

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

До захисту допущено

Завідувач кафедри

_____Олександр Сокольський

«_____» _____2026 р.

Дипломний проект

на здобуття ступеня бакалавра

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

зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»

на тему: Каландр для виробництва гумової стрічки з модернізацією
валка

Студент (-ка) IV к, групи ЛП-21
(шифр групи)

Костенко Ігор Костянтинович
(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник проекту: д. т. н., проф. Щербина В.Ю.

(вчена ступінь, звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Консультанти з питань

МОДЕРНІЗАЦІЇ: д.т.н., проф. Щербина В.Ю.

ТЕХ. МАШ.: ст. викл. Борщик С.О.

ОХОРОНИ ПРАЦІ: ст. викл. Ковтун А.І.

РЕЦЕНЗЕНТ _____

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

Студент (-ка) _____

Київ 2026 рік

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

Інженерно-хімічний факультет

Кафедра хімічного, полімерного і силікатного машинобудування

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – *133 Галузеве машинобудування*

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ **Олександр**
Сокольський

«___» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Костенко Ігор Костянтинович

1. Тема проекту «Каландр для виробництва гумової стрічки з модернізацією валка», керівник проекту Щербина Валерій Юрійович, доктор технічних наук, професор затверджені наказом по університету від «12 травня» 2026 р. № 1317-с

2. Термін подання студентом проекту 12.06.2026 р.

3. Зміст пояснювальної записки

Призначення та галузь застосування обладнання, яке проектується, технічна характеристика каландру, опис конструкції, його основних частин та принципу дії, літературний та патентний огляд стану питання, розрахунки, охорона праці, Технологія виготовлення деталі

4. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

Технологічна лінія для виготовлення ПВХ лінолеуму, каландр для виробництва гумової стрічки з модернізацією валків, валок каландру модернізований, збірка 3д моделі, результати моделювання валка, втулка, деталь барботеру, гільза.

5. Консультанти розділів проекту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
МОДЕРНІЗАЦІЇ	Професор Щербина В.Ю.		
ТЕХ. МАШИНОБУД.	Ст. викладач Борщик С.О.		
ОП	Доцент Ковтун І.М.		

6. Дата видачі завдання

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Отримання завдання для дипломного проекту	10.04.2026	
2	Проходження переддипломної практики	13.04.26-17.05.26	
3	Здійснення пошуків патентів – 5 шт., з яких взято 1 для модернізації. Виконання кінематичних та параметричних розрахунків	21.04.26-27.04.26	
4	Обґрунтування модернізації	26.04.26-09.05.26	
5	Підготовка розділу «Пояснювальна записка»	16.04.26-15.06.26	
6	Виконання розрахунків	25.04.26-24.05.26	
7	Підготовка розділу «Розрахунки»	25.04.26-15.06.26	
8	Підготовка розділу «Технологія виготовлення деталі»	11.06.26-13.06.26	
9	Робота над кресленнями в графічному редакторі	16.04.26-13.06.26	
10	Здача дипломного проекту	16.06.2026	

Студент

Костенко Ігор

Керівник проекту

Валерій Щербина

РЕФЕРАТ

" Каландр для виробництва гумової стрічки з модернізацією валка ": Дипломна робота освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр» за напрямом підготовки 133 – Галузеве машинобудування (програма професійного спрямування «Інжиніринг обладнання виробництва полімерних та будівельних матеріалів і виробів») / НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»; Керівник Щербина В.Ю. Виконавець. – Костенко І.К.

Робота складається з вступу і сіми розділів. Загальний обсяг роботи 66 аркушів основного тексту.

Метою роботи є вдосконалення валка каландру з ціллю більш стабільного виробництва матеріалу. Проект охоплює технологічний процес виробництва полівілхлорідного лінолеуму вальцово-каландровим способом, описує його призначення та технологічну схему. У даній роботі всебічно проаналізовано технічні параметри, конструкційні особливості та принцип функціонування каландру. Проведені розрахунки параметрів і оцінка міцності ключових вузлів підтверджують його надійність і ефективність. У межах проекту здійснено літературно-патентний огляд щодо можливих шляхів модернізації та вдосконалення каландру. Також розглянуто сфери його застосування, а також переваги й недоліки. У дипломному проєкті приділено увагу відповідності оновленого обладнання вимогам охорони праці. Надано рекомендації з монтажу й експлуатації пристрою перед виготовленням деталі «Лабіринтне кільце».

Ключові слова: каландр, гумова стрічка, розрахунок, моделювання, модернізація.

ABSTRACT

" Calender for rubber belt production with roll modernization ": Diploma work of educational qualification level "Bachelor" in the field of study 133 - Industrial mechanical engineering (professional program "Engineering of equipment for the production of polymer and building materials and products")/ NTUU "KPI"; Supervisor Scherbyna V.U. Executor – Kostenko I.K.

The work consists of an introduction and seven chapters. The total volume of the work is 66 pages of the main text.

The aim of the work is to improve the calender roll with the aim of more stable production of the material. The project covers the technological process of producing polyvinyl chloride linoleum by the roller-calender method, describes its purpose and technological scheme. This work comprehensively analyzes the technical parameters, design features and principle of operation of the calender. It also considers its scope of application, as well as its advantages and disadvantages. The diploma project focuses on the compliance of the updated equipment with labor protection requirements. Recommendations are provided for the installation and operation of the device before manufacturing the "Labyrinth Ring" part.

Keywords: calender, rubber belt, calculation, modelling, modernisation.

Перелік позначень

Пр- масова продуктивність, т/год;

L – довжина робочої частини валків, м;

R – радіуси валків, м;

V – колові швидкості валків, м/с;

b – ширина стрічки, м;

h_k – товщина стрічки, м;

v – швидкість виходу полотна, м/хв;

γ – відносна вага стрічки, кг/м³;

Q – вагова продуктивність, кг/год;

F – площа перерізу, м²;

P – розпірні зусилля, Н; σ – напруження, МПа;

M – крутний момент, Н·м;

W – осьовий момент опору, м³;

S_0 — початкова товщина матеріалу, мм;

S_k — кінцева товщина матеріалу після деформації, мм.

N — потужність приводу, Вт;

$P_{\text{кал}}$ — силове навантаження каландра, Н;

V — лінійна швидкість обертання валків, м/с;

η — коефіцієнт корисної дії приводу (ККД).

ЗМІСТ

ВСТУП

1. Призначення та галузь застосування обладнання, яке проектується .	2
2. Технічна характеристика каландру	4
3. Опис конструкції, її основних частин та принципу дії	5
4. Літературний та патентний огляд стану питання	8
4.1. Огляд існуючих рішень	8
4.2. Обґрунтування вибору варіанту модернізації пластин	11
5. Розрахунки	13
5.1. Параметричні розрахунки	13
5.2. Розрахунки на міцність та жорсткість	18
5.2.1. Розрахунок валків на міцність	18
5.2.2. Розрахунок підшипників та їх з'єднань	19
5.2.3. Розрахунок рами каландра на стійкість	19
5.3. Гідравлічні розрахунки	21
5.3.1. Розрахунок системи регулювання тиску між валками	21
5.3.2. Розрахунок подачі мастильного матеріалу	21
5.4. Порівняльні розрахунки модернізованого і немодернізованого вузла за допомогою сае-системи	23
5.4.1. Аналіз теплового стану валків під час роботи	24
5.4.2. Розрахунок системи охолодження	24
6. Охорона праці	32
7. Технологія виготовлення деталі	38
7.1 Опис та призначення деталі	38
7.2 Технологічний процес виготовлення деталі	39
7.3 Технологічний процес виготовлення деталі	40
7.4 Вибір пристосування, опис конструкції та принцип дії	41

ВИСНОВКИ

ЛІТЕРАТУРА

					ЛП21.207255.001-70ПЗ		
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			
Разраб.		Костенко І.К.			Каландр для виробництва гумової стрічки з модернізацією валка	Лит.	Лист
Провер.		Щербина В.Ю.					Листов
							66
Н. Контр.						КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФАПІЕ, ХПСМ	
Утв.							

ВСТУП

Каландрування є технологічним процесом у багатьох галузях промисловості, таких як полімерна, гумова, текстильна та інші. Полімерне машинобудування має вагоме значення для промисловості завдяки широкому спектру обладнання, а також перспективам використання та переробки полімерних матеріалів. Вироби з полімерів вирізняються малою вагою, високою міцністю, тривалим терміном експлуатації та естетичним виглядом, що забезпечує їх широку популярність у різних галузях.

Процес каландрування є одним із ключових етапів у виготовленні та обробці полімерної продукції. Ця технологія дозволяє виконувати важливі операції з формування листів і плівок із полімерів. Найбільш розповсюдженими машинами валкового типу, що застосовуються у цьому процесі, є вальці та каландри. Вони слугують для змішування, пластикації, подрібнення сировини, а також для виготовлення стрічок і плівкових матеріалів із гуми та пластмас.

Каландр 4-х валковий S-подібний використовується для отримання матеріалів із заданою товщиною, структурою та поверхневими властивостями. Його застосування сприяє підвищенню якості продукції та зниженню витрат матеріалів, що актуально в умовах зростання вимог до продуктивності й ефективності виробництва.

Сучасні виробничі процеси потребують вдосконалення обладнання для забезпечення високої якості продукції при мінімальних витратах енергії. 4-х валковий S-подібний каландр дозволяє оптимізувати процес формування листових матеріалів, що потрібно для виробництва з високими вимогами до точності параметрів.

1. Призначення та галузь застосування обладнання, яке проектується

Принцип роботи каландру:

4-х валковий S-подібний каландр – це складна машина, призначена для формування матеріалів у листовій формі шляхом їх прокатування між валками. Конструкція каландра включає вузли, які забезпечують високу точність обробки та надійність роботи. Полімерне машинобудування займає важливе місце в промисловості завдяки широкому спектру обладнання, можливостям застосування полімерів і способам їх обробки. Вироби з полімерів вирізняються легкою вагою, високою міцністю, довговічністю та естетичним зовнішнім виглядом, що зумовлює їхню популярність у різних галузях.

Каландрування є одним із основних процесів у виробництві та переробці полімерних матеріалів. Ця технологія дозволяє виконувати важливі операції для формування листових і плівкових матеріалів. Серед валкових машин, які найчастіше використовуються у цій сфері, можна виокремити вальці та каландри. Вони застосовуються для змішування, пластикації, подрібнення сировини, а також для виробництва смуг і плівок із пластмас і гуми.

У межах цього дипломного проекту розглядається «Каландр для виробництва гумової стрічки». Суть процесу полягає в безперервному продавлюванні термопластичного матеріалу крізь зазор між валками каландра для формування листів або плівок.

Основна мета роботи полягає в дослідженні конструкції обладнання, проведенні розрахунків його ключових елементів з метою підтвердження працездатності та надійності.

Застосування каландру:

У полімерній промисловості каландри застосовуються для виготовлення полімерних плівок, листів і панелей із заданою товщиною і якістю поверхні. Також вони є незамінними у процесах каландрування гуми, зокрема для виробництва шин, технічних гумових виробів і герметизуючих елементів.

У текстильній промисловості обладнання використовується для створення просочених текстильних матеріалів, що знаходять застосування у виробництві спеціалізованих тканин, наприклад, для меблів або робочого одягу. Крім того, каландрування дозволяє виконувати ламінування тканин, з'єднуючи їх із полімерними або іншим типами покриттів. У паперовій промисловості каландри забезпечують гладження паперу, що надає йому потрібну поверхневу якість. Також вони застосовуються для нанесення спеціальних покриттів, які покращують друковані властивості або додають нові функції. У будівельній індустрії каландри використовуються для виготовлення гідроізоляційних матеріалів, наприклад, мембран або плівок. Завдяки можливості формувати матеріали з високою точністю, вони ідеально підходять для виробництва покрівельних матеріалів і облицювальних панелей. У електротехнічній промисловості обладнання застосовують для каландрування діелектричних матеріалів, які використовуються у виробництві кабелів, ізоляційних елементів і композитних матеріалів. В пакувальній індустрії каландри дозволяють формувати плівки та ламіновані матеріали для упаковки, забезпечуючи високу якість і відповідність сучасним стандартам. Це потрібно для створення як харчової, так і промислової упаковки.

