

Міністерство освіти та науки України  
Запорізький національний університет  
(повне найменування вищого навчального закладу)  
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні  
(назва факультету)  
Кафедра металургійного обладнання  
(повна назва кафедри)

## **ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА**

На тему Дослідження надійності приймального рольганга обтискного  
прокатного стану

Виконав: магістрант групи 8.1332-дн

Грекуляк О.В.

(ПІБ)

(підпис)

спеціальності

133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва)

спеціалізація

-

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма

Металургійне обладнання

(шифр і назва)

Керівник доц., канд.техн.наук Таратута К.В.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Н.контроль Гречаний О.М.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Запоріжжя – 2024 рік

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні

Кафедра металургійного обладнання

Рівень вищої освіти магістр

(другий (магістерський) рівень)

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва)

Спеціалізація -

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма Металургійне обладнання

(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри А.О. Власов

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 року

**ЗАВДАННЯ**

**ДО ВИПУСКНОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ МАГІСТРА**

Грекуляк Олексій Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема магістерської роботи: Дослідження надійності приймального рольганга обтискного прокатного стана

керівник магістерської роботи: доцент, канд. техн. наук Таратуга К.В.

затверджені наказом вищого навчального закладу: від “09.10. 2023 року

№ 1581 – с.

2. Термін подання студентом роботи 25.02.2024 року.

3. Вихідні дані магістерської роботи техніко-економічні показники роботи доменної печі.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Опис конструкцій транспортного обладнання. 2. Розрахунки технологічних та енергосилових параметрів рольгангу. 3. Дослідження надійності приймального рольгангу. 4. Охорона праці та техногенна безпеки. Висновки та рекомендації.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 1. Креслення загального виду – 1 шт ; 2. Складальні креслення та деталювання -3 шт; 3. Креслення та плакати дослідницької частини – 1 шт.

## 6. Консультанти розділів магістерської роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата
		Завдання прийняв
1	Таратуга К.В., к.т.н., доцент	
2	Таратуга К.В., к.т.н., доцент	
3	Таратуга К.В., к.т.н., доцент	
4	Таратуга К.В., к.т.н., доцент	

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів магістерської роботи	Примітка
1	Збір матеріалу до кваліфікаційної роботи	01.09.2023 – 01.11.2023	
2	Групування та аналіз зібраного матеріалу. Уточнення завдань кваліфікаційної роботи	01.11.2023 – 01.12.2023	
3	Виконання теоретичної частини кваліфікаційної роботи	01.12.2023 – 15.12.2023	
4	Виконання графічної частини кваліфікаційної роботи	15.12.2023 – 01.01.2024	
5	Написання та оформлення кваліфікаційної роботи	01.01.2024 – 25.01.2024	
6	Перевірка кваліфікаційної роботи консультантами	25.01.2024 – 10.02.2024	
7	Попередній захист кваліфікаційної роботи	20.02.2024	
8	Переплітання роботи	25.02.2024	
9	Захист проекту у ЕК	Згідно з графіком	

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Грекуляк О.В.  
(прізвище та ініціали)

Керівник магістерської роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

К.В. Таратуга  
(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Грекуляк О.В. Дослідження надійності приймального рольганга обтискного прокатного стана.

Випускна кваліфікаційна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 133 – Галузеве машинобудування, науковий керівник К.В. Таратута. Запорізький національний університет. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні. Кафедра металургійного обладнання, 2024.

В роботі наведено огляд і аналіз рольгангів прокатних станів. Наведено розрахунки найбільш навантажених вузлів і деталей привода рольганга. Розраховані навантаження що діють на елементи конструкції рольганга. Досліджено надійність приймального рольганга обтискного прокатного стана. Визначено показники надійності рольганга.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА: ПРИВОД, НАДІЙНІСТЬ, РОЛЬГАНГ**

## ABSTRACT

Grekulyak O.V. Research on the reliability of the receiving roller conveyor of the crimping rolling mill.

Graduation qualification work for obtaining the master's degree of higher education in specialty 133 - Industrial mechanical engineering, supervisor K.V. Taratuta Zaporizhzhia National University. Engineering Educational and Scientific Institute named after Yu.M. Desired Department of metallurgical equipment, 2024.

The paper provides an overview and analysis of rolling mills. Calculations of the most loaded nodes and parts of the roller conveyor drive are given. Calculated loads acting on the design elements of the roller conveyor. The reliability of the receiving roller of the crimping rolling mill was investigated. The reliability indicators of the roller conveyor were determined.

**KEY WORDS: DRIVE, RELIABILITY, ROLLING**



## ЗМІСТ

Вступ	6
1. ОПИС КОНСТРУКЦІЙ ТРАНСПОРТНОГО ОБЛАДНАННЯ , ЯК СКЛАДОВОЇ ОСНОВНОГО ТА ДОПОМІЖНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ПРОКАТНИХ СТАНІВ	8
1.1 Прокатне виробництво та класифікація прокатних станів	8
1.2. Основне механічне обладнання головної лінії прокатних станів	12
1.3 Вантажопотоки обтискного цеха	14
1.4 Шляхи оцінки надійності приймального рольганга	15
1.5 Опис та призначення рольгангів, та їх класифікація	17
1.6 Огляд проблематики надійності конструкцій рольгангів	23
1.7 Обґрунтування обраного напрямку роботи	28
2. РОЗРАХУНКИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА ЕНЕРГОСИЛОВИХ ПАРАМЕТРІВ РОЛЬГАНГУ	30
2.1 Розрахунок потужності двигуна рольганга	30
2.2 Розрахунок ролика рольганга	47
2.3 Розрахунок підшипників приводного ролика рольганга	51
2.4 Розрахунок шпонкового з'єднання	53
3. ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПРИЙМАЛЬНОГО РОЛЬГАНГУ	55
3.1 Класифікація засобів діагностичних датчиків	55
3.2 Оцінка надійності рольганга	60
3.3 Дослідження напружень у приймальному рольгангу, з використанням імітаційного моделювання	67
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА	75
Висновки	83
Список використаної літератури	84
Додатки	87

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Обтискні прокатні стани використовуються в різних галузях промисловості, де вони забезпечують виробництво великої кількості прокату різного призначення. Приймальний рольганг є важливою складовою обтискного прокатного стану, яка відповідає за надійну передачу прокату від однієї станції до іншої. Надійність роботи приймального рольганга обтискного прокатного стану є важливою умовою забезпечення якості та ефективності виробництва. Отже, дослідження надійності приймального рольганга є актуальною та важливою задачею, яка допоможе забезпечити стабільну роботу прокатного стану.

**Мета та завдання дослідження.** Основною метою даної роботи є дослідження надійності приймального рольганга обтискного прокатного стану. Конкретнішими цілями є:

- 1 Аналіз технічного стану приймального рольганга.
- 2 Вивчення характеристик надійності приймального рольганга за допомогою методів діагностики та моніторингу обладнання.
- 3 Визначення факторів, які впливають на надійність роботи приймального рольганга.
- 4 Розробка програми технічного обслуговування та планування ремонтних робіт на основі отриманих результатів.

**Об'єктом дослідження** – приймальний рольганг обтискного прокатного стану.

**Предмет дослідження** – технології діагностики та моніторингу для визначення надійності приймального рольганга.

**Практичне значення одержаних результатів.** Дослідження надійності приймального рольганга обтискного прокатного стану є важливим питанням для забезпечення якісної та безперебійної роботи виробничого процесу.

Необхідно застосувати методи діагностики та моніторингу обладнання для вивчення характеристик надійності приймального рольганга, такі як вібраційний аналіз, термографія та акустична емісія.

На основі отриманих результатів розробити програму технічного обслуговування та планування ремонтних робіт для підтримки надійності роботи приймального рольганга.

На основі отриманих результатів також будуть розроблені рекомендації щодо підвищення надійності та ефективності приймального рольганга. Рекомендовано провести ретельну перевірку наявності вібрацій та збоїв в роботі механізмів приймального рольганга. Для цього можна використовувати спеціальні прилади та датчики, що дозволять своєчасно виявити можливі проблеми та уникнути їх наслідків.

Таким чином, результати дослідження надійності приймального рольганга обтискного прокатного стана свідчать про необхідність регулярного технічного обслуговування та контролю за станом механізмів та деталей, які мають найбільше навантаження. Це дозволить забезпечити безперебійну та ефективну роботу приймального рольганга, що в свою чергу позитивно позначиться на якості виробленої продукції та загальній продуктивності виробництва.

**Апробація результатів роботи.** Робота була представлена на конференції «МОЛОДА НАУКА-2023» та опублікована в збірнику наукових праць студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених в «Секції Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю.М. Потебні Запорізького національного університету» [1].

**Структура та обсяг роботи.** Випускна кваліфікаційна робота магістра складається з наступних структурних елементів: 86 с., 29 рис., 25 джерел, 4 додатків

# 1. ОПИС КОНСТРУКЦІЙ ТРАНСПОРТНОГО ОБЛАДНАННЯ , ЯК СКЛАДОВОЇ ОСНОВНОГО ТА ДОПОМІЖНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ПРОКАТНИХ СТАНІВ

## 1.1 Прокатне виробництво та класифікація прокатних станів

Увесь технологічний процес металургійного виробництва поділяється на три етапи:

- Виробництво чавуна;
- Виробництво сталі;
- Виробництво прокату.

Для виробництва чавуна необхідна руда, вугілля та інші додаткові матеріали. Руда добувається в кар'єрах (відкрита розробка корисних копалин), або в рудниках (підземна розробка корисних копалин). Попередньо оброблена на рудозбагачувальній фабриці (РЗФ), вона доставляється в доменну піч у вигляді агломерату.

Кам'яне вугілля добувається у вугільних шахтах. Після обробки його в коксових печах отримують кокс, який використовується в доменних печах як паливо.

Чавун, що виплавляється у доменних печах, доставляється у сталеплавильний цех для отримання сталі. Сталь у вигляді злитків транспортується в прокатні цехи для виробництва прокатної продукції, де завершується цикл виробництва.

Прокатний цех має, як зазвичай, декілька прокатних станів, кожний з яких прокатує метал певних розмірів та профілів. Основним призначенням усякого прокатного стану є здійснення пластичної деформації металу між валками, що обертаються.

Під прокатним станом розуміють комплекс основного обладнання для виробництва прокатного профілю з усім відповідним допоміжним обладнанням.

Основне обладнання прокатного стану слугує безпосередньо для деформації металу. До нього відносяться кліті з прокатними валками, приводний двигун валків (або декілька двигунів за кількістю валків), редуктори, шестеренні кліті. Усе залишкове обладнання, яке необхідне для здійснення технологічного процесу прокатки, називають допоміжним обладнанням (допоміжними механізмами). До такого обладнання відносяться механізми встановлення розхилу між валками (натискні гвинти), транспортування металу (рольганги, шлепери, контейнери та ін.), різання (ножиці, пилки), намотування та розмотування (моталки) та ін.

Стани, які призначені для виробництва різних видів прокату (заготов- ки, сортова сталь, листи, рейки, труби та ін.) суттєво відрізняються один від одного як за конструктивним виконанням, так й за складом обладнання.

Класифікація прокатних станів.

1 За призначенням:

- а) обтискні;
- б) заготівельні;
- в) сортопрокатні: дрібносортові, середньосортові, крупносортові;
- г) листові: товстолистові, середньолистові, тонколистові;
- д) трубопрокатні;
- є) рейко-балкові;
- ж) колесобандажні;
- з) дротові;
- к) холодної прокатки.

Обтискні стани призначені для обтискання злитків у квадратну заготовку *блум*, або плоску заготовку *сляб*.

Сортопрокатні стани виконують прокатку сталі квадратної та круглої форми, кутової сталі, балок та ін.

Листові стани гарячої прокатки прокатують лист різної товщини: товстолистові - більше 4 мм, середньолистові - 1...4 мм, тонколистові - до 1...4 мм.

Листові стани холодної прокатки прокатують тонкий лист, жерсть і смуги товщиною 0,0015...4 мм.

Рейкобалкові стани прокатують рейки та крупні балки висотою 240...600 мм.

Колесо-бандажні стани призначені для прокатки бандажів та залізничних коліс.

Дротові стани прокатують дрiт діаметром 5...9 мм.

2 За кількістю валків: а) 2-х валкові-дуо (рис.1.2, а); б) 3-х валкові-тріо (рис.1.2, б); в) 4-х валкові-кватро (рис.1.2, в); г) багатовалкові (рис.1.2, г).

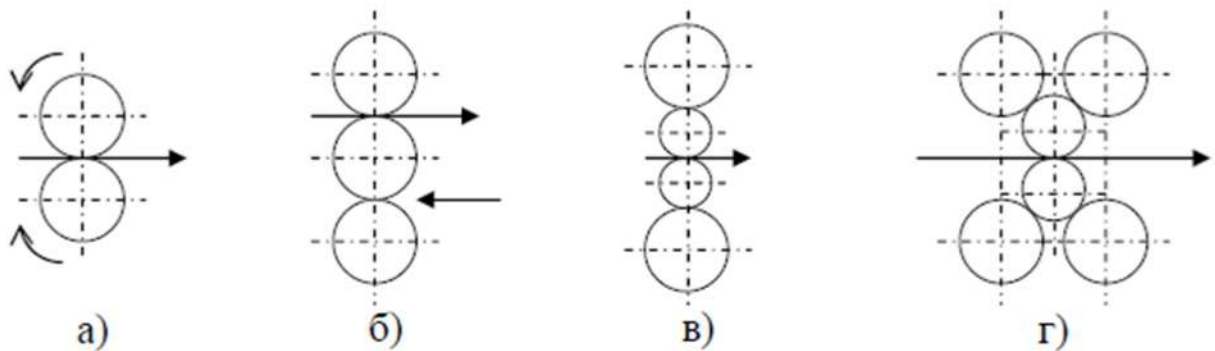


Рисунок 1.1 - Класифікація прокатних станів за кількістю валків

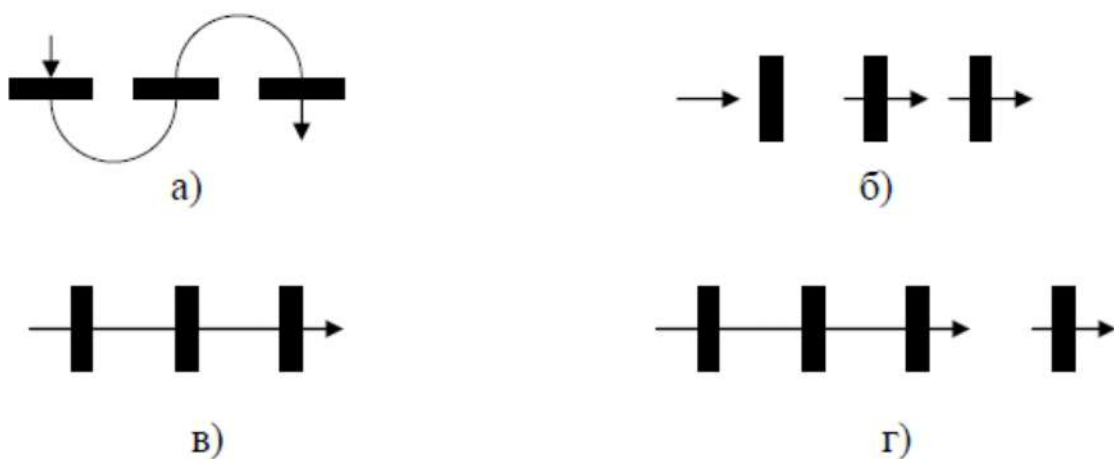


Рисунок 1.2 - Класифікація прокатних станів за розташуванням клітей

Двохвалкові кліті найбільш розповсюджені. Вони використовуються в реверсивних обтискних та товстолистових станах, у заготівельних та сортових

станах.

У багатовалкових станів прокатними є два валки, а решта - опорні для зниження пружної деформації валків при прокатці.

За розташуванням валків:

- а) горизонтальні;
- б) вертикальні;
- в) косі;
- г) універсальні (з горизонтальними та вертикальними валками).

За кількістю та розташуванню клітей: а) одноклітеві; б) багатоклітеві: 1) лінійні (рис.1.3, а); 2) послідовні (рис.1.3, б); 3) безперервні (рис.1.3, в); 4) напівбезперервні (рис.1.3, г); 5) шахматні; 6) Z – подібні.

Одноклітеві стани мають значне розповсюдження і використовуються як: обтискні стани; реверсивні стани для прокатки труб, товстих та середніх листів; реверсивні стани холодної прокатки.

Лінійні стани мають усі кліті, розташовані в одну лінію, з одним двигуном і загальною шестеренною кліттю. Лінійні стани використовуються, в основному для прокатки сортового металу.

Послідовні стани складаються з декількох клітей, розташованих послідовно одна за другою. Таке розташування зустрічається в обтискних і товстолистових станах.

Неперервні стани мають робочі кліті, зв'язані між собою через метал. Зазвичай, неперервні стани розділяються на дві групи клітей чорнову та чистову. Попереднє обтискання виконується у чорновій групі, а доведення прокату до кондиції виконується у чистовій групі. Чорнова група може складатися з однієї реверсивної кліті, або групи клітей, розташованих згідно з рис. 1.3.

1 За режимом роботи:

- а) неререверсивні, що не регулюються;
- б) неререверсивні, що регулюються;
- в) реверсивні, що регулюються.



Розмір прокатного стана характеризується діаметром прокатних валків. Розмір трубопрокатного стана характеризується зовнішнім діаметром труби, що прокатується.

## 1.2 Основне механічне обладнання головної лінії прокатних станів

Основна операція прокатки виконується за допомогою валків, які розташовані в робочій клітці і обертаються (рис. 1.4). Кінематична схема, яка відповідає рис. 1.4, а, представлена на рис. 1.5.

Кліть складається зі станини 1, двох робочих валків 2, натискного пристрою 3, шпінделів 4, двигуна 5 і шестеренної клітці 6.

Натискний пристрій (натискні гвинти) призначений для переміщення верхнього робочого валка у вертикальному напрямку для забезпечення необхідної величини обтискання металу.

Шестеренна кліть призначена для передачі від одного двигуна обертання двом або трьом валкам. Вона представляє собою зубчасту передачу, яка складається з двох або трьох шестерней однакового діаметру, розташованих в закритій коробці.

Шпінделі слугують для передачі обертання валкам від шестеренної клітці. Кожний такий шпіндель має на своїх кінцях шарніри.

Муфти використовуються для сполучення двигуна й шестеренної клітці.

На реверсивних клітках станів гарячої прокатки використовують два варіанти приводу робочих валків: груповий й індивідуальний.

При груповому приводі валки обертаються від одного двигуна через шестеренну кліть (рис.1.4, а). При індивідуальному приводі кожний робочий валок обертається від свого двигуна, а шестеренна кліть відсутня (рис.1.4, б).

Широко розповсюджені, особливо для листових станів, чотирьохвалкові клітці з двома опорними валками (рис. 1.4, в). В таких клітках конструктивно складно виконати індивідуальний привод. Для збільшення продуктивності стана у цьому випадку використовують двохякірні і тріяхкірні двигуни, з



передачею моменту через шестеренну кліть.

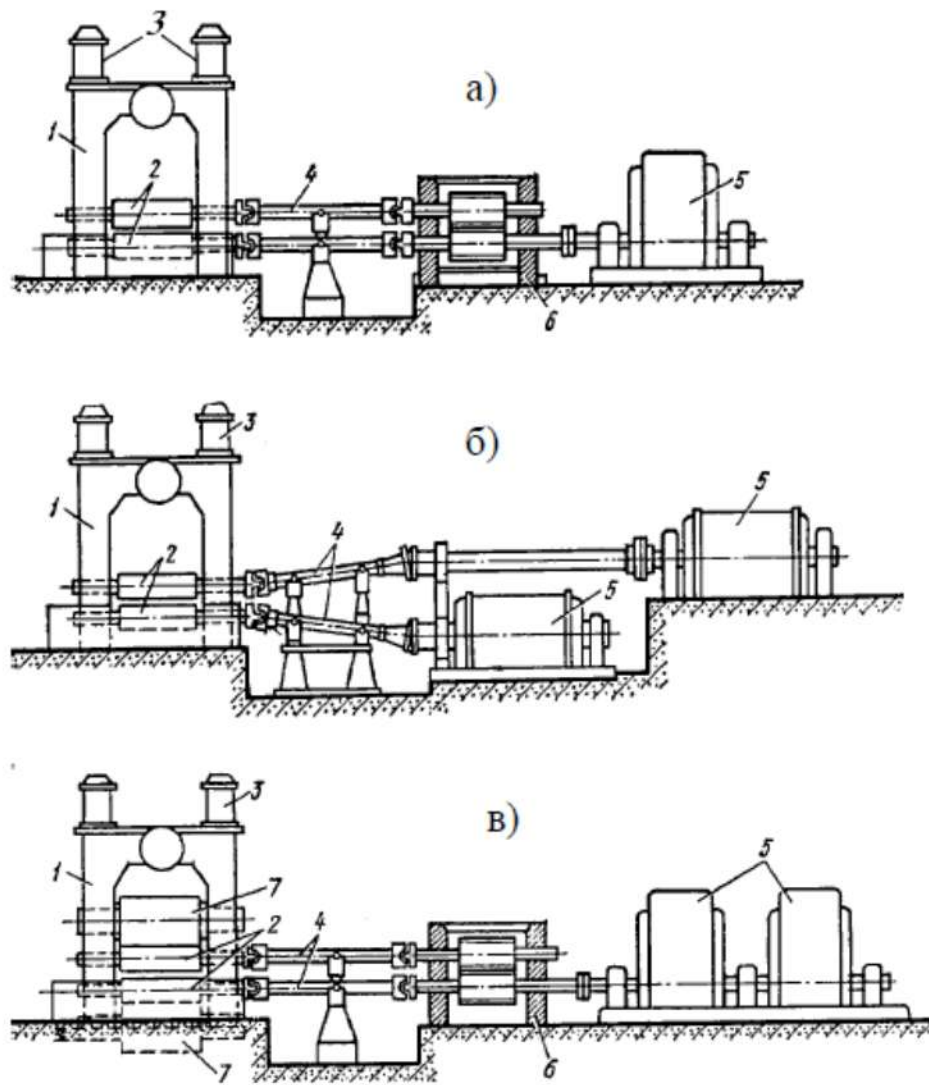
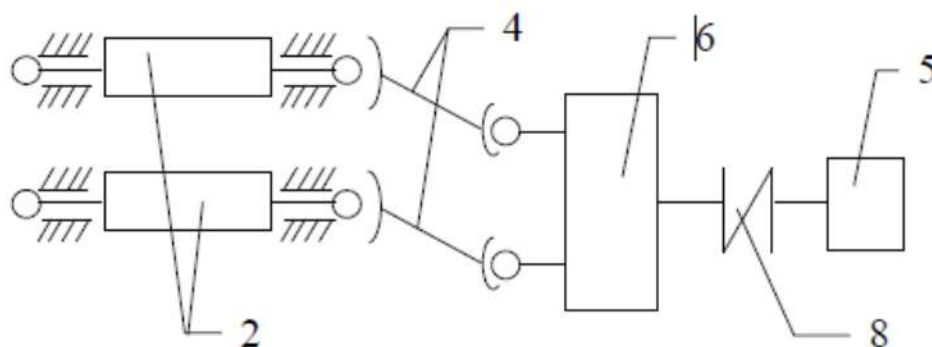


Рисунок 1.3. Обладнання робочої кліті стана



1 – станина; 2 – робочі валки; 3 – натискаючий пристрій; 4 - шпинделі; 5 –  
двигун; 6 - шестернева кліть; 7 - додаткові валки; 8 – муфта

Рисунок 1.4 - Кінематична схема привода кліті прокатного стана

### 1.3 Вантажопотоки обтискного цеха

Виробляється прокат із зливків на вихідні заготовки - сляби. Зливки, нагріті до температури прокатки, з нагрівальних колодязів (1) кліщовим краном подаються на злитковоз (3), який підвозить їх до приймального рольгангу (4) слябінгу і укладає на ролики рольганга (рисунок 1.1). Потім злинок по рольгангу подається до робочої кліти стану (5), після декількох проходів подається в машину вогневої зачистки (6), а після всі зливки розрізають на ножицях (7) на вихідні сляби завтовшки від 100 до 200мм, шириною від 850 до 1500мм, довжина 1,8 і 4,8 метрів, далі обрізання видаляються конвеєром (8), а сляби йдуть в клеймовочну машину (9), після цього, зіштовхувачами (10), вони подається до ад'юстажа (11), або передаються в цех гарячої прокатки тонкого листа безпосередньо при прокатки транзитом.

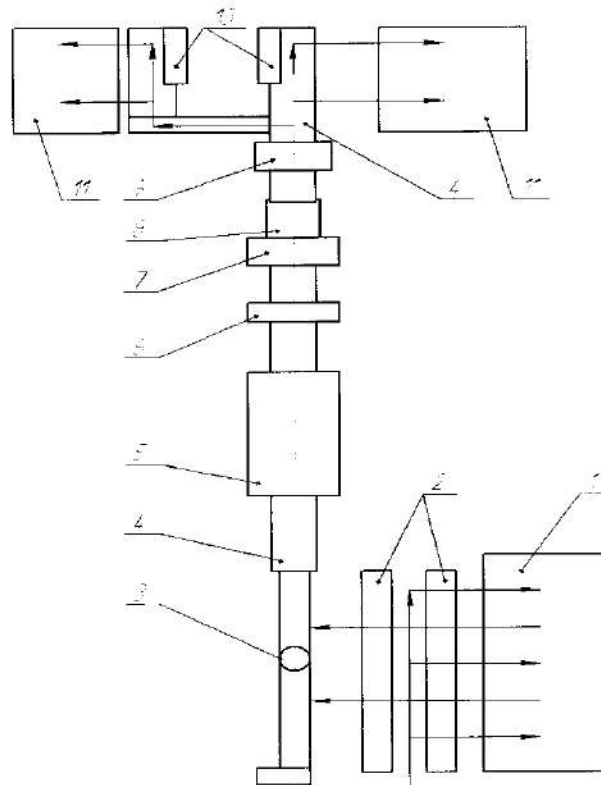


Рисунок 1.5 Схема вантажопотоків обтискного цеху

1 - нагрівальні колодязі; 2 - кліщові крани; 3 - зливковоз; 4 - приймальний рольганг; 5 — робоча кліть; 6 — машина вогневого зачищення; 7 – ножиці; 8 – конвеєр; 9 клеймувач; 10 – зіштовхувач; 11 - ад'юстаж

#### 1.4 Шляхи оцінки надійності приймального рольганга

Надійність - це властивість системи, пристрою або процесу виконувати свої функції без виникнення сбоїв або порушень визначених параметрів протягом періоду, часу в умовах визначеного середовища. Для багатьох систем, особливо в області інженерії та виробництва, надійність є ключовим аспектом. Вона визначається як одна з основних характеристик якості, оскільки впливає на можливість досягнення мети використання системи без перебоїв. Оцінка та підтримка надійності є важливим етапом в процесі розробки і експлуатації технічних систем.

