

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

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

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри
_____ О.Л.Сокольський
(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: «Каландр двохвалковий з модернізацією валків»

Виконав:

студент VI курсу, групи ЛП-31мп
Халімонов Станіслав Вікторович _____

Науковий керівник:

Доцент, к.т.н.

Сідоров Дмитро Едуардович _____

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:

Посада, науковий ступінь, вчене звання,

Прізвище, ім’я, по батькові _____

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)

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
Халімонову Станіславу Вікторовичу

1. Тема дисертації «Каландр двохвалковий з модернізацією валків», науковий керівник дисертації Сідоров Дмитро Едуадродич, доцент, к.т.н., затверджені наказом по університету від «8» листопада 2024р. №5029-С

2. Термін подання студентом дисертації 18 грудня 2024

3. Об'єкт дослідження

4. Вихідні дані

5. Перелік завдань, які потрібно розробити

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу

7. Орієнтовний перелік публікацій

8. Консультанти розділів дисертації

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

9. Дата видачі завдання 8 листопада 2024

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
	Літературно – патентний огляд	3.10.2024	
	Виконання креслень базових та модернізованих вузлів	2.11.2024	
	Виконання загального виду машини та лінії	15.11.2024	
	Виконання розрахунків	22.11.2024	
	Побудова 3D-моделі	1.12.2024	
	Виконання розділу «Монтаж і експлуатація»	12.12.2024	
	Виконання розділу «Стартап-проект»	18.12.2024	
	Виконання розділу «Охорона праці»	10.12.2024	

Студент

Станіслав ХАЛІМОНОВ

Науковий керівник

Дмитро СІДОРОВ

Реферат

Мета проекту – модернізація валків каландра для зменшення часу та вартості виготовлення, збільшення ресурсу та підвищення енергоефективності машини

Об'єкт дослідження – процес роботи валків каландра як частини технологічного обладнання для обробки матеріалів, з урахуванням його конструкційних, експлуатаційних і енергоефективних характеристик.

Предмет дослідження – конструктивні рішення, матеріали, технології виготовлення та технічні параметри валків каландра, що впливають на скорочення часу і зниження вартості їх виготовлення, підвищення довговічності та енергоефективності роботи каландра в цілому.

Пояснювальна записка формату А4 складається зі вступу, 8 розділів, висновків, 21 рисунків, переліку літератури з 32 джерел та 2 додатків. Загальний обсяг пояснювальної записки становить 92 сторінок.

Графічну частину виконано за допомогою ПЗ «Autocad», та «SolidWorks» розрахунки виконано за допомогою ПЗ «Mathcad» та «Ansys».

Проект містить технологічну схему виготовлення гумового листа т

У проекті було представлено технічні характеристики, розглянуто принцип дії і конструкцію двохвалкового каландра, виконані параметричні розрахунки і розрахунки жорсткості валка каландра а також тепловий розрахунок, що підтверджують роботоздатність машини.

Ключові слова: КАЛАНДРИ, ВАЛЬЦІ, ПОЛІМЕРНЕ ВИРОБНИЦТВО, ГУМОВИРОБНИЦТВО, ГУМА, ВАЛЬКОВІ МАШИНИ,

Abstract

Project goal – modernization of calender rolls to reduce production time and cost, increase durability, and improve the energy efficiency of the machine.

Object of the study – the operational process of calender rolls as part of technological equipment for material processing, considering their structural, operational, and energy efficiency characteristics.

Subject of the study – design solutions, materials, manufacturing technologies, and technical parameters of calender rolls that affect the reduction of production time and cost, improvement of durability, and enhancement of the energy efficiency of the calender as a whole. The explanatory note in A4 format consists of an introduction, 8 chapters, conclusions, 21 figures, a list of references from 32 sources and 2 appendices. The total volume of the explanatory note is 92 pages.

The graphical part was created using AutoCAD and SolidWorks software, while the calculations were performed using Mathcad and ANSYS software.

The project includes a technological scheme for the production of a rubber sheet. It presents the technical characteristics, examines the principle of operation and design of a two-roll calender, and includes parametric calculations, stiffness calculations for the calender roll, as well as a thermal calculation, which confirm the machine's functionality.

Keywords: CALENDER, ROLLER, POLYMER PRODUCTION, RUBBER PRODUCTION, RUBBER, ROLLER MACHINES,

Перелік умовних позначень та скорочень

Умовні позначення:

F – площа перерізу, м^2 ;

b – ширина стрічки, м ;

h_k – товщина стрічки, м ;

R – радіуси валків, м

v – швидкість виходу полотна, м/хв ;

P – розпірні зусилля, Н ;

η – коефіцієнт використання машинного часу;

M – крутний момент, $\text{Н}\cdot\text{м}$;

B – допоміжний коефіцієнт;

γ – відносна вага стрічки, кг/м^3 ;

L – довжина робочої частини валків, м ;

V – колові швидкості валків: м/с

Q – вагова продуктивність, кг/год ;

C – допоміжний коефіцієнт;

k – коефіцієнт консистенції;

f – фрикційні відношення пар валків;

n – індекс течії;

T – допоміжний коефіцієнт;

σ – напруження, МПа ;

W – осьовий момент опору, м^3 ;

ЗМІСТ

ВСТУП	9
1. ОПИС КАЛАНДРА ДВОХВАЛКОВОГО ТА ЛІНІЇ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ГУМИ	10
2. ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА КАЛАНДРА ДВОХВАЛКОВОГО	13
3. ЛІТЕРАТУРНО - ПАТЕНТНИЙ ОГЛЯД	14
4. ОБГРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ.....	16
5. РОЗРАХУНКИ	18
5.1. Параметричні розрахунки.....	18
5.2 Розрахунок розпірних зусиль між валками каландра і технологічної потужності, вибір двигуна.....	18
5.3. Розрахунки на міцність	20
5.4 Розрахунок прогину валка	25
5.5 Тепловий розрахунок	29
6. СПЕЦІАЛЬНІ РОЗДІЛИ.....	32
6.1 Монтаж і експлуатація	32
6.2 Розробка стартап-проєкту	45
6.2.1. Опис ідеї стартап-проєкту	45
6.2.2 Технологічний аудит ідеї проєкту	47
6.2.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту.....	47
6.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проєкту.....	62
Висновки до розділу 6.2.....	67
6.3 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	68
6.3.1 Повітря робочої зони.....	69

					ЛПЗ1мп.207156.01 – 70ПЗ								
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата	Каландр двохвалковий з модернізацією валків					Литера	Лист	Листов	
Разраб	Халімонов С.В										у	4	92
Пров	Сідоров Д.Е.												
Н. Контр.													
Утв	Сідоров Д.Е.										КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІХФ		

6.3.2	Промислове освітлення	70
6.3.4	Пожежна безпека	71
6.3.5	Електробезпека	72
7.	МОДЕРНІЗАЦІЯ ВУЗЛА УСТАНОВКИ	74
7.1	Розробка 3D-моделі	74
7.2	Визначення критичних параметрів.....	76
7.3	Висновки про працездатність модернізованої конструкції та пропозиції з умов її експлуатації	76
8.	ОЧІКУВАНІ МЕХАНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ТА ВИСНОВКИ	78
	ВИСНОВКИ.....	80
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	81

					ЛПЗ1мп.207156.01 – 70ПЗ							
Изм.	Лист	№ докум	Подпись	Дата	Каландр двохвалковий з модернізацією валків					Литера	Лист	Листов
Разраб		Халімонов С.В								у	5	92
Пров		Сідоров Д.Е.								КПІ ім. Ігоря Сікорського, ІХФ		
Н. Контр.												
Утв		Сідоров Д.Е.										

ВСТУП

У сучасному світі виробництво полімерних матеріалів відіграє дедалі важливішу роль у різних галузях промисловості. Для забезпечення високої якості та експлуатаційних характеристик полімерних виробів необхідно постійно вдосконалювати виробничі процеси, впроваджуючи передові технології.

Одним із ключових процесів у виробництві полімерів є каландрування. Каландр — це механічний пристрій, який виконує прокатку полімерної суміші між двома валками. У цьому процесі особливе значення має гідравлічна система терморегулювання валків, яка забезпечує підтримання необхідного температурного режиму під час прокатки.

Метою цієї роботи є модернізація гідравлічної системи терморегулювання каландрових валків для підвищення ефективності та якості виробничого процесу полімерних матеріалів. У межах дослідження будуть розроблені та впроваджені нові конструктивні рішення та технічні параметри гідравлічної системи терморегулювання валків. Очікується, що запропоновані вдосконалення забезпечать більш точний контроль температури, стабільність термічного середовища та зменшення відхилень у якості полімерних виробів.

1. ОПИС КАЛАНДРА ДВОХВАЛКОВОГО ТА ЛІНІЇ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ГУМИ

Схема технологічної лінії з використанням двохвалкового каландра

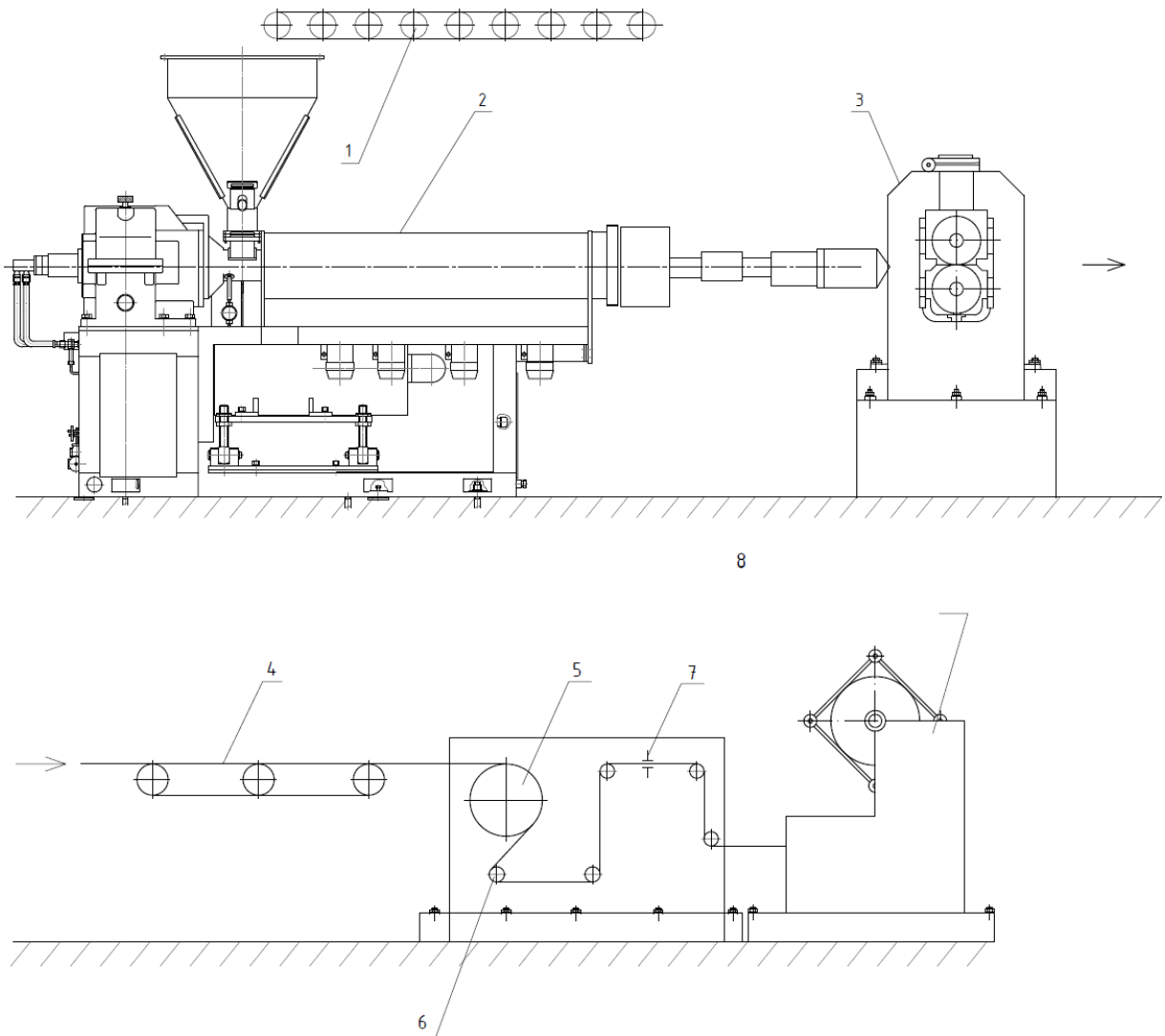


Рис 2.1. Схема лінії виробництва гумового листа на основі каландра

1 - транспортерна стрічка для завантажування, 2 - екструдер, 3 - транспортерна стрічка, 4 - двовалковий каландр, 5 – охолоджуючий валок, 6 - направляючий валок, 7 - вимірювач товщини, 8 - вузол намотування готового матеріалу.

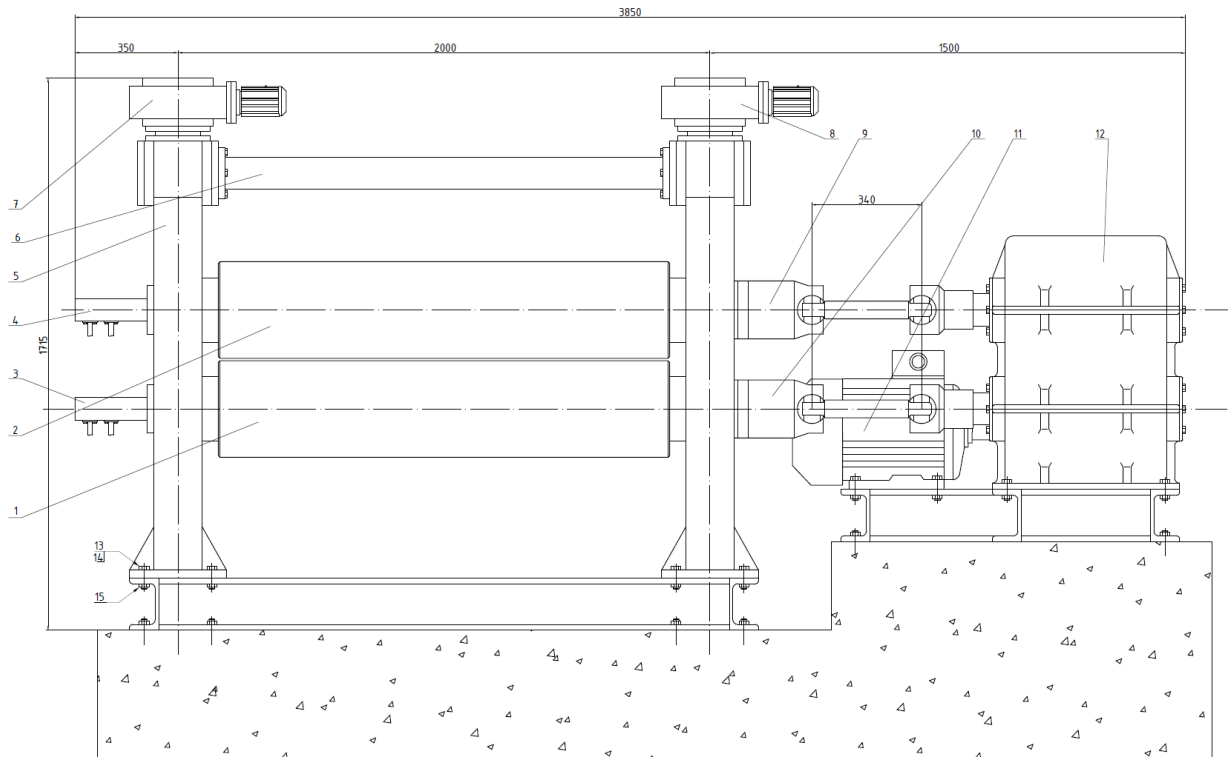


Рис 2.2. Загальний вид каландра

1,2 - валок; 3,4 - пристрій подачі теплоносія; 5 - станина; 6 - балка; 7,8 - редуктор механізму регулювання зазору; 9,10 - універсальний шпindel; 11 - електродвигун; 12 - корпус редуктора.

Основним робочим органом каландра є два валки (1, 2) діаметром 400 мм і робочою довжиною 1400 мм. Під час роботи валки нагріваються, тому для ефективного процесу необхідно відводити від них тепло. Для цього передбачені порожнини в середині валків, до яких підводиться теплоносій через пристрої підводу теплоносія (3, 4). Валки закріплені на станині (5). Редуктори (7 та 8) слугують приводом для механізму регулювання зазору, який змінює відстань між валками за допомогою гвинтового механізму. Універсальні шпинделі (9 та 10) забезпечують передачу крутного моменту з редуктора (12) на валки. Механізм приводиться в дію двигуном (11). Основою для каландра є стандартизовані швеллери, до яких машина кріпиться за допомогою болтів.

Основні параметри каландра:

- Діаметр валків: 300 мм

- Робоча довжина валків: 1400 мм
- Товщина листа: 0,5-25 мм
- Продуктивність: 3382 кг/год
- Споживана потужність: 164 кВт
- Фрикція: 1:1

Валки є основним робочим органом каландра і піддаються значним навантаженням. Вони порожнисті всередині та мають отвори на внутрішній поверхні для підведення охолоджуючої води. Робочі поверхні валків поліровані. Валки виготовляються з високоякісного чавуну, а в останні роки також використовують варіанти з канавками по периферії, що сприяють полегшенню нагріву зовнішньої поверхні, покращенню терморегуляції та зменшенню теплової інерції.

Канали рівномірно розташовані по колу на відстані 25-40 мм від поверхні валка. Діаметр каналів складає 25-40 мм. Збільшення швидкості руху теплоносія дозволяє значно підвищити коефіцієнт теплопередачі, що поліпшує умови теплообміну.

2. ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА КАЛАНДРА ДВОХВАЛКОВОГО

Технічна характеристика моделі двохвалкового для виробництва гумового, наведено в табл. 2.1.

Табл. 2.1

Технічна характеристика	Од.виміру	Значення
Довжина робочої частини валків	мм	1200
Діаметр валків	мм	400
Число валків	—	2
Колова швидкість валків	м/хв	20,72
Межі регулювання міжвалкового зазору	мм	0,5-25
Фрикція між валками	—	1:1
Потужність ел.двигуна приводу валків	кВт	200
Охолодження валків	—	вода
Габаритні розміри:		
— довжина	мм	3850
— ширина	мм	2000
— висота	мм	1715

3. ЛІТЕРАТУРНО - ПАТЕНТНИЙ ОГЛЯД

Метою даного розділу є проведення патентного пошуку відповідно до теми дипломного проекту та застосування отриманих результатів для розробки нової конструкції каландра. Літературно-патентний огляд виконано з метою модернізації гідросистеми терморегулювання валка.

В [4] представлено базові конструкції вузла, що розглядається. Проектування модернізованого вузла базується на моделі валка, наведеній на рис. 4.1.

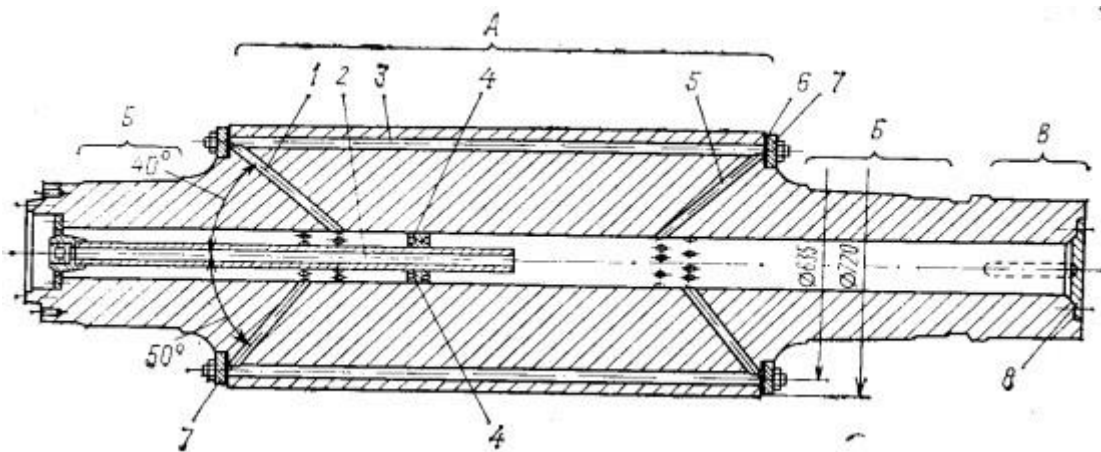


Рис. 4.1. Базова модель валка

В [1] описано сили, що діють на валок під час роботи, фактори що впливають на його міцність та жорсткість, методи компенсації прогину валка. Хоча мета роботи полягає у підвищенні ефективності терморегулювання валка, конструкція має зберігати свою працездатність, отже жорсткість як одну із її складових. Для надання валку необхідних параметрів жорсткості, було використано рекомендації [1].

В [18] представлено конструкцію терморегульованого валка, призначеного для рівномірного охолодження поверхні валка під час роботи. У пристрої передбачені окремі канали для циркуляції холодного теплоносія, що проходять всередині валка, а також елементи, що сприяють розподілу теплоносія по всій площі валка, запобігаючи перегріву окремих ділянок.