2. Технічна характеристика каландру

Технічні характеристики валкової дробарки представлено у таблиці 2.1

Таблиця 2.1 Технічна характеристика машини

№	Параметр	Значення
1	Кількість валків	4 шт.
2	Діаметр валка	710 мм
3	Довжина валка	1800 мм
4	Стандартні швидкості валків	14..35 м/хв
5	Стандартні температури поверхні валків	120..170 °C
6	Робочий зазор валків	1,0..2,0 мм
7	Продуктивність	1200 кг/год
8	Потужність	260 кВт

3. Опис конструкції, її основних частин та принципу дії

Каландр, який використовується на різних стадіях виробничого процесу, призначений для безперервного формування листових матеріалів із полімерів або паперу. Це здійснюється шляхом пропускання матеріалу через зазор між обертовими валами. У результаті процесу утворюється полотно заданої товщини й ширини, як, наприклад, при виготовленні лінолеуму.

На рисунку 3.1 представлено загальний вигляд S-подібного каландру, який застосовується у виробництві лінолеуму та інших полімерних покриттів.

Ілюстрація дає змогу візуалізувати конструкцію обладнання, а далі в роботі буде детально розглянуто його основні вузли та конструктивні особливості.

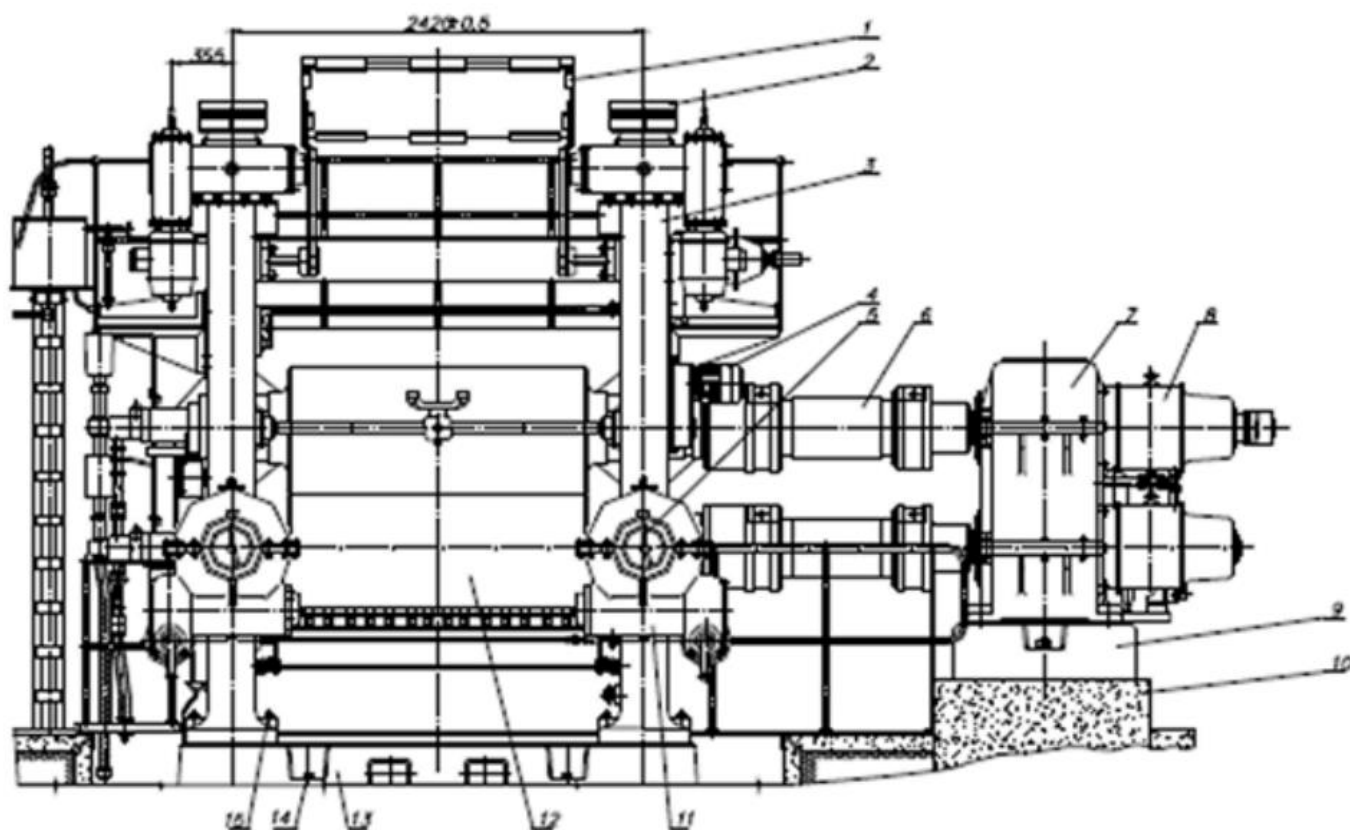


Рис. 3.1

1 - обмежувальні стріли; 2 - механізм регулювання зазорів; 3 - траверса; 4 - електродвигун; 5 - вказівник зазору; 6 - шпindel; 7 - блок редуктора; 8 - електродвигун; 9 - станина; 10 - фундамент; 11 - механізм перекоосу; 12 - валки; 13 - фундаментна плита; 14 - пристрій для обрізки; 15 - болт фундаментний.

Станина 9 виконує роль опорної конструкції для всіх основних технологічних вузлів та механізмів каландра. Вона складається з двох масивних чавунних плит, закріплених на фундаменті, та двох вертикальних стійок, з'єднаних між собою зварною траверсою 3.

Основні робочі елементи каландра — це валки 12, які встановлюються на підшипниках кочення. Привід каландра здійснюється за допомогою електродвигунів постійного струму, кожен з яких закріплений на відповідному валку. Передача обертального моменту здійснюється через блок-редуктори, з'єднані з валами редукторів.

Шарнірні універсальні шпинделі дозволяють змінювати положення валків, забезпечуючи їх регулювання, включаючи розведення та перекоос, а також передають обертальний момент на привод приймального транспортера через зірочку, що знаходиться на напівмуфті шпинделя нижнього валка.

Подавання матеріалу у валковий зазор здійснюється завдяки живильним вальцям. Спеціальний механізм подачі гарантує безперервне та рівномірне надходження сировини. Для видалення надлишкового матеріалу по краях використовується ланцюгова передача, яка точно обрізає кромки.

Технологічна лінія з виробництва ПВХ лінолеуму складається з кількох основних стадій: приготування рецептурної суміші, вальцювання та каландрування. Залежно від типу кінцевого виробу, технологія може змінюватися. Існують різновиди лінолеуму, зокрема одношаровий безосновний, багатошаровий безосновний, а також варіант на основі з повсті.

У цьому документі детально розглянуто процес виготовлення саме одношарового безосновного лінолеуму.

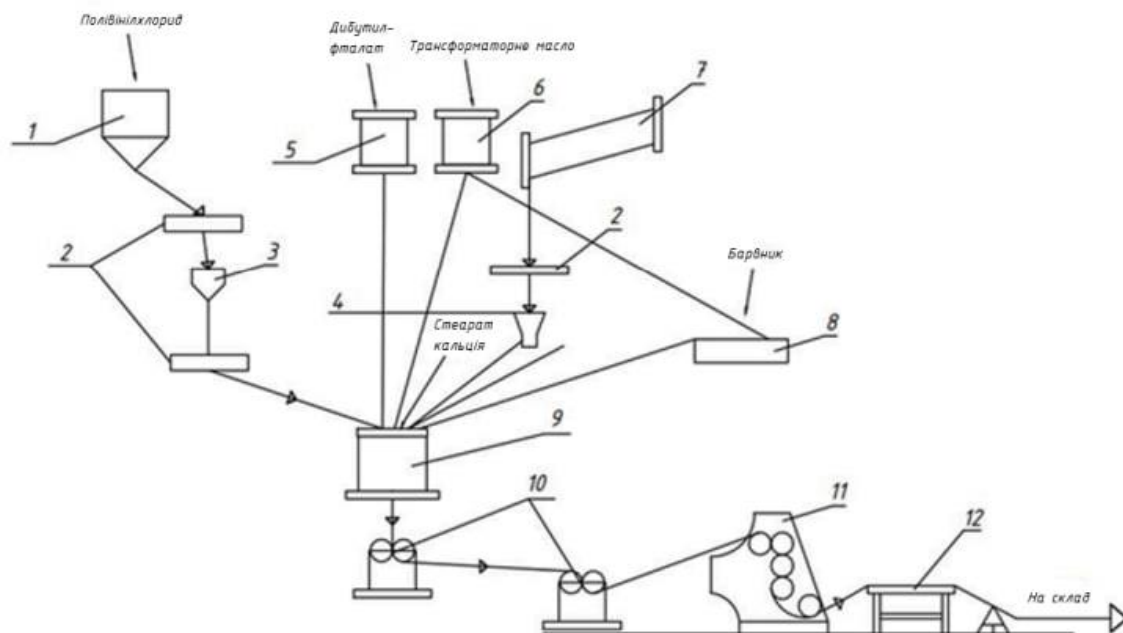


Рис. 3.2 – Схематичне зображення технологічного процесу виробництва ПВХ лінолеуму за допомогою вальцювання і каландрування:

Згідно до схеми:

- 1,3 – бункери для полівінілхлоридного полімеру;
- 2 – вібраційні сита;
- 4 – бункер для бариту;
- 5 – мірник дибутілфталата;
- 6 – мірник трансформаторного масла;
- 7 – сушильний барабан;
- 8 – фарботерка;
- 9 – Z – образна мішалка;
- 10 – змішувальні вальці;
- 11 – каландр;
- 12 – бракувальний стіл

Процес виготовлення складається з кількох ключових фаз, кожна з яких впливає на якість та експлуатаційні характеристики готового матеріалу. На початковій стадії всі інгредієнти точно відмірюються та змішуються при температурі 60–80 °С, що забезпечує однорідність складу. Потім суміш проходить друге змішування і пластифікацію при температурі 140–150 °С, надаючи їй потрібної пластичності. Далі розплавлений склад подається на нагріті вальці (120–140 °С), де досягається задана консистенція і текстура. Полотно формується на каландрі з чотирма валами, набуваючи остаточних геометричних параметрів. Остаточне охолодження здійснюється на водоохолоджуваному барабані до температури 40 °С, що стабілізує форму полотна. Потім лінолеум намотується в рулони для подальшого зберігання або транспортування. Каландр — це ключовий агрегат лінії, призначений для безперервного формування листових полімерів. Він працює шляхом пропускання матеріалу через щілину між обертовими валами.

Конструкція 4-х валкового S-подібного каландра базується на станині, яка є опорою для всіх технологічних вузлів машини. Станина виготовляється з двох масивних чавунних плит, які монтуються на фундамент для забезпечення міцності та стійкості конструкції. До цих плит кріпляться вертикальні стійки, що утворюють каркас машини. Стійки з'єднані між собою зварною траверсою, що забезпечує додаткову жорсткість та точність при експлуатації обладнання.

Головними робочими елементами машини є валки. Вони встановлюються на підшипниках кочення, що забезпечує плавність обертання та мінімізує втрати енергії. Особливістю конструкції є можливість регулювання зазорів між валками. Це здійснюється за допомогою спеціальних механізмів,

розташованих на кожному валку, які дозволяють точно налаштовувати параметри прокатування для отримання матеріалів заданої товщини.

Валки виготовлені з кокільного чавуну, який відрізняється високою міцністю та довговічністю. Їхня робоча поверхня має високу твердість у діапазоні 50–55 HRC, що забезпечує стійкість до зносу та тривалий термін експлуатації. Для підтримання стабільного температурного режиму валки обладнані продольними каналами, розташованими поблизу робочої поверхні. Цими каналами циркулює теплоносій, який рівномірно нагріває валок, забезпечуючи оптимальні умови для обробки матеріалу.

4. Літературний та патентний огляд стану питання

4.1. Огляд існуючих рішень

Під час роботи над курсовим проектом було оглянуто технічну літературу та патенти, щоб проаналізувати елементи каландру та його вузли, переваги та недоліки конструкцій. До найпоширеніших недоліків можна віднести налипання матеріалу з великою адгезією на валки, нерівномірний тепловий режим валка при роботі.

З метою покращення будови конструкції та подолання цих недоліків було проаналізовано патентну літературу. Для оцінки варіантів модернізації було знайдено 4 технічних рішення, кожне з яких має свої особливості. Розглянемо їх детальніше.

У патенті [1] запропонований винахід, що описує методи виготовлення візерунчастих перфорованих полотен із застосуванням каландрів. Технологія дозволяє створювати матеріали зі спеціальними візерунками й отворами, що забезпечують покращені властивості поглинання та комфорт під час використання. Візерунчасті перфоровані полотна цього винаходу забезпечують візерунок неоднорідних отворів різних розмірів, форм. Це дозволяє полотну мати краще сприйняття глибини, покращені характеристики обробки рідини та/або естетично приємний вигляд порівняно з перфорованими полотнами, що мають отвори однакового розміру та форми. Ламінати, що мають принаймні один попередньо напружений шар цього винаходу забезпечує тривимірні елементи в ламінаті, тим самим надаючи споживачеві бажані варіанти реалізації, які, в одному прикладі, можуть утримувати виділення тіла подалі від шкіри користувача або носія.

