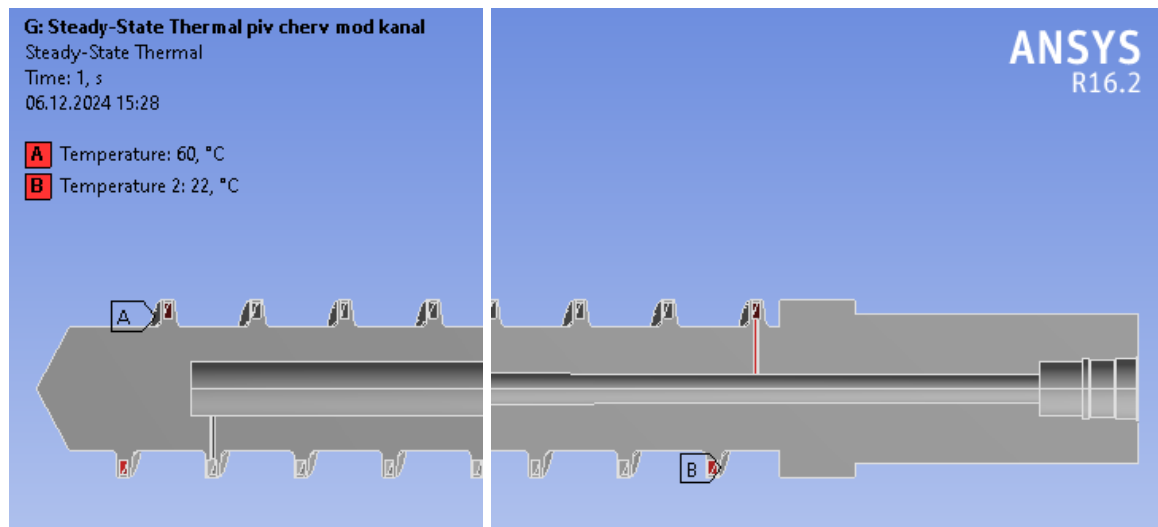


Рисунок 7.23 – Розподіл температур по спіральному каналу охолодження модернізованого черв'яка

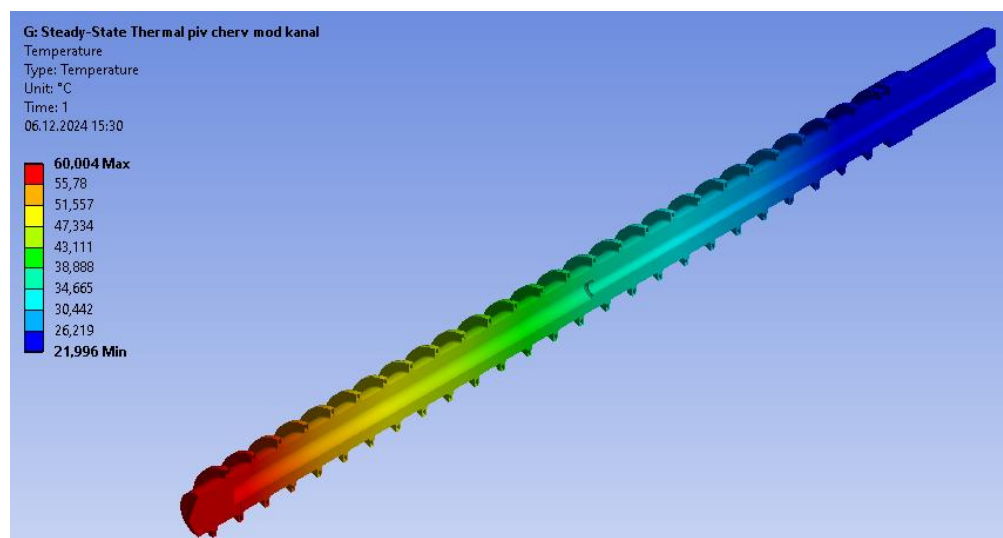


Рисунок 7.24 – Результат розподілу температур по спіральному каналу охолодження модернізованого черв'яка

Створюємо ще один модуль Steady-State Thermal, в який переносимо Engineering Data Geometry і Model з попереднього. В цей модуль також переносимо Solution з трьох попередніх в Setup. Це дасть нам змогу імпортувати розподіл температур по зовнішній поверхні, по каналам охолодження.

Накладаємо відповідні розподіли до відповідних поверхонь (рисунок 7.24, рисунок 7.25 та рисунок 7.26) та як результат отримаємо загальний розподіл температур по черв'яку (рисунок 7.27) та густину теплового потоку (рисунок 7.28).

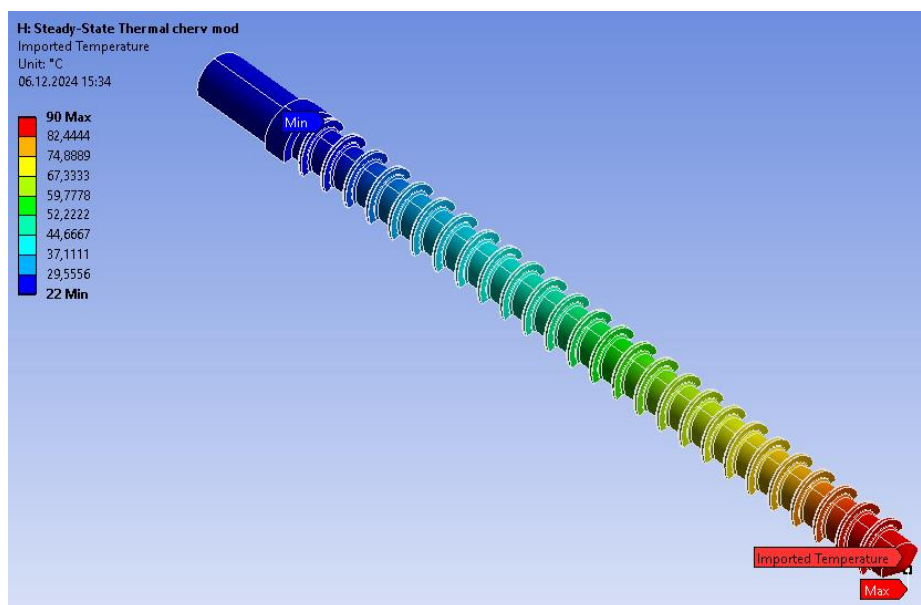


Рисунок 7.24 – Імпортована температура зовнішньої поверхні модернізованого черв'яка

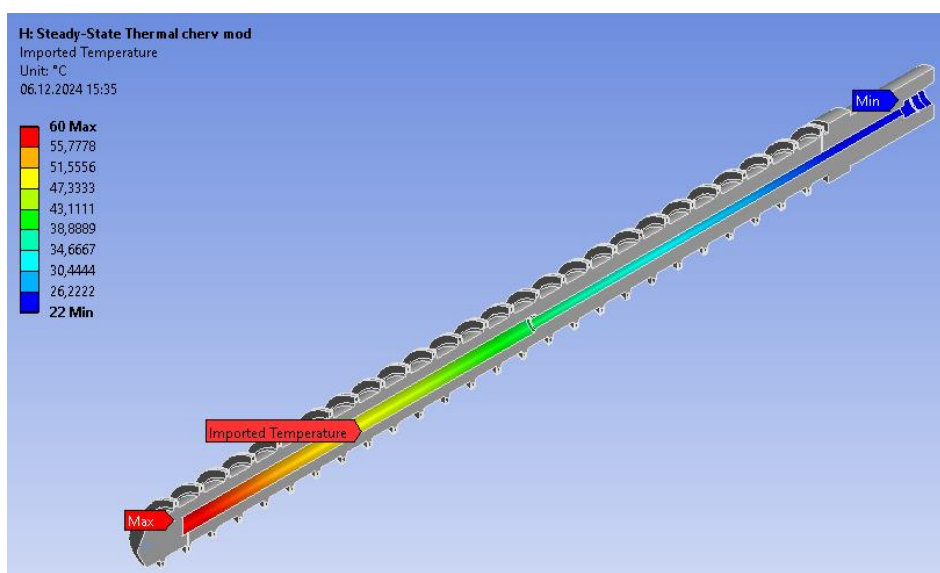


Рисунок 7.25 – Імпортована температура каналу охолодження модернізованого черв'яка

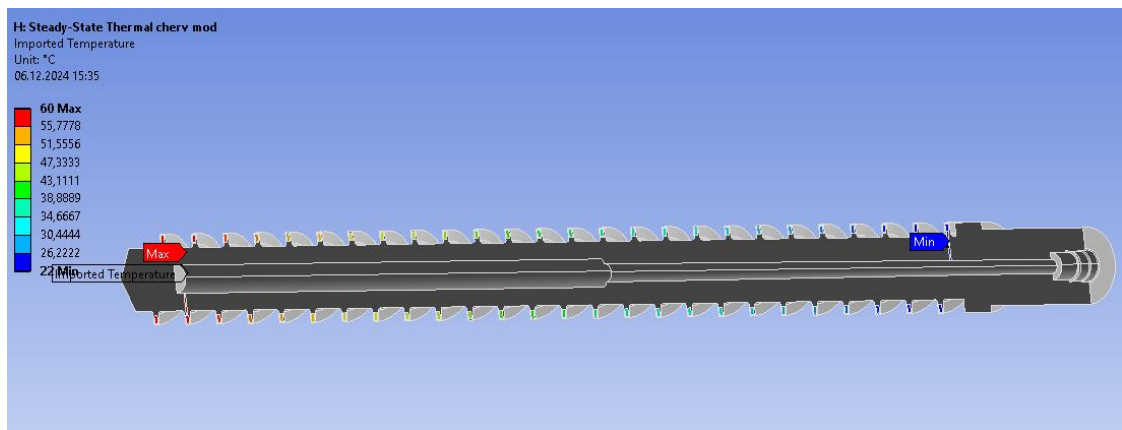


Рисунок 7.26 – Імпортована температура спірального каналу охолодження модернізованого черв'яка

