Міністерство освіти і 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 БАКАЛАВРА

На тему Удосконалення вузлів регулювання зазору барабанних летючих ножиців в умовах прокатного цеху ПАТ «Запоріжсталь»

Виконав: студент групи 6.1332-с

Баглай М. С.
(ПІБ) (підпис)

спеціальності

133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма
Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

Керівник Власов А.О.
(прізвище та ініціали) (підпис)

Н.контроль Васильченко Т.О.
(прізвище та ініціали) (підпис)

Запоріжжя – 2025 року

Запорізький національний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

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

Кафедра металургійного обладнання

Рівень вищої освіти бакалавр
(перший (бакалаврський) рівень)

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

Спеціалізація
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедрою А.О. Власов

_____

“____”_____20___ року

Завдання
до випускної кваліфікаційної роботи бакалавра

Баглая Максима Сергійовича
(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема бакалаврської роботи: Удосконалення вузлів регулювання зазору барабанних летючих ножиців в умовах прокатного цеху ПАТ «Запоріжсталь»
   керівник бакалаврської роботи завідувач кафедри Власов А.О.
   затверджені наказом вищого навчального закладу від “27“ грудня 2024 року № 2031-с.
2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи 9 червня 2025 року.
3. Вихідні дані кваліфікаційної роботи техніко-економічні показники роботи прокатного цеху
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Загальна частина; 2. Спеціальна частина; 3. Експлуатаційна частина; 4. Охорона праці та техногенна безпека. Загальні висновки та рекомендації
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень): 1. Загальний вигляд ножиць – 2А1; 2. Головний привод – 2А1; 3. Диференційний редуктор – 3А1; 4. Станина з супортом– 1А1.5. Мережений графік кап.ремонту летючих ножиць – 1А1.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Власов А.О., к.т.н., доцент		
2	Власов А.О., к.т.н., доцент		
3	Власов А.О., к.т.н., доцент		
4	Власов А.О., к.т.н., доцент		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційої роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітки
1	Збір матеріалу на проєктування	13.05.2025 – 20.05.2025	
2	Групування та аналіз зібраного матеріалу. Уточнення завдань проєктування	21.05.2025 – 27.05.2025	
3	Виконання теоретичної частини проєкту	26.05.2025 – 29.05.2025	
4	Виконання графічної частини проєкту	30.05.2025 – 05.06.2025	
5	Написання та оформлення пояснювальної записки	06.06.2025 – 10.06.2025	
6	Перевірка проєкту консультантами	11.06.2025 – 13.06.2025	
7	Попередній захист проєкту	14.06.2025	
8	Переплітання пояснювальної записки	Згідно з графіком	
9	Захист проекту у ДЕК	Згідно з графіком	

Студент _____ Баглай М. С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Власов А.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Баглай М. С. Удосконалення вузлів регулювання зазору барабанних летючих ножиць в умовах прокатного цеху ПАТ «Запоріжсталь».

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти бакалавр за спеціальність 133 – Галузеве машинобудування, керівник А. О. Власов. Запорізький національний університет, Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні, кафедра металургійного обладнання, 2025.

У бакалаврському проєкті розглянуто питання підвищення точності та ефективності роботи барабанних летючих ножиць у прокатному цеху ПАТ «Запоріжсталь». Проаналізовано існуючі недоліки системи регулювання зазору між ножами, зокрема застарілу конструкцію ручного налаштування, що призводить до зниження якості різання, підвищеного зносу ножів та простоїв лінії. Запропоновано технічне рішення щодо модернізації вузла регулювання зазору шляхом впровадження автоматизованої системи на основі сервоелектроприводу, ШВП (кулькового гвинта), датчиків зворотного зв'язку та цифрової індикації. Проведено техніко-економічне обґрунтування, яке підтверджує доцільність впровадження модернізованої конструкції.

Ключові слова: ЛЕТЮЧІ НОЖИЦІ, ЗАЗОР МІЖ НОЖАМИ, АВТОМАТИЗОВАНЕ РЕГУЛЮВАННЯ, СЕРВОЕЛЕКТРОПРИВІД, ПРОКАТНЕ ВИРОБНИЦТВО, МОДЕРНІЗАЦІЯ.

ABSTRACT

Baglay M. S. Improvement of the Clearance Adjustment Units of Drum Flying Shears in the Rolling Shop of Zaporizhstal PJSC

Qualifying thesis for obtaining a bachelor's degree in higher education, specialty 133 - Industrial engineering, adviser A.O.Vlasov. Zaporizhzhia National University, Engineering Educational and Scientific Institute them. Yu.M. Potebni, Department of Metallurgical Equipment, 2025.

This bachelor's project addresses the issue of improving the accuracy and efficiency of rotary flying shear operation in the rolling shop of PJSC "Zaporizhstal".

The existing deficiencies in the knife clearance adjustment system are analyzed, particularly the outdated manual adjustment mechanism, which results in poor cutting quality, increased blade wear, and frequent downtimes.

A technical solution is proposed to modernize the clearance adjustment unit by implementing an automated system based on a servo drive, ball screw mechanism (BSM), feedback sensors, and digital display. A technical and economic feasibility study confirms the viability and benefits of the proposed design.

Keywords: FLYING SHEARS, KNIFE CLEARANCE, AUTOMATED ADJUSTMENT, SERVO DRIVE, ROLLING PRODUCTION, MODERNIZATION.

ЗМІСТ

ВСТУП 7
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА 8
1.1 КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДПРИЄМСТВА 8
1.2 ВАНТАЖОПОТОКИ ЦЕХУ ГАРЯЧОЇ ПРОКАТКИ ТОНКОГО ЛИСТА, ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ТА КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНОГО ОБЛАДНАННЯ 9
1.3 «ВУЗЬКІ» МІСЦЯ ДІЮЧОГО ЦЕХУ Й ЗАХОДУ ЩОДО ЇХНЬОГО УСУНЕННЯ 14
2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА 16
2.1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ЛЕТЮЧИХ НОЖИЦЬ 16
2.2 КОНСТРУКЦІЯ ТА ПРИНЦИП РОБОТИ ЗАДАНИХ ЛЕТЮЧИХ НОЖИЦЬ 21
2.3 ПРОПОЗИЦІЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ ВУЗЛА РЕГУЛЮВАННЯ ЗАЗОРУ НОЖІВ БАРАБАННИХ ЛЕТЮЧИХ НОЖИЦЬ В УМОВАХ ПАТ «ЗАПОРІЖСТАЛЬ» 24
2.4. РОЗРАХУНОК НАЙБІЛЬШ НАВАНТАЖЕНИХ ВУЗЛІВ І ДЕТАЛЕЙ ЛЕТЮЧИХ НОЖИЦЬ 26
2.4.1. ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГОСИЛОВИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ ТА ПОТУЖНОСТІ ДВИГУНА 30
2.4.2 РОЗРАХУНОК БАРАБАНА НА МІЦНІСТЬ 34
3. ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ЧАСТИНА 44
3.2 СИСТЕМИ ЗМАЩЕННЯ МЕТАЛУРГІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ 46
3.3 ОРГАНІЗАЦІЙНА СТРУКТУРА УПРАВЛІННЯ РЕМОНТНИМ ГОСПОДАРСТВОМ ПІДПРИЄМСТВА ТА ВИРОБНИЧОГО ПІДРОЗДІЛУ 48
3.4 РОЗРОБКА РІЧНОГО ГРАФІКА ПЛАНОВО-ПОПЕРЕДЖУВАЛЬНИХ РЕМОНТІВ ОБЛАДНАННЯ 52
3.5 СКЛАДАННЯ МЕРЕЖЕВОГО ГРАФІКУ ПРОВЕДЕННЯ РЕМОНТУ ТА МОДЕРНІЗАЦІЇ ЛЕТЮЧИХ НОЖИЦЬ 53
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА 58
4.1 ВИЯВЛЕННЯ ТА ОЦІНКА ШКІДЛИВИХ ТА НЕБЕЗПЕЧНИХ ЧИННИКІВ 58
4.2 ЗАХОДИ З ПОЛІПШЕННЯ УМОВ ПРАЦІ 60
4.3 ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ ПО ГІГІЄНІ ПРАЦІ І ВИРОБНИЧІЙ САНІТАРІЇ 61

4.3.1 МІКРОКЛІМАТ 61
4.3.2 СИСТЕМА ВЕНТИЛЯЦІЇ ТА МІКРОКЛІМАТИЧНІ УМОВИ В УМОВАХ ПРОКАТНОГО ВИРОБНИЦТВА 63
4.3.3 ВИРОБНИЧИЙ ШУМ І ВІБРАЦІЯ 65
4.4 ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА 66
4.4.1. ЗАСОБИ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ 66
4.4.2. ЗАХОДИ, СПРЯМОВАНІ НА ЛІКВІДАЦІЮ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ .68
4.5 Інженерний розрахунок природної вентиляції приміщення цеху 69
ВИСНОВКИ 74
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ 75
ДОДАТКИ 78

ВСТУП

Підвищення ефективності виробництва у металургійній промисловості тісно пов'язане з надійністю, точністю та продуктивністю технологічного обладнання. Одним із важливих елементів, що забезпечують безперервність та якість прокатного процесу, є барабанні летючі ножиці, які виконують операції поперечного різання металу на задані довжини в потоці.

У сучасних умовах експлуатації прокатних цехів, зокрема на підприємстві ПАТ «Запоріжсталь», особлива увага приділяється підтриманню оптимального зазору між ножами летючих ножиць. Від точності регулювання цього зазору залежить не тільки якість різу, а й термін служби ножів, енерговитрати на різання, а також зниження ймовірності виникнення аварійних ситуацій. Проте в реальних умовах виникають труднощі, пов'язані з зношенням вузлів, впливом вібрацій, температури та механічних навантажень, що ускладнює точне регулювання зазору.

Актуальність теми роботи полягає в необхідності удосконалення конструкції вузлів регулювання зазору, що дозволить підвищити стабільність роботи барабанних ножиць, зменшити час на технічне обслуговування та втрати металу через брак. Удосконалення таких вузлів сприятиме загальному покращенню ефективності виробничого процесу в прокатному цеху.

Метою даної роботи є аналіз існуючих конструкцій вузлів регулювання зазору барабанних летючих ножиць, виявлення їх недоліків та розробка конструктивних рішень щодо їх удосконалення для умов роботи на ПАТ «Запоріжсталь».

У процесі дослідження виконано аналіз технологічних вимог до вузлів регулювання, розглянуто особливості роботи ножиць у реальних умовах цеху, запропоновано вдосконалене конструктивне рішення, проведено необхідні розрахунки та обґрунтовано доцільність впровадження.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Коротка характеристика підприємства

ПАТ «Запоріжсталь» — одне з провідних металургійних підприємств України й Європи, розташоване в місті Запоріжжя. Засноване 16 листопада 1933 року, комбінат швидко здобув статус одного з найпотужніших у країні: вже в 1939 році на ньому функціонувало понад п'ять доменних печей, декілька мартенівських плавильних агрегатів та перший у Європі стан безперервного гарячого прокату тонколистової продукції [1].

Підприємство є повноцінним металургійним комплексом, що охоплює весь виробничий цикл – від агломерації до випуску готової полотнини. Щорічно комбінат виробляє близько 4,5 млн тонн сталі, 3,3 млн тонн чавуну й понад 4 млн тонн готової металопродукції, включаючи як гарячекатаний, так і холоднокатаний прокат [2]/

З точки зору технологій, «Запоріжсталь» поєднує традиційні та сучасні підходи: на підприємстві досі зберігаються мартенівські печі й технологія доменного плавлення, але також активно застосовуються кислородно-конверторні агрегати, газоочищення та автоматизовані лінії виробництва .

Комбінат входить до групи Metinvest — одного з найбільших гірничо-металургійних холдингів, що володіє «Запоріжсталлю» з 2013 року/ Продукція підприємства постачається до понад 50 країн, серед яких Україна, країни ЄС, США, країни Близького Сходу й інші [2].

Серед ключових продуктів: гарячекатані рулони і листи, холоднокатані листи, сталева стрічка, чорна жерсть, товарний чавун та сляби. Основними споживачами виступають виробники зварних труб, галузі машинобудування, автомобілебудівна, сільськогосподарська промисловість, виробники побутової техніки й металосервісні центри.

Важливо, що підприємство зберігає його екологічну та соціальну відповідальність: протягом останніх років запроваджено модернізацію систем газоочистки аглофабрики, а також підтримуються проєкти з відновлення зелених зон регіону й співпраці з громадою [1].

У 2025 році підприємство виділило близько 75 млн грн на капітальний ремонт парогазових котлів, турбін і генераторів власної ТЕС, запровадивши поетапне оновлення без зупинки виробництва .

За останні роки проведено капітальні ремонти домен № 2,№ 3 і № 4 з встановленням сучасних аспіраційних систем та рукавних фільтрів, загальні інвестиції склали понад 2,4 млрд грн [1]. У 2024 році виконано капремонти на доменних печах, аглофабриці та лінії холодного прокату на суму 938 млн грн, а на 2025 рік плануються вкладення в 1,1 млрд грн.

Має місце масштабна екомодернізація: з 2012 по 2024 рр. загальні інвестиції сягнули понад 16–15 млрд грн. Реалізовані проєкти:

- установка рукавних фільтрів на шість агломашин з уведенням аспірації хвостових частин, що збільшило потік очищення на 50 %;
- реконструкція систем аглофабрики для зниження викидів пилу та сірчистих газів: до 20 мг/м³ по пилу і <400 мг/м³ SO_2.

У 2024–2025 рр. було виконано капремонти і модернізацію:

- холодної прокатки: модернізована лінія травлення, системи регенерації кислотного розчину, оновлені роликові стани, електродвигуни, гідроприводи, автоматика ;

гарячої прокатки – модернізація станів НТЛС-1680 і ПС-1150 із заміною роликів, моторів, мастильних систем і підвищенням надійності.

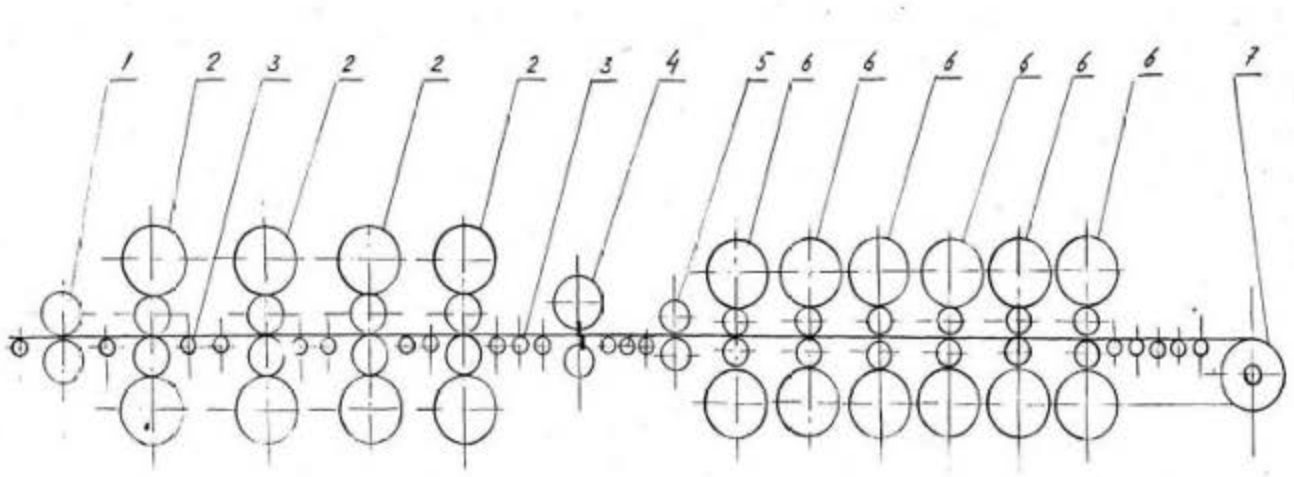
Запроваджено систему частотного регулювання електроприводів для рольгангів, трансформаторів та вентиляторів, здійснено підвищення рівня автоматизації управління технологічними лініями .

1.2 Вантажопотоки цеху гарячої прокатки тонкого листа, технологія виробництва та коротка характеристика основного обладнання

Обтискний цех і цех гарячої прокатки тонколистового металу розташовані поруч і з'єднані між собою конвеєром для транспортування гарячих слябів. Таке

компонування дозволяє використовувати метод прямої прокатки, коли сляби не потребують повторного підігріву перед подачею в прокатний стан.

На безперервному стані гарячої прокатки усі 10 клітей розташовані послідовно в одному ряду. Метал рухається по лінії безперервним потоком. Сляби з обтискного цеху з температурою приблизно 1150 °С подаються на пічний рольганг, а звідти транспортуються до клітей чорнової групи. Кінематична схема стану наведена на рис. 1.1.



1 – чорнова кліть дуо,2 – чорнові кліті кварто, 3 – рольганг, 4 – летючі ножиці, 5 – чистова кліть дуо, 6 – чистові кліті кварто, 7 – барабанна моталка

Рисунок 1.1 – Кінематична схема безперервного тонколистового стану гарячої прокатки 1680

У чорновій групі одночасна обробка металу відбувається лише в одній кліті, а в чистовій групі процес проходить у шести клітях одночасно. Перше обтиснення проводиться в окалиноламателі з горизонтальними валками. Максимальний обтисок у цій кліті становить від 5% до 20%, але не перевищує 35 мм. Після окалиноломача встановлена розширювальна кліть, у якій сляб обтискається по ширині. Надалі обтиснення здійснюється в інших клітях чорнової групи. Оскільки кліті універсальні, то метал одночасно проходить через горизонтальні й вертикальні валки.