У патенті [2] розглянутим винаходом є вдосконалення валка за рахунок багатошарової поверхні. Вали виготовлені з металу, зокрема сталі або хрому, а також можуть мати поверхні з твердих матеріалів, таких як карбіди металів (наприклад, карбід вольфраму), що забезпечує високу міцність і довговічність. Каландрові вали мають середню глибину шорсткості (R_z) від 5 до 15 мкм, що покращує перенесення та формування плівки. Принаймні один з валів може бути нагрітий до температури в межах 50–150 °C (переважно 80–120 °C), що дозволяє регулювати в'язкість полімеру та покращує процес каландрування. Це, у свою чергу, дає зменшення налипання полімеру на вали завдяки оптимізованій шорсткості поверхні, покращене перенесення плівки на носій, що забезпечує рівномірне покриття, можливість обробки складних адгезивних композицій без зниження якості продукції.

У патенті [3] ключовою особливістю є конструкція каландрового вала, що складається з: Основного металевого вала (виготовленого, наприклад, з вуглецевої сталі), який приводиться в обертання. Циліндричного зовнішнього шару з кераміки (переважно з вмістом оксиду алюмінію не менше 75%), розташованого концентрично навколо основного вала. Проміжку між основним валом і зовнішнім шаром, в якому розміщені О-подібні кільця. Ці кільця забезпечують обертання зовнішнього шару разом з основним валом та компенсують теплове розширення, зменшуючи механічне напруження на керамічний шар. Завдяки такій конструкції гумова стрічка легко відділяється від поверхні вала, що зменшує ймовірність пошкодження керамічного шару та забезпечує стабільну роботу каландра протягом тривалого часу.

Керамічний шар стійкий до подряпин і зносу, О-подібні кільця дозволяють зовнішньому шару обертатися разом з основним валом, зменшуючи ризик утворення тріщин у кераміці, а рівномірна поверхня вала сприяє отриманню гумових стрічок високої якості.

Патент [4] описує вдосконалення вала каландру, спрямоване на покращення його експлуатаційних характеристик, зокрема підвищення зносостійкості, а саме застосування спеціальних матеріалів або покриттів для зменшення зношування поверхні вала під час роботи, оптимізація теплового режиму шляхом зміни конструкції, що забезпечують рівномірний розподіл температури по всій довжині вала, що важливо для стабільності процесу каландрування та покращення якості продукції через забезпечення рівномірного тиску та температури сприяє отриманню гумових плівок високої якості без дефектів. Вдосконалення конструкції полягає у зміні форми периферійних каналів, а саме кожний периферійний канал виконано у вигляді поздовжнього пазу на зовнішній поверхні бочки, поверх якої розташовано обичайку. Це полегшує спосіб виготовлення валка, а форма каналу покращує рух теплоносія та дає інтенсифікацію теплообміну за рахунок збільшення площі контакту з поверхнею.

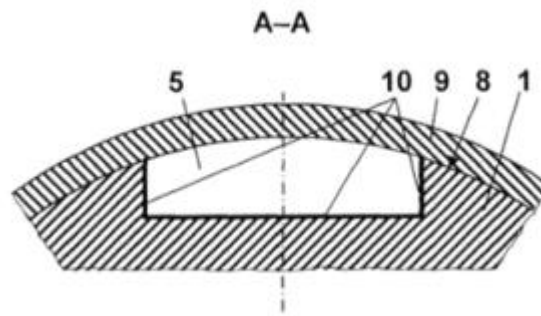
4.2. Обґрунтування вибору варіанту модернізації

Після проведення огляду наукових і патентних джерел було обрано модифікацію для удосконалення валка каландру, яка базується на технічному інновації [4].

Модифікація валка каландру, запатентовано під номером UA101025C2, пропонує значне удосконалення існуючої конструкції, метою якого є спрощення виготовлення валку, інтенсифікація теплообміну, зменшення кількості рідини для охолодження. Це допоможе виробляти гумову стрічку більш стабільно. Основні недоліки існуючих конструкцій полягали у недостатньому теплообміні між рідиною та валком.

Удосконалена конструкція, як зазначено у патенті, включає периферійні канали, які виконано у вигляді поздовжнього пазу на зовнішній поверхні бочки, поверх якої розташовано обичайку. Завдяки формі каналу і йде інтенсифікація теплообміну за рахунок збільшення площі контакту теплоносія з валком та простіший спосіб виготовлення. Це допоможе заощадити на виробництві валка, зменшити кількість рідини для охолодження.

Запропонована конструкція відповідає задачі спрощення виготовлення валка, збільшення теплообміну між рідиною та валком завдяки зміні форми каналів.



10 – поверхні периферійного каналу; 5 – теплоносій; 9 – обичайка; 8 – зона контакту обичайки та валка; 1 – поверхня валка

Рисунок 4.2 – Удосконалений периферійний канал валка



Рисунок 4.3 – Переріз периферійного каналу з зонами турбулізації теплоносія

Отже, цей патент вводить ключові удосконалення в конструкцію каландру, націлені на підвищення ефективності роботи та заощадження коштів на виготовлення. Ці канали значно покращують теплообмін рідини для охолодження з валком, що в свою чергу дає більш стабільне виробництво гумової стрічки. Хоча патент не надає прямого аналізу вартості конструкції або її техніко-економічних характеристик, можна припустити, що підвищення якості продукції та зменшення витрат на виробництво може призвести до економії витрат в довгостроковій перспективі.

5. Розрахунки

5.1. Параметричні розрахунки

5.1.1. Розрахунок геометричних параметрів валків

Розрахунок:

Робоча площа поверхні валка (F):

$$F = \pi \cdot D \cdot L$$

Підставляємо значення:

$$F = \pi \cdot 0.71 \cdot 1.8 \approx 4.01 \text{ м}$$

Робочий об'єм валка (V):

$$V = F \cdot h_k$$

Підставляємо $h_k=20 \text{ мм}=0.02 \text{ м}$:

$$V = 4.01 \cdot 0.02 \approx 0.0802 \text{ м}$$

Розрахунок довжини дуги захвату (l): Дуга захвату обчислюється як:

$$l = R \cdot \arcsin\left(\frac{hk}{D}\right)$$

Підставляємо значення:

$$l = 0.355 \cdot \arcsin\left(\frac{20}{710}\right) = 0.355$$

Звідси:

$$l \approx 0.355 \cdot 0.0282 \approx 0.010 \text{ м}$$

Робочий зазор ($h_{\text{роб}}$): Враховуючи нерівності поверхонь і допуски, робочий зазор визначають як середнє арифметичне:

$$h_{\text{роб}} = \frac{h_1 + h_k + h_2}{3}$$

Підставляємо значення:

$$h_{\text{роб}} = \frac{26 + 20 + 27}{3} = 24.33 \text{ мм}$$

5.1.2. Розрахунок коефіцієнта деформації матеріалу

Для розрахунку коефіцієнта деформації матеріалу (K_d) скористаємося стандартною формулою, яка визначає зміну товщини матеріалу до і після деформації:

$$K_d = \frac{S_0}{S_k}$$

Де:

S_0 — початкова товщина матеріалу, мм;

S_k — кінцева товщина матеріалу після деформації, мм.

Вихідні дані з документа:

Початкова товщина матеріалу $S_0 = 1.2$ мм.

Кінцева товщина матеріалу $S_k = h_{\text{калібр}} = 0.98$ мм

Розрахунок:

$$K_d = \frac{1.2}{0.98} \approx 1.224$$

Отже, коефіцієнт деформації матеріалу $K_d \approx 1.224$

Цей результат означає, що початкова товщина матеріалу зменшилася приблизно на 22.4% у процесі деформації.

5.1.3. Розрахунок продуктивності каландру

Для розрахунку продуктивності каландра (Q) використовується формула:

$$Q = F_{\text{роб}} \cdot V \cdot \rho$$

Де:

$F_{\text{роб}}$ — робоча площа поперечного перерізу матеріалу, м²;

V — швидкість обертання валків (лінійна швидкість подачі матеріалу), м/с;

ρ — густина матеріалу, кг/м^3 .

Вихідні дані:

Швидкість обертання валка: $V=0.4$ м/с.

Товщина матеріалу після обробки: $S_k=0.98$ мм= 0.00098 м

Ширина матеріалу: $B=1.8$ м (відповідає довжині валка).

Густина матеріалу: $\rho=1200$ кг/м (загальне значення для полімерів).

Розрахунок:

Робоча площа поперечного перерізу матеріалу:

$$F_{\text{роб}} = S_k \cdot B$$

Підставляємо:

$$F_{\text{роб}} = 0.00098 \cdot 1.8 = 0.001764 \text{ м}$$

Продуктивність каландра:

$$Q = F_{\text{роб}} \cdot V \cdot \rho$$

Підставляємо значення:

$$Q = 0.001764 \cdot 0.4 \cdot 1200 = 0.8477 \text{ кг/с}$$

Переведення продуктивності у тонни на годину:

$$Q_{\text{тонн/год}} = Q \cdot \frac{3600}{1000}$$

$$Q_{\text{тонн/год}} = 0.8477 \cdot 3.6 \approx 3.051 \text{ тонн/год}$$

Продуктивність каландра становить приблизно 3.05 тонни на годину.

5.1.4. Розрахунок силових параметрів і навантажень на валки

Розрахунок силових параметрів і навантажень на валки виконується для оцінки тисків і зусиль, що діють у процесі деформації матеріалу. Основна формула для розрахунку зусиль:

$$P = k \cdot B \cdot h_{\text{конт}} \cdot n$$

де:

P — зусилля, яке прикладається до валків, Н;

k — реологічна константа матеріалу, Па;

B — ширина матеріалу, м;

$h_{\text{конт}}$ — контактна довжина деформації, м;

n — коефіцієнт напруження, безрозмірний.

Вихідні дані:

Ширина матеріалу: $B=1.8$ м

Коефіцієнт напруження: $n=0.3$

Реологічна константа: $k=1.6$ МПа= $1.6 \cdot 10^6$ Па

Контактна довжина деформації: $h_{\text{конт}}$: Контактна довжина визначається як:

$$h_{\text{конт}} = \sqrt{R \cdot h_{\text{деф}}}$$

Де:

$R=0.355$ м — радіус валка;

$h_{\text{деф}}$ — деформація матеріалу,

$$h_{\text{деф}} = h_{\text{поч}} - h_{\text{кінц}} = 0.0012 - 0.00098 = 0.00022 \text{ м}$$

Обчислюємо $h_{\text{конт}}$:

$$h_{\text{конт}} = \sqrt{0.355 \cdot 0.00022} \approx 0.00885 \text{ м}$$

Розрахунок зусилля:

Підставляємо значення в основну формулу:

$$P = k \cdot B \cdot h_{\text{конт}} \cdot n$$

$$P = 1.6 \cdot 10^6 \cdot 1.8 \cdot 0.00885 \cdot 0.3$$

$$P \approx 7653.6 \text{ Н} (\approx 7.65 \text{ кН})$$

Розрахунок навантаження на валки:

Середнє навантаження на валки (q) визначається як:

$$q = \frac{P}{L}$$

Де:

$L=1.8$ м — довжина валка.

Підставляємо значення:

$$q = \frac{7653.6}{1.8} \approx 4252 \text{ Н/м}$$

Загальне зусилля, яке прикладається до валків: 7.65 кН.

Середнє навантаження на валки: 4252 Н/м.

5.1.5. Розрахунок потужності приводу каландру

Для розрахунку потужності приводу каландра (N) використовується формула:

$$N = \frac{P_{\text{кал}} \cdot V}{\eta}$$

Де:

N — потужність приводу, Вт;

$P_{\text{кал}}$ — силове навантаження каландра, Н;

V — лінійна швидкість обертання валків, м/с;

η — коефіцієнт корисної дії приводу (ККД).

Вихідні дані:

Силове навантаження каландра: $P_{\text{кал}} = 7653.6 \text{ Н}$

Лінійна швидкість валка: $V = 0.4 \text{ м/с}$

Коефіцієнт корисної дії: $\eta = 0.85$

Розрахунок потужності:

Підставляємо значення у формулу:

$$N = \frac{P_{\text{кал}} \cdot V}{\eta}$$

$$N = \frac{7653.6 \cdot 0.4}{0.85}$$

$$N \approx 3601.7 \text{ Вт} (\approx 3.6 \text{ кВт})$$

Необхідна потужність приводу каландра становить 3.6 кВт.