Оцінка надійності обладнання є важливою для забезпечення безперебійної роботи виробничого процесу. Для оцінки можна використати: Моніторинг роботи — введення облік робочих годин і навантажень приймального рольганга. Спостереження за вібраціями чи інші аномалії в роботі обладнання. Звертайте увагу на знос деталей таких як підшипників, роликів, валів, механічних приводів, системи керування. Зношування – процес поступового змінення розміру і форми тіла при терті, а також корозії. Причини у не ісправній роботі агрегатів є знос деталей (80-90%). В залежності від харктеру явища, зношування розріняють на три групи: 1.Механічне; 2.Молекулярно-механічне; 3.Корозійно-механічне. Аналіз попередніх відмов — вивчити історію попередніх відмов або збоїв в роботі рольганга, проаналізуйте причини відмов та вживайте заходів для їх запобігання. Тестування при максимальному навантаженні —тестування приймального рольганга при максимальному навантаженні. Перевірка його продуктивність та надійність в умовах експлуатації при нормах вище серденіх.

В залежності від розташування елементів машини можна розрахувати надійність:

Послідовно розміщеними елементів можна використовувати загальний принцип множення (принцип перемноження надійностей). Цей принцип застосовується, коли елементи системи знаходяться в послідовному з'єднанні, і система виходить з ладу, якщо хоча б один із елементів вийшов з ладу:

$$R_c = R_{\text{пос}} = R_1 \cdot R_2 \cdot \dots \cdot R_n$$

$R_c$  – надійність всієї системи

$R_1, R_2, \dots, R_n$  – надійності окремих елементів системи

Ця формула виводиться з того, щоб система працювала поки всі елементи в роботі. Якщо хоча б один елемент вийде з ладу, система також вийде з ладу. Це застосовується до елементів, які розташовані в послідовності, так що сигнал або потік пройде через кожен елемент один за одним. Такий підхід часто застосовується до машин, де елементи пов'язані послідовно, і знання надійностей кожного елемента дозволяє розрахувати загальну надійність системи.

Паралельно розміщеними елементами можна використовувати принцип додавання надійностей (принцип сумування надійностей). Цей принцип використовується в тому випадку, коли елементи системи розташовані паралельно, і система працює, якщо хоча б один з елементів працює:

$$R_c = R_{\text{пар}} = 1 - (1 - R_1) \cdot (1 - R_2) \cdot \dots \cdot (1 - R_n)$$

Якщо хоча б один елемент працює, система працює. Всі елементи повинні вийти з ладу, щоб система не працювала. Цей метод застосовується до елементів, які розташовані паралельно, так що сигнал або потік може пройти через будь-який з елементів. Це дозволяє системі залишатися в робочому стані навіть у випадку відмови деяких елементів.

Надійність всієї системи **змішаного** розміщення обчислюється як добуток надійностей паралельно та послідовно розміщених елементів:

$$R_c = R_{\text{змі}} = R_{\text{пар}} \cdot R_{\text{пос}}$$

Розрахунки ґрунтуються на припущенні, що відмова хоча б одного елемента в групі приведе до відмови всієї групи, як це може мати місце у системі змішаного розміщення.

## 1.5 Опис та призначення рольгангів, та їх класифікація

У першій половині ХХ ст. для масового поточного виробництва виникла потреба переходу до автоматичних ліній, що призвело до швидкого розвитку галузі машинобудування.

Прогрес нових галузей техніки обумовив великі зміни у виробництві сучасних машин. Характерною особливістю сучасного машинобудування є перехід до масового спеціалізованого виробництва, пов'язаний з випуском однотипної стандартної продукції, при якому вироблення і складання виробів здійснюється в поточних лініях, які являють собою сукупність робочих машин і робочих місць, розміщених за ходом виробничого процесу виготовлення виробів. За кожною машиною чи робочим місцем поточної лінії закріплюється одна або декілька одних і тих же операцій обробки одного або декількох виробів, виготовлених одночасно або поперемінно. Це потребує високопродуктивного спеціалізованого обладнання і оснащення, які забезпечують високу продуктивність праці і високу якість роботи. Розвиток поточного виробництва характеризується передачею виробів, що обробляються, на наступну операцію негайно.

Це забезпечує:

- рівномірний хід виробництва;
- ритмічний запуск і випуск продукції;
- високу продуктивність праці;
- зниження собівартості виготовлених виробів.

Виробничі операції проводяться за допомогою спеціальних міжопераційних транспортних пристроїв – рольгангі та ін.

Рольганг(нім. rollgang від rolle — коток і gang — хід) - роликовий транспортер (або конвеєр) - транспортний механізм, який здійснює переміщення вантажів завдяки обертанню роликів.

Роликові конвеєри поділяють на: неприводні (гравітаційні) та приводні.

На приводних рольгангах рух вантажу передається силою тертя, яка виникає між роликками, яким надається обертовий рух від групового або індивідуального привода, і вантажем, який на них лежить.

На неприводних рольгангах вантаж переміщується під впливом прикладеної до нього рушійної сили. Ролики обертаються від взаємодії з рухомим вантажем, зменшуючи опір його рухові. Неприводні рольганги часто встановлюються з невеликим нахилом, що забезпечує рух вантажу самокатом під дією сили ваги.

Залежно від геометрії робочої траси, роликові конвеєри бувають:

- прямими;
- змієподібними;
- поворотними.

Роликові конвеєри застосовують для переміщення поштучних вантажів (труби, колоди, піддони, контейнери, ящики, прокат, виливки, плити, окремі деталі) в горизонтальному або похилому (під невеликим кутом) напрямі в різних виробництвах, на складах тощо.

Такі конвеєри часто використовують у виробничих цехах для забезпечення відповідних технологічних процесів. У прокатному виробництві рольганг — це основний тип конвеєрів для транспортування гарячого прокату.

Роликовий транспортер складається з несучої рами, роликів, опорної конструкції і приводного пристрою.

Залежно від призначення, рольганги поділяються на дві основні категорії: робочі та транспортуючі. Робочі рольганги розташовані безпосередньо в робочій кліті і використовуються для прийому металевго валика перед процесом прокатки. Транспортуючі рольганги встановлені перед і після робочої кліті, і вони відповідають за з'єднання окремих допоміжних машин та пристроїв стану для безперервного проходження металевих валиків через виробничий процес.

При груповому приводі роликів в одній секції рольганга, яка складається з 4–10 роликів і більше, всі ролики одночасно приводяться в рух за допомогою одного електродвигуна через конічні або циліндричні шестерні та трансмісійні



вали. Груповий привід застосовується лише для рольгангів, які працюють в умовах важкої роботи, наприклад, в бункерах для звозу валиків.

При індивідуальному приводі кожен ролик в межах секції рольганга приводиться окремим електродвигуном. Рольганги з індивідуальним приводом краще виготовляти і експлуатувати. Їх широко використовують як транспортні рольганги для переміщення металу, довжина якого після прокатки значно збільшується, а також в якості перших роликів на робочих рольгангах на валкопрокатних станах.

Рольганги з холостими роликами призначені для транспортування. Вони розташовані під невеликим кутом до горизонталі, і переміщення металу по них відбувається завдяки силам власної ваги, тому їх також називають гравітаційними. У деяких випадках (наприклад, для подовження рольгангів для звозу валиків) кут нахилу роблять в іншому напрямку, щоб створити підйом («гірку») з метою уповільнення швидкості руху транспортованого металу.

Рольганги блюмингів і слябінгів розташовані з обох сторін клітей. На нових станах застосовують робочі рольганги двох типів. В першому із них всі ролики (8-10 шт.) мають індивідуальний привод від окремих розташованих збоку тихохідних двигунів. Обертання передається через зубчасті муфти з подовженим валом. Такий рольганг вимагає установа великої кількості двигунів підвищеної потужності (для надійного привода кожного ролика) і, крім того, великих площ для розташування цих двигунів. У рольгангів другого типу перші два-три ролики, розташовані поряд із станинними роликами, що мають індивідуальний привод, а інші 6-8 роликів – груповий привод через окремий редуктор з циліндричними шестернями і зубчасті муфти подовженого типу.

Привод такого рольганга займає меншу площу, сумарна потужність двигунів також менша.

Крок роликів вибирають із умови, щоб розкат лежав не менш, ніж на двох роликах.

Всі рольганги встановлені по одній вісі - вісь прокатки, утворюючи безперервну лінію транспортування прокатаного металу. Кожен рольганг

складається із станини, роликів, трансмісії і приводу. Всі рольганги мають направляючі лінійки. Рольганг стаціонарного перекидача є важливою частиною обладнання, яке використовується для переміщення матеріалів. Важливим елементом рольгангу є приймання, управління та транспортування на прокат слябів.

Приймальний рольганг може мати додаткові функції та характеристики, що залежать від конкретних вимог виробництва та типу прокату. Наприклад, він може бути обладнаний системою змащення для забезпечення оптимального змащення роликів та зниження тертя. Крім того, приймальний рольганг може мати механізм затиску для фіксації прокату та забезпечення його стабільного руху. Також можуть бути встановлені датчики тиску, швидкості або інші пристрої для моніторингу та контролю параметрів роботи приймального рольганга.

Приймальний рольганг складається з:

Ролики виконують основну функцію приймання прокату та передачі наступних сил обтиску. Вони мають велику міцність та стійкість до навантажень, які виникають під час процесу прокату. Ролики можуть мати різний діаметр та конфігурацію залежно від вимог технологічного процесу.

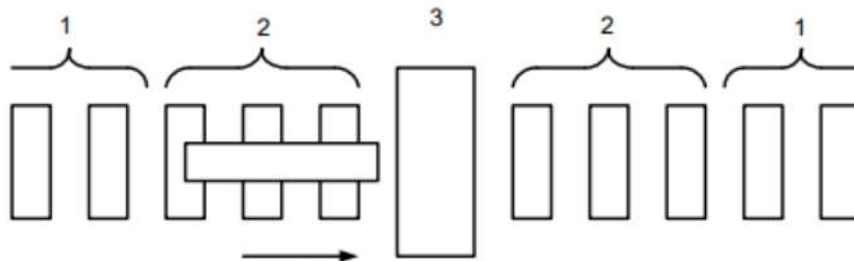
Підшипники встановлюються в роликах та забезпечують плавну рухливість та підтримку роликів під час обтиску прокату. Вони дозволяють зменшити тертя та забезпечити оптимальну ефективність роботи приймального рольганга. Підшипники можуть бути кульковими, роликовими або циліндричними залежно від вимог конкретної конструкції.

Вали використовуються для з'єднання роликів та передачі сил обтиску. Вони повинні мати достатню міцність та жорсткість, щоб забезпечити стійку роботу системи під великими навантаженнями. Крім того, вони повинні мати точну геометрію для забезпечення належної орієнтації та подачі прокату.

Корпус є опорною структурою для роликів та валів. Вони забезпечують стійкість та жорсткість всієї системи приймального рольганга. Конструкція

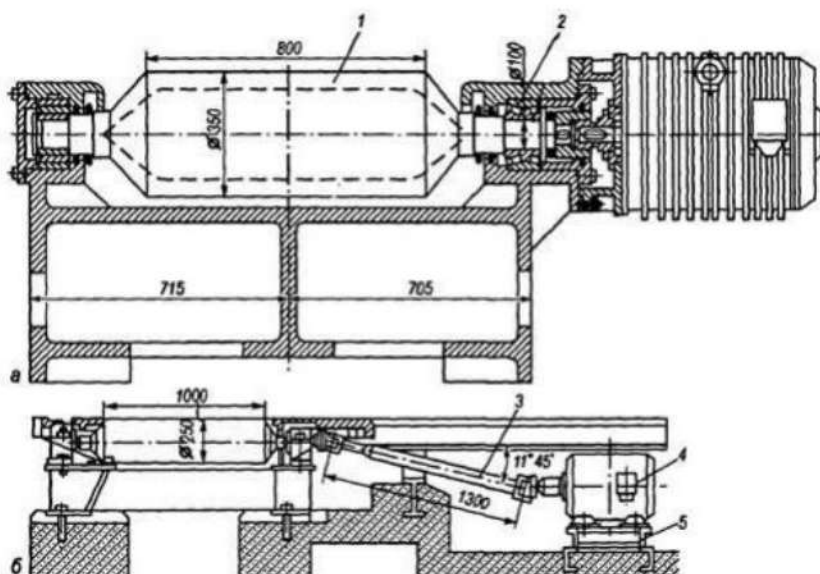


корпусів повинна бути такою, щоб вони могли витримувати великі навантаження та забезпечувати безперебійну роботу приймального рольганга.



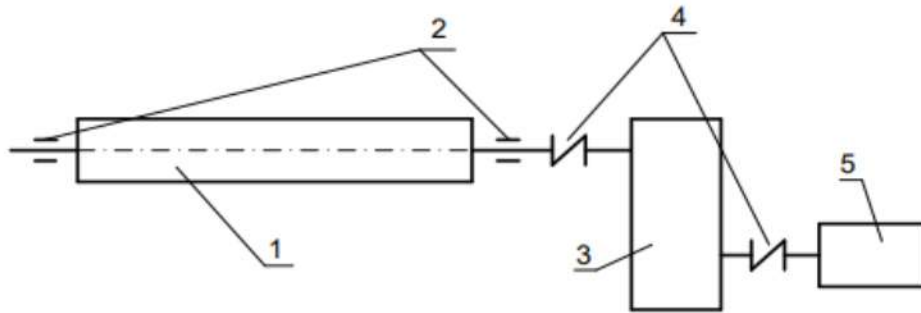
1 – транспортний рольганг, 2 – робочий рольганг, 3 – робоча кліть стану

Рисунок 1.6 - Схема розташування рольгангів



а - від фланцевого електродвигуна; б - від електродвигуна через зубчасту муфту; 1 - ролик, 2 - конічні роликопідшипники, 3 - карданний вал, 4 - електродвигун, 5 - підстава електродвигуна

Рисунок 1.7 Рольганг з індивідуальним приводом



1 – ролик, 2 – підшипники, 3 – редуктор, 4 – муфты, 5 – електродвигун (опис має бути перед назвою)

Рисунок 1.8 Кінематична схема індивідуального привода ролика рольганга

Таблиця 1.1 - Технічна характеристика приймального рольганга

Параметр	Значення
Вага транспортуемого металла, т	13,5
Маса одного ролика, кг	8280
Число роликів	7
Довжина бочки ролика, мм	1200
Шаг роликів, мм	800
Діаметр бочки ролика, мм d1	600
Діаметр цапфи ролика, мм d2	260
Передавальне число редуктора	7,65
ККД зубчастої передачі	0,8
Окружна швидкість на бочках ролика, м/с	2
Моменти інерції, приведені до вала	
двигуна:	
- незавантаженого рольганга, кг·м <sup>2</sup>	63
- завантаженого рольганга злитком, кг·м <sup>2</sup>	95
Режим роботи	повторно - короткочасний
Число вмикань в годину	120

## 1.6 Огляд проблематики надійності конструкцій рольгангів

Для підвищення технічного рівня у металургійній галузі, покращення якості продукції та виробів необхідно активніше оновлювати обладнання та запроваджувати прогресивні технології.

Вирішення поставлених завдань нерозривно пов'язане з прискоренням науково-технічного прогресу в металургійному машинобудуванні, зі створенням економічних високопродуктивних машин та агрегатів високої надійності та довговічності.

Потреба у прокатному устаткуванні продовжує зростати. Це пояснюється тим, що прокатка з усіх способів обробки металів користується найбільшим поширенням внаслідок безперервності процесу, високої продуктивності та можливості отримання виробів різноманітної форми та високої якості. Прокатні вироби як зі сталі, так і кольорових металів є найбільш економічним продуктом.

У металургійному машинобудуванні зниження металоємності одна із актуальних напрямів технічного прогресу. Важливо знижувати експлуатаційну металомісткість прокатних станів за рахунок підвищення надійності і довговічності деталей, що швидко зношуються.

Питаннями підвищення надійності прокатного обладнання займалися вітчизняні та закордонні вчені: Большаков В.І., Вереньов В.В., Плахтин В.Д., Коновалов Л.В. Полухін П. І., Третьяков А.В., Гарбер Е.А., Гребенік В.М., Вафін Р.К., Білодіденко С.В., Барабаш А.В.

Так в роботі [2]. була розроблена а модель рольгангів для транспортування слябів і прокату до прокатної кліті прокатного стану. Розроблена конструкція забезпечує збільшення несучої здатності, надійності й довговічності рольганга.

Для досягнення вищевказаного технічного результату в транспортному рольгангу (рис. 1.9) прокатного стану, що містить приводні ролики, розташовані попарно в підшипникових корпусах, які встановлені та закріплені на рамі болтовими з'єднаннями, згідно з корисною моделлю, він обладнаний кріпильними планками, установленими між суміжними підшипниковими

корпусами у відповідних пазах, виконаних на верхніх поверхнях корпусів, крім того кріпильні планки встановлені без зазорів та закріплені на рамі додатковими болтовими з'єднаннями.

Завдяки тому, що рольганг обладнаний кріпильними планками, установленими між суміжними підшипниковими корпусами у відповідних пазах, виконаних на верхніх поверхнях корпусів, крім того кріпильні планки встановлені без зазорів та закріплені на рамі додатковими болтовими з'єднаннями, стало можливим створити надійну єдину несучу конструкцію для роликів, що дозволило сприймати удари від слябу не окремим підшипниковим корпусом ролика, а одночасно декількома. Таким чином, підвищується несуча здатність і міцність рольганга в цілому. Крім цього з'являється можливість додавати до корпусів додаткові зусилля притиску до рами через додаткові болтові з'єднання.

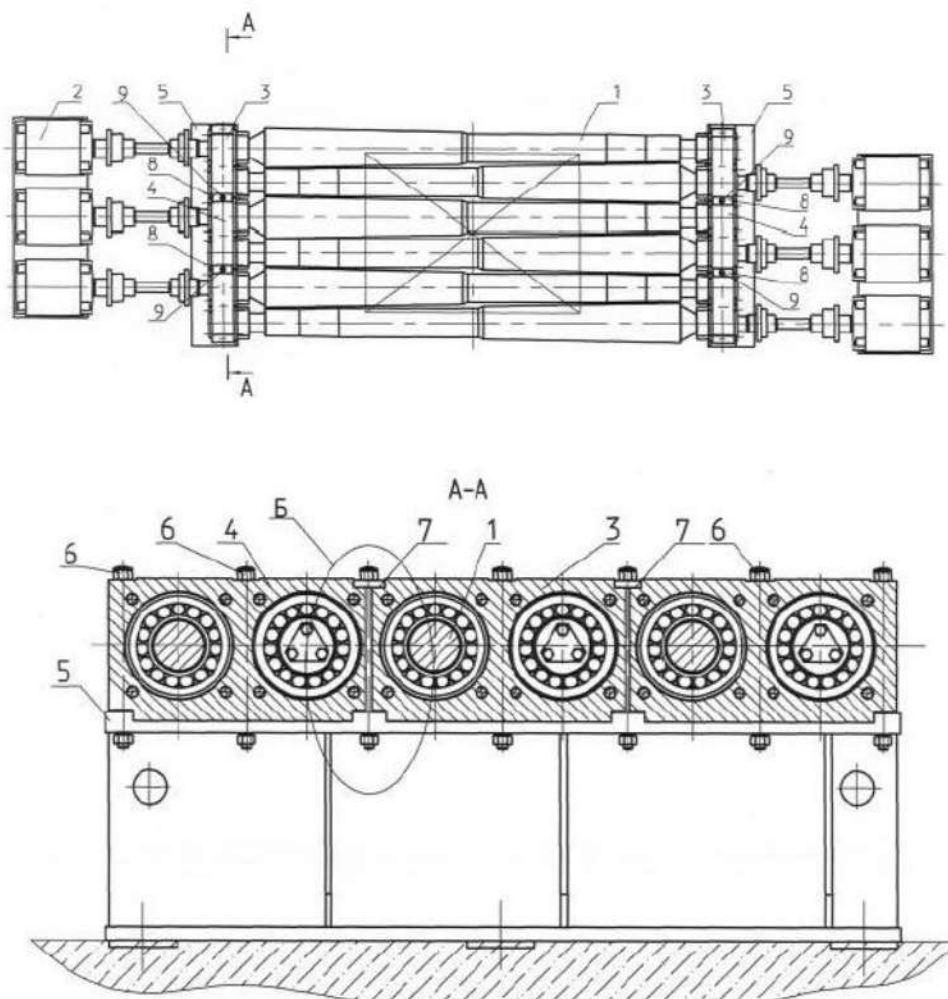


Рисунок 1.9 Транспортний рольганг прокатного стану

Транспортний рольганг прокатного стану складається з роликів 1, а кожний ролик з'єднаний індивідуально з електродвигуном 2 (рис.1.9). Привода 2 сусідніх роликів 1 рольганга розташовані в шаховому порядку. Опори роликів 1 розміщені попарно в підшипникових корпусах 3 і 4 (суміжні корпуси). Корпуси 3 та 4 установлені на рамах 5 рольганга й притягнуті до рам болтовими з'єднаннями 6. На верхній поверхні суміжних корпусів 3 та 4 виконані пази 7, у які без зазорів установлені кріпильні планки 8, та які притягнуті до рам 5 додатковими болтовими з'єднаннями 9.

Транспортний рольганг прокатного стану працює наступним чином.

Обертання від електродвигунів 2 передається роликам 1. При обертанні роликів 1 штаба або заготовка, що перебувають на поверхні рольгангу, одержують поступальне переміщення убік прокатної кліті або інших технологічних машин.

Статичні й динамічні навантаження на ролики 1 від штаби сприймаються підшипниковими корпусами 3 і 4 та передаються на рами 5 рольганга. При цьому удари заготовки по окремому з роликів 1 сприймаються всіма корпусами 3 і 4 рольганга завдяки кріпильним планкам 8 між усіма суміжними корпусами 3 і 4. Таким чином, навантаження на опорні поверхні всіх корпусів і рам значно зменшуються.

Із усього вищевикладеного видно, що виконання транспортного рольганга прокатного стану, дозволяє збільшити несучу здатність, надійність та довговічність рольганга.

У роботі [3] розроблено транспортний рольганг який вирішує ряд проблемних питань транспортних рольгангів (рис. 1.10). Так, основний недолік полягає в тому, що велика інерційність ролика і його підшипникових корпусів не дозволяє, незважаючи на пружинні амортизатори, значно зменшити динамічні навантаження на підшипники, довговічність яких визначає довговічність і надійність роботи рольганга. При цьому через велику циклічність ударних навантажень відбувається часта поломка пружинних амортизаторів, що також знижує надійність роботи рольганга.



Зазначений вище недолік вирішується за рахунок технічного результату, який полягає в установці під кожним підшипниковим вузлом ролика керованого пневмоамортизатора або гідроамортизатора, який піднімає на рівень транспортування металу ролик у момент проходження над ним прокату, що дасть можливість підвищити надійність й довговічність роботи розкотного рольганга прокатного стану.

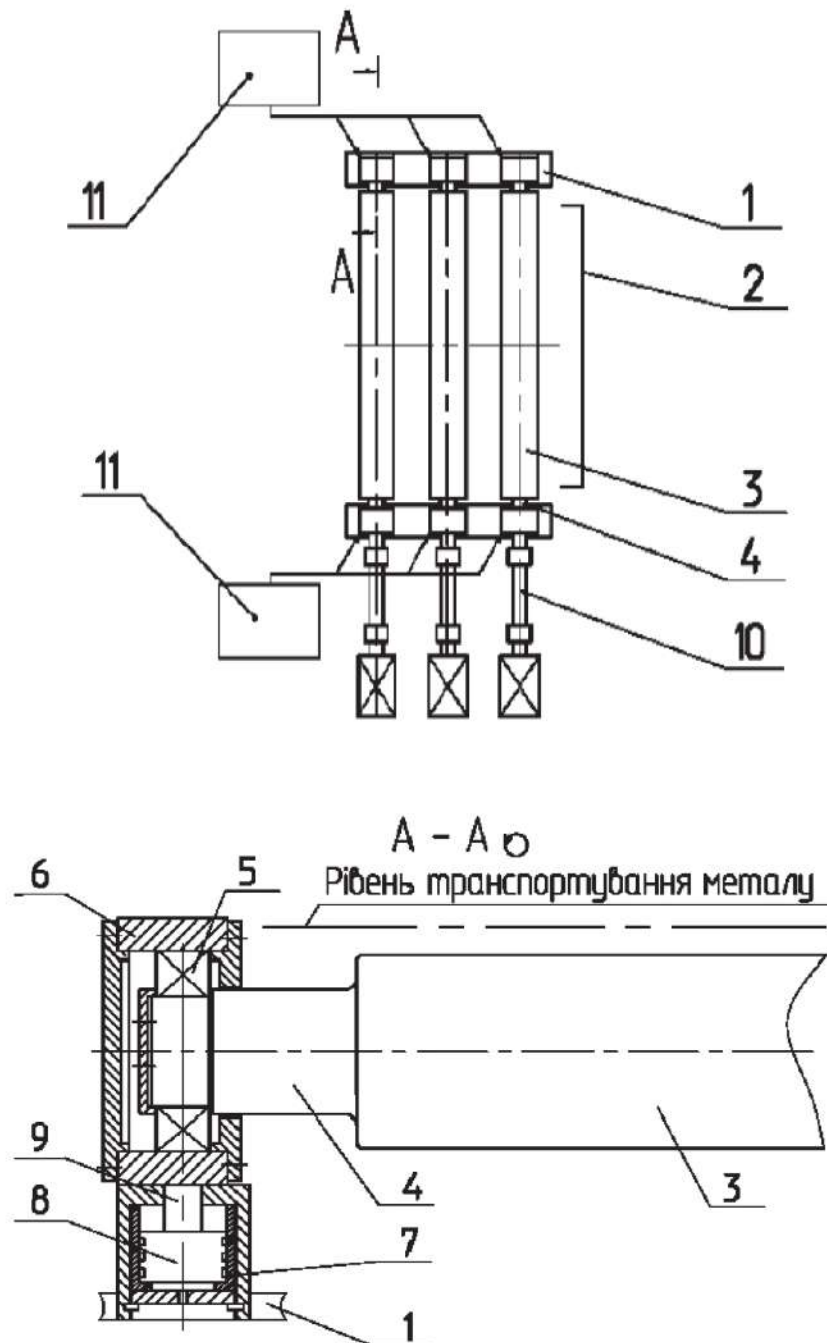


Рис. 1.10 Рольганг прокатного стану

Завдяки тому, що рольганг обладнаний керованими пневмоамортизаторами або гідроамортизаторами, установленими під кожним підшипниковим вузлом, вони не знаходяться у жорсткому зв'язку з рамою рольганга й тим самим знижуються динамічні навантаження від металевої штаби, що рухається, на підшипникові вузли. Також рольганг оснащений системою керування пневмоамортизаторами або гідроамортизаторами, що робить можливим керувати їхньою твердістю та рівнем пов'язаних з ними роликів.