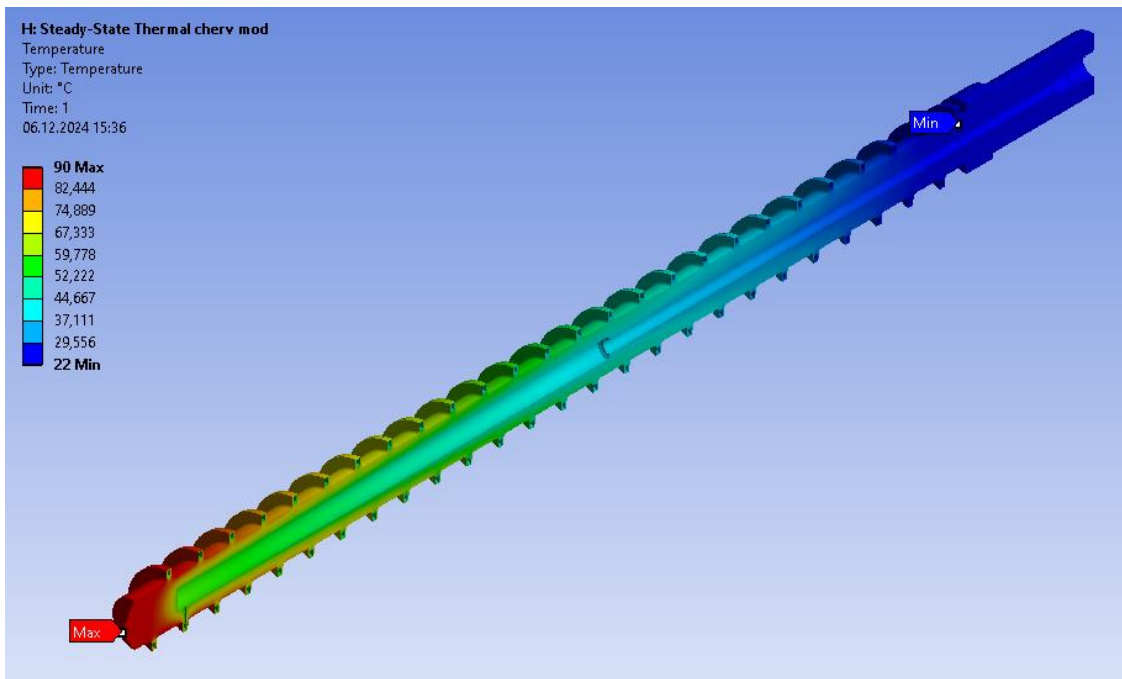


Рисунок 7.27 – Загальний розподіл температур по модернізованому черв'яку

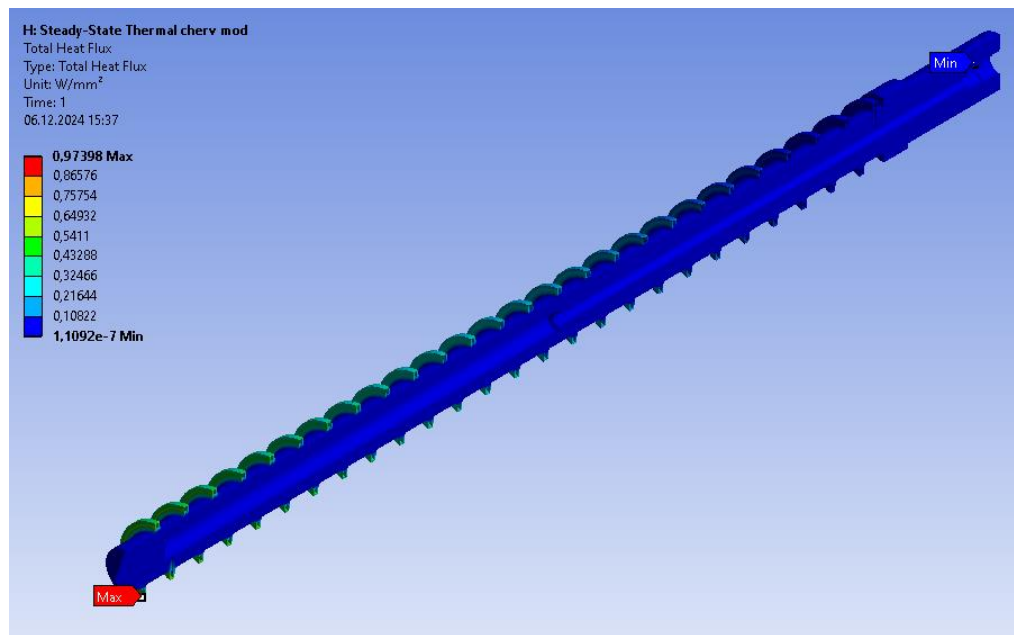


Рисунок 7.28 –Густина теплового потоку модернізованого черв’яка

Створюємо модуль Static Structural, в який переносимо Engineering Data Geometry і Model з попереднього, а також Solution попереднього в Setup. Задаємо закріплення для моделі, тиск який діє на поверхню та осьове зусилля та крутний момент (рисунок 7.29).

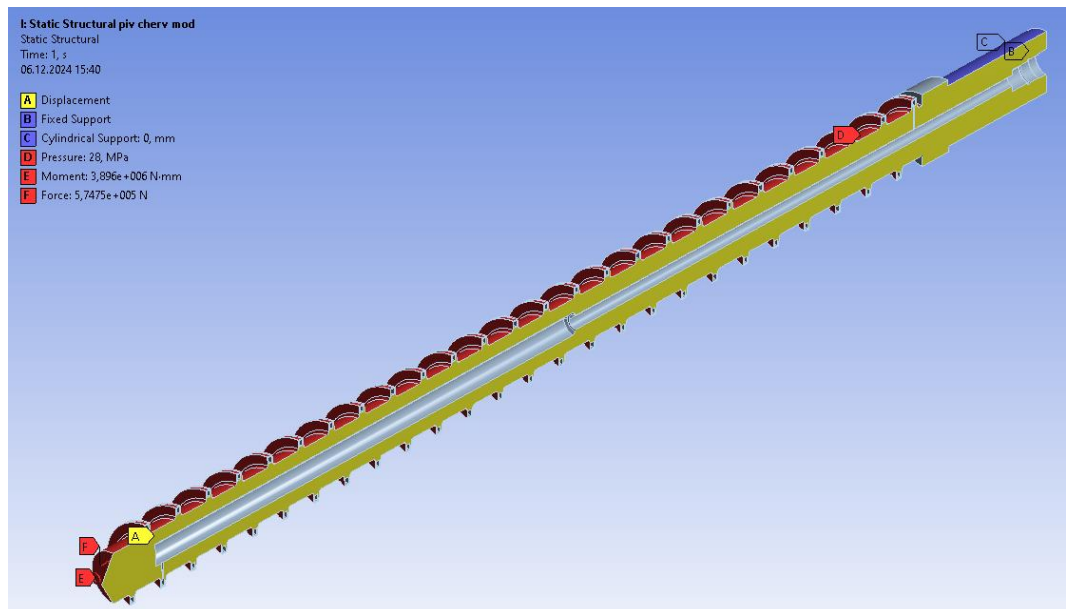


Рисунок 7.29 – Закріплення та навантаження модернізованого черв’яка

Розраховуємо загальні деформації (рисунок 7.30), еквівалентні напруження за мізесом (рисунок 7.31) та коефіцієнт запасу міцності конструкції (рисунок 7.32).