5.2. Розрахунки на міцність та жорсткість

5.2.1. Розрахунок валків на міцність

Розрахунок валків на міцність базується на перевірці максимальних напружень, що виникають у валках, на їх допустимі значення.

Вихідні дані:

Діаметр валка: $D=710$ мм;

Довжина валка: $L=1800$ мм;

Зусилля на валок: $P=7653.6$ Н;

Допустиме напруження матеріалу валка: $[\sigma]=375$ МПа

Максимальний вигинальний момент:

$$\frac{M = P \cdot L}{4}$$

Підставляємо значення:

$$M = \frac{7653.6 \cdot 1.8}{4} \approx 3444.12 \text{ Н}$$

Максимальне вигинальне напруження:

$$\frac{\sigma = M \cdot c}{I}$$

Де:

$C=0.355$ м — відстань від осі до зовнішньої поверхні валка;

$$I = \frac{\pi \cdot (0.71)^4}{64} \approx 0.00934 \text{ м}^4 \text{ — момент інерції}$$

Обчислюємо:

$$\sigma = \frac{3444.12 \cdot 0.355}{0.00934} \approx 130.96 \text{ МПа}$$

Перевірка на міцність:

$$\sigma < [\sigma] \text{ тобто } 130.96 \text{ МПа} < 375 \text{ МПа}$$

Валок витримує навантаження. За ГОСТ 19523-81 приймаємо двигун

4А180S4У3 потужністю $N_1 = 22$ кВт з числом обертів $n_1 = 1500$ об/хв = 25 об/с.

Загальне передаточне число дробарки:

$$u = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1500}{900} = 1,67.$$

Крутний момент на валу двигуна:

$$M_{кр1} = 9550 \frac{N_1}{n_1} = 9550 \frac{22}{1500} = 140 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

5.2.2. Розрахунок підшипників та їх з'єднань

Визначення радіального навантаження на підшипник:

Радіальне навантаження визначається як:

$$Fr = \frac{P}{2}$$

Підставляємо значення:

$$Fr = \frac{7653.6}{2} = 3826.8 \text{ Н}$$

Перевірка динамічної вантажопідйомності:

Динамічну вантажопідйомність підшипника (СС) визначають за формулою:

$$C \geq Fr \cdot (60 \cdot n \cdot L_h \cdot 10^6)^{\frac{1}{3}}$$

Де:

$$n=1500 \text{ об/хв}$$

$$L_h=10^4 \text{ год}$$

Підставляючи стандартні параметри підшипника, виконується вибір моделі з каталогу.

5.2.3. Розрахунок рами каландра на стійкість

Рама каландра розраховується на стійкість і перевірку допустимих напружень.

Розрахункове навантаження на раму: Загальне навантаження:

$$F_{\text{рама}}=P=7653.6 \text{ Н}$$

Критичне навантаження на стійкість (формула Ейлера):

$$F_{кр} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l^2}$$

Де:

$E=2.1 \cdot 10^{11}$ Па— модуль Юнга для сталі;

I — момент інерції профілю рами;

l — висота рами.

Для заданих параметрів рами обчислюємо $F_{кр}$ і перевіряємо умову:

$$F_{рама} < F_{кр}$$

5.3. Гідравлічні розрахунки

5.3.1. Розрахунок системи регулювання тиску між валками

Система регулювання тиску між валками забезпечує необхідний тиск для досягнення заданої сили притиску $P_{\text{кал}}$. Основними параметрами є гідравлічний тиск $p_{\text{гід}}$ і площа поршня $A_{\text{п}}$.

1. Формула для розрахунку тиску:

$$p_{\text{гідр}} = \frac{P_{\text{кал}}}{A_{\text{п}}}$$

Де:

- $P_{\text{кал}}=7653.6 \text{ Н}$ — зусилля притиску між валками;
- $A_{\text{п}}$ — площа поршня;
- $d_{\text{п}}$ — діаметр поршня, м.

2. Для $d_{\text{п}}=0.1 \text{ м}$:

$$A_{\text{п}} = \frac{\pi \cdot (0.1)^2}{4} = 0.00785 \text{ м}^2$$
$$p_{\text{гідр}} = \frac{7653.6}{0.00785} \approx 975.1 \text{ кПа} = 0.9751 \text{ МПа}$$

3. Перевірка відповідності параметрам:

Гідравлічний тиск повинен бути меншим за максимальний тиск системи, наприклад, 20 МПа. У даному випадку $p_{\text{гідр}}$ відповідає вимогам.

5.3.2. Розрахунок подачі мастильного матеріалу

Подача мастильного матеріалу до валків забезпечує зменшення тертя та знос деталей.

1. Формула для витрати мастильного матеріалу:

$$Q_{\text{маст}} = v_{\text{шару}} \cdot A_{\text{маст}}$$

Де:

- $Q_{\text{маст}}$ — витрата мастила, $\text{м}^3/\text{с}$;
- $v_{\text{шару}}$ — швидкість потоку мастила, $\text{м}/\text{с}$ (рекомендовано

$$v_{\text{шару}}=0.1 \text{ м/с);}$$

- $A_{\text{маст}}=\pi \cdot D_{\text{маст}} \cdot L_{\text{маст}}$ — площа змазувальної зони, м^2 ;
- $D_{\text{маст}}$ і $L_{\text{маст}}$ — діаметр і довжина зони змазування.

2. Розрахунок площі змазувальної зони: При $D_{\text{маст}}=0.71 \text{ м}$ і

$$L_{\text{маст}}=1.8 \text{ м:}$$

$$A_{\text{маст}} = \pi \cdot 0.71 \cdot 1.8 \approx 4.01 \text{ м}$$

3. Витрата мастила:

$$Q_{\text{маст}} = 0.1 \cdot 4.01 \approx 0.401 \text{ м/с}$$

4. Переведення в літри на хвилину:

$$Q_{\text{маст}} = 0.401 \cdot 1000 \cdot 60 \approx 24060 \text{ л/хв}$$

Гідравлічний тиск для регулювання тиску між валками: 0.975

МПа (залежно від площі поршня).

Подача мастильного матеріалу: 24,060 л/хв.

5.4. Порівняльні розрахунки модернізованого і немодернізованого вузла за допомогою сае-системи

Тепловий розрахунок каландра включає оцінку теплового стану валків під час роботи та розрахунок системи охолодження для забезпечення стабільної роботи.

Тепловий розрахунок каландра спрямований на визначення температурних режимів роботи його основних елементів, таких як валки, приводи та система охолодження або обігріву. Враховуючи, що каландр працює при високих температурах, точний тепловий розрахунок дозволяє забезпечити оптимальну роботу обладнання та запобігти перегріву чи перевантаженню теплових елементів.

Одним із основних завдань є визначення температури поверхні валків під час роботи. Для цього необхідно врахувати такі фактори:

Теплопередача: Валки отримують тепло від матеріалу, який обробляється, а також від тепла, яке виділяється через тертя між матеріалом і поверхнею валків. Теплопередача залежить від коефіцієнта теплопровідності матеріалу валків та температури матеріалу.

Теплова потужність, що виділяється: Теплова потужність, що виділяється на валках, залежить від величини тиску, що прикладається до матеріалу, і швидкості обробки. Чим більший тиск і швидкість, тим більше енергії виділяється у вигляді тепла.

Охолодження або обігрів: Оскільки температура валків може значно підвищуватися, необхідно провести розрахунок системи охолодження або обігріву. Це дозволяє підтримувати робочу температуру валків у межах, які забезпечують їх ефективну роботу без перегріву чи зносу.

5.4.1. Аналіз теплового стану валків під час роботи

Кількість тепла, що виділяється в процесі роботи валків: Для оцінки теплового стану валків використовується формула:

$$Q_{\text{дис}} = P_{\text{кал}} \cdot V$$

Де:

$Q_{\text{дис}}$ — кількість тепла, що виділяється через тертя, Вт;

$P_{\text{кал}} = 7653.6$ Н — силове навантаження;

$V = 0.4$ м/с — лінійна швидкість валків.

Підставляємо значення:

$$Q_{\text{дис}} = 7653.6 \cdot 0.4 = 3061.44 \text{ Вт} (\approx 3.06 \text{ кВт})$$

Підвищення температури валків оцінюється за формулою:

$$\Delta T = \frac{Q_{\text{дис}}}{m \cdot c}$$

Де:

$m = \rho_{\text{мат}} \cdot V_{\text{валок}}$ — маса валка;

$c = 460$ Дж/(кг·°C) — питома теплоємність сталі;

$\rho_{\text{мат}} = 7800$ кг/м — густина сталі;

$V_{\text{валок}} = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot L}{4}$ — об'єм валка.

Об'єм валка:

$$V_{\text{валок}} = \frac{\pi \cdot (0.71)^2 \cdot 1.8}{4} \approx 0.714 \text{ м}$$

Маса валка:

$$m = 7800 \cdot 0.714 \approx 5569.2 \text{ кг}$$

Підвищення температури:

$$\Delta T = \frac{3061.44}{5569.2 \cdot 460} \approx 0.12 \text{ °C}$$

5.4.2. Розрахунок системи охолодження

Для забезпечення стабільної температури валків використовується система охолодження. Основним параметром є теплове навантаження, яке необхідно компенсувати.

Необхідна потужність системи охолодження:

$$Q_{\text{охл}} = Q_{\text{дис}}$$

Підставляємо значення:

$$Q_{\text{охл}} = 3.06 \text{ кВт}$$

Витрата охолоджувальної рідини:

Визначається за формулою:

$$G = \frac{Q_{\text{охл}}}{c_{\text{рідини}} \cdot \Delta T_{\text{рідини}}}$$

Де:

$c_{\text{рідини}} = 4200 \text{ Дж/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}$ — питома теплоємність води;

$\Delta T_{\text{рідини}} = 10 ^\circ\text{C}$ — різниця температур охолоджувача на вході та виході.

Обчислюємо:

$$G = 3061.444200 \cdot 10 \approx 0.073 \text{ кг/с}$$

Об'ємна витрата охолоджувача: Для води густиною $\rho_{\text{рідини}} \approx 1000 \text{ кг/м}^3$

$$Q_{\text{рідини}} = \frac{G}{\rho_{\text{рідини}}} = \frac{0.073}{1000} \approx 0.073 \text{ л/с}$$

У годину:

$$Q_{\text{рідини}} = 0.073 \cdot 3600 \approx 262.8 \text{ л/год}$$

Теплове навантаження валків: 3.06 кВт.

Підвищення температури валків: $0.12 ^\circ\text{C/с}$.

Необхідна потужність охолодження: 3.06 кВт.

Витрата охолоджувальної рідини: 262.8 л/год.

5.4.3. Розрахунок системи охолодження за допомогою мови програмування

C++

Виконуємо перевірочний розрахунок пункту «5.4.2 Розрахунок системи охолодження» за допомогою програми, складеної на мові програмування C++. Текст програми у Додатку В.

5.4.3.1. Вихідні дані для розрахунку:

$$Q_{\text{охл}} = 3.06 \text{ кВт};$$

$$c_{\text{рідини}}=4200 \text{ Дж/(кг}\cdot^{\circ}\text{C)}$$

$$\Delta T_{\text{рідини}}=10^{\circ}\text{C}$$

5.4.3.2. Результати розрахунків:

Витрата охолоджувальної рідини: 262.286 л/год.

