

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 МАГІСТРА

На тему Аналіз режимів роботи та удосконалення конструкції мостового крана ділянки зливкоподачі обтискного стану

Виконав: магістрант групи 8.1332

Кульчицький М.В.

(ПІБ)

(підпис)

спеціальності

133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма

133.00.12 Металургійне обладнання

(шифр і назва)

Керівник Гречаний О.М.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Н. контроль

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Запоріжжя – 2023 року

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

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

Кафедра металургійного обладнання

Рівень вищої освіти магістр

(другий (магістерський) рівень)

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва)

Спеціалізація _____

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма 133.00.12 Металургійне обладнання

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедрою А.О. Власов

“ _____ ” _____ 20__ року

Завдання

до випускної кваліфікаційної роботи магістра

Кульчицького Максима Васильовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема магістерської роботи: Аналіз режимів роботи та удосконалення конструкції мостового крана ділянки зливкоподачі обтискного стану керівник магістерської роботи Ph.D., ст.викладач Гречаний О.М., затверджені наказом вищого навчального закладу від від “09” жовтня 2023 року № 1581-с.
2. Строк подання студентом магістерської роботи 07 грудня 2023 року.
3. Вихідні дані магістерської роботи техніко-економічні показники роботи прокатного цеху
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Огляд науково-технічних рішень підвищення надійності підйомно-транспортного обладнання цеху гарячої прокатки та обґрунтування обраного напрямку роботи; 2. Розрахункова частина; 3. Дослідно-експериментальна частина; 4. Охорона праці та техногенна безпека в галузі. Загальні висновки та рекомендації
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 1. Візок кліщового крана – 2А1; 2. Вузол приводного ходового колеса – 1А2; 3. Вузол холостого ходового колеса – 1А2; 4. Визначення частот та амплітуди вільних коливань табличним методом Толле – 1А1 5. Визначення частот вільних коливань – 1А1; 6. Зменшення теплових випроміненнь для кабіни керування – 1А1.

6. Консультанти розділів магістерської роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Гречаний О.М., Ph.D., ст.викладач		
2	Гречаний О.М., Ph.D., ст.викладач		
3	Гречаний О.М., Ph.D., ст.викладач		
4	Гречаний О.М., Ph.D., ст.викладач		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів магістерської роботи	Примітки
1	Збір матеріалу на проєктування	29.05.2023 – 25.06.2023	
2	Групування та аналіз зібраного матеріалу. Уточнення завдань проєктування	01.09.2023 – 17.09.2023	
3	Виконання теоретичної частини проєкту	18.09.2023 – 18.10.2023	
4	Виконання графічної частини проєкту	19.10.2023 – 19.11.2023	
5	Написання та оформлення пояснювальної записки	20.11.2023 – 30.11.2023	
6	Перевірка проєкту консультантами	01.12.2023 – 03.12.2023	
7	Попередній захист проєкту	04.12.2023	
8	Переплітання пояснювальної записки	Згідно з графіком	
9	Захист проєкту у ДЕК	Згідно з графіком	

Студент _____
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник магістерської роботи _____
 (підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кульчицький М.В. Аналіз режимів роботи та удосконалення конструкції мостового крана ділянки зливкоподачі обтискного стану.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальність 133 – Галузеве машинобудування, науковий керівник О.М. Гречаний. Запорізький національний університет, інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні, кафедра металургійного обладнання, 2023.

Проаналізовані наявні технічні рішення спрямовані на підвищення надійності вузлів мостових кліщових кранів. Запропонований варіант модернізації приводу переміщення мостового крана. Проведено аналіз методів наближеного визначення частот вільних коливань багатомасових крутильних систем. Розроблено методику визначення частот та амплітуди вільних коливань візка крана з урахуванням динамічних навантажень у пружних елементах.

Ключові слова: МОСТОВИЙ КРАН, ЗЛИВОК, АМПЛІТУДА, ЧАСТОТА

ABSTRACT

Kulchytskyi M.V. Analysis of Operating Modes and Improvement of the Design of the Overhead Crane of the Ingot Feeding Section of the Swaging Mill.

Qualification final work for obtaining a higher education degree of a master's degree in specialty 133 - Industrial engineering, scientific adviser O.M. Hrechanyi. Zaporizhzhia National University, Engineering Educational and Scientific Institute them. Yu.M. Potebni, Department of Metallurgical Equipment, 2023.

The analyzed available technical solutions are aimed at increasing the reliability of the nodes of overhead cranes. The proposed option of modernization of the bridge crane movement drive. An analysis of the methods of approximate determination of the frequencies of free oscillations of multi-mass torsional systems was carried out. A technique for determining the frequencies and amplitudes of free vibrations of the crane trolley, taking into account dynamic loads in elastic elements, has been developed.

Keywords: OVERHEAD CRANE, INGOT, AMPLITUDE, FREQUENCY

Зміст

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ	7
Вступ	8
1 ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПІДЙОМНО-ТРАНСПОРТНОГО ОБЛАДНАННЯ ЦЕХУ ГАРЯЧОЇ ПРОКАТКИ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ОБРАНОГО НАПРЯМКУ РОБОТИ	10
1.1 Вантажопотоки дільниці обтискного стану цеху гарячої прокатки	10
1.2 Аналіз технологічного процесу та місце в ньому підйомно-транспортного обладнання	15
1.2.1 Технологічний процес	15
1.3 Аналіз транспортуючого обладнання цеху	18
1.3 Аналіз підйомно-транспортного обладнання цеху	22
1.4 Огляд технічних рішень спрямованих на модернізацію підйомно-транспортного обладнання металургійного виробництва	25
1.5 Обґрунтування обраного напрямку	32
2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА	37
2.1 Розрахунок потужності електродвигуна привода мостового крана	37
2.2 Основні силові і кінематичні параметри привода пересування мостового крана	40
2.3 Розрахунок деталей на міцність	43
2.3.1 Розрахунок ходового колеса	43
2.3.2 Розрахунок вала ходового колеса	44
2.3.3 Розрахунок осі опорного ролика	52
2.3.4 Перевірка вальниці вала ходових коліс на довговічність	53
2.3.5 Розрахунок елементів з'єднання ходового колеса з валом	54
3 ДОСЛІДНО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	60
3.1 Аналіз робіт направлених на моделювання роботи мостового крану	60
3.2 Методи наближеного визначення частот вільних коливань багатомасових крутильних систем	61

	6
3.3 Вибір канату механізму підйому	64
3.4 Визначення жорсткостей та їх приведення	65
3.5 Визначення частот, амплітуди вільних коливань та динамічної складової навантажень в канаті візка мостового крану	68
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА В ГАЛУЗІ	73
4.1 Виявлення та оцінка шкідливих факторів виробничого середовища	73
4.1.1 Характеристика ступеня безпеки технологічного процесу	73
4.1.2 Аналіз потенційних і шкідливих факторів виробничого середовища	74
Фактори виробничого середовища і трудового процесу	76
Пил переважно фіброгенної дії, мг/м ³	76
Кремнія диоксид кристалічний при вмісті в пылі от 2 до 10%(горючие сланцы, медносульфидные руды и др.)	76
4.2 Заходи захисту від впливу шкідливих факторів виробничого середовища	77
4.3 Технічні рішення по гігієні праці та виробничій санітарії	78
4.3.1 Мікроклімат	79
4.3.2 Природне й штучне освітлення.	80
4.3.3 Виробничий шум, виробнича вібрація	82
4.3.4 Виробничі випромінювання	82
4.4 Техногенна безпека	83
4.4.1 Заходи щодо техніки безпеки при ремонтних роботах на кранах	83
4.4.2 Заходи пожежної безпеки	83
4.4.3 Ймовірність аварій та заходи щодо їх ліквідації	84
4.5 Дослідження можливості зменшення теплових випромінювань	86
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ	89
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	90
СПИСОК ГРАФІЧНОГО МАТЕРІАЛУ	94
ДОДАТКИ	95

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

ТЛС – тонколистовий прокатний стан;

Зливки КП – зливки «киплячої» сталі;

Зливки ПС – зливки «напівспокійної» сталі;

Зливки СП – зливки «спокійної» сталі

ККД – коефіцієнт корисної дії;

ВТК – відділ технічного контролю;

КПО – коефіцієнт природнього освітлення;

БНіП – будівельні норми і правила;

НПАОП – нормативно-правовий акт з охорони праці;

ГДК – гранично допустима концентрація;

ГДР – гранично допустимий рівень;

СН – санітарні норми;

КПО – коефіцієнт природної освітленості;

н.у. – нормальні умови

Вступ

В умовах сучасного металургійного виробництва ключовим фактором успішної діяльності є постійне удосконалення та оптимізація основного та допоміжного обладнання, що приймає участь у технологічному процесі. Від його надійності та безвідмовної роботи залежить не тільки економічна ефективність підприємства, але й безпека робочого процесу.