В [19] детально описано конструкцію валка для високотемпературної обробки матеріалів. Валок містить кілька внутрішніх каналів для циркуляції охолоджувального теплоносія, що підводиться до валка через регульовані отвори, які забезпечують безперервний потік теплоносія для рівномірного охолодження. Це підвищує міцність валка під час експлуатації.

В [20] розглянуто метод термообробки поверхні валка для обробки полімерних матеріалів. В описі зазначено, що конструкція валка включає систему охолодження із зовнішніми і внутрішніми каналами для теплоносія. Канали рівномірно розташовані вздовж всієї довжини валка, а конструкція забезпечує швидке охолодження обробленого матеріалу. Описану конструкцію показано на рис. 5.3.

В [21] представлено модернізований валок для регулювання температури з урахуванням складних умов обробки полімерів. Валок містить кілька каналів для підведення теплоносія, який спрямовується до робочої поверхні через систему отворів та радіальних каналів, розташованих у центральній частині валка. Цей дизайн покращує теплообмін і забезпечує рівномірну температуру робочої поверхні.

Патент [22] описує валок для термообробки, оснащений спіралеподібними каналами, що спрямовують теплоносій до поверхні для рівномірного розподілу температури. Така конструкція дозволяє уникнути перегрівання поверхні валка та забезпечує ефективне охолодження або нагрівання обробленого матеріалу.

В [23] розглянуто конструкцію валка для охолодження полімерних матеріалів, у якому канали для теплоносія розташовані на периферії та в центральній частині валка. Це сприяє ефективному охолодженню навіть при високих навантаженнях та високих температурах.

4. ОБГРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ

Після проведення патентного огляду, найбільш перспективним для модернізації виявився патент UA№101025. Корисна модель пропонує замінити периферійні канали, які мають круглу форму поперечного перерізу на канали, що мають форму прямокутника в поперечному перерізі. Також, рішення передбачає виконання робочої поверхні валка – обечайки окремою деталлю. Таким чином її можна виготовити з матеріалу, відмінного від матеріалу бочки валка. Це здешевшує виготовлення виробу у разі необхідності виконання робочої поверхні з матеріалів з високими характеристиками. Крім цього, така конструкція спрощує виконання периферійних каналів, оскільки дає можливість виготовити їх шляхом фрезерування, позбавляючи необхідність свердлити канали, що є проблематичною задачею, особливо при великих довжинах валка. Креслення модернізованого вузла представлено на рисунку 4.1

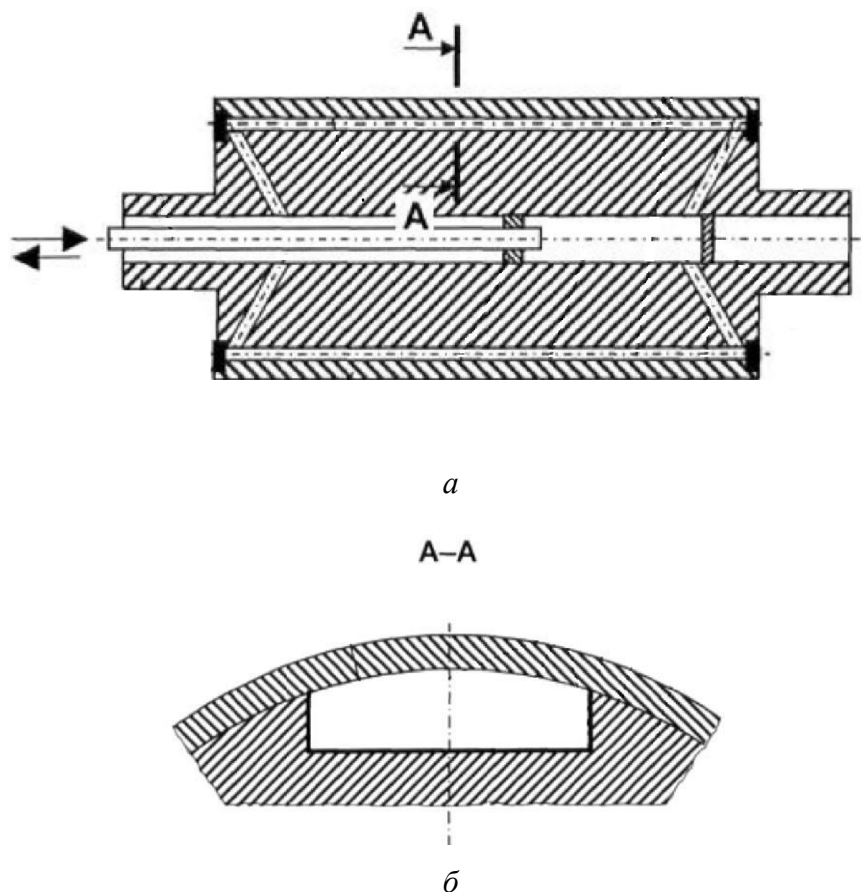


Рисунок 4.1 – креслення модернізованого вузла: *а* – поздовжній переріз валка; *б* – розріз А-А

Друга модернізація представляє собою власну розробку, яка являє розвиток ідеї вищеописаного патенту і вирішує задачу підвищення енергоефективності валка. Поставлена задача досягається за допомогою використання термоізолюючої проставки, виконаної з полімеру, армованого вуглецевим волокном. Така конструкція зменшує нагрівання теплоносія до його потрапляння в робочу зону. Креслення конструкції представлено на рисунку 4.2

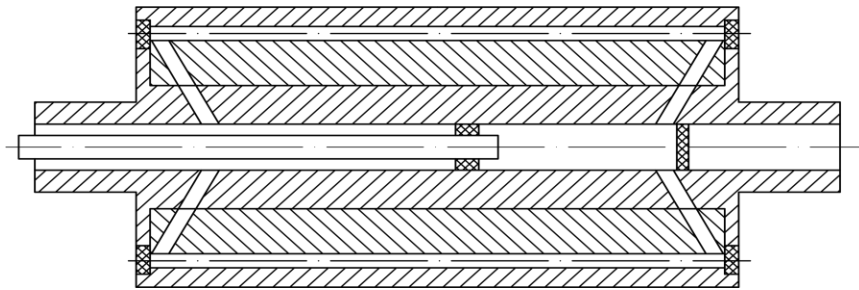


Рисунок 4.2 – Креслення запропонованої конструкції

За результатами проектування було подано заявку на отримання патенту на корисну модель. Таким чином, обрані модернізації вирішують проблеми складності та дороговизни виготовлення валка, а також підвищують ефективність охолодження валка.

5. РОЗРАХУНКИ

5.1. Параметричні розрахунки

Задані параметри:

- Діаметр валків

Для розрахунку продуктивності використана методика [1]

Вагова продуктивність

$$G = 60 \cdot v \cdot F \cdot \rho \cdot \alpha = 60 \cdot 27,63 \cdot 0,0024 \cdot 1000 \cdot 0,85 = 3381,91 \text{ кг/год}$$

$\rho = 1000$ – густина матеріалу, кг/м^3 ; $\alpha = 0,85$ – коефіцієнт використання машинного часу, v – швидкість виходу полотна

$$v = \pi \cdot D \cdot n = 3,14 \cdot 0,4 \cdot 22 = 27,63 \text{ м/хв};$$

де $D = 0,3$ – діаметр валка, м; $n = 22$ – частота обертання валка, об/хв;

F – площа поперечного перерізу гумової стрічки в міжвалковому зазорі

$$F = h \cdot b = 0,002 \cdot 1,2 = 0,0024 \text{ м}^2$$

де $h = 0,002$ – величина зазору між валками, м; $b = 1,2$ – ширина полотна, м;

5.2 Розрахунок розпірних зусиль між валками каландра і технологічної потужності, вибір двигуна

Для розрахунків використана методика [1]

Величина зазору

$$h_k = \frac{t_{пл}}{\delta_1} = \frac{15}{1,22} = 12,95 \text{ мм}$$

Де $t_{пл} = 15$ – товщина каландрованого листа, мм;

$\delta_1 = 1,22$ – коефіцієнт

Параметр Δ

$$\Delta = 1 + \frac{2R}{h_k} (1 - \cos \alpha) = 1 + \frac{2 \cdot 200}{12,95} (1 - 0,38) = 20$$

Де α – кут захвату,

$$\cos \alpha = 1 - \frac{9,5}{R} h_k = 1 - \frac{9,5}{200} 12,95 = 0,38$$

Розпірне зусилля

$$\begin{aligned} P &= \frac{3k\alpha_{\text{еф}}^n \vartheta^n (1+f)RLB}{8\alpha_{\text{еф}} h_k} \\ &= \frac{3 \cdot 1,55 \cdot 4,37^{0,36} \cdot 0,34^{0,36} (1+1) \cdot 20 \cdot 120 \cdot 2,776}{8 \cdot 0,41 \cdot 0,123} \\ &= 177016 \text{ Н} \end{aligned}$$

Де $k = 1,55$ – реологічна константа;

$n = 0,36$ – безрозмірний коефіцієнт, індекс течії;

$T = 0,781$ – коефіцієнт;

$B = 2,776$ – коефіцієнт;

$$\alpha_{\text{еф}} = \frac{3(1+f)T}{2h_k\sqrt{\Delta-1}} = \frac{3(1+1)0,781}{2 \cdot 1,295\sqrt{20-1}} = 0,41$$

$v_1 = 21 \text{ м/хв} = 0,34 \text{ м/с}$ – швидкість обертання валка

$f = 1$ – фрикція

$L = 120$ робоча довжина валка

Крутний момент

$$\begin{aligned} M_1 &= \frac{3C_2 k \cdot \alpha_{\text{еф}}^n \vartheta^n (1+f)R\sqrt{RL}}{\alpha_{\text{еф}} \sqrt{h_k}} \\ &= \frac{3 \cdot 0,423 \cdot 1,55 \cdot 4,36^{0,36} \cdot 0,34^{0,36} \cdot (1+2) \cdot 20 \cdot \sqrt{20} \cdot 120}{3,27\sqrt{0,123}} \\ &= 284497 \text{ Н} \cdot \text{м} \end{aligned}$$

де $C_2 = 0,423$ – коефіцієнт;

$$\alpha_{\text{еф}2} = \frac{(1+f)T_2}{h_k\sqrt{\Delta-1}} = \frac{(1+1)1,169}{0,164\sqrt{20-1}} = 3,27$$

$T_2 = 1,169$

Потужність на валках

$$N_1 = \frac{M \cdot v}{R} = \frac{284497 \cdot 0,34}{6120 \cdot 0,2} = 79,03 \text{ кВт}$$

$$N_2 = N_1 = 79,03 \text{ кВт}$$

Сумарна технологічна потужність

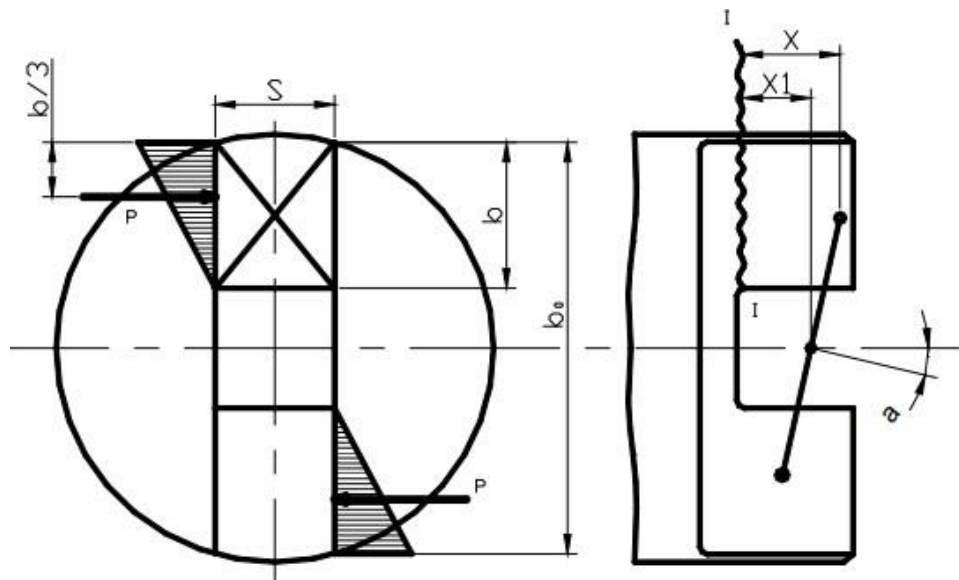
$$N_c = \sum N_i = 79,03 + 79,03 = 158,06 \text{ кВт}$$

Обрано електродвигун 4АМ315М4 з потужністю 200 кВт та частотою обертання 1500 об/хв, із ККД 94%.

Висновок: Визначено зусилля розпору в міжвалковому зазорі, яке становить 1777016 Нм; виконано розрахунок крутного моменту на валках, що склав 284497 Н·м. Крім того, обчислено необхідну потужність двигуна та обрано двигун із врахуванням запасу потужності.

5.3. Розрахунки на міцність

Вилка розрахована за методикою [2]



Крутний момент дорівнює:

$$M_{кр} = 9550 \frac{N}{n} = 9550 \cdot \frac{200}{22} = 86818 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Де $N = 200$ кВт – потужність електродвигуна;

$n = 22$ об/хв – частота обертання карданного вала.

Сила, яку сприймає шарнір:

$$P_{\text{ш}} = \frac{M_{\text{кр}}}{2R} = \frac{86818}{0,3} = 289393 \text{ Н}$$

Де $2R = 0,3$ м – відстань між серединами цапф хрестовини

Згинальний момент в небезпечному перерізі вилки:

$$M_{\text{зг}} = P_{\text{ш}} \cdot l = 289393 \cdot 0,1 = 28939 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

де $l = 0,1$ – плече згину

Напруження згину в цьому перерізі розраховується за формулою:

$$\sigma_{\text{зг}} = \frac{M_{\text{зг}}}{W_I} = \frac{28939}{324 \cdot 10^{-6}} = 89,3 \text{ МПа}$$

де W_I – момент опору згину небезпечного перерізу:

$$W_I = \frac{bh^2}{6} = \frac{0,06 \cdot 0,18^2}{6} = 324 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

$b = 0,06$ м; $h = 0,18$ м – геометричні розміри перерізу

$[\sigma]_{\text{зг}} = 200$ МПа – допустиме напруження згину для матеріалу вилки – сталь 45.

Умова міцності виконується: $\sigma_{\text{зг}} < [\sigma]_{\text{зг}}$.

Згинальний момент, що прикладений в площині вилки на ведучому валу, який зумовлено нахилом осей валів

$$M_{\text{зг}} = M_{\text{кр}} \cdot \text{tg} \gamma = 86818 \cdot \text{tg} 15^\circ = 23263 \text{ Нм}$$

де $\gamma = 15^\circ$ - кут нахилу осей валів

Напруження згину в перерізі вилки на ведучому валу

$$\sigma_{зг} = \frac{M_{зг}}{W_{II}} = \frac{23263}{518 \cdot 10^{-6}} = 45 \text{ МПа}$$

$$W_{II} = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32 \cdot D} = \frac{3,14(0,18^4 - 0,1^4)}{32 \cdot 0,18} = 518 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

де $D = 0,18 \text{ м}$ – зовнішній діаметр вилки в цьому перерізі;

$d = 0,1 \text{ м}$ – внутрішній діаметр вилки в цьому перерізі;

Напруження кручення в даному перерізі дорівнює

$$\tau = \frac{M_{кр}}{W_{\rho}} = \frac{86818}{1035 \cdot 10^{-6}} = 83 \text{ МПа}$$

де W_{ρ} – полярний момент опору

$$W_{\rho} = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{16 \cdot D} = \frac{3,14(0,18^4 - 0,1^4)}{16 \cdot 0,18} = 1035 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

Еквівалентне напруження

$$\sigma_{екв} = \sqrt{\sigma_{зг}^2 + 3\tau^2} = \sqrt{45^2 + 3 \cdot 83^2} = 150 \text{ МПа}$$

$[\sigma]_p = 165 \text{ МПа}$ – допустиме напруження розтягу для матеріалу вилки - сталь 45.

Умова міцності виконується: $[\sigma]_{екв} < \sigma_p$.

Всі умови міцності виконуються. Розрахована конструкція вилки працездатна.

Хрестовина розрахована за методикою [2]

Напруження згину в перерізі шипа

$$\sigma = \frac{M_{зг}}{W} = \frac{28939}{169 \cdot 10^{-6}} = 171 \text{ МПа}$$

де $M_{зг}$ – згинаючий момент в небезпечному перерізі шипа

$$M_{зг} = P \cdot l = 289393 \cdot 0,1 = 28939 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

де $P = 289393$ – сила, що діє на хрестовину

$l = 0,1$ – плече дії сили

W – момент опору згину

$$W = \frac{\pi d^3}{32} = \frac{3,14 \cdot 0,12^3}{32} = 169 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

де $d = 0,12$ м – діаметр шипа

$[\sigma]_{\text{зг}} = 200$ МПа – допустиме напруження згину для матеріалу шипа – сталь 45.

Умова міцності виконується: $\sigma_{\text{зг}} < [\sigma]_{\text{зг}}$.

На шип хрестовини діють зусилля зрізу

$$\tau_{\text{зр}} = \frac{4P}{F} = \frac{4 \cdot 289393}{0,0452} = 25 \text{ МПа}$$

де F - площа зрізу

$$F = \pi d^2 = 3,14 \cdot 0,12^2 = 0,0452 \text{ м}^2$$

$[\tau]_{\text{зр}} = 75$ МПа – допустиме напруження зрізу для сталі 45.

Умова міцності виконується: $\tau_{\text{зр}} < [\tau]_{\text{зр}}$. Розрахована конструкція хрестовини працездатна

Шпонка розрахована за методикою [2]

Обрано розміри призматичної шпонки і пазу для неї:

$d=150$ мм, $b=32$ мм, $h=18$ мм, $t_1=11$ мм, $t_2=7,4$ мм, $l=160$ мм.

Шпонка перевіряється на зминання виконанням умови:

$$\sigma_{\text{зм}} = \frac{M}{0,25 \cdot z \cdot b \cdot l_p \cdot d} = \frac{86818}{0,25 \cdot 1 \cdot 0,032 \cdot 0,16 \cdot 0,15} = 452 > [\tau]_{\text{зр}} = 210 \text{ МПа}$$

Умова не виконується.

Прийнято рішення застосувати 3 шпонки під кутом 120°

Шпонка повторно перевіряється на зминання

$$\sigma_{зм} = \frac{M}{0,25 \cdot z \cdot b \cdot l_p \cdot d} = \frac{86818}{0,25 \cdot 3 \cdot 0,032 \cdot 0,16 \cdot 0,15} = 150 \leq [\tau]_{зр} = 210 \text{ МПа}$$

При застосуванні трьох призматичних шпонок умова виконується

Аналогічно проводиться перевірка шпонки на зріз:

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \cdot M}{z \cdot b \cdot l_p \cdot d} = \frac{2 \cdot 86818}{3 \cdot 0,032 \cdot 0,16 \cdot 0,15} = 75 \leq [\sigma]_{зм} = 75 \text{ МПа}$$

Умова виконується. Розрахована конструкція шпонки працездатна

Шліци розраховано за методикою [2]

Шліци універсального шпинделя розраховують з умови міцності при зминанні

$$\sigma_{зм} = \frac{M}{\psi \cdot z \cdot h \cdot l \cdot r_{сер}} = \frac{86818}{0,75 \cdot 20 \cdot 0,013 \cdot 0,05 \cdot 0,13} = 68 \text{ МПа}$$

$[\sigma]_{зм} = 120 \text{ МПа}$ – допустиме напруження на зминання для нерухомого

з'єднання. $\sigma_{зм} < [\sigma]_{зм}$.

де $M = 86818 \text{ Нм}$ – крутний момент на карданному валу;

$\psi = 0,75$ – коефіцієнт, який враховує нерівномірність розподілення

навантаження по зубцях;

$z = 20$ – число зубців;

$l = 0,05$ – робоча довжина зуба вздовж осі вала;

h – робоча висота контактуючих зубців в радіальному напрямку.

$$h = \frac{D - d}{2} = \frac{0,125 - 0,112}{2} = 0,013 \text{ м}$$

$D = 0,125$ м – зовнішній діаметр виступів;

$d = 0,112$ м – внутрішній діаметр;

$r_{\text{сер}}$ – середній радіус, тобто відстань від осі обертання вала до середини висоти зуба;

$$r_{\text{сер}} = \frac{h \cdot z}{2} = \frac{0,013 \cdot 20}{2} = 0,13$$

Розрахована конструкція шліців універсального шпинделя працездатна.

5.4 Розрахунок прогину валка

Валок було розраховано на жорсткість під дією розпірних зусиль (рис.5.4.1). На рис. 5.4.2 показано загальну картину прогину; на рис 5.4.3 продемонстровано графік залежності прогину від довжини валка.