5.4.4. Порядок розрахунку

Для розрахунку була прийнята модель валка, що показана на рис. 5.1

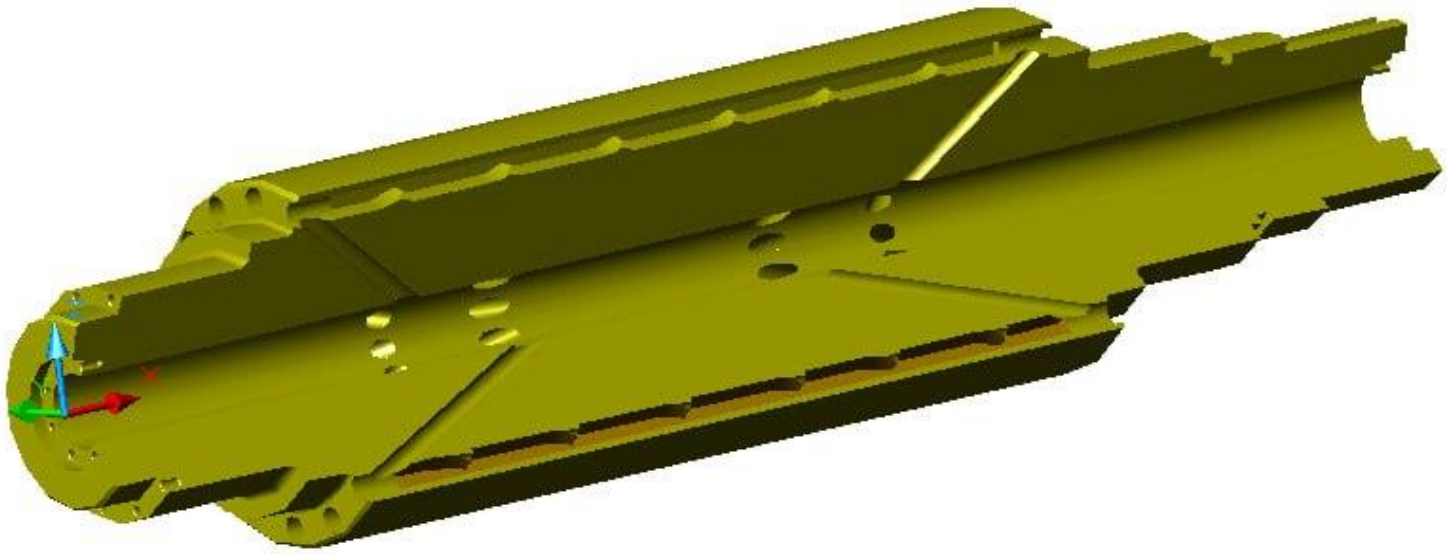


Рисунок 5.1 – модель валка

На даному рисунку показано модель 3/4 від всього валка. Прикладання тиску буде відбуватись на вході каналів теплоносія. Розміри валка були взяті з Таблиці 2.1. Рідина – вода, яку задали в SolidWorks FlowSimulation.

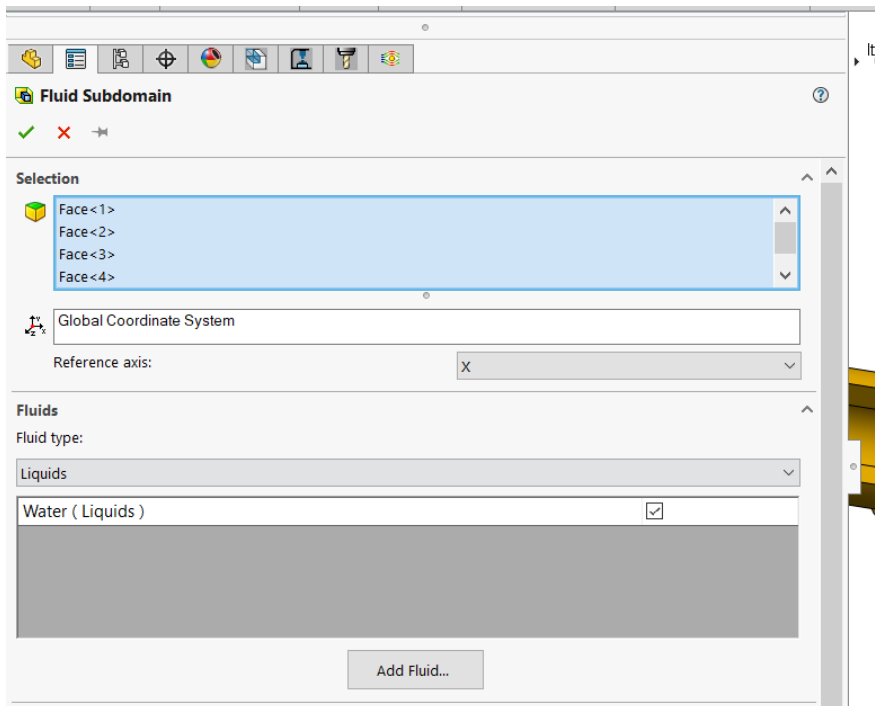


Рис 5.2 – властивості рідини вода

Додаємо геометрію заглушок:

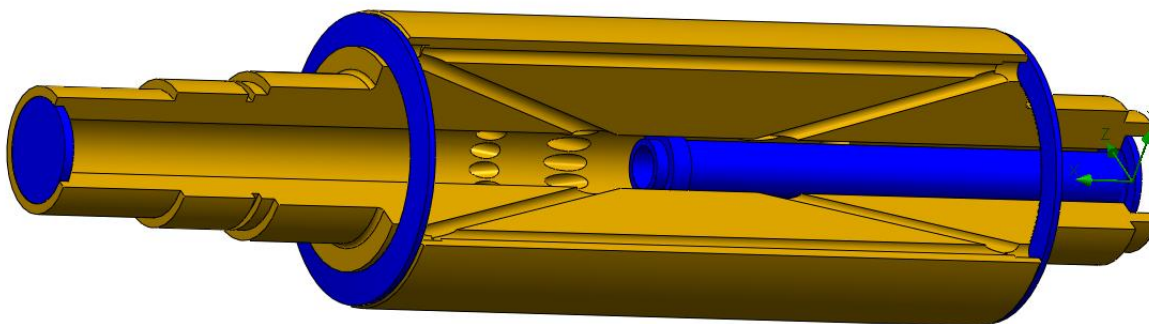


Рисунок 5.3 – Побудова заглушок

Задаємо значення тисків зовнішнього, внутрішнього, масову витрату на виході каналів.

Внутрішній тиск: 0.1 МПа;

Масова витрата рідини: 0.6 кг/с

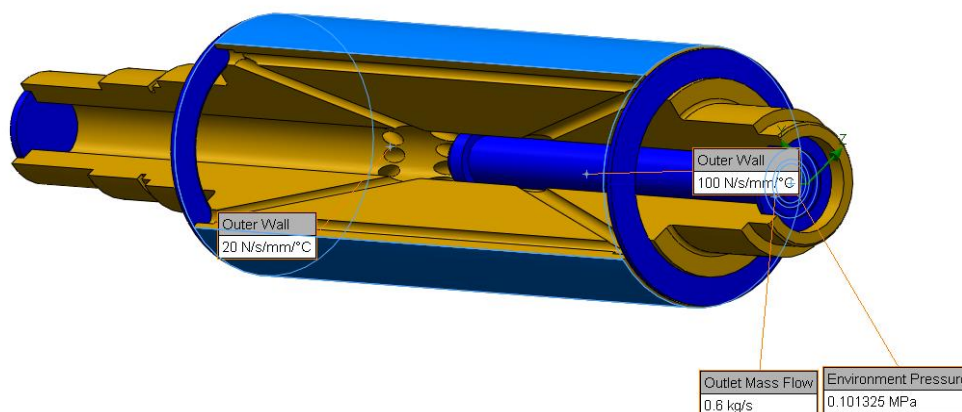


Рисунок 5.4 – Задання вхідних змінних для вирішення

Задаємо бажані результуючі змінні: Швидкість, температуру

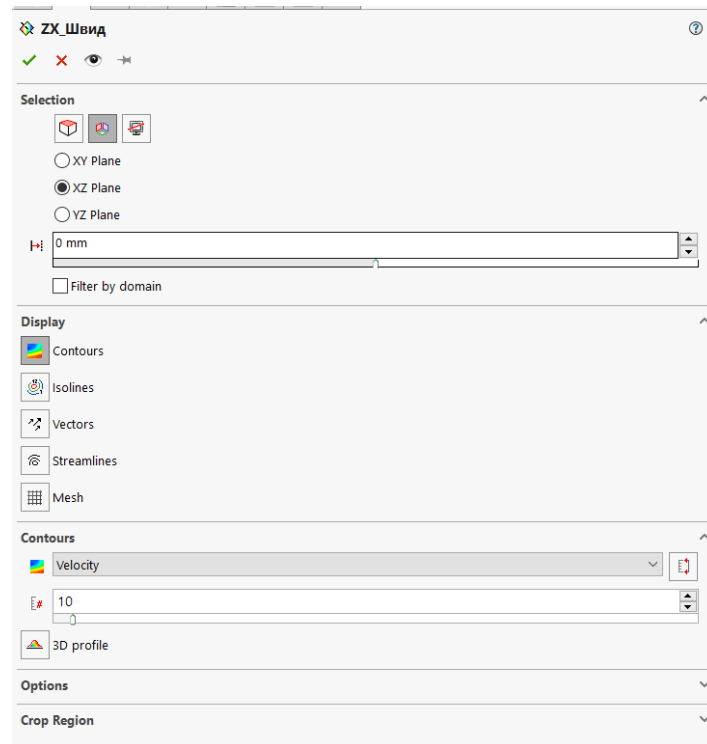


Рисунок 5.5 – Задання швидкості руху теплоносія у результат

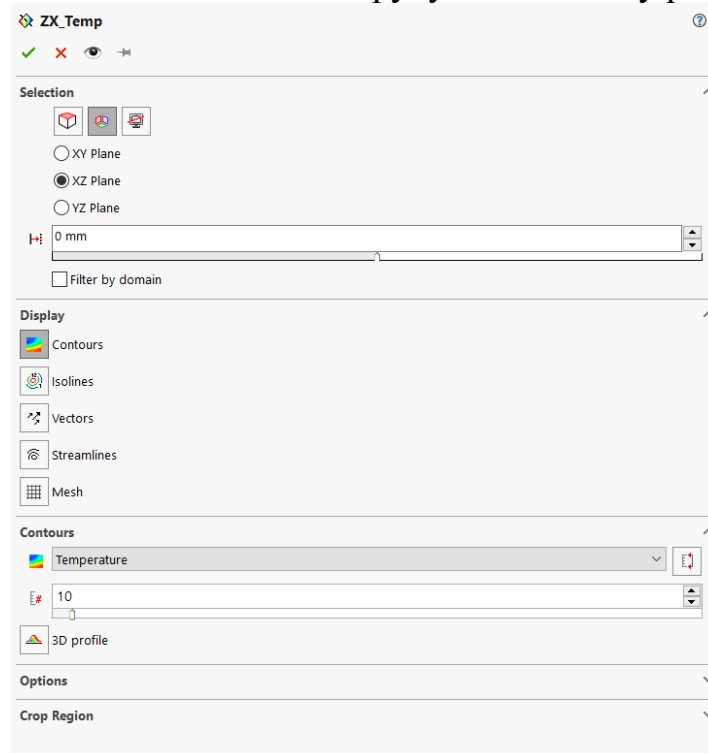


Рисунок 5.6 – задання температури теплоносія у результат

Результати розрахунку за допомогою числового моделювання:

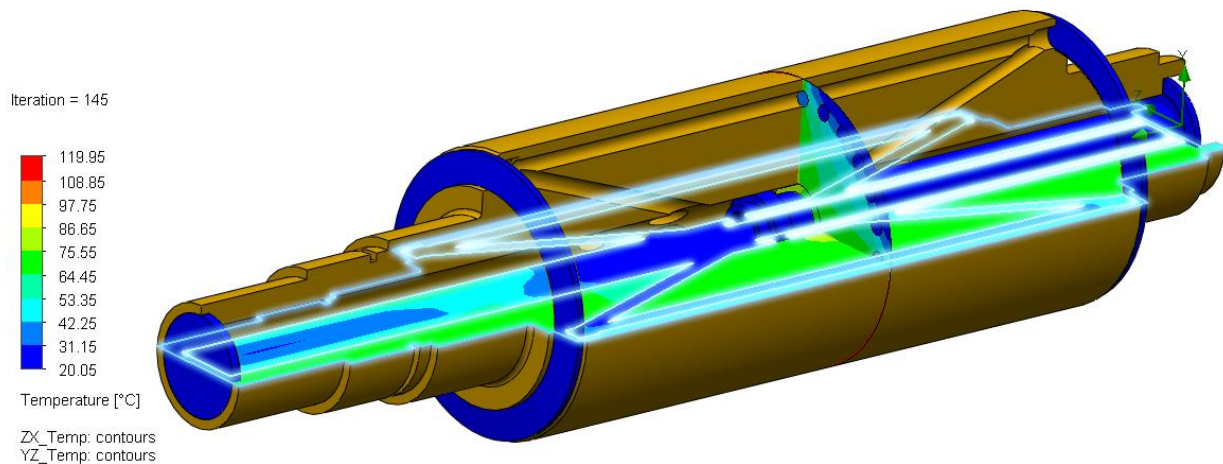


Рисунок 5.7 – Температура теплоносія

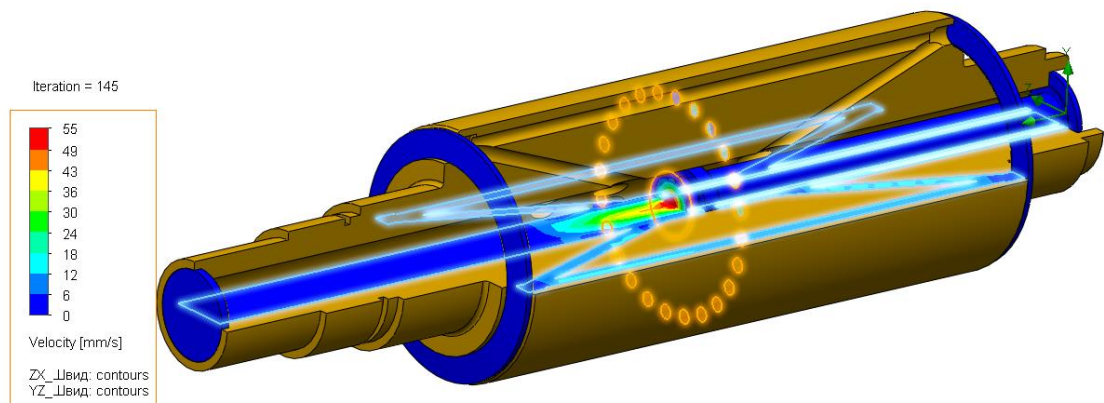


Рисунок 5.8 – Швидкість руху теплоносія

Висновки: На рисунку 5.7 представлено результат числового моделювання теплообміну внутрішніх процесів у валку. Показано температуру теплоносія в валку, що рухається по каналах від 20 до 120°C. Даний розподіл свідчить про ефективну роботу досліджуваного пристрою. Розподіл температури є логічним і узгоджується з фізикою процесу: спостерігається плавна зміна температури вздовж каналу та достатньо інтенсивний теплообмін між потоком і стінками. Структура потоку забезпечує належне перемішування середовища, що сприяє вирівнюванню температурних градієнтів. На рисунку 5.8 представлено результат числового моделювання гідродинаміки потоку рідини в валку. Візуалізовано розподіл швидкості та лінії руху потоку зі шкалою зліва у мм/с. У центральній частині формується основний швидкісний струмінь. Турбулізація потоку покращує перемішування середовища. Розподіл швидкості є рівномірним і фізично обґрунтованим, без критичних застійних зон або небажаних перевантажень. Конструкція забезпечує оптимальний баланс між швидкістю потоку та його стабільністю.

6. Охорона праці

Охорона праці включає комплекс заходів, правил та законів, які впроваджуються в організаціях для забезпечення безпеки і здоров'я працівників. Ключовою ціллю системи охорони праці є дотримання стандартів безпеки, встановлених законодавством, щоб захистити здоров'я та права працівників уникнути нещасних випадків на робочому місці та попередити професійні захворювання, а також мінімізувати негативний вплив робочого середовища на здоров'я.

У даному дипломному проекті, присвяченому каландру для виробництва гумової стрічки з акцентом на дослідження температурних розширень конструктивних елементів, були розроблені спеціальні заходи для безпечної експлуатації виробничої лінії, включаючи основне обладнання – каландр.

Під час роботи оператори знаходяться в окремій кімнаті, а сама лінія розташована в спеціально облаштованому виробничому цеху. З урахуванням всіх вимог до розміщення та функціонування лінії, площа цеху становить 250 м², а об'єм – 1500 м³.

На цьому виробництві ідентифіковано кілька шкідливих та небезпечних факторів, які необхідно враховувати. Серед них – рівень освітлення, виробничий шум, якість повітря в робочій зоні, електробезпека виробничих процесів і пожежна безпека.

6.1 Повітря робочої зони

Роботу оператора, який обслуговує тривалковий каландр, класифікують як легку працю категорії Іб згідно з ДСН 3.3.6.042-99. Ця категорія включає завдання, що виконуються сидячи, стоячи або з певною фізичною активністю, такою як ходіння, які потребують незначних фізичних зусиль. У таких умовах енерговитрати працівника складають від 121 до 150 ккал/год (приблизно 175 Вт), що відповідає категорії ІІа (Легка праця з

підвищеними навантаженнями). Відповідно до встановлених норм, оптимальні параметри мікроклімату в робочій зоні каландру визначаються наступним чином: Табл.5.1 – Параметри мікроклімату робочого середовища

Вимоги до якісного повітря в робочому приміщенні відповідають стандарту ДСН 3.3.6.042-99 . Згідно з документом ДБН В.1.1-7:2016, приміщення, де розташовано каландр, повинно бути обладнане як місцевою, так і загальною вентиляцією. Це необхідно для ефективного видалення пилу, шкідливих домішок і токсичних газів, що можуть виділятися під час роботи з матеріалами.

6.2 Промислове освітлення

Освітлення цеху є важливим аспектом охорони праці, оскільки воно безпосередньо впливає на безпеку та здоров'я працівників. Достатнє та якісне освітлення повинно забезпечувати достатній рівень яскравості і правильну передачу кольорів, що є особливо важливим при роботі з високою точністю або з рухомими механізмами, щоб уникнути ризиків і небезпек для життя та здоров'я. Раціональне освітлення робочого місця оператора чотирьохвалкового каландра позитивно впливає на його психофізичний стан, сприяє підвищенню продуктивності праці та забезпеченню безпеки, а також зберігає високий рівень працездатності протягом робочого дня. Для створення сприятливих умов роботи в цеху, де використовується природне освітлення, були обрані бічні світлові отвори, через які світло проникає через вікна в зовнішніх стінах. Це дозволяє організувати ефективну та комфортну роботу в денний час. Згідно зі ДБН В.2.5-28:2018, необхідний рівень освітлення робочого місця оператора каландру становить 300 лк. Для досягнення рівня штучного освітлення, максимально наближеного до природного, в приміщенні встановлено А-LED-50x24-3-1000-165-25056 потужністю 165 Вт кожна. Ці лампи розміщені в два ряди по дві штуки, що забезпечує рівномірне освітлення робочої зони.

6.3 Виробничий шум

Основними джерелами виробничого шуму в каландрових лініях є редуктор, електродвигун та основний робочий вузол каландра – валки. Згідно з нормами ДСН 3.3.6.037 – 99, рівень шуму на робочому місці оператора каландра не повинен перевищувати 65 дБА.

Однак, фактичний рівень шуму в каландрово-екструзійному виробництві залежить від різних факторів: стану обладнання, умов навколишнього середовища, типу матеріалів, що обробляються, та швидкості роботи. У даному випадку загальний рівень шуму на лінії досягає 95 дБА, що перевищує допустимий максимум за ДСН 3.3.6.037 – 99.

Допустимий рівень шуму для таких виробництв становить 80 дБА. Тривале перебування в умовах підвищеного шуму може призвести до негативних наслідків, таких як часткова або повна втрата слуху, зниження пам'яті, підвищена дратівливість і втомлюваність. Тому вкрай важливо впроваджувати заходи для захисту працівників.

Відповідно до нормативних вимог, для захисту працівників передбачено використання індивідуальних засобів захисту, таких як протишумові навушники Dnipro-M Profi, які здатні знизити рівень шуму на 32 дБА. Це дозволяє значно зменшити вплив шуму на працівників і забезпечити безпечні умови роботи.

6.4 Електробезпека

Електробезпека на виробництві є критично важливим аспектом охорони праці, оскільки неправильна експлуатація або обслуговування електричного обладнання може призвести до серйозних травм, пожеж та інших небезпек. У виробничому приміщенні, де встановлена лінія з використанням каландра, використовується електромережа з напругою 220/380 В і частотою 50 Гц, з ізолюваною нейтраллю. Це класифікується як середовище з підвищеною небезпекою ураження електричним струмом.

Ризики ураження електричним струмом на виробництві можуть бути спричинені кількома факторами:

Недостатній рівень ізоляції: Високий ризик ураження виникає через погано ізольовані кабелі та електричні компоненти.

Недотримання правил електробезпеки: Неправильне підключення обладнання, використання несертифікованих електричних пристроїв, несправності ізоляції, а також робота в умовах підвищеної вологості без належного захисту.

Невідповідна підготовка персоналу: Відсутність належних інструктажів та навчання з безпечної роботи з електрообладнанням, неправильне використання інструментів.

Порушення виробничої дисципліни: Недотримання правил і процедур з боку працівників.

Неправильна установка електричних систем: Невідповідний монтаж електричних систем і обладнання.

Для уникнення тривалого впливу електричного струму, небезпечного при силі струму $I = 0.01$ А, необхідно дотримуватися наступних заходів безпеки, згідно з ДСТУ 7237:2011:

Заземлення електрообладнання: Усі електричні пристрої та обладнання повинні бути надійно заземлені, щоб уникнути небезпечних витоків струму.

Маркування та захист кабелів: Кабелі повинні бути чітко марковані та захищені, наприклад, прокладені в сталевих трубах, для запобігання механічним пошкодженням.

Знаки безпеки: Установлення помітних знаків, що попереджають про небезпеку ураження електричним струмом.

Пристрої захисного відключення: Встановлення справних пристроїв захисного відключення (ПЗВ), які автоматично відключають подачу струму у разі виявлення несправності.

Дотримання цих заходів забезпечить безпечну експлуатацію

електрообладнання і захист працівників від потенційних небезпек.

6.5 Пожежна безпека

Пожежна безпека підприємств та інших організацій забезпечується через проведення ряду організаційних та технічних заходів, що спрямовані на попередження пожеж та зменшення їх негативних наслідків. Також важливо створити умови для швидкого виклику пожежних підрозділів і успішного гасіння пожеж. Особливу увагу слід приділити лінії виробництва з використанням каландру, оскільки робота пов'язана з нагріванням полімерних матеріалів, які можуть займатися при температурі від 350 до 400 °C.

Клас приміщень за пожежною безпекою, де встановлено каландри, визначається як клас В, з пожежними зонами П-Па та категорією пожежної небезпеки II, згідно з ДСТУ Б В.1.1-36:2016.

Фактори, що можуть стати причиною пожежі, включають:

Неправильне дотримання правил електробезпеки.

Іскри або займання ізоляції під час зварювальних робіт.

Порушення виробничої дисципліни.

Невідповідність електрообладнання технічним стандартам.

Короткі замикання та збої в роботі електромережі. Для запобігання цим ризикам рекомендується:

Регулярно проводити інструктажі з техніки безпеки та технічні огляди обладнання виробничої лінії.

Забезпечувати приміщення достатньою кількістю засобів пожежогасіння, таких як пісок, ручні та автоматичні вогнегасники, пожежні гідранти.

Встановлювати датчики диму та системи електричної пожежної сигналізації.

Заземлювати всі металеві компоненти обладнання.

Розробити та ознайомити всіх працівників з планом евакуації та інструкціями на випадок пожежі.

В приміщенні необхідно розмістити телефон і табличку з номером "101" для

оперативного зв'язку з пожежною службою. План евакуації, включаючи маршрути для людей та переміщення обладнання, повинен бути доступний та відомий усім працівникам. Усі засоби протипожежної безпеки мають бути легко доступними і готовими до використання. Справність цих засобів повинна постійно контролюватися призначеними відповідальними працівниками.

Приміщення повинно мати щонайменше два евакуаційні виходи з коридорами шириною не менше 1.2-1.5 метра, щоб забезпечити безпечну евакуацію в разі надзвичайної ситуації. Кількість вогнегасників, згідно установленої норми має складати один на 100-150м, тобто в нашому випадку це не менше 3 на приміщення де розташований каландрова лінія. Приклад марки вогнегасників: ОП-5, ОП-8, ОП-10 (де цифра вказує на вагу порошку в кілограмах). Підходять для класів пожеж А, В, С.

Підсумки

Для забезпечення ефективної охорони праці, необхідно суворо дотримуватись встановлених стандартів та норм. Це включає регулярні інструктажі, технічні огляди та використання індивідуальних засобів захисту, таких як протишумові навушники і заземлення обладнання. Крім того, приміщення має бути оснащено відповідними засобами пожежогашіння і забезпечуватися достатнім рівнем освітлення, щоб уникнути небезпек, пов'язаних із поганою видимістю або перевищенням допустимого рівня шуму.

Планування й реалізація заходів з охорони праці допомагає створити безпечне та здорове робоче середовище, що сприяє підвищенню продуктивності праці та збереженню життя і здоров'я працівників. Охорона праці не лише відповідає за дотримання законодавчих вимог, але й є критично важливою для збереження ресурсів і підвищення ефективності діяльності підприємства.