Мостовий кран на ділянці зливкоподачі обтискного прокатного стану відіграє центральну роль в системі транспортування та подачі зливків для подальшого прокату. Непреривність і стабільність його функціонування на пряму впливають на загальну продуктивність процесу прокатки та якість готової продукції.

Однак довготривале використання морально застарілих конструкцій мостових кранів, а також зміни в технологічному процесі, направлені на підвищення продуктивності всього прокатного комплексу цеху, вимагають не тільки перегляду режимів їхньої роботи, а, як правило, і удосконалення конструкцій.

Тому постає питання аналізу режимів роботи мостового крана на ділянці зливкоподачі обтискного стану, виявити можливі недоліки та запропонувати шляхи їх усунення шляхом удосконалення конструкції крана. Важним аспектом буде ураховано вимоги безпеки, підвищення ефективності роботи крана, зниження його металоємності та продовження терміну служби.

В результаті планується розробити комплекс рекомендацій щодо поліпшення роботи мостового крана, що дозволить підприємству підвищити якість і ефективність процесу прокатки, а також забезпечити високий рівень безпеки на виробництві.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є дослідження роботи мостового клана ділянки зливкоподачі обтискного стану Слябінг 1150 та удосконалення його конструкції.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- виконати аналіз раніше проведених досліджень в питаннях удосконалення конструкції електромостових кранів з метою підвищення їхньої надійності та ефективності роботи;
- визначити навантаження, що діють на конструкції мостового крана, та виконати розрахунок основних його конструктивних елементів;
- виконати аналіз робіт направлених на моделювання роботи мостового крану;
- визначити оптимальний метод наближеного визначення частот вільних коливань багатомасових крутильних систем;
- розробити математичну модель визначення частот, амплітуди вільних коливань та динамічної складової навантажень в канаті візка мостового крану.

Предмет дослідження – конструктивні параметри мостового кліщового крана ділянки зливкоподачі обтискного стану Слябінг 1150.

Об'єкт дослідження – привод підйому злиwkів мостового кліщового крана.

Апробація результатів роботи. Основні положення роботи доповідалися на: Міжнародній науково-практичній конференції Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю.М. Потебні Запорізького національного університету «Перспективи сталого розвитку в умовах глобалізації в економічному, управлінському та інженерному аспектах». Запоріжжя: ЗНУ, 2022 р. Опубліковано тези доповіді.

Структура та обсяг роботи. Магістерська робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг роботи включає 95 сторінок, у тому числі 82 сторінки основного тексту, 16 рисунків, 12 таблиць, 37 найменувань використаних джерел на 4 сторінках, 9 додатків.

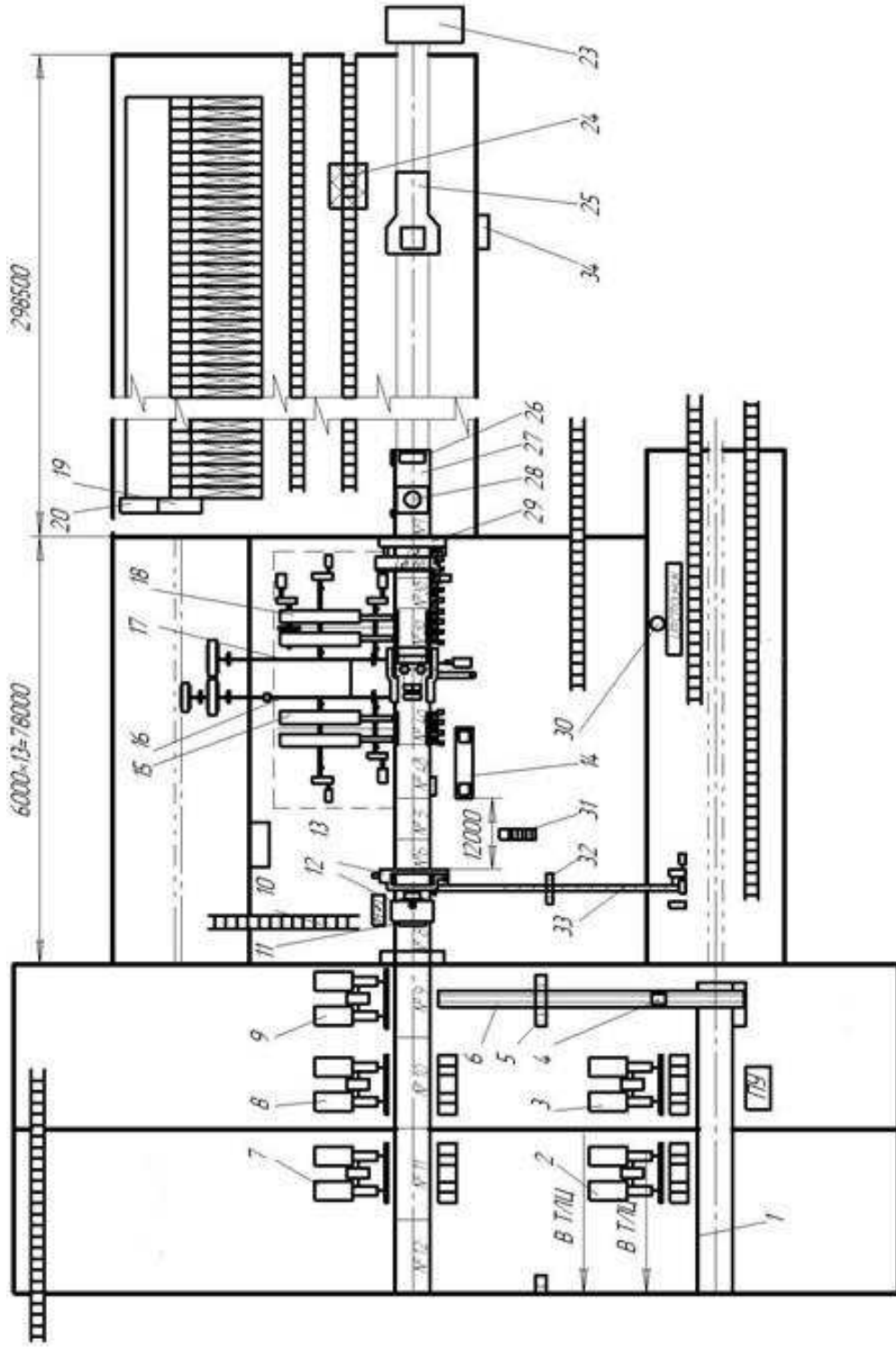
Робота виконана на кафедрі металургійного обладнання, інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю.М. Потебні, Запорізького національного університету.