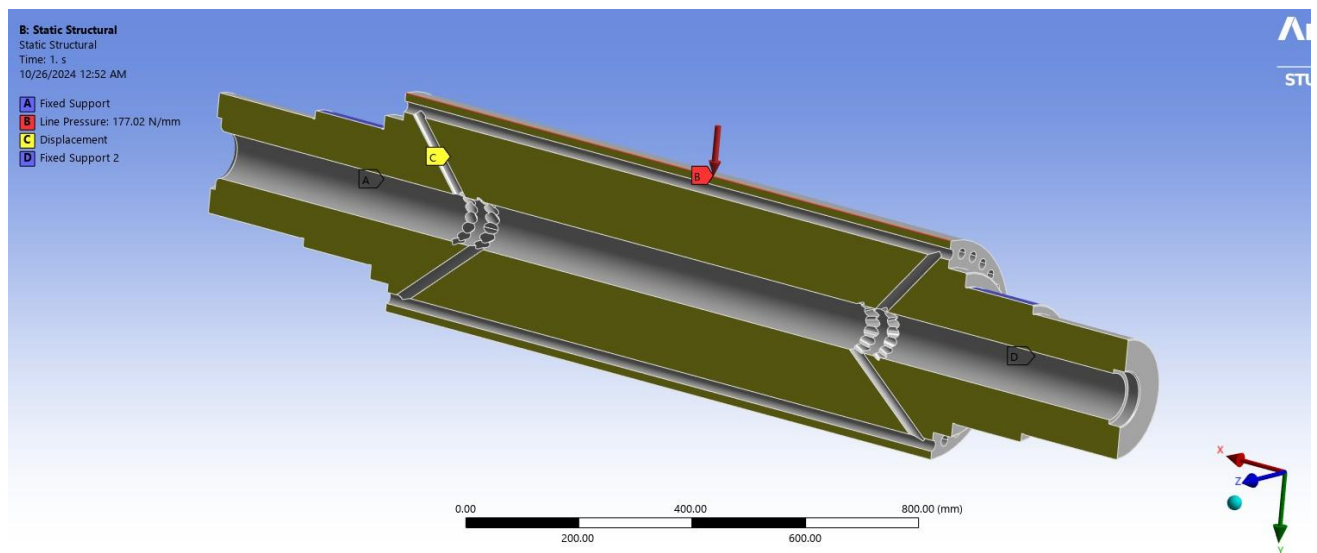


Рис. 5.4.2. Схема навантажень і закріплень

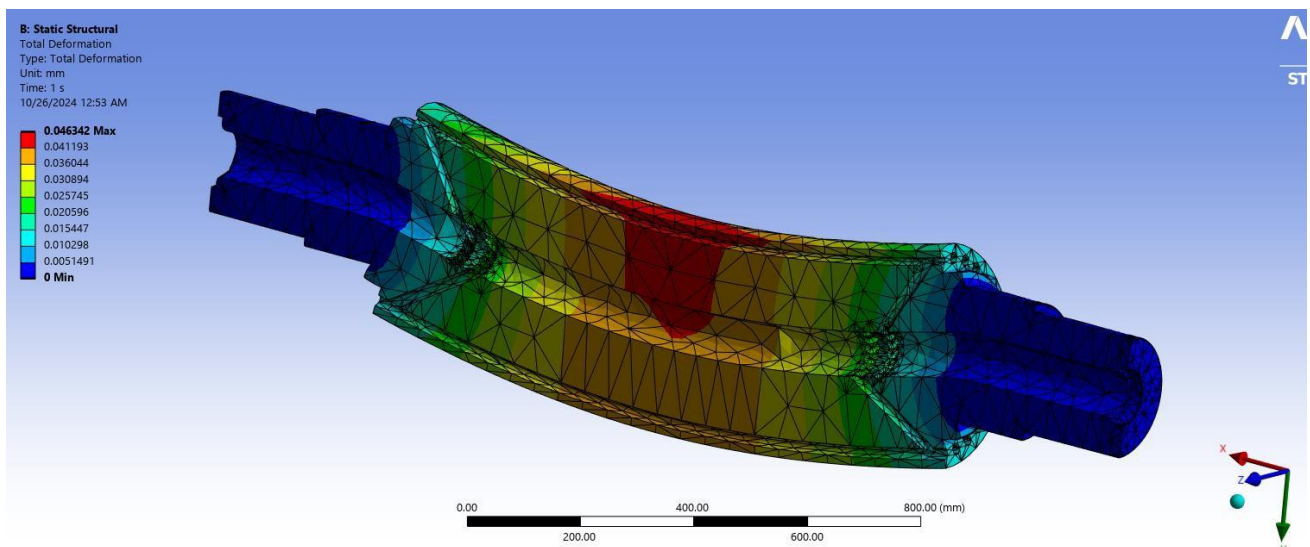


Рис. 5.4.2. Розподіл деформацій в тілі валка

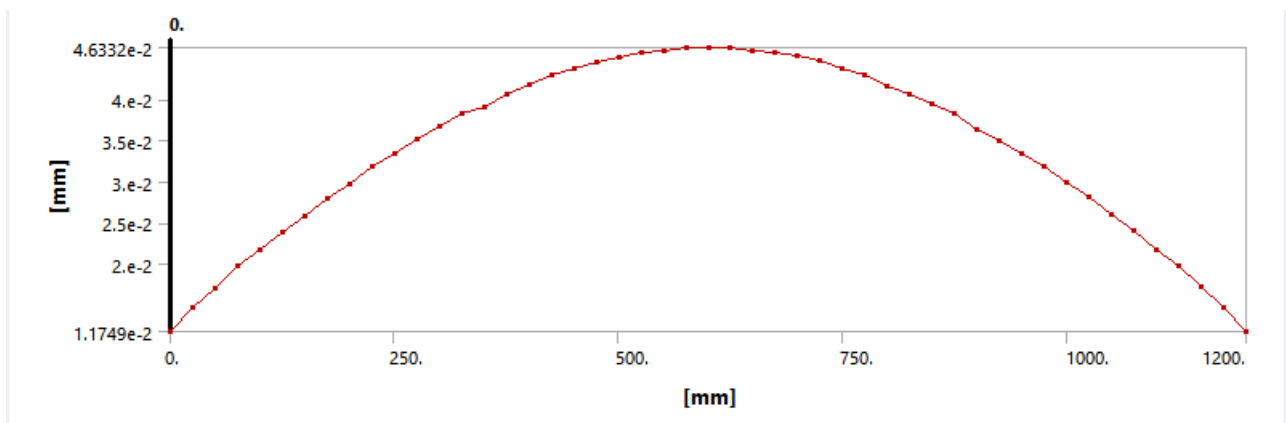


Рис. 5.4.3. Графік залежності прогину від довжини

Модернізований валок за модернізацією 1 було розраховано на жорсткість під дією розпірних зусиль (рис.5.4.4). На рис. 5.4.5 показано загальну картину прогину; на рис 5.4.6 продемонстровано графік залежності прогину від довжини валка.

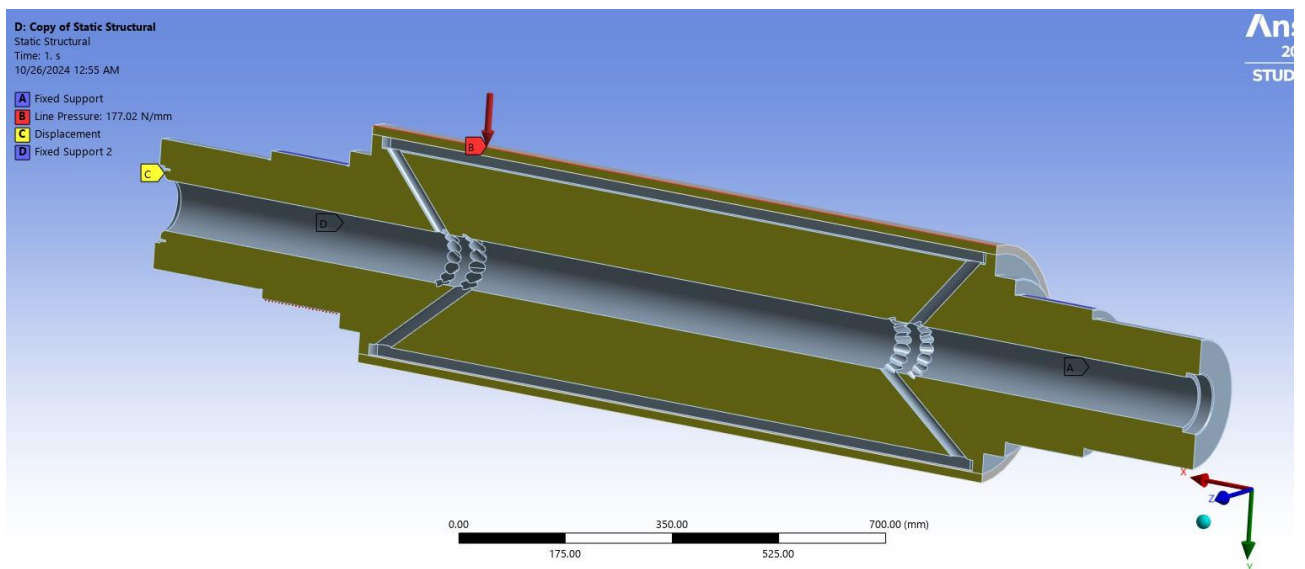


Рис. 5.4.4. Схема навантажень і закріплень

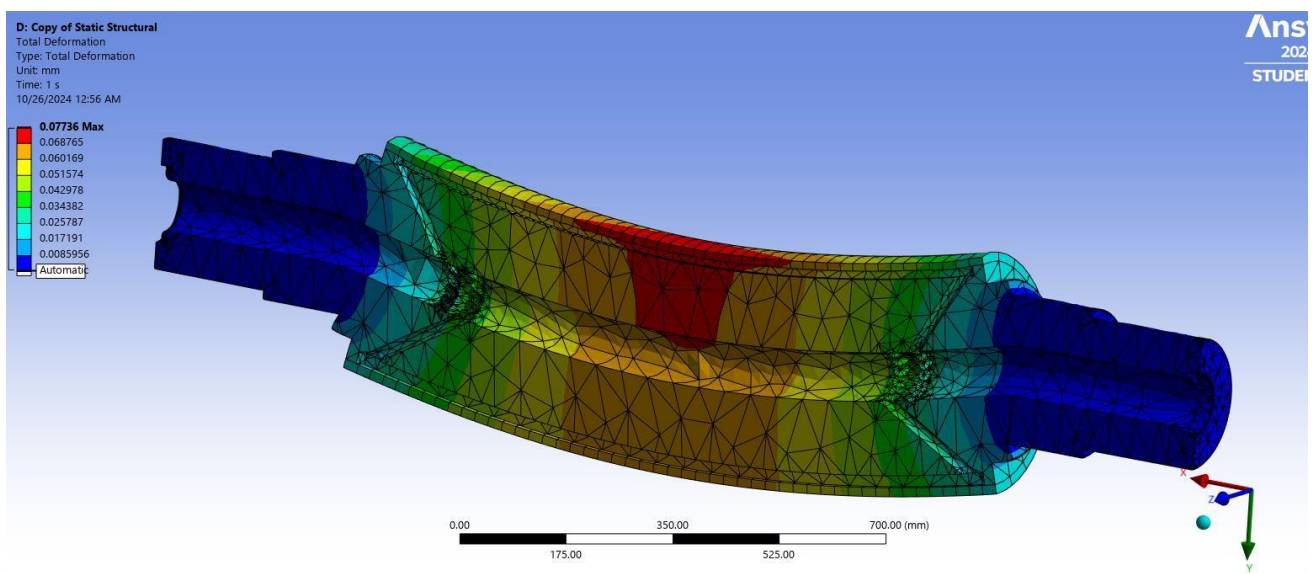


Рис. 5.4.5. Розподіл деформацій в тілі валка

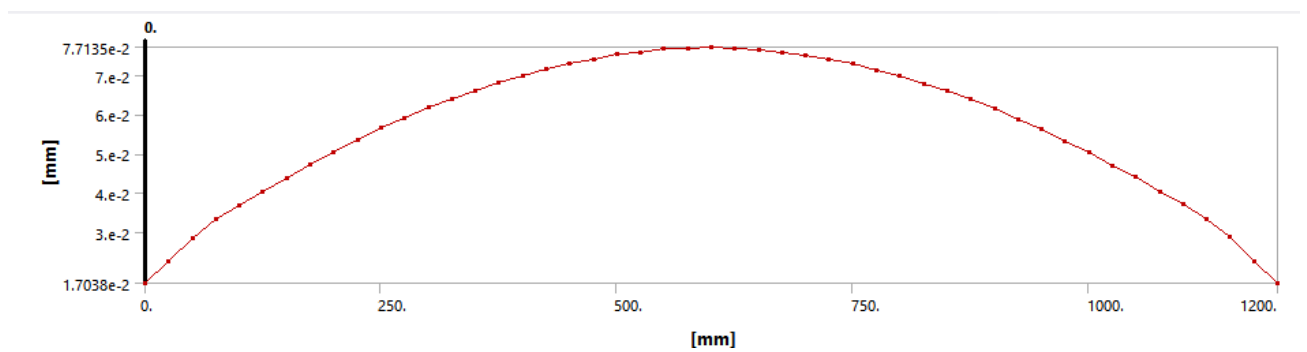


Рис. 5.4.6 Графік залежності прогину від довжини

Модернізований валок за власною конструкцією було розраховано на жорсткість під дією розпирних зусиль (рис.5.4.7). На рис. 5.4.8 показано загальну картину прогину; на рис 5.4.9 продемонстровано графік залежності прогину від довжини валка.

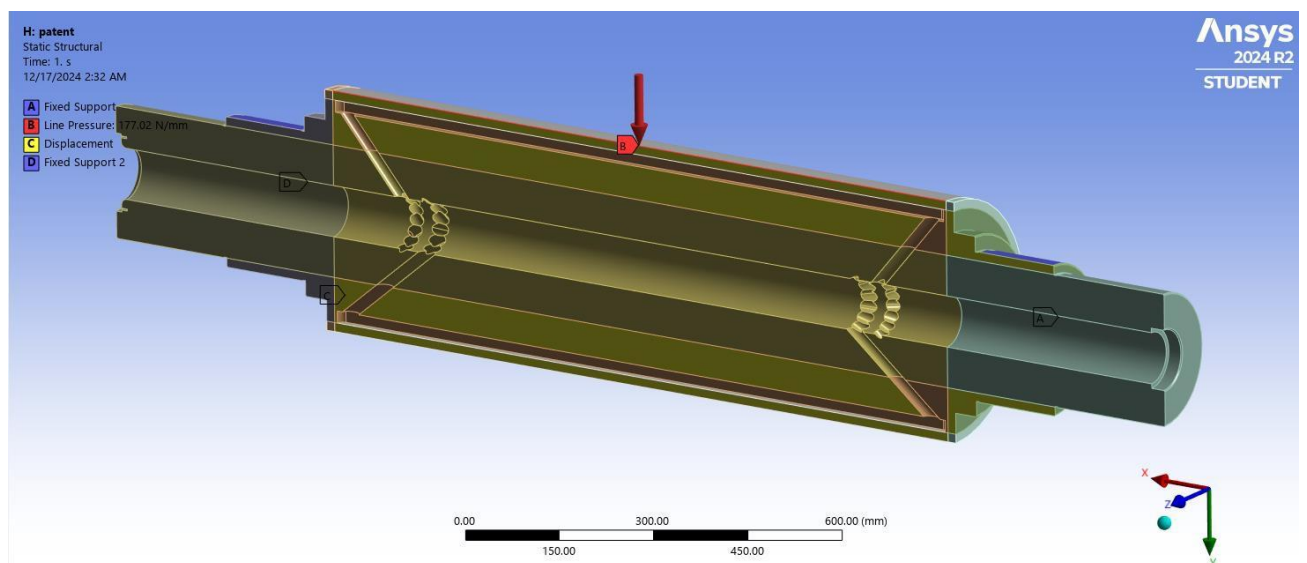


Рис. 5.4.7. Схема навантажень і закріплень

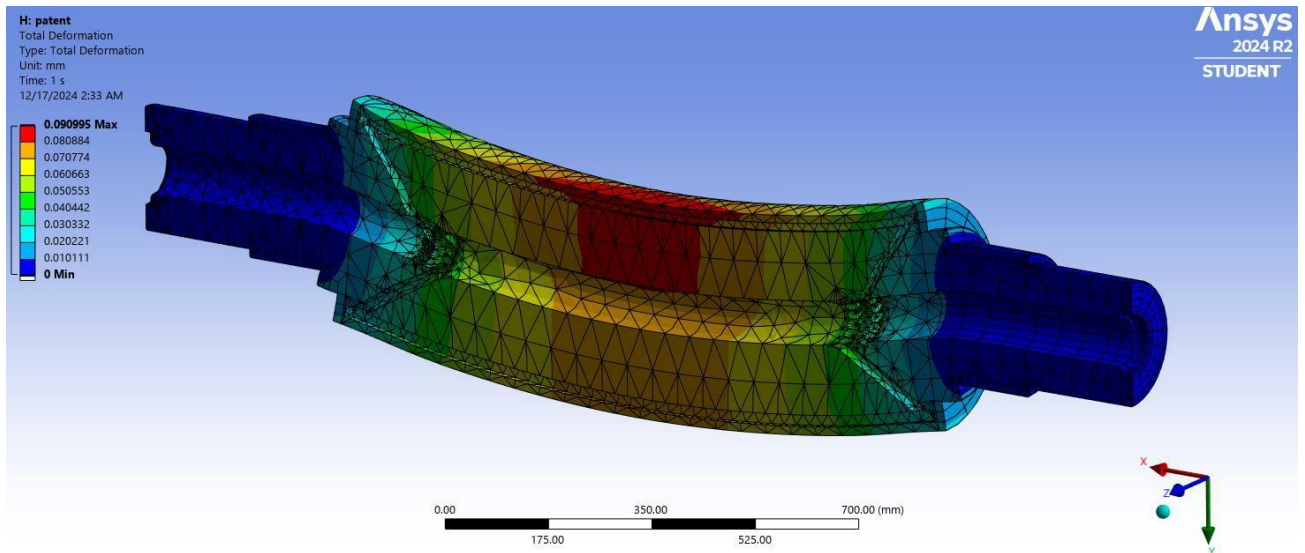


Рис. 5.4.8. Розподіл деформацій в тілі валка

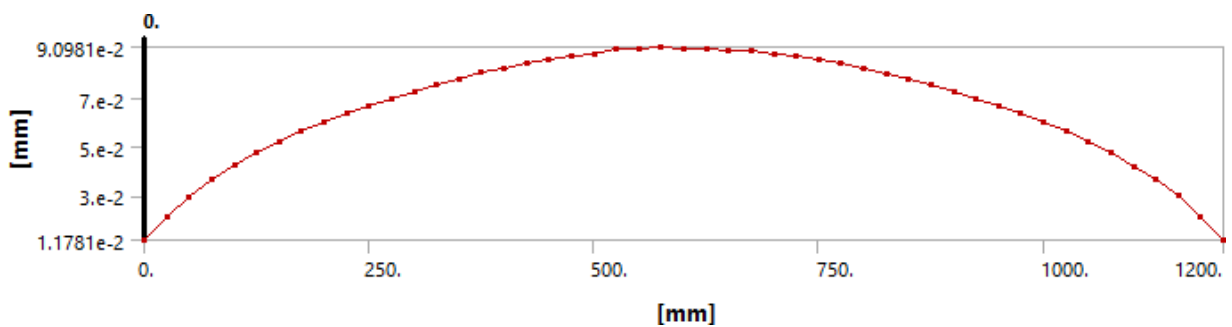


Рис. 5.4.9 Графік залежності прогину від довжини

Висновок: значення прогину залишаються в допустимих межах.

5.5 Тепловий розрахунок

Мета розрахунку – визначити вплив модернізації на ефективність охолодження валка. Було розраховано динамічну задачу охолодження з температурою на поверхні валка 200 °C, температурою теплоносія на вході 20 °C. Після чого аналізовано поздовжній переріз валка.