Рольганг прокатного стану складається з рами 1 (рис. 1.10.), роликів 2, що містять бочку 3, цапфу 4, підшипникових вузлів 5, корпуси яких 6 пов'язані із пневмоамортизаторами або гідроамортизаторами 7, установленими в раму 1 і утримуючими поршень 8, і шток 9, що контактує з основою корпуса 6. Ролики 2 через цапфи 4 пов'язані із приводом 10, а керування пневмоамортизаторами або гідроамортизаторами 7 здійснюється від системи керування 11.

Працює розкотний рольганг прокатного стану наступним чином.

У початковому положенні бочки 3 роликів 2 рольганга опущені нижче рівня транспортування металу на 20-30 мм. При цьому корпус 6 підшипникового вузла 5 під дією ваги ролика опирається на раму 1 і контактує зі штоком 9 поршня 8. У поршневу порожнину пневмоамортизатора або гідроамортизатора подається мінімальний тиск для усунення зазорів між корпусом 6 і штоком 9. Ролики 2 обертаються з робочою швидкістю від привода 10.

При підході переднього кінця металевого підкату, який транспортується розташованими в лінії стану машинами на заданому рівні транспортування по висоті до вертикальної осі чергового ролика, він піднімається на цей рівень для подальшого транспортування підкату. Підйом відбувається при подачі тиску повітря або рідини в поршневу порожнину пневмо/гідроамортизаторів 7 від системи керування 11. Момент подачі тиску визначається, виходячи зі швидкості штаби при її переміщенні по ділянці рольганга. Після проходження металевої штаби по рольгангові тиск у поршневій порожнині пневмо/гідроамортизаторів 7

знімається й ролики під власною вагою опускаються нижче рівня транспортування.

Із усього вищесказаного видно, що зазначена конструкція рольгангу дозволить здійснити безударне переміщення підкату на заданому рівні транспортування і тим самим підвищиться надійність й довговічність роботи рольганга в цілому.

### 1.7 Обґрунтування обраного напрямку роботи

Вивчення та поліпшення надійності рольгангу має велике значення для оптимізації процесу прокатки та підвищення продуктивності. Актуальність даної теми полягає в тому, що недоліки або відмови приймального рольганга можуть призводити до значних втрат продуктивності, збитків та зниження якості прокату. Оптимізація роботи приймального рольганга та покращення його надійності може сприяти підвищенню ефективності виробництва, зниженню витрат та покращенню якості прокату.

Основні завдання роботи включають:

- детальний огляд конструкції приймального рольганга та розуміння його функціональності;
- вивчення параметрів та характеристик приймального рольганга, таких як швидкість роботи, сила затиску, система змащення та інші фактори, що впливають на його роботу;
- аналіз експлуатаційних даних та проведення вимірювань для оцінки надійності та ефективності приймального рольганга;
- виявлення причин відмов та проблем, що виникають у роботі приймального рольганга;
- розробка та впровадження стратегій для покращення надійності та ефективності приймального рольганга, включаючи налагодження системи змащення, заміну або покращення компонентів, вдосконалення механізму затиску;



- оцінка результатів впроваджених заходів та розробка рекомендацій для подальших досліджень.

Для досягнення поставлених завдань використовуються різні методи дослідження, зокрема:

- аналіз наукових джерел, літератури та публікацій, що стосуються приймальних рольгангів та надійності в металургії;

- проведення експериментальних вимірювань та досліджень параметрів приймального рольганга в реальних умовах прокату;

- статистичний аналіз експлуатаційних даних для оцінки надійності та виявлення залежностей між факторами, такими як тривалість безвідмовної роботи, частота відмов та інші показники;

- використання методів конструювання та моделювання для впровадження стратегій покращення надійності приймального рольганга.

Загальна методологія дослідження включатиме поєднання теоретичного аналізу, експериментальних вимірювань та аналізу даних для отримання об'єктивних висновків та рекомендацій для покращення надійності приймального рольганга обтискного прокатного стану.

## 2. РОЗРАХУНКИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА ЕНЕРГОСИЛОВИХ ПАРАМЕТРІВ РОЛЬГАНГУ

### 2.1 Розрахунок потужності двигуна рольганга

Технологічний розрахунок виконує ключову роль у визначенні основних технічних та енергетичних характеристик приладу. Головна мета проведення - оцінка ефективності роботи рольгангу, вибір оптимальних параметрів, гарантію стійкості та надійності обладнання під час експлуатації, а також підготовку до подальшого дослідження надійності. Розрахунки включають в себе оцінку потужності двигуна, розрахунок параметрів ролика, підшипників, шпонкового з'єднання та вибір муфти приводу. Отримані дані стануть основою для подальшого аналізу надійності приладу та можливих оптимізацій, а також допоможуть визначити критичні фактори, які можуть впливати на роботу рольгангу. Загалом, цей розділ є важливим етапом у вивченні та покращенні робочих характеристик обладнання.

Виходячи з конструкції роликів рольганга і розмірів зливка видно, що злиток максимальної довжини спирається на чотири ролика рольганга.

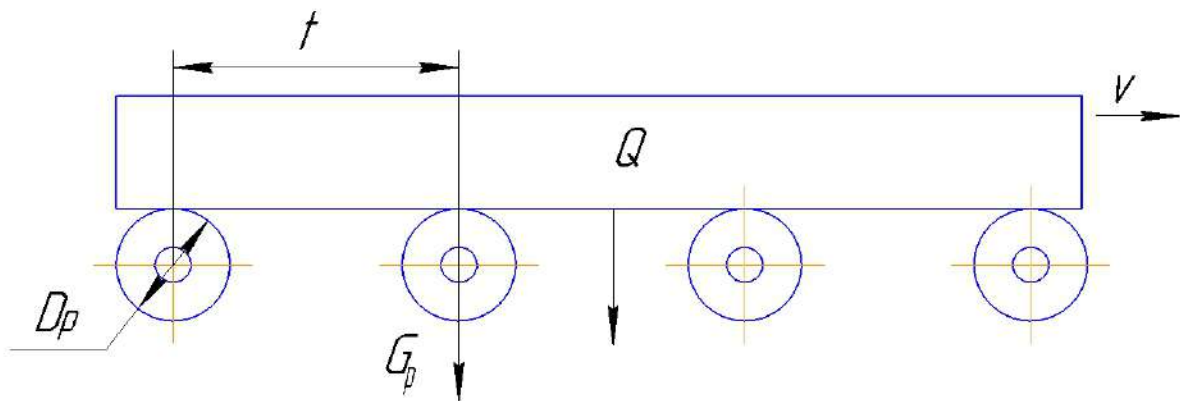


Рисунок 2.1- Силова схема до розрахунку

Максимальні розміри зливка – 780x1200x2300 мм.

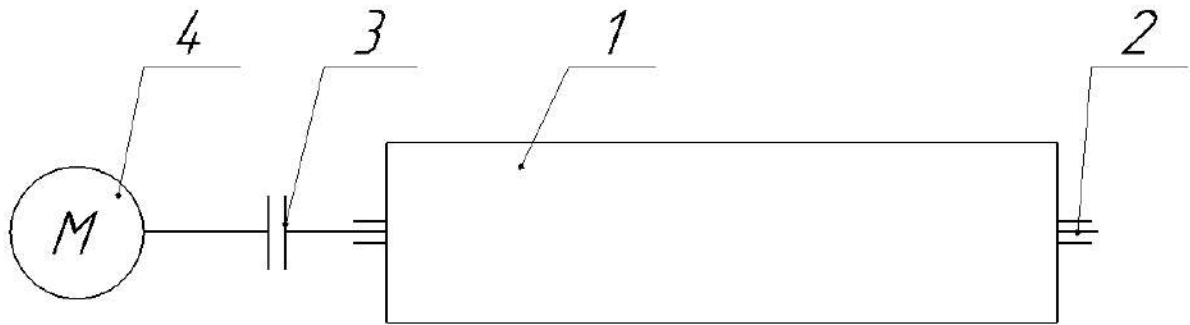
Навантаження на кожний ролик від зливка:

$$Q_M = \frac{Q}{n} \quad (2.1)$$

де  $Q$  – максимальна вага злитка,  $Q = 135$  кН;

$n$  – кількість роликів на які опирається злиток,  $n=4$  шт.;

$$Q_M = \frac{135}{4} = 33,75 \text{ кН}$$



1-ролик; 2-підшипник ролика; 3-муфта зубчаста; 4-електродвигун

Рисунок 2.2 Кінематична схема приводу ролика рольганга

Момент і потужність приводу роликів

Момент і потужність приводу роликів рольганга визначають з урахуванням трьох складових - моменту на подолання тертя в підшипниках, моменту тертя роликів об злиток (момент пробуксовки) і динамічного моменту під час розгону або гальмування:

$$M_{рол} = M_m + M_{бук} + M_{дин} \quad (2.2)$$

Момент на подолання тертя в підшипниках:

$$M_m = (n_p \cdot G_p + Q_M) \cdot \mu_{п.р.} \cdot \frac{d_p}{2}, \quad (2.3)$$

де:  $n_p$  – число роликів, що приводиться від одного електродвигуна  $n_p=1$ ;

$Q_M$  – вага металу, що припадає на один ролик,  $Q_M=33,75$  кН;

$G_p$  – вага ролика,  $G_p=8,28$  кН;

$d_p$  – діаметр цапфи ролика,  $d=0,26$  м;

$\mu_{п.р.}$  – коефіцієнт тертя в підшипниках,  $\mu_{п.р.}=0,008$ ;

$$M_m = (1 \cdot 8,28 + 33,75) \cdot 0,008 \cdot \frac{0,26}{2} = 0,044 \text{кН} \cdot \text{м}.$$

Максимальний статичний момент рівний моменту при буксуванні роликів по злиткам є практично неминучий для всіх рольгангів із-за раптової затримки злитка з різних причин:

$$M_{\text{ст.з.}} = Q_m \cdot \mu_{\text{б.р.}} \cdot \frac{D_p}{2}, \quad (2.4)$$

де:  $\mu_{\text{б.р.}}$  – коефіцієнт тертя злитка по ролику,  $\mu_{\text{б.р.}}=0,15$ ;

$D_p$  – діаметр бочки ролика,  $D=0,6$  м;

$$M_{\text{ст.з.}} = 33,75 \cdot 0,15 \cdot \frac{0,6}{2} = 1,52 \text{кН} \cdot \text{м}$$

Динамічний момент:

$$M_{\text{д.}} = J \cdot \varepsilon$$

де  $I$  – момент інерції обертових мас,  $\text{кг м}^2$ ;

$$J = J_x + J_n; \quad (2.5)$$

де  $I_x$  – момент інерції незавантаженого рольганга,  $J_x=63$   $\text{кг/м}^2$ ;

$I_n$  – момент інерції завантаженого рольганга,  $J_n=95$   $\text{кг/м}^2$ ;

$$J = 63 + 95 = 158 \text{кг} / \text{м}^2;$$

$\varepsilon$  – кутове прискорення роликів.  $\text{с}^2$ ;

$$\varepsilon = \frac{2 \cdot \mu_{\text{б.р.}}}{D_p}; \quad (2.6)$$

де:  $\mu_{\text{б.р.}}$  – коефіцієнт тертя злитка по ролику,  $\mu_{\text{б.р.}}=0,15$ ;

$D_p$  – діаметр бочки ролика,  $D=0,6$  м;

$$\varepsilon = \frac{2 \cdot 0,15}{0,6} = 0,5 \frac{1}{\text{с}^2}.$$

Тоді:

$$M_{\text{д.}} = 158 \cdot 0,5 = 0,079 \text{кН} \cdot \text{м}$$

Тоді момент приводу роликів:

$$M_{рол} = 0,044 + 1,52 + 0,079 = 1,643 \text{кН} \cdot \text{м}$$

Потужність необхідна для обертання ролика:

$$N_{рол} = M_{рол} \cdot \omega_p; \quad (2.7)$$

де  $\omega$  – кутова швидкість обертання ролика;

$$\omega_p = \frac{2 \cdot v}{D_p}; \quad (2.8)$$

де  $v$  - швидкість обертання ролика,  $v=2\text{м/с}$ ;

$$\omega_p = \frac{2 \cdot 2}{0,6} = 6,7 \text{с}^{-1};$$

$$N_{рол} = 1,643 \cdot 6,7 = 11 \text{кВт}.$$

Потужність електродвигуна привода ролика:

$$N_{дв} = \frac{N_p}{\eta}; \quad (2.9)$$

де  $\eta$  - ККД передачі від двигуна до ролика,  $\eta=0,8$ ;

$$N_{дв} = \frac{11}{0,8} = 13,75 \text{кВт}.$$

Вибираємо електродвигун АИР160М6, потужністю  $N_{дв}=15$  кВт, числом обертів  $n_{дв}=1000$  хв<sup>-1</sup>, моментом інерції  $J=0,075$  кг·м<sup>2</sup>, ККД  $\eta_{дв}=0,89$ .

Момент на валу електродвигуна складе:

$$M'_{дв} = 9550 \cdot \frac{N_{дв}}{n_{дв}} \quad (2.10)$$

$$M'_{дв} = 9550 \cdot \frac{15}{1000} = 143 \text{Н} \cdot \text{м} = 0,143 \text{кН} \cdot \text{м}$$

Визначення моменту інерції

Відповідно до паспортних даних момент інерції двигуна АИР160М6 становить:  $J_{дв} = 0,075$  кг·м<sup>2</sup>.

Момент інерції муфт

Момент інерції прийнятих за каталогом зубчастих муфт МЗ-4 визначається за формулою:

$$J_{\text{МУФ}} = 2 \cdot 0,25 \cdot GD2_{\text{МУФ}}, \quad (2.11)$$

де  $GD2_{\text{МУФ}}$  — маховий момент муфти,  $GD2_{\text{МУФ}} = 0,12 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ .

$$J_{\text{МУФ}} = 2 \cdot 0,25 \cdot 0,12 = 0,06 \text{ кг}\cdot\text{м}^2,$$

Момент інерції ролика

Момент інерції ролика визначимо за такою формулою:

$$J_{\text{РОЛ}} = \frac{m_p \cdot D_p}{8}; \quad (2.12)$$

де  $m_p$  - маса ролика,  $m_p = 8280 \text{ кг}$ ;

$D_p$  - діаметр ролика,  $D_p = 0,6 \text{ м}$ .

$$J_{\text{РОЛ}} = \frac{8280 \cdot 0,6}{8} = 621 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$$

Сумарний момент інерції при холостому ході

$$\sum J_X = J_{\text{ДВ}} + J_{\text{МУФ}} + J_{\text{РОЛ}}; \quad (2.13)$$

$$- \sum J_X = 0,075 + 0,06 + 621 = 621,2 \text{ кг}\cdot\text{м}^2;$$

Момент інерції металу

Момент інерції металу визначається залежно від швидкості прокатки під час кожного пропуску розкату через кліть. Швидкість прокатки приймається такою, щоб вихідна швидкість металу дорівнювала максимальній швидкості транспортування, тобто  $3,5 \text{ м/с}$ .

Визначення швидкості руху металу

Лінійна швидкість входу металу в кліть до першого проходу:

$$v_{\text{ВХ1}} = \frac{v_{\text{ВИХ}} \cdot h_2}{h_1} \quad (2.14)$$

де  $h_1$  - товщина злитка перед першою прокаткою,  $h_1 = 0,78 \text{ м}$ ;

$h_2$  - товщина злитка після першої прокатки,  $h_2 = h_1 \cdot 0,5 = 0,39 \text{ м}$ .

$$v_{\text{ВХ1}} = \frac{3,5 \cdot 0,39}{0,78} = 1,75 \text{ м/с}$$

Після першого проходу:  $v_{\text{ВИХ1}} = 3,5 \text{ м/с}$ .

Перед другим проходом:

$$v_{BX2} = \frac{v_{ВИХ2} \cdot h_3}{h_2} \quad (2.15)$$

де  $h_3$  - товщина злитка після другої прокатки,

$$h_3 = h_2 \cdot 0,6 = 0,39 \cdot 0,6 = 0,234 \text{ м};$$

$$v_{BX2} = \frac{3,5 \cdot 0,234}{0,39} = 2,1 \text{ м/с.}$$

після другого проходу:

$$V_{ВИХ2} = 3,5 \text{ м/с};$$

перед третім проходом:

$$v_{BX3} = \frac{v_{ВИХ3} \cdot h_4}{h_3}; \quad (2.16)$$

де  $h_4$  - товщина злитка після третій прокатки,

$$h_4 = h_3 \cdot 0,7 = 0,234 \cdot 0,7 = 0,164 \text{ м};$$

$$v_{BX3} = \frac{3,5 \cdot 0,164}{0,234} = 2,45 \text{ м/с}$$

після третього проходу:

$$V_{ВИХ3} = 3,5 \text{ м/с.}$$

Кутова швидкість валків рольганга під час транспортування металу

Перед входом металу в кліть для першого проходу:

$$\omega_1 = \frac{v_{ВХ1} \cdot 2}{D_p}; \quad (2.17)$$

де  $V_{ВХ1}$  - лінійна швидкість першого входу металу в кліть,

$$V_{ВХ1} = 1,75 \text{ м/с};$$

$D_p$  - діаметр ролика,  $D_p = 0,6 \text{ м};$

$$\omega_1 = \frac{1,75 \cdot 2}{0,6} = 5,8 \text{ рад/с}$$

при виході металу з кліті після першого проходу:

$$\omega_2 = \frac{v_{ВИХ2} \cdot 2}{D_p}; \quad (2.18)$$

де  $V_{ВИХ1}$  - лінійна швидкість першого виходу металу з кліті;

перед входом металу в кліть для другого проходу:

$$\omega_2 = \frac{3,5 \cdot 2}{0,6} = 11,7 \text{ рад/с};$$

$$\omega_3 = \frac{v_{BX2} \cdot 2}{D_p}; \quad (2.19)$$

$$\omega_3 = \frac{2,1 \cdot 2}{0,6} = 7 \text{ рад/с};$$

при виході металу з кліті після другого проходу:

$$\omega_4 = \frac{v_{ВИХ2} \cdot 2}{D_p}; \quad (2.20)$$

$$\omega_4 = \frac{3,5 \cdot 2}{0,6} = 11,7 \text{ рад/с}$$

перед входом металу в кліть для третього проходу:

$$\omega_5 = \frac{v_{BX3} \cdot 2}{D_p}; \quad (2.21)$$

$$\omega_5 = \frac{2,45 \cdot 2}{0,6} = 8,2 \text{ рад/с};$$

при виході металу з кліті після третього проходу:

$$\omega_6 = \frac{v_{ВИХ3} \cdot 2}{D_p}; \quad (2.22)$$

$$\omega_6 = \frac{3,5 \cdot 2}{0,6} = 11,7 \text{ рад/с}.$$

Моменти інерції розкату

Момент інерції металу перед першим пропуском:

$$J_{MET1} = \frac{m_{M1} \cdot v_{2BX1}}{\omega_{21}}; \quad (2.23)$$

$$J_{MET1} = \frac{3375 \cdot 1,752}{5,8} = 1019,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

де  $m_{M1}$  - маса металу, що припадає на один ролик рольганга,

$m_{M1} = 3375$  кг;

$\omega_1$  - кутова швидкість валків рольганга перед входом металу в кліть,



$$\omega_1 = 5,8 \text{ рад/с};$$

$V_{\text{ВХ1}}$  - лінійна швидкість першого входу металу в кліть,

$$V_{\text{ВХ1}} = 1,75 \text{ м/с};$$

момент інерції металу після першого пропуску:

$$J_{\text{МЕТ2}} = \frac{m_{\text{М2}} \cdot v_{2\text{ВІХ1}}}{\omega_{22}}; \quad (2.24)$$

$$J_{\text{МЕТ2}} = \frac{3375 \cdot 3,52}{11,7} = 1015,4 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

момент інерції металу перед другим пропуском:

$$J_{\text{МЕТ3}} = \frac{m_{\text{М2}} \cdot v_{2\text{ВХ2}}}{\omega_{23}}; \quad (2.25)$$

$$J_{\text{МЕТ3}} = \frac{3375 \cdot 2,12}{7} = 1022,2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

момент інерції металу після другого пропуску:

$$J_{\text{МЕТ4}} = \frac{m_{\text{М3}} \cdot v_{2\text{ВІХ2}}}{\omega_{24}}; \quad (2.26)$$

$$J_{\text{МЕТ4}} = \frac{1687,5 \cdot 3,52}{11,7} = 507,7 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

момент інерції металу перед третім пропуском:

$$J_{\text{МЕТ5}} = \frac{m_{\text{М3}} \cdot v_{2\text{ВХ3}}}{\omega_{25}}; \quad (2.27)$$

$$J_{\text{МЕТ5}} = \frac{1687,5 \cdot 2,452}{8,2} = 504,6 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

момент інерції металу після третього пропуску:

$$J_{\text{МЕТ6}} = \frac{m_{\text{М4}} \cdot v_{2\text{ВІХ3}}}{\omega_{26}}; \quad (2.28)$$

$$J_{\text{МЕТ6}} = \frac{842 \cdot 3,52}{11,7} = 253,3 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

Сумарні моменти інерції з металом

Сумарний момент інерції перед першим пропуском:

$$\Sigma J_{\text{МЕТ1}} = \Sigma J_{\text{X}} + J_{\text{МЕТ1}}; \quad (2.29)$$

де  $\Sigma J_x$  - сумарний момент інерції при холостому ході,

$$\Sigma J_x = 621,2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$J_{\text{MET1}}$  - момент інерції металу перед першим пропуском,

$$J_{\text{MET1}} = 1019,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$\Sigma J_{\text{MET1}} = 621,2 + 1019,5 = 1640,7 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

сумарний момент інерції після першого пропуску:

$$\Sigma J_{\text{MET2}} = \Sigma J_x + J_{\text{MET2}}; \quad (2.30)$$

$$\Sigma J_{\text{MET2}} = 621,2 + 1015,4 = 1636,6 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

сумарний момент інерції перед другим пропуском:

$$\Sigma J_{\text{MET3}} = \Sigma J_x + J_{\text{MET3}}; \quad (2.31)$$

$$\Sigma J_{\text{MET3}} = 621,2 + 1022,2 = 1643,4 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

сумарний момент інерції після другого пропуском:

$$\Sigma J_{\text{MET4}} = \Sigma J_x + J_{\text{MET4}}; \quad (2.32)$$

$$\Sigma J_{\text{MET4}} = 621,2 + 507,7 = 1128,9 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

сумарний момент інерції перед третім пропуском:

$$\Sigma J_{\text{MET5}} = \Sigma J_x + J_{\text{MET5}}; \quad (2.33)$$

$$\Sigma J_{\text{MET5}} = 621,2 + 504,6 = 1125,8 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

сумарний момент інерції після третього пропуску:

$$\Sigma J_{\text{MET6}} = \Sigma J_x + J_{\text{MET6}}; \quad (2.34)$$

$$\Sigma J_{\text{MET6}} = 621,2 + 253,3 = 874,5 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Визначення часу керування

Прискорення під час розгону і гальмування

Прискорення під час розгону і гальмування приймаємо, виходячи з того, що час між виходом металу з кліті та входом його в кліть для наступного проходу дорівнює 6 секундам, 2 секунди з яких відводять на встановлення в потрібне положення лінійок і валків. Отже, на розгін і гальмування відводиться по 2 секунди, вихідна швидкість металу з кліті дорівнює 3,5 м/с, а прискорення -  $a = 1,5 \text{ м/с}^2$ .

З урахуванням цього:

$$E = \frac{d\omega}{dt} = \frac{a \cdot 2}{D_p}; \quad (2.35)$$

$$- E = \frac{1,5 \cdot 2}{0,2} = 15 \text{ рад} / \text{с}^2.$$

Перед першим пропуском

Під час першого пуску здійснюється розгін із металом, сталий рух, гальмування без металу. Швидкість транспортування приймається рівною 1,75 м/с.