Обтиснення у вертикальних валках не перевищує 25 мм і призначене для корекції ширини розкату. У результаті деформації біля кромок утворюються напливи, які в подальшому обтисненні в горизонтальних валках розтягуються або переходять у розширення. Таке обтиснення також покращує якість крайок і поверхні металу.

Для запобігання вкатуванню окалини в поверхню металу передбачено гідрозбив окалини. Струмені води високого тиску (не менше 12–15 МПа) спрямовуються на поверхню смуги під кутом проти напрямку її руху.

Перед подачею до чистової групи крайки слябів обрізаються за допомогою летючих ножиць через наявність нерівностей та зниженої температури. Після цього смуга проходить через чистовий окаліноламатель, де знімається вторинна окалина за допомогою незначного обтиснення верхнім валком.

Штаба поступово проходить через кліті №5–10 чистової групи. Оскільки прокатка в цій частині здійснюється одночасно у всіх клітях, для забезпечення рівномірного процесу прокатки необхідно дотримуватись рівності секундного обсягу прокатки:

Між клітями встановлені петледержателі, які стабілізують натяг смуги. Після 10-ї кліті смуга охолоджується водою з обох сторін на відвідному рольгангу до температури приблизно 650 °C, що дозволяє уникнути дефектів при змотуванні. Потім вона змотується у рулони і транспортується до стелажів або на подальше охолодження в ЦХП-1.

Для забезпечення стабільного профілю виробу обов'язково проводиться перевалка робочих і опорних валків. Спочатку прокочуються широкі смуги, а згодом – вужчі. Робочі валки мають опуклий профіль, який компенсує знос опорних валків.

Стан оснащено сучасними системами контролю, які забезпечують дотримання вимог до геометрії та якості прокату згідно з технічними стандартами.

Технічна характеристика основного механічного обладнанняцеху наведена в табл.1.1.

Таблиця 1.1 – Перелік і технічна характеристика основного механічного обладнання цеху

№ з/п	Вид обладнання	Тип / марка	Кількість, шт	Місце встановлення / призначення	Продуктивність або вантажопідйомність	Загальна потужність приводів, кВт	Габаритні розміри, м	Маса, т
Підйомно-транспортне обладнання								
1	Мостовий кран	—	30	Загальноцехове використання	5/30 т	—	1 = 32	72
2	Мостовий кран	—	3	Прокатне, термічне, дресувальне відділення	80 т	—	1 = 32	84
3	Трансферкар	—	10	Внутрицехове транспортування	120 т/год	16	2,5×6	8
Транспортувальне обладнання								
4	Конвеєр для гарячекатаних рулонів	КГР	2	Травильне відділення	250 т/год	275	3×600	600
5	Конвеєр з крокуючою балкою	—	1	Прокатне, термічне відділення	200 т/год	110	3×200	220
Травильне відділення								
6	Неперервна травильна лінія	НТА-1, НТА-2	2	Травильне відділення	300 т/см	5500	8×60	1200
7	Неперервна травильна лінія	НТА-3	1	Травильне відділення	450 т/см	2300	10×72	1370

№ з/п	Вид обладнання	Тип / марка	Кількість, шт	Місце встановлення / призначення	Продуктивність або вантажопідйомність	Загальна потужність приводів, кВт	Габаритні розміри, м	Маса, т
Прокатне обладнання								
8	Безперервний прокатний стан 1680	Тандем	1	Прокатне відділення	150 т/год	2945	l = 24	1560
9	Реверсивний стан 1680	—	1	Прокатне відділення	30 т/год	4500	l = 12	400
10	Реверсивний стан 1200	—	1	Прокатне відділення	45 т/год	7000	l = 15	624
Термічне обладнання								
11	Колпакові газові печі	—	195	Термічне відділення	40 т / 72 год	15	H = 6, d = 4	40
Дресувальне обладнання								
12	Дресувальний стан 1700-1	—	1	Дресувальне відділення	66,5 т/год	6250	l = 10	840
13	Дресувальний стан 1700-2	—	1	Дресувальне відділення	65 т/год	6300	l = 10	885
Різальне обладнання								
14	Агрегат поперечного різання	АПР-1–3	3	Дресувальне відділення	40 т/год	2000	l = 47	380
15	Агрегат поздовжнього різання	АПР-4	1	Дресувальне відділення	—	—	—	—

1.3 «Вузькі» місця діючого цеху й заходу щодо їхнього усунення

На сьогоднішній день значна частина технологічного оснащення цеху функціонує на межі свого ресурсу, що негативно позначається на якості готової продукції та стабільності виробничого процесу.

Зокрема, стан гарячої прокатки НШПС-1680, введений в експлуатацію ще у травні 1938 року, з моменту запуску не зазнавав суттєвих модернізацій. Базові компоненти робочих клітей та ключові агрегати досі не були замінені чи капітально відремонтовані. Така експлуатація обладнання протягом десятиліть без глибокого технічного оновлення призвела до значного фізичного зносу, що ускладнює забезпечення стабільної геометричної якості прокату.

Моталки, встановлені у 1987 році, також залишаються без оновлення критичних деталей. Незважаючи на свій вік, вони продовжують змотувати рулони, призначені для експорту. Водночас саме ці рулони повинні відповідати жорстким міжнародним стандартам за геометрією, щільністю змотування та температурною стабільністю, чого неможливо досягти без надійного технічного забезпечення та точного функціонування всіх механізмів моталок.

Особливо гострою є проблема з ножицями, що входять до складу технологічної лінії. Виявлено низку критичних недоліків, які суттєво впливають на ефективність процесу різання прокату:

1. Застаріла конструкція ножиць — наявна модель не забезпечує високої якості різання листової штаби товщиною понад 6 мм, що призводить до утворення браку і втрати продукції.
2. Відсутність можливості оперативного регулювання швидкості різання — конструкція не дозволяє адаптувати режим різання залежно від температурного профілю штаби, що важливо для збереження механічних властивостей матеріалу по всій довжині.
3. Значне фізичне зношення елементів ножиць — вузли та деталі механізму мають високий ступінь втомного та абразивного зносу, що погіршує точність різання та знижує надійність обладнання в цілому.

Для подолання виявлених технічних проблем та продовження терміну служби обладнання, необхідно реалізувати комплекс ремонтно-діагностичних заходів:

- Визначення гранично допустимих параметрів зносу для кожного вузла та елемента ножиць, із чіткою градацією їх впливу на якість різання. Заміні мають підлягати ті частини, знос яких виходить за встановлені межі.
- Запровадження сучасних засобів технічної діагностики — системи моніторингу та оцінки технічного стану в реальному часі дозволять виявляти приховані дефекти на ранніх етапах та приймати рішення про своєчасну заміну або ремонт.

Додатково варто підкреслити, що існуюча конструкція летючих ножиць має суттєві технологічні обмеження. До основних недоліків відносяться:

- Складність виготовлення і технічного обслуговування, що спричиняє подорожчання ремонту та технічного супроводу обладнання;
- Висока частка браку через нестабільність якості різання, особливо при зміні товщини та температури штаби;
- Обмежений робочий діапазон товщин прокату, що знижує гнучкість технологічного процесу і стримує модернізацію виробництва.

У контексті постійно зростаючих вимог до якості продукції на внутрішньому та зовнішньому ринках, продовження експлуатації морально і технічно застарілого обладнання без суттєвих змін є критичним фактором, що обмежує конкурентоспроможність підприємства.

2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Огляд та аналіз існуючих конструкцій летючих ножиць

Однією з найпоширеніших конструкцій летючих ножиць є барабанні ножиці, які приваблюють своєю простотою і технологічною надійністю. Однак саме ця простота приховує суттєвий недолік, особливо помітний під час обробки товстої штаби. У барабанних ножицях ножі здійснюють рух по круговій траєкторії. У момент контакту зі штабою леза наближаються під певним кутом, що призводить до значних динамічних навантажень та утворення похилої площини різання.

Найбільше ускладнення виникає при спробі застосувати принцип гільйотинного різання, коли один з ножів встановлюється під нахилом для зменшення зусиль під час розрізу. У випадку барабанної конструкції така установка є технічно складною через кругову траєкторію ножів, що не дозволяє підтримувати необхідний кут входу леза та паралельність між ножами.

З метою досягнення якісного вертикального різу, особливо при обробці штаби великої товщини, необхідно забезпечити переміщення ножів по прямолінійній або наближеній до неї траєкторії, яка дозволяє лезам зближуватися паралельно одне до одного. У такій конфігурації лінія різання залишається майже вертикальною, а кут між ножами та напрямом руху штаби — близьким до 90°. Це забезпечує не тільки чистоту різу, але й зниження ударних навантажень на конструкцію.

Цим вимогам найбільшою мірою відповідають летючі ножиці важільно-кривошипного типу. У таких ножицях леза рухаються по складній еліпсоподібній траєкторії, яка на ділянці контакту з прокатом практично збігається з напрямом його руху. У зоні різання траєкторія ножів наближається до прямолінійної — ножі рухаються поступально, із вертикальним зближенням, що дозволяє реалізувати гільйотинну схему різання навіть під час руху штаби.

Таким чином, важільно-кривошипна конструкція забезпечує кращу якість розрізу, знижує динамічні навантаження, дозволяє працювати з товстими штабами та відкриває можливість застосування похилих ножів без втрати стабільності й точності.

На рисунку 2.1 зображено конструктивну схему ріжучого механізму важільно-кривошипних летючих ножиць, які забезпечують точне й чисте різання штаби під час її безперервного руху

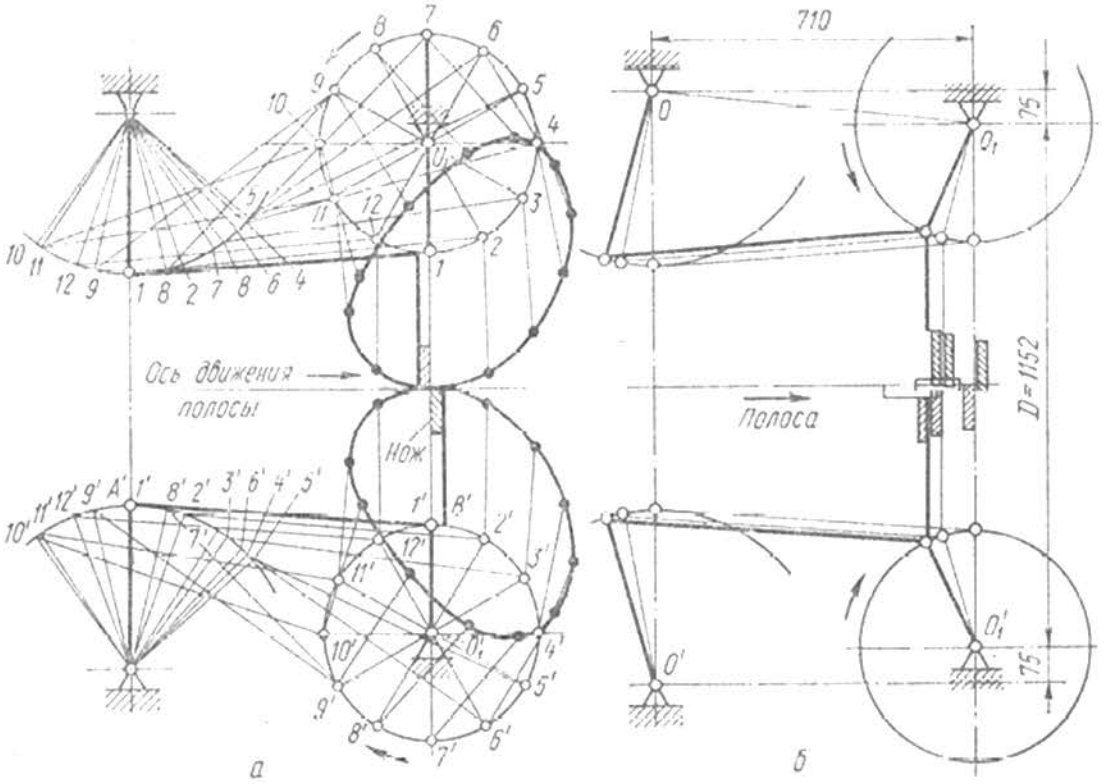


Рисунок 2.1 - Кривошипно-важельні летючі ножиці

Основу конструкції складають два жорстких багатоплечих важелі (АВС та А'УЗ'), які жорстко з'єднані з ножовими супортами. Їх опорні точки (А і А') шарнірно зв'язані з підвісними важелями (сережками) АТ та А'О', які забезпечують свободу гойдання в горизонтальній площині. Протилежні кінці цих жорстких важелів — точки В і В' — з'єднані з кривошипними парами $ВО_х$ та $УО_u$, центри яких обертаються навколо фіксованих осей $О_х$ і $О_u$ відповідно.

При обертанні кривошипів точки В і В' описують колові траєкторії, що змушує важелі АВС та А'УЗ' разом із сережками коливатися попеременно вправо та вліво. Така кінематика забезпечує складний рух ножів, які проходять по похилій, витягнутій еліпсоподібній траєкторії.

Найважливішою ділянкою руху є зона контакту з штабою. Тут траєкторія лез стає майже горизонтальною, що дозволяє ножам рухатися поступально-паралельно і зберігати постійну відстань один до одного. Такий режим руху забезпечує:

- вертикальність площини різання;
- зниження зусиль на леза;
- можливість встановлення верхнього ножа під кутом (гільйотинна схема) для покращення якості різу.

Коригування бокового зазору між ріжучими елементами здійснюється шляхом зміни відстані між опорними шарнірами (А і О). Для цього один з шарнірів — точка О — закріплений на ексцентриковій осі, що дозволяє точне налаштування без повного демонтажу вузла.

Ножові супорти встановлені на роликових підшипниках, розташованих на кінцях осі 2. Остання має ексцентричне кріплення до втулок 3, які спираються на додаткові підшипники, змонтовані в бічних опорах станини. Самі втулки жорстко з'єднані з бічними шестернями 4, які передають обертальний момент від ведучих шестерень 5 (з передавальним відношенням і = 3,94), що обертаються на валу б.

Джерелом приводу виступає електродвигун потужністю 630 кВт, з’єднаний із приводним валом через редуктор (і = 2,54) та зубчасту муфту подовженого типу. Така передача забезпечує синхронізований і стабільний рух усієї ріжучої системи.

Щоб уникнути прогину штаби у процесі різання, передбачено пружинний притискний механізм, який стабілізує положення металу, притискаючи його до опорної поверхні перед різом.

Для обробки тонкої холоднокатаної штаби товщиною від 2,5 до 8 мм при безперервному русі металу застосовують летючі ножиці з механізмом пропуску різу (рис.2.2) . За конструкцією ці ножиці подібні до описаних раніше важільно-кривошипних систем, однак доповнені спеціальними кінематичними вузлами,

які дозволяють вибірково здійснювати різання без порушення ритму переміщення штаби.

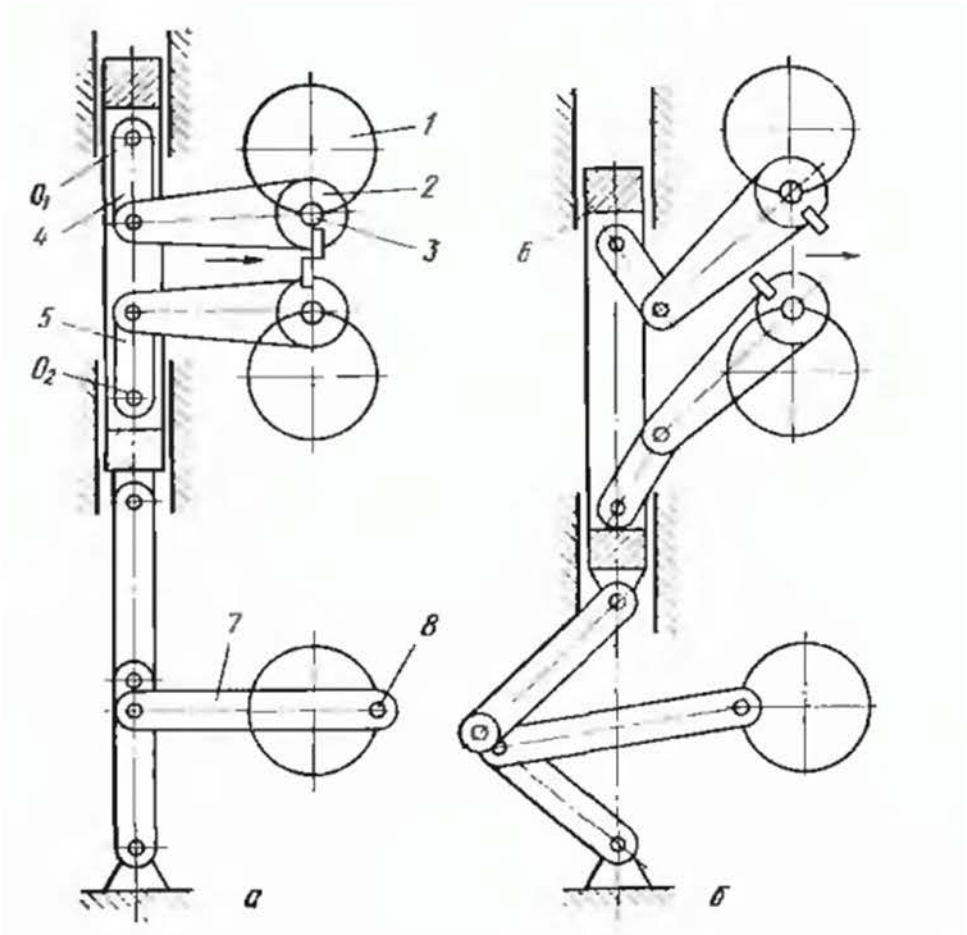


Рисунок 2.2- Схема ріжучого механізму летючих важільно-кривошипних ножиць з ковзаючим кривошипом.