1 ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПІДЙОМНО-ТРАНСПОРТНОГО ОБЛАДНАННЯ ЦЕХУ ГАРЯЧОЇ ПРОКАТКИ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ОБРАНОГО НАПРЯМКУ РОБОТИ

1.1 Вантажопотоки дільниці обтскного стану цеху гарячої прокатки

Основною продукцією дільниці є напівфабрикати – сляби, які прокатуються на обтскному стані зі зливків з мартенівського цеху Зливки, нагріті до температури прокатки, з колодязів нагрівальних кліщовим краном подаються на зливковоз, який підвозить їх до приймального рольгангу слябінгу і укладає на ролики рольганга (рисунок 1.1). Потім зливки по рольгангу подаються до робочої кліті стану. Після декількох проходів піддається в машину вогневої зачистки, а після всі зливки розрізаються на ножицях на вихідні сляби товщиною від 100 до 200 мм, шириною від 850 до 1500 мм. довжина 1,8 і 4,8, далі обрізь видаляється конвеєром, а сляби прямують до клеймуючої машини, після чого зіштовхувачами вони видаляються в ад'юстаж, або передаються на ділянку гарячої прокатки безпосередньо при прокатуванні транзитом.

Основою високої продуктивності у роботі ланцюжка мартен – слябінг – ТЛС є чітке дотримання графіка “ширина – марка сталі – час”. Безумовне виконання цієї вимоги всіма цехами безперервного ланцюжка забезпечує максимально можливу температуру надходження металу на колодязі цеху слябінг та методичні печі безперервного тонколистового стану, відповідно високу продуктивність нагрівальних пристроїв та прокатних станів, зниження витрати палива, суворе дотримання технології “прокатки по ширинам”, що забезпечує кількість листового прокату. В існуючих умовах діапазон ширин листа прокатується на безперервному тонколистовому стані 1680 від 710 до 1500 мм. Портфель замовлень містить 70 - 80 ширин [1].



1 – верхній пічний рольганг, 2, 3, 7, 8 - зіштовхувач, 4 – підйомно – поворотний стіл, 5, 10, 29, 32 - перехідні сходи, 6 - похилий транспортер, 9 - товкач похилого транспортера, 11 - роганг, що гойдається, 12 - пересувний рольганг, 13 – ножиці 2000, 14 - стелаж для вертикальних валків, 15 - маніпулятор за станом, 16 - привод горизонтальних валків стану, 17- привод вертикальних валків тстану, 18 - маніпулятор з кантувачем, 19 – диспетчерська, 20 - буфет, 21 - лебідка стаціонарна, 22 - зливковоз запасний, 23 - платформа пересувна, 24 - місце встановлення вагона з редукторами зливковозу, 25 - зливковоз на ремонтній рамі, 26 - перекидач стаціонарний, 27 - приймальний рольганг, 28 - поворотний стіл, 30 - акумулятор масляний, 31 - вихід у маслопідвал, 33 - конвеєр обрізи, 34 - приміщення насосної установки для ремонту злигковозу

Рисунок 1.1 – План обгискної ділянки

Необхідно відзначити, що близькі за ширинами замовлення (906 і 908 мм; 1025 і 1020 мм) не укрупнюються, через що на перебудови ТЛС щодобово втрачається 300 - 500 т листового прокату. Такий діапазон ширин вимагає відповідного діапазону розмірів злитків. Нині у роботі перебувають типи злитків, що наведені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Асортимент прокатуємих злитків

Тип Виливниця.	Перетин зливка (більше), мм	Виливниця		Зливки КП та ПС		Зливки СП		Ширини, що прокочуються мм
		Висота мм	Вага т	Висота мм	Вага т	Висота мм	Вага т	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
13	640x1480	2200	15,0	2000	12,5	2900	16,6	1420 – 1300
14	640x1600	2200	16,1	2000	14,3	2900	17,8	1520 – 1430
15	780x1000	2400	15,1	2200	11,2	3100	14,8	940 – 730
16	780x1170	2400	18,1	2200	13,2	3100	17,6	1110 – 950
17	780x1330	2400	20,5	2200	15,1	3100	19,9	1270 – 1120
18	780x1500	2400	21,2	2200	16,9	-	-	1520 – 1430

Примітка: висота злитків спокійних марок сталей загальна (кюммель + тіло зливка + прибуток), мм .

Будується подекадне планування роботи безперервного ланцюжка мартен - слябінг - ТЛС і робота кожного цеху, окремо починаючи від підготовки складів з виливницями відповідних типів (ширин) і закінчуючи посадкою в печі тонколистового стану слябів відповідних ширин не тільки в розрізі доби, а й головне зміни.

Місячний портфель замовлень листового прокату розбивається за ширинами та марками сталей на декади. Виробничий відділ заводу контролює завантаження замовлень за ширинами та марками сталей, і, знаючи обсяг завантаження в тій чи іншій ширині листа, плануємо добову роботу цехів мартенівського, слябінгу, тонколистового на необхідних ширинах виливниць (зливків). У існуючих умовах за нормальної організації роботи планується доби протягом декади наступна виплавка сталі за типами виливниць і прокат слябів і листа по ширинам таблиця 1.2.

Таблиця 1.2 –виплавка сталі за типами виливниць та прокату слябів

Дні декади	Типи виливниць, №	Прокат . ширини ,м м
3 дні декади	19 (14); 18 (13)	1500 – 1300
3 дні декади	17 (12)	1280 – 1120
4 дні декади	16 (10); 15 (9); 8	1070 – 710

Після 10 діб (перевалки опорних валків ТЛЦ) цикл повторюється. Щодня в мартенівському цеху за участю начальника виробничого відділу, начальника мартенівського цеху, завідувачами виробничо-розпорядчого бюро тонколистового цеху та цеху слябінг складається графік виплавки сталі мартенівським цехом, в якому вказується кількість плавок, що випускаються, марок сталі, типи зливків, час випуску та призначення (комплексний графік) на наступну добу. Виробничим відділом розподіляються обсяги металу по цехах (на товарні сляби – цеху слябінг; на гарячекатаний лист – ТЛС № підкат для холоднокатаного листа та підкат для жерсті – ЦХП). Комплексний графік затверджується начальником виробничого відділу заводу. Відповідно до комплексного графіка складаються графіки прокату за ширинами, часом і марками сталей в цеху слябінг і тонколистовому цеху, причому в тонколистовому цеху складається позмінний з обов'язковим зменшенням ширин листа (згідно з технологією)

від початку до кінця зміни (перевалка вироблених робочих валків стану звичайна через 8 годин на початку зміни). Для забезпечення максимальної продуктивності та якісного прокату листа на безперервному тонколистовому стані 1680”необхідно, щоб у печі тонколистового стану потрапили сляби "транзитом" або "гарячим всадом " (з температурою 600 - 900 ° C) заданої ширини і марки сталі за часом. Для цього необхідно:

1) щоб кожна плавка в мартенівському цеху була зроблена в строго заданий за графіком час у відповідний тип виливниці та заданої марки сталі;

2) щоб розлита плавка була вчасно роздягнута у стриперному відділенні та за графіком була поставлена під посадку у проліт колодязів слябінгу (впливає на температуру гарячого всаду злитків);

3) щоб плавка без затримок була посаджена в нагрівальні колодязі та видана після нагрівання в прокат за часом відповідно до графіка видачі; 4) щоб після прокату плавки на слябінгу вона потрапила по ширині відповідно до ширини металу, що подається в цей час, в печі тонколистового стану і була передана "транзитом" (по похилому конвеєру).