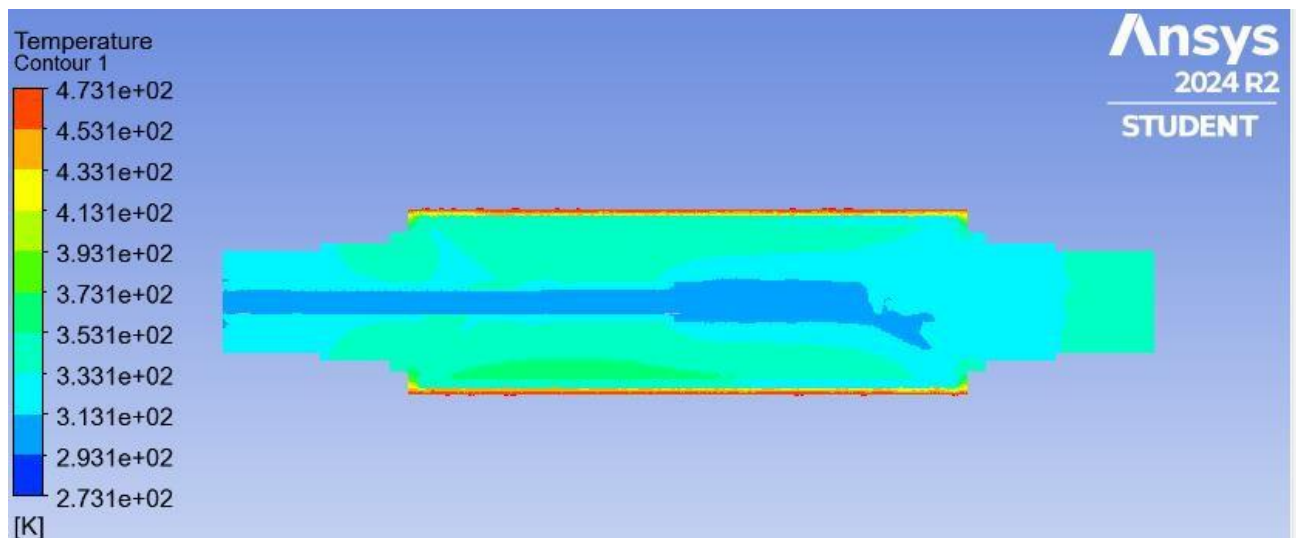


Рис. 5.5.1. Розподіл температур в тілі базового валка

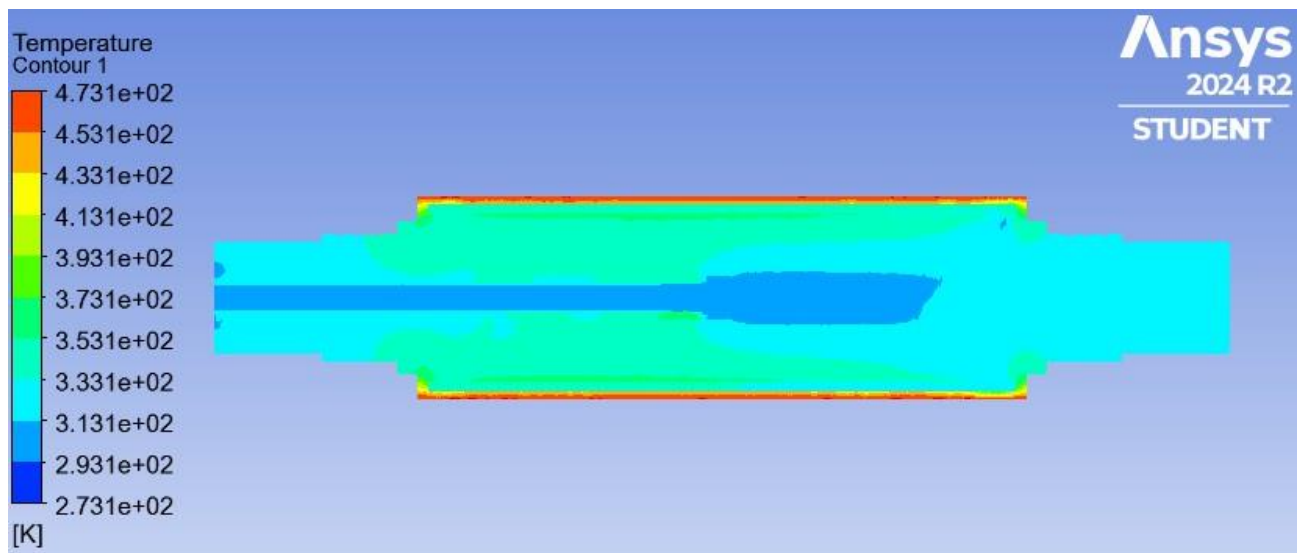


Рис. 5.5.1. Розподіл температур в тілі модернізованого за патентом валка\

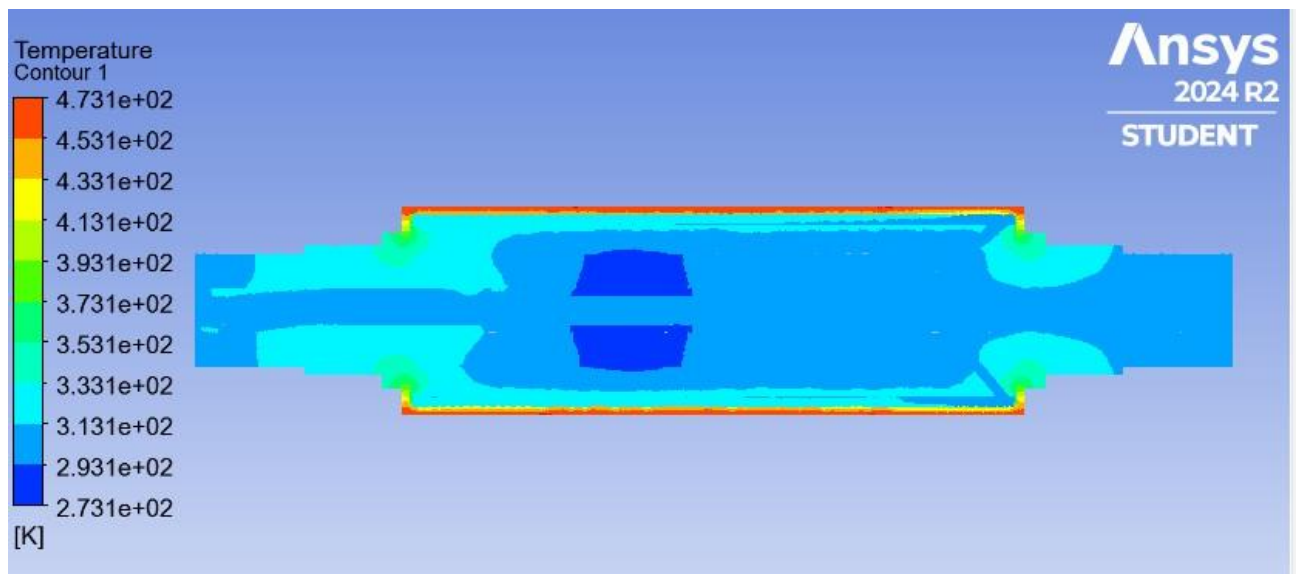
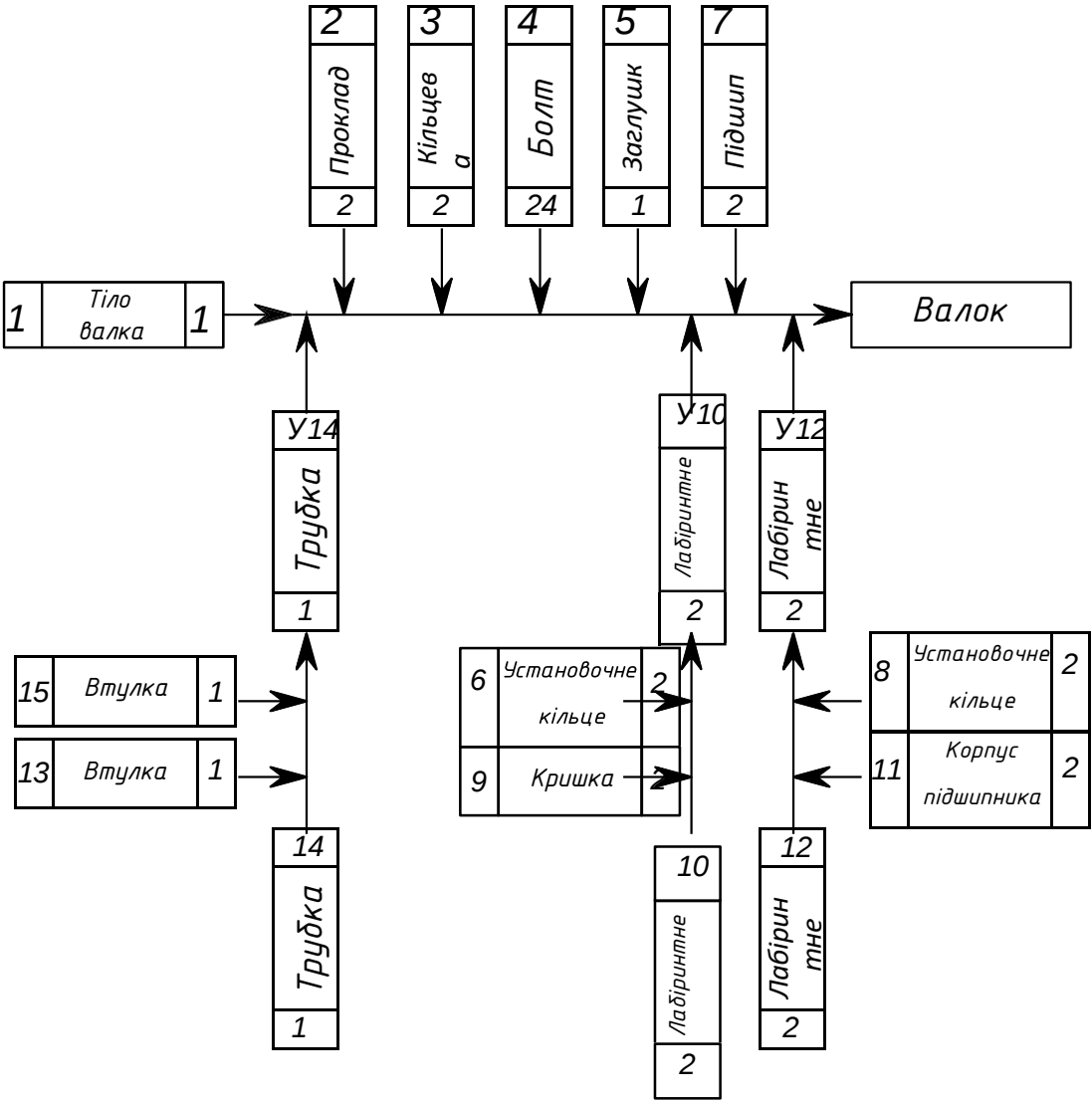


Рис. 5.5.1. Розподіл температур в тілі валка з теплоізолюючою проставкою

Висновок: базовий і модернізований валок мають співставний розподіл температур, тоді як результати розрахунку валка з теплоізолюючою проставкою показують покращення.

6. СПЕЦІАЛЬНІ РОЗДІЛИ

6.1 Монтаж і експлуатація

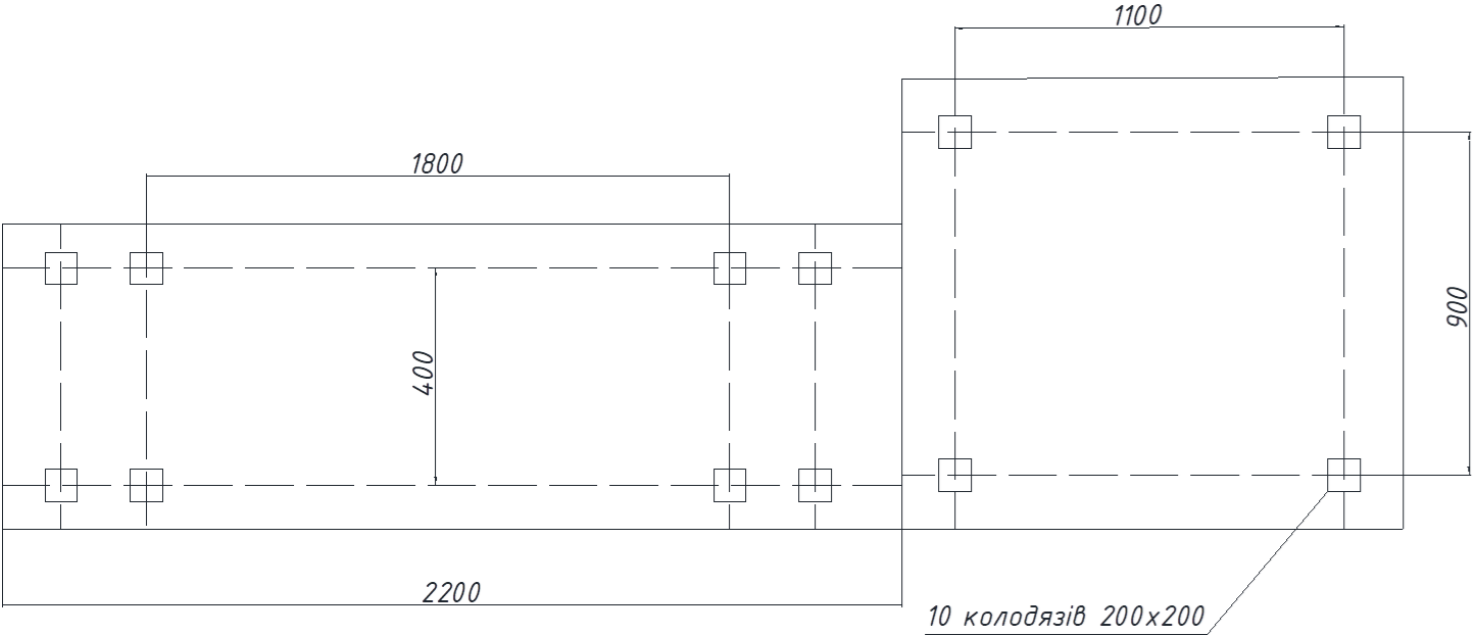


Инв. №дубл.		Підпис і дата		Взам. інв.№		Инв. №дубл.		Підпис і дата								
				Операційна карта слюсарно-складальних робіт												
№ цеха	№ участ	№ опер	Найменування операції							Обладнання						
			Збирання валка													
№ перех	Зміст переходу									Технологіч- ний режим	К-сть	Пристосування		Інструмент		То, хв.
1.	Одягнути трубку 14 на втулки 13 і 15.									Трубка 14		Гідравлічний прес				
	Вузол трубки У14 запресувати в центральний канал валка через передню									Втулка 13						
	сторону валка									Втулка 15						
2.	На тіло валка 1 встановити прокладки 2 і кільцеві заглушки 3 та згвинтити їх									Прокладка 2				Ключ гайковий S=13		
	болтами 4 до упору. Встановити заглушку 5 в задній торець валка.									Кільцева заглушка 3						
										Болт 4						
										Заглушка 5						
3.	Лабіринтне кільце 10 з'єднати з кришкою 9 та установочним кільцем 6									Лабіринтне кільце 10		Гідравлічний прес				
	Вузол У10 запресувати на посадку на тілі валка 1 з двох сторін за місцем.									Кришка 9						
										Установочне кільце 6						
4.	Запресувати підшипник 7 з двох сторін за місцем									Підшипник 7		Гідравлічний прес				
											Розробив				Лист	
												Керівник				Лист
	ізм	Лист	№докум	Підпис	Дата	ізм	Лист	№докум	Підпис	Дата	Затвердив					

[illegible]

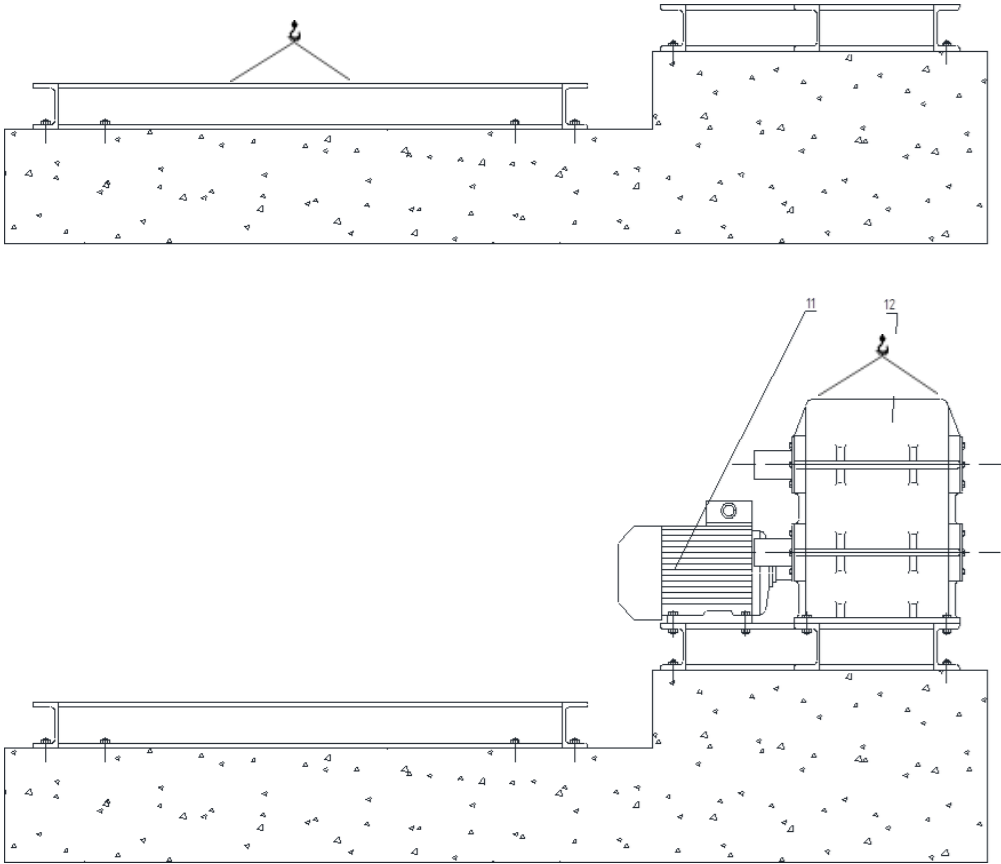
Номер операції	Карта ескізів		

План розміщення фундаментних колодязів



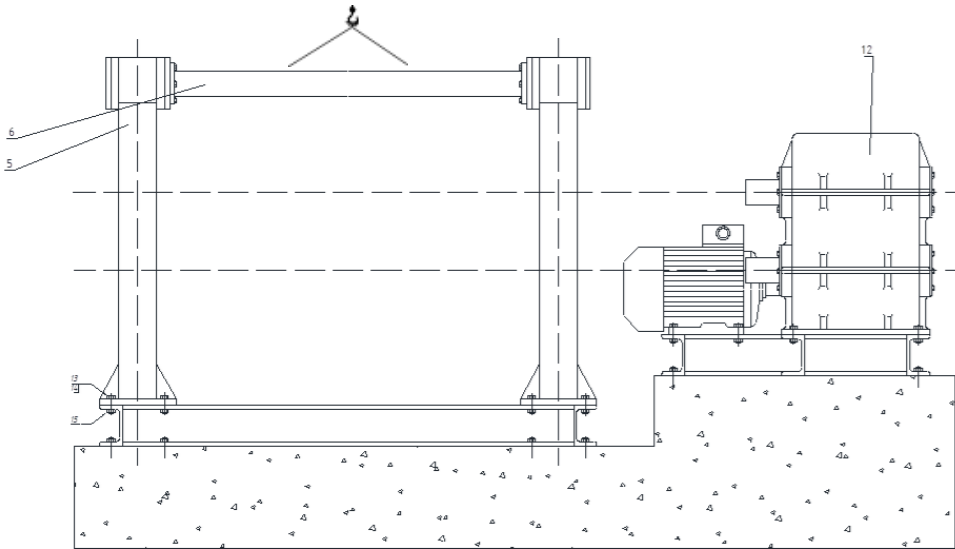
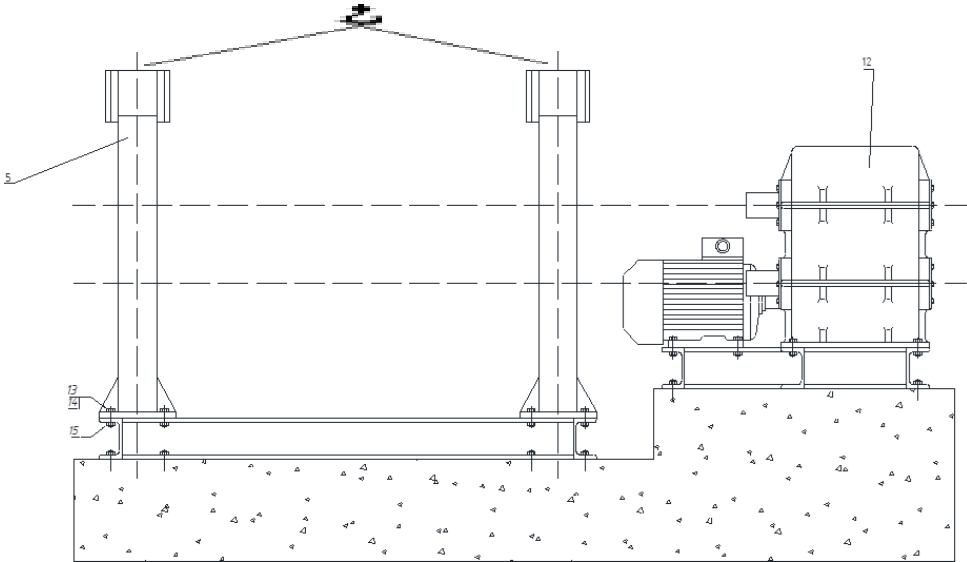
											Розробив	Халімонов С.В			Лист
											Керівник	Сідоров Д.Е.			Лист
											Затвердив	Борщик С.О.			
Ізм	Лист	№докум	Підпис	Дата	Ізм	Лист	№докум	Підпис	Дата	Н.контр					