При товщині штаби менше 2,5 мм доцільнішими є барабанні летючі ножиці, оскільки вони мають спрощену конструкцію, краще пристосовану до високошвидкісного різання тонкого металу з мінімальними зусиллями.

На відміну від барабанних ножиць, де можливі значні відхилення ножів від синхронізованої з рухом штаби траєкторії (випередження або запізнення), летючі ножиці для холодного різання мають обмежену інерційність приводу, що виключає надмірні коливання швидкості ножів. У таких умовах для забезпечення якісного різу без деформації металу необхідно, щоб:

Швидкість руху ріжучих елементів у момент різання перевищувала швидкість переміщення штаби не більше ніж на 1–3 %.

Порушення цієї умови призводить до зминання або розтягування металу, а також до зміщення лінії різу від розрахункового положення.

Щоб забезпечити синхронізацію ріжучого інструменту з металом, у конструкцію ножиць вводиться спеціальний компенсаційний механізм, який автоматично підлаштовує швидкість руху ножів відповідно до фактичної швидкості штаби. Така система дозволяє досягти високої точності при різанні металу на листи заданої довжини, зберігаючи геометричні параметри та якість кромок.

У результаті, летючі ножиці з механізмом пропуску різу стають оптимальним технічним рішенням для високошвидкісного поперечного різання тонколистової продукції в умовах холодної прокатки, де особливо важливими є точність позиціонування, плавність ходу та синхронізація всіх вузлів.

Принцип роботи механізму летючих ножиць з функцією пропуску різу полягає в наступному: у конструкції летючих ножиць для різання штаби на мірні довжини передбачена система, що забезпечує зворотно-поступальний рух ножів і дає змогу вибірково виконувати або пропускати різання під час безперервного руху штаби.

Робота ножиць базується на безперервному обертанні бічних приводних барабанів (1), які через кривошипи (3) передають рух супортам (2). Останні, будучи шарнірно з'єднаними з кривошипами, здійснюють плоский зворотно-поступальний рух, в результаті якого ріжучі інструменти описують еліпсоподібні траєкторії, що перетинаються в момент різання (див. рис. 3). Таким чином, кожен оберт кривошипа призводить до одного акту різання.

Сережки (4 і 5) здійснюють коливальні рухи відносно осей O_1 і O_2, які розташовані в порожнистих вертикальних штангах (6). Ці штанги можуть переміщуватися вертикально по напрямних — вгору або вниз — завдяки шатунно-кривошипному механізму (7). Завдяки цьому реалізується режим пропуску різа.

Коли виконання різання не потрібне (наприклад, у разі налаштування або при необхідності подовження листа), бічні штанги (6) опускаються донизу, змінюючи положення ножів. У цьому положенні:

- Верхній ніж разом із супортом відхиляється вправо,
- Нижній ніж — уліво,
- Еліпсоподібні траєкторії ножів зберігаються, але лінії різу не перетинаються, тому різання не відбувається.

Приводні барабани продовжують обертання, і система залишається в дії, хоча ріжуче втручання тимчасово припинене.

3 Різання «подвійної довжини»

У випадку, коли потрібно різати штабу через один оберт приводного вала, наприклад, для отримання листів подвоєної довжини, застосовується наступний режим:

1. Після кожного різа штанги (6) опускаються в нижнє положення, ножі розводяться і наступне різання пропускається.
2. Після одного повного оберту кривошипів (3), бічні штанги піднімаються в початкове положення.
3. Ножі знову змикаються на ділянці перетину траєкторій — і виконується новий різ.

Такий цикл дозволяє точно формувати листи подвійної довжини без зупинки прокатного процесу, що є критично важливим для високопродуктивних ліній холодного та гарячого різання.

2.2 Конструкція та принцип роботи заданих летючих ножиць

Летючі ножиці складаються з жорсткого литого корпусу, який разом зі стійками та траверсою, стягнутими чотирма різьбовими шпильками, утворює монолітну силову раму. У розточках цієї конструкції розташовані верхній і нижній барабани. Нижній барабан є приводним і через зубчасту передачу обертає верхній.

Взаємодія між зубчастими колесами барабанів стабілізується допоміжною шестернею, яка притискається до веденої шестерні пружинами. Це усуває люфт у місці зачеплення, забезпечуючи плавну передачу зусилля між валами.

У пазах барабанів встановлюються ножі, які фіксуються клинами з болтовим притисканням. Щоб уникнути надмірного тертя по всій поверхні, ріжуча кромка ножа виконана під гострим кутом до опорної площини. Це дозволяє багаторазово переточувати леза по боковій поверхні без повторного юстування при установці.

Нижня частина ножа опирається на змінну опорну планку, яка дозволяє точно регулювати радіальне перекриття ножів. У випадках, коли використовується лише одна пара ножів, інший ніж на верхньому барабані ховається в посадковому гнізді завдяки спеціальній вставці.

Радіальні навантаження, що виникають під час різання, сприймаються дворядними конічними підшипниками, тоді як осьові — упорними кульковими. Для компенсації люфтів у підшипниках верхнього барабана використовуються додаткові опори з пружинами, які забезпечують щільне прилягання вузлів навіть під час ударного навантаження.

Осьове положення верхнього барабана регулюється шляхом обертання гайки, в якій розміщені підшипники. Це дозволяє плавно змінювати тангенціальний (бічний) зазор між ножами без зміни центру обертання.

Схема ножиць представлена на рис. 2.3.

Для запобігання зміщенню або пробуксовці штаб при подачі, перед ножицями встановлені дубові відбійники, а також притискні ролики. Верхній ролик є приводним, нижній — холостим. За потреби, подача здійснюється шляхом включення пневматичного циліндра, який стискає штаб між роликами.

Привідна система забезпечує синхронну роботу всіх ключових агрегатів: ножиць, машини вирівнювання листів та тягнучих роликів. Джерелом енергії є електродвигун постійного струму типу П111 потужністю 160 кВт, з частотою обертання 1500–1800 об/хв.

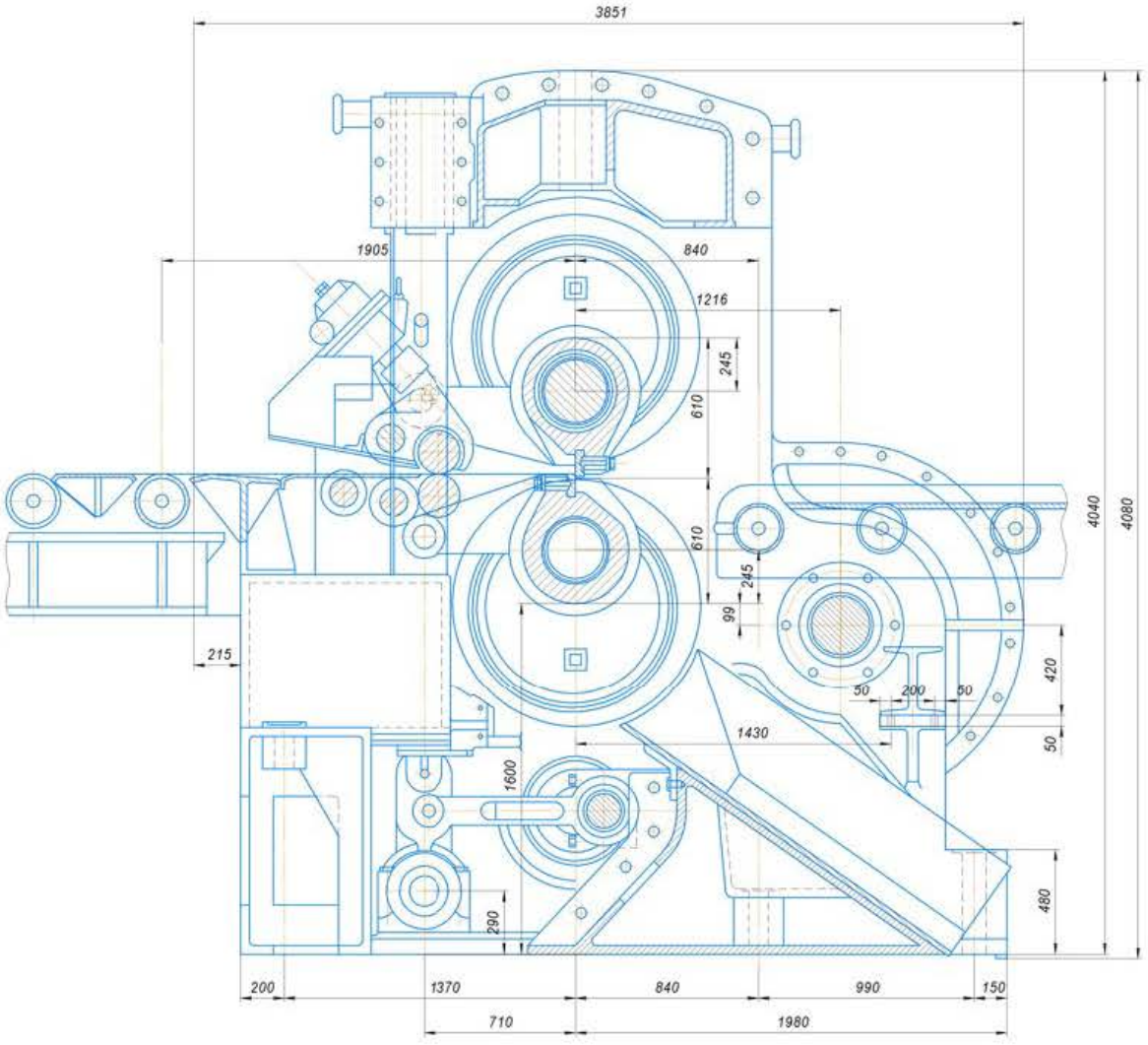


Рисунок 2.3 – Барабанні летючі ножиці

Кінематична передача руху реалізована через косозубі редуктори та механічні з'єднання. Зокрема, обертання передається:

- до ножиць через похилий редуктор, коробку швидкостей, маховик, силовий редуктор;
- до машини вирівнювання — через окрему шестеренну кліть і шпинделі;
- до тягнучих роликів — через комбінацію редукторів і передач.

Для оперативного гальмування лінії встановлено електромагнітне стрічкове гальмо діаметром 535 мм, що розміщене поруч із маховиком.

У приводі передбачені елементи захисту — запобіжні пальці у з'єднувальних муфтах. У разі перевантаження або аварійної ситуації (наприклад,

потрапляння подвійної товщини штаби під ніж) вони зрізаються, від'єднуючи механізм ножиць або листоправильну машину від електроприводу.

Коробка передач дозволяє здійснювати рези на довжину від 1000 до 4000 мм. Це досягається зміною передаточного числа у відповідній ділянці кінематичної схеми.

Характеристика ножиць

тип……кривошипні

перетин штаби, що ріжеться,мм……..……(18÷25)х(600÷1500)

температура штаби,що розрізається, не менше°С.....900

довжинаножів,мм……1700

коловашвидкість ножів, м/с……від 0,46 до 1,38

перекриття ножів, мм……..……2.7

ухил верхнього ножа……1:140

потужність двигуна,кВт……..……110

число обертів двигуна,об/хв ……..……..500

Змащення усіх вузлів ножиць здійснюється централізованою системою, що подає рідке машинне масло марки С8. Остаточний режим подачі мастила встановлюється емпірично під час налагодження обладнання. Такий підхід забезпечує оптимальні умови роботи всіх вузлів при високих навантаженнях і забезпечує довговічність основних компонентів.

2.3 Пропозиція модернізації вузла регулювання зазору ножів барабанних летючих ножиць в умовах ПАТ «Запоріжсталь»

У прокатному виробництві, зокрема при різанні гарячекатаної та холоднокатаної штаби, стабільна та точна робота летючих ножиць має критичне значення. Наявна система регулювання зазору між ножами (тангенціального і радіального) на багатьох ножицях застаріла – регулювання виконується вручну через гайки, шайби чи переміщення підшипникових опор. Це призводить до:

- неточностей при різанні (задирки, сколи);
- нерівномірного зношування ножів;
- тривалих зупинок на юстування;
- підвищених навантажень на привод.

Запропоновано встановити автоматизовану систему регулювання зазору між ножами, яка включає електромеханічний привід осьового переміщення верхнього барабана (замінює ручну гайку); сервоелектродвигун з енкодером; блок контролю положення (в електрошкафу ножиць); оптодатчики або лінійні потенціометри для зворотного зв'язку, цифрову індикацію поточного зазору та інтеграцію в АСУТП (через Modbus / ProfiNet).

Замість ручного гвинта для осьового зсуву верхнього барабана встановлюється кульковий гвинт (ШВП) з гайкою, що приводиться в дію сервоелектродвигуном.

Верхній барабан залишається в підпружинених корпусах, але рух забезпечується приводом із редуктором. Паралельно встановлюються датчики лінійного переміщення для контролю поточного зазору.

Алгоритм роботи системи

1. Оператор встановлює параметри матеріалу на панелі: товщина штаби, марка сталі, режим.
2. Система автоматично обчислює оптимальний зазор (за базою даних).
3. Привід осьово зміщує верхній барабан, встановлюючи заданий зазор.
4. Після підтвердження положення через датчики – система блокує доступ до зміни положення.
5. У разі аварії (подвійна товщина, клин ножа) – верхній барабан аварійно розтискається для захисту ножа.

Перевагами модернізації будуть: зменшення часу на переналагодження ножиць до 5 хв, підвищення точності регулювання (±0,02 мм), відсутність людського чинника при юстуванні, підвищення ресурсу ножів до 25%, автоматичний моніторинг зносу ножів (за кількістю резів або довжиною штаби) та безпечне розтиснення вузла при перевантаженні.

- . Схема модернізованого вузла регулювання зазору:

[Панель керування HMI] ⟷ [Контролер ПЛК]

↓

[Сервоелектропривід]

↓

[Редуктор приводу]

↓

[Кульковий гвинт ШВП]

↓

[Гайка з'єднана з опорною гільзою барабана]

↓

[Барабан верхній (пересувний)]

↓

[Пружинні вузли компенсації люфту]

↕ ↕

[Оптодатчик ходу] [Підшипники (радіальні + упорні)]

Модернізація вузла регулювання зазору барабанних летючих ножиць на ПАТ «Запоріжсталь» дозволить забезпечити високу якість різання, підвищити ефективність лінії, мінімізувати аварійні зупинки та знизити навантаження на персонал. Проект не потребує повної заміни ножиць і може бути реалізований шляхом адаптації існуючої конструкції.

2.4. Розрахунок найбільш навантажених вузлів і деталей летючих ножиць

Кінематична схема, основні розміри й передатні відносини механізму обертання представлені на рис. 2.4.

Розрахунок механізму обертання містить у собі наступні етапи:

Обчислюється навантаження на одну кульку (рис. 2.4, поз. 2):

$$q = \frac{G}{z_1} \cdot \gamma = \frac{1200000}{96} \cdot 1{,}1 = 13750\text{Н}, \qquad (2.1)$$

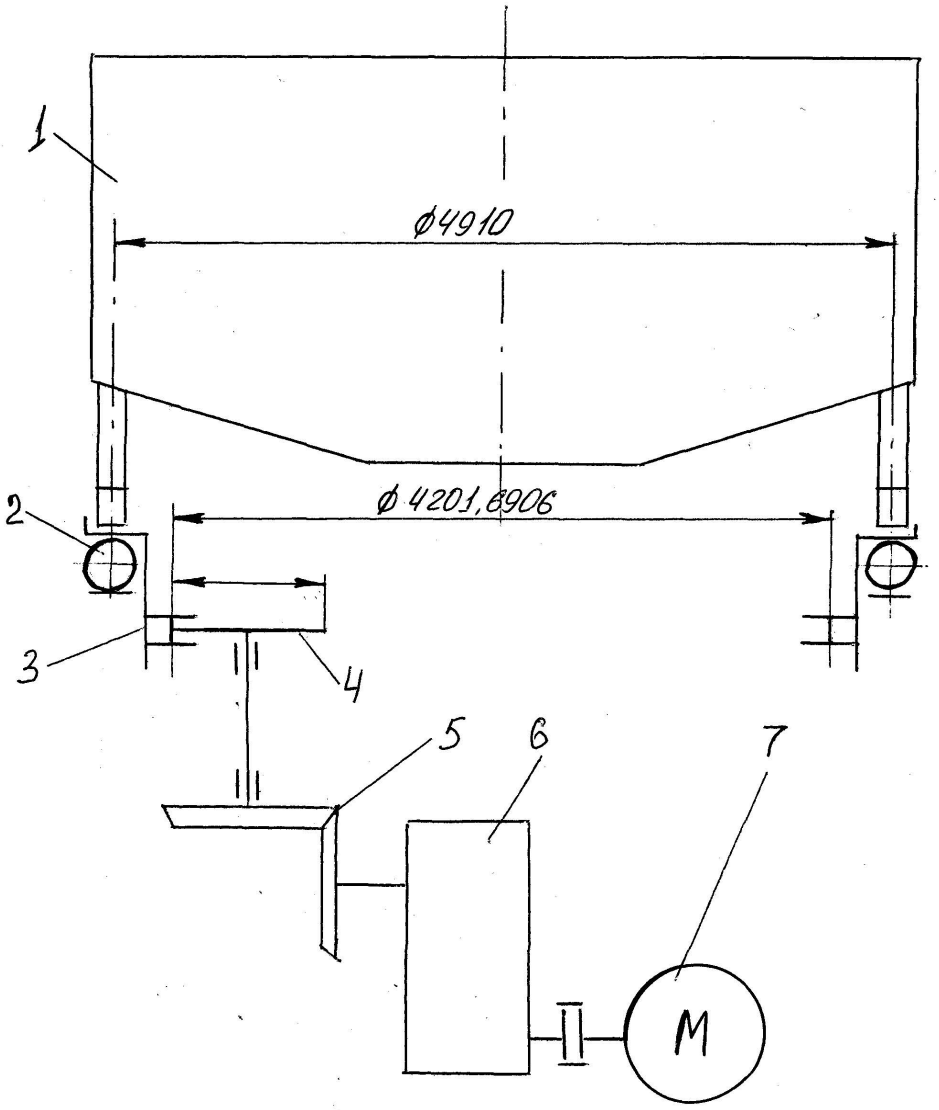
де G = 1200000 Н – вага ванни,

z_1 = 96 – число куль діаметром 100 мм;

γ = 1,1 – коефіцієнт нерівномірності навантаження на кулі.