Час розгону дорівнює часу гальмування:

$$t_{p1} = t_{r1} = \frac{v_{BX1}}{a}; \quad (2.36)$$

$$t_{p1} = \frac{1,75}{1,5} = 1,16 \text{ с};$$

Момент динамічний під час розгону без металу:

$$M_{jp1} = \sum J_x \frac{d\omega}{dt}; \quad (2.37)$$

$$M_{jp1} = 621,2 \cdot 15 = 9318 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент пусковий без металу:

$$M_{п1} = M_x + M_{jp1}; \quad (2.38)$$

де  $M_x$  - статичний момент при холостому ході;

$$M_x = g \cdot m_p \cdot \frac{d_{ц}}{2} \cdot \mu_{ц}, \quad (2.39)$$

де  $g$  - прискорення вільного падіння,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ;

$m_p$  - маса ролика,  $m = 8280 \text{ кг}$ ;

$d_{ц}$  - середній діаметр підшипника кочення,  $d_{ц} = 0,26 \text{ м}$ ;

$\mu_{ц}$  - коефіцієнт тертя в підшипниках кочення,  $\mu_{ц} = 0,01$ .

$$M_x = 9,81 \cdot 8280 \cdot \frac{0,26}{2} \cdot 0,01 = 105,6 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{п1} = 105,6 + 9318 = 9423,4 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Час сталого руху:

$$t_{y1} = \frac{L_{y1}}{v_{BX1}}; \quad (2.40)$$

$$t_{y1} = \frac{2,3}{1,75} = 1,31c;$$

де  $L_{y1}$  - довжина розкату перед першим пропуском,  $L_{y1}=2,3$  м.

Момент динамічний під час гальмування без металу:

$$M_{jm1} = \sum J_x \frac{d\omega}{dt}; \quad (2.41)$$

$$M_{jm1} = 621,2 \cdot 15 = 9318H \cdot m.$$

Момент гальмівний без металу:

$$M_{m1} = M_{jm1} - M_x; \quad (2.42)$$

$$M_{m1} = 9318 - 105,6 = 9212,4H \cdot m;$$

Перший пропуск

У першому пропуску розгін здійснюється без металу, усталений рух металу і гальмування - з металом. Швидкість транспортування приймається рівною швидкості прокатки,  $v_{вих}=3,5$ м/с.

Час розгону дорівнює часу гальмування:

$$t_{P2} = t_{T2} = \frac{v_{вих1}}{a}; \quad (2.43)$$

$$t_{P2} = \frac{3,5}{1,5} = 2,33c;$$

Момент динамічний під час розгону без металу:

$$M_{jp2} = \sum J_x \frac{d\omega}{dt}; \quad (2.44)$$

$$M_{jp2} = 621,2 \cdot 15 = 9318H \cdot m.$$

Момент пусковий без металу:

$$M_{П2} = M_x + M_{jp2}; \quad (2.45)$$

$$M_{П2} = 9318 + 105,6 = 9423,6H \cdot m;$$

Час сталого руху:

$$t_{y2} = \frac{L_{y2}}{v_{BHX2}}; \quad (2.46)$$

$$t_{y2} = \frac{3,2}{3,5} = 0,92c;$$

де  $L_{y2}$  - довжина розкату після першого пропуску,  $L_{y2}=3,2$  м,

Момент динамічний при гальмуванні з металом:

$$M_{jm2} = \sum J_{MET2} \frac{d\omega}{dt}; \quad (2.47)$$

$$M_{jm2} = 1636,6 \cdot 15 = 24549H \cdot m.$$

Момент гальмівний з металом:

$$M_{m2} = M_{jm2} - M_{TP2}; \quad (2.48)$$

$$M_{m2} = 24549 - 7530,5 = 17018,5H \cdot m;$$

Шлях, пройдений металом за час гальмування:

$$S_{T2} = \frac{V_{BHX2}}{2} \cdot t_{T2}; \quad (2.49)$$

$$S_{T2} = \frac{3,5}{2} \cdot 2,33 = 4,083m;$$

$$S_{O2} = L_{y2} + S_{T2}; \quad (2.50)$$

$$S_{O2} = 3,2 + 4,083 = 7,3m;$$

Другий пуск

У другому пуску здійснюється розгін з металом, сталий рух, гальмування без металу.

Швидкість транспортування приймається рівною 2,1 м/с.

Час розгону дорівнює часу гальмування:

$$t_{P3} = t_{T3} = \frac{v_{BHX2}}{a}; \quad (2.51)$$

$$t_{P3} = \frac{2,1}{1,5} = 1,4c;$$

Шлях, пройдений металом за час розгону:

$$S_{P3} = \frac{V_{BX2}}{2} \cdot t_{P3}; \quad (2.52)$$

$$S_{P3} = \frac{2,1}{2} \cdot 1,4 = 1,47 \text{ м};$$

Момент динамічний під час пуску з металом:

$$M_{jp3} = \sum J_{MET3} \frac{d\omega}{dt}; \quad (2.54)$$

$$M_{jp3} = 1643,4 \cdot 15 = 24651 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент пусковий із металом:

$$M_{П3} = M_{TP2} + M_{jp3}; \quad (2.55)$$

$$M_{П3} = 7530,5 + 24651 = 32181,5 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Час сталого руху:

$$t_{y3} = \frac{S_{O2} - S_{P3}}{v_{BX}}; \quad (2.56)$$

$$t_{y3} = \frac{12,68 - 1,47}{2,1} = 5,34 \text{ с};$$

Момент динамічний під час гальмування без металу:

$$M_{jm3} = \sum J_x \frac{d\omega}{dt}; \quad (2.57)$$

$$M_{jm3} = 621,2 \cdot 15 = 9318 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент гальмівний без металу:

$$M_{m3} = M_{jm3} - M_x; \quad (2.58)$$

$$M_{m3} = 9318 - 105,6 = 9212,4 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Після другого пропуску

У другому пропуску розгін здійснюється без металу, сталий рух металу і гальмування з металом. Швидкість транспортування приймається рівною швидкості прокатки, тобто:  $v_{вих2} = 3,5 \text{ м/с}$ .

Час розгону дорівнює часу гальмування:

$$t_{P4} = t_{T4} = \frac{V_{ВИХ2}}{a}; \quad (2.59)$$

$$t_{P4} = \frac{3,5}{1,5} = 2,33c;$$

Момент динамічний під час розгону без металу:

$$M_{jp4} = \sum J_x \frac{d\omega}{dt}; \quad (2.60)$$

$$M_{jp4} = 621,2 \cdot 15 = 9318H \cdot m.$$

Момент пусковий без металу:

$$M_{П4} = M_X + M_{jp4}; \quad (2.61)$$

$$M_{П2} = 9318 + 105,6 = 9423,6H \cdot m;$$

Час сталого руху:

$$t_{y4} = \frac{L_{y3}}{V_{ВИХ2}}; \quad (2.62)$$

$$t_{y2} = \frac{4,48}{3,5} = 1,28c;$$

де  $L_{y3}$  - довжина розкату після другого пропуску,  $L_{y3} = 4,48$  м.

Момент динамічний при гальмуванні з металом:

$$M_{jm4} = \sum J_{MET4} \frac{d\omega}{dt}; \quad (2.63)$$

$$M_{jm4} = 1128,9 \cdot 15 = 16933,5H \cdot m.$$

Момент гальмівний з металом:

$$M_{m4} = M_{jm4} - M_{TP3}; \quad (2.64)$$

$$M_{m4} = 16933,5 - 5992,3 = 10941,2H \cdot m;$$

Шлях, пройдений металом за час гальмування:

$$S_{T4} = \frac{V_{ВИХ2}}{2} \cdot t_{T4}; \quad (2.65)$$

$$S_{T4} = \frac{3,5}{2} \cdot 2,33 = 4,083m;$$

$$S_{O4} = L_{y3} + S_{T4}; \quad (2.66)$$

$$S_{O4} = 4,48 + 4,083 = 8,6\text{м};$$

Третій пуск

У третьому пуску здійснюється розгін з металом, сталий рух, гальмування без металу.

Швидкість транспортування приймається рівною 2,45 м/с.

Час розгону дорівнює часу гальмування:

$$t_{P5} = t_{T5} = \frac{v_{BX3}}{a}; \quad (2.67)$$

$$t_{P2} = \frac{2,45}{1,5} = 1,633\text{с};$$

Шлях, пройдений металом за час розгону:

$$S_{P5} = \frac{V_{BX3}}{2} \cdot t_{P5}; \quad (2.68)$$

$$S_{P5} = \frac{2,45}{2} \cdot 1,633 = 2\text{м};$$

Момент динамічний під час пуску з металом:

$$M_{JP5} = \sum J_{METS} \frac{d\omega}{dt}; \quad (2.69)$$

$$M_{JP5} = 1125,8 \cdot 15 = 16887\text{Н} \cdot \text{м}.$$

Момент пусковий з металом:

$$M_{II5} = M_{TP3} + M_{JP5}; \quad (2.70)$$

$$M_{II5} = 5992,3 + 16887 = 22879,3\text{Н} \cdot \text{м};$$

Час сталого руху:

$$t_{y5} = \frac{S_{O4} - S_{P5}}{v_{BX3}}; \quad (2.71)$$

$$t_{y5} = \frac{8,6 - 2}{2,1} = 3,14\text{с};$$

Момент динамічний під час гальмування без металу:

$$M_{JM5} = \sum J_x \frac{d\omega}{dt}; \quad (2.72)$$



$$M_{jm5} = 621,2 \cdot 15 = 9318H \cdot m.$$

Момент гальмівний без металу:

$$M_{m5} = M_{jm5} - M_x; \quad (2.73)$$

$$- M_{m5} = 9318 - 105,6 = 9212,4H \cdot m;$$

Третій пропуск

У третьому пропуску розгін здійснюється без металу, сталий рух і гальмування - без металу.

Швидкість транспортування приймається рівною 3,5 м/с.

Час розгону дорівнює часу гальмування:

$$t_{P6} = t_{T6} = \frac{v_{ВИХ3}}{a}; \quad (2.74)$$

$$t_{P6} = \frac{3,5}{1,5} = 2,33c;$$

Динамічний момент під час розгону без металу:

$$M_{jp6} = \sum J_x \frac{d\omega}{dt}; \quad (2.75)$$

$$M_{jp6} = 621,2 \cdot 15 = 9318H \cdot m.$$

Момент пусковий без металу:

$$M_{П6} = M_x + M_{jp6}; \quad (2.76)$$

$$M_{П6} = 9318 + 105,6 = 9423,6H \cdot m;$$

Час усталеного руху:

$$t_{y6} = \frac{L_{y4}}{v_{ВИХ3}}; \quad (2.77)$$

$$t_{y6} = \frac{6,3}{3,5} = 1,8c;$$

де  $L_{y4}$  - довжина розкату після третього пропуску,  $L_{y4} = 6,3$  м.

Момент динамічний під час гальмування без металу:

$$M_{jm6} = \sum J_x \frac{d\omega}{dt}; \quad (2.78)$$

$$M_{jm6} = 621,2 \cdot 15 = 9318H \cdot m.$$

Момент гальмівний без металу:

$$M_{m6} = M_{jm6} - M_X; \quad (2.79)$$

$$M_{m6} = 9318 - 105,6 = 9212,4H \cdot m;$$

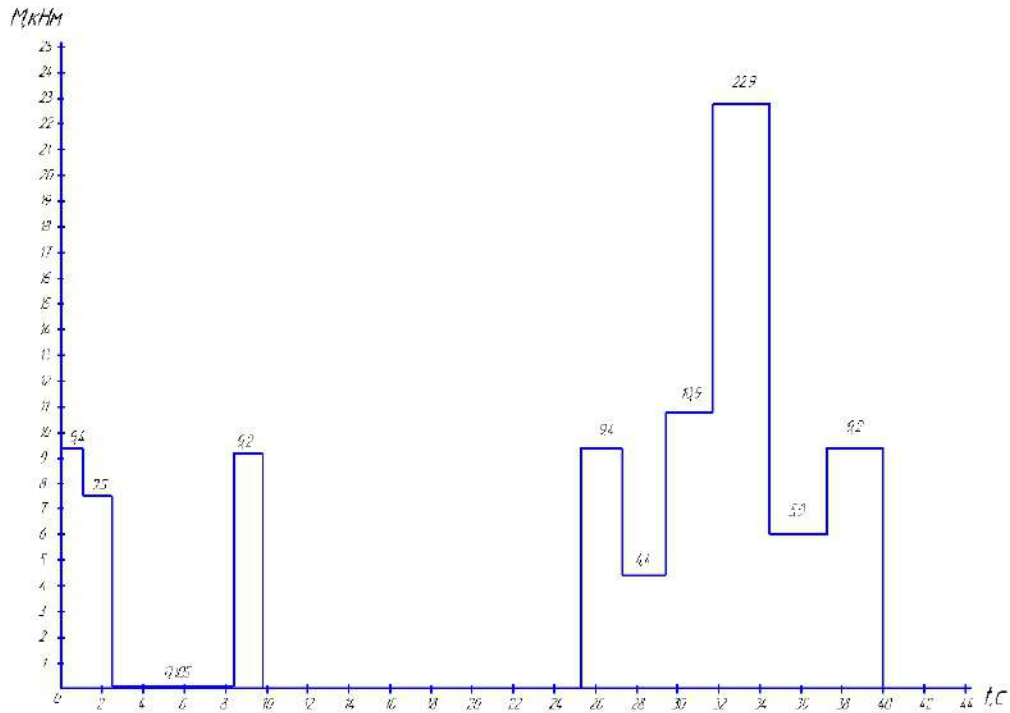


Рисунок 2.3 Навантажувальна діаграма рольганга, розташованого до кліті

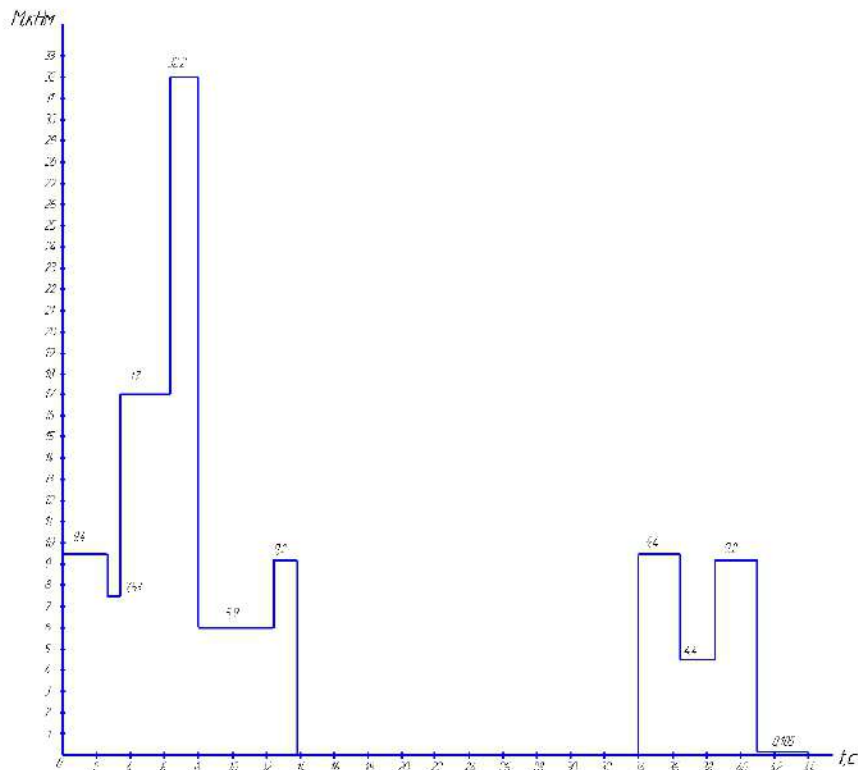


Рисунок 2.4 Навантажувальна, діаграма рольганга, розташованого після кліті

## 2.2 Розрахунок ролика рольганга

Від передачі крутного моменту від двигуна до ролика рольганга, обрана зубчаста муфта МЗ-4 ГОСТ 5006-83 з передавальним моментом  $M_M=6,3\text{кН}\cdot\text{м}$ .

Окружна сила на муфті:

$$P_{ок} = \frac{2 \cdot M_{\max}}{D_M} \quad (2.80)$$

$M_{\max}$  – максимальний пусковий момент,  $M_{\max}=1,52\text{кН}\cdot\text{м}$ ;

$D_M$  – діаметр розташування «чистих» болтів, що передають крутний момент,  $D_M=220\text{мм}=0,22\text{м}$ .

$$P_{ок} = \frac{2 \cdot 1,52}{0,22} = 13,8\text{кН}$$

Крутний момент на ролику  $M_{кр}=M_{\max}=1,52\text{кН}\cdot\text{м}$ .

Ролик випробовує навантаження від ваги злитка  $Q_M=33,75\text{кН}$  і від власної ваги  $G_p=8,28\text{кН}$ , тобто загальне навантаження складе:

$$(Q_1 + G_1) = 33,75 + 8,28 = 42,03\text{кН} \quad (2.81)$$

Представимо її у вигляді розподіленого навантаження на довжині  $l_2=1200\text{мм}$ .

$$q = \frac{42,03}{1,2} = 35\text{кН} / \text{м}$$

Окружні сили Доля<sub>1</sub> і Долю<sub>2</sub> перенесемо на вісь і додаємо  $M_{кр}$ .

Визначимо опорні реакції:

$$\sum M_{(A)} = 0$$

$$q \cdot l_2 \cdot \left( \frac{l_2}{2} + l_1 \right) - R_B \cdot (l_3 + l_2 + l_1) + P_{ок} \cdot (l_4 + l_3 + l_2 + l_1) = 0 \quad (2.82)$$

$$R_B = \frac{q \cdot l_2 \cdot \left( \frac{l_2}{2} + l_1 \right) + P_{ок} \cdot (l_4 + l_3 + l_2 + l_1)}{(l_3 + l_2 + l_1)}$$

$$R_B = \frac{35 \cdot 1,2 \cdot \left(\frac{1,2}{2} + 0,15\right) + 13,8 \cdot (0,13 + 0,15 + 1,2 + 0,15)}{(0,15 + 1,2 + 0,15)} = 36 \text{кН}$$

$$\sum(F) = 0$$

$$R_A = q \cdot l_2 - R_B + P_{OK} \quad (2.83)$$

$$R_A = 35 \cdot 1,2 - 38,4 + 13,8 = 17,4 \text{кН}$$

Визначимо згинальні моменти:

Перетин I:

$$M_I = -R_A \cdot l_1 \quad (2.84)$$

$$M_I = -17,4 \cdot 0,15 = -2,61 \text{кН} \cdot \text{м}$$

Перетин II:

$$M_{II} = -R_A \cdot \left(l_1 + \frac{l_2}{2}\right) + q \cdot \frac{l_2}{2} \cdot \frac{l_2}{4} \quad (2.85)$$

$$M_{II} = -17,4 \cdot \left(0,15 + \frac{1,2}{2}\right) + 35 \cdot \frac{1,2^2}{8} = -19,35 \text{кН} \cdot \text{м}$$

Перетин III:

$$M_{III} = P_{OK} \cdot (l_4 + l_3) - R_B \cdot l_3 \quad (2.86)$$

$$M_{III} = 13,8 \cdot (0,13 + 0,15) - 36 \cdot 0,15 = -1,536 \text{кН} \cdot \text{м}$$

Перетин IV:

$$M_{IV} = P_{OK} \cdot l_4 \quad (2.87)$$

$$M_{IV} = 13,8 \cdot 0,13 = 2,22 \text{кН} \cdot \text{м}$$

Перевіримо на міцність у перетині II

По теорії найбільших дотичних напружень:

$$M_{\Sigma} = \sqrt{M_{зг}^2 + M_{кр}^2} \quad (2.88)$$

Q – поперечні сили, Q=0;

M<sub>зг</sub> – момент згинаючий, M<sub>зг</sub>=19,35 кН·м;

M<sub>кр</sub> – момент крутний, M<sub>кр</sub>=1,52 кН·м.

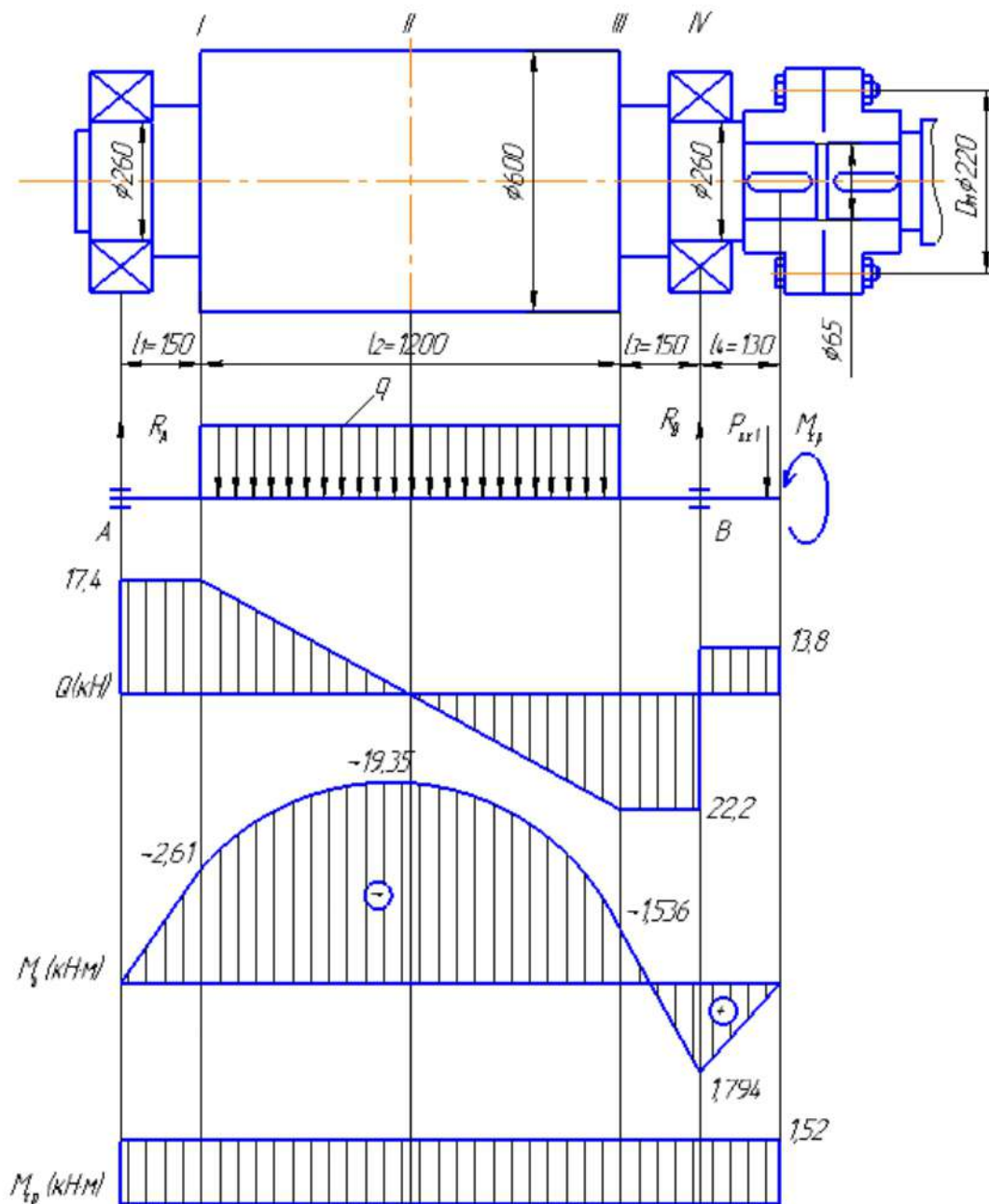


Рисунок 2.5 Епюри поперечних сил і згинальних моментів

$$M_{\Sigma} = \sqrt{19,35^2 + 1,52^2} = 19,4 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Перетин являє собою трубу із зовнішнім діаметром  $d_H=600$  мм і внутрішнім діаметром  $d_B=520$  мм. Матеріал ролика - сталь 45 ГОСТ 1050-74.

Момент опору вигину:

$$W_u = 0,1 \cdot d_n^3 \cdot \left(1 - \frac{d_e^4}{d_n^4}\right), \quad (2.89)$$

$$W_u = 0,1 \cdot 60^3 \cdot \left(1 - \frac{52^4}{60^4}\right) = 9414 \text{ см}^3 = 0,009414 \text{ м}^3$$

Напруга в перетині II:

$$\sigma_{II} = \frac{M_{\Sigma}}{W} \leq [\sigma]_u \quad (2.90)$$

$$\sigma_{II} = \frac{19,4}{0,009414} = 2060 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} \leq 110000 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2} = 110 \text{ МПа}$$

Перевіримо на міцність у перетині IV

Напруга вигину:

$$\sigma_u = \frac{Q}{F} + \frac{M_{зг}}{W} \quad (2.91)$$

Q – поперечна сила, Q=38,4 кН;

M<sub>зг</sub> – момент згинаючий, M<sub>зг</sub>=2,22 кН·м;

F – площа поперечного перетину;

W – момент опору вигину.

Площа поперечного перетину:

$$F = \frac{\pi \cdot d}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,26}{4} = 0,204 \text{ м}^2 \quad (2.92)$$

Момент опору вигину:

$$W_u = 0,1 \cdot d^3 = 0,1 \cdot 0,26^3 = 0,00175 \text{ м}^3 \quad (2.93)$$

Тоді:

$$\sigma_u = \frac{38,4}{0,204} + \frac{2,22}{0,00175} = 1,45 \text{ МПа} \quad (2.94)$$

Напруга крутіння:

$$\tau_k = \frac{M_{кр}}{2 \cdot W_{кр}} \quad (2.95)$$

M<sub>кр</sub> – момент крутний, M<sub>кр</sub>=1,52 кН·м;

W<sub>кр</sub> – момент опору крученню.

$$W_{кр} = 0,2 \cdot d^3 = 0,2 \cdot 0,26^3 = 0,00352 \text{ м}^3 \quad (2.96)$$

$$\tau_k = \frac{1,52}{2 \cdot 0,00352} = 215,9 \text{ кН} / \text{м}^2$$

Тоді напруга в перетині IV:

$$\sigma_{IV} = \sqrt{\sigma_u^2 + 4 \cdot \tau_k^2} \quad (2.97)$$

$\sigma_{II}$  – напруга вигину,  $\sigma_{II}=1450 \text{ кН/м}^2$ ;

$\tau_k$  – напруга кручення,  $\tau_k=215,19 \text{ кН/м}^2$ ;

$$\sigma_{IV} = \sqrt{1450^2 + 4 \cdot 215,19^2} = 1,51 \text{ МПа} \leq [\sigma]_u = 110 \text{ МПа}$$

Розрахунок показав, що небезпечним перерізом є перетин IV.