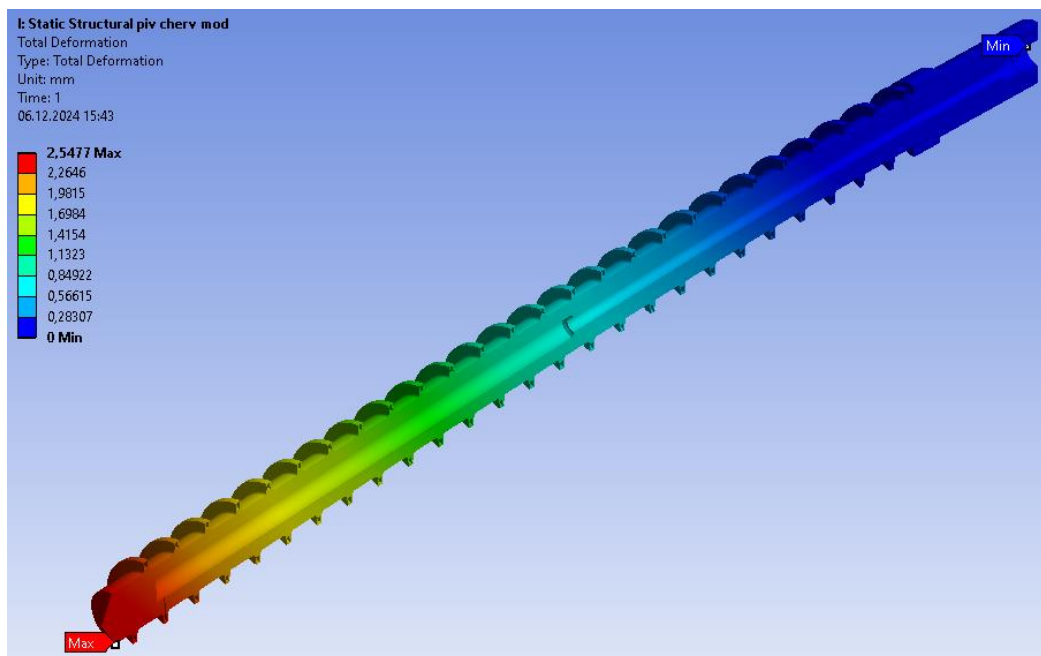


Рисунок 7.30 – Загальні деформації модернізованого черв'яка

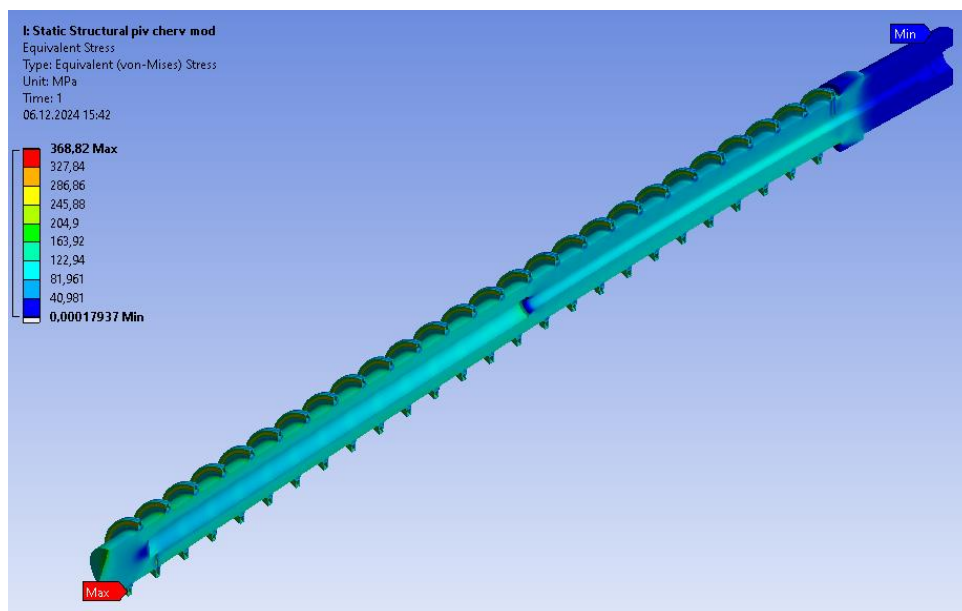


Рисунок 7.31 – Еквівалентні напруження черв'яка за мізесом

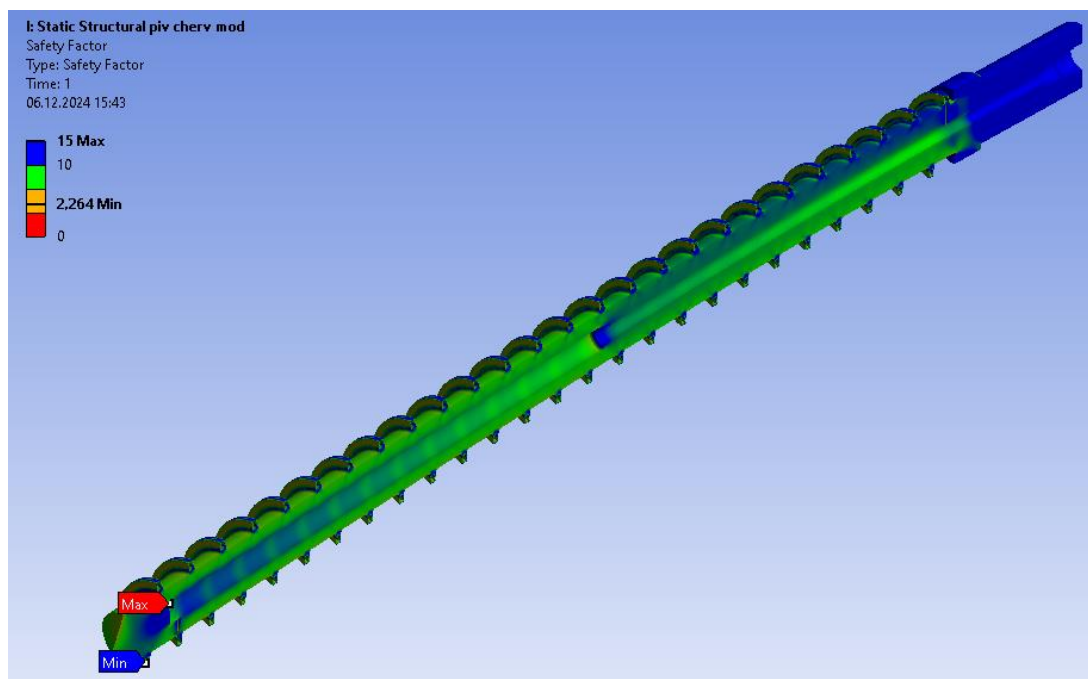


Рисунок 7.32 – Коефіцієнт запасу міцності черв'яка

Найслабшим напруженим місцем в модернізованій конструкції є гвинтова нарізка (рисунок 7.33).

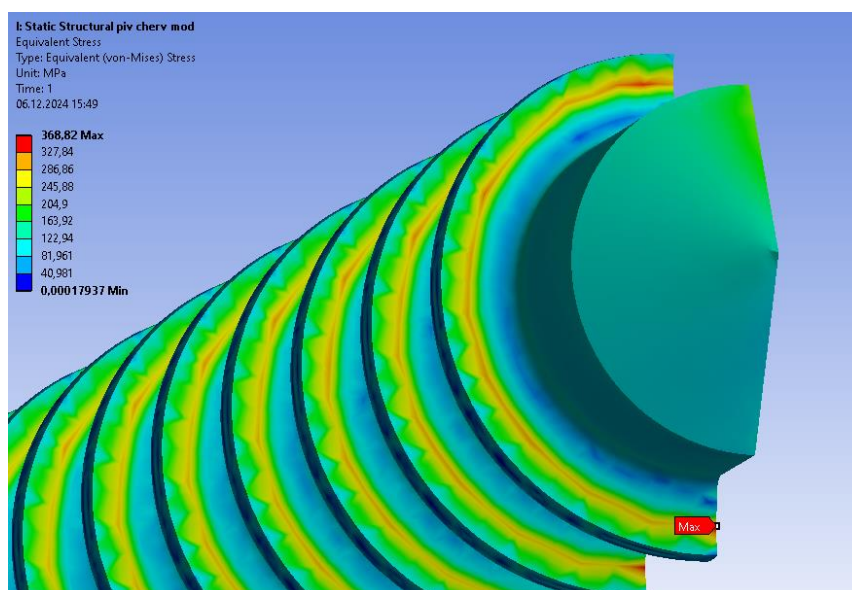


Рисунок 7.33 – Напруження на гвинтовій нарізці черв'яка

Загальну схему проекту розрахунку для обох конструкцій черв'яка показано на рисунку 7.34.

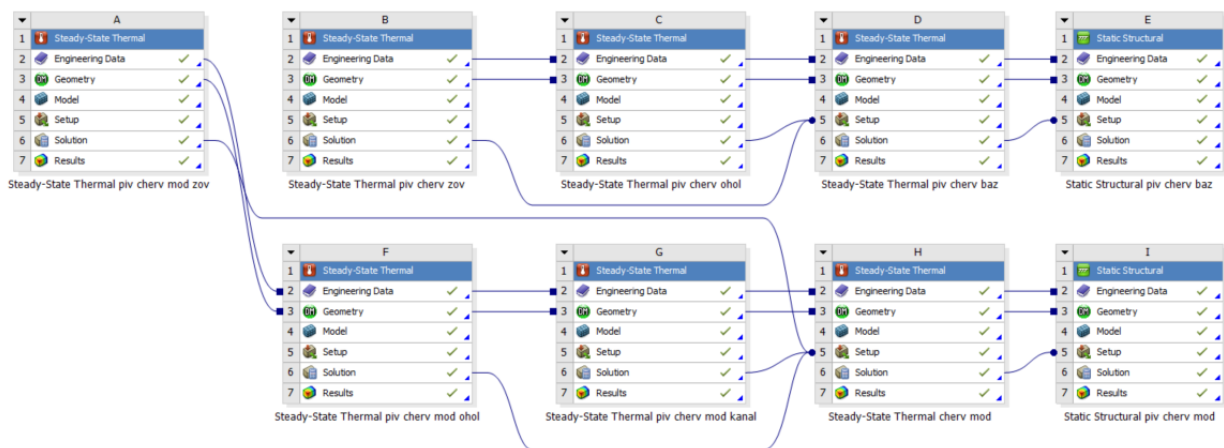


Рисунок 7.34 – Проєкт розрахунку базового черв'яка

Висновок

Проведений розрахунок базової конструкції показав, що черв'як здатен витримати всі навантаження в тому числі і температурні. Максимальне напруження дорівнює 229 МПа, що є допустимим, а коефіцієнт міцності дорівнює 3.65.

7.2 Модернізація робочого циліндра

Для розробки 3D моделі конструкції (рисунок 7.35) використовувалась система CATIA v5.

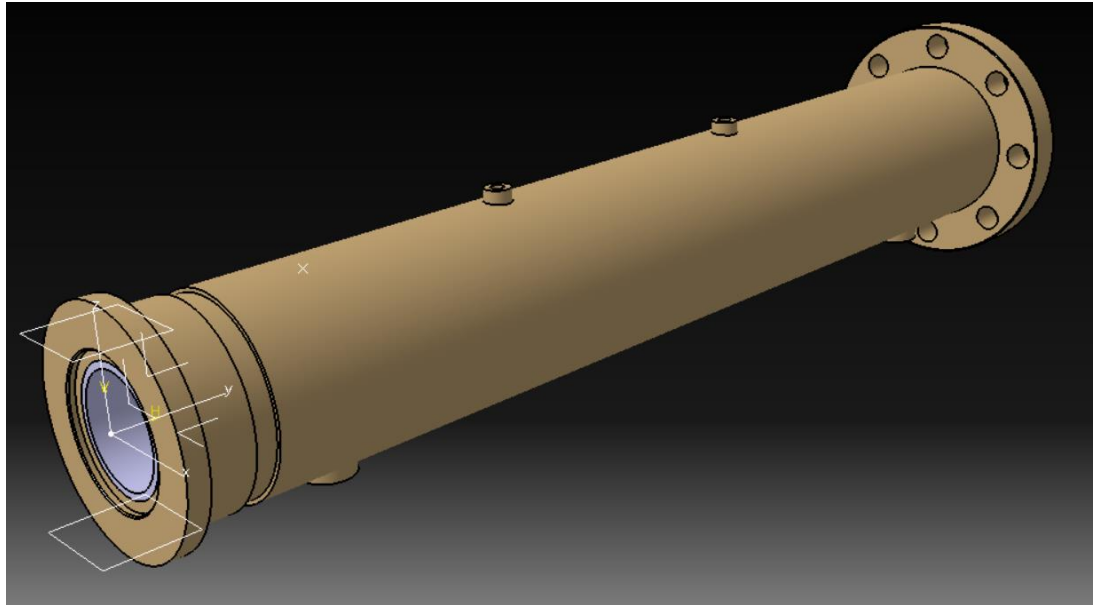


Рисунок 7.35 – Модернізована конструкція корпусу

Суть модернізації полягає у способі складання гільзи та корпусу з нанесенням термопасту на їх внутрішню та зовнішню поверхню відповідно.