Номер операції	Карта ескізів		
1-3			



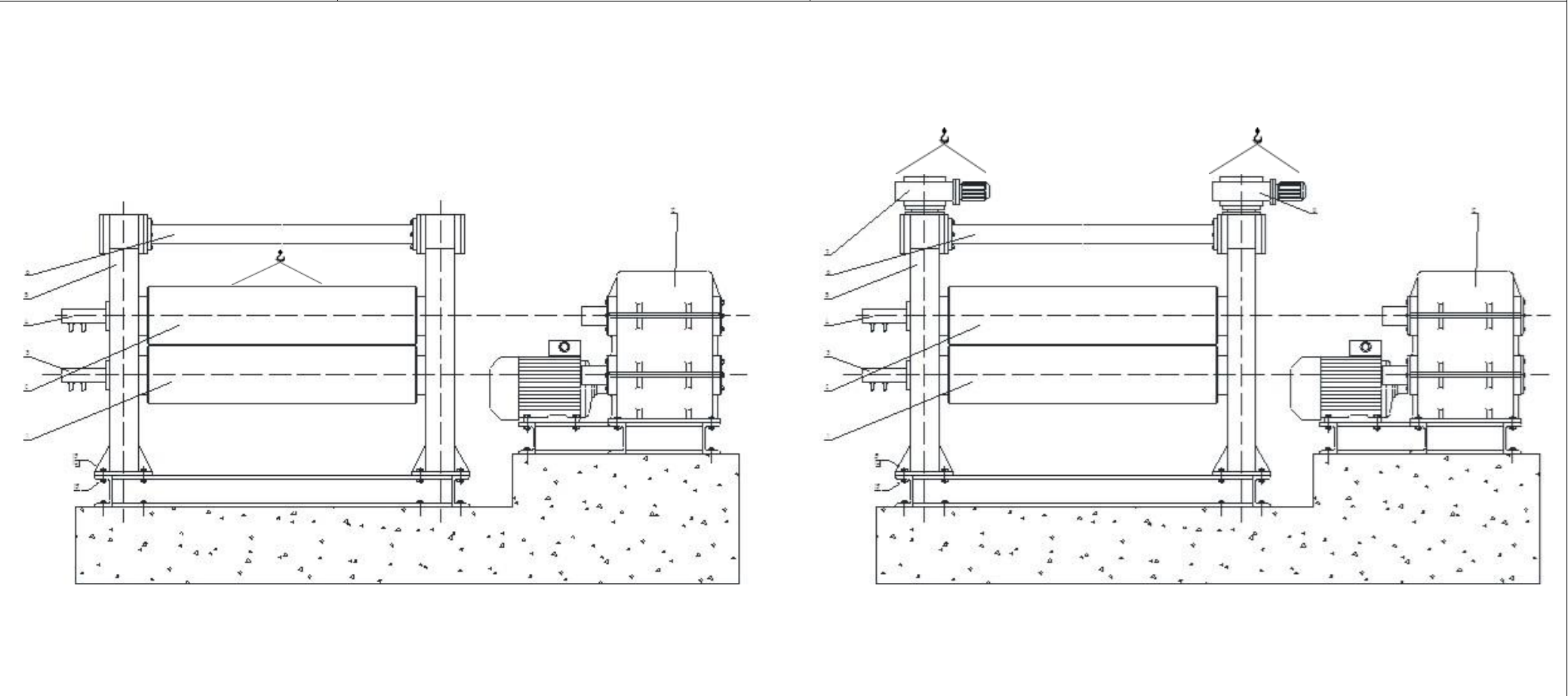
											Розробив	Халімонов С.В			Лист
											Керівник	Сідоров Д.Е.			Лист
											Затвердив	Борщик С.О.			
Ізм	Лист	№докум	Підпис	Дата	Ізм	Лист	№докум	Підпис	Дата	Н.контр					

Номер операції	Карта ескізів		
4-5			



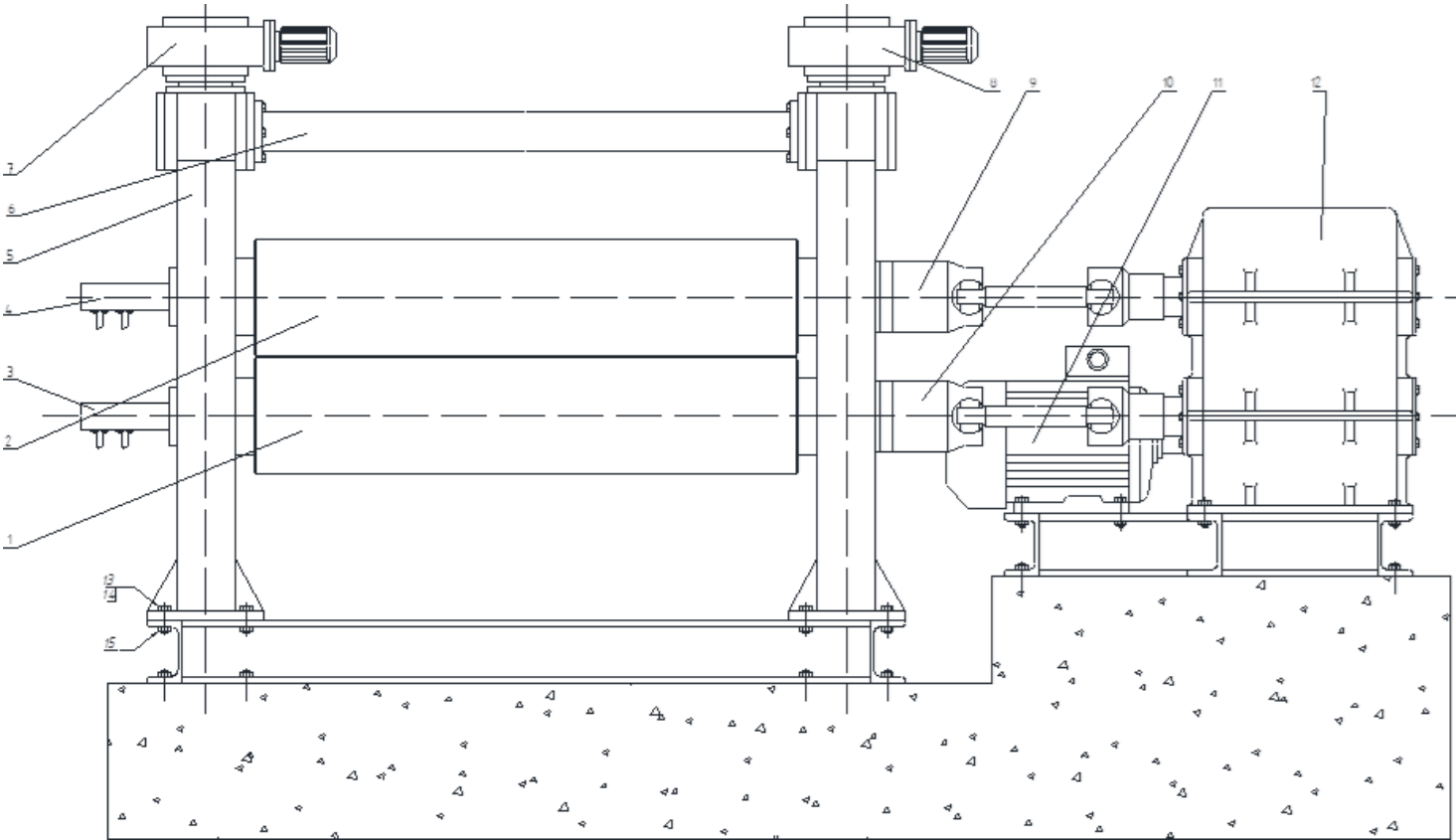
											Розробив	Халімонов С.В			Лист
											Керівник	Сідоров Д.Е.			Лист
											Затвердив	Борщик С.О.			
Ізм	Лист	№докум	Підпис	Дата	Ізм	Лист	№докум	Підпис	Дата	Н.контр					

Номер операції	Карта ескізів		
6-7			



											Розробив	Халімонов С.В			Лист
											Керівник	Сідоров Д.Е.			Лист
											Затвердив	Борщик С.О.			
	Ізм	Лист	№докум	Підпис	Дата	Ізм	Лист	№докум	Підпис	Дата	Н.контр				

Номер операції	Карта ескізів		
8			



											Розробив	Халімонов С.В			Лист
											Керівник	Сідоров Д.Е.			Лист
											Затвердив	Борщик С.О.			
Ізм	Лист	№докум	Підпис	Дата	Ізм	Лист	№докум	Підпис	Дата	Н.контр					

Инв. №дубл.		Підпис і дата		Взам. інв.№		Инв. №дубл.		Підпис і дата							
				Операційна карта слюсарно-складальних робіт											
№ цеха	№ участ	№ опер	Найменування операції							Обладнання					
			Монтаж каландра двовалкового												
№ переход	Зміст переходу								Технологіч- ний режим	К-сть	Пристосування		Інструмент		То, хв.
1.	Застропити фундаментні плити 7, підняти, опустити за місцем. Наживити болти 14 в фундаментній плиті , нагвинтити гайки 15. Залити колодязі								Болт 14	12	Кран автомобільний Q=100 кН		Гайковий ключ S=18		30
									гайка 15	12					
2.	Застропити і підняти швеллери 16. Наживити крипильні болти. Опустити на фундаментні плити, пригвинтити гайками 15.								Швеллер 16		Кран автомобільний Q=100 кН		Гайковий ключ S=18		10
3.	Застропити і підняти редуктор 12 та двигун 11. Опустити за місцем.								Редуктор 12	1	Кран автомобільний Q=100 кН				10
									Двигун 11	1					
4.	Застропити і підняти станину 5.								Станина 5	1	Кран автомобільний Q=100 кН		Гайковий ключ S=18		30
	Опустити за місцем, і загвинтити болтами 13, шайбами 14, гайками 15								Болт 13	8					
									Шайба 14	8					
									Гайка 15	8					
5.	Застропити і підняти балку 6. Опустити на станину 5 і закріпити гайками 15 із шайбами 14.								Балка 6	1	Кран автомобільний Q=100 кН		Гайковий ключ S=18		1-
									Болт 14	8					
										Розробив				Лист	
											Керівник				Лист
	ізм	Лист	№докум	Підпис	Дата	ізм	Лист	№докум	Підпис	Дата	Затвердив				

Інв. №дубл.		Підпис і дата		Взам. інв.№		Інв. №дубл.		Підпис і дата								
				Операційна карта слюсарно-складальних робіт												
№ цеха	№ участ	№ опер	Найменування операції							Обладнання						
			Монтаж дробарки конусної середнього подрібнення													
№ переход	Зміст переходу									Технологіч- ний режим	К-сть	Пристосування		Інструмент		То, хв.
6	Застропити і підняти валки 1 і 2. Опустити на станину 5 і закріпити.									гайка 15	8	Кран автомобільний Q=100 кН				15
										Валок 1	8					
										Валок 2	1					
7	Застропити і підняти редуктори механізму регулювання зазору 7 і 8. Опустити на станину 5 і закріпити.									Редуктор 7		Кран автомобільний Q=100 кН				20
										Редуктор 8	1					
8	Встановити універсальні шпинделі 9 та 10 на редуктор 12 і валки 1 та 2									Універсальний шпindelь 9	1					10
										Універсальний шпindelь 10	1					
											Розробив					Лист
		зм	Лист	№докум	Підпис	Дата	зм	Лист	№докум	Підпис	Дата	Затвердив				

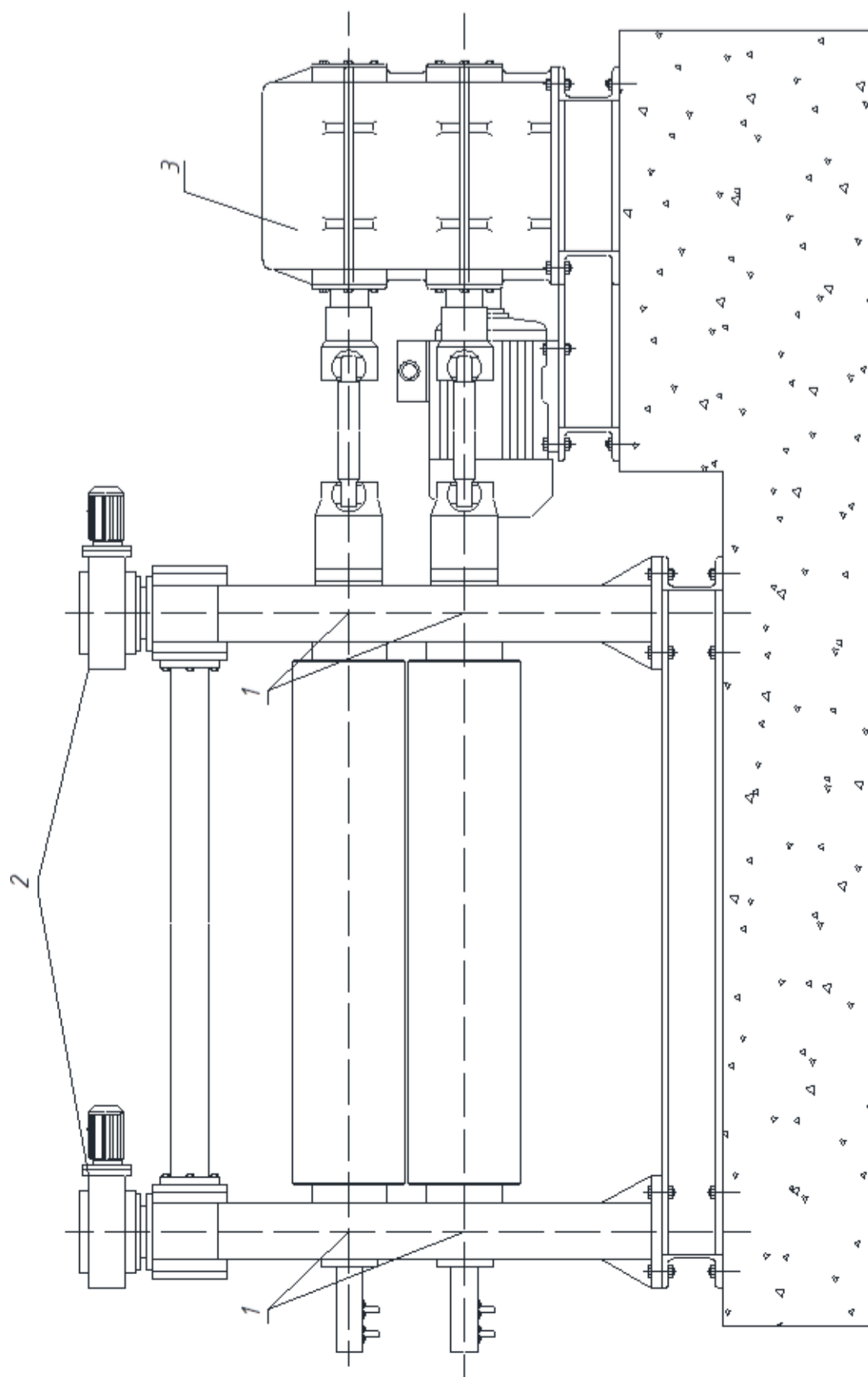


Схема змащування каландра
двовалкового

Арк.

Зм. Арк. № докум. Підпис Дата

Таблиця змащення

Найменування і позначення виробу, механізму. Номера позицій на малюнку	Найменування змазочних матеріалів	Кількість точок змащування	Спосіб змащування	Періодичність перевірки змащування і заміни змазки
1. Підшипники Кочіння 22230 CC/W33	Мастило індустріальне И-30А ГОСТ 20799-88	4	Централізоване. Від вузла змащування	Заміна мастила 1 раз на місяць
2. Редуктор приводу механізму регулювання зазору	Мастило індустріальне И-30А ГОСТ 20799-88	2	Централізоване. Від вузла змащування	Заміна мастила 1 раз на місяць
3. Редуктор приводу валків	Мастило індустріальне И-30А ГОСТ 20799-88	2	Централізоване. Від вузла змащування	Заміна мастила 1 раз на місяць

6.2 Розробка стартап-проєкту

6.2.1. Опис ідеї стартап-проєкту

Каландр для обробки полімерних та композиційних матеріалів працює з сировиною, яка нагріта до високих температур. Для підвищення якості готового продукту, валки каландра мають охолоджуватися. Ефективність роботи системи охолодження напряду впливає на ціну та якість готового продукту. З метою покращення цих характеристик, у даній роботі описана ідея розробки валка каландра з модернізованою системою охолодження, яка підвищує ефективність процесу. Комерціалізація ідеї планується у вигляді відкриття виробництва таких валків а також реалізації патенту на модернізований валок.

Таблиця 5.1 – Опис ідеї стартап-проєкту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Ідея даного стартапу полягає в розробці та виготовленні нової конструкції валка каландра та комерціалізації розробки за допомогою відкриття виробництва таких валків а також реалізації патенту на модернізований валок.	1. Реалізація готового продукту (валка каландра) в галузі переробки полімерів	Користувач може отримати продукт, кращий за аналоги
	2. Використання каландра з модернізованими валками на власному виробництві	Кінцевий продукт, який виготовляється модернізованою машиною має кращу якість та нижчу ціну
	3. Реалізація об'єкта права інтелектуальної власності	Можливість виготовлення та реалізації продукту з кращими характеристиками, ніж доступні на ринку

Висновок: стартап матиме назву: «Валок каландра з модернізацією системи охолодження»

Аналіз техніко-економічних аспектів і конкурентів (табл. 6.2) дозволяє оцінити потенціал стартапу, виявити сильні та слабкі сторони, а також розробити стратегії для успішної реалізації ідеї.

Таблиця 6.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко- економічні характери- стики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейт- ральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конку- рент 1 (Sprayin g Systems Co)	Конку- рент 2 (Nippon Roll)	Конку- рент 3 (WALZE N IRLE)			
3	Вартість	18000- 23000\$	10000- 18000\$	15000- 25000\$	12000- 20000\$	+		
4	Жорсткість (максималь- ний прогин)	0,07 мм	-	0,09 мм	0,06 мм		+	
	Витрата теплоносія	5-10 л/хв	5-15 л/хв	10-40 л/хв	20-50 л/хв			+

Висновок: ідея проекту « Валок каландра з модернізацією системи охолодження » має сильну сторону – витрата теплоносія, яка вирізняє цей проект з-поміж інших та буде сприяти розвитку. Проект має нейтральну сторону – жорсткість: дана характеристика суттєво не відрізняється від аналогів. Слабка сторона проекту – вартість, виготовлення валка з такою конструкцією збільшує його вартість.

6.2.2 Технологічний аудит ідеї проєкту

У контексті стрімкого розвитку технологій та зростання потреби в інноваційних рішеннях, ключовим фактором успіху проєкту є грамотний вибір і оцінка ефективності технологій, представлених у таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Технологічна здійсненність ідеї проєкту

№ п/п	Ідея проєкту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Реалізація валка каландра виробникам полімерних матеріалів	Виготовлення шляхом намотування вуглецевих волокон, просочених полімером	Технологія існує	Доступні на ринку, необхідно замовляти специфічне обладнання у виробника
2		Виготовлення шляхом 3D-друку	Технологія існує	Доступні готові рішення на ринку, можливе замовлення виготовлення у постачальника.
Обрана технологія реалізації ідеї проєкту: Виготовлення шляхом 3D-друку				

Висновок: ідея проєкту технологічно здійсненна, технології для виготовлення продукту доступні на ринку. Деталь, яка вирізняє проєкт з-поміж інших, буде виготовлено за допомогою технології 3D-друку, всі інші деталі будуть виготовлятися конвенційними методами або замовлятися у постачальників.

6.2.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту

Сьогодні інновації та підприємництво стрімко розвиваються, і важливим чинником успіху стартапу є ретельний аналіз потенційного ринку. З цією метою

використовується таблиця 6.4, яка забезпечує всебічний огляд ключових показників.

Таблиця 6.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проєкту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	4 основних конкурентів на ринку
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	20% від ринку, приблизно 150 об'єктів. Середній чек 60 000 грн. (150 x 60 000 = 9 млн грн на рік)
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Технічні, економічні (вартість високих технологій охолодження), юридичні бар'єри
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	1. Вимоги до сертифікації охолоджуючих систем та їх енергоефективності 2. Норми щодо безпеки і якості використання охолоджуючих рідин та матеріалів
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	18-22 %

Висновок: попередній аналіз показав, що ринок є привабливим для входження завдяки його значному загальному обсягу та зростаючій тенденції. Це створює позитивні передумови для виходу на ринок. Крім того, спостерігається стабільна динаміка зростання попиту, що підтверджує стійкість і перспективність ринку. Важливим аспектом створення стартап-проєкту є розуміння потреб та особливостей потенційних клієнтів. Аналіз цих аспектів наведений в таблиці 6.5.

Таблиця 6.5 – 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	Зменшення енерговитрат, підвищення ефективності охолодження та якості обробки матеріалів	Виробники полімерної, гумової, текстильної продукції; заводи, що обслуговують каландрові системи	Стандарти та регулювання, платіжна спроможність, репутація, конфігурація виробу	До продукту: надійність, енергоефективність, довговічність, низька вартість обслуговування. До компанії: підтримка клієнта, швидке реагування на запити, можливість виконувати специфічні запити.

Висновок: Потенційні клієнти — виробники полімерної, гумової, текстильної продукції та обслуговуючі заводи. Їхні потреби — зменшення енерговитрат та покращення ефективності. Вимоги: надійність, енергоефективність, низька вартість обслуговування та висока підтримка клієнтів.

У умовах швидкого розвитку та конкуренції в сучасному бізнес-середовищі має значення не лише розробка інноваційного продукту, а й визначення та підготовка до потенційних загроз (табл. 6.6) і можливостей (табл. 6.7).