Висновок: геометричні розміри ролика і його матеріал обрані правильно й умова міцності виконана.

### 2.3 Розрахунок підшипників приводного ролика рольганга

На валу встановлені радіальні дворядні роликотпідшипники 3003152 ГОСТ 5721-73.

- Внутрішній діаметр –  $d=260 \text{ мм}$ ;
- Зовнішній діаметр –  $D= 400 \text{ мм}$ ;
- Ширина –  $B=104 \text{ мм}$ ;
- Статична вантажопідйомність –  $C_0=1290 \text{ кН}$ ;
- Динамічна вантажопідйомність –  $C=1440 \text{ кН}$ ;
- Припустиме число обертів  $n=4000 \text{ хв}^{-1}$ .

Номінальна довговічність підшипника в мільйонах обертів:

$$L = \left( \frac{C}{P} \right)^\rho \quad (2.98)$$

$L$  – довговічність у мільйонах обертів;

$C$  – динамічна вантажопідйомність,  $C=1440 \text{ кН}$ ;

$P$  – еквівалентне динамічне навантаження;

$\rho$  – статичний показник,  $\rho=3$ .



З урахуванням коефіцієнта безпеки  $K_\sigma$  і температурного коефіцієнта  $K_T$  (при температурі підшипника понад  $100^\circ\text{C}$ ) для роликів підшипників:

$$P=(X \cdot V \cdot F_r + Y \cdot F_a) \cdot K_\sigma \cdot K_T \quad (2.99)$$

Тому що осьова складова навантаження  $F_a=0$ , то:

$$P=X \cdot V \cdot F_r \cdot K_\sigma \cdot K_T \quad (2.100)$$

$X$  – коефіцієнт радіального навантаження,  $X=1$ , [2] стор. 79, таб. 52;

$V$  – коефіцієнт обертання,  $V=1$ , [2] стор. 60;

$Y$  – коефіцієнт осьового навантаження,  $Y=0$ ;

$K_\sigma$  – коефіцієнт безпеки,  $K_\sigma=1,2$ , [2] стор. 79, таб. 56;

$K_T$  – температурний коефіцієнт,  $K_T=1,05$  [2] стор. 79, таб. 57;

$F_r$  – радіальне навантаження,  $F_r=R_B=38,4$  кН.

Тоді:

$$P=1 \cdot 1 \cdot 38,4 \cdot 1,2 \cdot 1,05=48,38 \text{ кН}$$

Тоді:

$$L = \left( \frac{1440}{48,38} \right)^3 = 2636 \cdot 10^6 \text{ об.}$$

Номінальний термін служби підшипника в годинах:

$$L_h = \frac{10^6 \cdot L}{60 \cdot n} \quad (2.101)$$

де  $n$  – число оборотів ролика у хвилину  $n=31,82 \text{ хв}^{-1}$ ;

$$L_h = \frac{2636 \cdot 10^6 \cdot 10^6}{60 \cdot 71,9} = 61,1 \cdot 10^{10} \text{ годин}$$

Тобто при завантаженні 24 години на добу підшипник проробить:

$$\frac{61,1 \cdot 10^{10}}{24} = 2545 \cdot 10^7 \text{ доби} \quad (2.102)$$

Висновок: обрані підшипники задовольняють діючим навантаженням, швидкості обертання й довговічності.

## 2.4 Розрахунок шпонкового з'єднання

У даному з'єднанні момент, що крутить  $M_{кр}=1,88$  кН·м передається від тихохідного валу редуктора на вал ролика за допомогою призматичної шпонки 18x11 по ГОСТ 8789-88.

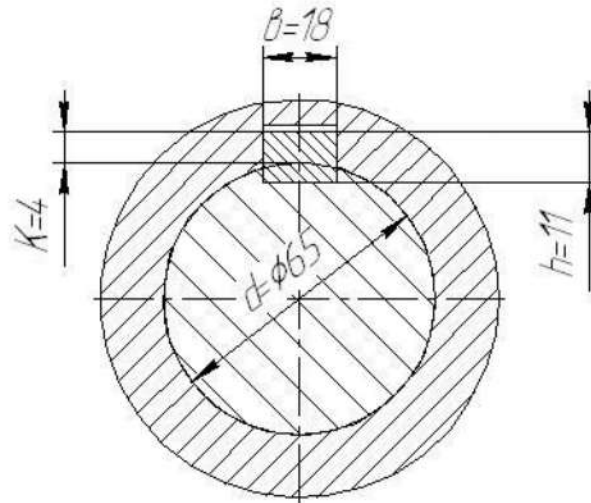


Рисунок 2.6 - Розрахункова схема шпонкового з'єднання

Робочі грані перевіряємо на зминання.

З умови міцності на зминання:

$$M_{кр} = 0,5 \cdot d \cdot K \cdot l \cdot [\sigma]_{см} \quad (2.103)$$

$[\sigma]_{дшв}$  – допустиме напруження шпонки на зріз,  $[\sigma]_{дшв}=150$  МПа;

$M_{кр}$  – момент крутний,  $M_{кр}=1,88$  кН·м;

$d$  – діаметр вала,  $d=65$  мм.

Тоді необхідна довжина шпонки:

$$l = \frac{M_{кр}}{0,5 \cdot d \cdot K \cdot [\sigma]_{см}} \quad (2.104)$$

$$l = \frac{188}{0,5 \cdot 6,5 \cdot 0,4 \cdot 15} = 9,6 \text{ см} = 96 \text{ мм}$$

Ухвалюємо з конструктивних міркувань довжину шпонки  $l=100$  мм.

Умова міцності на зріз:

$$M_m = 0,5 \cdot (d + K) \cdot b \cdot l \cdot [\tau]_{ср} \quad (2.105)$$

$[\tau]_{\text{порівн}}$  – напруга, що допускається, матеріалу шпонки на зріз,  $[\tau]_{\text{порівн}}=32$  МПа;

$$e = \frac{M_{\text{кр}}}{0,5 \cdot (d + K) \cdot l \cdot [\tau]_{\text{сп}}} \quad (2.106)$$

$$e = \frac{188}{0,5 \cdot (6,5 + 0,4) \cdot 10 \cdot 3,2} = 1,7 \text{ см} \leq 1,8 \text{ см}$$

Висновки: Прийняті розміри шпонки задовольняють умові міцності.

## 2.5 Вибір муфти приводу рольганга

Вал ролика й тихохідний вал редуктора з'єднані муфтою зубчастої МЗ-4 із крутним моментом, що допускається,  $[M]_{\text{кр}}=5,6$  кН·м і граничним числом оборотів  $n_{\text{макс}}=2000$  хв<sup>-1</sup> [3] стр. 462.

Максимальний можливий момент на тихохідному валу редуктора:

$$M_{\text{м.р.}} = \frac{9750 \cdot N_{\text{дв.}} \cdot U_1 \cdot \eta_1}{n_{\text{дв.}}} \quad (2.107)$$

$N_{\text{дв}}$  – потужність електродвигуна,  $N_{\text{дв}}=8$  кВт;

$\eta_1$  – К.К.Д. редуктора,  $\eta_1=0,8$ ;

$U_1$  – передавальне число редуктора,  $U_1=7,65$ ;

$n_{\text{дв}}$  – число обертів електродвигуна,  $n_{\text{дв}}=550$  хв<sup>-1</sup>.

$$M_{\text{м.р.}} = \frac{9750 \cdot 8 \cdot 7,65 \cdot 0,8}{550} = 0,9 \text{ кН} \cdot \text{м} \leq [M]_{\text{кр}} = 5,6 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Муфта зубчаста обрана за ГОСТ 5006-85.

Висновок: обрана муфта здатна передати необхідний крутний момент із необхідним числом обертів.

### 3. ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПРИЙМАЛЬНОГО РОЛЬГАНГУ

#### 3.1 Класифікація засобів діагностичних датчиків

Для проведення дослідження надійності приймального рольганга обтискального прокатного стану потрібно використовувати різноманітні вимірювальні елементи, які дозволяють отримати повну та точну інформацію про його роботу. Ось кілька ключових вимірювальних елементів, які можуть бути використані у цьому дослідженні: датчики тиску, датчики відстані, датчики температури, датчики вібрації, датчики зносу. Далі наведено приклади використання вимірювальних елементів у певних вузлах приймального рольгангу.

У гідравлічних системах рольгангу можна встановити датчики тиску для контролю рівня тиску в гідравлічних циліндрах, системах змащення та інших гідравлічних елементах. Це дозволяє виявляти аномалії та вчасно реагувати на них, забезпечуючи стабільну роботу рольгангу.

Якщо у рольгангу використовуються пневматичні системи для керування, то датчики тиску можуть бути встановлені для моніторингу тиску в пневматичних циліндрах та системах. Це дозволяє контролювати стабільність роботи пневматичних механізмів.

Датчики тиску можна також використовувати для контролю тиску в системах змащення рольгангу. Вони допомагають підтримувати необхідний рівень змащення та запобігають проблемам зі зносом та тріщинами на поверхнях працюючих елементів.

У деяких випадках рольганг може використовувати газові або рідкістьові контури для відбору та розподілу елементів обробки. Датчики тиску можуть бути встановлені для контролю тиску в цих контурах, щоб забезпечити правильну роботу та ефективність процесів.

Датчики тиску можуть бути встановлені в різних вузлах пресів та ролів прокату для контролю тиску, який застосовується під час процесу прокату

металу. Вони допомагають забезпечити стабільний тиск та контролювати якість прокатування.

Ці приклади показують, що датчики тиску можуть бути використані в різних вузлах рольгангу для контролю тиску та забезпечення безперебійної та ефективної роботи прокатного стану. Встановлення цих датчиків дозволяє моніторити та контролювати різні аспекти роботи рольгангу, що сприяє підвищенню надійності та продуктивності виробництва.

### **Датчики тиску**

Датчики тиску - це пристрої, які призначені для вимірювання тиску у системах і пристроях. У прокатних цехах, зокрема при дослідженні надійності приймального рольганга обтискального прокатного стану, датчики тиску можуть бути використані для контролю тиску, який застосовується до матеріалу під час процесу прокату.

Датчики тиску можуть працювати на різних принципах, таких як деформація, або зміна електричного опору. Найбільш поширеними є напівпровідникові, п'зоелектричні та п'зорезистивні датчики.

Для дослідження надійності прокатного стану важливо використовувати датчики тиску з відповідним вимірювальним діапазоном, який забезпечує вимірювання тиску в умовах, що характерні для роботи прокатного стану. Датчики можуть бути встановлені на різних місцях обладнання прокатного стану, де необхідно контролювати тиск, наприклад, на гідравлічних системах, пресах або розподільчих мережах.

Важливо вибирати датчики тиску з високою точністю та надійністю, оскільки невірні вимірювання можуть призвести до неправильних рішень щодо управління процесами прокату. Дані, отримані від датчиків тиску, можуть бути використані для моніторингу та керування роботою прокатного стану, дозволяючи вчасно виявляти аномалії та вживати заходів для їх усунення.

Використання датчиків тиску в дослідженні надійності приймального рольганга обтискального прокатного стану допомагає забезпечити стабільну та

безпечну роботу прокатного виробництва, зменшуючи ризик виникнення аварійних ситуацій та забезпечуючи високу якість продукції.

### **Датчики відстані**

Датчики відстані, також відомі як датчики дистанції або датчики близькості, використовуються для вимірювання відстані до об'єкта або поверхні без прямого контакту з ним. У прокатних цехах, де проводиться дослідження надійності приймального рольганга обтискального прокатного стану, датчики відстані можуть використовуватися для контролю рівномірності та правильності позиціонування матеріалу перед прокатуванням.

Датчики використовують різні принципи для вимірювання відстані до об'єкта, включаючи ультразвукові, інфрачервоні, лазерні, оптичні та ємнісні технології. Ультразвукові датчики відстані відправляють звукові хвилі та вимірюють час їхнього повернення, що дозволяє визначити відстань. Лазерні датчики використовують лазерне випромінювання та вимірюють час, необхідний для відбиття лазерного променя від об'єкта.

Датчики відстані можуть бути легко встановлені на прокатному обладнанні, наприклад, над рольгангами чи біля конвеєрів. Вони зазвичай підключаються до систем керування та моніторингу за допомогою кабелю або бездротового з'єднання. Для вимірювання відстані з високою точністю та надійністю важливо вибирати якісні датчики відповідного типу та відповідних характеристик. Датчики дозволяють відслідковувати позицію матеріалу перед прокатуванням, що дозволяє уникнути неправильного розташування та забезпечити якісне прокатування продукції.

Датчики відстані є важливим елементом системи контролю та моніторингу в прокатних цехах, забезпечуючи точне та надійне вимірювання відстані до об'єкта. Вони дозволяють підтримувати оптимальні умови прокатування та забезпечують стабільну роботу прокатного обладнання.

### **Датчики температури**

Датчики температури в приймальному рольгангу використовуються для вимірювання температури на його поверхні. Ці датчики важливі для контролю

за процесом прокату металу та можуть бути встановлені в різних точках рольгангу для моніторингу температурних умов.

Датчики температури можуть використовувати різні принципи для вимірювання температури, такі як термопари, терморезистори, термістори та інші. Найпоширеніші типи датчиків температури в прокатних цехах - це термопари, які генерують електричний сигнал на основі зміни температури. Датчики повинні мати широкий вимірювальний діапазон, що відповідає умовам роботи в прокатному цеху. Вони повинні бути здатні вимірювати як низькі, так і високі температури відповідно до специфікацій прокатного обладнання.

Для надійного контролю температури на поверхні рольгангу важливо вибирати датчики температури з високою точністю та стабільністю роботи. Датчики температури дозволяють моніторити температурні умови на поверхні рольгангу та вчасно виявляти перегрів, що можуть вказувати на потенційні проблеми з роботою обладнання.

Використання датчиків температури в приймальному рольгангу обтискального прокатного стану допомагає забезпечити безпеку та ефективність процесу прокату металу.

### **Датчики вібрації**

Датчики вібрації в приймальному рольгангу обтискального прокатного стану використовуються для виявлення та моніторингу коливань, які можуть виникати в обладнанні під час процесу прокату металу. Ці датчики грають важливу роль у підтримці безпеки, надійності та ефективності прокатного стану, дозволяючи операторам вчасно виявляти проблеми з обладнанням та уникати можливих аварійних ситуацій.

Датчики можуть використовувати різні принципи для вимірювання вібрацій, такі як п'зоелектричний, п'зорезистивний, ємнісний або лазерний. Найпоширеніші - це п'зоелектричні датчики, які генерують електричний сигнал при виявленні механічних коливань. Датчики вібрації повинні мати широкий вимірювальний діапазон, який відповідає різним частотам та амплітудам вібрацій, що можуть виникати в обладнанні прокатного стану.



Датчики зазвичай встановлюються на різних частинах приймального рольгангу, таких як ролики, валки, стійки чи корпуси, де ймовірність виникнення вібрацій є найвищою. Вони підключаються до систем моніторингу та керування через кабельні або бездротові з'єднання. Для надійного виявлення вібрацій важливо вибирати датчики вібрації з високою точністю та стійкістю до зовнішніх впливів, таких як вологість, пил, температурні зміни тощо.

Датчики вібрації в приймальному рольгангу є важливим елементом системи моніторингу та контролю, що дозволяє забезпечити стабільну та безпечну роботу прокатного обладнання. Вони допомагають вчасно виявляти потенційні проблеми та уникати аварійних ситуацій, що можуть призвести до зупинки виробництва та пошкодження обладнання та запобігти травмам на роботі

#### **Датчики зносу**

Датчики зносу в приймальному рольгангу використовуються для виявлення та моніторингу ступеня зносу на робочих поверхнях рольгангу та інших деталях обладнання. Ці датчики є важливим елементом системи моніторингу та контролю, який дозволяє операторам вчасно виявляти зношені або пошкоджені частини та планувати заміну або ремонт, щоб уникнути негативних наслідків для процесу прокату металу.

Датчики можуть використовувати різні принципи для виявлення ступеня зносу, включаючи вимірювання товщини матеріалу, зміни магнітних властивостей, виявлення вібраційних або акустичних змін тощо. Найпоширеніші - це датчики, що вимірюють товщину матеріалу або відбиття сигналів від поверхонь. Датчики зносу повинні мати достатню чутливість та точність для виявлення навіть невеликих змін у стані робочих поверхонь рольгангу

Датчики зносу зазвичай встановлюються на різних частинах приймального рольгангу, де найчастіше відбувається знос, таких як робочі поверхні роликів чи рейки. Моніторинг ступіню зносу на робочих поверхнях рольгангу та вчасно виявляти будь-які ознаки пошкодження або зносу. Це дозволяє підтримувати безпеку та ефективність роботи обладнання. Завчасне виявлення проблеми

допомагає вчасно планувати заходи для забезпечення безперебійної роботи прокатного стану.

### 3.2 Оцінка надійності рольганга

В питаннях оцінки надійності прослідковуються два підходи. Об'єднаний підхід полягає у тому, що випробуванням або спостереженням піддається вся механічна система, у цілому. В якості первинної інформації використовується час напрацювання на відмову, після чого утворюється статистична вибірка з членів. Вона оброблюється відповідними методами, після чого встановлюється вид функції надійності. Такий підхід іноді називають класичним (classical reliability methods) [7]. В ньому домінують математико-статистичні методи, інваріантні до виду відмови. Вони розроблені, в першу чергу, для електронних систем з великою кількістю паралельно працюючих елементів, котрі піддаються раптовим відмовам. Для силових механічних систем, котрі представляють, переважно, послідовну структурну схему елементів, які піддаються поступовому впливу декількох деградаційних процесів, вказані методи погано адаптуються. Основна проблема об'єднаного підходу пов'язана з обмеженістю вибірки числа факторів відмови, що не дозволяє коректно встановлювати форму функції надійності. Випробування на надійність крупних механічних систем занадто дорогі, тому вигідно досліджувати надійність у процесі експлуатації. Но на значному інтервалі служби виробу з ладу виходять тільки його некритичні елементи. Зацікавленість же представляє інформація, котра сприяє страхуванню від значних збитків. Таку інформацію у достатній кількості можна отримати на більш низькому рівні, випробовуючи малогабаритні елементи конструкцій. Стосовно до цього, розроблені алгоритми отримання функцій розподілу довговічності окремих критичних елементів структури механічної системи. В цьому полягає *індивідуальний підхід* до оцінки надійності, котрий також називають структурним (structural reliability methods) [8].

На підставі з'єднання по відповідним правилам сімейства функцій отримують функцію надійності. При індивідуальному підході використовуються ймовірносно фізичні методи, що враховують природу деградаційних процесів та взаємовплив елементів [9].

#### Досліджень надійності системи приймального ролюганга

Системи складаються з ряду елементів і можуть мати послідовну, рівнобіжну і змішану схеми побудов.

При послідовній побудові системи відмовлення кожного з елементів приводить до відмовлення всієї системи. Тому імовірність безвідмовної роботи системи визначається добутком ймовірностей безвідмовної роботи кожного з елементів:

$$P_C(t) = \prod_{i=1}^N P_i(t);$$

Імовірність відмовлення системи:

$$F = 1 - \prod_{i=1}^N P_i(t)$$

Таким чином, надійність послідовно побудованої системи виявляється нижче, ніж надійність самого ненадійного елемента.

При рівнобіжній побудові системи відмовлення кожного з елементів не приводить до відмовлення всієї системи.

Імовірність відмовлення системи визначається добутком імовірності відмовлень кожного з елементів.

$$F_C(t) = \prod_{i=1}^N F_i(t)$$

Імовірність безвідмовної роботи:

$$P_C(t) = 1 - F_C(t) = 1 - \prod_{i=1}^N F_i(t)$$

Наробіток системи на відмовлення:

$$T_C = \frac{T_N}{N} + \frac{T_{N-1}}{N-1} + \dots T_i$$

де  $N$  – число елементів у системі.

Системи, побудовані змішано розбивають на підсистеми, зводячи всю систему до єдиної побудови, після чого розраховують параметри для всієї системи.

Після приведення (спрощення) система повинна мати вигляд послідовно з'єднаних елементів, наприклад приведених як на рисунку 3.1.

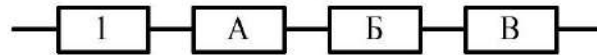


Рисунок 3.1 Приведена система

Ймовірність безвідмовної роботи такої послідовно з'єднаної системи:

$$P_{сист.} = \prod_{i=1}^N P_i = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_4 \cdot P_5, \quad (3.1)$$

де:  $P_i$  – ймовірності безвідмовної роботи елементів системи.

Час напрацювання такої послідовно з'єднаної системи до відмови визначається як:

$$T_{сист.} = \frac{1}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{T_i}} = \frac{1}{\frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2} + \frac{1}{T_3} + \frac{1}{T_4} + \frac{1}{T_5}}, \quad (3.2)$$

де:  $T_i$  – ймовірності напрацювання на час елементів системи.

Досліджуємо блок “А”:

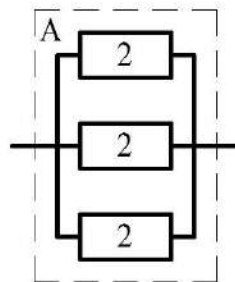


Рисунок 3.2 Блок з сполученими елементами одного типу

Результати досліджень показують, що блок є підсистемою з паралельно сполученими елементами.

Ймовірність безвідмовної роботи такої підсистеми:

$$P_A = 1 - F_A, \quad (3.3)$$

де:  $F_A$  – ймовірність відмови системи.

$$F_A = \prod_{i=1}^N F_2 = (1 - P_2)^N. \quad (3.4)$$

Час безвідмовної роботи такої підсистеми:

$$T_A = \frac{T_N}{N} + \frac{T_{N-1}}{N-1} + \dots + \frac{T_i}{i}, \quad (3.5)$$

де:  $T_N$  – час безвідмовної роботи елемента підсистеми;

$N$  – кількість елементів підсистеми;

$T_{N-1}$  – час безвідмовної роботи елемента підсистеми з урахуванням вилучення одного з розрахунків;

$N-1$  – кількість елементів підсистеми з урахуванням вилучення одного з розрахунків.

Висновок №1: блок №1 має ймовірність безвідмовної роботи –  $P_A$ ; час безвідмовної роботи –  $T_A$ .

Досліджуємо блок “Б”:

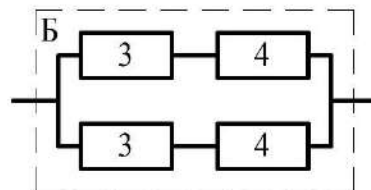


Рисунок 3.3 Блок з сполученими елементами двох типів

Підсистема “Б” складається з двох паралельно сполучених ланцюгів елементів 3 і 4.

Спочатку необхідно досліджувати ймовірність безвідмовної роботи ланцюга елементів “3,4”:

$$P_{3,4} = \prod_{i=1}^N P_i = P_3 P_4, \quad (3.6)$$

де:  $P_i$  – імовірності безвідмовної роботи елементів ланцюга елементів.

Час напрацювання до відмови елементів ланцюга “3,4”:

$$T_{3,4} = \frac{1}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{T_i}} = \frac{1}{\frac{1}{T_3} + \frac{1}{T_4}} \text{ год,} \quad (3.7)$$

де:  $T_i$  – імовірності напрацювання на час елементів ланцюга “3,4”.

Подальші дослідження дозволяють визначити ймовірність безвідмовної роботи підсистеми “Б”:

$$P_B = 1 - F_B, \quad (3.8)$$

де:  $F_B$  – ймовірність відмови системи “Б”.

$$F_B = (1 - P_{3,4})^2; \quad (3.9)$$

Напрацювання підсистеми “Б” до відмови:

$$T_B = \frac{T_{3,4}}{2} + T_{3,4}. \quad (3.10)$$

Висновок №2: надійність роботи підсистеми “Б” –  $P_B$ , час напрацювання до відмови –  $T_B$ .

Досліджуємо підсистему “В”:

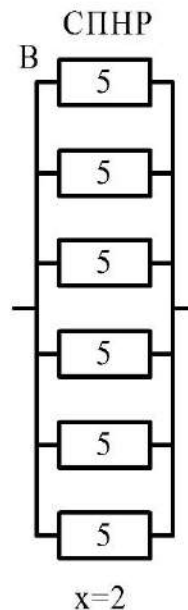


Рисунок 3.4 Блок з постійно навантаженим резервом

Вона є системою, з постійно навантаженим резервом яка зберігає працездатність при мінімумі двох працюючих елементах, що вказується: «X=2».

Ймовірність роботи такої підсистеми визначимо на підставі біноміального закону:

$$P_B = \sum_{r=x}^n \frac{n!}{r!i!} P^r F^i, \quad (3.11)$$

де:  $n$  - число елементів що входять до системи;

$r$  - кількість працездатних елементів;

$i$  - кількість елементів, що відмовили.

Час безвідмовної роботи блоку «В»:

$$T_B = \frac{T_N}{N} + \frac{T_{N-1}}{N-1} + \dots + \frac{T_x}{x} \text{ год.} \quad (3.12)$$

Висновок №3: ймовірність безвідмовної роботи підсистеми «В» –  $P_B$ ; час напрацювання підсистеми «В» до відмови –  $T_B$ .

Загальна надійність системи визначається за допомогою формули 3.1. Загальний час напрацювання системи до відмови визначається за формулою (3.2).

Приймальний рольганг складається з 7 приводних роликів (Блоки: В, С, D, Е, F, G, H) розташованих у станині (Блок А). Кожен з приводних роликів включає 5 типів елементів, а саме b - електродвигун, с – зубчасту муфту з проміжним валом, d – ролик, е – підшипники, f – віброопори. Блок-схема приймального рольганга представлена на рисунку 3.5.