В зв'язку з тим, що профіль канавки являє собою трапецію, зусилля на бігову доріжку передається у двох точках. Вважаючи, що сумарна площа плями контакту, при цьому, також подвоюється, доходимо висновку, що нормальні напруження при двухточковому контакті у двоє менше таких як при одноточковому:

$$\sigma_{2см} = \frac{1}{2}\sigma_{1см}, \qquad (2.2)$$



1 – ванна печі, 2 – опорні кулі, 3 – цівочна шестерня, 4 – цівочна зірочка, 5 – конічна передача, 6 – редуктор, 7 – електродвигун.

Рисунок 2.4 – Кінематична схема приводу обертання ванни печі

Напруження зминання в положенні одноточкового контакту знаходиться по наступній формулі [1, с. 288]:

$$\sigma_{1см} = \frac{3200}{\alpha_0} \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{R}\right)^2 \cdot q_ч} = \frac{3200}{0.91} \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{1}{5} + \frac{1}{5}\right)^2 \cdot 13750} = 212, \quad (2.3)$$

де $\alpha_0 = \alpha_0(R/r)$ – коефіцієнт форми, обумовлений при R = r = 5 см, згідно [1, табл. 6-14, с. 288] . Звідки

$$\sigma_{2см} = \frac{1}{2} \cdot 212{,}28МПа = 106{,}14МПа$$

У той же час, для доріжки, виготовленої зі сталі 55Л, не підданій термічній обробці, [1, табл. 6-15, с. 288], $[\sigma_{см}] = 110$МПа. Таким чином,$\sigma_{см} < [\sigma_{cv}]$, тобто напруження зминання не перевищує припустимих меж.

Зусилля, необхідне для повороту ванни, визначиться рівнянням балансу моментів сил [2, с. 48]:

$$P \cdot d = 2G \cdot K = 2 \cdot 1200000 \cdot 0.05 = 120000Н \cdot м, \quad (2.4)$$

Тоді

$$P = 120000Н \cdot м/0{,}1м = 12000Н$$

де P – зусилля обертання на діаметрі 4910 мм (рис. 2.4), кг;

d = 10 – діаметр кулі;

G – вага ванни, кг;

К – плече моменту сил тертя кочення, см (прийняте для не шліфованої доріжки кочення куль К = 0,05 см [2, с. 48].

Зусилля на цівках шестерні:

$$P_1 = P \cdot \frac{D}{2} \Big/ \frac{D_{но}}{2} = 12000 \cdot \frac{4910}{2} \Big/ \frac{4201,6905}{2} = 14023,2H, \quad (2.5)$$

де D – діаметр доріжки кочення куль;

$D_{но}$ – діаметр н.о. цівочного колеса (рис. 2.4, поз. 3), мм.

Крутний момент щодо осі ванни печі:

$$M_в = P_1 \cdot r = 14023,2 \cdot \frac{4.2002}{2} = 28890,57H \cdot м, \quad (2.6)$$

де r – радіус цівочної зірочки по зовнішньому колі.

Потужність двигуна (рис. 2.4, поз. 7):

$$N_{ДВ} = \frac{M_B \cdot n_{ДВ}}{9740 \cdot i_{заг} \cdot \eta_{заг}} \cdot 1,1 = \frac{28890,57 \cdot 1000}{9740 \cdot 1272,7 \cdot 0,82} \cdot 1,1 = 3,13кВт, \quad (2.7)$$

де $n_{дв}$ = 1000 об/хв – частота обертання вала двигуна;

$i_{заг} = i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 = 10,9 \cdot 3 \cdot 38,92 = 1272,7$ – загальне передаточне співвідношення;

$\eta_{заг} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 = 0,92 \cdot 0,92 \cdot 0,97 = 0,82$ – загальний ККД передачі,

η_1 – ККД цівочної передачі (рис. 2.4, поз. 3, 4),

η_2 – ККД зубчастої конічної пари (рис. 2.4, поз. 5),

η_3 – ККД редуктора (2.4, поз. 6);

1,1 – коефіцієнт пускової потужності.

Момент на валу цівочної зірочки (рис. 2.4, поз. 4):

$$M_{ЗВ} = \frac{P_1}{\eta} \cdot r = \frac{14023,2}{0,92} \cdot \frac{0,3848}{2} = 2933H \cdot м, \quad (2.8)$$

Крутний момент на вихідному валу редуктора:

$$M_{BP} = \frac{M_{ЗВ}}{i_2 \cdot \eta_2} = \frac{2933}{3 \cdot 0{,}92} = 1042{,}38 H \cdot м, \quad (2.9)$$

Отриманій величині крутного моменту задовольняє редуктор циліндричний двоступінчастий 1Ц2В-200-40-12. У даним позначенні: 1Ц2В-200 – типорозмір, 40 (фактично 38,92) – передаточне відношення, 11 – варіант складання). Для обраного редуктора припустима в експлуатації величина крутного моменту (3) при роботі в повторно-короткочасному режимі ПВ – 15%: $М_г$ = 5000 Н·м, а в реверсивному повинна бути зменшена на 30%, тобто до $М_т$ = 5000/1,3 = 3846,2 Н·м (тобто отримана в п. 1.7 справжнього розрахунків величина $М_{вр}$ менше $М_т$). Тоді припустима в експлуатації потужність на вихідному валу редуктора 1Ц2В-200-40-12 складе:

$$N_T = \frac{M_T \cdot n_{ДВ}}{9740 \cdot i_З} = \frac{3846{,}2 \cdot 1000}{9740 \cdot 38{,}98} = 10{,}13 кВт, \quad (2.10)$$

що значно перевищує потрібну для привода механізму обертання потужність двигуна ($N_{дв}$ = 3,9 кВт).

При цьому швидкість обертання ванни складе:

$$n_в = \frac{n_{ДВ}}{i_{ОБ}} = \frac{1000}{1244{,}7} = 0{,}803 хв^{-1}, \quad (2.11)$$

2.4.1. Визначення енергосилових параметрів процесу різання та потужності двигуна

Вихідні дані до розрахунку:

- товщина штаби h= 1,5 мм;

ширина штаби Ь = 1550 мм;

матеріал штаби — сталь СТ 4 з приділом міцності 500 МПа;

- кут нахилу верхнього шевронного ножа1:140 ($\tan\alpha = 0{,}007$; $\alpha = 0.409°$).

Визначаємо зусилля різання :

$$P = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \frac{2-\varepsilon_H}{2 \cdot \tan\alpha} \cdot \varepsilon_H \cdot \sigma_b \cdot h^2 \qquad (2.1)$$

де σ_b– межа міцності, МПа

h – висота штаби, мм

ε_H– відносна глибина заглиблення ножів

k_1 - поправочний коефіцієнт ;

k_2, k_3 — коефіцієнти, які враховують підвищення зусилля різання при затупленні ножів і збільшення;

α — кут нахилу ножів.

Приймаємо, згідно рекомендацій [15,стр268]: $k_1 = 0.6$; $k_2 = 1.1$; $k_3 = 1.25$, $\varepsilon_H = 0.5$.

Підставляючи чисельні значення в формупу (2.1) отримаємо:

$$P = 0{,}6 \cdot 1{,}1 \cdot 1{,}25 \frac{2-0{,}5}{2 \cdot 0{,}07} \cdot 0{,}5 \cdot 500 \cdot 1{,}5^2 = 0{,}497 \text{ МН}$$

Визначаємо хід ножів:

$$H = h + \frac{b}{2} \tan\alpha \qquad (2.2)$$

де h — товщина штаби, ММ;

b — ширина штаби, ММ;

α – кут нахилу ножів.

Отримаємо:

$$H = 1{,}5 + \frac{1150}{2} 0.07 = 42 \text{ мм}$$

Кут різання знаходиться як:

$$\cos\alpha_p = 1 - \frac{H}{2R} \tag{2.3}$$

де R - радіус кривошипа повзуна ножів, мм.

Н — хід ножів, мм.

Маємо:

$$\cos\alpha_p = 1 - \frac{42}{800} = 0.9475;\ \alpha = 19^{\circ}$$

Кут прикладання зусилля різання :

$$\cos\beta = 1 - \frac{h - \left(1 - \frac{\varepsilon_H}{2}\right) + \Delta}{2 \cdot B} \tag{2.4}$$

де В — максимальна ширина штаби, при перекритті ножів Δ=2,4 мм отримуємо:

$$\cos\beta = 1 - \frac{1{,}5 - \left(1 - \frac{0.5}{2}\right) + 2.4}{2 \cdot 1550} = 0.99898;\ \beta = 7^{\circ}$$

Плече максимального зусилля різання:

$$\alpha = R\sin\beta \tag{2.5}$$

Підставляючи чисельні значення у формулу (2.5) отримаємо:

$\alpha = 400\sin 7 = 49$ мм

Максимальний статичний момент різання:

$$M_{\text{ст.р.}} = \frac{2P\alpha}{\eta} \quad (2.6)$$

при ккд, приводу $\eta = 0.85$

Підставляючи чисельні значення у формулу (2. 6) отримаємо:

$$M_{\text{ст.р.}} = \frac{2 \cdot 798 \cdot 0.049}{0.85} = 92 \text{ кНм}$$

$$V_{\text{п}} = V_{\text{н}} = 2{,}5 \text{ м/с}$$

Колова швидкість:

$$\omega_{\text{н}} = \frac{V_{\text{н}}}{R} \quad (2.7)$$

$$\omega_{\text{н}} = \frac{2.5}{0.4} = 6.25 \frac{\text{об}}{\text{сек}}$$

$$\omega = 3{,}125$$

Максимальна статична потужність різання (без урахування впливу махових мас):

$$N_{\text{рез}} = M_{\text{ст}} \cdot \omega \quad (2.8)$$

Підставляючи чисельні значення у формулу (2.8) одержимо:

$$N_{\text{рез}} = 92 \cdot 3{,}125 = 287{,}132 \text{кВт}$$

Таким чином двигун буде працювати без перевантажень:

$$К = \frac{N_{рез}}{N_{дв}} \quad (2.9)$$

де $N_{дв}$ - потужність двигуна, кВт.

Підставляючи чисельні значення у формулу (9) отримаємо:

$$К = \frac{287,132}{110} = 2,61$$

Таким чином двигун буде працювати при короткочасною перевантаження.

2.4.2 Розрахунок барабана на міцність

Барабан розглядаємо як двоопорну балку, но центру якої прикладене розподілене навантаження (рис. 2.4) . Опорні реакції визначаємо з рівнчянь статики:

$$\sum M^B = - R_A L + \sum q_i(b_i - a_i)(2L - a_i - b_i)/2 + \sum F_i(L - c_i) - \sum M_i =$$
$$= - R_A L + q_1(b_1 - a_1)(2L - a_1 - b_1)/2 - M_1 = - R_A \cdot 3.5 + 64.4 \cdot (2.6 - 0.93) \cdot (2 \cdot 3.5 - 0.93 - 2.6)/2 - 99.5 =$$
$$= - R_A \cdot 3.5 + 64.4 \cdot 1.67 \cdot 1.735 - 99.5 =$$
$$= - R_A \cdot 3.5 + 87.09578 = 0 \Rightarrow$$
$$\Rightarrow R_A = 87.09578/3.5 = 24.8845 \, кН;$$

$$\sum M^A = R_B L - \sum q_i(b_i - a_i)(a_i + b_i)/2 - \sum F_i c_i - \sum M_i =$$
$$= R_B L - q_1(b_1 - a_1)(a_1 + b_1)/2 - M_1 = R_B \cdot 3.5 - 64.4 \cdot (2.6 - 0.93) \cdot (0.93 + 2.6)/2 - 99.5 =$$
$$= R_B \cdot 3.5 - 64.4 \cdot 1.67 \cdot 1.765 - 99.5 =$$
$$= R_B \cdot 3.5 - 289.32222 = 0 \Rightarrow$$
$$\Rightarrow R_B = 289.32222/3.5 = 82.6635 \, кН;$$

Для перевірки обчислимо суму проекцій всіх сил на вертикальну вісь:

$\sum Y = R_A + R_B - \sum q_i(b_i - a_i)$- $\sum F_i = R_A + R_B - q_1(b_1 - a_1) = 24.8845 + 82.6635 - 64.4\cdot(2.6 - 0.93) = 24.8845 + 82.6635 - 107.548 = 0$;

Початкові параметри

Прогин над лівою опорою дорівнює нулю: $w_0 = 0$.

Кут повороту початкового перерізу θ_0 визначимо з умови нульового прогину над опорою В:

$EIw_B = EIw(L) = EI\theta_0 L + R_A L^3/6 - q_1(L - a_1)^4/24 + q_1(L - b_1)^4/24 + M_1(L - d_1)^2/2 = EI\theta_0\cdot 3.5 + 24.8845\cdot 3.5^3/6 - 64.4\cdot(3.5 - 0.93)^4/24 + 64.4\cdot(3.5 - 2.6)^4/24 + 99.5\cdot(3.5 - 3.25)^2/2 = EI\theta_0\cdot 3.5 + 65.6308 = 0$

$EI\theta_0 = -65.6308/3.5 = -18.7517$ *кНм*^{2};

Складемо аналітичні вирази $Q(z)$, $M(z)$, $EI\theta(z)$ и $EIw(z)$ для кожної ділянки і обчислимо їх значення в характерних точках.

Ділянка I ($0 \le z \le 0.93$):

Поперечна сила Q:

$$Q_{\text{I}}(z) = R_A = 24.8845;$$

$Q_{\text{I}}(0) = 24.8845$ *кН*;

$Q_{\text{I}}(0.93) = 24.8845$ *кН*;

Згинальний момент M:

$$M_{\text{I}}(z) = R_A z = 24.8845z;$$

$M_{\text{I}}(0) = 24.8845\cdot 0 = 0$;

$M_{\text{I}}(0.93) = 24.8845\cdot 0.93 = 23.1426$ *кНм*;

Кут повороту перетину θ:

$$EI\theta_1(z) = EI\theta_0 + R_A z^2/2 = -18.7517 + 24.8845z^2/2 = 12.4423z^2 - 18.7517;$$

$$EI\theta_1(0) = 12.4423 \cdot 0^2 - 18.7517 = -18.7517\ кНм^2;$$

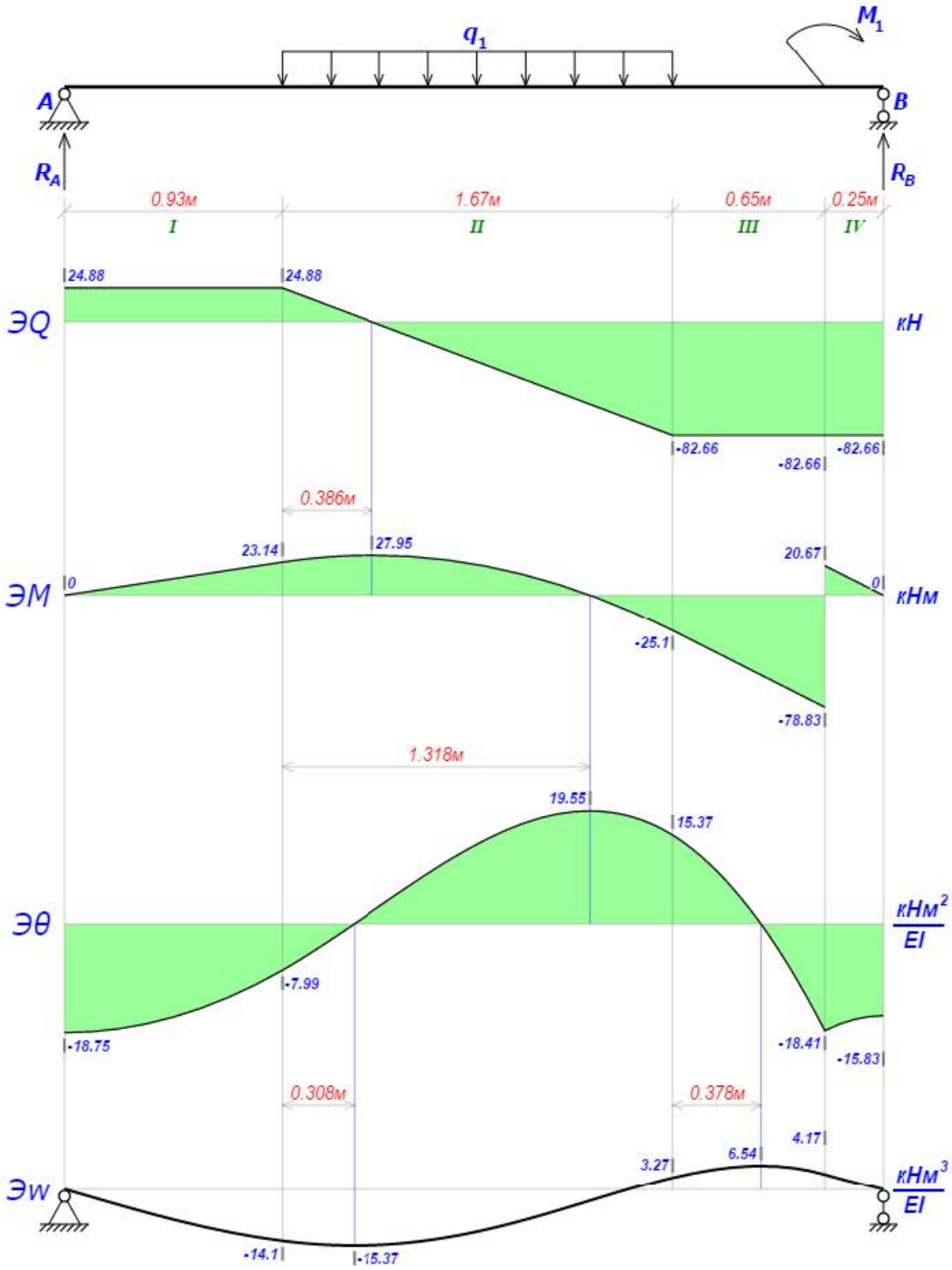


Рисунок 2.4 - Схема до розрахунку барабану

Ділянка II ($0.93 \le z \le 2.6$):

$18.7517 + 12.4423z^2 - 64.4(z^3/6 - 0.465z^2 + 0.43245z - 0.13406) =$
$= -10.7333z^3 + 42.3883z^2 - 27.8498z - 10.1182;$

Значеня $EI\theta$ на краях На цій ділянці епюра М перетинає горизонтальну вісь. Знайдемо точку перетину:

$EI\theta_{II}(0.93) = -10.7333 \cdot 0.93^3 + 42.3883 \cdot 0.93^2 - 27.8498 \cdot 0.93 - 10.1182 = -7.99036$ *кНм*^{2};
$EI\theta_{II}(2.6) = -10.7333 \cdot 2.6^3 + 42.3883 \cdot 2.6^2 - 27.8498 \cdot 2.6 - 10.1182 = 15.3679$ *кНм*^{2};

Локальний экстремум в точці $z_2 = 2.24808$ *м*:

$EI\theta_{II}(2.24808) = -10.7333 \cdot 2.24808^3 + 42.3883 \cdot 2.24808^2 - 27.8498 \cdot 2.24808 - 10.1182 = 19.551$ *кНм*^{2};

На цій ділянці епюра θ перетинає горизонтальну вісь. Знайдемо точку перетину:

$EI\theta_{II}(z) = -10.7333z^3 + 42.3883z^2 - 27.8498z - 10.1182 = 0;$

Корені кубічного рівняння знайдемо по тригонометричній формули Вієта.