При недотриманні одного з цих численних факторів комплексного графіка марка сталі – ширина – час, наприклад: випуск плавки раніше чи пізніше графіка, випуск іншої марки сталі або в інший тип виливниць, затримка у стриперному відділенні, випуск одночасно кількох плавок (“купчастість випуску”). Нагрів металу пізніше графіка та інші фактори, знижують продуктивність дільниці слябінг, "гарячий" метал лягає на склад слябів, а зі складу слябінг піднімається краном "холодний" метал. При цьому на добу на складі слябів кранами перекладається до 20000 тонн слябів під час посадки в печі ТЛЩ необхідного по ширині металу. Через посадку "холодного" металу різко знижується продуктивність тонколистового стану. Крім того, внаслідок порушення технології прокатки по ширинах, потрібна велика кількість перебудов з однієї ширини на іншу, а з іншого боку призводить до посиленого зношування валків та збільшення 2-х сортів та беззамовного листа . Спостереження за роботою стану показали, що кількість перебудов сягає 105 разів на добу. Тривалість однієї

перебудови 1,3 - 2,5 хвилини, а отже за добу на одних перебудовах втрачається 1,3 - 2,5 години або 600 - 100 тонн виробництва. Половина цієї кількості перебудов відноситься до перебудов за ширинами [2].

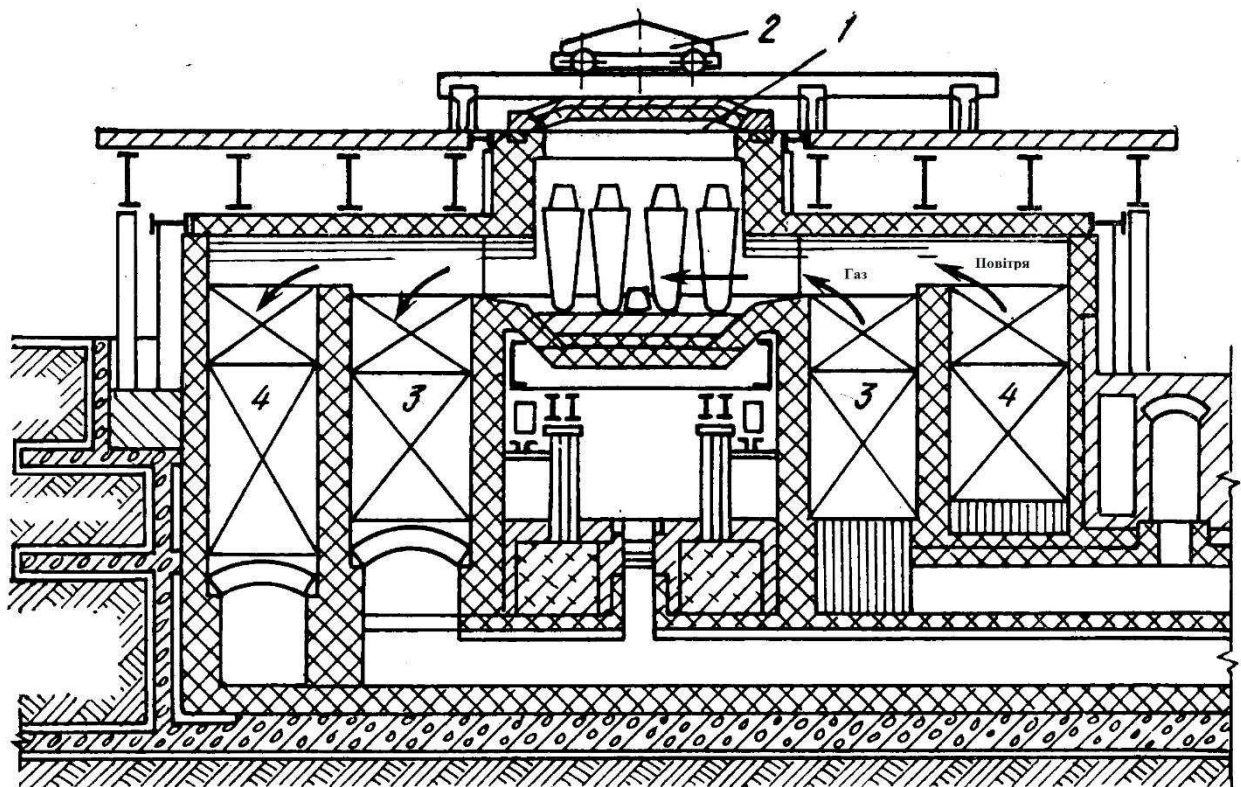
Для забезпечення високопродуктивної ритмічної роботи цехів безперервного ланцюжка мартен – слябінг – ТЛС та обов'язкового дотримання технології прокатки “за ширинами”. Можливе лише рішення, що усуває всі зазначені недоліки, - встановлення нових станин горизонтальної та вертикальної клітей стану “слябінг”, що забезпечують максимальний розчин горизонтальних валків – 1600мм та можливість прокатки злитків “на ребро” з 2-х – 3-х типів злитків для всього діапазону ширин 1500 – 700мм [3].

1.2 Аналіз технологічного процесу та місце в ньому підйомно-транспортного обладнання

1.2.1 Технологічний процес

Згідно з технологічною схемою виробництва, дільниця обтискного стану “Слябінг 1150” забезпечується зливками з мартенівського цеху через стриперне відділення, в якому зливки звільняються від виливниць та в гарячому стані з температурою 800 – 1060 °С у проліт нагрівальних колодязів дільниці. Крім того, за кооперативними постачаннями із ПрАТ “Дніпроспецсталь” надходять зливки легованих та нержавіючих марок сталей з температурою не менше 800 °С у кількості 5 – 10% від загального виробництва, а також холодні зливки зі складів мартенівського та дільничого цеху. Зливки, що надійшли ешелонам, знімаються з візків мостовими кранами колодязевого типу і садяться в камери колодязів для підігріву (рис.1.2). Три групи колодязів спеціалізовані для нагрівання легованих та нержавіючих марок сталей. Продуктивність однієї групи колодязів 55 – 60 т/годину. Тривалість нагрівання залежить від марки сталі та від температури посада.

Управління процесом нагрівання здійснюється індивідуально для кожної камери. У камери автоматично надходить необхідна кількість тепла за заздалегідь заданим графіком до готовності злитків до прокатки. Це досягається застосуванням приладів, що автоматично діють. Злитки, підігріті до температури 1360 - 1380 °С, виймаються з колодязів і встановлюються на злитковозкліщовими кранами, який транспортує їх до приймального рольгангу.



1 - кришка, 2 - механізм для переміщення кришки, 3 - газовий регенератор, 4 - повітряний регенератор

Рисунок 1.2 - Регенеративні нагрівальні колодязі

Для розвороту зливків на 180° у горизонтальній площині з метою подальшого його напрямку до стану не “прибутковою” частиною використовують або стаціонарний перекидач або поворотний стіл.

Пройшовши приймальний рольганг, зливоч подається на допоміжний рольганг і надходить у валки робочої кліти стану для обтиснення до необхідних розмірів. Число пропусків зливка між горизонтальними і вертикальними валками робочої кліти залежить від їх ваги і сортаменту слябів, що прокочуються. У процесі прокатки направлення злиwkів у валки здійснюється лінійками маніпулятора, встановленими над робочими рольгангами перед та за станом. Зазвичай прокатка слябів виконується пласкою стороною, і вертикальні валки служать лише для зняття розширення і великих обтискань ними не виконують. При прокатці злиwkів на сляби зі спеціальних марок сталей, для рівномірного розподілу обтискань по перерізу зливка та скидання окалини з верхньої поверхні злиwkів, проводиться кантування злитків на 180° кантувачем. Збита окалина провалюється під стан у жолоб, по якому водою змивається у відстійник. З відстійника окалина грейферним краном вантажиться у вагони та вивозиться з цеху. Число проходів коливається від 11 до 21. Обтискання в горизонтальних валках: 100 – 8 мм; у вертикальних: 30 – 5 мм за прохід. Після прокатки сляби транспортуються рольгангом, що підводить, до ножиць, на яких відрізається спочатку передній кінець, а потім сляб ріжеться на мірні довжини. Різання проводиться при температурі 900-1150 °С. Ззаду ножиць встановлений рухомий упор, який регулює при порізці розкрій на певні довжини. При подачі лінії під ніж упор опускається і тримає передній кінець лінії на заданій відстані від ножа. При короткій довжині включається штовхач і проштовхує важелем сляб під ніж, а останній відрізок зіштовхується на транспортер рольганга, що гойдається, потім на конвеєр обрізків, який подає їх в скрапний проліт в короба. З коробів обрізки вивантажуються на платформи електромостовим краном.