Ймовірність та час безвідмовної роботи кожного з елементів складає:

$P_0 = 0,99$	$T_0 = 5000 \text{ год.};$	$P_1 = 0,98$	$T_1 = 2500 \text{ год.};$
$P_2 = 0,82$	$T_2 = 1600 \text{ год.};$	$P_3 = 0,91$	$T_3 = 2700 \text{ год.};$
$P_4 = 0,94$	$T_4 = 2400 \text{ год.};$	$P_5 = 0,8$	$T_5 = 1500 \text{ год.}$

Необхідно привести систему до системи з послідовно з'єднаними елементами. Виконуємо послідовне спрощення системи приводячи її до простих елементів, розраховуючи ймовірність та час безвідмовної роботи кожного з них.

Перетворимо паралельно з'єднані елементи типу «b», кількістю 7, в підсистему «В». Параметри надійності такої підсистеми розраховуємо наступним чином, приведеним нижче.



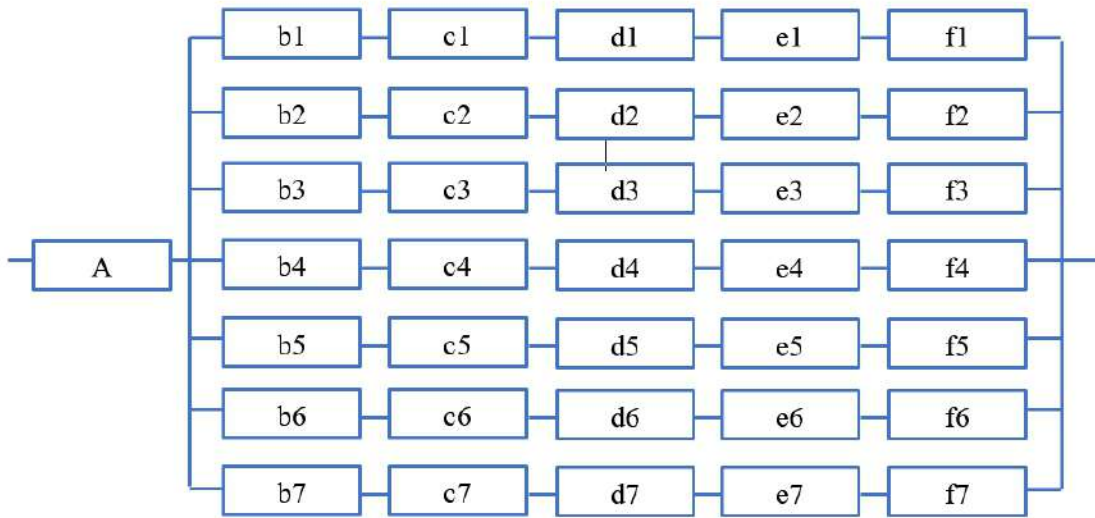


Рисунок 3.5 Блок-схема приймального рольганга, що складається з елементів з'єднаних паралельно і послідовно

Згідно формули (3.4):

$$F_b = 1 - P_b = 1 - 0,98 = 0,02.$$

Ймовірність безвідмовної роботи підсистеми «В»  $P_B$ , розраховуємо за формулою (3.11), при умові ймовірної роботи обладнання при справному стані 6 роликів, тоді після спрощення:

$$P_B(t) = \sum_{j=r}^n \frac{n!}{r!(n-r)!} \cdot P(t)^r \cdot [1 - P(r)]^{n-i} = \sum_{i=2}^6 \frac{7!}{i!(7-i)} \cdot 0,98^i \cdot (1 - 0,98)^{7-i} = 0,124 + 0,868 = 0,992.$$

$$\text{при } \bar{r} = 6 \quad P_6(t) = \frac{7!}{6!(7-6)!} \cdot 0,98^6 (1 - 0,98)^1 = 0,124 ;$$

$$\text{при } \bar{r} = 7 \quad \frac{7!}{7!(7-7)!} \cdot 0,98^7 (1 - 0,98)^0 = 0,868 .$$

Примітка  $0! = 1$ ;  $n^0 = 1$ .

Час безвідмовної роботи підсистеми «В»  $T_B$ , розраховуємо за формулою (3.12):

$$T_A = \frac{2500}{7} + \frac{2500}{6} + \frac{2500}{5} + \frac{2500}{4} + \frac{2500}{3} + \frac{2500}{1} = 6482 \text{ год.}$$

Розрахункове значення ймовірності безвідмовної роботи та часу безвідмовної роботи інших блоків занесено у табл. 3.1

Таблиця 3.1. Розрахункова надійність блоків рольганга

№	Блок	Ймовірність безвідмовної роботи	Час безвідмовної роботи
1	A	0,990	5000
2	B	0,992	6482
3	C	0,632	4189
4	D	0,875	7000
5	E	0,938	6222
6	F	0,567	3889

Система механізмів рольгангу складається з 6-ти послідовно з'єднаних елементів. Параметри надійності такої системи розраховують наступним чином, приведеним нижче.

Ймовірність безвідмовної роботи підсистеми «Б»  $P_{\text{рольг}}$ , розраховуємо за формулою (3.6):

$$P_{\text{рольг}} = 0,99 \cdot 0,992 \cdot 0,632 \cdot 0,875 \cdot 0,938 \cdot 0,567 = 0,289.$$

Час безвідмовної роботи підсистеми «Б»  $T_{\text{Б}}$ , розраховуємо за формулою (3.7):

$$T_{\text{рольг}} = \frac{1}{\frac{1}{5000} + \frac{1}{6482} + \frac{1}{4189} + \frac{1}{7000} + \frac{1}{6222} + \frac{1}{3889}} = 866 \text{ год.}$$

### 3.3 Дослідження напружень у приймальному рольгангу, з використанням імітаційного моделювання

Дослідження проводимо на основі статичного аналізу конструкції з використанням модуля SolidWorks® Simulation.

SolidWorks Simulation - CAE-модуль, заснований на методі кінцевих елементів і призначений для проведення аналізу на міцність.

Метод кінцевих елементів - чисельний метод рішення диференціальних рівнянь з приватними похідними, а також інтегральних рівнянь, що виникають при вирішенні задач прикладної фізики.

Суть МКЕ полягає в тому, що досліджувана область розбивається на кінцеві елементи, в кожному з елементів довільно вибирається вид апроксимуючої функції і потім знаходяться значення цих функцій на межах елементів.

Сітки використовувані в SolidWorks Simulation можуть бути просторові, оболонкові, балкові і спеціальні. Просторові елементи, застосовують для об'ємних тіл і утворюють сітку з тетраедральними твердотільними елементами для кожного твердого тіла і бувають двох типів: лінійні та параболічні. Оболонкові елементи, застосовують для тонкостінних деталей (з листового металу) і утворюють сітку з трикутними елементами і бувають також двох типів: лінійні та параболічні. Балкові елементи застосовуються для моделей створених рухом постійного поперечного перерізу за деякою траєкторією, і визначається двома кінцевими точками і поперечним перерізом. Комбінована сітка автоматично застосовується, коли в моделі присутні різні геометричні форми.

Після побудови моделі необхідно упевнитися, що вона ефективно працює, провівши експлуатаційне тестування. При відсутності інструментів аналізу справжнє завдання може бути вирішене тільки за рахунок виконання дорогих і витратних за часом циклів розробки виробу. Цикл розробки виробу зазвичай включає наступні етапи: побудова моделі; побудова дослідного зразка конструкції; експлуатаційне випробування дослідного зразка; оцінка результатів експлуатаційних випробувань; зміна конструкції на підставі результатів експлуатаційних випробувань. Процес розробки моделі триває до отримання задовільного рішення [10].

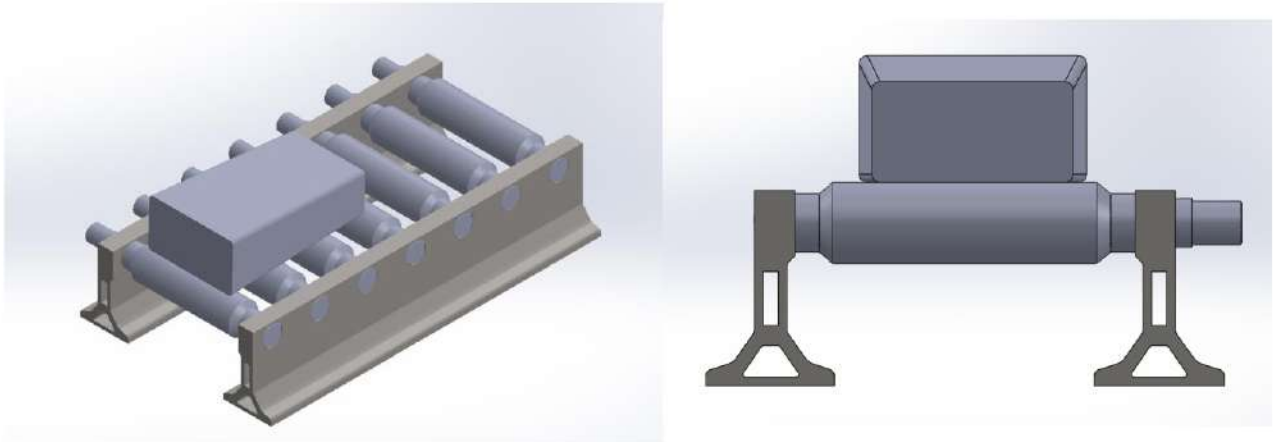
За допомогою застосування програм комп'ютерного моделювання (наприклад SolidWorks) можливо значно скоротити процес розробки конструкції машини та досягти виконання наступних завдань:

зменшити вартість моделі за рахунок проведення її випробування на комп'ютері замість дорогих експлуатаційних випробувань;

скоротити час розробки моделі;

поліпшити конструкцію за допомогою швидкої перевірки відразу великої кількості вузлів та деталей, тим самим надаючи додатковий час на удосконалення нової конструкції.

В ході поточного дослідження визначалась навантажувальна здатність запропонованої конструкції рольганга під дією нелінійного навантаження. В якості досліджуваних елементів зосередимо увагу на роликах та станині.



а

б

а – аксонометричний вид з боку;

б – вид з переду

Рисунок 3.6 Об'ємна твердотільна модель рольганга

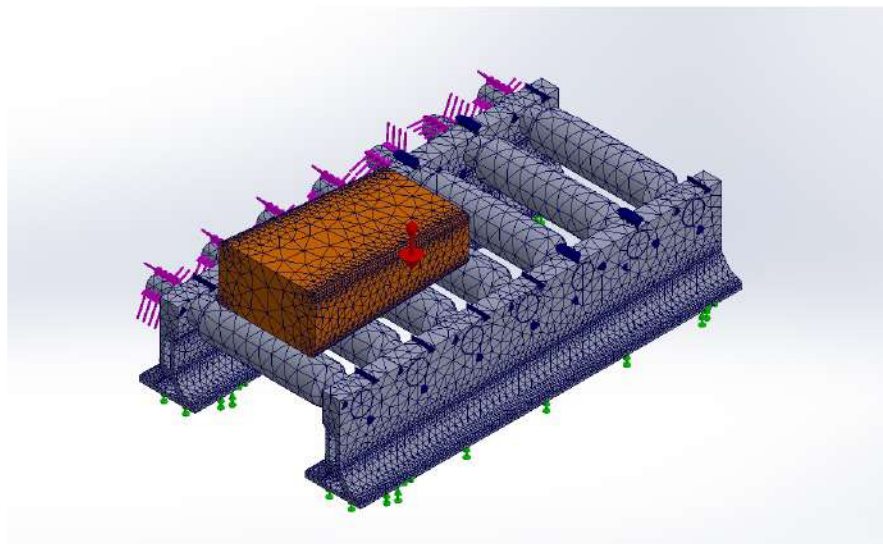
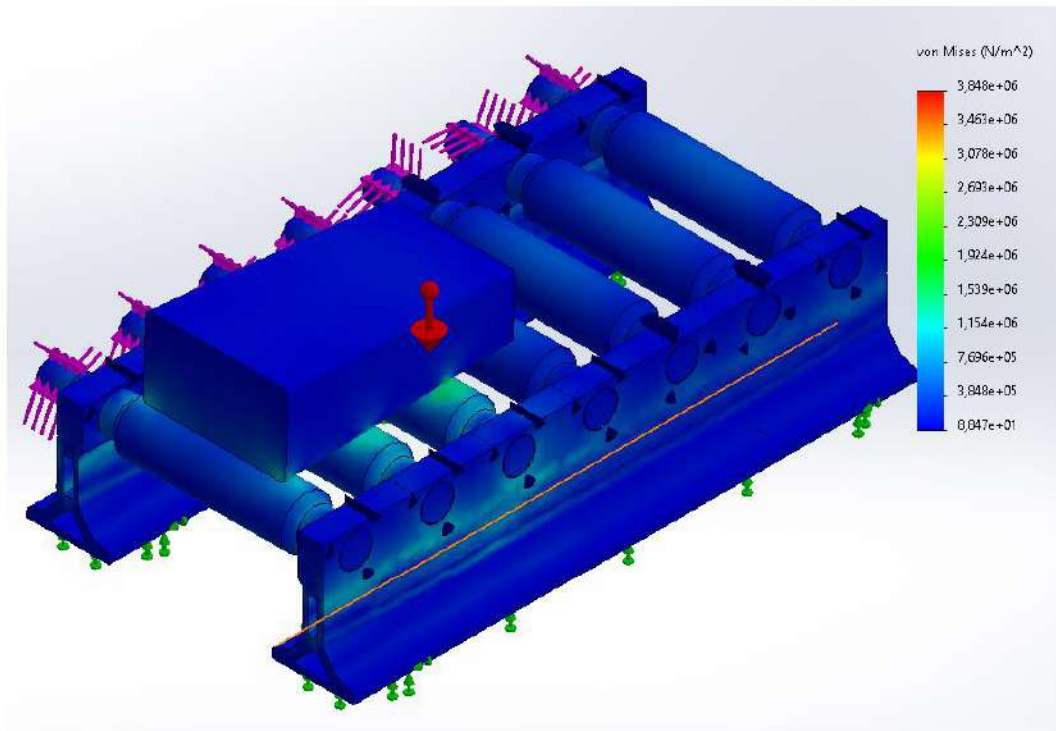


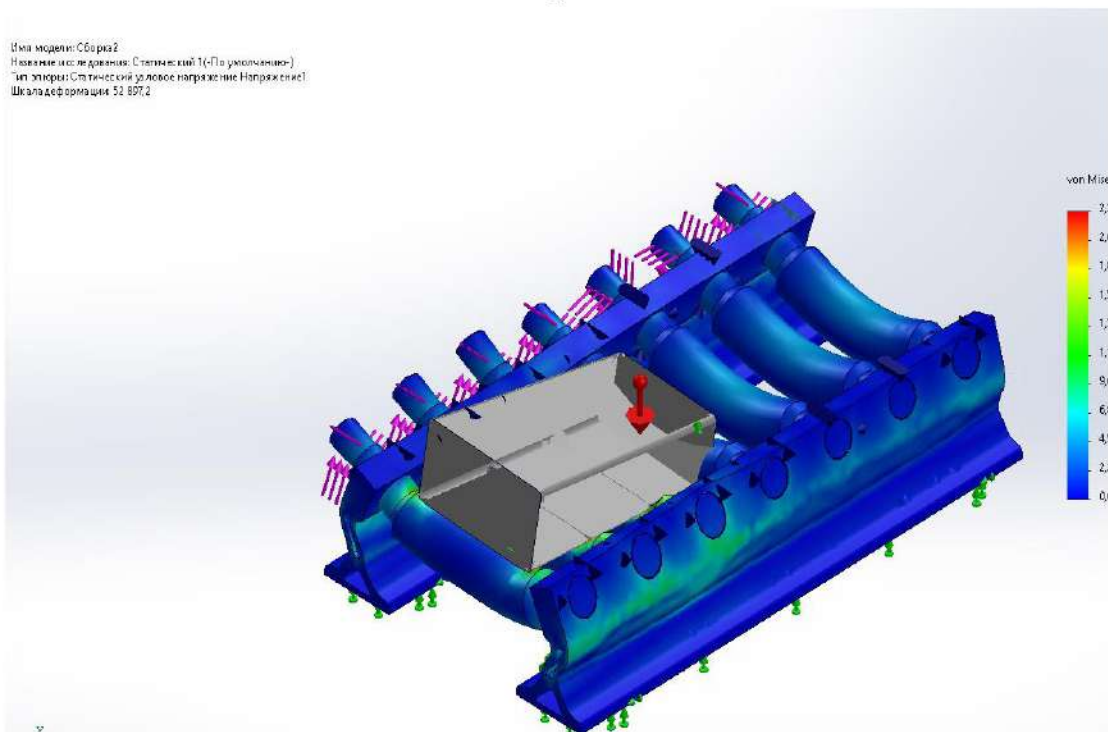
Рисунок 3.7 Об'ємна твердотільна модель сіткового поділу

В результаті статичних розрахунків отримали значення напружень, що відображені на ешорі (рис. 3.8).





а



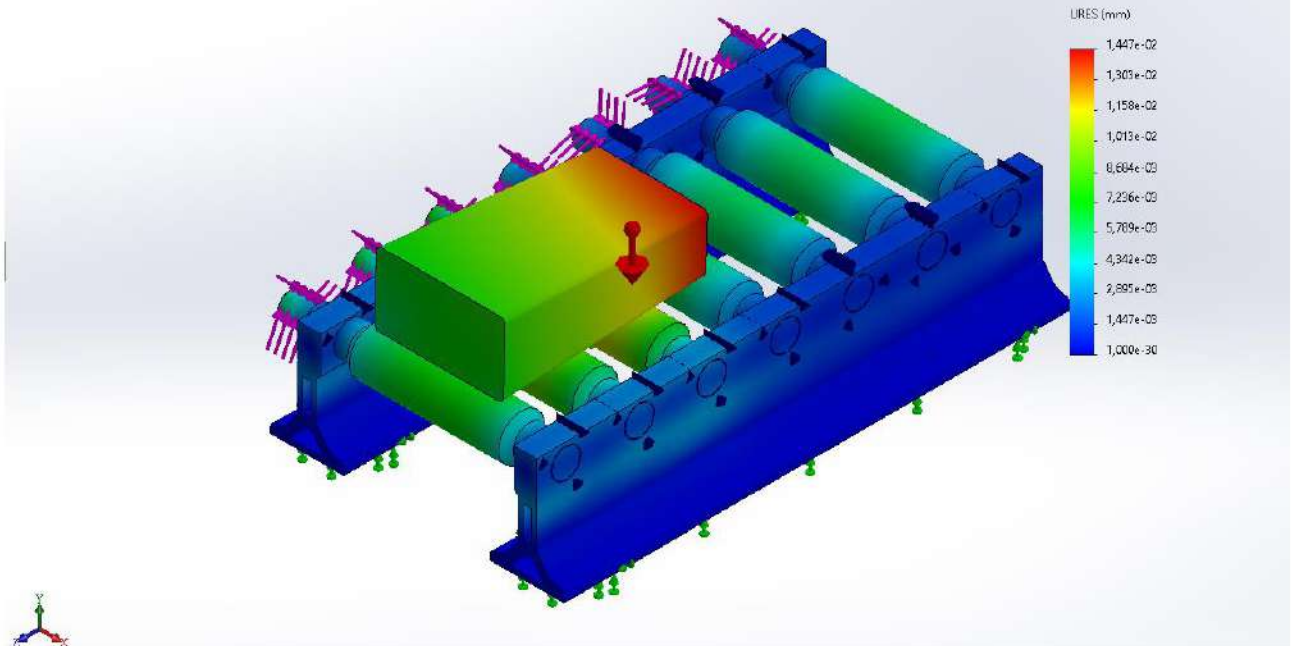
б

а – аксонометричний вид з боку;

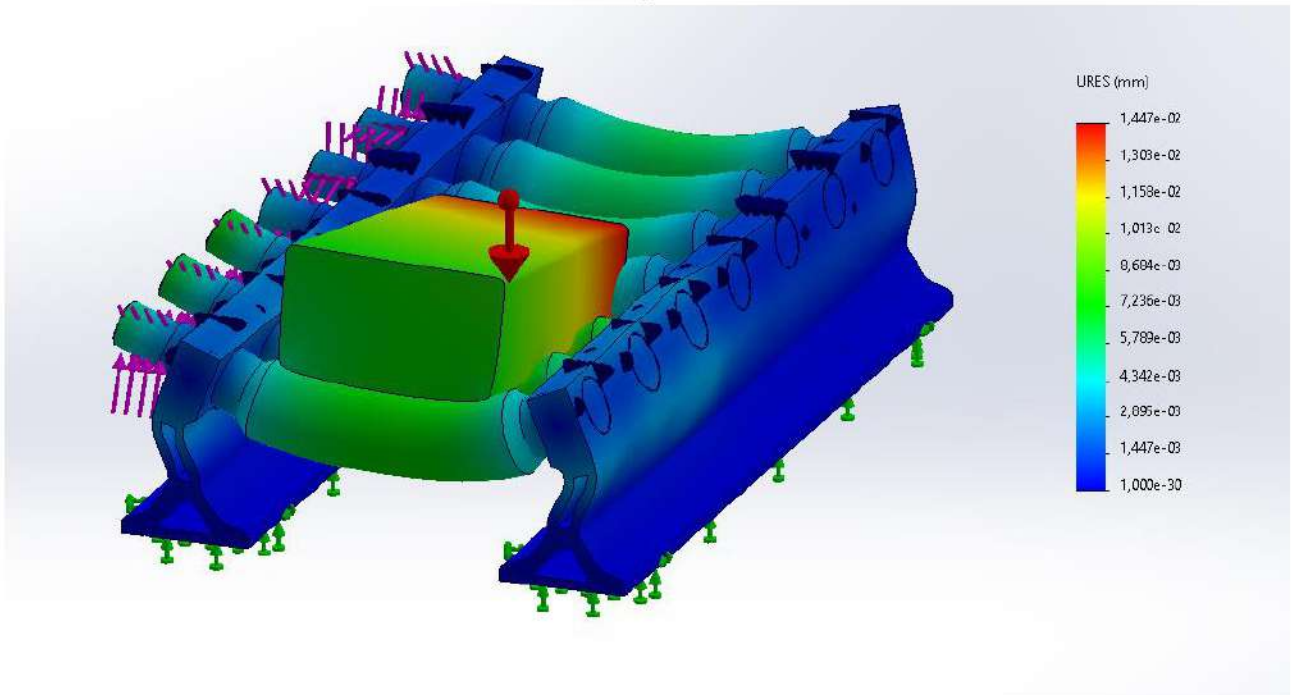
б – умовно деформована модель

Рисунок 3.8. Епюри розподілу напружень Von Mises

Имя модели: Сборка2  
 Название исследования: Статический 1 (По умолчанию)  
 Тип эскиза: Статическое перемещение: Перемещение1



а



б

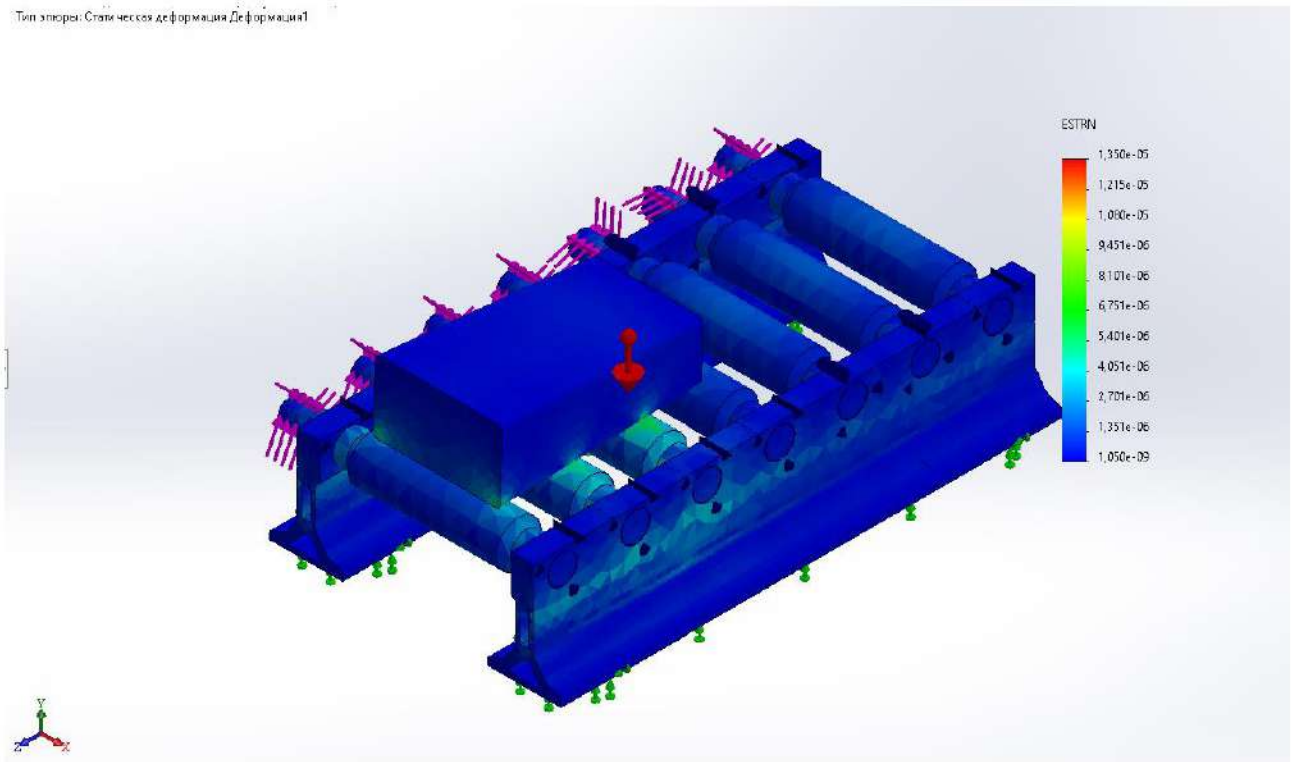
а – аксонометричний вид з боку;

б – умовно деформована модель

Рисунок 3.9 Епюри пружних переміщень

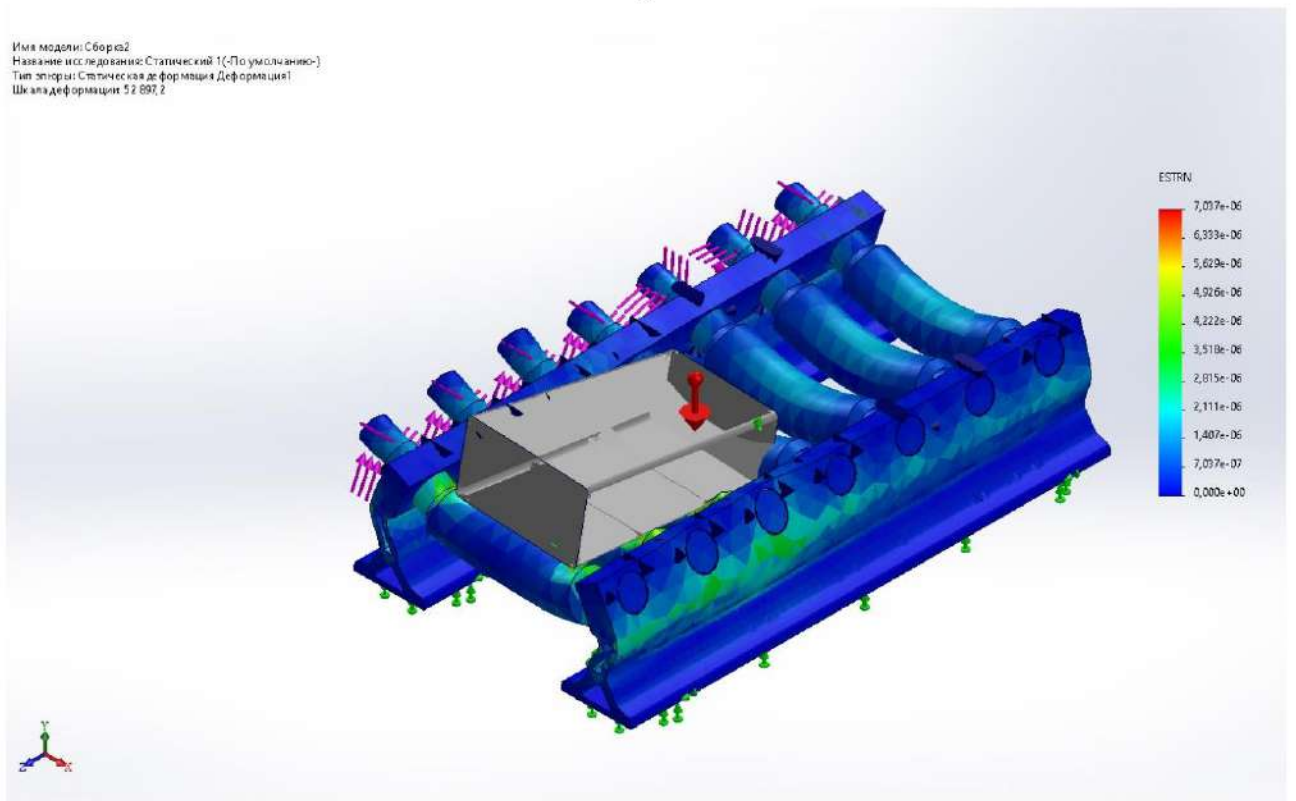
При заданих умовах максимальне переміщення складає 1,06мм, що цілком задовольняє умовам експлуатації.