Наведемо рівняння до виду $z^3 + az^2 + bz + c = 0$, для чого розділимо його на -10.7333:

$z^3 - 3.94922z^2 + 2.5947z + 0.942693 = 0;$

$a = -3.94922$; $b = 2.5947$; $c = 0.942693$;

Розрахуем Q, R и S:

$Q = (a^2 - 3b)/9 = 0.868023;$

$R = (2a^3 - 9ab + 27c)/54 = -0.102045;$

$S = Q^3 - R^2 = 0.643611;$

$S > 0 \Rightarrow$ рівняння має три корені:

$\varphi = \arccos(R/Q^{1.5})/3 = 0.565771$ *рад*;

$z = -2Q^{½}\cos(\varphi) - a/3 = -0.256593;$

$z = -2Q^{½}\cos(\varphi + 2\pi/3) - a/3 = 2.96796;$

$z = -2Q^{½}\cos(\varphi - 2\pi/3) - a/3 = 1.23785;$

Корені -0.256593 та 2.96796 не належать даній ділянці.

Ділянка III ($2.6 \le z \le 3.25$):

Поперечна сила Q:

$$Q_{III}(z) = R_A - q_1(z - a_1) + q_1(z - b_1) = 24.8845 - 64.4(z - 0.93) + 64.4(z - 2.6) = \\ = -82.6635;$$

$Q_{III}(2.6) = -82.6635$ *кН*;

$Q_{III}(3.25) = -82.6635$ *кН*;

Згинальний момент M:

$$M_{III}(z) = R_A z - q_1(z - a_1)^2/2 + q_1(z - b_1)^2/2 = 24.8845z - 64.4(z - 0.93)^2/2 + 64.4(z - \\ 2.6)^2/2 = 24.8845z - 64.4(z^2/2 - 0.93z + 0.43245) + 64.4(z^2/2 - 2.6z + 3.38) = \\ = -82.6635z + 189.822;$$

$M_{III}(2.6) = -82.6635 \cdot 2.6 + 189.822 = -25.1029$ *кНм*;

$M_{III}(3.25) = -82.6635 \cdot 3.25 + 189.822 = -78.8341$ *кНм*;

Кут повороту перетину θ:

$$EI\theta_{III}(z) = EI\theta_0 + R_A z^2/2 - q_1(z - a_1)^3/6 + q_1(z - b_1)^3/6 = -18.7517 + 24.8845z^2/2 - 64.4(z - 0.93)^3/6 + 64.4(z - 2.6)^3/6 = -18.7517 + 12.4423z^2 - 64.4(z^3/6 - 0.465z^2 + 0.43245z - 0.13406) + 64.4(z^3/6 - 1.3z^2 + 3.38z - 2.92933) =$$

$$= -41.3317z^2 + 189.822z - 198.767;$$

$$EI\theta_{III}(2.6) = -41.3317 \cdot 2.6^2 + 189.822 \cdot 2.6 - 198.767 = 15.3679 \text{ кНм}^2;$$

$$EI\theta_{III}(3.25) = -41.3317 \cdot 3.25^2 + 189.822 \cdot 3.25 - 198.767 = -18.4117 \text{ кНм}^2;$$

На цій ділянці епюра θ перетинає горизонтальну вісь. Знайдемо точку перетину:

$$EI\theta_{III}(z) = -41.3317z^2 + 189.822z - 198.767 = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow z = (-189.822 \pm (189.822^2 - 4 \cdot (-41.3317) \cdot (-198.767))^{1/2})/(2 \cdot (-41.3317)) = (189.822 \pm 3170.88^{1/2})/82.6635 = 1.61512;\ 2.97753;$$

Корень 1.61512 не лежить всередені ділянки.

Ділянка IV ($3.25 \le z \le 3.5$):

Поперечная сила Q:

$$Q_{IV}(z) = R_A - q_1(z - a_1) + q_1(z - b_1) = 24.8845 - 64.4(z - 0.93) + 64.4(z - 2.6) = -82.6635;$$

$$Q_{IV}(3.25) = -82.6635 \text{ кН};$$

$$Q_{IV}(3.5) = -82.6635 \text{ кН};$$

Згинальний момент M:

$$M_{IV}(z) = R_A z - q_1(z - a_1)^2/2 + q_1(z - b_1)^2/2 + M_1 = 24.8845z - 64.4(z - 0.93)^2/2 +$$

$$64.4(z - 2.6)^2/2 + 99.5 = 24.8845z - 64.4(z^2/2 - 0.93z + 0.43245) + 64.4(z^2/2 - 2.6z + 3.38) + 9.5 = -82.6635z + 289.322;$$

$M_{IV}(3.25) = -82.6635 \cdot 3.25 + 289.322 = 20.6659$ *кНм*;

$M_{IV}(3.5) = -82.6635 \cdot 3.5 + 289.322 = 0$;

Кут повороту перетину θ:

$$EI\theta_{IV}(z) = EI\theta_0 + R_A z^2/2 - q_1(z - a_1)^3/6 + q_1(z - b_1)^3/6 + M_1(z - d_1) = -18.7517 + 24.8845z^2/2 - 64.4(z - 0.93)^3/6 + 64.4(z - 2.6)^3/6 + 99.5(z - 3.25) = -18.7517 + 12.4423z^2 - 64.4(z^3/6 - 0.465z^2 + 0.43245z - 0.13406) + 64.4(z^3/6 - 1.3z^2 + 3.38z - 2.92933) + 99.5(z - 3.25) = -41.3317z^2 + 289.322z - 522.142;$$

$EI\theta_{IV}(3.25) = -41.3317 \cdot 3.25^2 + 289.322 \cdot 3.25 - 522.142 = -18.4117$ *кНм*^{2};
$EI\theta_{IV}(3.5) = -41.3317 \cdot 3.5^2 + 289.322 \cdot 3.5 - 522.142 = -15.8284$ *кНм*^{2};

Прогин w:

$$EIw_{IV}(z) = EI\theta_0 z + R_A z^3/6 - q_1(z - a_1)^4/24 + q_1(z - b_1)^4/24 + M_1(z - d_1)^2/2 = -18.7517z + 24.8845z^3/6 - 64.4(z - 0.93)^4/24 + 64.4(z - 2.6)^4/24 + 99.5(z - 3.25)^2/2 = -18.7517z + 4.14742z^3 - 64.4(z^4/24 - 0.155z^3 + 0.216225z^2 - 0.13406z + 0.0311688) + 64.4(z^4/24 - 0.433333z^3 + 1.69z^2 - 2.92933z + 1.90407) + 99.5(z^2/2 - 3.25z + 5.28125) = -13.7772z^3 + 144.661z^2 - 522.142z + 646.099;$$

Значення EIw на краях відрізка:

$EIw_{IV}(3.25) = -13.7772 \cdot 3.25^3 + 144.661 \cdot 3.25^2 - 522.142 \cdot 3.25 + 646.099 = 4.17237$ *кНм*^{3};
$EIw_{IV}(3.5) = -13.7772 \cdot 3.5^3 + 144.661 \cdot 3.5^2 - 522.142 \cdot 3.5 + 646.099 = 0$;

2.5 Розрахунок передачі гвинт-гайка механізму регулювання зазора між ножами

Вихідні дані: осьове навантаження Fa =132кН;

довжина переміщення - - 75мм.

В якості матеріалу гвинта обираємо сталь 40Х; для гайки -бронзу Бр. ОФ-10-1.

Допустиме напруження для матеріалу гвинта :

$$[\sigma] = \sigma т/[nт] = 120/3 = 40МПа \quad (2.10)$$

де [σ] – допустиме напруженняна розтяг-стиск;

σт - межа текучості матеріалу винта;

[nт] =3 - коефіцієнт запасу міцності.

опустимі напруження матеріалу гайки:

- на зминання бронзи по сталі [σзм] =80 МПа;
- на зріз [τзр] = 30…50 МПа;
- на розтяг [δр] =34…44 МПа.

Допустимий тиск з різьбі пар тертя [q] – сталь по бронзі [q] = 8 ..10 МПа.

Для трапеціидальної різьби коефіцієнт робочої висоти різьби приймаємо ψh = 0.5.

Коефіцієнт висоти гайки - ψH = 1.2.

Визначаємо середній діаметр різьби:

$$d_2 \geq \sqrt{\frac{Fa}{\pi * \Psi_H * \Psi h * [q]}} \quad (2.11)$$

$$d2 = \sqrt{\frac{132 * 10^3 H}{3.14 * 1.2 * 0.5 * 8 * 10^6 Па}} = 0.52м = 520мм.$$

Підбираємо стандартні значення різьби:

- зовнішній діаметр d =528мм;

- внутрішній діаметр d1 =512мм;

- крок різьби P =6мм;

- число заходів різьби n =1.

Визначаємо кут підйому різьби γ:

$$\gamma = \text{arctg} \cdot P \cdot n/(\pi \cdot d2) = \text{arctg} \cdot 6 \cdot 1/(3.14 \cdot 520) = 2.53^{\circ} \qquad (2.12)$$

Виходячи з матеріалу гвинтової пари приведений кут тертя дорівнює6.51°.

В передачізабеспечується самогальмування, так як $\gamma < \rho$.

Висоту гайки визначаємо зі співвідношення:

$$Hг = \psi H \cdot d2 = 1.2 \cdot 520 = 624мм$$

Висота опорного буртика гайки:

$$h = 1/3\ Hг = 208мм$$

Оскільки гвинт у даній передачі схильний дії стискаючою навантаження , то необхідно перевірити його на поздовжній згин . За розрахункове приймаю крайнє становище гайки, коли гвинт піддається стиску на максимальній довжині.

Достатня поздовжня стійкість гвинта можлива , якщо дотримується умова :

$$ny = F\ кр / Fa \geq [\ ny\ ], \qquad (2.13)$$

де : ny - розрахунковий коефіцієнт запасу стійкості гвинта;

F кр – критична навантаження для гвинта , Н ;

Fa – діюча на гвинт стискаюча сила, Н;

[ny] - допустимий коефіцієнт стійкості , [ny] = 2.5… 4.

Критична навантаження визначається за формулою Ейлера :

$$F\,кр = \pi^2 \cdot E \cdot I / (\mu \cdot 1)^2 \qquad (2.14)$$

$Fкр = 3.14^2 \cdot 2.1 \cdot 10^5 \cdot 3434.7 \cdot 10^6 / (2 \cdot 750)^2 = 1.1 \cdot 10^6$ Н

де – I - приведений момент інерції перерізу гвинта , мм^2,

$$I = \frac{\pi d_1^4}{64}(0.4 + 0.6\frac{d}{d_1}) = 3434.7 * 10^6\ мм^4 \qquad (2.15)$$

E – модуль пружності E = 2.1 * 10^5 МПа,

M - коефіцієнт приведення довжини .

Визначаємо крутний момент у різьбленні – Тр :

$$Тр = 0.5\ d\ 2 \cdot Fa \cdot tg\ (\gamma + \rho) \qquad (2.16)$$

$Тр = 0.5 \cdot 520 \cdot 132000 \cdot tg\ (0.53^o + 6.51^o) = 2.5 \cdot 10^6$ Н ·мм $= 2.5 \cdot 10^3$Н·м

Визначаємо еквівалентне напруження для перерізу гвинта :

$$\sigma_{экв} = \sqrt{\sigma_1^2 + 3\tau_{кр}^2} + \sqrt{(\frac{4Fa}{\pi d_1^2})^2 + 3(\frac{T}{0.2d_1^3})^2} \le [\sigma_p] \qquad (2.17)$$

$$\sigma_{экв} = \sqrt{(\frac{4 \cdot 132 \cdot 10^3 H}{3.14 \cdot 0.512^2})^2 + 3(\frac{3.8 \cdot 10^3}{0.2 \cdot 0.512^3})^2} = 6.86 МПа \le [\sigma_p] = 40 МПа$$

Визначаємо потрібну потужність приводу за формулою :

$$N = Fa\ v / 1000 \cdot ή \qquad (2.18)$$

$N = 132 \cdot 10^3 \cdot 0.002 / 1000 \cdot (0.31 \cdot 0.75) = 0.85$кВт

3. ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ЧАСТИНА

3.1 Організація збирання та монтажу металургійного обладнання

Ефективність і довговічність роботи металургійного обладнання значною мірою залежать від якості підготовчих, складальних і монтажних процесів. Недоліки в точності виготовлення деталей, їх формі, розмірах і взаємному розташуванні можуть призводити до значного підвищення навантажень у вузлах машин, що в результаті зумовлює аварійні ситуації та передчасний вихід з ладу обладнання.

Зборка обладнання передбачає послідовне з'єднання окремих деталей і вузлів у цілісну конструкцію. Залежно від типу виробництва застосовуються різні підходи:

- У масовому виробництві — використовуються повністю взаємозамінні деталі, а збірка здійснюється на конвеєрних лініях;
- У серійному виробництві — передбачена часткова підгонка окремих елементів, і збірка виконується на фіксованих робочих місцях;
- В індивідуальному виробництві — збирання виконується безпосередньо на місці експлуатації, найчастіше на тимчасових фундаментах або стаціонарних опорах.

Ретельне дотримання технологічних допусків при збиранні забезпечує правильну взаємодію всіх вузлів та знижує ризик експлуатаційних відмов.

Монтажем вважається комплекс завершальних робіт, до якого входять складання, встановлення, юстування, налагодження та введення обладнання в експлуатацію. На металургійних підприємствах об'єктами монтажу зазвичай виступають виробничі агрегати або цехи, що охоплюють як будівельну інфраструктуру, так і технологічні, електромеханічні системи, трубопроводи та мастильні установки.

Процес монтажу реалізується силами різнопрофільних організацій, які діють у тісній взаємодії. Одним із ключових чинників успішного та швидкого монтажу є:

- Чітка координація робіт між суміжними організаціями, що дозволяє розпочати монтаж у максимально короткі строки;
- Попереднє встановлення мостових кранів і вантажопідйомних механізмів, необхідних для подальших операцій зі збирання.

Стрімкий розвиток металургійної галузі зумовлює потребу в модернізації методів монтажу та обслуговування обладнання. Серед основних напрямків удосконалення варто виокремити:

- Індустріалізацію та механізацію монтажних процесів, що включає застосування великоблочних конструкцій;
- Використання лазерного позиціонування для підвищення точності встановлення обладнання;
- Нові методи фіксації та анкерування машин на фундаменті;
- Широке впровадження прогресивних методів збирання, таких як модульне компонування, прецизійна підгонка та контроль якості на кожному етапі.

Підвищені вимоги до безперебійної роботи обладнання спричиняють необхідність системного підходу до технічного обслуговування. Це досягається завдяки:

- Централізованому управлінню ремонтними роботами та ресурсами;
- Раціональному плануванню профілактичних заходів;
- Наявності повного комплекту запасних частин і витратних матеріалів;
- Використанню агрегатного та вузлового ремонту для зниження простоїв;
- Покращенню систем змащення, що забезпечують стабільну роботу тертя та зменшують знос.

У результаті впровадження інноваційних технологій, оптимізації процесів монтажу та обслуговування вдається досягти високої надійності й продуктивності металургійного обладнання, що є критично важливим для забезпечення безперервності виробничого процесу.