Для розрахунку корпусу використовуємо систему ANSYS.

Так як гільза та корпус виготовлені з одного матеріалу, а термопаста сприяє покращенню теплопередачі між їхніми поверхнями (див. 5.2.2) практично до рівня суцільної конструкції – то розраховувати ми будемо суцільну конструкцію, а так як модель є симетричною, то у подальшому розрахунку будемо розглядати четвертину конструкції. Так як корпус піддається температурним навантаженням, переходимо до системи ANSYS та створюємо модуль Steady-State Thermal. У розділ Geometry імпортуємо завчасно підготовлену четвертину 3D моделі (рисунок 7.36).

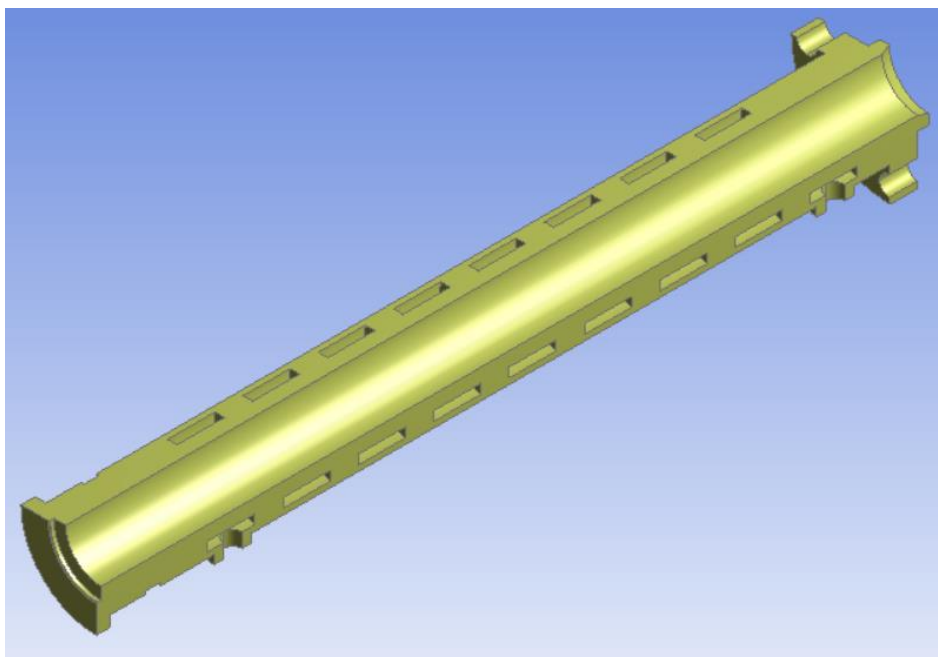


Рисунок 7.36 – Розрахункова модель корпусу

Наступним кроком переходимо у розділ Model, де накладаємо сітку скінченних елементів (рисунок 7.37), задаємо матеріал для моделі та задаємо зміну температури по внутрішній поверхні (рисунок 7.38).

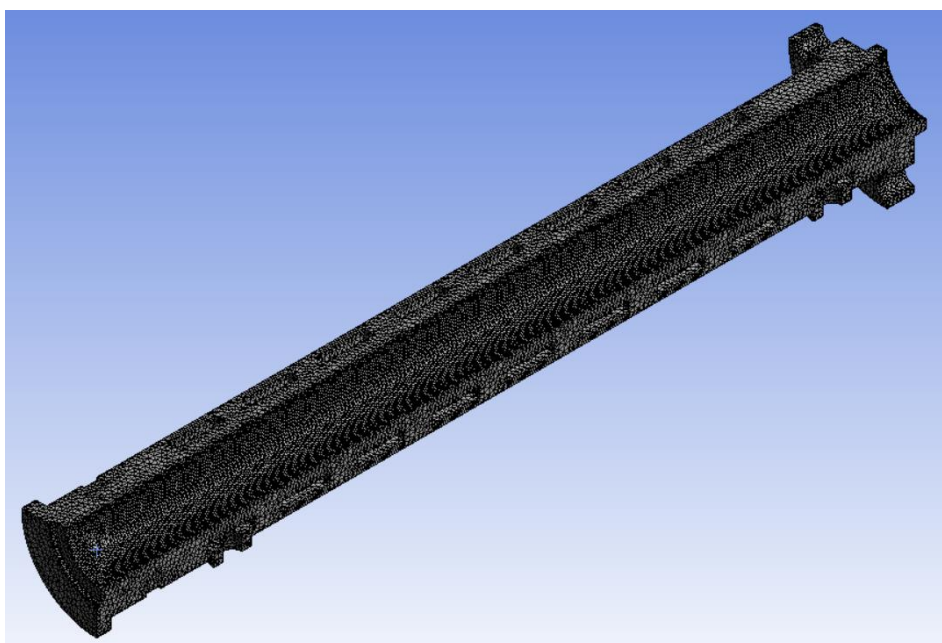


Рисунок 7.37 – Сітка скінченних елементів на моделі

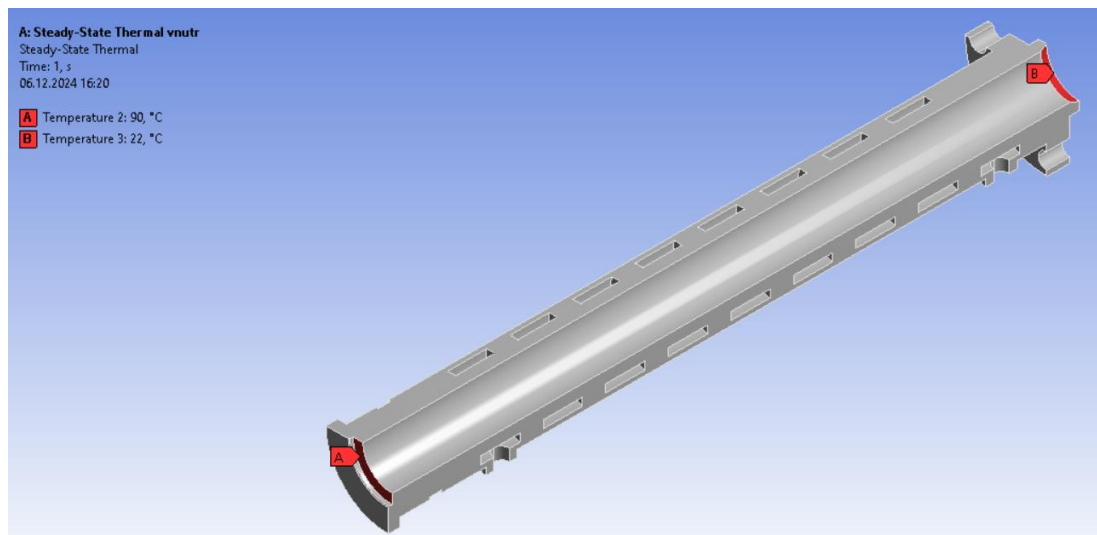


Рисунок 7.38 – Розподіл температур по внутрішній поверхні

Отриманий результат градієнту температур по внутрішній поверхні показано на рисунку 7.39.

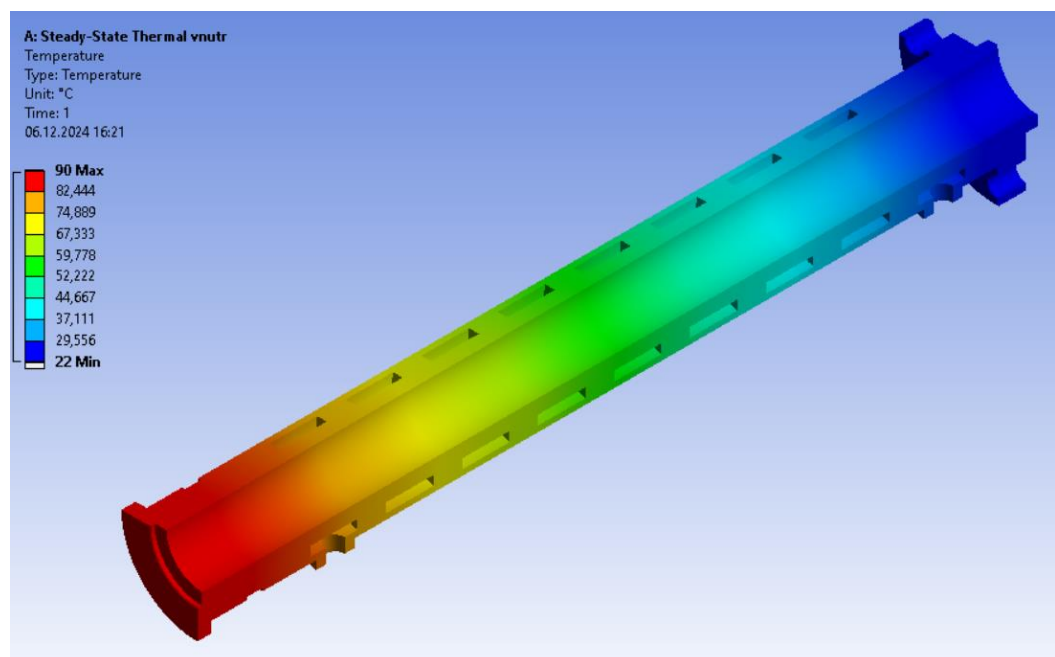


Рисунок 7.39 – Результат розподілу температур по внутрішній поверхні

Створюємо ще один модуль Steady-State Thermal, в який переносимо Engineering Data Geometry і Model з попереднього. В цьому модулі задаємо

розподіл температур по зовнішній поверхні (рисунок 7.40). Результат наведено на рисунку 7.41.