Тип зпюрн: Статическа деформация Деформация1



а

Имя модели: Сборка2  
 Название исследования: Статический 1 (По умолчанию)  
 Тип зпюрн: Статическа деформация Деформация1  
 Шаг деформации: 52.8972



б

а – аксонометричний вид з боку;

б – умовно деформована модель

Рисунок 3.10 Епюри розподілу еквівалентних деформацій



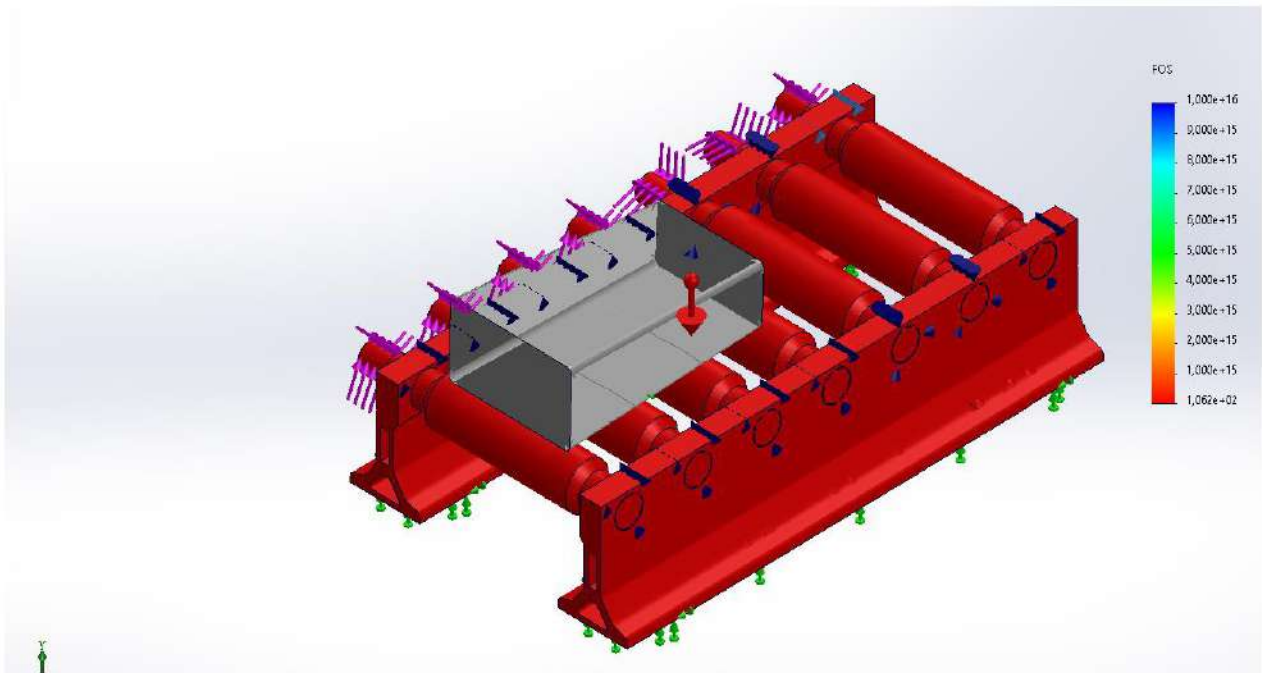
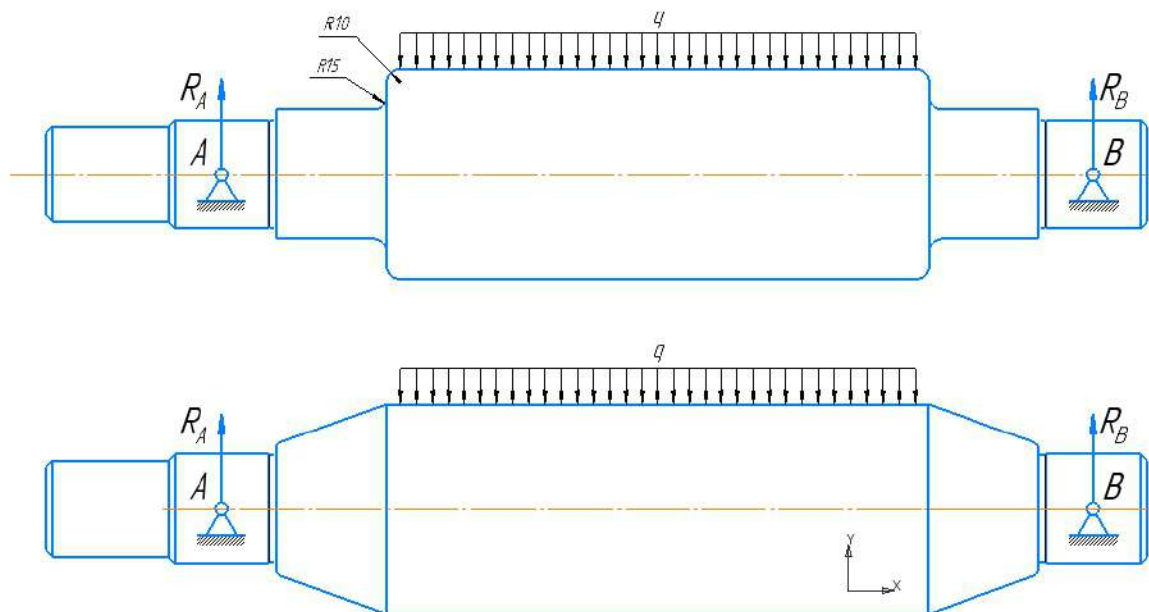


Рисунок 3.11 Епюри запасу міцності

В результаті дослідження виявлено значні концентрації напружень на перехідній ділянці від шийки до бочки ролика. Запропоновано змінити форму галтелей роликів, шляхом виготовлення перехідної ділянки конічної форми.



а- стандартна форма ролика

б – запропонована конструкція

Рисунок 3.12 Приводний ролик приймального рольганга

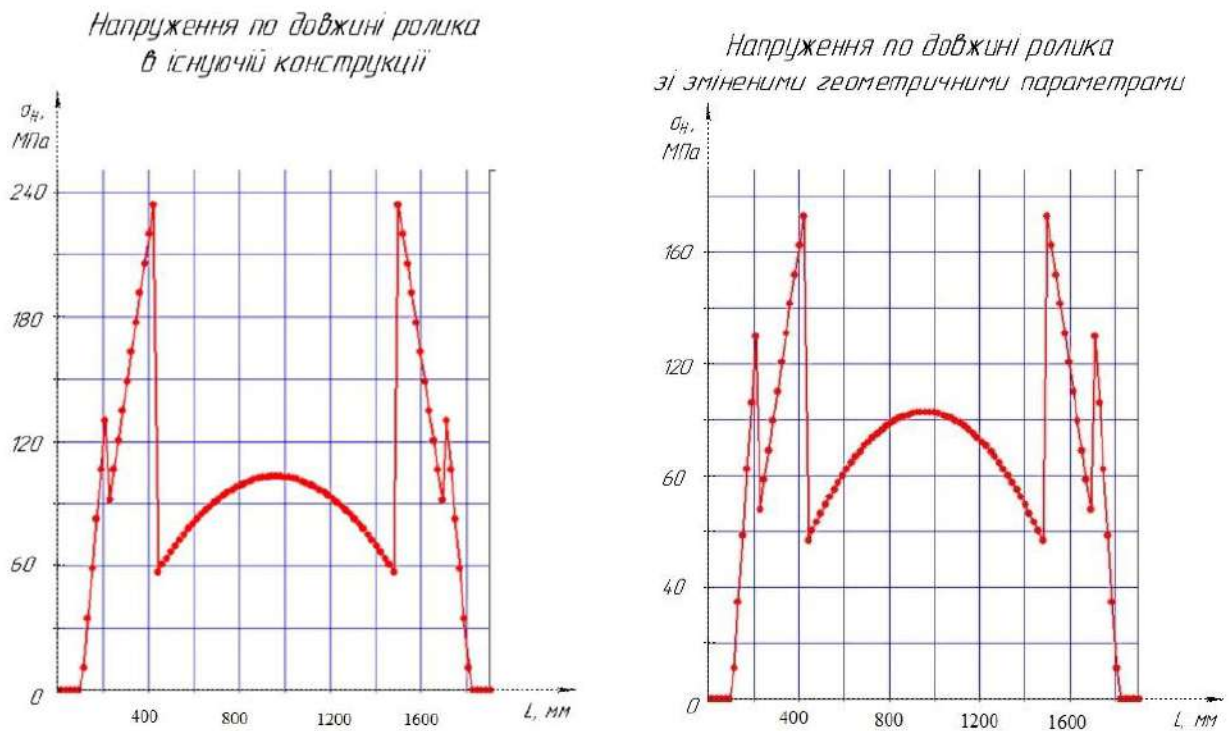


Рисунок 3.13 Розподіл відносних еквівалентних напружень вздовж ролика

Максимальні значення пікових напружень у зоні переходу бочки та шийки ролика, при застосуванні роликів нової конструкції зменшуються на 26%.

У середній частині бочки, пікове значення еквівалентного напруження практично не змінюється.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

### 4.1 Опис факторів, що впливають на умови праці робітників прокатного цеху

В прокатних цехах, де виробляється і обробляється метал, безпека та охорона праці є надзвичайно важливими аспектами. Робоче середовище в таких установках може бути повним небезпек, оскільки працівники стикаються з важкими матеріалами, рухомими механізмами та шкідливими речовинами. Тому важливо докладати всіх можливих зусиль для забезпечення безпеки, здоров'я та комфорту працівників. У цьому контексті важливо розглянути фактори, що впливають на умови праці робітників прокатних цехів.

#### 1. Ергономіка робочих місць

Важливо, щоб робочі поверхні, такі як столи або підйомники, були регульованими залежно від антропометричних параметрів працівників. Інструменти та обладнання повинні бути розміщені настільки, щоб до них було зручно дістатися без надмірного напруження. Використання підлокітників та підголовників може підтримувати правильне положення тіла та запобігти м'язевому напруженню. Важливо використовувати дизайн та матеріали, що забезпечують підтримку та комфорт протягом тривалого періоду роботи.

#### 2. Вентиляція та якість повітря

Встановлення системи вентиляції з можливістю регулювання швидкості та напрямку потоку повітря дозволить забезпечити оптимальні умови для роботи. Важливо використовувати вентиляційні системи з ефективними фільтрами для видалення шкідливих часток та газів з повітря.

#### 3. Освітлення

Встановлення достатньо яскравого та рівномірного освітлення над робочими майданчиками допомагає зменшити напругу очей та покращити концентрацію. Важливо уникати блисків, відбиттів та тіней, які можуть спричинити незручності та погіршити видимість.

#### 4. Звукове середовище

Використання матеріалів з високою поглинальною здатністю може зменшити рівень шуму та покращити акустичний комфорт. Розташування обладнання та машин так, щоб їх шум не був спрямований безпосередньо на робочі зони, також може допомогти знизити рівень шуму.

#### 5. Захист від травм

Ключовим елементом є використання захисного спорядження, наприклад, шоломи, захисні окуляри, респіратори, захисні рукавиці та взуття можуть запобігти травмам та ушкодженням у випадку нещасного випадку. Навчання працівників правилам безпеки та процедурам безпечної роботи, а також встановлення чітких правил та процедур у разі надзвичайних ситуацій, допомагає підтримувати безпечну робочу атмосферу.

У прокатних цехах, забезпечення безпеки та комфорту працівників є надзвичайно важливим завданням. Для досягнення цієї мети необхідно уважно вивчити та врахувати різноманітні фактори, що впливають на умови праці. Ергономіка робочих місць, вентиляція та якість повітря, освітлення, звукове середовище та захист від травм - всі ці аспекти грають ключову роль у забезпеченні безпеки та комфорту працівників. Ретельне планування та впровадження заходів з кожного з цих напрямків допомагають зменшити ризик травм та професійних захворювань, покращують ефективність праці та сприяють загальному благополуччю персоналу. Правильно організоване та безпечне робоче середовище позитивно впливає на продуктивність працівників та сприяє створенню позитивної робочої атмосфери.

Отже, висновок полягає в тому, що забезпечення безпеки та комфорту працівників у прокатних цехах є важливим аспектом, який вимагає уважного уваги, постійного моніторингу та впровадження відповідних заходів для забезпечення оптимальних умов праці.

#### 4.2 Розрахунок заходів захисту або освітлення робочого місця, або вентиляції

У прокатних цехах, де відбувається обробка металевої продукції, забезпечення безпеки та комфорту працівників є важливою складовою успішного виробництва. Робоче середовище в цих установках часто пов'язане з підвищеним ризиком травм та шкідливих впливів на здоров'я через роботу з важкими матеріалами та механізмами. Тому вирішальне значення має докладна увага до забезпечення безпеки та комфорту працівників у прокатних цехах.

Одним з ключових аспектів забезпечення безпеки та комфорту є належне освітлення робочих місць. Правильно розплановане та виконане освітлення може покращити умови праці, підвищити продуктивність та сприяти загальному благополуччю персоналу. У цьому контексті важливо враховувати різноманітні фактори, такі як площа робочих місць, необхідний рівень освітленості, тип та ефективність використовуваних світлових приладів. У даній роботі ми розглянемо детальніше процес розрахунку заходів освітлення робочого місця в прокатних цехах. Дослідження цього аспекту дозволить нам зрозуміти, як визначити оптимальні параметри освітлення, що забезпечать безпеку та комфорт працівників, а також допоможе виявити можливості для покращення умов праці в даній галузі.

Для ефективного проектування освітлення робочих місць у прокатних цехах необхідно враховувати ряд параметрів, які впливають на якість освітлення та комфорт працівників. Деякі з найважливіших параметрів включають:

1) Площа робочого приміщення. Розмір приміщення безпосередньо впливає на кількість та розташування світлових джерел. Більша площа вимагає більше світла для рівномірного освітлення.

2) Необхідний рівень освітленості. Цей параметр залежить від типу виконуваної роботи. Наприклад, для детальної монтажної роботи може знадобитися вищий рівень освітленості, ніж для загальних операцій.



3) Тип та розташування робочих станцій. Різні типи робочих станцій можуть вимагати різного типу та розміщення світлових приладів для оптимального освітлення.

4) Кольорова температура світла. Вибір кольорової температури світла впливає на сприйняття кольору та концентрацію працівників. Наприклад, холодне світло може підвищити бодрість та увагу, тоді як тепле світло може забезпечити більш затишну атмосферу.

5) Коефіцієнт відбиття поверхні. Враховуючи кольори та матеріали стін, підлоги та стелі, можна підібрати оптимальний тип світлових джерел для забезпечення максимальної візуальної зручності.

6) Додаткові умови роботи. Деякі специфічні умови роботи, такі як наявність обладнання з великим відблиском, можуть вимагати застосування спеціальних світлових приладів або додаткових заходів з регулювання освітлення.

Враховуючи ці параметри при проектуванні освітлення, можна забезпечити оптимальні умови праці для працівників прокатних цехів, що сприятиме підвищенню продуктивності та зниженню ризику травм. Для проведення розрахунку проектування освітлення робочого місця в прокатному цеху візьмемо наступні вхідні дані.

- 1 Площа робочого приміщення: 100 м<sup>2</sup>
- 2 Необхідний рівень освітленості: 500 люкс
- 3 Тип робочих станцій: Робочі станції для обробки металу з розташуванням на відкритій площі.
- 4 Кольорова температура світла: 5000К (холодне світло).
- 5 Коефіцієнт відбиття поверхні: 0,7 (для стін і стелі).
- 6 Додаткові умови роботи: Наявність великих металевих машин, які можуть створювати відблиски.

Проведемо розрахунок кількості світлових приладів, які необхідно встановити для забезпечення потрібного рівня освітленості у прокатному цеху з вищенаведеними вхідними даними.

Згідно зі стандартами безпеки та здоров'я праці, найнижчий рекомендований рівень освітленості для промислових приміщень з важкими умовами праці - 300 люкс, але для забезпечення кращих умов може застосовуватися рівень до 500 люкс. Оскільки в нашому випадку потрібно забезпечити рівень освітленості 500 люкс, використаємо його.

Для розрахунку кількості світлових приладів можемо скористатися формулою

$$N = \frac{E \cdot S}{F \cdot k} \quad (4.1)$$

де

N - кількість світлових приладів;

E - рівень освітленості, люкс;

S - площа робочого приміщення, м<sup>2</sup>;

F - світловий потік одного світлового джерела, лм;

k - коефіцієнт використання світлового потоку.

За вхідними даними у нас:

E=500 люкс;

S=100 м<sup>2</sup>;

F та k будемо припускати рівними 4000 лм та 0,7 відповідно.

Підставимо ці значення у формулу:

$$N = \frac{500 \text{ люкс} \cdot 100 \text{ м}^2}{4000 \text{ лм} \cdot 0,7}$$

$$N = 17,86.$$

Отже, потрібно встановити приблизно 18 світлових приладів для забезпечення необхідного рівня освітленості у прокатному цеху.

Розташування світлових приладів в прокатному цеху має велике значення для забезпечення рівномірного та достатнього освітлення на всій площі приміщення. Оптимальне розташування світильників допоможе уникнути тіней, забезпечить комфортні умови праці та знизить втомлюваність працівників. Один із підходів до розрахунку розташування світлових приладів - це рівномірне розподілення їх по всій площі приміщення на однаковій відстані один від одного.

У нас є квадратне приміщення площею  $100 \text{ м}^2$ , і ми маємо 18 світлових приладів, то можемо розташувати їх у формі ряду або сітки, розрахувавши відстань між ними так, щоб забезпечити рівномірне освітлення. У нашому випадку, якщо ми вирішимо розташувати світлові прилади у формі сітки  $3 \times 6$  (тобто 3 світильники в ряду і 6 рядів), ми отримаємо рівномірне розподілення приладів по всій площі приміщення. Іншим варіантом може бути розташування світлових приладів біля робочих зон чи обладнання, що потребує додаткового освітлення, а також уздовж коридорів та прохідних зон для забезпечення безпеки руху працівників.

Наступним кроком буде розрахунок енергоефективності. За для цього можна використати формулу

$$P = \frac{N \cdot P_{\text{приладу}}}{S} \cdot 100\% \quad (4.2)$$

де:

$P$  - загальна потужність системи освітлення, ватт (W);

$N$  - кількість світлових приладів;

$P_{\text{приладу}}$  - потужність одного світлового приладу, ватт (W);

$S$  - площа робочого приміщення,  $\text{м}^2$ .

За вхідними даними в нашому випадку:

Кількість світлових приладів  $N=18$ ;

Потужність одного світлового приладу  $P_{\text{приладу}}=40 \text{ Вт}$ ;

Площа робочого приміщення  $S=100 \text{ м}^2$ .

Підставимо ці значення у формулу:

$$P = \frac{18 \cdot 40}{100} \cdot 100\%$$

$$P = 720 \text{ Вт.}$$

Отже, загальна потужність системи освітлення складає 720 Вт. Тепер необхідно порівняти це значення з різними варіантами світлових приладів та вибрати найбільш енергоефективний варіант, що відповідає нашим вимогам до освітлення. У нашому розрахунку потужність системи освітлення складає 720 Вт для 18 світлових приладів потужністю 40 Вт кожен.



Для порівняння можемо розглянути два можливих варіанти:

- 1) Зберігання поточної системи: Залишити 18 світлових приладів потужністю 40 Вт кожен.
- 2) Заміна на більш енергоефективні прилади: Замінити поточні світлові прилади на більш енергоефективні, наприклад, LED-лампи з меншою потужністю.

Припустимо, що LED-лампи мають потужність 25 Вт кожна. Розрахуємо потужність обох варіантів:

Поточна система:  $18 \text{ приладів} \cdot 40 \text{ Вт/прилад} = 720 \text{ Вт}$

LED-лампи:  $18 \text{ приладів} \cdot 25 \text{ Вт/прилад} = 450 \text{ Вт}$

Отже, заміна поточних приладів на LED-лампи дозволить знизити загальну потужність системи освітлення з 720 Вт до 450 Вт, що представляє значний енергетичний збереження. Таким чином, обрання LED-ламп виявиться найбільш енергоефективним варіантом.

Далі розрахуємо необхідне технічне обслуговування для освітлення робочого місця в прокатному цеху.

- 1) Періодичність обслуговування: проведемо технічне обслуговування один раз на місяць.
- 2) Час, необхідний на обслуговування: припустимо, що на обслуговування кожного світлового приладу потрібно 30 хвилин.
- 3) Витрати ресурсів: запасні лампи та інші матеріали коштують 3800грн на місяць.
- 4) Вартість праці: припустимо, що вартість праці технічного персоналу становить 720грн за годину.
- 5) Планування бюджету: Розрахуємо загальні витрати на місяць:

— Витрати на матеріали: 3800 грн;

— Витрати на працю: =11400грн;

— Загальна вартість: 15200грн на місяць.

Отже, для забезпечення ефективності технічного обслуговування освітлювальної системи прокатного цеху потрібно виділити бюджет у розмірі

\$400 на місяць. У результаті аналізу умов праці в прокатному цеху та проведення необхідних розрахунків було зроблено наступні висновки:

- Робоче місце в прокатному цеху потребує належного освітлення, вентиляції та інших факторів безпеки та комфорту для працівників.
- Забезпечення необхідного рівня освітленості (500 люкс) потребує встановлення приблизно 18 світлових приладів потужністю 40 Вт кожен.
- Для забезпечення безперебійної роботи освітлювальної системи потрібно виділити бюджет у розмірі 11400грн на місяць для проведення технічного обслуговування.
- Заміна поточних ламп на LED-лампи може допомогти знизити загальну потужність системи освітлення з 720 Вт до 450 Вт, забезпечуючи ефективне використання електроенергії та зменшення витрат.

Отже, для забезпечення безпечних та комфортних умов праці в прокатному цеху рекомендується встановлення належного освітлення, регулярне технічне обслуговування та впровадження енергоефективних технологій для зменшення витрат електроенергії.

## ВИСНОВКИ

У магістерській роботі наведено огляд і аналіз рольгангів прокатних станів. В якості об'єкту дослідження прийнято приймальний рольганг обтискного прокатного стану. Наведено розрахунки найбільш навантажених вузлів і деталей привода рольганга. Розраховані навантаження що діють на елементи конструкції рольганга.

Досліджено надійність приймального рольганга обтискного прокатного стану. Визначено показники надійності рольганга. З'ясовано, що найбільші напруження виникають в зону переходу від шийки до бочки роликів рольганга. Запропоновано змінити форму галтелей роликів, шляхом виготовлення перехідної ділянки конічної форми.