Таблиця 6.6 – Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Стандарти якості	Недотримання галузевих стандартів та вимог сертифікації	Аналіз вимог сертифікації, адаптація технології виробництва до нормативів, внутрішній аудит
2	Економічні наслідки через коливання цін на сировину	Підвищення вартості матеріалів (металів, охолоджувальної рідини)	Оптимізація постачання, укладання довгострокових контрактів з постачальниками

3	Вплив війни та нестабільності	Зриви логістичних ланцюгів, обмеження доступу до технологій, проблеми з постачанням критично важливих компонентів	Резервування матеріалів, адаптація виробництва до нових умов, диверсифікація поставок
---	-------------------------------	---	---

Висновок: Для забезпечення успіху проєкту важливо дотримуватись стандартів якості та адаптуватися до коливань цін на сировину. Також необхідно враховувати геополітичні ризики через резервування матеріалів, диверсифікацію постачань і адаптацію виробництва.

Таблиця 6.7 – Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Популяризація екологічних стандартів	Збільшення попиту на енергоефективні та екологічно чисті рішення для промисловості	Впровадження екологічних технологій у виробництві та комунікація про їх переваги клієнтам
2	Розширення глобального ринку обладнання	Попит на рішення з підвищеною ефективністю роботи	Створення експортної стратегії, адаптація продуктів до міжнародних стандартів
3	Підтримка з боку держави та інвесторів	Можливість участі в грантових програмах та отримання фінансування для розробок	Залучення грантів, інвестицій для розробки та впровадження нових технологій

Висновок: Аналіз можливостей вказує на важливість використання тренду на екологічні стандарти для впровадження енергоефективних технологій, а також на перспективи розширення на глобальний ринок завдяки підвищеному попиту на ефективне обладнання. Крім того, можливості підтримки з боку держави та інвесторів дозволяють залучити додаткове фінансування для інновацій.

Ступеневий аналіз конкуренції на ринку (табл. 6.8) є важливим елементом стратегічного управління підприємством, оскільки різноманіття конкурентного середовища може по-різному впливати на діяльність компанії.

Таблиця 6.8 – 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 – монополістична	Наявність багатьох компаній, що виготовляють валки та системи охолодження, із різними підходами до продукту	Активна реклама та маркетинг може підвищити пізнаваність бренду та створити позитивний імідж серед споживачів.
2. За рівнем конкурентної боротьби – національний	Конкуренція з гравцями, які вже мають широку клієнтську базу в Україні	Акцент на локальних перевагах: швидке обслуговування, доступність сервісів і гнучкість у виробництві
3. За галузевою ознакою – внутрішньогалузева	Конкуренція з іншими виробниками промислового обладнання	Розробка інноваційної системи охолодження, що перевершує пропозиції конкурентів
4. Конкуренція за видами товарів – товарно-родова	Схожі технології для охолодження та підвищення ефективності обладнання	Введення нових функцій: автоматизація, зменшення витрат ресурсів, зниження рівня шуму
5. За характером конкурентних переваг – нецінова	Ефективність, надійність та	Гарантування високої якості продукції, створення

	енергоефективність продукту	партнерських програм і відповідність європейським стандартам
6. За інтенсивністю – марочна	Необхідність виділити бренд через унікальність і якість продуктів	Розробка брендингу, підтримка клієнтів і створення позитивного користувацького досвіду

Висновок: Аналіз конкурентного середовища показує, що для досягнення конкурентоспроможності підприємству необхідно активно використовувати маркетинг для підвищення впізнаваності бренду, акцентувати увагу на локальних перевагах, розробляти інноваційні рішення та вдосконалювати функціональність продукції. Крім того, компанії важливо гарантувати високу якість і відповідність європейським стандартам, а також розвивати брендинг і підтримку клієнтів для створення унікальності та позитивного іміджу на ринку.

Здійснено детальніший аналіз конкуренції в галузі за моделлю М. Портера (табл. 6.9), що дає комплексне уявлення про ринок. Оцінка прямих і потенційних конкурентів, постачальників, клієнтів та товарів-замінників допоможе виявити стратегічні можливості та виклики для нашого стартапу.

Таблиця 6.9 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Скла-дові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники

	1. Spraying Systems Co 2. Nippon Roll 3. WALZEN IRLE	Бар'єри входу в ринок: - високі технологічні витрати; - складність розробки інноваційних систем;	Фактори сили постачальників: - контроль над ключовими компонентами; - бренди, які відомі своїми рішеннями в конструкціях валків;	Фактори сили споживачів: вимоги до підвищеної енергоефективності та якості охолодження; - готовність оплачувати преміальну якість за інноваційність та відповідність вимогам екології;	Фактори загроз з боку замінників: - існування інших охолоджувальних технологій; - висока швидкість та ефективність роботи машин-замінників, які вирішують аналогічні завдання із зниженими експлуатаційними витратами.
Висновки:	Стартап може ефективно конкурувати через диференціацію продукту.	З потенційними конкурентами можливий старт із подібними технологіями через декілька років.	Постачальники можуть впливати на строки та вартість виробництва через свої умови.	Орієнтація на запити кінцевих споживачів — ключовий фактор для досягнення конкурентної переваги.	Використання унікальних властивостей продукту зможеться знизити ризик потрапляння в сегмент товарів-замінників.

Висновок: Стартап може успішно конкурувати через диференціацію продукту. З потенційними конкурентами конкуренція очікується через кілька років. Постачальники можуть впливати на вартість і строки виробництва. Орієнтація на вимоги споживачів щодо енергоефективності та якості є ключовою для досягнення конкурентної переваги. Використання унікальних властивостей продукту знижує ризик конкуренції з товарами-замінниками.

Згідно з аналізом конкуренції, представленим у таблиці 6.9, а також з урахуванням характеристик проєктної ідеї (табл. 6.2), вимог споживачів до продукції (табл. 6.5) та факторів маркетингового середовища (табл. 6.6 та 6.7), визначено та обґрунтовано основні фактори конкурентоспроможності (табл. 6.10).

Таблиця 56.10 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проєктів значущим)
1	Інноваційність технологій	Впровадження технологій недоступних для конкурентів
2	Довговічність	Можливість продукту працювати без заміни або обслуговування довше, ніж конкуренти
3	Енергоефективність	Менша витрата енергоресурсів на виконання тієї ж роботи
4	Вартість продукції	Готова продукція має нижчу вартість за аналоги
6	Екологічність	Зниження теплового впливу на навколишнє середовище за рахунок ефективнішого використання ресурсів.
7	Надійність	Здатність продукту працювати в важких умовах без утворення несправностей

Висновок: Основні фактори конкурентоспроможності проєкту — це інноваційність, висока якість, енергоефективність, екологічність та оптимальна вартість. Це забезпечує переваги в зниженні витрат, екологічній привабливості та лояльності клієнтів завдяки сервісній підтримці.

За визначеними таблиці 6.10 факторами конкурентоспроможності проведено аналіз сильних та слабких сторін стартап-проєкту (табл. 6.11)

Таблиця 6.11 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «Валок каландра з модернізацією системи охолодження»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали /1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з валком каландра з модернізацією системи охолодження						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Інноваційність технологій	2		1	3	2			
2	Довговічність	1				1	2,3		
3	Енергоефективність	2	3	2	1				
4	Вартість продукції	1					2,3	1	
6	Екологічність	2			1,2,3				
7	Надійність	2			1	2,3			

1 – перший конкурент (SprayingSystemsCo.)

2 – другий конкурент (Nippon Roll.)

3 – третій конкурент (WALZEN IRLE.)

Висновок сильними сторонами стартап-проєкту порівняно з конкурентами є наступні: інноваційність технологій, енергоефективність, екологічність Слабкою стороною проєкту є вартість продукції та знижена надійність та довговічність через підвищену складість конструкції.

На основі виділених ринкових загроз та можливостей, сильних і слабких сторін в таблиці 5.11 було проведено SWOT-аналіз (матриця аналізу сильних та слабких сторін, загроз та можливостей (табл. 6.12)).

Таблиця 6.12 – SWOT – аналіз стартап-проєкту

Сильні сторони: 1. Інноваційний підхід у модернізації системи охолодження 2. Підвищена продуктивність та енергоефективність валка каландра 3. Зменшений вплив на екологію	Слабкі сторони: 1. Висока початкова вартість інвестицій в модернізацію 2. Висока вартість продукції 3. Знижена надійність та довговічність
Можливості: 1. Розширення на ринки з високими вимогами до ефективності та енергоефективності 2. Інвестиції в нові технології охолодження 3. Створення партнерств з великими підприємствами для розширення продажів та доступу до ресурсів	Загрози: 1. Висока конкуренція на ринку обладнання для виробництва продукції 2. Зміни в регуляціях та стандартах безпеки, які можуть зажадати нових інвестицій 3. Збільшення вартості сировини та комплектуючих

Висновок: сильними сторонами стартап-проекту порівняно з конкурентами є: точність, достовірність та специфічність аналізу; кваліфікація персоналу лабораторії; швидкість та надійність виконання дослідів, а також репутація та довіра. Слабкою стороною проекту є вартість послуг.

На основі SWOT-аналізу були розроблені альтернативи ринкової стратегії стартапу з урахуванням строків, ймовірності отримання ресурсів та часу реалізації з урахуванням конкурентів (табл. 6.13).

Таблиця 6.13 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Впровадження нових технологій для модернізації систем охолодження	Партнерства з постачальниками, інженери, технічні фахівці, інвестиції	від 6 до 12 міс.

2	Розробка універсальної технології для обробки різних видів валків каландрів з оновленою охолоджувальною системою	Технічна команда, R&D фахівці, фінансування для досліджень та розробок	від 9 до 18 міс.
3	Впровадження стратегії енергозбереження та оптимізації витрат на охолодження валків	Партнерства з екологічними і технічними компаніями, бюджет на тестування і модифікацію	від 4 до 9 міс.

Висновок: таким чином, обрано альтернативу Впровадження нових технологій для модернізації систем охолодження, оскільки отримання ресурсів для неї є більш простими та ймовірними, при помірних строках реалізації.

6.2.4. Розроблення ринкової стратегії проєкту

Проведено наліз цільових груп потенційних споживачів , який представлено на табл. 6.14

Таблиця 6.14 – 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	Компанії, які займаються виробництвом	Висока: йдеться про мінімізацію	Високий: більшість таких	Середня: конкуренція з менш	Висока: потребуються суттєві

	гуми та пластмас, зокрема при застосуванні каландрів в їх виробничих процесах	витрат та покращення продуктивнос ті	виробників мають потребу в модернізації	новими, стандартним и системами	інвестиції в інновації
2	Великі промислові підприємства, що займаються металургією та обробкою матеріалів	Середня: готові інвестувати в оновлення технічних систем	Середній/Висо кий: попит на новітні технології в цієї групи стабільний	Низька: як правило, малі та нові стартапи не мають великої конкуренції	
3	Компанії, що спеціалізують ся на ремонті та модернізації промислових виробничих потужностей	Середня: готові інвестувати в оновлення технічних систем	Середній/Вис окий: попит на новітні технології в цієї групи стабільний	Низька: вони часто обирають перевірені варіанти на ринку	
Які цільові групи обрано: 1) Компанії, які займаються виробництвом гуми та пластмас, зокрема при застосуванні каландрів в їх виробничих процесах					

Висновок: обрана цільова група — це компанії, які займаються виробництвом гуми та пластмас, зокрема за допомогою каландрів у виробничих процесах. Ця група має високу готовність сприйняти нові технології для зменшення витрат та

підвищення продуктивності. Попит на продукт у цих компаній високий, оскільки більшість таких виробників потребують модернізації своїх систем. Конкуренція в сегменті середня, оскільки існують менш нові стандартні системи. Вхід у цей сегмент потребує значних інвестицій в інновації.

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформовано базову стратегію розвитку (табл. 6.15).

Таблиця 6.15 – Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкуренто-спроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Модернізація системи охолодження в каландрі для покращення якості продукції	Впровадження інноваційних рішень для значного покращення ефективності охолодження в промислових процесах.	Підвищена ефективність охолодження, економія енергії, знижені витрати, вдосконалена автоматизація й технічні рішення	Стратегія диференціації

Висновок: обрана альтернатива — модернізація системи охолодження в каландрі для покращення якості продукції. Стратегія охоплення ринку — впровадження інновацій для підвищення ефективності охолодження. Ключові конкурентні переваги: економія енергії, знижені витрати, покращена автоматизація. Базова стратегія — диференціація.

Вибір стратегії конкурентної поведінки представлений на табл. 6.16.

Таблиця 6.16 – 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 конку- рентної поведінки
1	Ні	Буде забирати існуючих у конкурентів.	Так, незначним копіюванням загальної конструкції і моделі надання послуг	Стратегія наслідування лідеру (NipponRoll)

Висновок: проєкт не є першопрохідцем на ринку. Компанія орієнтована на забір клієнтів у конкурентів, копіюючи деякі загальні характеристики конструкції та моделі послуг. Стратегія конкурентної поведінки — наслідування лідеру.

З урахуванням вимог споживачів до постачальника та продукту, а також вибраних стратегій розвитку і конкурентної поведінки, розроблено стратегію позиціонування (табл. 6.17), що визначає ринкову позицію, за якою споживачі ідентифікують проєкт.

Таблиця 6.17 – Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспромож- ні позиції власного стартап-проєкту	Вибір асоціацій, які мають сформува- ти комплексну позицію власного проєкту (три ключових)
1	Висока ефективність охолодження для забезпечення	Стратегія диференціації	Унікальні технології охолодження, знижене енергоспоживання,	Ефективність, інноваційність, екологічність

	якості продукту та стабільності процесів.		підвищена точність контролю температури	
2	Забезпечення конкурентоспроможної ціни та доступності продукту.	Стратегія наслідування лідеру	Відтворення найкращих рішень конкурентів із додаванням інновацій, стандартизація процесів для здешевлення виробництва	Доступність, практичність, відповідність провідним галузевим стандартам
3	Надійна робота системи охолодження, простота в обслуговуванні.	Стратегія наслідування лідеру	Інтегровані системи моніторингу, мінімізація потреби в ремонтах, автоматичне налаштування роботи системи	Технологічність, стабільність, користувацький комфорт
4	Використання сучасних рішень, які відповідають провідним стандартам галузі.	Стратегія наслідування лідеру	Орієнтація на інновації лідерів ринку, адаптація їхніх практик до специфіки клієнтів, швидка реалізація оновлень	Надійність, економічність, відповідність провідним трендам

Висновок: з урахуванням вимог цільової аудиторії та обраних стратегій розвитку, стартап пропонує конкурентні переваги через інноваційні технології,

доступність, простоту обслуговування та відповідність галузевим стандартам. Ключові позиції включають ефективність, екологічність, практичність, стабільність і технологічність.

6.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Формування маркетингової концепції продукту, який отримає споживач наведено в таблиці 6.18.

Таблиця 6.18 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Ефективне охолодження	Забезпечення стабільності процесу та зниження ризику дефектів	Інноваційна система охолодження зі зниженим енергоспоживанням
2	Довговічність обладнання	Зменшення потреби у частому обслуговуванні та ремонті	Використання матеріалів високої якості, простота та надійність конструкції, висока якість виконання

Висновок: Товар пропонує наступні ключові переваги: ефективне охолодження для стабільності процесу та зниження дефектів, завдяки інноваційній системі з низьким енергоспоживанням. Також забезпечує довговічність обладнання, зменшуючи потребу в частому обслуговуванні та ремонті завдяки використанню високоякісних матеріалів і надійній конструкції.

Розроблено трирівневу маркетингову модель товару, яка включає уточнення ідеї продукту чи послуги, визначення його фізичних характеристик та особливостей процесу надання. (табл. 6.19).

Таблиця 6.19 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Базова потреба споживача – забезпечення стабільної роботи валка каландра за рахунок підвищення ефективності системи охолодження. Основна функціональна вигода – зниження енергоспоживання, підвищення продуктивності та якості обробки матеріалів завдяки оптимізації тепловідведення.		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх/Тл/Е/Ор
	1. Покращена ефективність охолодження 2. Зменшення температурних перепадів 3. Висока теплопровідність 4. Збільшений термін служби валка 5. Стабільність роботи при високих навантаженнях 6. Мінімізація енерговитрат 7. Відповідність нормам промислової безпеки	М Нм	Вр Тх Тл Е Ор
	Якість: Виконання технічних стандартів, відповідність нормативам тестування		
	Пакування: Захисна дерев'яна тара для транспортування, антикорозійне покриття.		

Продовження таблиці 6.19

	Марка: CoolRollPro – валок каландра з модернізованою системою охолодження.
III. Товар із підкріпленням	До продажу: Технічна документація, привабливе пакування, інструкція з обслуговування, конкурентна ціна.

	Після продажу: Гарантійне обслуговування, технічна підтримка, консультації з налаштування та оптимізації роботи системи охолодження, можливість ремонту чи модернізації.
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: Патент на інноваційну систему охолодження, унікальні технічні рішення, захист конструкції через технічну документацію та ліцензування використання технології.	

Висновок: товар забезпечує стабільну роботу валка каландра завдяки ефективній системі охолодження, що знижує енергоспоживання та покращує якість обробки. Пропонується з гарантійним обслуговуванням, технічною підтримкою та можливістю модернізації. Захищений патентом на інноваційну систему охолодження та ліцензуванням технології.

На аналогічні товари та рівень доходів здійснено визначення цінових меж (табл. 5.20), який включає аналіз цін цільових споживачів для визначення оптимальної ціни валок каландра. Оскільки такі валки виготовляються, частіше за все, на замовлення і ціна може сильно коливатись від конфігурації, ціни розглянуті для виготовлення на замовлення пари валків довжиною робочої поверхні 1200 мм і діаметром 400 мм. Ціни вказані середні для конкурентів, таких як Nippon Rool і Walzen Irle. Також розглянуті товари-замінники, такі як розпилювальні системи охолодження, виробником яких є компанія Spraying Systems Co

Таблиця 6.20 – 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	10000-20000\$	15000-25000\$	Високий	18000-23000\$

Висновок: виходячи з аналізу рівня цін на товари-замінники, товари-аналоги та доходів цільової групи споживачів, оптимальна ціна на валок каландра з модернізацією системи охолодження повинна знаходитися в межах 18,000-23,000 доларів

Визначено оптимальну систему збуту, в межах якої приймається рішення (табл. 6.21).

Таблиця 6.21 – Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Орієнтація на якість і довгострокову продуктивність обладнання. Закупівлі здійснюються через тендери або прямі угоди. Клієнти – промислові підприємства, що займаються виробництвом матеріалів.	- Постачання - Гарантійне обслуговування та сервісна підтримка . - Навчання персоналу щодо експлуатації обладнання.	Неглибокий канал збуту: Виробник → Кінцевий споживач	Прямий збут: - Відділ продажів компанії через прямі контракти. - Участь у галузевих тендерах. - Онлайн-канали (вебсайт, B2B-платформи).

Висновок: Оптимальна система збуту для цільових клієнтів включає прямий збут через відділ продажів, участь у тендерах та використання онлайн-каналів. Канал збуту є неглибоким, де виробник напряму постачає продукцію кінцевим споживачам, з акцентом на постачання, обслуговування та навчання персоналу.

Останнім етапом маркетингової програми є розробка концепції маркетингових комунікацій (табл. 6.22) , що базується на обраному позиціонуванні та враховує особливості поведінки клієнтів.

Таблиця 6.22 – Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонува ння	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Клієнти орієнтовані на ефективність обладнання, зниження енерговитрат та підвищ	Галузеві виставки та конференції. - Професійні платформи B2B (наприклад, IndustryNet, Alibaba B2B). - Вебсайт компанії з технічним контентом. - Галузеві журнали та аналітичні огляди. - Email-розсилки для інженерів і менеджерів закупівель. - Презентації та вебінари.	- Ефективність охолодження для стабільної роботи обладнання. - Енергоощад ність – зниження витрат на енергоресур си. - Довговічність і надійність обладнання. - Інноваційність технології охолодження. я.	Продемонстр увати технічні переваги продукту та економічний ефект від його використання . - Підвищити довіру до бренду завдяки технічним інноваціям та надійності рішень. - Заохотити до звернення за консультацією або тестуванням продукту.	"Оптимізуйте виробництво з ефективним охолодженням"

Висновок: розроблена концепція маркетингових комунікацій орієнтована на цільових клієнтів, які шукають ефективне охолодження, енергоощадність і довговічність обладнання. Для цього використовуються галузеві виставки, професійні B2B платформи, вебсайти, журнали та email-розсилки.

Позиціонування фокусується на ефективності охолодження, енергоощадності, довговічності та інноваційності технології. Рекламне повідомлення підкреслює технічні переваги та економічні вигоди від використання продукту, а також стимулює звернення за консультацією або тестуванням

Висновки до розділу 6.2

Детально проаналізовано ідею створення стартапу, спрямованого на розробку та виробництво валка каландра з модернізованою системою охолодження.

Проект має високий потенціал завдяки інноваційному підходу до охолодження валків. Ринок конкурентний, але є ніша для продукту з унікальними характеристиками. Основні клієнти – виробники гуми та пластмас. Обрана стратегія диференціації, фокусуючись на інноваційності та енергоефективності. Продукт позиціонується як інноваційне та ефективне рішення. Основні переваги – інноваційність, висока якість та енергоефективність. Проект має високий потенціал для успішної реалізації. За умови правильного впровадження та маркетингової підтримки, стартап може стати лідером на ринку.