3.2 Системи змащення металургійного обладнання

Система змащення є критично важливою складовою надійної та безперебійної роботи машин і механізмів, особливо в умовах високих навантажень, що характерні для металургійного виробництва. Її основне завдання — зменшення тертя між рухомими деталями, охолодження вузлів, виведення продуктів зносу й захист від корозії.

Усі мастильні засоби поділяються на дві основні категорії:

- Рідкі мастила — включають мінеральні, синтетичні та напівсинтетичні масла, а також спеціалізовані змазувальні рідини.
- Пластичні мастила — охоплюють тверді та спеціальні композиції, що використовуються для змащення вузлів при складних умовах експлуатації (високі температури, пил, волога тощо).

Рідкі мастила у вузлах тертя виконують кілька ключових функцій:

- знижують коефіцієнт тертя;
- охолоджують контактні поверхні;
- запобігають корозійному ураженню;
- виводять абразивні частинки та продукти зносу з зони тертя.
- Типи систем змащення

Залежно від способу подачі мастильного матеріалу до поверхонь тертя, розрізняють наступні типи систем змащення:

1. Індивідуальна система — масло подається до окремого вузла вручну або за допомогою автономного пристрою (наприклад, маслянки). Застосовується у нецентралізованих системах або для допоміжного змащення.

2. Картерна система — мастило частково або повністю знаходиться в картері механізму. Вузли змазуються шляхом занурення або розбризкування.

3. Аерозольна система — передбачає подачу мастильного складу у вигляді дрібнодисперсного туману. Ефективна при змащенні вузлів з обмеженим доступом.

4. Циркуляційна система — одна з найбільш сучасних і ефективних форм змащення, особливо для складного, великогабаритного обладнання.

- Циркуляційна система змащення

Циркуляційне змащення базується на принципі повторного використання мастильного матеріалу. Мастило безперервно переміщується по замкненому трубопровідному контуру, проходячи такі етапи:

- подача під тиском до вузлів тертя за допомогою насоса;
- охолодження та очищення (через теплообмінники й фільтри);
- повернення до резервуара.

Переваги цієї системи:

- забезпечує стабільне змащення навіть при високих навантаженнях і температурах;
- сприяє ефективному охолодженню вузлів;
- дозволяє швидко видаляти забруднення та продукти зносу;
- є економічно доцільною завдяки багаторазовому використанню мастила.

Однак є і певні обмеження:

- потребує складного обладнання (насоси, фільтри, охолоджувачі, трубопроводи);
- вимагає герметичних з'єднань і високоякісних ущільнювальних елементів;
- має значну вартість впровадження і обслуговування.

Тому централізоване циркуляційне змащення доцільно застосовувати переважно у великих механізмах або агрегатах, де його переваги повністю реалізуються.

У складних технологічних установках часто використовуються змішані схеми змащення: наприклад, поєднання централізованого циркуляційного змащення з локальними системами — ручними або автоматичними інжекторами, змазуванням зануренням тощо. Це дозволяє враховувати специфіку кожного вузла й забезпечити оптимальні умови експлуатації.

За способом руху мастила розрізняють:

- вільну (самопливну) подачу — використовується капілярні ґноти, конусні пристрої, самозасмоктувальні трубки;
- примусову подачу — реалізується за допомогою насосів, що створюють необхідний тиск у системі.

Обидва підходи можуть використовуватись у межах одного комплексу з урахуванням умов роботи конкретних вузлів.

3.3 Організаційна структура управління ремонтним господарством підприємства та виробничого підрозділу

Ефективне функціонування ремонтного господарства — ключова умова забезпечення безперервної та надійної роботи технологічного обладнання на промисловому підприємстві. Основною метою ремонтно-механічної служби є максимальне забезпечення працездатності обладнання за мінімальних витрат часу, трудових, матеріальних і фінансових ресурсів.

На підприємстві впроваджена система планово-попереджувальних ремонтів (ППР), що дозволяє знизити аварійність, продовжити термін служби обладнання та підвищити його технічну готовність. У рамках цієї системи передбачено проведення двох основних видів ремонтів:

- Поточний ремонт — операції з відновлення функціональності обладнання, виконувані з певною періодичністю без виведення агрегата з експлуатації на тривалий час. Він дозволяє усувати локальні несправності, зношення та порушення налаштувань.

- Капітальний ремонт — глибоке відновлення технічного стану устаткування, при якому проводиться комплексна діагностика та усунення всіх виявлених дефектів, заміна або реставрація зношених вузлів. Результатом має бути приведення техніки до рівня заводських параметрів.

Зважаючи на складність і масштабність обладнання, що використовується в прокатному цеху, структура його обслуговування має бути чітко організованою та підпорядкованою загальній ієрархічній системі управління. Типова лінійна організаційна схема управління ремонтним господарством відображає вертикаль підпорядкування — від начальника цеху до виконавців на місцях (рис. 3.1та рис. 3.2).

На чолі цеху стоїть начальник, який несе повну відповідальність за технічний стан устаткування, ефективність його використання та своєчасне проведення ремонтів. Йому підпорядковуються заступники та майстри, кожен з яких відповідає за окремі ділянки чи технологічні напрямки.

Сутність лінійної (ієрархічної) моделі управління полягає в одноканальному проходженні розпоряджень і відповідальності. Усі управлінські команди передаються виключно через пряму вертикаль — від керівника до підлеглих. Кожен виконавець отримує завдання тільки від одного безпосереднього керівника та звітує лише перед ним. Це дозволяє забезпечити чіткий розподіл обов'язків і уникнути дублювання функцій.

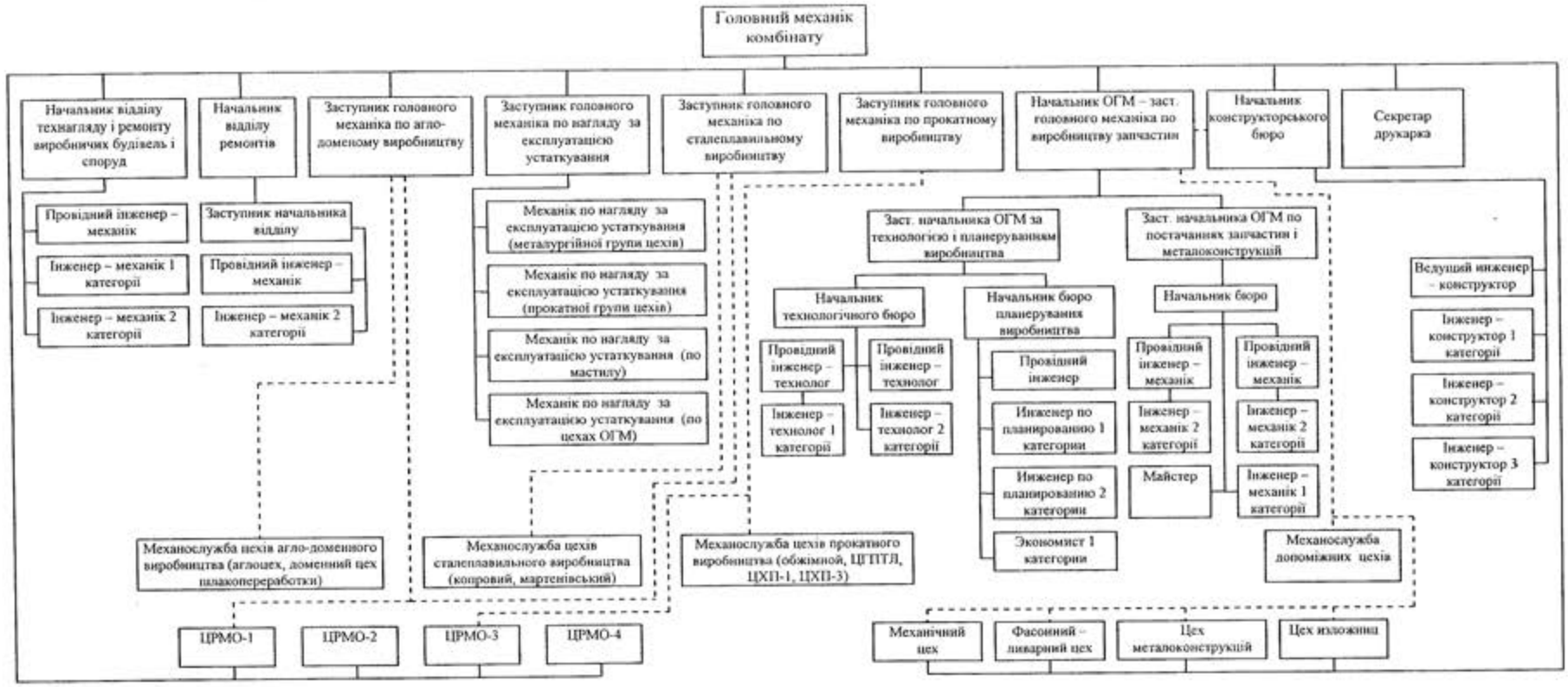
Переваги лінійної моделі:

- простота керівництва та контролю;
- чіткість підпорядкування;
- швидкість прийняття рішень.

Недоліки:

- слабка гнучкість при складних виробничих зв'язках;
- можливе перевантаження керівників оперативною інформацією.

У сучасних умовах лінійну структуру часто доповнюють елементами функціонального управління, автоматизованими системами моніторингу стану обладнання та цифровими інструментами планування ремонтів.



Штатна чисельність РСС служби головного механіка (без цехів) - 52 чіл.

У тому числі відділів:

Ремонтів	- 6 чол.
технічного нагляду й ремонту виробничих будинків і споруджень	- 4 чол.
головного механіка	- 21 чол.
конструкторського бюро	- 11 чол.

Рисунок 3.1 - Схема керування службою головного механіка комбінату „Запоріжсталь”

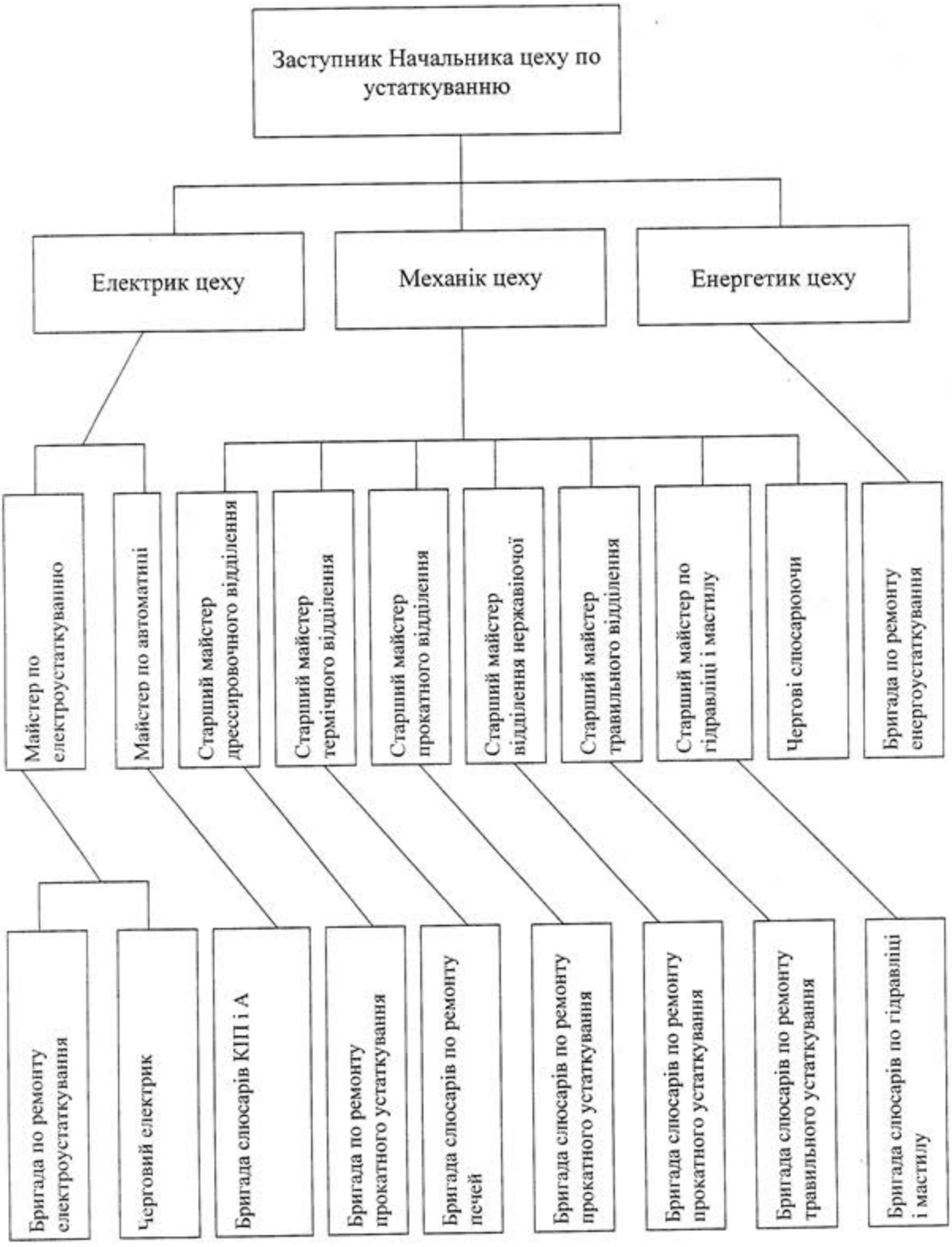


Рисунок 3.2-Структурна схема ремонтної служби цеху

3.4 Розробка річного графіка планово-попереджувальних ремонтів обладнання

Раціональна організація ремонту виробничого обладнання є запорукою його безвідмовної роботи та високої продуктивності. Одним із ключових етапів планування технічного обслуговування є складання річного графіка планово-попереджувальних ремонтів (ППР), що забезпечує системний підхід до догляду за технікою та попередження її передчасного виходу з ладу.

Першим кроком у розробці річного графіка є визначення структури ремонтного циклу, що включає перелік, черговість та інтервали між проведенням різних видів ремонтів. До основних параметрів, що впливають на цей процес, належать:

- строк служби основних вузлів і агрегатів;
- характер та інтенсивність зношування деталей;
- середня тривалість простоїв, необхідна для виконання ремонтних операцій.

Тривалість і періодичність зупинок устаткування регламентуються галузевими нормативними документами, зокрема:

- «Тимчасовим положенням про технічне обслуговування і ремонт (ТОіР) механічного устаткування підприємств системи Міністерства чорної металургії»;
- відповідними положеннями, розробленими для підприємств кольорової металургії.

Ці документи розроблені з урахуванням кращих практик експлуатації, дотримання правил технічної безпеки та технологічних вимог. Вони встановлюють орієнтовні строки міжремонтного періоду та дозволяють стандартизувати процедури обслуговування.

Після визначення послідовності ремонтів та періодичності їх проведення складається річний графік ППР, у якому фіксуються дати виконання всіх видів обслуговування для кожної одиниці обладнання.

До основних інформаційних джерел, на основі яких формується графік, належать:

- агрегатні журнали та технічні паспорти, де зафіксовано результати попередніх обстежень, ремонти та експлуатаційні параметри;
- акти технічного обстеження обладнання, яке планується піддати капітальному ремонту в наступному році;
- аналітика виробничих показників, що характеризує інтенсивність навантаження на техніку в останні звітні періоди;
- режим роботи обладнання та ступінь його завантаження;
- нормативи ППР, що вказують рекомендовані інтервали та тривалість ремонтів;
- порівняльні дані щодо роботи аналогічного устаткування на інших підприємствах галузі;
- графіки і дати проведення капітальних і поточних ремонтів, які вже затверджено керівництвом підприємства або замовником.

Складання річного графіка ППР — це не лише технічна, а й організаційна задача, яка потребує погодження з виробничим планом, координації з іншими службами (електротехнічною, енергетичною, планово-економічною), а також урахування наявності ремонтних потужностей і персоналу.

3.5 Складання мережевого графіку проведення ремонту та модернізації летючих ножиць

Наявність технічної документації для проведення ремонтів устаткування визначальні умови сучасного ремонту. До неї входить: ремонтна відомість, відомість дефектів, оперативний графік ремонту, план організації робіт, типовий кошторис.

Таблиця 3.1 - Перелік робіт на капітальний ремонт і модернізацію дискових ножиць

№ події	Найменування операції	Шифр работ		Час виготовлення, год	Число виконавців, люд
		i	j		
1	2	3	4	5	6
1	Зупинка ножиців та розбирання електросхеми	0	1	1	2
2	Демонтаж приводу налагодження ширини	1	2	2	2
3	Демонтаж механізму різання	2	3	3	3
4	Демонтаж ріжучих пристроїв	3	4	3	4
5	Демонтаж шпиндельного пристрою	4	5	2	6
6	Монтаж модернізованого шпиндельного пристрою	5	6	3	6
7	Демонтаж комбінованого редуктору	4	7	3	4
8	Монтаж комбінованого редуктору	7	8	2	4
9	Монтаж приводу налагодження ширини	8	9	2	6
10	Монтаж ріжучих пристроїв	9	10	4	4
11	Монтаж механізму різання	9	11	2	3
12	Підключення усіх систем ножиців	11	12	3	3
13	Наладка ножиців	10	13	2	2
14	Опробування та пуск	13	14	1	4

Дані ремонтної відомості й відомості дефектів є підставою для складання оперативних графіків на ремонт основного технологічного устаткування.

При розробці цього графіка й плану організації робіт необхідно встановити:

- послідовність виконання ремонтних робіт, передбачених відомістю дефектів;

- ремонтні роботи й операції, виконувані паралельно;

- тривалість кожної роботи;

- необхідне число робітників для виконання кожної роботи і їхнє раціональне використання.