Порізані на мірні довжини сляби подаються по похилому транспортеру до печей безперервного тонколистового стану або забираються до складу слябів. Сляби при прибиранні до складу зіштовхуються з відвідного рольганга одним із зіштовхувачів на штабелюючий стіл, що опускається після прийому кожного сляба на його товщину. Набрана на столі стопа слябів піднімається і складається на стелаж, з якого забирається на склад за допомогою крана зі спеціальною

підвісною гаковою траверсою. Всі сляби легованих марок сталей зазнають уповільненого охолодження або відпалу в печах з висувним піддоном. Сляби вуглецевих марок сталей на складі сортуються, після огляду проводиться видалення вад за допомогою вогневої зачистки та наждачної зачистки. Сляби нержавіючих марок сталей стружці у стругальному відділенні цеху. Прийняті ВТК сляби передаються ТЛС чи відвантажуються споживачам.

1.3 Аналіз транспортуючого обладнання цеху

В цеху як основне транспортуюче обладнання використовують рольганги. Конструктивні особливості рольгангів дозволяють транспортувати вантажі як в складських так і промислових приміщеннях. Візуально цей пристрій нагадує стрічковий конвеєр, однак, відрізняється від того, що принцип його роботи не передбачає наявності стрічки. Переміщення вантажу здійснюється за допомогою спеціальних роликів. Рольганги дозволяють переміщувати різні види вантажів як в горизонтальному напрямку, так і під невеликим кутом нахилу. Така особливість дає можливість продумати і реалізувати оптимальні маршрути руху вантажу по виробничому приміщенню, автоматизувавши процес його транспортування [4].

Всі рольганги в цеху встановлені по одній осі - осі прокатки, утворюючи безперервну лінію транспортування металу, що прокочується. Кожен рольганг складається з станини, роликів, трансмісії та приводу. Усі рольганги мають напрямні лінійки. Ролики рольгангів ковані та литі порожнисті. Встановлюються ролики впоперек станини між рамами рольгангів, розташовуючись роликівими вальницями, насадженими на обидві шийки ролика, в гніздах рам. На одній шийці з приводного боку насаджена конічна шестерня, що входить у зачеплення з відповідною конічною шестернею на трансмісійному приводному валу. Вал із закріпленими конічними шестернями встановлюють у масляній ванні з

приводної сторони рольгангів і закривається кришкою. Привод складається з мотора та редуктора. У всіх рольгангів верхня площина роликів знаходиться вище за рівень підлоги цеху на 800 мм. Змащування всіх вальниць – густе від центральної мастильної станції. Змащування конічних шестерень – картерне. Привод роликів робочих рольгангів перед та за станом виробляються від індивідуальних електродвигунів потужністю $N = 80$ кВт, $n = 470$ об / хв типу МП-82. Основні технічні характеристики транспортуючого обладнання наведено в таблиці 1.3

Таблиця 1.3 - Коротка характеристика транспортуючого устаткування

Устаткування	Призначення	Тип приводу	Тип електродвигуна	Мірні довжини мм	Маса, т	Примітка
1	2	3	4	5	6	7
Зливковоз з причіпним візком	Подача злитків та укладання їх на приймальний рольганг	Електромеханічний	Д-816, Р = 150/300, n = 470/940 об / хв	Ходові колеса D=1000	96	
а) пересування						Швидкість пересування V = 5,8 м/с. Гальмо ТКО-800
б) перекидання						Гальмо ТКП-400
Приймальний рольганг	Прийом злитків від зливковозу та стаціонарного перекидача	Електромеханічний	Д-814, Р = 110, n = 480 об / хв			
Транспортний рольганг №1,2	Подає зливки на робочі рольганги	Електричний		Dб = 500, Lб = 1800	5,1 (один ролик у зборі)	28 шт
Рольганг робочий №3Б	Задає злиток на робочий рольганг і у кліть	Електричний		Dр = 500, L б = 1800	5,1 (один ролик у зборі)	8 шт

продовження таблиці 1.3

1	2	3	4	5	6	7
Рольганг робітник №3А	Завдання злитків у кліть та утримання гуркотів при прокатці	Електричний	Д-861, P = 150/36 кВт, n = 480/115 об / хв	Dp = 500, L б = 2000	5,9 (один ролик у зборі)	крок 750 та 850, 8 шт
Волокуші №3,4	Прибирання скрапу та окалини з під кліті та робочих рольгангів	Електромеханіч- ний	МТ-60-10, P = 45 кВт, n = 577 об / хв	Діамет р барабан а D бар = 636		Редуктор ЦД4-130
Конвейер збирання окалина	Прибирання скрапу та окалини з -під приймального рольганга	Електромеханіч- ний	ЛО-62 - 8, P = 4,5 кВт, n = 735 об / хв			Крок скребків 3*9600
Рольганг №4	Подача гуркотів на робочий рольганг №5	Електричний	Д-814, P = 110 кВт, n = 490 об / хв	D б = 500, L б = 2000		8 шт, Крок750 мм
Рольганг №5	Подача гуркотів на ножиці	Електричний		D б = 400, L б = 1800	2.325	Крок 1200
Рольганг №6	Передача гуркотів на ножиці	Електричний		D б = 400, L б = 1800	2.476	10 шт, крок 1000- 1200
Рольганг №6А	Подає сляб в зону різання ножиць	Електричний		D б = 450, L б = 1800		5 шт
Роганг №7, що гойдається	Передача порізаних слябів на рольганги, що відводять, і обрізі на великий конвеєр	Електричний	ДП-82, P = 95 кВт, n = 500 об / хв			V=0,546 м/с
Великий конвеєр	Транспортує обрізь у скрапний проліт	Електромеханічн ий				Редуктор ЦЗ – 75
Рольганг №8, 9, 10	Прибиранн я слябів після порізки на ножицях	Електромеханічн ий	ДП-82, P = 95 кВт, n = 500 об / хв	D б = 400, L б = 1800	2.3	

Для подальшої передачі обрізи від транспортера, що коливається, до коробки охолодження обрізи в скрапному прольоті, використовується конвеєр для збирання обрізи. Робоча швидкість стрічки конвеєра – 0,49 м/с. Ширина стрічки 1000 м. Привод ланцюга здійснюється від електродвигуна $N = 40$ кВт, $n = 750$ об/хв.

Після різання на ножицях, обрізь рухається по стрічковому транспортеру до рольгангу, що коливається, потім переходить на конвеєр, дійшовши до кінцевих зірочок, переходить на розподільну плиту пристрою, що скидає. На плиті встановлена направляюча, що повертається, за допомогою якої обрізь направляють в ту або іншу коробку. З коробок обрізь висипається на ж/. платформи або засіки для обрізи в скрапному прольоті.

Вирізані на ножицях сляби можуть надходити в печі ТЛЦ по похилому транспортеру та пічний рольганг або складуватися на стелажах складу слябів. Гарячі сляби, що йдуть на склад слябів, затримуються упорами, розташованими в лінії відведення рольгангу біля складальних столів і зіштовхувачами зсуваються на складальний стіл.

Для зсуву слябів з відвідного рольганга є два зіштовхувачі, обладнаних 8 пальцями кожен. Кожен робочий хід зіштовхувача 4400 мм забезпечує зіштовхування слябів на складальний стіл, а потім на стелажі. Швидкість зіштовхування 0,362 м/с.

Максимальне зусилля, що штовхає, - 20 т. Привод кожного зіштовхувача від моторів типу МП-72 потужністю 75 кВт через черв'ячний редуктор і зубчасті рейки.