7. Технологія виготовлення деталі

7.1 Опис та призначення деталі

Лабіринтне кільце належить до корпусних елементів і монтується на вал через прецизійний отвір діаметром $\varnothing 150H8$. Воно також оснащено точною зовнішньою циліндричною поверхнею діаметром $\varnothing 162h6$, яка служить для щільного з'єднання з відповідною частиною вузла.

Під час виготовлення цієї деталі особлива увага приділяється остаточній механічній обробці поверхонь $\varnothing 150H8$ та $\varnothing 162h6$, що гарантує необхідну точність посадки та високу якість з'єднання. Для виробництва лабіринтного кільця застосовується сталь марки 3пс згідно з вимогами ДСТУ 2651. Це низьковуглецева конструкційна сталь із вмістом вуглецю в межах 0,14–0,22%. Індекс «пс» свідчить про напівспокійну структуру сталі, яка забезпечує стабільні механічні характеристики та хорошу оброблюваність.

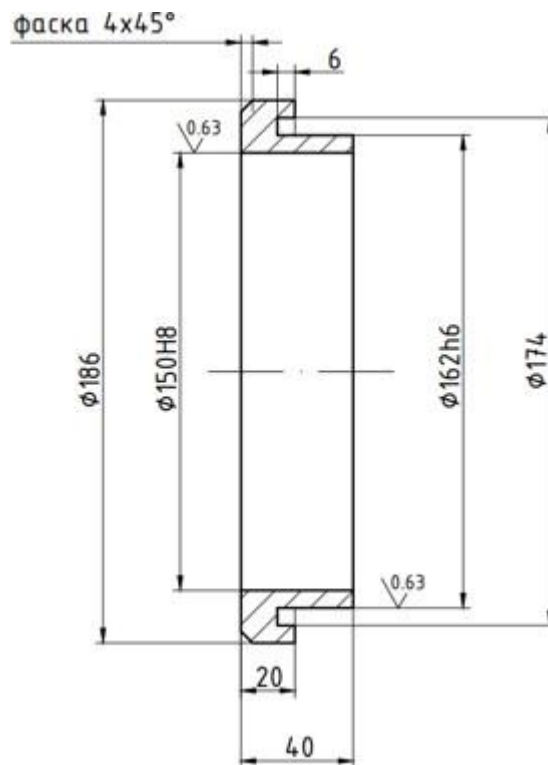


Рис.1.1 – Виконане креслення деталі «лабіринтне кільце»

7.2 Вибір заготовки для виготовлення деталі

На основі вимог креслення та аналізу конструктивних особливостей лабіринтного кільця, найдоцільнішим способом отримання заготовки визначено штампування відповідно до стандарту ГОСТ 7505-89. Цей технологічний процес дає змогу формувати отвори складної конфігурації з високою точністю та якісною обробкою поверхонь.

Серед основних переваг штампування слід виділити: низький рівень шорсткості поверхні, точність виготовлення в межах 0,05–1 мм, незначні припуски на подальші операції обробки, а також економічну доцільність методу. Завдяки цим властивостям штампування є оптимальним вибором для виготовлення деталей, що висувають підвищені вимоги до точності й чистоти поверхні.

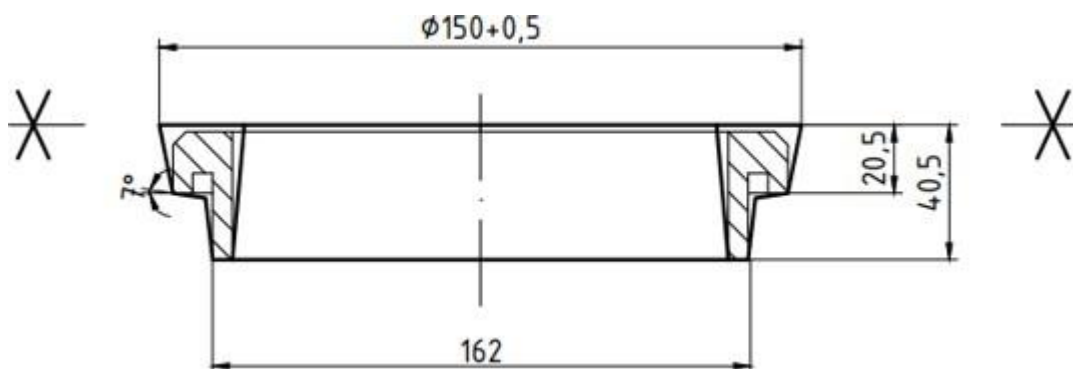


Рис.1.2- Ескіз заготовки

Лабіринтне кільце належить до класу корпусних деталей. Проаналізувавши його конструкції з точки зору технологічності дозволили зробити наступні висновки:

Конструкція кільця забезпечує можливість обробки отвору $\phi 150H8$ наскрізь, що спрощує процес виготовлення.

Доступ інструментів до оброблюваних поверхонь не обмежений конструкцією, що полегшує їх обробку.

Всі оброблювані отвори та поверхні є

взаємопаралельними або перпендикулярними один до одного, що сприяє точності обробки.

Конструкція кільця забезпечує достатню жорсткість, дозволяючи використовувати високі режими різання.

Лабіринтне кільце не містить поверхонь, для обробки яких потрібно застосовувати спеціалізовані інструменти.

Таким чином, конструкція лабіринтного кільця є технологічно ефективною та зручною для обробки.

7.3 Вибір типового технологічного процесу і типових схем обробки поверхонь

Лабіринтне кільце класифікується як "корпусна деталь", тому типовий технологічний процес його обробки включає кілька ключових етапів:

Обробка площини великого розміру для використання її як базової установочної поверхні.

Чорнове та чистове точіння (включаючи свердління та розточування) основних поверхонь кільця.

Тонке розточування для приведення точних поверхонь до заданих розмірів.

На основі цього підходу обробка конкретних поверхонь виглядає так:

Поверхня Ø162h6 підлягає чорновому та чистовому точінню.

Отвір Ø150H8 обробляється шляхом чорнового та чистового розточування.

Поверхня Ø186 проходить через етапи чорнового і чистового точіння.

Торцеві частини деталі піддаються чорновому торцевому підрізання.

Ці етапи забезпечують точність і якість обробки всіх необхідних поверхонь лабіринтного кільця.

7.4 Розробка маршрутного технологічного процесу

Операція 005: Токарна обробка

Заготовка фіксується в трикулачковому патроні токарного верстата, використовуючи діаметр Ø186. При цьому торець Ø186 слугує установочною базою, забезпечуючи три опорні точки, а зовнішня поверхня Ø186 виконує роль прямої бази, забезпечуючи дві опорні точки.

1. Провести чорнове та чистове підрізання торця з діаметром Ø162h6.
2. Виконати чорнове та чистове розточування отвору Ø150H8.
3. Проточити канавку діаметром Ø174 начорно і начисто.
4. Провести чорнове та чистове підрізання торця Ø186.

Операція 010: Токарна обробка

Базування для цієї операції здійснюється аналогічно операції 005.

1. Виконати чорнове та чистове підрізання торця Ø186.
2. Провести чорнове та чистове точіння поверхні Ø186.
3. Зняти фаску розміром 4x45°.

Ці операції забезпечують точну обробку і підготовку основних поверхонь лабіринтного кільця.

7.5 Вибір пристосування для певної операції

Для обробки лабіринтного кільця обрано токарно-гвинторізний верстат моделі 16K20. Заготівка буде оброблятися за допомогою стандартного ріжучого інструменту з твердосплавними напайками на основі сплаву ВК-8.

Установлення деталі здійснюється в типовий універсальний трикулачковий самоцентрувальний патрон, який забезпечує надійне центрування та фіксацію циліндричних заготовок. Такий

тип патрона є невід'ємною частиною більшості токарних верстатів, оскільки три кулачки одночасно і симетрично затискають деталь, гарантують її стійке положення під час обробки. Основна перевага цього пристрою полягає у можливості обробки заготовок різного діаметру без необхідності зміни оснащення. Процес обробки включає послідовне точіння з обох боків. Спочатку обробляється одна сторона деталі, після чого вона перевертається для обробки протилежної поверхні. Такий підхід забезпечує рівномірну точність та якість обробки по всій довжині деталі.

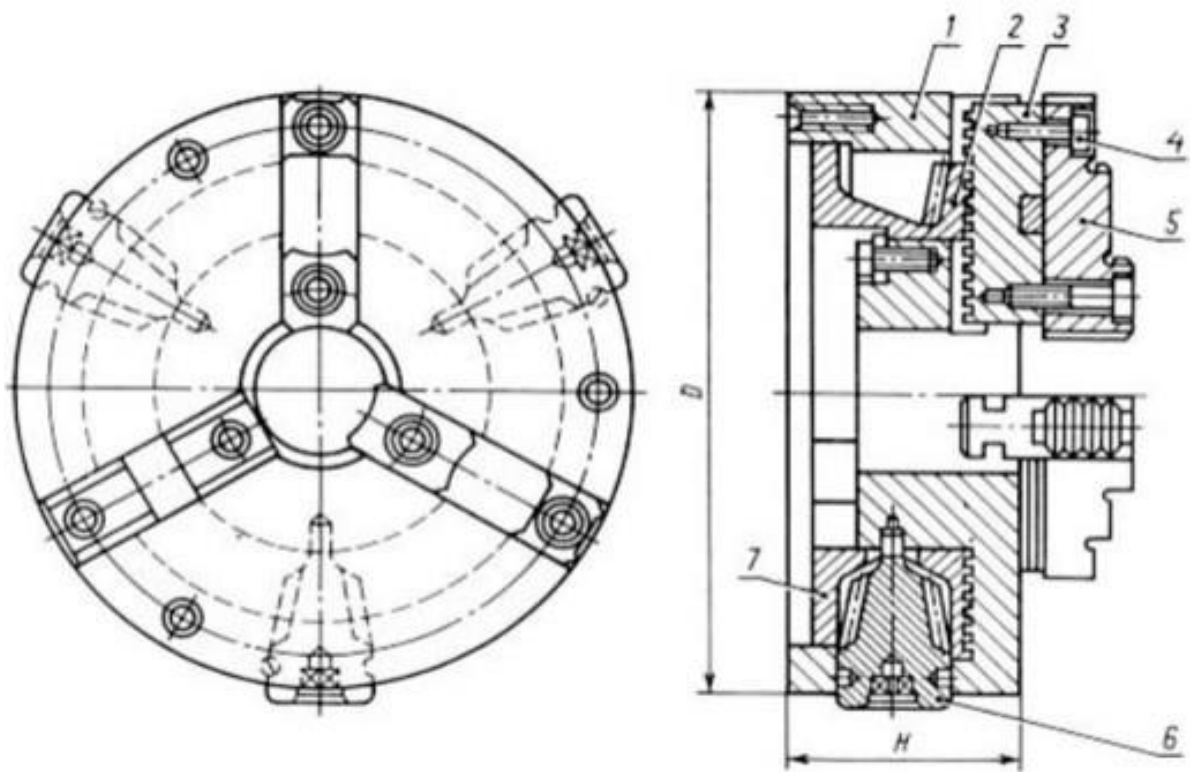
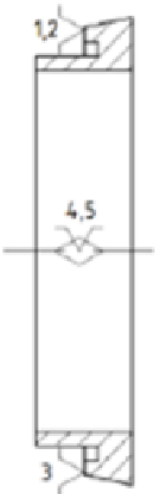


Рис. 2.1 Трьохкулачковий самоцентруючий патрон:

1 - корпус; 2 - диск; 3 - рейка; 4 - гвинт; 5 - накладний кулачок; 6 -

конічне зубчасте колесо; 7 - кришка.

Трьохкулачковий патрон конструктивно включає в себе ряд елементів, серед яких основну роль відіграють кулачки, що забезпечують надійне фіксування заготовки. Синхронне переміщення кулачків здійснюється за допомогою спеціального механізму, який забезпечує рівномірне затискання. Така конструкція дозволяє оперативно змінювати заготовки та гарантує високу точність їх центрування — що має принципове значення для точних токарних робіт. Завдяки цьому патрон вирізняється зручністю у використанні, особливо в умовах, де обробка потребує підвищеної точності позиціювання деталі.

										ГОСТ 3.1105-84		Форма 7	
Дубл.													
Взамін.													
Підпис										Зм	Ар	Надок.	
										Підпис		Дата	
Розробив	Костенко І.К.			КПІ ім. Ігоря Сікорського						010			
Перевірів	Борщук С.О.												
Н. контр.							Лабіринтне кільце			Н			
													
KE		Обробка різанням											

Висновки

У ході розробки технологічного процесу виготовлення корпусної деталі «Лабіринтне кільце» було виконано комплекс робіт. На початковому етапі було детально досліджено функціональне призначення та конструктивні характеристики деталі. Після цього здійснили аналіз технологічності конструкції та створили ескіз заготовки.