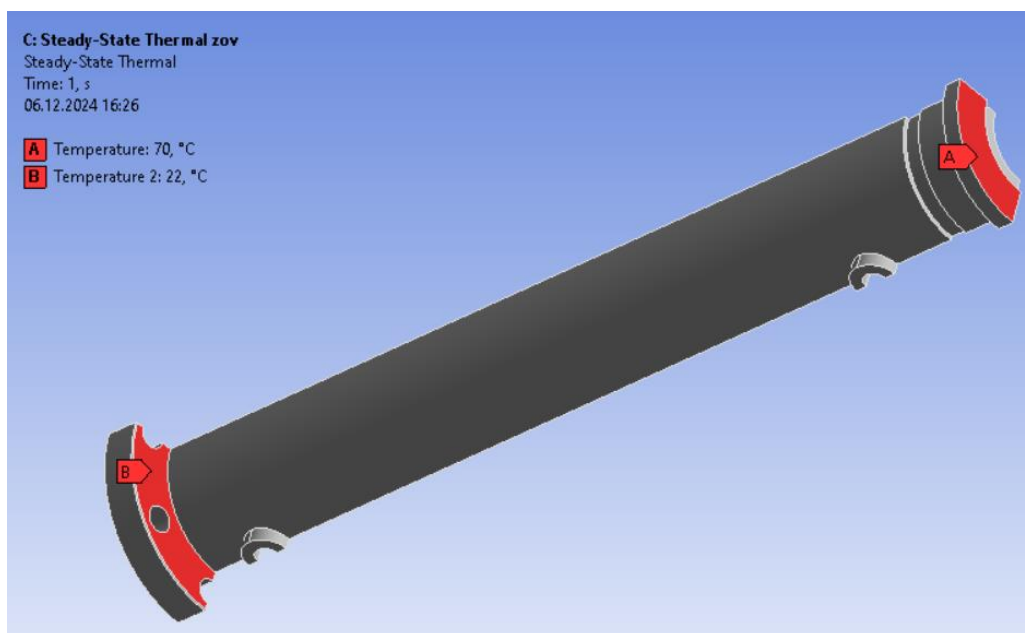


Рисунок 7.40 – Розподіл температур по зовнішній поверхні

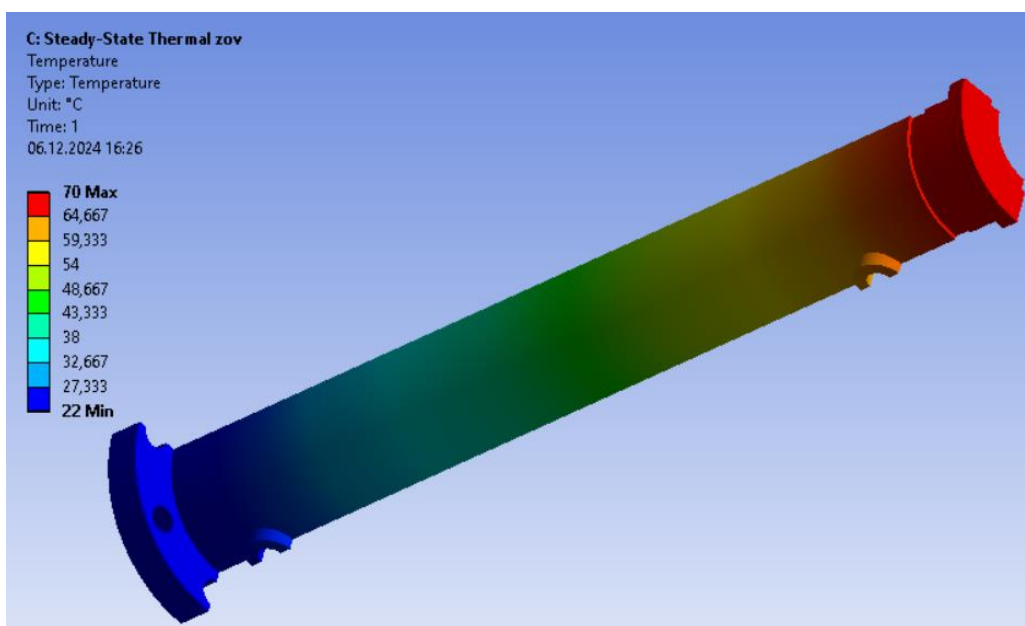


Рисунок 7.41 – Результат розподілу температур по зовнішній поверхні

Створюємо ще один модуль Steady-State Thermal, в який переносимо Engineering Data Geometry і Model з попереднього. В цьому модулі задаємо

розподіл температур по каналу охолодження (рисунок 7.42). Результат наведено на рисунку 7.43.

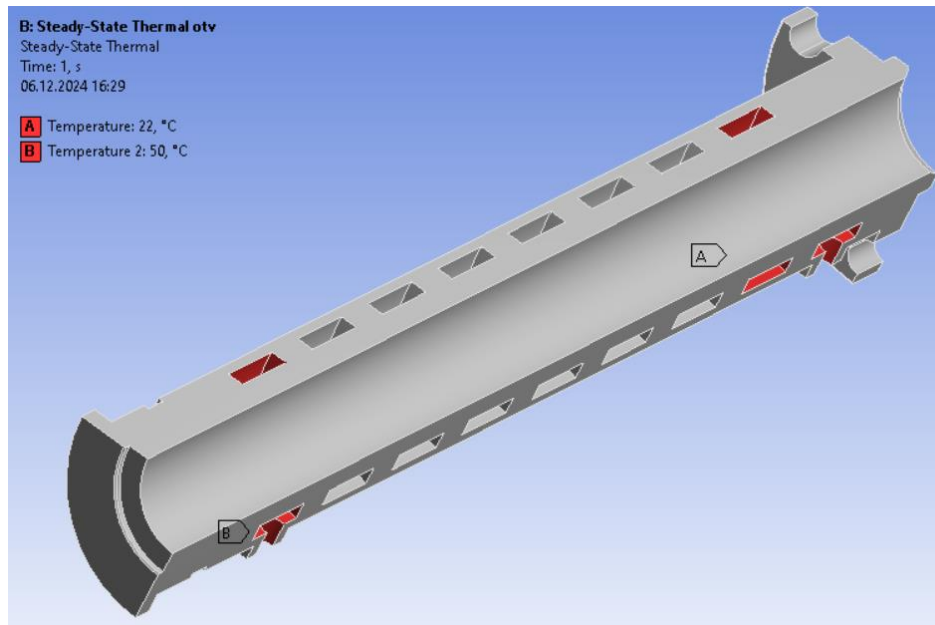


Рисунок 7.42 – Розподіл температур по каналу охолодження

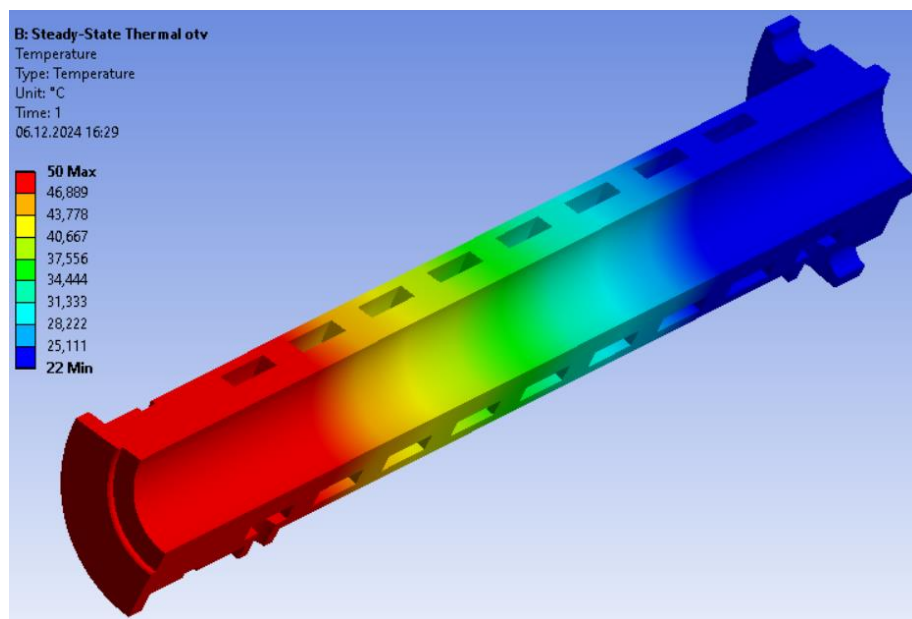


Рисунок 7.41 – Результат розподілу температур по зовнішній поверхні

Створюємо ще один модуль Steady-State Thermal, в який переносимо Engineering Data Geometry і Model з попереднього. В цей модуль також переносимо Solution з трьох попередніх в Setup. Це дасть нам змогу імпортувати

розподіл температур по зовнішній поверхні, внутрішній і по каналу охолодження. Накладаємо відповідні розподіли до відповідних поверхонь (рисунок 7.42, рисунок 7.43 та рисунок 7.44) та як результат отримаємо загальний розподіл температур по черв'яку (рисунок 7.45) та густину теплового потоку (рисунок 7.46).