Штабелючі столи розташовані біля зіштовхувачів і служать для укладання слябів в стопи та прибирання стоп електрокранами. Максимальний перебіг стопа 1200 мм. Швидкість підйому стопу - 0,023 м/с. Підйомна сила стопу – 25 т. Укладання слябів у два ряди може проводитися тільки при слябах шириною до 800 мм та довжиною до 2250 мм. Привод кожного стопа здійснюється від мотора МП-72 потужністю 75 кВт через черв'ячний редуктор і два гвинти підйомні діаметром 250мм. Зібрані в стопи

сляби складаються на стелажі та забираються електрокранами. Сляби вуглецевих марок забираються на стелажі; легованих марок сталей, що вимагають за технологією уповільненого охолодження або відпалом – відправляються до термічних печей з висувним подом; сталі нержавіючих марок - складуються для подальшої передачі в проліт стругальних верстатів цеху.

1.3 Аналіз підйомно-транспортного обладнання цеху

Зняття гарячих злитків із залізничних платформ, поданих із стріперного відділення, посадка їх у нагрівальні колодязі, виїмка з колодязів та посадка в зливковоз – всі ці операції виконуються спеціальні мостові кліщові крани.

У цехах слябінгів в залежності від ваги зливків, що прокочуються застосовують кліщові крани вантажопідйомністю кліщового захоплення і допоміжного гака 200/300, 300/400, 300/500 кН (20/30, 30/40, 30/50 т). У прольоті нагрівальних колодязів (як і інших цехах) за нульову ($\pm 0,0$) висотну позначку приймають висоту головки рейок залізничної колії. Так як майданчик нагрівальних колодязів розташований на висоті близько +3000 мм, то для обслуговування їх необхідно, щоб кліщовий кран був розміщений на великій висоті (позначка підкранової рейки близько +(15000-16000) мм). Проліт крана (по осях підкранових рейок) становить 30- 32 м.

Для обслуговування колодязів по посадці, видачі злитків, по ремонтах встановлено чотири електромостові кліщові крани $Q=20/15$ т.

Становий проліт довжиною – 78м, шириною – 27м з кроком колон – 12м обладнаний двома електромостовими кранами $Q = 30/5$ т і $Q = 75/15$ т, що служать для проведення ремонтних робіт та перевалок робіт та перевалок валків, прибирання скрапу та інших робіт.

Основні технічні характеристики підйомно-транспортного обладнання наведено в таблиці 1.4

Таблиця 1.4 - Коротка характеристика електромостових кранів стану 1150

Найменування	Висота підйому, м	Найменування приводу	Двигун	Редуктор	Гальмо	Примітка
	Вантажопідйомність, т головний /допоміжний/додатковий					
1	2	3	4	5	6	7
Кліщовий колодязевий кран, повна маса $Q_{п} = 218$ т, крановий проліт 27м.	20	Механізм пересування мосту	GMG 13 КН $P=20$ кВт, $n_{д} = 840$ $хв^{-1}$, ПВ=60%	Спеціальне замовлення		$V=94$ м/хв
		Механізм пересування візка	GMG 19 КН $P=15,5$ кВт, $n_{д} = 840$ $хв^{-1}$, ПВ=60%	Спеціальне замовлення		
	-	Механізм обертання колони	GMG 9 КН $P=7,2$ кВт, $n_{д} = 1120$ $хв^{-1}$, ПВ=20%	Спеціальне замовлення		
		Механізм підйому	GMG 19 КН $P=65$ кВт $n_{д} = 630$ $хв^{-1}$, ПВ=60%	Спеціальне замовлення		$V=18$ м/хв
		Механізм закриття кліщів	GMG 19 КН $P=80$ кВт, $n_{д} = 585$ $хв^{-1}$, ПВ=40%	Спеціальне замовлення		

Продовження таблиці 1.4

1	2	3	4	5	6	7
Кліщовий колодязевий кран, крановий проліт 27м.	7.41	Механізм пересування мосту				$V=2,7$ м/с
		Механізм пересування візка			ТКТ-300	$V=1,7$ м/с
		Механізм керування кліщами	D 808 У 2 ПВ = 60%		ТКТ-400	$V=0,4$ м/с
	20/20	Механізм обертання колони	D 806 У 2 ПВ = 60%		ТКТ-300	$V=0,16$ м/с
		Механізм підйому				
		а) основного	D 808 У 2 ПВ = 60%		ТКТ-600	$V=0,32$ м/с
		б) допоміж-го	D 808 У 2 ПВ = 60%			$V=0,32$ м/с
Кран скрапного прольоту, повна вага крана Q п = 157 т, крановий проліт 14 м.	7.9	Механізм пересування мосту	МТ 42-8, P = 11кВт, n _д = 715 хв ⁻¹	PM – 500 – 15,75		$V=71,4$ м/хв
	10	Механізм пересування візка	МТ 11-6, P = 2,2 кВт, n _д = 885 хв ⁻¹	B – 400 – 20,59		$V=40$ м/хв
		Механізм підйому	МТ 41-6, P = 1,6, n _д = 718 хв ⁻¹	PM – 500 – 46,17		$V=7,7$ м/хв
Кран становий повний вага крана Q п = 101,2 т, крановий проліт 22,5 м	20	Механізм пересування мосту	Двигуни постійного струму 222 В	PM – 500	ТКП – 300/200	$V=35,5$ м/хв
		Механізм пересування візка		B - 700	ТКП – 200	$V=11,3$ м/хв
	Механізм підйому					$V=0,75$ м/хв
	100/20	а) основного		P - 780	ТКП – 300	D б = 1000 мм
		б) допоміж-го		PM – 500	ТКП – 400	D б = 500 мм

Продовження таблиці 1.4

1	2	3	4	5	6	7
Кран становий повна вага крана Q п=110 т, крановий проліт 25,5 м	16/18/18	Механізм пересування мосту	D 32 У 2	Ц 2 - 400 - 31,5 - 12У	ТКП - 300	
		Механізм пересування візка	D 32 У 2	ВУ - 765 - 40 - 12 У3	ТКП - 200	
		Механізм підйому				
	80/20/10	а) основного	D 812 У 2	Ц 2 - 500 - 8, Ц2 - 1000 - 16		V=0,05 м/с
		б) допоміжного	D 810 У 2	РК 500 - 40 - 31		V=0,18 м/с
		г) додаткового	D 806 У 2 ПВ = 60%	У2У - 400 К - 50		V=0,17 8 м/с

Однією з перепон до зростання продуктивності обтискного стану Слябінг 1150 є недостатня кількість електромостових кранів, що обслуговують пічний проліт. Наявні чотири колодязеві крани мають досить малу вантажопідйомність (Q=20т), яка не дозволяє збільшувати вагу зливка. Один із чотирьох кранів більшу частину часу зайнятий на обслуговуванні ремонтів нагрівальних колодязів, а кран №62 через велике фізичне зношування систематично перебуває на ремонтах. Тому постає актуальна проблема з модернізації саме підйомно-транспортного обладнання дільниці.

1.4 Огляд технічних рішень спрямованих на модернізацію підйомно-транспортного обладнання металургійного виробництва

Безперервна інтенсифікація виробництва спричиняє підвищення продуктивності машин внаслідок збільшення їх потужності, швидкості, зусиль та загального посилення режимів роботи.

Простої машин, пов'язані з поломками деталей і порушенням всього циклу технологічного виробництва, призводять до великих матеріальних збитків. Витрати на ремонт та обслуговування кранів досить значні і під час експлуатації у багато разів перевищують їх первісну вартість. Усього за 15 місяців роботи експлуатаційні витрати досягають первісної вартості крана.