6.3 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

Охорона праці та навколишнього середовища — це комплекс заходів, нормативних актів та правил, які впроваджуються організацією для забезпечення безпеки та збереження здоров'я працівників. Основна мета полягає у зниженні або повному усуненні ризиків, що можуть загрожувати здоров'ю персоналу та стану довкілля.

Тема дипломної роботи — двохвалковий каландр із модернізацією гідросистеми терморегулювання валка. У цьому розділі описано заходи з охорони праці, реалізовані для виробничої лінії з виготовлення гумового листа на базі двохвалкового каландра.

Робоче місце оператора розташоване у виробничому цеху, де знаходиться лінія виробництва гумового листа. Площа цеху становить $S = 4000 \text{ м}^2$, а об'єм — $V = 28,000 \text{ м}^3$.

Для цієї виробничої лінії було проаналізовано основні потенційні джерела небезпеки, зокрема мікроклімат робочої зони, рівень освітлення, пожежну безпеку та електробезпеку.

6.3.1 Повітря робочої зони

Згідно з ДСН 3.3.6.042-99 [9], робота оператора двохвалкового каландру відноситься до легких робіт категорії Іб. Ця категорія включає роботи, які виконуються сидячи, стоячи або з періодичним ходінням і супроводжуються незначним фізичним навантаженням. При такому навантаженні витрата енергії становить 141-175 Вт (або 121-150 ккал/год). Згідно з наведеними нормами, оптимальні характеристики мікроклімату для робочої зони двохвалкового каландру подано в таблиці 5.1.

Табл.5.1

Період року	Категорія робіт	Температура повітря, С°	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний період	Легка Іб	22..24	60-40	0,1
Теплий період		22..24	60-40	0,1

Вказані характеристики повітря робочої зони задовольняють вимоги стандарту ДСН 3.3.6.042-99[9].

В процесі роботи можуть виникати шкідливі домішки, пил та токсичні гази внаслідок нагріву робочого матеріалу, використання барвників, нещільно закритих ємностей або несправностей технологічного обладнання. Для запобігання шкідливому впливу таких факторів відповідно до **ДБН В.2.5-67:2013** [13] необхідно забезпечити належну роботу місцевої та загальнообмінної вентиляції. Така вентиляція буде ефективно працювати лише за умови, що об'єм повітря, що відводиться, перевищує об'єм повітря, що подається.

6.3.2 Промислове освітлення

Згідно зі стандартом ДБН В.2.5-28:2018 [11], для забезпечення належних умов праці обслуговуючого персоналу необхідне комбіноване освітлення. Це означає, що природне освітлення повинно доповнюватися штучним, особливо у випадках, коли природного освітлення недостатньо або воно відсутнє.

Природне освітлення передбачається бічним, через світлові прорізи у зовнішніх стінах, що забезпечує проникнення природного світла в приміщення. Штучне освітлення включає загальне, рівномірне, робоче та аварійне освітлення. Загальне освітлення призначене для освітлення всієї площі цеху, рівномірне освітлення забезпечує однорідний рівень освітленості по всьому приміщенню, робоче освітлення використовується для освітлення робочих зон і місць для виконання місцевих робіт, а аварійне освітлення забезпечує мінімальний рівень освітлення в разі відключення основного робочого освітлення, щоб запобігти порушенню нормального обслуговування устаткування та механізмів і уникнути тривалих зупинок технологічного процесу..

Освітленість робочої зони, створювана світильниками загального та місцевого освітлення, повинна відповідати вимогам, зазначеним у ДБН В.2.5-28:2018 [11].

Розряд і підрозряд зорових робіт визначено як Vв. Для таких робіт вимога до освітленості становить 200 лк. Обрано світильники ЛБ 80 з номінальним світловим потоком 5400 лм. Оптимальна кількість світильників складає 314 штук. При такій кількості світильників освітленість в приміщенні становить $E_{ef} = 328,84$ лк. Мінімальна нормативна освітленість для даного розряду робіт $E_{min} = 200$ лк. Оскільки $E_{ef} > E_{min}$, приміщення відповідає вимогам ДБН В.2.5-28:2018.

6.3.4 Пожежна безпека

У роботі двохвалкового каландра для виробництва гуми використовуються матеріали, які здатні загорятися при відносно низькій температурі (приблизно 200 °C). Згідно з ДСТУ Б В.1.1-36:2016 [12], приміщення відноситься до категорії В (пожежонебезпечне), оскільки в ньому присутні тверді горючі матеріали. Класифікація пожежних зон — П-Па, категорія пожежної небезпеки II. Пожежа може виникнути з таких причин:

- Коротке замикання
- Несправність машини або електромережі
- Розряд від накопиченої статичної електрики
- Перевантаження електродвигуна машини або складових електромережі

Для запобігання ризиків пожежної небезпеки вжито наступні заходи:

- Забезпечено регулярний технічний огляд каландра для запобігання несправностям.
- Приміщення оснащено необхідними засобами пожежогасіння, такими як вогнегасники, протипожежні простирадла, ящики з піском тощо.
- Забезпечено каландр необхідним заземленням для запобігання накопиченню статичних зарядів.
- Проводяться регулярні інструктажі з пожежної безпеки для всіх працівників.
- Приміщення обладнано схемою евакуації.
- Обладнано приміщення повітряними апаратами для випадку ризику отруєння чадним газом.
- Приміщення має два аварійних виходи.

У приміщенні встановлені вогнегасники типів „ВП-5” та „САМ-6”, а також використовуються повітряні апарати моделей „ППМ-88” та „ГП-9”. Усі засоби пожежогасіння повинні бути легкодоступними, в справному стані та готовими до використання. Також обов'язково проводиться заміна засобів пожежогасіння

після закінчення терміну їх придатності. Ширина проходів аварійних виходів повинна бути не менше 1,2-1,5 м.

6.3.5 Електробезпека

Електробезпека є важливим аспектом охорони праці через високий потенціал небезпеки, що пов'язаний із можливими серйозними травмами або навіть смертю працівників. Крім того, надзвичайні ситуації, пов'язані з електричним струмом, можуть призвести до виникнення пожеж. Стандарти електробезпеки приміщення описані в ДСТУ 7237:2011 [14].

Приміщення, в якому розташована лінія для виробництва гумового листа, оснащено електричною мережею 220/380 В, частотою 50 Гц, з ізольованою нейтраллю. Воно відноситься до класу підвищеної небезпеки, згідно з класифікацією ураження електричним струмом.

Джерелами небезпеки від електричного струму можуть бути:

- Несправність обладнання
- Перевантаження мережі
- Відсутність належного заземлення
- Недостатня кваліфікація працівників
- Використання несертифікованого обладнання
- Відсутня або пошкоджена ізоляція
- Використання провідників з меншою площею поперечного перерізу, ніж необхідно

Для запобігання ризиків електробезпеки виконано наступні дії:

- Забезпечено регулярний огляд лінії виробництва для попередження несправностей
- Електромережу виробництва забезпечено належним заземленням
- Використання лише сертифікованого обладнання

- Електролінія проведена з використанням кабелю з необхідною площею поперечного перерізу, мережу забезпечено пристроями захисного відключення
- Працівників забезпечено інструктажами з правил техніки безпеки, до роботи за обладнанням допускаються лише кваліфіковані фахівці.

7. МОДЕРНІЗАЦІЯ ВУЗЛА УСТАНОВКИ

7.1 Розробка 3D-моделі

У сучасному машинобудуванні 3D-моделювання є невід'ємним етапом розробки конструктивних елементів та механізмів. Одним із найпоширеніших інструментів для створення тривимірних моделей є програмне забезпечення SolidWorks, яке дозволяє проектувати деталі та вузли з високою точністю, а також проводити їх аналіз і віртуальне тестування.

У даному розділі представлено процес розробки 3D-моделі вузла для валка каландра. Валок каландра є ключовим елементом технологічного обладнання, що використовується в процесах прокатки, обробки полімерних матеріалів, гуми та інших матеріалів. Розробка вузла включала детальне проектування його складових частин, врахування технологічних вимог і забезпечення конструктивної цілісності виробу.

Моделювання виконувалося в середовищі SolidWorks, яке дозволило швидко створювати параметричні моделі, аналізувати їхню відповідність інженерним вимогам, а також забезпечити можливість подальшої інтеграції моделі в систему CAD/CAE. У цьому розділі висвітлено етапи проектування, підходи до моделювання окремих компонентів вузла та обґрунтування прийнятих рішень. Розроблені 3D-моделі являють собою повну збірку валка. На рисунку 7.1 представлено базового валка, рисунку 7.2 модернізованого валка, рисунку 7.3- валка з термоізолюючою проставкою.

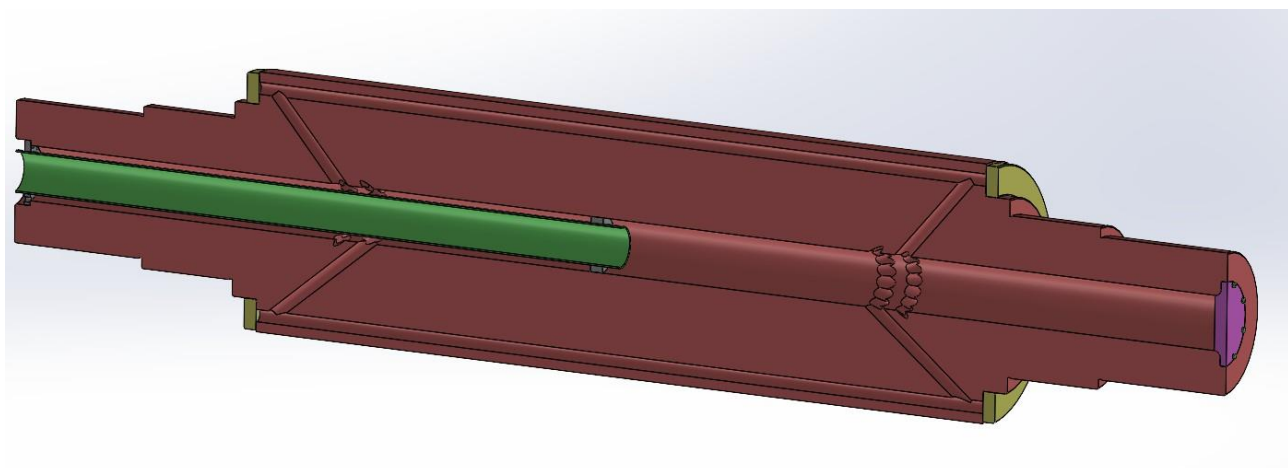


Рис. 7.1. 3D-модель базового валка

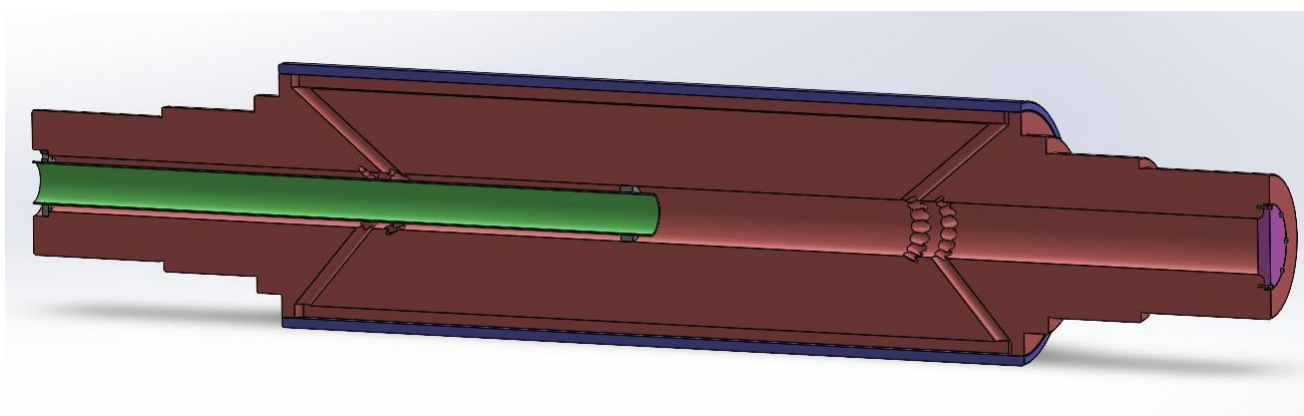


Рис. 7.2. 3D-модель модернізованого валка

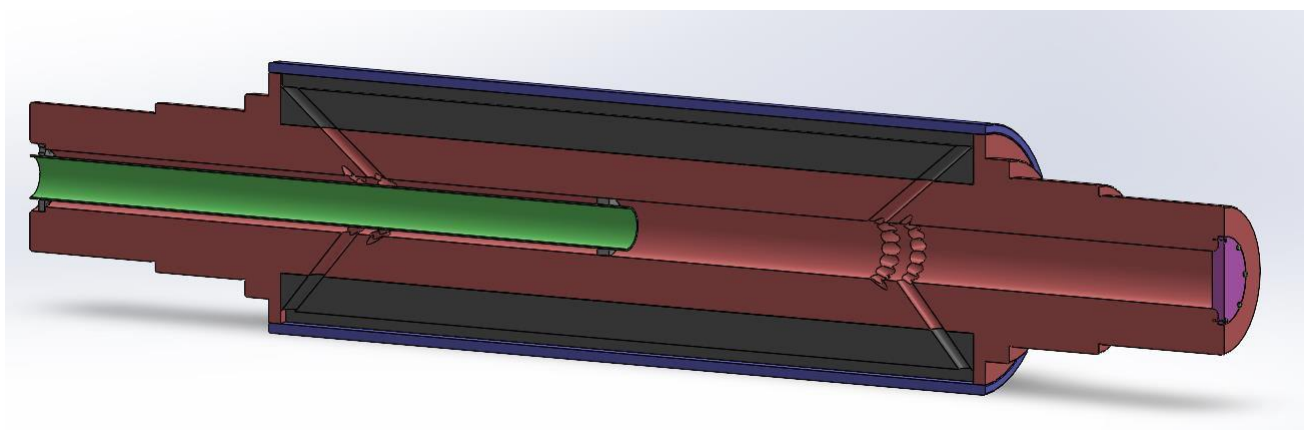


Рис. 7.3. 3D-модель валка з термоізолюючою проставкою

7.2 Визначення критичних параметрів

У процесі модернізації обладнання визначення критичних параметрів, які впливають на працездатність вузла, є ключовим етапом. Для валка каландра основними параметрами, що забезпечують його ефективну роботу, є ефективність розподілу температури всередині валка та жорсткість конструкції. Ці параметри мають безпосередній вплив на якість обробки матеріалів, довговічність елементів вузла та стабільність технологічного процесу. Критерієм ефективності розподілу температури всередині валка визначено зменшення нагрівання теплоносія до потрапляння в робочу зону. Жорсткість валка визначається його здатністю протидіяти прогину під навантаженням і має забезпечувати максимальне відхилення не більше 0,1 мм на метр довжини. Це є критичним параметром для збереження геометричної точності обробки матеріалів під час роботи.

Оскільки модернізований за патентом валок не має цілі підвищення ефективності, розподіл температур у співставленні з базовим вузлом не показав суттєвих відмінностей. Тоді як валок з теплоізолюючою проставкою показав зниження температури теплоносія на 20 °C, що є суттєвим покращенням.

Аналіз прогин показав найбільший прогин, що складає 0,046 мм для базового валка, 0,077 мм для модернізованого валка і 0,09 для валка з термоізолюючою проставкою.

7.3 Висновки про працездатність модернізованої конструкції та пропозиції з умов її експлуатації

У результаті модернізації конструкції валка каландра було досягнуто значного покращення в розподілі температури та ефективності охолодження. Оптимізація системи охолодження сприяла підвищенню енергоефективності роботи обладнання. Щодо жорсткості конструкції, показники дещо погіршилися

порівняно з базовою моделлю, однак залишаються в межах допустимих значень, що становлять. Незважаючи на це, модернізована конструкція зберігає здатність забезпечувати необхідну точність обробки матеріалів і відповідає експлуатаційним вимогам. Зменшення жорсткості конструкції може бути пов'язане з постановкою задачі, оскільки аналіз проводився у перерізі, в якому присутні перефрійні канали і може не відображати загальну картину. У разі використання валка в умовах, де точність критично важлива, рекомендується збільшити товщину обечайки та/або застосовувати бомбування валка.

Загалом, модернізована конструкція валка каландра показала покращення у ключових параметрах, що визначають її працездатність. Результати модернізації свідчать про її ефективність та доцільність подальшого впровадження у виробничий процес із дотриманням запропонованих умов експлуатації.

8. ОЧІКУВАНІ МЕХАНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ТА ВИСНОВКИ

Модернізація валка каландра дозволила досягти покращень у ключових параметрах, які визначають ефективність і надійність його роботи. Завдяки удосконаленню конструкції було покращено ефективність охолодження. Це не лише забезпечило зменшення витрат енергії та теплоносія, але й позитивно вплинуло на довговічність вузла, зменшивши ризик перегріву та зношування.

Жорсткість валка дещо знизилася порівняно з базовою конструкцією, однак залишилася в межах допустимих значень. Цей результат забезпечує стабільну роботу валка та підтримує необхідну точність обробки матеріалів, що є важливим для якісного виконання технологічних операцій.

Завдяки можливості виконати обечайку з матеріалів з вищими характеристиками, при цьому зменшуючи вартість валка порівняно з базовою конструкцією, вдалося зменшити швидкість зношування робочої поверхні валка. Це дозволяє збільшити термін служби вузла та зменшити витрати на ремонт і технічне обслуговування. Впровадження нових матеріалів у конструкцію також позитивно вплинуло на загальну продуктивність і якість виготовленої продукції.

Ще одним важливим результатом модернізації стало скорочення часу та затрат на виготовлення валка. Виконання обечайки як окремої деталі та фрезерування каналів замість свердління дозволило зменшити кількість необхідних деталей, знизити трудомісткість виготовлення та підвищити економічну ефективність у порівнянні з базовою конструкцією.

Узагальнюючи, модернізація валка каландра продемонструвала позитивні результати, зокрема, підвищення ефективності охолодження та зменшення зношування робочої поверхні. Незважаючи на деяке зниження жорсткості, конструкція відповідає експлуатаційним вимогам і забезпечує необхідну точність обробки. Зменшення часу й затрат на виготовлення робить

модернізований валок економічно вигідним для впровадження у виробництво, а покращена довговічність конструкції сприяє зниженню витрат на обслуговування. Результати роботи підтверджують доцільність модернізації та її переваги як з технічної, так і з економічної точки зору.

ВИСНОВКИ

У роботі проведено комплексне дослідження, спрямоване на модернізацію валка каландра, що дозволяє зменшити час і вартість його виготовлення, збільшити ресурс роботи та підвищити енергоефективність обладнання. Виконано патентний огляд, в результаті якого обрано оптимальне технічне рішення для модернізації, що враховує сучасні технології та відповідає заданим вимогам. На основі цього рішення розроблено модернізований вузол, для якого проведено розрахунки, що підтвердили його працездатність та відповідність технічним характеристикам.

Розроблено детальну 3D-модель модернізованих вузлів, яка дала змогу оптимізувати конструкцію, виявити можливі недоліки та мінімізувати ризики ще на етапі проектування. Завдяки застосуванню сучасних матеріалів і технологій вдалося зменшити енерговитрати машини, скоротити час і знизити вартість виготовлення валка, що підтверджено відповідними розрахунками.

У роботі також розроблено детальні рекомендації з монтажу та експлуатації модернізованого вузла, які забезпечують зручність обслуговування та підвищують надійність роботи обладнання. Крім того, виконано маркетинговий аналіз, що обґрунтовує доцільність комерційного впровадження розробки у рамках стартап-проєкту, який має високий потенціал для застосування на підприємствах.

Результати дослідження доводять ефективність запропонованої модернізації, яка забезпечує економічну вигоду, зниження енерговитрат, підвищення надійності та продуктивності каландрових машин. Впровадження цієї розробки сприятиме інноваційному розвитку галузі та задоволенню потреб промислових підприємств.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Валковые машины для переработки пластмасс и резиновых смесей (Ю.Е. Лукач, Д.Д. Рябинин, Б.Н. Метлов, 1967)
2. Биргер И. А. и др. Расчет на прочность деталей машин: Справочник/ И. А. Биргер, Б. Ф. Шорр, Г. Б. Иосилевич. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1993. — 640 с: ил
3. Басов Н.И., Брагинский В.А., Казанков Ю.В. «Расчет и конструирование формующего инструмента для изготовления изделий из полимерных материалов: Учебник для вузов.», 1991 - 352 с.
4. Басов Н. И., Казанков Ю. В., Любартович. Любартович В. А. Расчет и конструирование оборудования для производства и переработки полимерных материалов: 1986 – 486с.
5. Машины химических производств: Атлас конструкций Кольман-Иванов Э.Э., Гусев Ю.И., Карасев И.Н. 1981 г.
6. Торнер Р.В. Акутин М.С. Оборудование заводов по переработке пластмасс. Год: 1986.
7. Тадмор З., Гогос К. Теоретические основы переработки полимеров. 1984. 632 с
8. Киркач, Н. Ф. Расчет и проектирование деталей машин : учеб. пособие для вузов / Н. Ф. Киркач, Р. А. Баласанян. – 3-е изд., перераб. и доп. – Харьков : Основа, 1991. – 276 с. : ил., табл. ; 26 см. – Библиогр.: с. 273 (24 назв.). – Прил.: с. 249-272. – ISBN 5-11-001049-8 : 3.50 р
9. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень

10. О. Г. Левченко, О. І. Полукаров, В. В. Зацарний, Ю. О. Полукаров, О.В. Землянська Охорона праці та цивільний захист. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 420 с.