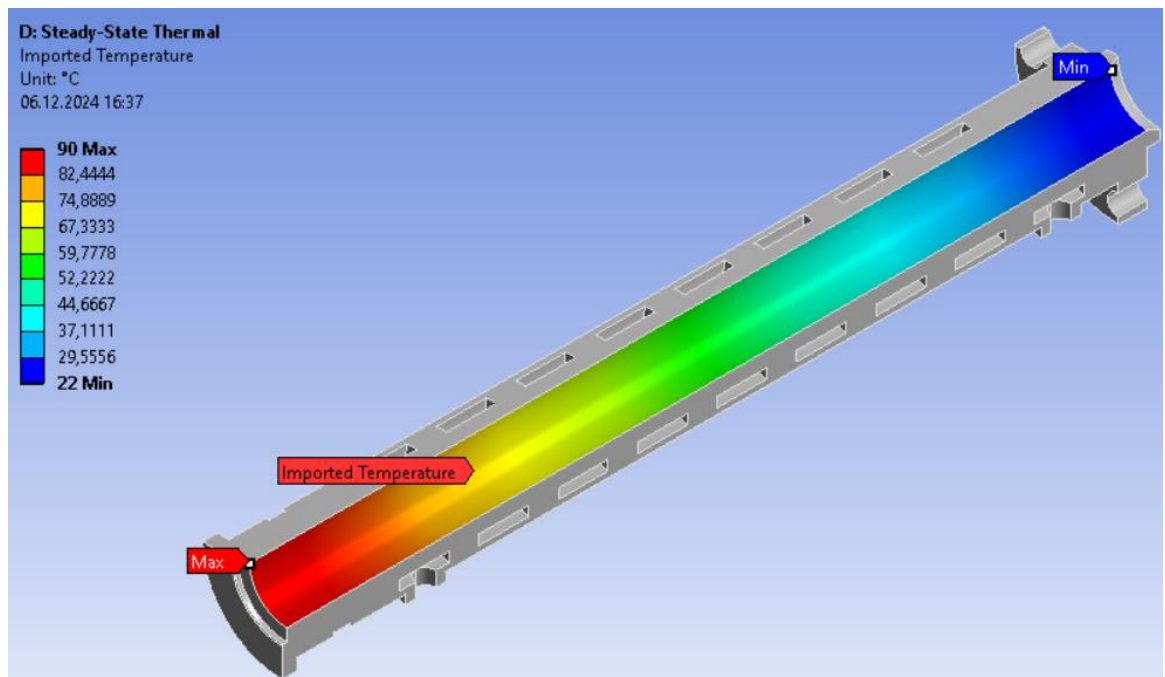


Рисунок 7.42 – Імпортована температура внутрішньої поверхні

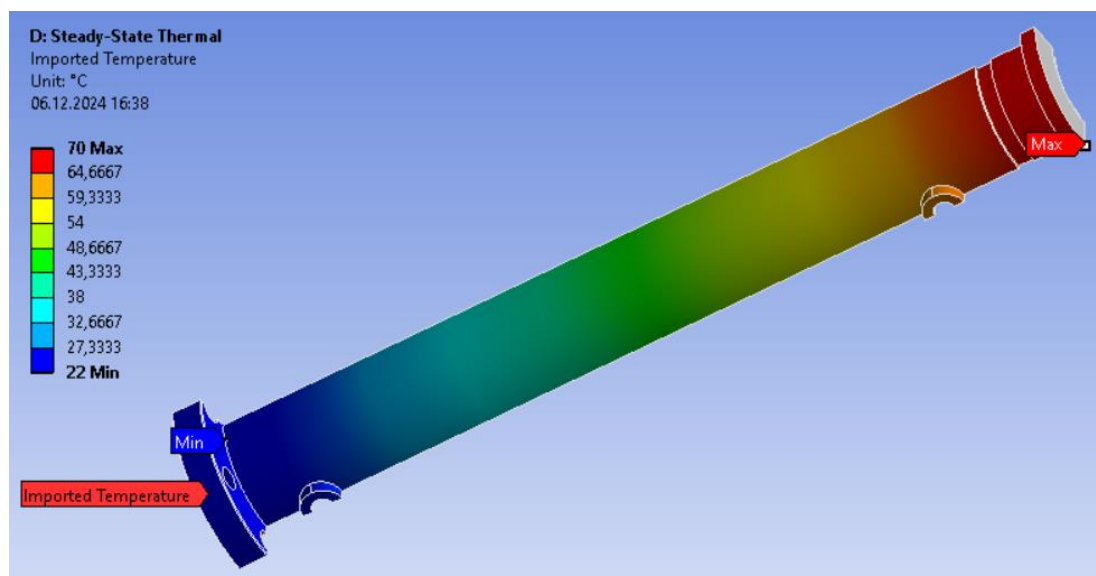


Рисунок 7.43 – Імпортована температура зовнішньої поверхні

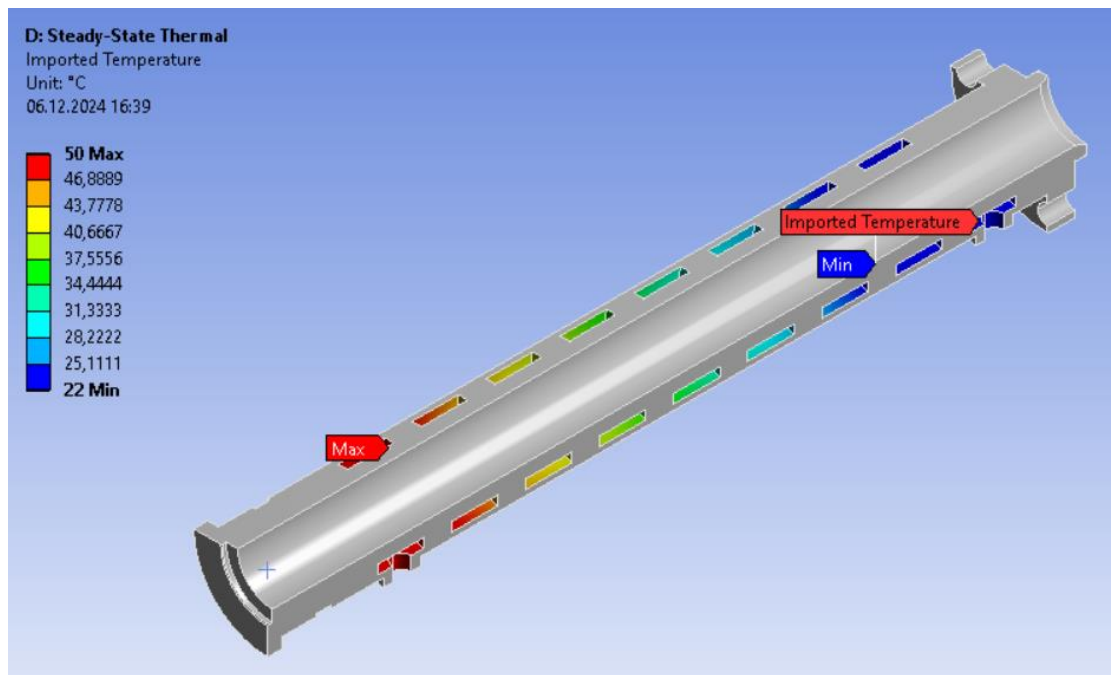


Рисунок 7.44 –Імпортована температура каналу охолодження

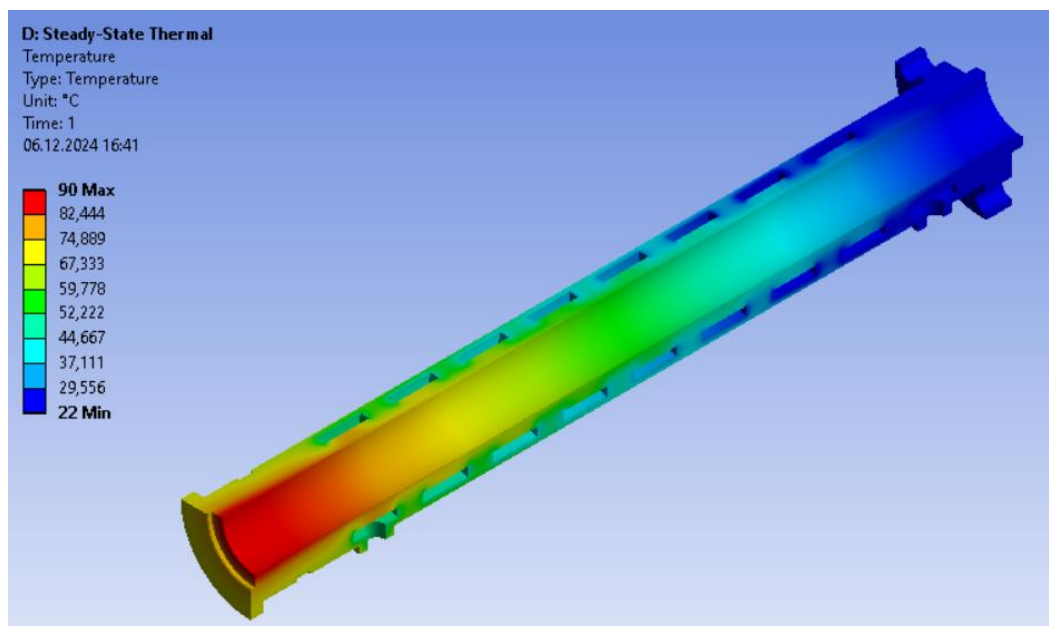


Рисунок 7.45 – Загальний розподіл температур

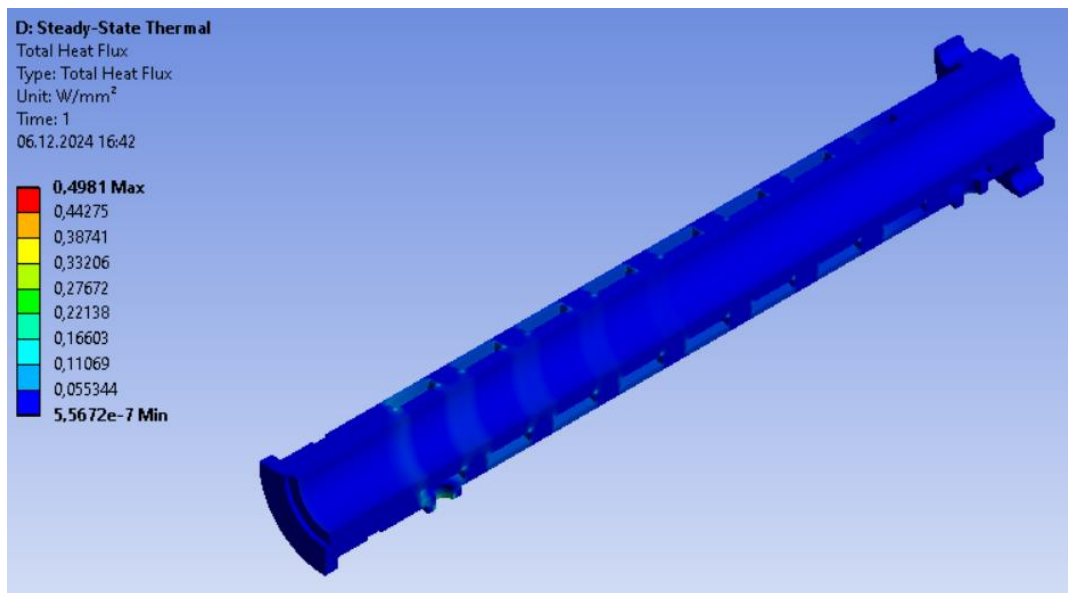


Рисунок 7.46 –Густина теплового потоку

Створюємо модуль Static Structural, в який переносимо Engineering Data Geometry і Model з попереднього, а також Solution попереднього в Setup. Накладаємо площини симетрії та фіксуємо модель по всіх трьох осях. Задаємо тиск який діє на поверхню (рисунок 7.47).