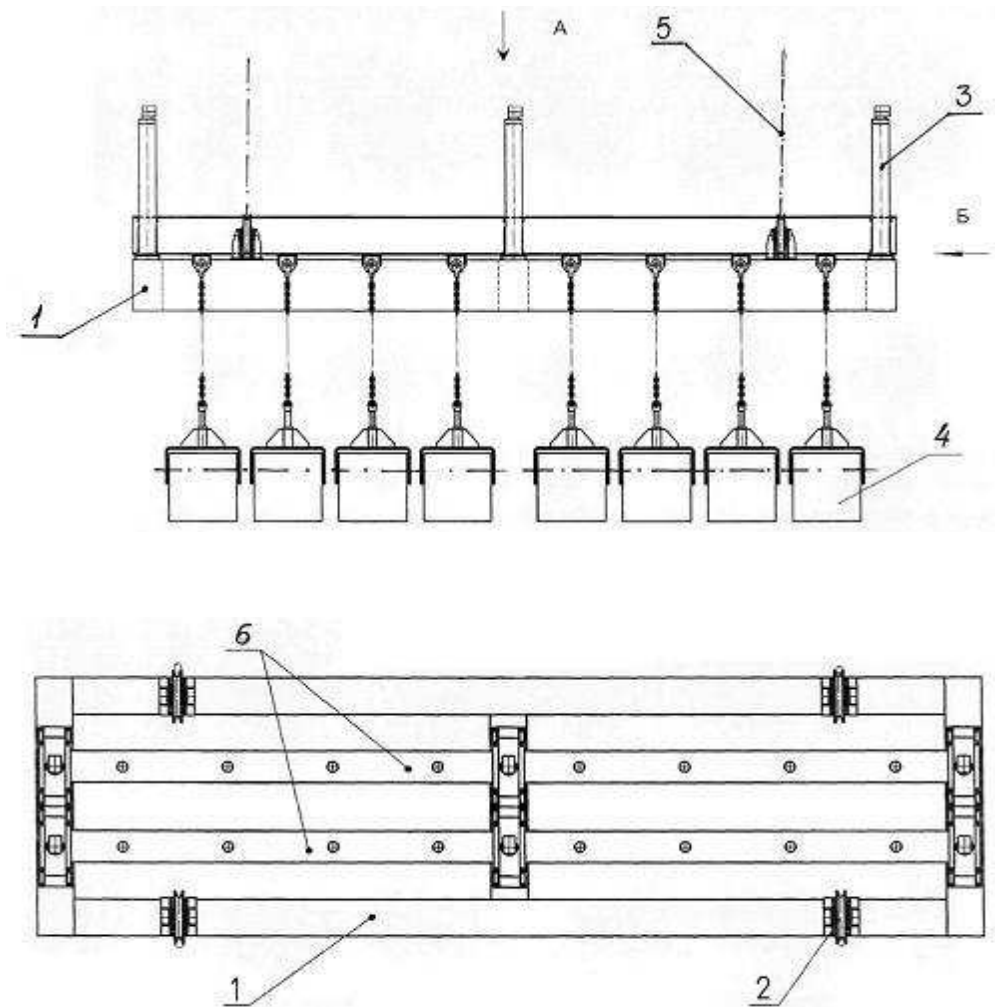
Створення економічних вантажопідйомних машин високої надійності залежить від конструкторів, які повинні мати у своєму розпорядженні всі необхідні дані для розрахунку та раціонального проектування, від загальної культури виробництва, експлуатації та ремонту машин.

Великий вплив на якість машин мінімальної металомісткості надають: вибір раціональних кінематичних схем можливості без надлишкових зв'язків, застосування компактних приводів та вибір місця їх встановлення, впровадження нових матеріалів та ефективних способів виготовлення та зміцнення деталей. Невдало обрану кінематичну схему механізму підйомно-транспортних машин не можна виправити навіть якісним конструктивним виконанням [5].

Незважаючи на те, що більшість мостових кранів складаються з типових елементів існують суттєві конструктивні особливості, які відрізняють моделі кранів. Так роботою [6] запропонована конструкція мостового крану для транспортування готових слібів та укладання їх у штабелі на складі, таке виконання, запропоноване колективом авторів ПАТ «Новокраматорський машинобудівний завод» дозволяє також виконувати кантування сляба при його вкладанні в штабелі. Особливістю даної пропозиції є те, що сляб на підвісці закріплюється за допомогою електромагнітів (рис.1.3).

Запропонована конструкція працює наступним чином. Якщо потрібне переміщення сляба, спочатку механізм за допомогою переміщення крана підводиться до поверхні сляба. Електромагніти опускаються до повного контакту з поверхнею сляба і далі після подачі електричного струму відбувається захоплення сляба магнітами. Далі шляхом переміщення моста крану

відбувається транспортування сляба, після доставки в місце призначення знімається напруга з магнітів і відбувається укладання сляба в штабель.



1 – рама, 2 – канатні блоки, 3 – вертикальні напрямні, 4 – електромагніти, 5 – канати механізму підйому, 6 – рухомі балки

Рисунок 1.3 – Пристрій для транспортування і кантування слябів конструкції ПАТ «НКМЗ»

У випадку якщо якщо потрібне тільки транспортування зливка, а й його кантування алгоритм дій, дещо змінюється. Запропонований пристрій устанавлюють над слябом так, щоб магніти знаходилися на деякій відстані від однієї зі сторін сляба. Дал вже не канатами, а шляхом переміщення рухомої балки вкладають магніти на верхню площину сляба та подають електрострум на

них. При підйомі кранової підвіски догори, електромагніти утримуючи край транспортуемого сляба, повертаються у шарнірах підвісок при цьому піднімаючи сляб вгору у вертикальне положення. Далі підйомним механізмом мостового крана опускають рухому балку при цьому магніти опускаючись вниз, повертаються в шарнірах підвісок та їх робочі поверхні розташовуються паралельно до нижньої поверхні сляба, таким чином відбувається кантування сляба. Далі механізмом підйому мостового крану опускають пристрій разом з вантажними магнітами та вкладають сляб на верхню поверхню.

Перевагою такого додаткового навісного обладнання є суміщення процесів транспортування та кантування слябів. До недоліків можна віднести те, що робота магнітів обмежена температурою транспортуемого вантажу, тобто його не можливо використовувати при доставці розігрітого зливка до приймального рольгангу. Також запропонований пристрій існує на стадії проекту і відомостей про його впровадження в реальне виробництво у відкритих джерелах знайти не вдалося.

Згідно виконаних досліджень в роботі [7], що найбільш дефектною частиною мостового крану є кінцева балка.

На спеціальних кранах вертикальні стінки кінцевої частини балки виконують із двох листів різної товщини, які з'єднують між собою зварним швом. У місці встановлення горизонтальної осі з'єднання балансира з балкою товщина вертикальної стінки дорівнює 30 мм. У зоні розташування зварного шва вона плавно зменшується до товщини основного листа вертикальної стінки (14 мм). Кінцева балка коробчастого перерізу із різкою зміною висоти. Така конфігурація балки призводить до концентрації напруги від зовнішніх навантажівок у вертикальних стінках перехідної зони і в районі мінімальної висоти перерізу балки.

Втомні тріщини у вертикальних стінках (рис. 1.4) утворюються в області зварного шва, що з'єднує елементи 1 і вертикальної 2 стінки, Посилення і ремонт кінцевої балки в даному випадку здійснюють установкою вертикальної

підсилювальної пластини 3 складної конфігурації, відповідної по контуру кінцевої частини балки.