Таблиця 3.2– Параметри мережевого графіку на капітальний ремонт та модернізацію летючих ножиць

Шифр роботи		Трив робіт	Ранній початок роботи	Раннє закінчення роботи	Пізній початок роботи	Пізнє закінчення роботи	Повний резерв часу
i	j	T_{i-j}	$T_{i-j}^{РН}$	$T_{i-j}^{РО}$	$T_{i-j}^{ПН}$	$T_{i-j}^{ПО}$	R_{i-j}
0	1	1	0	1	0	1	0
1	2	2	1	3	1	3	0
2	3	3	3	6	3	6	0
3	4	3	6	9	6	9	0
4	5	2	9	11	9	13	2
5	6	3	11	14	13	16	2
4	7	3	9	12	9	12	0
7	8	2	12	14	12	14	0
8	9	2	14	16	14	16	0
9	10	4	16	20	16	20	0
9	11	2	16	18	16	19	1
11	12	3	18	21	19	22	1
10	13	2	20	22	20	22	0
13	14	1	22	23	22	23	0

При виконанні складних і трудомістких ремонтних робіт широко використають мережеві графікі, які будуються на підставі переліку робіт, необхідних для виконання капітального ремонту.

До основних параметрів мережевого графіка відносяться: критичний шлях, резерви часу подій, резерви часу шляхів і робіт.

У даній дипломній роботі параметри мережевого графіка розраховані безпосередньо на мережевому графіку й у виді таблиці.

Після проведення перевірочного розрахунку мережевого графіка необхідно зіставити отримані результати із заданими обмеженнями (директивними строками, ресурсами, вартістю й т.д.)

Після розрахунку всіх параметрів мережної моделі роблять оптимізацію мережевої моделі, а потім роблять графічну мережну модель у календарному розрізі й графік розподілу трудових ресурсів.

Розрахунок параметрів мережевої моделі проводився по наступних формулах.

Раннє закінчення роботи:

$$t_{i-j}^{po} = t_{i-j}^{pн} + t_{i-j}, \tag{3.1}$$

де t_{i-j}^{po} - раннє закінчення роботи i-j;

$t_{i-j}^{pн}$ - ранній початок роботи i-j;

t_{i-j} - тривалість роботи i-j.

$t_{0-1}^{po} = 0 + 1 = 1$ год.

Пізній початок роботи:

$$t_{i-j}^{пн} = t_{i-j}^{по} - t_{i-j}, \tag{3.2}$$

де $t_{i-j}^{по}$ - пізнє закінчення роботи i-j.

$t_{0-1}^{пн} = 1 - 1 = 0$ год.

Пізній час здійснення попередньої події:

$$t_i^n = t_j^n - t_{i-j}, \tag{3.3}$$

де t_j^n - пізній час здійснення наступної події.

$t_{0-1}^n = 1 - 1 = 0$ год.

Повний резерв часу:

$$R_{i-j} = t_{i-j}^{по} - t_{i-j}^{рн} - t_{i-j}, \tag{3.4}$$

$R_{0-1} = 1 - 0 - 1 = 0$ год.

Резерв часу:

$$r_{i-j} = t_{j-k}^{рн} - t_{i-j}^{ро}, \tag{3.5}$$

де $t_{j-k}^{рн}$ - ранній початок наступної роботи.

$r_{0-1} = 1 - 1 = 0$ год.

Аналогічно складаємо параметри мережевого графіку для усіх наступних подій та зводимо результати в таблицю 3.2.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1Виявлення та оцінка шкідливих та небезпечних чинників

Прокатне виробництво належить до категорії найбільш технічно насичених і небезпечних галузей металургійної промисловості. Складність технологічного процесу, велика кількість обертових та лінійно переміщуваних механізмів, робота з високотемпературними об'єктами — усе це формує несприятливе середовище, що вимагає особливої уваги до умов праці та промислової безпеки.

Основними небезпечними чинниками, які супроводжують виробничий процес, є:

- Механічні ризики, пов’язані з рухомими частинами прокатного обладнання: захоплення одягу або кінцівок валками, муфтами чи шпинделями.
- Високотемпературні впливи, що виникають при нагріванні металу в регенеративних печах та під час обробки слябів. Температурне навантаження значно перевищує встановлені санітарні норми.
- Інфрачервоне теплове випромінювання, яке постійно діє на персонал біля нагрівальних та прокатних агрегатів.
- Викиди окалини, шлаку та уламків металу під час проходження заготовок через прокатні кліті, особливо на чорновому та чистовому етапах деформації.
- Підвищений рівень шуму і вібрації, джерелами яких є електроприводи, редуктори, роликові столики, пічні механізми.

До складу шкідливих хімічних чинників належать:

- продукти згоряння газів (оксиди вуглецю та азоту, сірководень);
- з'єднання марганцю, хрому, бензопірен;
- мінеральні мастила, що випаровуються при нагріванні;

- аерозолі металів, які осідають у дихальних шляхах і викликають хронічні профзахворювання.

Особливу небезпеку становить видалення шлаку з нагрівальних печей, оскільки супроводжується термічними викидами та ризиком утворення вибухонебезпечних сумішей у робочому просторі.

Таблиця 4.1 — Гігієнічна оцінка умов праці. Робоче місце: чорнова кліть, професія: слюсар з ремонту

№	Параметр	ГДК / Норма	Заміряне значення	Клас шкідливості	Час впливу, %
1	Бензопірен (I клас)	0,00015 мг/м³	0,00028 мг/м³	I ст.	85
2	Оксиди марганцю (II клас)	0,3 мг/м³	1,05 мг/м³	I ст.	89
3	Діоксид азоту	5,0 мг/м³	20,42 мг/м³	II ст.	82
4	Оксид вуглецю	20,0 мг/м³	31,2 мг/м³	II ст.	87
5	Сірководень	10,0 мг/м³	21,5 мг/м³	II ст.	80
6	Пил фіброгенного типу	2,0 мг/м³	3,5 мг/м³	I ст.	82
7	Рівень шуму	80 дБА	85 дБА	I ст.	83
8	Температура / Випромінювання	27 °C / 140 Вт/м²	30 °C / 4000 Вт/м²	III ст.	81

У структурі цеху спостерігається значна розгалуженість і просторове рознесення агрегатів. Частина обладнання знаходиться на естакадах, інша — у заглиблених технічних галереях, що знижує видимість і чутність сигнальної інформації. Обмеження доступності управління та слабка передача аварійних сигналів створюють додаткові ризики травматизму.

Зміна технологічних параметрів (наприклад, нерівномірний нагрів, неправильне калібрування валків або дисбаланс обертання) може викликати порушення геометрії прокату, вигини, викривлення, обрив металу, що призводить до аварійних ситуацій, поломок обладнання й травмувань.

На прикладі робочого місця чергового слюсаря прокатної дільниці наведено оцінку факторів виробничого середовища. Результати свідчать про істотне перевищення допустимих концентрацій шкідливих речовин і фізичних параметрів.

Загальна оцінка:

- Кількість шкідливих чинників: 9.
- За результатами досліджень умови праці віднесено до III класу, 3 ступеня — умови значної шкідливості з високим ризиком для здоров'я.
- Робоче місце класифікується як шкідливе, включене до Списку №1 виробництв, що надають право на пільгове пенсійне забезпечення.

Компенсаційні заходи:

- Надбавка до заробітної плати — до 24%;
- Додаткова оплачувана відпустка — 15 календарних днів;
- Право на пенсію на пільгових умовах (за віком).

Постійне перевищення температурних і токсичних навантажень призводить до:

- теплового перевантаження організму, перегріву, теплових ударів;
- захворювань дихальної системи — пневмоконіозу, астми, онкопатологій;
- ураження шкіри та очей інфрачервоним випромінюванням;
- електротравм різного ступеня тяжкості, у тому числі внутрішніх уражень.

4.2Заходи з поліпшення умов праці

У таблиці 4.2 наведені заходи щодо усунення шкідливих та небезпечних факторів виробничого середовища.

Таблиця 4.2 – Технічні міри захисту виробничого середовища

№ п/п	Небезпечний або шкідливий фактор виробничого середовища	Захисний пристрій	Тип пристрою	Параметри пристрою	Місце установки
1	Запилованість	Витяжна вентиляція	КЗ 3	7800 м³/год	У місцях утворення пилу
2	Запиленість	Респіратор ЗІЗОД	ШБ-1М	≤10 мг/м^3	Індивідуально
3	Шум	Навушники протишумові, біруші	Одноразові	Придатний до 110 дБА	Індивідуально
4	Температура -холодний період -теплий період	Утеплена куртка, ватяні брюки Костюм х/б рукавиці	Тн 20 Ти 15	t≥–20°С t≥15°С	Індивідуально
5	Шкідливі хімічні речовини	Теж, що й при запиленості + костюм х/б, рукавиці	Пм	≤12 мг/м^3	Індивідуально

Всі працівники цеху безкоштовно забезпечені спецодягом, спецвзуттям і засобами індивідуального захисту.

При відсутності засобів захисту наведених вище шкідливості спричиняють появу окремих ознак профзахворювань (глухота, підвищений тиск), а також спричиняють росту патологій з короткочасною втратою працездатності (теплові удари).

4.3Технічні рішення по гігієні праці і виробничій санітарії

4.3.1 Мікроклімат

Забезпечення безпечних і комфортних умов праці в гарячих цехах металургійного виробництва неможливе без ефективно функціонуючої системи вентиляції. Вентиляція — це комплекс інженерних заходів і технічних засобів,

призначених для підтримання нормативних параметрів повітряного середовища: температури, вологості, чистоти та швидкості повітряного потоку в зоні дихання працівників.

Залежно від способу переміщення повітря вентиляція класифікується на:

- природну — коли повітрообмін відбувається за рахунок різниці температур та тисків;
- механічну (примусову) — із використанням вентиляторів, повітроводів і спеціальних витяжних систем.

У приміщеннях прокатного цеху одночасно застосовуються обидва типи вентиляції. Основне технологічне обладнання (насамперед зони нагрівання металу) оснащується локальними витяжними системами, що включають витяжні зонти, розташовані над джерелами тепла та пилу. Ці зонти з'єднані через систему повітроводів із агрегатами газо- та пилоочищення. Такий підхід дозволяє значно знизити концентрацію шкідливих речовин і запобігти осіданню пилу на робочих поверхнях і у зоні перебування персоналу.

Доповненням до витяжної вентиляції є природний повітрообмін, який забезпечується через ліхтарі на даху виробничого корпусу та жалюзійні решітки у верхній частині стін. Така конструкція дає змогу ефективно відводити тепле і забруднене повітря з робочого простору, особливо у літній період.

Система опалення цехових і побутових приміщень реалізована через панельні радіатори, до яких подається пара з локальної теплоенергетичної установки. Це дає змогу підтримувати температуру у санітарно припустимих межах у холодну пору року.

З метою покращення умов праці на окремих дільницях, де концентрація шкідливих речовин або температура істотно перевищують середні показники по цеху, передбачено встановлення місцевих вентиляційних систем. Це дозволяє забезпечити відповідність вимогам державних норм і санітарних правил (БНіП, ДСН).

Відповідно до ДСН 3.3.6.042-99, для робіт середньої важкості (категорія IIб) у теплий період року встановлено наступні нормативні параметри мікроклімату:

- температура повітря — 15…27 °C;
- відносна вологість — до 70% (при t = 25 °C);
- швидкість руху повітря — від 0,2 до 0,5 м/с.

Підтримання оптимального мікроклімату в межах наведених нормативів є необхідною умовою збереження працездатності персоналу, запобігання перегріванню організму та зниження ризику професійних захворювань.

4.3.2 Система вентиляції та мікрокліматичні умови в умовах прокатного виробництва

Формування безпечного та сприятливого повітряного середовища у гарячих цехах металургійної галузі є ключовим елементом охорони праці. Досягнення нормативного мікроклімату забезпечується через впровадження організаційно-технічних рішень — систем вентиляції, що підтримують допустимі значення температури, вологості, швидкості руху повітря та його чистоту у робочих зонах.

Вентиляційні системи поділяються за принципом руху повітря на:

- природні — функціонують за рахунок природних чинників: градієнтів температури, тиску та вітрового напору;
- механічні — вимагають застосування вентиляторних агрегатів, повітроводів, фільтрувального обладнання та пристроїв для керованого повітрообміну.

У прокатному виробництві, зокрема в гарячих цехах, як правило, реалізується комбінований варіант вентиляції. Основні вузли тепловиділення, такі як печі та агрегати термообробки, оснащуються локальними витяжними пристроями, які безпосередньо вловлюють дим, пил, гази та теплові потоки. Над технологічним обладнанням розташовуються витяжні зонти, пов’язані системою

повітропроводів з фільтраційними установками та установками очищення газоповітряної суміші.

Паралельно функціонує природна вентиляція, яка реалізується через дахові світлові ліхтарі, жалюзійні отвори та аераційні пристрої, що сприяють виведенню перегрітого та забрудненого повітря, особливо у літній період. Така організація повітрообміну дозволяє зменшити концентрацію шкідливих викидів у повітрі робочої зони без надмірних витрат енергії.

Опалення виробничих і допоміжних приміщень здійснюється за допомогою панельних батарей, до яких подається пара від централізованої теплопостачальної системи цеху. Це дозволяє підтримувати стабільні температурні показники у зимовий період.

У найбільш навантажених ділянках, де вміст шкідливих речовин, температура чи запиленість повітря мають підвищені показники, встановлюються індивідуальні вентиляційні установки, які забезпечують покращене очищення повітря та сприяють приведенню умов праці до вимог чинних нормативів — зокрема ДБН, БНіП, ДСН.

Згідно з нормативом ДСН 3.3.6.042-99, для робіт категорії IIб (середньої фізичної важкості) у теплий сезон року рекомендовані наступні параметри мікроклімату:

- температура повітря — від 15 до 27 °C;
- відносна вологість — до 70% при t = 25 °C;
- швидкість повітряного потоку — від 0,2 до 0,5 м/с.

Контроль і підтримка вказаних параметрів є важливою умовою збереження здоров'я працівників, підвищення ефективності праці та мінімізації ризиків теплового навантаження на організм. Невідповідність мікроклімату може призводити до теплових ударів, перегрівання, зниження працездатності й виникнення професійних захворювань.

4.3.3 Виробничий шум і вібрація

Шум у виробничому середовищі має різну природу походження та за певних умов може становити серйозну загрозу для здоров'я працівників. За фізичними характеристиками та механізмом виникнення, шум поділяється на такі основні типи:

- Механічний шум — утворюється внаслідок взаємодії та тертя між деталями механізмів під час холостого або робочого ходу. Він характерний для більшості машин і агрегатів, особливо при зношенні вузлів;
- Аерогідродинамічний шум — з'являється в процесі руху потоків повітря, газу чи рідини на великих швидкостях. Його часто фіксують у компресорах, вентиляторах, турбінах, а також у трубопроводах;
- Імпульсний шум — виникає при ударах, зіткненнях твердих тіл або роботі ударних механізмів (наприклад, пресів або молотів);
- Термічний шум — спричинений процесами горіння газоподібного палива у пальникових пристроях, форсунках та інших теплотехнічних установках.

Тривалий вплив шуму, особливо високої інтенсивності, негативно впливає на організм людини. Найбільш поширеним наслідком є зниження слуху, що при тривалій дії може перерости у професійну приглухуватість або глухоту. Шум також є фактором загального несприятливого впливу на центральну нервову систему: як потужний подразник, що постійно аналізується корою головного мозку, він призводить до хронічного нервового перенапруження, порушення сну, втомлюваності та збоїв у роботі внутрішніх органів.

Для зниження рівня шуму на виробництві застосовуються як конструктивні, так і організаційно-технічні заходи. Основні з них включають:

- Мінімізація ударних взаємодій: заміна жорстких механічних контактів на безударні, а зворотно-поступальних рухів — на обертальні, що знижує імпульсний шум;
- Демпфування коливань: зменшення вібрацій та коливань шляхом введення пружних прокладок або з'єднань з високим внутрішнім тертям. Для цього

використовуються матеріали, які ефективно поглинають енергію коливань — гумові, азбестові, коркові, полімерні прокладки;

- Облицювання корпусних деталей: з метою зменшення вібраційного та структурного шуму, поверхні агрегатів облицьовуються звукопоглинаючими матеріалами. Це знижує вторинне випромінювання шуму;
- Використання шумоглушників і захисних кожухів: на джерелах з високим рівнем шуму встановлюються індивідуальні звукоізоляційні пристрої;
- Дотримання норм і стандартів: при проєктуванні та експлуатації обладнання враховуються вимоги ДСТУ 12.1.029–80 (ССБП) та інших нормативних документів з охорони праці щодо допустимих рівнів шуму у виробничих приміщеннях.

Комплексне застосування зазначених заходів дозволяє значно зменшити шкідливий вплив шуму, підвищити комфортність робочих місць і запобігти професійним захворюванням, пов'язаним з акустичним навантаженням.

- 4.4 Техногенна безпека

4.4.1. Засоби пожежної безпеки

– Відповідно до класифікації за рівнем пожежної небезпеки, виробничий цех віднесено до категорії Г, що відповідає об'єктам, де зберігаються або обробляються негорючі речовини у розігрітому стані (наприклад, метал у процесі гарячої обробки).

– Адміністративно-побутова частина цеху має III ступінь вогнестійкості відповідно до ДБН В.1.1-7:2002. Це означає, що її конструктивні елементи (стіни, перегородки, перекриття, покриття) виготовлені з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону чи залізобетону, із застосуванням негорючих плитних або листових облицювань.

– Інші функціональні зони виробництва мають наступні категорії пожежної небезпеки:

– Трансформаторні камери – категорія В, яка включає об’єкти, де є горючі рідини, мастила та їхні пари, здатні утворювати вибухопожежонебезпечні середовища.

– Шихтове відділення та склад готової продукції – категорія Д, що передбачає зберігання або використання негорючих матеріалів у холодному стані.