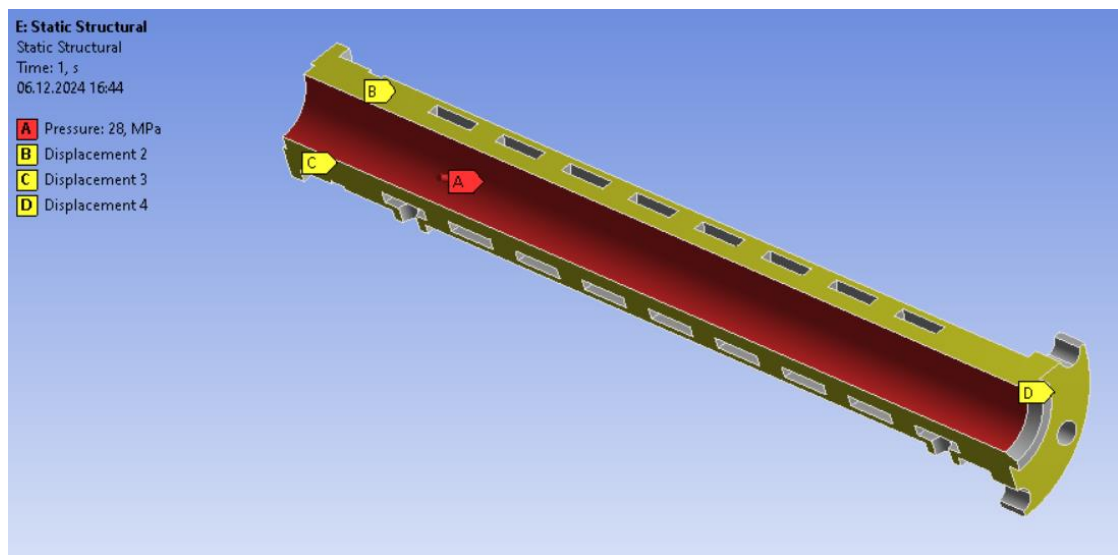


Рисунок 7.47 – Фіксація моделі та тиск

Розраховуємо загальні деформації (рисунок 7.48), еквівалентні напруження за мізесом (рисунок 7.49) та коефіцієнт запасу міцності конструкції (рисунок 7.50).

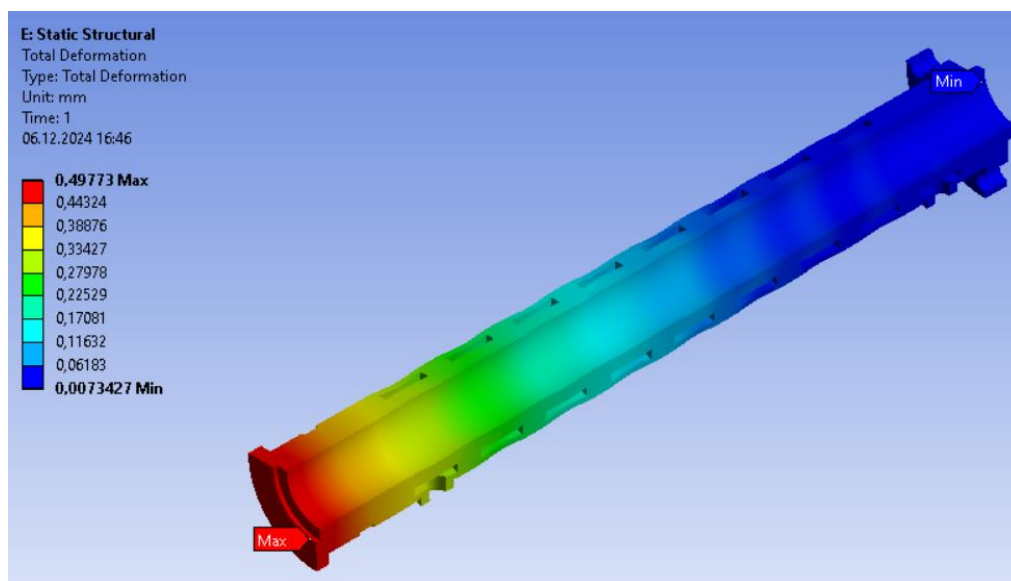


Рисунок 7.48 – Загальні деформації

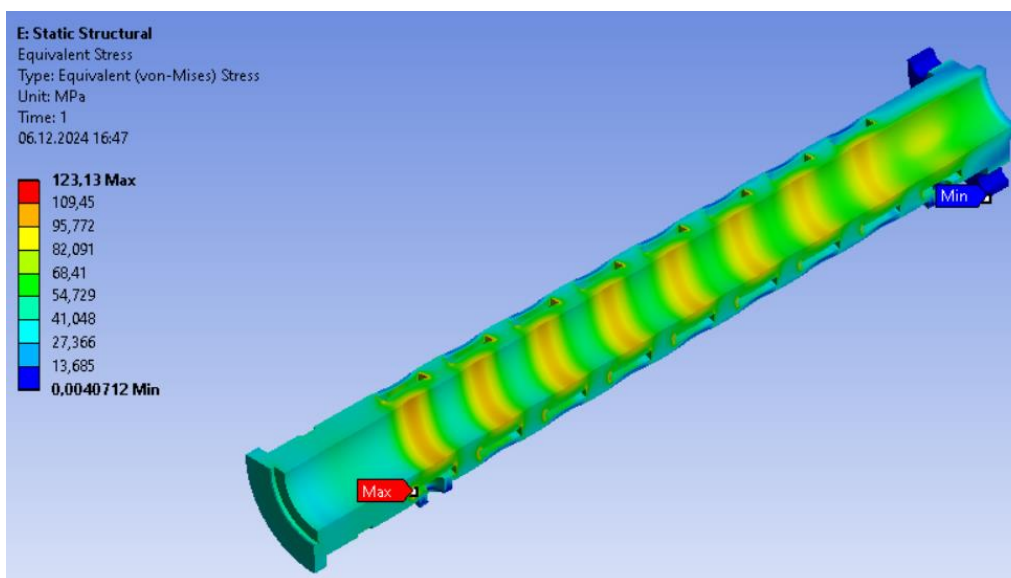


Рисунок 7.49 – Еквівалентні напруження за мізесом

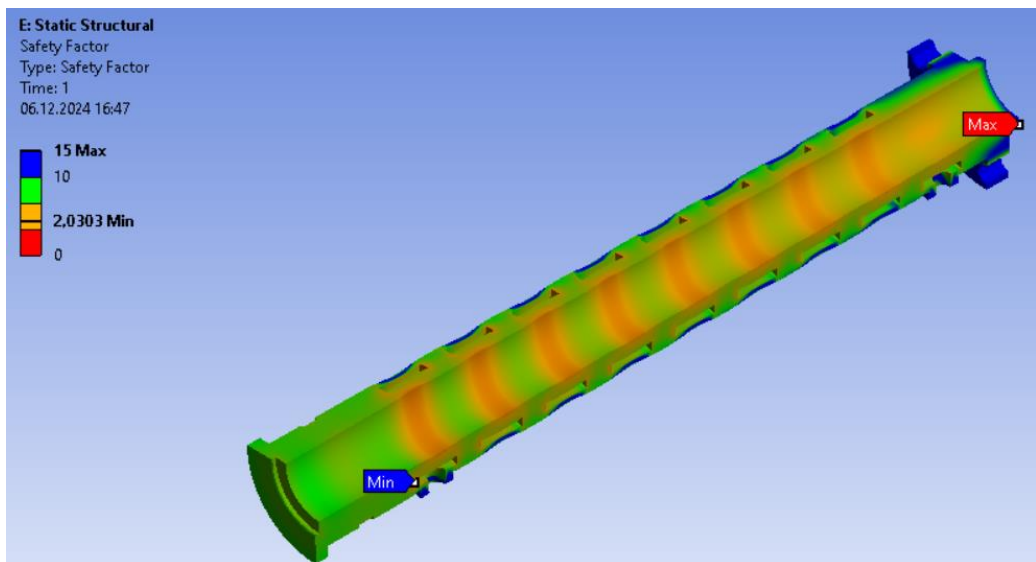


Рисунок 7.50 – Коефіцієнт запасу міцності

Загальну схему проекту розрахунку показано на рисунку 7.51.

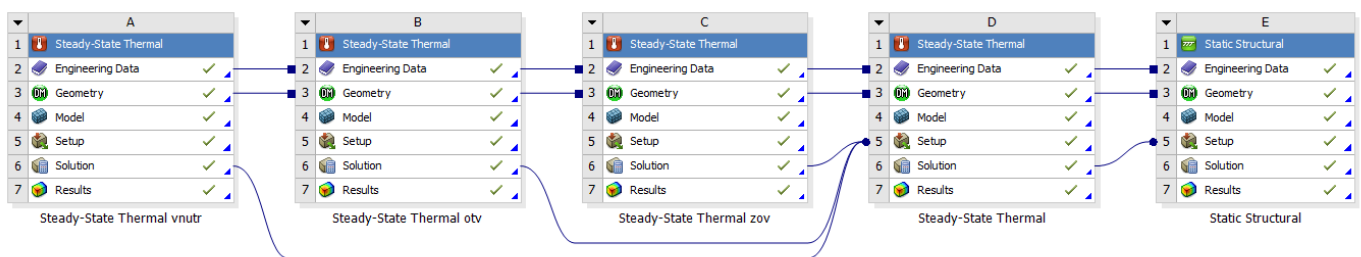


Рисунок 7.51 – Проект розрахунку моделі

Висновок

Максимальне напруження на конструкцію 123 МПа, що є нижчим за максимально допустиме. Коефіцієнт міцності становить 2,03.