11. ДБН В.2.5-28:2018 Природне та штучне освітлення

12. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою

13. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування

14. ДСТУ 7237:2011 “Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту”.

15. С.С. Добрянський, Ю.М. Малафєєв, В.К. Фролов ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ МАШИНОБУДУВАННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ. – К.: НТУУ «КПІ», 2017. - 80 с

16. Белоусов А.П. Проектирование станочных приспособлений. Изд. 2-е, перераб. и доп. Учеб. пособие для техникумів. М., "Высш. школа", 1974. - 263с.

17. Патент CN217916412U Китай, МПК В29С 43/34. Cold roller with uniform temperature distribution / Yin Chenyu; заявники та власники CHANGZHOU FENGWEI PRECISION MACHINERY CO., LTD.; опубл. 11.05.2021.

18. Патент CN107291117A Китай, МПК В29С 43/36. Roll with efficient cooling structure / Li Qiang; заявники та власники CHINA AEROSPACE SCIENCE AND TECHNOLOGY CORPORATION; опубл. 10.10.2017.

19. Патент EP1529878A1 Європа, МПК В29С 43/40. Cooling roller for thermoplastic film production / Schmauch Christoph; заявники та власники Reifenhauser GmbH & Co Maschinenfabrik; опубл. 11.05.2005.

20. Патент UA156540 Україна, МПК В29С 7/42. Валок з теплообмінною системою для термообробки полімерів / Василенко А.Ю.; заявники та власники Інститут хімії високомолекулярних сполук НАН України; опубл. 25.04.2017.

21. Патент US6129652А США, МПК В29С 43/40. Roll for thermal processing with spiral cooling channels / Saito Takashi; заявники та власники TOYO SEIKAN KAISHA, LTD.; опубл. 10.10.2000.

22. Патент UA219870 Україна, МПК В29С 43/34. Валок для охолодження полімерних матеріалів / Коваленко О.М.; заявники та власники Інститут полімерних матеріалів; опубл. 05.12.2020.

23. Валерій Щербина, Денис Швачко, Людмила Гур'єва. Розділення дисперсної фази у нестандартному циклонному теплообміннику обертової печі. Прикладні науково-технічні дослідження : матеріали VI міжнар. наук.-прак. конф., 14-16 трав. 2024р. – Академія технічних наук України. – Івано-Франківськ. ст. 111-114 DOI: <https://doi.org/10.63048/978-617-7926-61-9.0>

24. Shcherbina V. Yu., Chemerys A . O., Mosiichuk O. A. Computer-aided design of calender roll. Modern engineering and innovative technologies, 2024, №33-01, pp.66-71 DOI:10.30890/10.30890/2567-5273.2024-33-01

25. Щербина В.Ю., Сівецький В.І., Гондляр О.В. Механічні процеси і обладнання виробництва полімерних та будівельних матеріалів і виробів. Підготовка сировинних матеріалів і устаткування для змішування та формування [Електронний ресурс] / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2022. – 131с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/4573>

26. Yudina. N. Economic “Butterfly” and Futurology of the War in Ukraine. Economic Bulletin of National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute". Kyiv: Management And Marketing Faculty of National

Technical University Of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, 2022. №23 (2022). PP. 77-82. URL : <http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/264637>

27. Semeniuk, S., Levytskyi, V., Fomina, O., Fedorchenko, K., Yudina, N., Ratynskiy, V., Shcherbatiuk, O., Bendiuh, V., & Zhurakivska, Y. (2024). Overcoming barriers to digitalization of small and medium-sized enterprises under martial law. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(13 (129), 57–69. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.304997> [Scopus / Web of Science] <https://journals.uran.ua/eejet/article/view/304997> .

28. Yudina Nataliya. Business Forecasting of Marketing Activity Riskiness of Companies in Markets. *Economic Bulletin of National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"*. №17(2020). P. 372-383. URL : <http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/216380/>

29. Nataliya Yudina, Olena Pidlisna Marketing Perception Of Technological Uncertainty By Decision-Makers. *Economic Bulletin Of National Technical University Of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"*. Kyiv: Management And Marketing Faculty Of National Technical University Of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, 2021. №18 (2021). PP. 1-10 URL : <http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/238105>

30. Nataliya Yudina Future Study Implementation Into Marketing Activity Of Companies. *Economic Bulletin Of National Technical University Of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"*. Kyiv: Management And Marketing Faculty Of National Technical University Of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, 2021. №18 (2021). PP. 1-9 URL : <http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/240315>

31. Юдіна Н. В. Визначення циклічних залежностей в економіці України на основі аналізу окремих макроекономічних показників. *Економічний Вісник НТУУ «КПІ»*. №13(2016). <http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/80084/75643>

32. Юдіна Н. В. «Дорожня карта» підприємства у контексті футурології техногенної економіки. Традиції і інновації. [Електронний ресурс] / Н. В. Юдіна // Інновації та фундаментальні науки в умовах техногенної економіки : зб. матеріалів міждисциплінар. наук.-практ. конф., Київ, 25 листоп. 2016 р. / [уклад. Л. І. Юдіна]. – К., 2016. – Режим доступу : <http://futurollog.com.ua/publish/2/Zbirnyk.pdf#page=6>.

Додаток А

[illegible]

Форм.	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примеч.
				<u>Документація</u>		
A1			ЛПЗ1мп.207156.000-70ВЗ	Вид загальний	1	
				<u>Складальні одиниці</u>		
		1		Валок нижній	1	
		2		Валок верхній	1	
		3		Пристрій для підводу	1	
				теплоносія		
		4		Пристрій для підводу	1	
				теплоносія		
		5		Станина	1	
		6		Балка	1	
		7		Редуктор механізму	1	
				регулювання зазору		
		8		Редуктор механізму	1	
				регулювання зазору		
		9		Універсальний шпindelь	1	
		10		Універсальний шпindelь	1	
		11		Електродвигун	1	
		12		Корпус редуктора	1	
				<u>Стандартні вироби</u>		
		13		Болт M12x40 ISO 4762	28	
		14		Шайба 12 ISO 4762	28	
		15		Гайка M12 ISO 4762	28	

[illegible]

[illegible]

Додаток Б

Модернізація конструкції валка каландру з метою підвищення технологічних можливостей машини

Халімонов С.В., студ., Шевцов А.О., студ., Сідоров Д.Е., к.т.н., доц.

Національний технічний університет України

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

Перевірено на працездатність удосконалену конструкцію валка, яка спрощує виробництво та підвищує ефективність терморегулювання валка.

Ключові слова: валок, канал охолодження, прогин, тепловий бар'єр, каландр, термоізолююча проставка.

Вступ. Гумові матеріали широко застосовуються для виготовлення різноманітної продукції. Об'єктом дослідження є валок двохвалкового каландру з вертикальним розташуванням валків, що використовується для змішування гумової сировини або калібрування після екструзії.

Під час каландрування валки поглинають тепло, тому потребують охолодження. Зазвичай система охолодження складається з центрального каналу, куди подається теплоносій, який розподіляється в канали біля робочої поверхні. Недоліки конструкції — складність виготовлення та низька ефективність терморегулювання [1].

Можливо спростити конструкцію валка, уникнути складного етапу виготовлення довгих отворів. Охолоджуючи повздовжні канали доцільно виконувати методом фрезерування по поверхні внутрішньої основи, як канали прямокутного або близького до прямокутного перерізу. Окрему обичайку монтують на цю поверхню, що спрощує виготовлення [2].

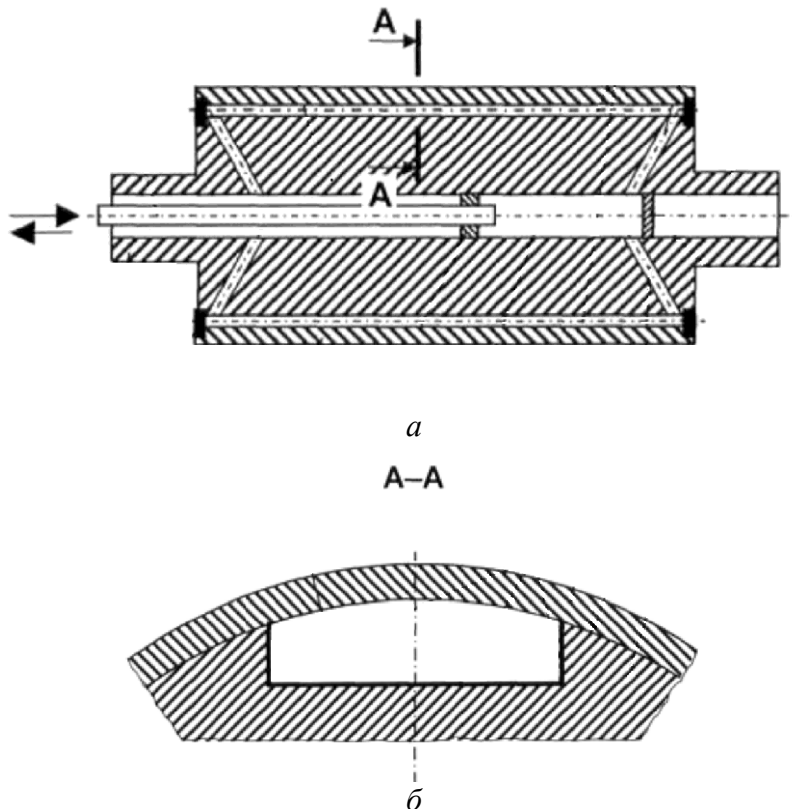


Рисунок 1 – Фрезеровані охолоджувальні канали: *а* – поздовжній переріз валка; *б* – розріз А-А

Крім того, доцільно виконати тепловий бар'єр, який буде розділяти поверхневу охолоджену зону валка від його центральних зон, де охолодження не є технологічною умовою. Це може бути досягнене за допомогою термоізолюючої проставки між зовнішньою обичайкою та центральною зоною валка.

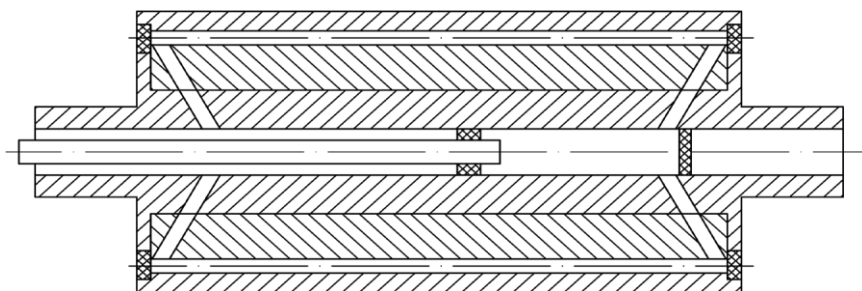


Рисунок 2 – Валок з термоізолюючої проставкой

Такий валок потребує дослідження впливу робочих навантажень. Ціллю дослідження є розрахунок жорсткості конструкції і симуляція водяного охолодження валка з метою перевірки на працездатність. Для цього було створено 3-D модель валка за допомогою програмного забезпечення SolidWorks, після чого було розраховано вказані параметри методом скінченних елементів за допомогою програмного забезпечення Ansys (рис. 3).

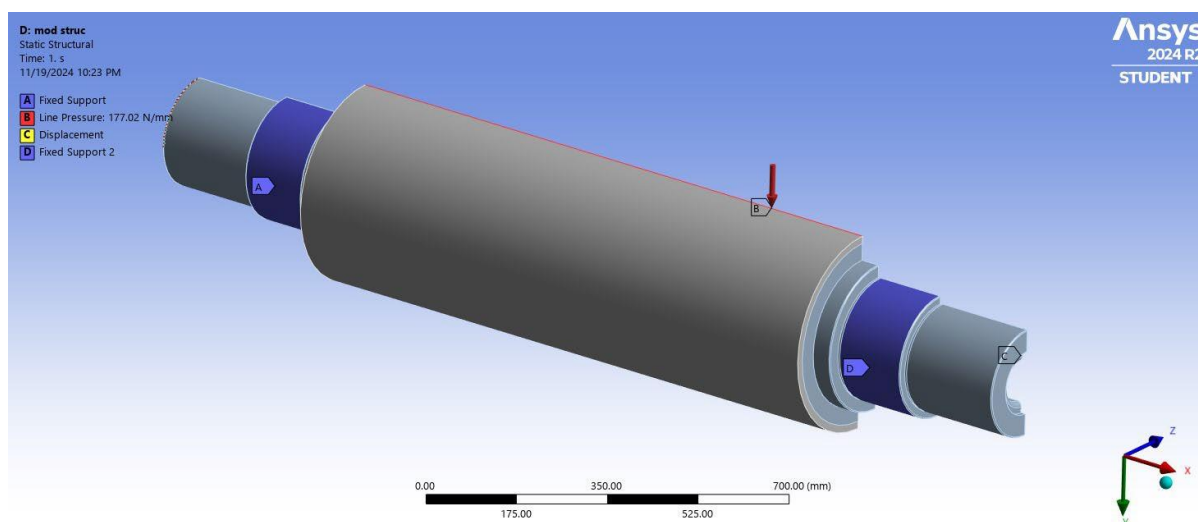


Рисунок 3 – Схема навантаження валка

В результаті розрахунку отримано графіки залежності прогину валка по довжині робочої поверхні (рис. 4 та рис. 5).

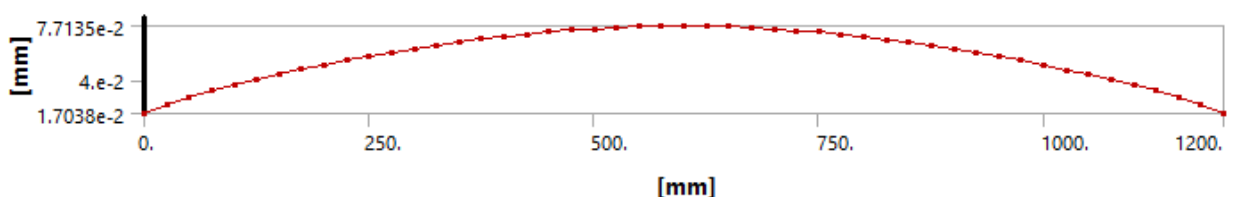


Рисунок 4 – Графік залежності прогину по довжині валка для конструкції рис. 1.

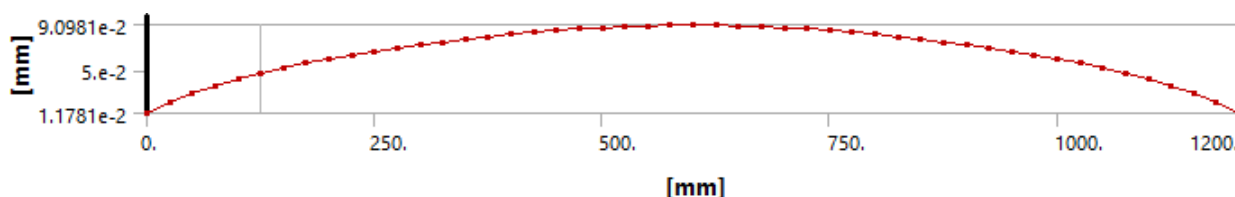


Рисунок 5 – Графік залежності прогину по довжині валка для конструкції рис. 2.

Для проведення симуляції охолодження було задано наступні граничні умови: температура теплоносія на вході 100 °С, швидкість подачі теплоносія 20 л/хв, температура на робочій поверхні 200 °С. Симуляція проведена в середовищі Ansys Fluent.

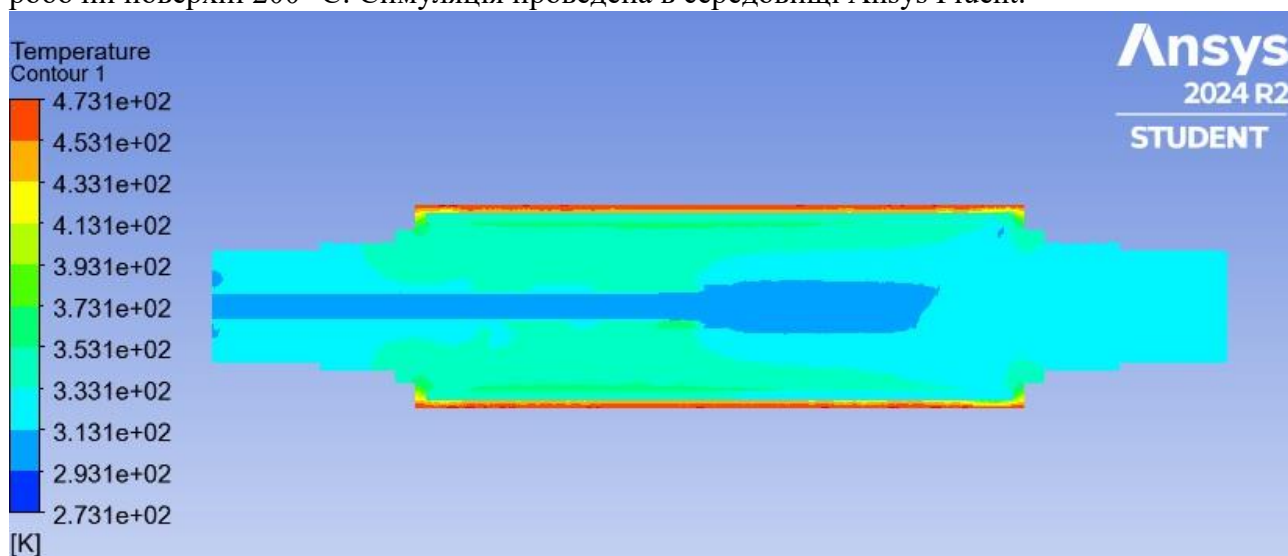


Рисунок 5 – Розподіл температури в перерізі валка конструкції рис. 1.

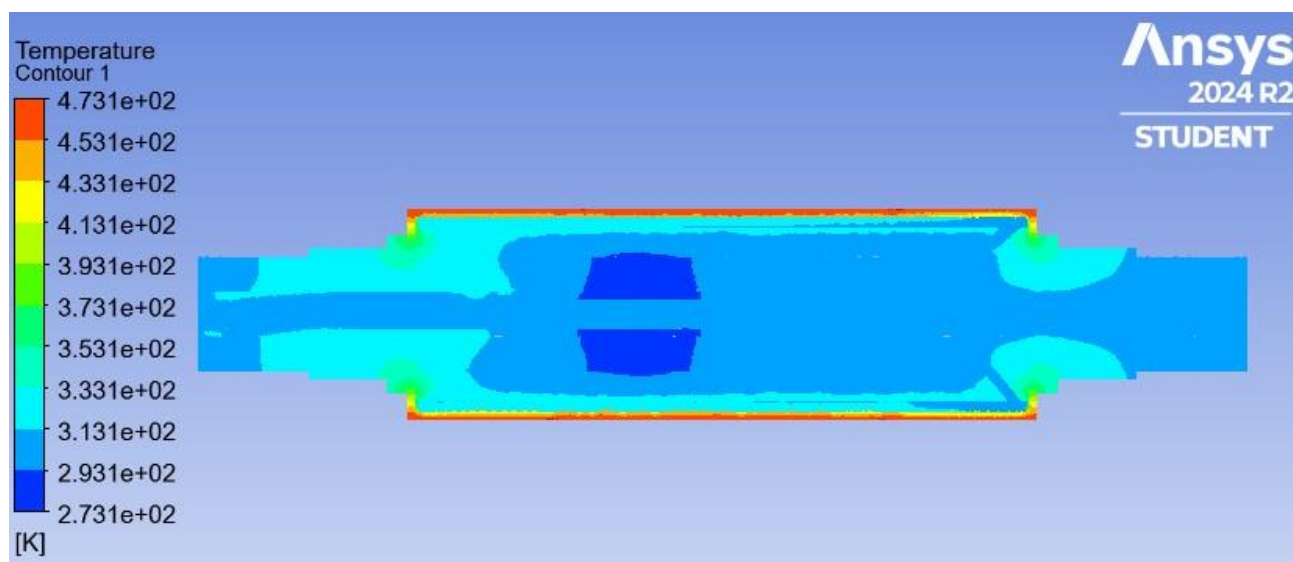


Рисунок 5 – Розподіл температури в перерізі валка конструкції рис. 2.

Висновки: отримані значення прогину валка лежать в межах допустимих для обох конструкцій. Симуляція охолодження валка доводить, що запропонована конструкція збільшує ефективність охолодження та наочно показує зниження термонавантаження внутрішніх шарів конструкції, що витримують значні механічні навантаження, а також зон встановлення підшипників.

Перелік посилань

1. Мікульонюк І.О., Кулініч С.І., Кудренко О.О. Валки валкових машин для перероблення полімерних матеріалів і гумових сумішей. Огляд конструкцій // Хімічна промисловість України. - 2009. - № 3. С. 25-29.
2. Валок валкових машин: пат. UA101025 / Мікульонюк Ігор Сергійович, Квітко Дмитро Сергійович; № u201501167; заявлено: 25.08.2015; опубл. 25.08.2015, Бюл. № 16.