Для підвищення ефективності виробництва було розроблено план механічної обробки робочих поверхонь деталі та визначено оптимальний спосіб виготовлення заготовки. Крім того, було обрано найбільш раціональний метод її отримання і складено маршрут виготовлення. У процесі розробки також були проведені розрахунки зусиль, необхідних для надійного закріплення заготовки під час виконання технологічних операцій.

На завершальному етапі були оформлені маршрутна карта, операційна карта та карта ескізів, що дозволяє забезпечити системний підхід до організації всіх етапів виготовлення деталі.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дипломному проєкті визначено основне призначення та області застосування каландра, який широко використовується у процесах обробки полімерних матеріалів, зокрема для формування листів і плівок із заданими властивостями. Проведений аналіз технічних характеристик базової конструкції каландра дозволив оцінити його експлуатаційні можливості та виявити резерви для підвищення ефективності роботи. На основі патентно-літературного огляду сучасних конструкцій каландрів та валків було обґрунтовано напрямок модернізації, що полягає в удосконаленні системи каналів руху теплоносія у валку. Запропоноване конструктивне рішення спрямоване на забезпечення більш рівномірного температурного поля по робочій поверхні валка, що є ключовим фактором підвищення якості готової продукції. У процесі роботи виконано комплекс інженерних розрахунків, що включають визначення геометричних параметрів валка, характеристик каналів теплоносія, теплових режимів роботи, а також оцінку теплопередачі. Проведено розрахунки на міцність, жорсткість і стійкість конструкції валка з урахуванням робочих навантажень. Використання сучасних програмних засобів моделювання дозволило детально проаналізувати розподіл температури та підтвердити ефективність запропонованої модернізації.

Окрему увагу приділено питанням охорони праці та екологічної безпеки, зокрема безпечній експлуатації обладнання, зниженню рівня шуму, а також контролю параметрів виробничого середовища. Запропоновано заходи щодо підвищення безпеки та покращення умов праці. За результатами виконаної роботи встановлено, що запропонована модернізація каналів руху теплоносія у валку каландра забезпечує більш рівномірний розподіл температури, підвищує стабільність технологічного процесу та якість продукції. Розроблені технічні рішення є ефективними, економічно доцільними та рекомендовані до впровадження у виробництво.

ЛІТЕРАТУРА

1. Основні процеси, машини та апарати хімічних виробництв: Підручник / І. В. Коваленко, В. В. Малиновський. — К.: Інрес : Воля, 2005. — 264 с.: іл. — Бібліогр.: с. 253—255.
2. Щербина В.Ю., Гондлях О.В., Сівецький В.І. Інжиніринг інноваційних технологій та обладнання. Механічне обладнання для виробництва в'язучих будівельних матеріалів [Електронний ресурс] / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2022. – 147 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/45720>
3. Сівецький В.І., Щербина В.Ю., Гондлях О.В. Інжиніринг інноваційних технологій та обладнання. Лінії для виготовлення листових і профільних полімерних виробів [Електронний ресурс] / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2022. – 113 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/45732>
4. Щербина В.Ю., Сівецький В.І., Гондлях 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>
5. https://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/mosaics?CC=CN&NR=112221641A&KC=A&FT=D&ND=3&date=20210115&DB=EPODOC&locale=en_EP
6. [https://patents.google.com/patent/US10493460B2/en?q=\(roller+crusher\)&oq=roller+crusher&page=4](https://patents.google.com/patent/US10493460B2/en?q=(roller+crusher)&oq=roller+crusher&page=4)
7. [https://patents.google.com/patent/KR102101811B1/en?q=\(roller+crusher\)&oq=roller+crusher](https://patents.google.com/patent/KR102101811B1/en?q=(roller+crusher)&oq=roller+crusher)
8. [https://patents.google.com/patent/KR101452580B1/en?q=\(~patent%2fKR102101811B1\)&page=4](https://patents.google.com/patent/KR101452580B1/en?q=(~patent%2fKR102101811B1)&page=4)
9. Shcherbina V. Yu., Chemerys A . O., & Mosiichuk O. A. (2024). Computer-aided design of calender roll. Modern engineering and innovative technologies. (33-01), 66–71. <https://doi.org/10.30890/2567-5273.2024-33-00-004>

10. Полешко О.П. Проектування пасових передач [Текст]: Методичні вказівки до проведення практичних занять, виконання контрольних робіт і курсового проекту / О.П. Полешко. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 76 с. (кінематичний розрахунок)
11. Деталі машин. Енерго-кінематичний розрахунок приводу [Електронний ресурс]: Методичні вказівки до проведення практичних занять, виконання контрольних робіт і курсового проекту / О.П. Полешко. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 27 с.
12. Хильчевский В.В., Расчет валов и выбор подшипников качения по динамической грузоподъемности [Текст]: Методические указания по дисциплине «Детали машин» / Сост. В.В. Хильчевский, Ю.А. Попченко, А.П. Полешко. – К.: КПИ, 1989. – 56 с.
13. https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/61221/3/Moroz_bakalavr.pdf
14. Щербина В.Ю., Лелека С.В., Безверхий І.О. Методологія проектування. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2024. 119 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/67997>
15. Щербина В.Ю., Гондляр О.В., Чемерис А.О., Швачко Д.Г. AutoLISP при проектуванні технологічного обладнання [Електронний ресурс] / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2024. 175 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/45732>

16. Б. М. Базаров. Основы технологии машиностроения. - М.:Машиностроение, 2005.
17. А. Ф. Горбацевич, В.А. Шкред. Курсовое проектирование по технологии машиностроения.
18. М. А. Ансеров. Приспособления для металлорежущих станков. – Л.: Машиностроение, 1975. - М.: Машиностроение, 2007.
19. Добрянський С.С. Методичні вказівки до виконання курсової роботи (проекту) з дисципліни — Технологія машинобудування. К., 2002 р. 80 стор.

Таблиця А - Таблиця огляду патентів з модернізацією валкової дробарки.

№ п/п	Предмет пошуку	Номер документа, країна видачі, МПК, автори	Сутність заявленого технологічного рішення і ціль його створення
1	Каландр	CN107106340B — 2021-01-22 Автор: Урміш Попатлал Далал	Візерунчасті перфоровані полотна цього винаходу забезпечують візерунок неоднорідних отворів різних розмірів, форм та/або "абсолютних кутів Ферета". Ламінати, що мають принаймні один попередньо напружений шар цього винаходу, незалежно від того, чи містять вони візерунчасті перфоровані полотна, перфоровані полотна чи ні, забезпечують тривимірні елементи в ламінаті, тим самим надаючи споживачеві бажані варіанти реалізації, які, в одному прикладі, можуть утримувати виділення тіла подалі від шкіри користувача або носія.

2	Каландр	US202100782 16A1 United States, Автори: Бернд Дітц	Цей винахід стосується каландрувального пристрою, сконфігурованого та обладнаного для обробки рідини, яка набула адгезивних властивостей або має адгезивні властивості за своєю суттю, де обробка зазвичай включає формування рідини для отримання плівки певної товщини шару. Іншим фактором, який враховується, є перенесення сформованої плівки розплаву з кінцевого каландрового валка на матеріал-носії у рулонній формі. Валки виготовлені з металу, зокрема сталі або хрому, а також можуть мати поверхні з твердих матеріалів, таких як карбіди металів (наприклад, карбід вольфраму), що забезпечує високу міцність і довговічність.
---	---------	--	---

3	Каландр	US10016915B2 United States, Автор: Йосінобу Накамура	Цей винахід являє собою апарат для виготовлення гумової стрічки, що має гумовий екструдер з випускним отвором для безперервного вивантаження гуми та пару верхнього та нижнього каландрових валків для прокатки гуми, що вивантажується з випускного отвору, для формування гумової стрічки, та характеризується тим, що кожен з валків каландра містить основний корпус валка, який приводиться в обертання, та циліндричний зовнішній шар, концентрично розташований зовні основного корпусу валка для прокатки гуми його зовнішньою периферійною поверхнею, зовнішній шар виготовлений з кераміки, між зовнішнім шаром та основним корпусом рулону передбачено зазор, та У зазор вставлено кільце ущільнювача для обертання зовнішнього шару інтегрально з основним корпусом рулону.
---	---------	--	--

			В апараті для виготовлення гумової стрічки згідно з цим винаходом бажано, щоб основний корпус рулону включає внутрішню шарову частину та середній шар, розташований зовні внутрішньої шарової частини, принаймні одна з частини внутрішнього шару та середнього шару забезпечена окружною канавкою, в якій протікає рідина для зміни температури середнього шару, та Пара ущільнювальних кілець вставлена з обох боків паза в осьовому напрямку каландрового валка, щоб запобігти витоку рідини. В апараті для виготовлення гумової стрічки згідно з цим винаходом бажано, щоб максимальний діаметр поперечного перерізу ущільнювального кільця знаходиться в діапазоні 3,0 мм-6,0 мм.
--	--	--	---

4	Каландр	UA101025C2, Ukraine Автори: Жюльєн Фуркад	Цей патент описує вдосконалення феллерного вала, спрямоване на покращення його експлуатаційних характеристик, зокрема: Підвищення зносостійкості: Застосування спеціальних матеріалів або покриттів для зменшення зношування поверхні вала під час роботи, Оптимізація теплового режиму: Конструктивні зміни, що забезпечують рівномірний розподіл температури по всій довжині вала, що важливо для стабільності процесу каландрування. Покращення якості продукції: Забезпечення рівномірного тиску та температури сприяє отриманню гумових плівок високої якості без дефектів.
---	---------	--	--

Додаток Б

[illegible]

	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	При- мітка
				<u>Документація</u>		
A1			ЛП21.207252.000-70ВЗ	Вигляд загальний	1	
				<u>Складальні одиниці</u>		
		1		Стріла	4	
		2		Пристрій регулювання зазору	6	
		3		Траверса	2	
		4		Електродвигун	6	
		5		Вказівник зазору	2	
		6		Універсальний шпиндель	4	
		7		Блок-редуктор	1	
		8		Електродвигун	4	
		9		Станина	1	
		10		Фундамент	1	
		11		Механізм перекосу	6	
		12		Валок	4	
		13		Фундаментна плита	1	
		14		Пристрій для обрізки та повернення кромки	2	
				<u>Стандартні вироби</u>		
		15		Болт фундаментний	16	
				ГОСТ 11738-84		
		16		Гайка М60 ГОСТ 5915-70	16	
				ЛП21.207252.000-70СП		
Зм.	Лист.	№ докум.	Підп.	Дата.	Каландр для виробництва гумової стрічки з модернізацією валка	
Розроб.		Костенко І.К.				
Перев.						
Керівник		Щербина В.Ю.				
Н.контр.						
Затв.		Сокольський О.Л.			КПІ ім. Ігоря Сікорського	
					Літ.	Аркуш
						1
					Аркушів	1

[illegible]

Додаток В

(Програма складена на мові програмування C++)

```
#include <iostream>
#include <iomanip>
#include <fstream>
#include <cmath>
using namespace std;
int main() {
    ifstream fileIn;
    ofstream fileOut;
    double qohl, crid, dtrid, gust, qrid;
    qohl = 3.06; crid = 4200; dtrid = 10; gust = 1000;
    qrid = qohl * 10E5 * 3600 / crid / dtrid / gust;
    //10E5 – переведення кВт у Вт та л у м куб.
    cout << left << setw(10) << qohl << setw(15) << qrid << endl;
    return 0;
}
```

Консоль отладки Microsoft Visual Studio

3.06 262.286

E:\Работы Прикладна Механ?ка деф. т?ла\lab1_Kostenko\х64\Debug\lab1_Kostenko.exe (процесс 17324) завершил работу с кодом 0.

Чтобы автоматически закрывать консоль при остановке отладки, включите параметр "Сервис" ->"Параметры" ->"Отладка" -> "Автоматически закрыть консоль при остановке отладки".

Нажмите любую клавишу, чтобы закрыть это окно:

Позначення за текстом	Позначення у програмі	Значення	Розмірність
$Q_{охл}$	qohl	3.06	кВт
$c_{рідин}$	crid	4200	мм
$\Delta T_{рідини}$	dtrid	10	$^{\circ}C$
$\rho_{рідини}$	gust	1000	кг/м ³
$Q_{рідини}$	qrid	262.286	л/год