ОЧІКУВАНІ МЕХАНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ

Модернізацією черв'яка є виконання спірального каналу охолодження у витках гвинтової нарізки. Результатом такої модернізації є забезпечення надійної термостабілізації робочої поверхні черв'яка, покращення його охолодження шляхом циркуляції охолоджуючої рідини в каналі та підвищення ефективності переробки матеріалу. Виконання спірального каналу підвищує коефіцієнт теплопередачі на 18%, що дає нам змогу зменшити кількість охолоджуючої рідини на 18% відповідно.

Модернізацією корпусу є спосіб складання секції циліндра, що включає розміщення знімної циліндричної гільзи в циліндричному каналі корпусу та нанесення щонайменше на одну поверхню термопасти. Модернізація дає можливість швидко замінити циліндричну гільзу в разі потреби. Коефіцієнт теплопередачі між двома поверхнями (гільзи та корпусу) без термопасти становить $74 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$. Нанесення термопасти забезпечуватиме значне покращення теплопередачі між поверхнями корпусу та гільзи. Коефіцієнт теплопередачі в цьому випадку буде становити $104 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$, що збільшує ефективність теплопередачі на 41% та практично дорівнює коефіцієнту теплопередачі у суцільній конструкції корпусу.

ВИСНОВКИ

Метою даної дисертації була модернізація робочих органів машини гумопереробної одночерв'ячної холодного живлення. Для цього:

- розглянуто призначення та галузь застосування, конструкцію та принцип дії машини, її технічну характеристику;
- проведено літературно-патентний огляд варіантів модернізації та обґрунтовано вибрані;
- проведено розрахунки, що підтверджують працездатність машини (в т.ч. параметричні, теплові та розрахунки на міцність).
- розроблено спеціальні розділи: «Монтаж і експлуатація», «Розробка стартап проекту» та «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях»;
- розроблено 3D моделі базового та модернізованого черв'яків, та модернізованого корпусу в системі CATIA v5. Здійснено їх розрахунки в системі ANSYS;
- розроблено складальні креслення машини, базового та модернізованого корпусу, упорного підшипника, а також креслення базового та модернізованого черв'яка.

Розрахунки на міцність показали, що модернізовані конструкції здатні витримати навантаження, які на них діють, а розрахунки моделей в системі ANSYS дали змогу побачити коефіцієнти міцності 2,26 та 2,03 для модернізованого черв'яка та корпусу відповідно. Теплові розрахунки показали, що модернізація черв'яка збільшує ефективність охолодження на 18% та дає змогу зменшити кількість використаної охолоджувальної рідини на 18% відповідно, а модернізація корпусу з використанням термопасти, дає змогу зробити коефіцієнт теплопередачі для збірної конструкції корпусу та гільзи рівним коефіцієнту теплопередачі суцільної конструкції корпусу та на 41% більшим ніж при збірній конструкції без використання термопасти.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Мікульонок І. О. Обладнання і процеси переробки термопластичних матеріалів з використанням вторинної сировини : монографія. Київ : ІВЦ „Видавництво «Політехніка»”, 2009. 265 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/28259>
2. Мікульонок І.О. Виготовлення, монтаж та експлуатація обладнання хімічних виробництв: підручник. Київ: НТУУ «КПІ», 2010. 412 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/2061>
3. Мікульонок І.О. Виготовлення обладнання хімічних виробництв : підруч. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 236 с. URL:: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/50358>
4. Мікульонок І. О. Технологічні основи перероблення полімерних матеріалів: навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 293 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/35084>
5. Мікульонок І. О. Технологічні основи перероблення полімерів, пластмас і гумових сумішей: навч. посіб. Київ: НТУУ «КПІ», 2015. 312 с.
6. Патент UA90401U, Черв'як екструдера / Сівецький В. І., Мікульонок І. О., Сокольський О. Л., Кушнір М. С. – Опубл. 26.05.2014.
7. Патент UA10558U, Червяк екструдера для переробки високомолекулярних сполук і матеріалів на їх основі / Мікульонок І. О. , Радченко Н. Л. – Опубл. 15.11.2005.
8. Патент UA1737U, Черв'як екструдера для перероблення полімерних матеріалів / Мікульонок І О, Новік В. О., Радченко Л. Б., Сівецький В. І. – Опубл. 15.04.2003.
9. Патент UA153651U, Спосіб складання завантажувальної секції циліндра одноструменного екструдера / Мікульонок І. О., Витвицький В. М., Витвицький В. М., Сокольський О. Л., Шилович Т. Б. – Опубл. 03.08.2023.

10. 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 дані (1 файл: 3,2 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 218 с. URL : <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/27437>

11. 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.

12. Мікульонюк І. О. Основні методи використання гумовмісних відходів // Хімічна промисловість України. 2001. № 5. С. 53–58.

13. Mikulyonok I. O. Equipment for preparing and continuous molding of thermoplastic composites // Chemical and Petroleum Engineering. 2013. Vol. 48, N 11–12. P. 658–661. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10556-013-9676-x>

14. Mikulionok I. O. Screw extruder mixing and dispersing units // Chemical and Petroleum Engineering. 2013. Vol. 49, N 1–2. P. 103–109. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10556-013-9711-y>

15. Mikulionok I. O., Radchenko L. B. Screw Extrusion of Thermoplastics: I. General Model of the Screw Extrusion // Russian Journal of Applied Chemistry. 2012. Vol. 85, N 3, P. 489–509. DOI: 10.1134/S1070427211030305

16. Mikulionok I. O., Radchenko L. B. Screw Extrusion of Thermoplastics: II. Simulation of Feeding Zone of the Single Screw Extruder // Russian Journal of Applied Chemistry. 2012. Vol. 85, N 3. P. 505–514. DOI: 10.1134/S1070427211030317

17. Mikulionok I., Gavva O., Kryvoplias-Volodina L. Modeling the process of polymer processing in twin-screw extruders // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. № 4/5 (94). P. 35–44. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.139886

18. Mikulionok I. O. Classification of Screw Cooling Devices of Single-Screw Extruders for Polymer Materials Processing (Survey of Designs) // Chemical and

Petroleum Engineering. 2022. Vol. 58, N 1–2. P. 68–73. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10556-022-01057-5>

19. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку - Доступ з екрану: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va037282-99#Text>

20. Мікульонок І. О., Сокольський О. Л. Полімерні матеріали і вироби з них (одержання, перероблення, властивості) : термінол. слов. Київ : НТУУ «КПІ», 2015. 208 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/37632>

21. Основи проектування одночерв'ячних екструдерів: навч. посіб. / І. О. Мікульонок, О. Л. Сокольський, В. І. Сівецький, Л. Б. Радченко. Київ: НТУУ «КПІ», 2015. 200 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/25367>

22. Сокольський О. Л., Мікульонок І. О. Моделювання обладнання і процесів перероблення полімерних матеріалів методом екструзії: монографія. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 252 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/37481>

23. Мікульонок І.О., Гавва О.М., Кривопляс-Володіна Л.О. Інноваційне обладнання для приготування та перероблення полімерних матеріалів і гумових сумішей. Київ : НУХТ, 2022. 139 с. URL: <http://dspace.nuft.edu.ua/handle/123456789/38700>

24. Сокольський О. Л., Мікульонок І. О. Моделювання обладнання і процесів перероблення полімерних матеріалів методом екструзії. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 252 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/37481>

25. Витвицький В. М., Мікульонок І. О. Моделювання процесу живлення черв'ячного екструдера полімерною сировиною. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 136 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/41177>

ДОДАТОК А. Таблиця розглянутих патентів

N п/п	Предмет пошуку	Країна видачі, вид і номер документа	Сутність заявленого технологічного рішення і ціль його створення
1	2	3	4
1	Черв'як екструдера	Патент: UA90401U Автори: Сівецький Володимир Іванович (UA), Мікульонок Ігор Олегович (UA), Сокольський Олександр Леонідович (UA), Кушнір Михайло Сергійович (UA)	Черв'як екструдера містить осердя з послідовно розташованими хвостовиком, спорядженою гвинтовою нарізкою і змішувальним елементом робочою частиною, а також наконечником, при цьому змішувальний елемент має форму гвинтового гребеня з поперечними прорізами. Змішувальний елемент споряджено додатковим гвинтовим гребенем з поперечними прорізами та іншим, порівняно з основним гвинтовим гребенем, кроком

2	Червяк екструдера для переробки високомолекулярних сполук і матеріалів на їх основі	Патент: UA10558U Автори: Мікульонок Ігор Олегович , Радченко Наталія Леонідівна	Черв'як екструдера для переробки високомолекулярних сполук і матеріалів на їх основі, що містить обладнаний гвинтовою нарізкою порожнистий вал, який відрізняється тим, що в гребені нарізки виконано канал, сполучений з порожниною вала.
3	Черв'як екструдера для перероблення полімерних матеріалів	Патент: UA1737U Автори: Мікульонок Ігор Олегович, Новік Валерій Олександрович, Радченко Леонід Борисович, Сівецький Володимир Іванович	1. Черв'як екструдера для перероблення полімерних матеріалів, що містить вал з послідовно розташованими хвостовиком, зонами живлення, стискання й дозування, а також наконечником, при цьому вал на ділянках зон живлення, стискання й дозування оснащений гвинтовою нарізкою, а на гребені нарізки зони дозування виконані

			поперечні пази, який відрізняється тим, що пази скошені в бік хвостовика вала. 2 Черв'як за п 1, який відрізняється там, що вихід пазів з боку наконечника вала виконаний на зовнішній поверхні гребеня нарізки.
4	Спосіб складання завантажувальної секції циліндра одночерв'ячного екструдера	Патент: UA153651U Автори: Мікульонок Ігор Олегович (UA), Витвицький Віктор Миронович (UA), Витвицький Владислав Миронович (UA), Сокольський Олександр Леонідович	Спосіб складання завантажувальної секції циліндра одночерв'ячного екструдера включає розміщення знімної циліндричної гільзи в циліндричному каналі корпусу завантажувальної секції з наступною фіксацією зазначеної гільзи від повороту та осьового переміщення за допомогою фіксатора. Перед розміщенням знімної циліндричної гільзи в циліндричному каналі корпусу завантажувальної секції

		(UA), Шилович Тетяна Борисівна (UA)	щонайменше на одну з їхніх сполучних циліндричних поверхонь наносять термопасту.
--	--	---	---