На основі отриманих результатів також будуть розроблені рекомендації щодо підвищення надійності та ефективності приймального рольганга. Рекомендовано провести ретельну перевірку наявності вібрацій та збоїв в роботі механізмів приймального рольганга. Для цього можна використовувати спеціальні прилади та датчики, що дозволять своєчасно виявити можливі проблеми та уникнути їх наслідків.

Таким чином, результати дослідження надійності приймального рольганга обтискного прокатного стану свідчать про необхідність регулярного технічного обслуговування та контролю за станом механізмів та деталей, які мають найбільше навантаження. Це дозволить забезпечити безперебійну та ефективну роботу приймального рольганга, що в свою чергу позитивно позначиться на якості виробленої продукції та загальній продуктивності виробництва.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Грекуляк О.В., Таратута К.В. Дослідження надійності приймального рольганга обтискального прокатного стану // Збірник наукових праць студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених «Молода наука-2023»: у 5 т. / Запорізький національний університет. – Запоріжжя : ЗНУ, 2023. – Т.5. — 358 с.
2. Транспортний рольганг прокатного стану : Барабаш А.В., Слецький В.І., Брехов Є. В., Уткін О.В Пат. 85030 Україна : В21В 39/00. № u201305150 ; заявл. 22.04.2013 ; опубл. 11.11.2013, Бюл. № 21/2013. 4 с.
3. Розкотний рольганг прокатного стану : Чижик В.В., Тершуков В.В., Слецький В.І., Бердніков О.К. Пат. 147948 Україна : В21В 39/00. № u202100120 ; заявл. 13.01.2021 ; опубл. 24.06.2021, Бюл. № 26/2021. 6 с.
4. Білодіденко С.В., Баглай А.В., Гречаний О.М. Пошук функцій розподілу довговічностей для параметричних моделей. *Modern methods, innovations, and experience of practical application in the field of technical sciences : international research and practice conference Radom, Republic of Poland* : Book of Abstracts. Radom Academy of Economics, 2017. P. 102–106.
5. Таратута К. В., Шанько О. Ю. Вибір та обґрунтування номенклатури показників теоретичної надійності металургійного обладнання. Збірник наукових праць "Металургія". 2015. № 2(34). С. 109-113. URL: [https://old-zdia.znu.edu.ua/gazeta/EnglishMetallurgy\\_34\\_22.pdf](https://old-zdia.znu.edu.ua/gazeta/EnglishMetallurgy_34_22.pdf).
6. Планування періодичності контролю технічних систем на підставі моделей діагностичних параметрів у вигляді випадкового процесу / С. В.Білодіденко, В. І. Гануш, О. М. Гречаний, М. С. Ібрагімов. // Вісник сертифікації залізничного транспорту. – 2018. – №4. – С. 21–26
7. New Approaches for Reliability Assessment of Mechanical Systems and Parts / Fischer, K., Asmolovkiy, N., Custer R., Schubert M., Keil D., Braun B. and Faber M.H. – Submitted to ECSSMET, 2016. – 15 p. // [Electronic resource]. — Mode of access: <https://www.researchgate.net/publication/308898708>.



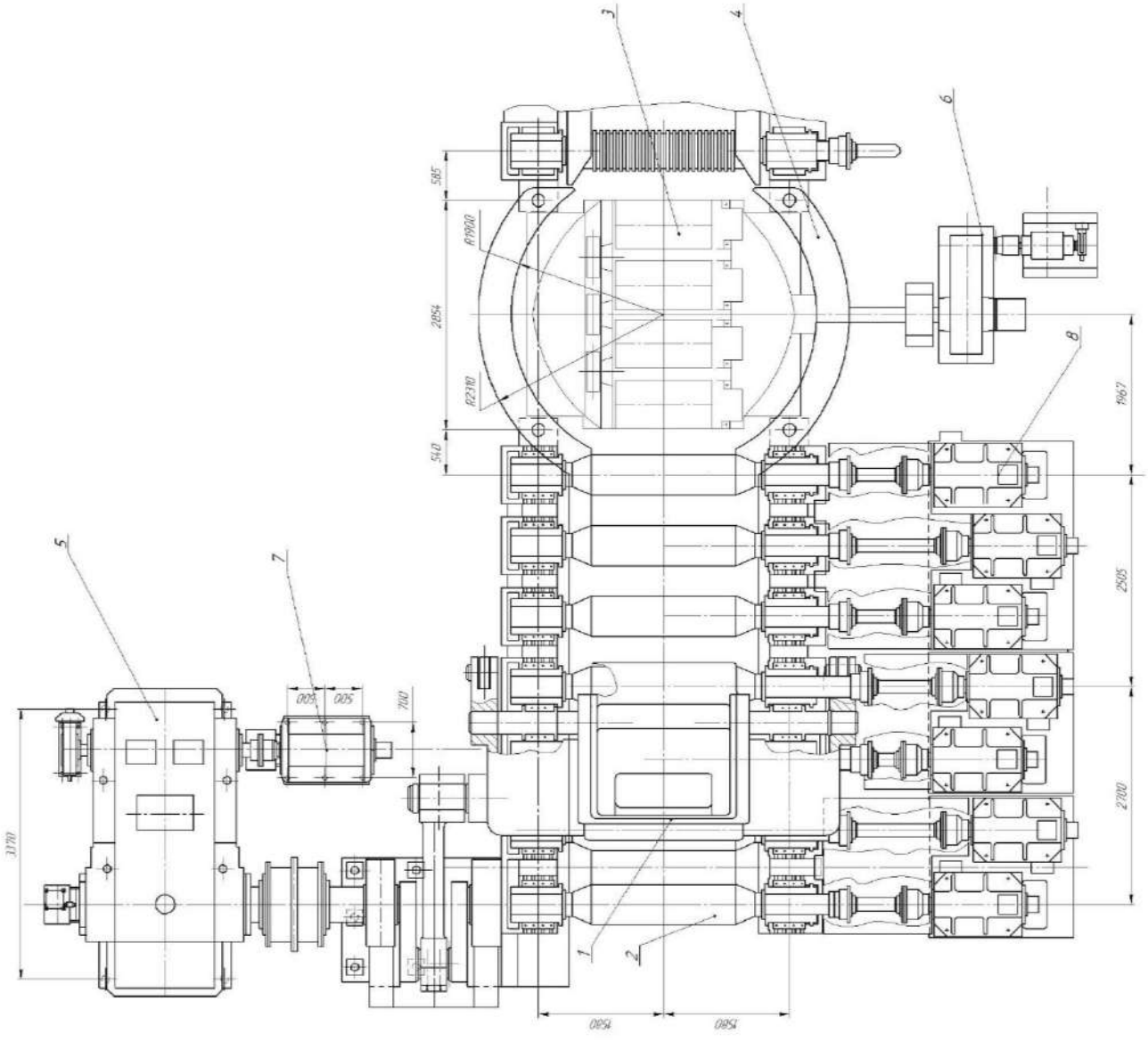
8. Белодеденко С.В., Ибрагимов М.С. Вопросы периодичности контролей технического состояния механических систем в металлургии. – Днепр: ЛизуновПресс, 2017. – 80 с
9. Седуш В.Я. Надійність, ремонт і монтаж металургійних машин : Підручник. – 4-е вид., перероб. і доп. – Донецьк: ТОВ «Юго – Восток, Лтд», 2008. – 379 с.
10. Кравченко В. М., Сидоров В. А., Седуш В.Я. Технічне діагностування механічного обладнання: Підручник. - : ТОВ «Юго – Восток, Лтд», 2007. – 447 с.
11. Жук А.Я., Желябіна Н.К., Таратута К.В., Коваль М.В. Напрями творчого проектування та його техніко – економічне обґрунтування. Книга 1. Навчальний посібник. К.: Кондор-Видавництво, 2012р.- 574с. ISBN 978-966-2781-12-0 Гриф МОНУ (№1-11-7284 від 04.08.2011р.)».
12. Жук А.Я., Бойко О.В., Таратута К.В., Коваль М.В. Напрями творчого проектування та його техніко – економічне обґрунтування. Книга 2. Навчальний посібник. К.: Кондор-Видавництво, 2012р.-542с. ISBN 978-966-2781-13-7 Гриф МОНУ (№1-11-7284 від 04.08.2011р.)».
13. Монтаж металургійного обладнання: Навчальний посібник./ Жук А.Я., Желябіна Н.К., Малишев Г.П., Таратута К.В.- К.: Видавничий дім: «Кондор», 2018р.- 330с. ISBN 978-617-7582-44-0. Режим доступу URL: [http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2019/Zhuk\\_2018\\_330.pdf](http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2019/Zhuk_2018_330.pdf)
14. Білодіденко С. В., Біліченко Г. М., Гануш В. І. Періодичність діагностування механічних систем : навч. посіб. Дніпро : НМетАУ, 2017. 89 с.
15. Технічне обслуговування металургійного обладнання: Навчальний посібник./ Жук А.Я., Желябіна Н.К., Малишев Г.П., Таратута К.В.- К.: Видавничий дім: «Кондор», 2017р.- 288с. ISBN 978-617-7582-07-5.
16. Ремонт металургійного обладнання: Навчальний посібник./ Жук А.Я., Желябіна Н.К., Малишев Г.П., Таратута К.В.- К.: Видавничий дім: «Кондор», 2017р.- 236с. ISBN 978-617-7582-08-2. Режим доступу URL: [http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2019/Zhuk\\_2017\\_236.pdf](http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2019/Zhuk_2017_236.pdf)

17. Заблонский К.І. Деталі машин: Підручник. – Одеса: Астропринт, 1999. – 404с.
18. Кирилюк Ю.Є. Допуски та посадки. Довідник. К.: Вища школа, 1999. - 135с.
19. Гребінник В.М., Іванченко Ф.К. , Ширяєв В.І. Розрахунок металургійних машин та механізмів. К.: Вища школа, 1988. - 383 с.
20. Технологія конструкційних матеріалів: навч. посіб. / П. І Літовченко, Л. П. Іванова. – Х. : НА НГУ, 2016. – 306 с.
21. Інтегровані технології обробки матеріалів: підручник / Е.С. Геворкян, Л.А. Тимофеева, В.П. Нерубацький та ін. – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – 238 с.
22. Тарасенко О. Ю. Стратегічний розвиток металургійної галузі України на основі підвищення інноваційного потенціалу. Менеджер. 2014. №2(68). С. 114–118.
23. Кушакова Н. О. Металургійний комплекс України : загальна характеристика та сучасний стан розвитку. Науковий вісник Ужгородського національного університету. 2019. Вип. 23. Частина 1. С. 162–166.
24. ДБН В.1.1.7-2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги ; затверджено та наказом Мінрегіоном України від 31.10.2016 р №237 та введений в дію з 01.06.2017 р. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017. 35с.
25. Геврик Є.О. Охорона праці: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. К.: Ельга, Ніка-Центр, 2003. 280 с.

## СПИСОК ГРАФІЧНОГО МАТЕРІАЛУ

№ п/п	Найменування	Кільк. листів	Формат
1	Креслення загального виду	1	A1
2	Складальні креслення	2	A1
3	Деталювання	1	A1
4	Плакати дослідницької частини	1	A1

ИИИ МР 22119.000 3В



Техническая характеристика

- 1 Подачи воздуха м³/мин
- 11 Высота всасывания мм
- 11.1 Высота всасывания при 100% оборотах мин
- 12 Диаметр всасывающего патрубка мм
- 22.1 Диаметр всасывающего патрубка мм
- 22.2 Диаметр всасывающего патрубка мм
- 23 Высота всасывания мм
- 2 Рабочее давление мм рт.ст.
- 2.1 Диаметр всасывающего патрубка мм
- 2.2 Диаметр всасывающего патрубка мм
- 2.3 Диаметр всасывающего патрубка мм

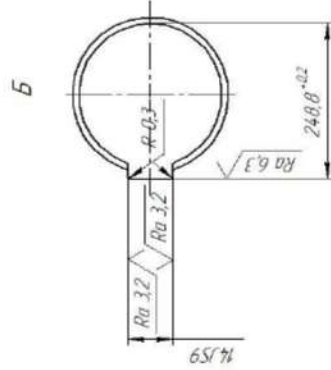
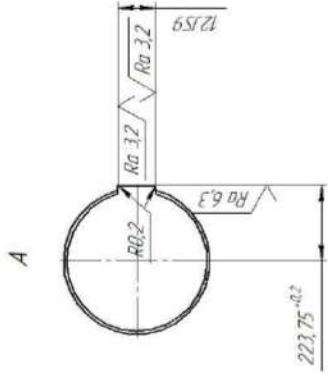
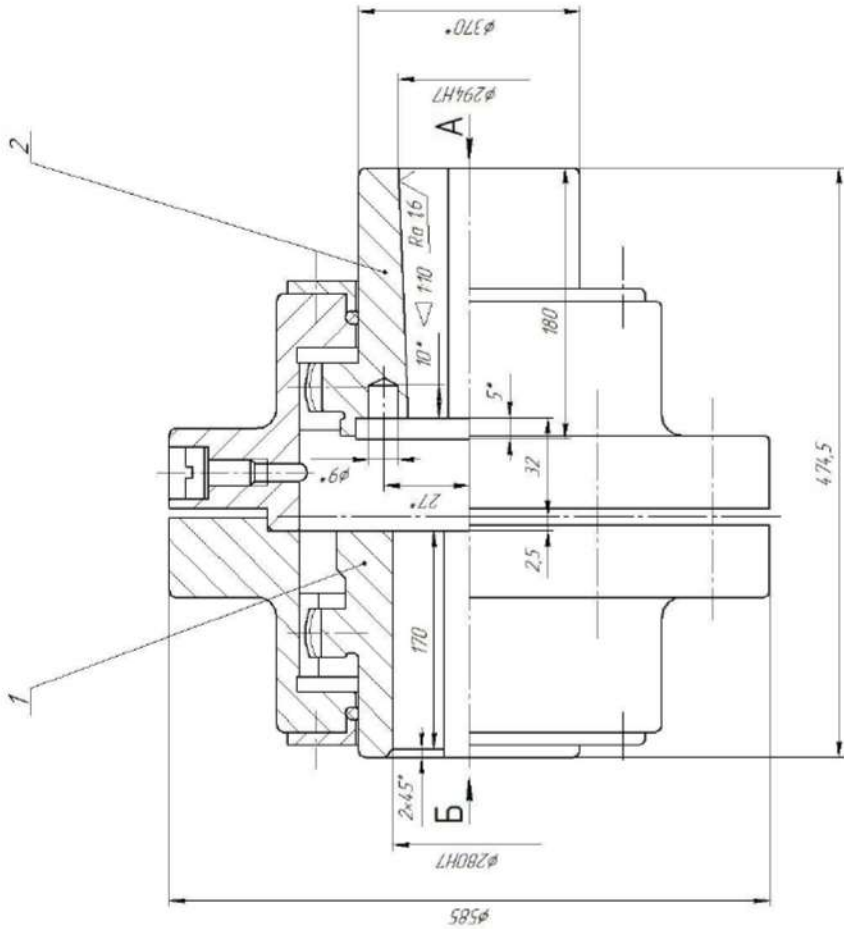
640.780	—
560.780	—
960.9570	—
960.9600	—
2000.1580	—
500	—
960	—
900.000	—

ИИИ МР 22119.000 3В	
Исполнитель	Рязанский завод
Составляющая	заводская
Спецификация	ИИИ МР 22119.000 3В
Лист	1 из 1





ІННІ МР.22119.200 СК

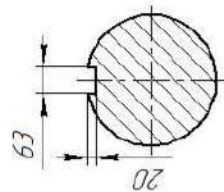
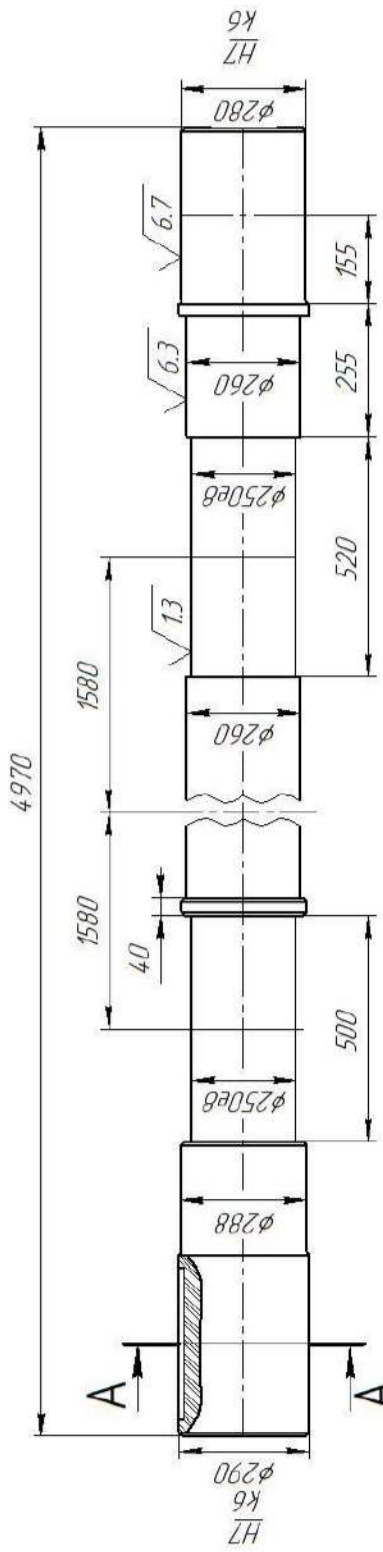


- 1. Невказані граничні відхилення розмірів: Н14, ± 1/2.
- 2. \*Розміри діаметрич. вст. інші для довідки.

ІННІ МР.22119.200 СК			
Лист	Кількість	Маса	
		14.0	1.5
№ документа	Назва	Матеріал	Термін
І.контр.	І.контр.	І.контр.	І.контр.
І.контр.	І.контр.	І.контр.	І.контр.
І.контр.	І.контр.	І.контр.	І.контр.
І.контр.	І.контр.	І.контр.	І.контр.
І.контр.	І.контр.	І.контр.	І.контр.

ІННІ МР.22119.210

$\sqrt{Ra\ 12.5}$



- 1 НВ 190..225
- 2 Неказані радіуси скруглення R16
- 3 Неказані граничні відхилення розмірів: отборів Н14, балів h14, ІТ14
- ІНШІ ± 2

ІННІ МР.22119.210		Лист	Маса	Масштаб
Вал проміжний		4	400	1:5
Ім'я	Лист	№ докум.	Лист	Листов
Розроб.	Г.Семіляк О.В.	Лист	МОН	7
Проб.	Г.Семіляк О.В.	Лист	ЗНИ, кафедра МО	гр. 8.1332 дн.
Г.хонтр.	Г.Семіляк О.В.	Лист	Формат	A3
Н.хонтр.	Г.Семіляк О.В.	Лист	Копіювати	
Утв.	В.Ласов А.О.	Лист		

МФА № подл.	Лист в дан.	Взам. инв. №	Инд. № дудл.	Лист в дан.
Лист № подл.	Лист в дан.	Взам. инв. №	Инд. № дудл.	Лист в дан.
Лист № подл.	Лист в дан.	Взам. инв. №	Инд. № дудл.	Лист в дан.
Лист № подл.	Лист в дан.	Взам. инв. №	Инд. № дудл.	Лист в дан.

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	Перв. примен.		
				<u>Документація</u>					
				<u>Загальний вид</u>					
				<u>Складальні одиниці</u>					
Справ. №		1		Приймальний стіл	1				
		2		Ролики приймального рольганга	7				
		3		Ролики стола	4				
		4		Обертювий стіл	1				
				<u>Стандартні вироби</u>					
		5		Редуктор ЦЗ-1120	1				
		6		Редуктор	1				
		7		Електродвигун	1				
		8		Електродвигун ДВ16	7				
Падп. и дата									
Взам. инв. №									
Инв. № подл.									
<b>ІННІ МР.22119.000</b>									
Разр. лист	№ док.м.	Подп.	Дата	<b>Рольганг приймальний з кантувачем</b>			Лист	Лист	Листов
Проб.	Таратута К.В.								
Н.контр.	Гречаний О.М.						МОНУ ЗНУ, кафедра МО гр. 8.1332 дн		
Утв.	Власов А.О.						Формат А4		

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
<i>Документация</i>						
<i>Складальне креслення</i>						
<i>Детали</i>						
<i>1</i>						
<i>Ролик</i>						
<i>1</i>						
<i>2</i>						
<i>Обойма</i>						
<i>2</i>						
<i>3</i>						
<i>Втулка</i>						
<i>1</i>						
<i>4</i>						
<i>Шпилька</i>						
<i>2</i>						
<i>5</i>						
<i>Кришка прохідна</i>						
<i>3</i>						
<i>6</i>						
<i>Кільце розпірне</i>						
<i>1</i>						
<i>7</i>						
<i>Кришка глуха</i>						
<i>1</i>						
<i>8</i>						
<i>Прокладка 150×155×0,5</i>						
<i>10</i>						
<i>Картон А ГОСТ 9347-60</i>						
<i>Стандартные изделия</i>						
<i>10</i>						
<i>Болт М12 х25.36 ГОСТ 7798-70</i>						
<i>2</i>						
<i>11</i>						
<i>Болт М12 х40.36 ГОСТ 7798-70</i>						
<i>16</i>						
<i>12</i>						
<i>Болт М6 х16.36 ГОСТ 7798-70</i>						
<i>18</i>						
<i>13</i>						
<i>Гайка М16.4 ГОСТ 5915-70</i>						
<i>12</i>						
<i>14</i>						
<i>Шайба 12 ГОСТ 6402-70</i>						
<i>16</i>						
<i>Шпанка І-20 х 12 х 125 ГОСТ 23360-78</i>						
<i>1</i>						
<b>ІННІ МР.22119.100</b>						
<i>Изм. Лист</i>						
<i>№ док. Подп. Дата</i>						
<i>Разраб. Грекулук О.В.</i>						
<i>Проб. Таратута К.В.</i>						
<i>Н.контр. Гречаний О.М.</i>						
<i>Утв. Власов А.О.</i>						
<b>Ролик</b>						
<b>3 опорами</b>						
<i>Лит. Лист Листов</i>						
<i>1 2</i>						
<i>МОНУ</i>						
<i>ЗНУ, кафедра МО</i>						
<i>гр. 8.1332 дн</i>						
<i>Формат А4</i>						





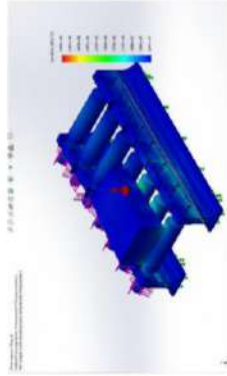
Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
<i>Документація</i>						
A2				<i>Складальне креслення</i>		
<i>Складальні одиниці</i>						
		1		<i>Напівмуфта зубчаста вхідного валу</i>	1	
		2		<i>Напівмуфта зубчаста вихідного валу</i>	1	
<b>ІННІ МР.22119.300</b>						
Изм. Лист		№ док.им.		Подп.	Дата	
Разроб.		Грекул'як О.В.				
Проб.		Таратута К.В.				
Н.контр.		Гречаний О.М.				
Утв.		Власов А.О.				
<b>Муфта зубчаста</b>				Лист.	Лист	Листов
						1
МОНУ ЗНУ, кафедра МО гр. 8.1332 дн Формат А4						

# Дослідження надійності приймального рольганга

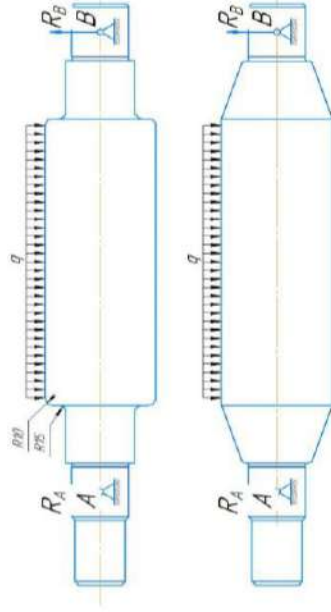
Об'ємна твердотільна модель рольганга



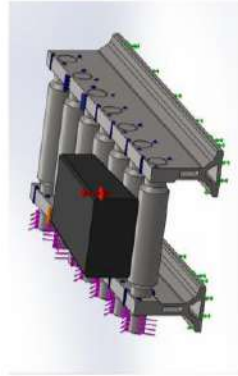
Епюри розподілу напружень



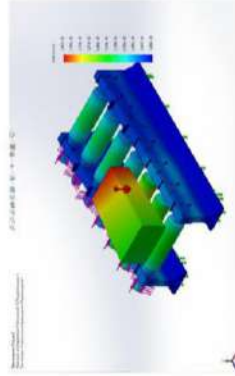
Дослідження напружень у роликках існуючої конструкції та у запропонованій конструкції



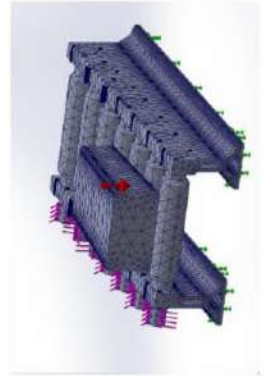
Навантаження, що діють на модель рольганга



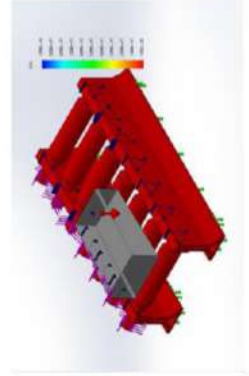
Епюри пружних переміщень



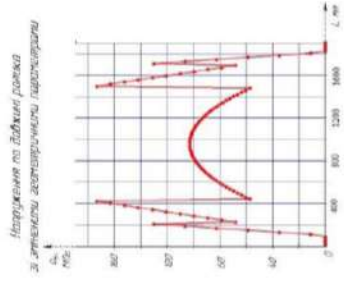
Сітковий поділ моделі рольганга



Епюри запасу міцності



Напруження по довжині роликки з існуючої конструкції



Напруження по довжині роликки в запропонованій конструкції