– Межі вогнестійкості основних будівельних елементів:

– Конструктивний елемент	– Межа вогнестійкості
– Несучі стіни, сходові клітки	– 1 година
– Самонесучі стіни	– 0,5 години
– Зовнішні несучі конструкції	– 0,25 години
– Внутрішні несучі конструкції	– 0,25 години
– Колони	– 1 година
– Сходові майданчики, марші, балки	– 0,5 години
– Плити перекриття, настили	– 0,75 години

– Первинні засоби пожежогасіння

– Для оперативного реагування на можливі загоряння цех укомплектований такими первинними засобами:

– Вогнегасники:

– порошкові ВП-10 — 5 шт.;

– вуглекислотні ВВ-2 — 14 шт.;

– вуглекислотні переносні ВВП-1Д — 8 шт.;

– Пожежний інвентар:

– покривала з негорючого теплоізоляційного полотна;

– ящики з піском, ємності з водою;

– пожежні відра, совкові лопати, багри, сокири, ломи тощо.

– Цех обладнаний внутрішнім протипожежним водопроводом, який включає пожежні крани з рукавами, розташовані на визначених постах

відповідно до нормативів.

– Обмеження та заборони з пожежної безпеки

– На території цеху встановлено жорсткі вимоги до дотримання протипожежного режиму, а саме:

– Забороняється захаращувати або блокувати під'їзні шляхи, проходи до будівель, гідрантів і пожежних джерел водопостачання;

– Заборонено виводити з експлуатації ділянки водопровідної мережі або знижувати тиск у системі;

– Заборонено допускати до виконання вогневих робіт працівників, які не пройшли інструктаж з пожежно-технічного мінімуму;

– Суворо заборонено використовувати протипожежне обладнання не за призначенням, зокрема воду з пожежних ємностей для побутових потреб;

– Не допускається застосування відкритого полум'я при обслуговуванні обладнання або комунікацій.

4.4.2. Заходи, спрямовані на ліквідацію надзвичайних ситуацій

У процесі експлуатації технологічного обладнання та під час проведення ремонтних робіт у цеху можуть виникати небезпечні та аварійні ситуації, пов'язані з особливостями технологічного процесу, високотемпературними режимами та наявністю вибухо- і пожежонебезпечних речовин.

Ремонтні роботи часто проводяться у безпосередній близькості до діючих агрегатів, зокрема плавильних печей, що вимагає ретельної організації і обов'язкового включення заходів з безпеки у план ремонту.

Роботи в потенційно небезпечних умовах проводяться щонайменше двома працівниками. Для попередження несанкціонованого запуску обладнання застосовується біркова система блокування, яка охоплює ключі-бірки до електрообладнання, плавильних печей, приводів транспортерів, кранів тощо.

Для забезпечення готовності до надзвичайних ситуацій на підприємстві впроваджено План ліквідації аварій та аварійних ситуацій (ПЛА/ПЛАС), який охоплює усі можливі типи надзвичайних подій, зокрема:

- відключення електропостачання або вентиляції;
- порушення режимів роботи агрегатів;
- загоряння внаслідок витоку газу чи впливу блискавки;
- припинення подачі енергоносіїв (газ, вода, пара);
- вибухи пилу або газів, викиди розплаву, пожежі.

Особливо небезпечними вважаються ситуації, пов'язані з:

- розривом газопроводу;
- виплесками рідкого металу;
- наявністю вибухонебезпечного пилу та феросплавного газу;
- вибухонебезпечними компонентами шихти, зокрема коксом.

Одна позиція у ПЛА може охоплювати кілька виробничих дільниць у разі однакових маршрутів евакуації, однак для вибухів і пожеж передбачаються окремі заходи з ліквідації.

4.5 Інженерний розрахунок природної вентиляції приміщення цеху

Для створення допустимого мікроклімату цеху ,особливо влітку, необхідно використання витяжної вентиляції : механічної або природної. Враховуючи наявність в цеху місцевої витяжки у місцях шкідливих викидів газу і пилу з використанням системи газоочищення, теплові викиди мають незначне забруднення. Виникає можливість більш ефективно використати природну вентиляцію, що не потребує дорогих енерговитрат і обладнання. Природна вентиляція (аерація) це організований і регульований повітрообмін. Для аерації в цеху влаштовані три ряди отворів у поздовжніх стінах будівлі: перший ряд – на рівні 1м від підлоги, другий – 4,2м і третій – на рівні підкранових балок. Таке розміщення отворів дозволяє збільшити повітрообмін улітку, а взимку, закривши нижні прорізи, зменшити його й забезпечити за рахунок тепла приміщення

підігрів холодного повітря перше, ніж воно дійде до робочих місць. На даху влаштований витяжний аераційний ліхтар з кутом відкриття стулок 80^0. При розрахунку загального повітрообміну на теплий період року (як самого несприятливого для аерації) переважною шкідливістю в цеху є надлишки явної теплоти.

Кількість необхідного припливного повітря, $м^3$/год.:

$$L_{пр} = \frac{Q_я - C_в(t_{рз} - t_{пр})}{C_в(t_{ух} - t_{пр})} + L_{мо}, \quad (4.1)$$

де $Q_л$ – надлишки явної теплоти в приміщенні цеху, кВт;

$L_{мо}$ – кількість повітря, що видаляє з робочої зони місцевю витяжкою, $м^3$/с;

$C_в$ – теплоємність повітря ($C_у$ = 1,005 кДж/($м^3$ ·°С));

$t_{рз}$ – температура робочої зони, °С;

$t_{пр}$ – температура припливного повітря, °С (для теплого періоду дорівнює температурі зовнішнього повітря);

$t_{ух}$ – температура повітря, що видаляється з верхньої зони приміщення, °С.

Температуру повітря, що видаляється, $t_{ух}$ визначаємо за формулою:

$$t_{ух} = \frac{t_{рз} - (1-m)t_{пр}}{m}, \quad (4.2)$$

де m – коефіцієнт, обумовлений залежно від відношення площі, займаної тепловиділяючим устаткуванням до площі приміщення цеху (приймаємо рівним 0,6).

$$t_{ух} = \frac{t_{рз} - (1-m)t_{пр}}{m} = \frac{32 - (1-0{,}6)\cdot 20}{0{,}6} = 40^{\circ}\text{C}$$

Надлишки явної теплоти в приміщенні цеху складаються з тепловиділень від рідкого феросплаву і шлаку, що виходить з печі та остигає на повітрі. Тепловиділення, кВт:

$$Q_1 = N_y \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4, \quad (4.3)$$

де Ny – номінальна потужність устаткування, кВт;

k_1 ,k_2, k_3, k_4 – відповідно, коефіцієнти використання настановної потужності (0,7–0,9); завантаження устаткування (0,9); одночасності роботи встаткування (1,0); переходу тепла в приміщення (0,1–0,7).

$$Q_1 = 2500 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}9 \cdot 1{,}0 \cdot 0{,}5 = 900 \text{ кВт}$$

Тепловиділення від металу, що остигає, кВт:

$$Q_2 = \frac{G_м}{3600} \cdot C_м \cdot (t_н - t_к),$$

де $G_м$ – годинна продуктивність цеху, кг/год.;

См – теплоємність сплаву при середній температурі, кдж/кг,°С;

$t_п$ й $t_к$ – відповідно початкова й кінцева температура зливків, що остигають, °С.

$$Q_2 = 3500/3600 \cdot 0{,}425(1450–1200) = 103{,}3 \text{ кВт}$$

Кількість теплоти вступник у приміщення від сонячної радіації, кВт:

$$Q_3 = g_{ост} \cdot F_{ост} \cdot A_{ост} \cdot 10^{-3},$$

де $g_{ост}$ – величина радіації через 1м^2 заскленої поверхні (приймаємо рівної 83 Вт/м^2);

$F_{ост}$ – площа поверхні скла, м^2;

$A_{ост}$ – коефіцієнт, що залежить від характеристики скла (приймаємо рівним 0,8);

$$Q_З = 83 \cdot 100 \cdot 0{,}8 \cdot 10^{-3} = 7 \text{ кВт}$$

Загальна кількість теплоти Q, кВт:

$$Q_\Sigma = 900 + 103{,}3 + 7 = 1010 \text{ кВт}$$

Кількість припливного повітря

$$L_{пр} = \frac{1010 - 1{,}005(32-22)}{1{,}005(40-22)} + 1{,}2 = 50{,}8 \text{ м}^3/\text{с}$$

Для оптимальної роботи на робочих місцях необхідно здійснювати приплив холодного повітря в розмірі 50,8 м^3/с .

Розрахунок площі припливних $F_{пр}$ і витяжних $F_{вит}$ прорізів приміщення цеху, м^2:

$$F_{пр} = G/\mu_1 \cdot \sqrt{2gh_{пр}\rho_{уд}(\rho_н - \rho_{уд})}, \quad (4.4)$$

$$F_{вид} = G/\mu_2 \cdot \sqrt{2gh_{вит}\rho_{уд}(\rho_н - \rho_{уд})}, \quad (4.5)$$

де μ_1, μ_2 – коефіцієнти втрат, які приймаються μ_1=0,56; μ_2=0,57.

$h_{пр}$, $h_в$ – відстань від нейтральної зони до центрів відносно припливних і витяжних прорізів, м:

$$h_{пр} = H_1 - h_в, \quad (4.6)$$

$$h_в = H_1/(0{,}64 \ \rho_в/\rho_з + 1), \quad (4.7)$$

$$h_в = 8/(0{,}64 \ 1{,}33/1{,}34 + 1) = 4{,}89 \text{ м},$$

де H_1 – відстань по вертикалі між центрами припливних і витяжних прорізів;

$\rho_в, \rho_з$ – щільність повітря, відповідно, що видаляється й поступає, кг/м^3;

$$\rho_в = 1{,}293 + 3{,}7 \cdot 10^{-3} \alpha_B, \quad (4.8)$$

де $\alpha_в$ – коефіцієнт, для теплого періоду року – 10, для холодного – 25;

$$\rho_з = 1{,}293 + 3{,}7 \cdot 10^{-3} \alpha_з \quad (4.9)$$

де $\alpha_н$ – коефіцієнт, для теплого періоду року – 13, для холодного – 28.

$\rho_{уд} = 1{,}293 + 3{,}7 \cdot 10^{-3} \cdot 10 = 1{,}33$, $\rho_н = 1{,}293 + 3{,}7 \cdot 10^{-3} \cdot 13 = 1{,}34$

$$h_{пр} = 8 - 4{,}89 = 3{,}11 \text{ м.}$$

$$F_{пр} = 50{,}8/0{,}56 \cdot \sqrt{2 \cdot 9{,}81 \cdot 3{,}11 \cdot 1{,}33 \cdot (1{,}34 - 1{,}33)} = 100 \text{ м}^2$$

Таким чином

$$F_{вид} = 50{,}8/0{,}57 \cdot \sqrt{2 \cdot 9{,}81 \cdot 4{,}89 \cdot 1{,}33 \cdot (1{,}34 - 1{,}33)} = 89 \text{ м}^2.$$

Згідно розрахунків площа припливних отворів відрізняється від площі витяжних ліхтарів на 11%, що відповідає вимогам інженерних розрахунків природної вентиляції.

Враховуючи обставини, що тепле повітря підіймається догори різко погіршуються умови праці кранових машиністів. В зв'язку з цим пропонується використання додаткової механічної вентиляції на рівні розміщення мостових кранів.

ВИСНОВКИ

1. У бакалаврській дипломній роботі на тему «Удосконалення вузлів регулювання зазору барабанних летючих ножиців в умовах прокатного цеху ПАТ «Запоріжсталь»» було проведено технічний аналіз роботи ножиць, визначено їхні конструктивні недоліки та запропоновано ефективне інженерне рішення для підвищення точності й надійності регулювання зазору між ножами.
2. Аналіз існуючих систем регулювання зазору показав, що традиційні механізми, які використовуються на підприємстві, є застарілими: ручне регулювання за допомогою гайок, шайб і переміщення підшипникових опор призводить до неточностей різання (задирки, сколи), прискореного зносу ножів, простоїв при налаштуванні та підвищених навантажень на привід. Особливо критичною є ситуація при обробці гарячекатаної та холоднокатаної штаби, де стабільність зазору напряму впливає на якість продукції та довговічність обладнання.
3. Запропоновано модернізацію вузла регулювання зазору, яка передбачає впровадження автоматизованої системи на базі сервоелектроприводу, кулькового гвинта (ШВП), блоку цифрового керування, зворотного зв'язку через оптодатчики або лінійні потенціометри та інтеграції в АСУТП підприємства. Основні переваги запропонованої модернізації полчягають у підвищення точності регулювання зазору до ±0,02 мм; скороченны часу на переналагодження ножиць до 5 хвилин; автоматичному встановленны зазору відповідно до параметрів прокату (товщина, марка сталі), зменшення аварійності та навантаження на привод за рахунок контролю зворотного зв'язку та аварійного розтиснення та підвищенню ресурсу ножів за рахунок рівномірного зносу;
4. Запропоноване удосконалення рекомендується до впровадження як практичне рішення з високим рівнем технічної реалізованості, що відповідає сучасним вимогам до автоматизації та безпеки виробництва.

Список використаної літератури

1. Запоріжсталь: офіційний сайт [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zaporizhstal.com/uk-ua/ – Назва з екрана.
2. А.Н.Ірошніков, Летючі ножиці., М., Машгиз, 1950, С.38-41, 48-49.
3. В.Д.Шейнкман і ін. Сучасні напрямки розвитку конструкцій летючих ножиць для різання жерсті. Зб. Наукових праць ВНИИМЕТМАШ. Дослідження і вдосконалення процесів і машин для обробки прокату, М., 1990, с.107-108
4. Гречаний О. М., Васильченко Т., Бадло В. В., Чувальський М. В., Падалка О. О., Пархоменко В. В. Аналіз факторів, що впливають на втомну міцність деталей металургійного обладнання. *Інформаційні технології в металургії та машинобудуванні. ІТММ'2023: тези доповідей міжнародної науково–практичної конференції* Дніпро: УДУНТ, 2023. С. 23–26.
5. Жук А. Я., Желябіна Н. К. Основи розрахунків приводів машин: Навчальний посібник. Запоріжжя: ЗДІА, 1996. 145 с.
6. Півняк Г.Г., Бешта О.С., Фількін М.П. Автоматизований електропривод у прокатному виробництві. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2008. 352с.
7. Погорєлов С. В., Ведмідь Ю. П. Підйомно-транспортні машини: лаб. практикум. Запоріжжя : ЗДІА, 2005. 48 с.
8. Іванченко Ф. К. Конструкція та розрахунок підйомно-транспортних машин. К. : Вища шк., 1988. 424 с.
9. Проценко О.М. Методичні вказівки до розрахунку силових і кінематичних параметрів приводів у курсовому проектуванні. Суми: Сумський державний університет, 2011. 72 с.
10. Гайдамака А.В. Деталі машин. Основи теорії та розрахунків: навчальний посібник. Харків: Харківський політехнічний інститут, 2020.

11. Рудь Ю. С. Основи конструювання машин : підручник. 2-ге вид. Кривий Ріг : ФОП Чернявський Д.О., 2015. 492 с.
12. Технічне обслуговування металургійного обладнання : навч. посіб. / А. Я. Жук та ін. К. : вид. дім "Кондор", 2017. 288 с.
13. 11. Ремонт металургійного обладнання : навч. посіб. / А. Я. Жук та ін. К. : вид. дім "Кондор", 2017. 236 с.
14. Седуш В.Я. Надійність, ремонт і монтаж металургійних машин : Підручник. – 4-е вид.,перероб. І доп. – Донецьк: ТОВ «Юго – Восток, Лтд», 2008. – 379 с.
15. Ковтун Р.М. Складання металоконструкцій: підручник. Київ: Вища освіта, 2006. 560 с. ISBN: 966-8081-59-5
16. Вискребенцев Е.П. Допуски та посадки гладких циліндричних з'єднань у завданнях та прикладах: навч. посіб. Алчевськ: Дон ДТУ, 2005. 214 с. ISBN 966-310-070-2
17. Охорона праці на гірничо–металургійному підприємстві: навч. посібник. Ч.І: Металургійний комплекс. / В.О.Шеремет та ін. Дніпропетровськ: Січ, 2002. 375 с.
18. НПАОП 0.00–4.01–08 Положення про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту [Електронний ресурс] // Державний комітет України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду. – 2008. – Режим доступу до ресурсу: http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc–page?id_doc=28566.
19. ДСН 3.3.6.042–99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень
20. ДБН В.2.5–28–2006. Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення [Електронний ресурс] // Мінбуд України. – 2006. – Режим доступу до ресурсу: http://www.gorsvet.kiev.ua/wp–content/uploads/2016/08/ДБН–В.2.5–28–2006.pdf.

21. Правила улаштування електроустановок. URL: https://mev.gov.ua/storinka/pravyla–ulashtuvannya–elektroustanovok (дата звернення: 03.10.2023).

22. ДБН В.1.1–7:2016.Пожежна безпека об'єктів будівництва Загальні вимоги [Електронний ресурс] // Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово–комунального господарства України. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: http://kbu.org.ua/assets/app/documents/dbn2/32.1.%20ДБН%20В.1.1–7~2016.%20Пожежна%20безпека%20об’єктів%20будівни.pdf.

23. Ткачук К. Н. Охорона праці та промислова безпека. Навч.посіб. / К. Н. Ткачук. та ін. – К: Основа, 2009. – 360 с.

24. Румянцев В. Р. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці та техногенна безпека» у дипломних роботах (проектах) для студентів ЗДІА спеціальностей МЧМ, МБ та інші / В. Р. Румянцев, І. О. Ткаліч. – Запоріжжя: ЗДІА, 2012. – 16 с.

ДОДАТКИ