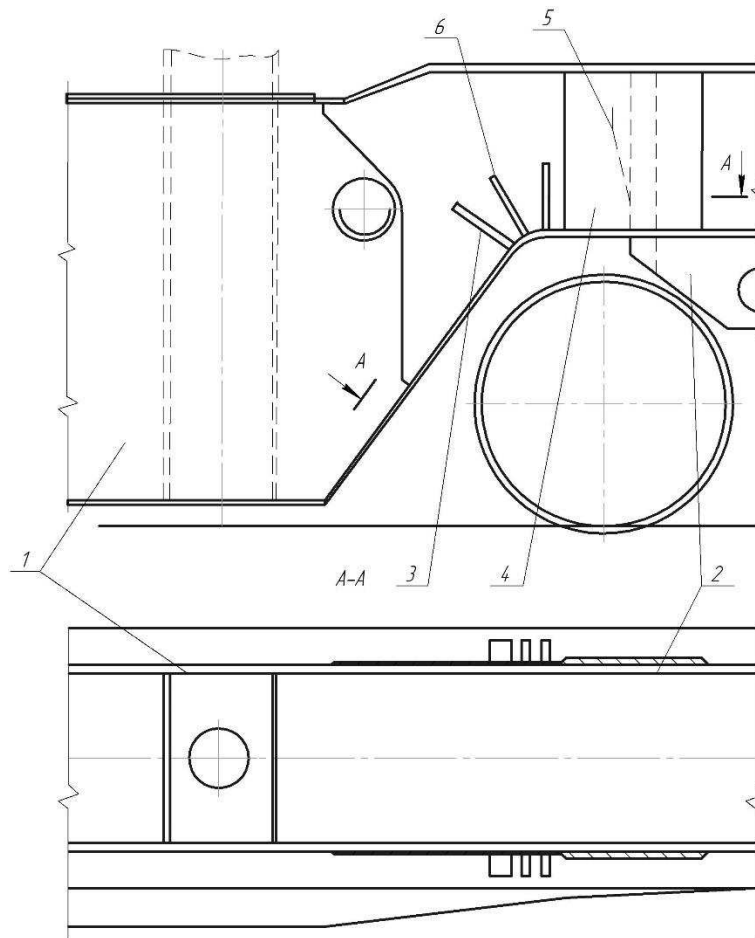


Рисунок 1.4 – Відновлення міцності вертикальної стінки кінцевої балки

Підсилюючу пластину підганяють до верхнього і нижнього поясів кінцевої балки із зазором не більше 2 мм за висотою і приварюють до них з попереднім виконанням скосів під зварні шви, що існують. Товщину підсилювальної пластини 3 вибирають як різницю товщин елементів 2 і 1 вертикальної стінки кінцевої балки, що дозволяє розташувати накладку 4 в одній площині з підсилювальною пластиною 3 і елементом 2. Накладку 4, що перекриває тріщину 5, приварюють по всьому периметру. Відновлюють ребра 6. Такий ремонт кінцевої частини балки дозволяє усунути подальше утворення тріщин у небезпечній перехідній зоні перерізу балки та елементах кріплення балансирів [8].

Посилення кінцевої балки за допомогою підсилювальної пластини, встановленої з зазором по відношенню до окантувального елемента, і накладки, встановленої на підсилювальну пластину і приварену до неї і до окантовального елемента, дозволяє спростити підгонку підсилювальної пластини і накладки, скоротити тривалість ремонту. Підсилюючу пластину підганяють по двох поверхнях до верхнього і нижнього горизонтальних поясів кінцевої балки, а до окантовочного елемента встановлюють із зазором. Накладку підганяють тільки до окантувального елемента, а інші розміри виконують вільними. Поділ процесу припасування на дві операції - припасування підсилювальної пластини до горизонтальних поясів кінцевої балки і припасування накладки до окантувального елемента - спрощує процес припасування листів [9].

На рис. 1.5 а представлені обробка кромки накладного листа та накладання зварного шва у відомій конструкції посилення. Виконання двох скосів на накладному листі, товщина якого має бути не менше 10 мм, не забезпечує повного проварювання в зварному з'єднанні. З рис. 2, видно, що зварюванням шов охоплює лише половину товщини накладного листа. Роботою [10] регламентовано конструктивні елементи підготовки кромки елементів таврового перерізу, що зварюються.

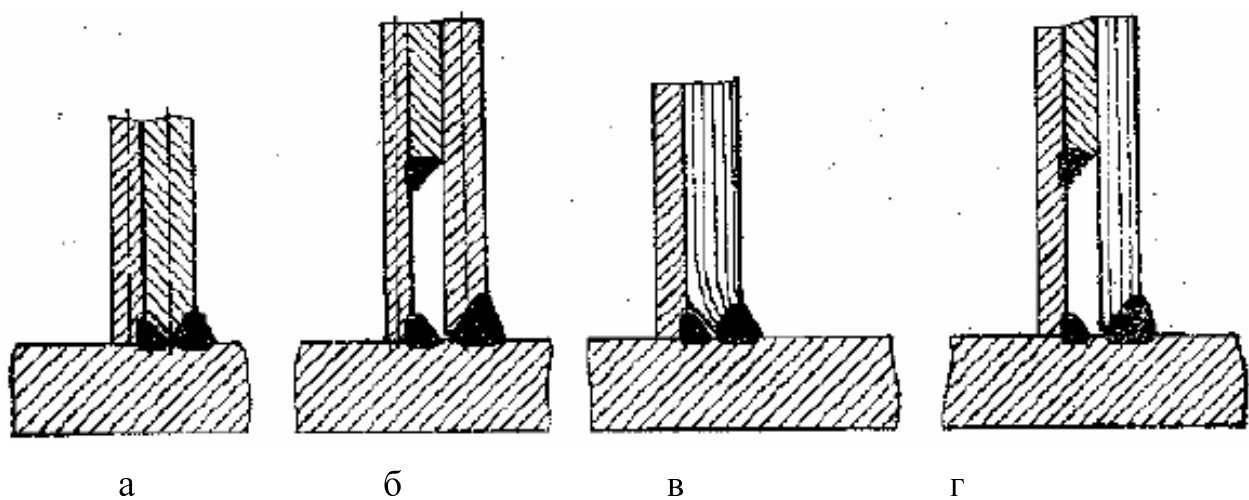


Рисунок 1.5 – Типи виконання зварних швів

При виконанні одностороннього скосу (шов Т6) зварний шов накладається з одного боку, а при виконанні двостороннього скосу (шов Т9) для отримання повного провару шов зварний повинен накладатися із двох сторін. На рис. 1.5 б представлені обробка кромки накладки і накладання зварного шва в пропонованій конструкції посилення. Обробку кромки накладки виконують одне стороннє, що відповідає зварному шву Т6. Це дозволяє отримати повний провар та міцне з'єднання. У пропонованій конструкції новий криволінійний шов накладається на певній відстані від існуючого зварного шва, чим досягають зниження сумарних напружень в зварному з'єднанні. У металевих конструкціях концентрація напружень є джерелом передчасної появи тріщин та руйнувань. Насамперед це стосується місць зварних з'єднань. Так, у відомій конструкції при односторонньому викладі зварного шва має місце різке звуження перерізу (рис. 1.5, в), що призводить до концентрації напружень. У запропонованій конструкції концентрацію напружень усувають запровадженням одностороннього скосу кромки (рис. 1.5, г). Це сприяє збільшенню міцності з'єднання. Пропонований варіант посилення кінцевої балки дозволяє збільшити опорну базову поверхню окантувального елемента, що призводить до збільшення його стійкості, а утворений при посиленні коробчастий переріз (рис. 1.5, г) сприяє збільшенню міцності та жорсткості з'єднання окантувального елемента з накладкою і вертикальною стінкою кінцевої балки. У випадках, коли тріщини на вертикальних стінках кінцевої балки поширюються на її нижній або верхній горизонтальні пояси, доцільно посилюючу пластину 1 (рис. 1.6) виконувати з відбортуванням на полицю горизонтального пояса [11].

Відбирання виконують шляхом вигину, наприклад нижньої грані підсилювальної пластини по радіусу з утворенням прямого кута між відбортованою і вертикальною частинами пластини. Відігнуту частину виконують для нижнього пояса менше, а для верхнього більше ширини полиці горизонтального пояса на 15-20 мм для забезпечення зручності накладання зварного верхнього шва. Радіус згинання листа вибирають в залежності від товщини підсилювальної пластини і приймають у межах 25-30 мм. Для ремонту

металоконструкції крана застосовують сталь за своїми механічними якостями не нижче від сталі, з якої виконана металоконструкція крана.

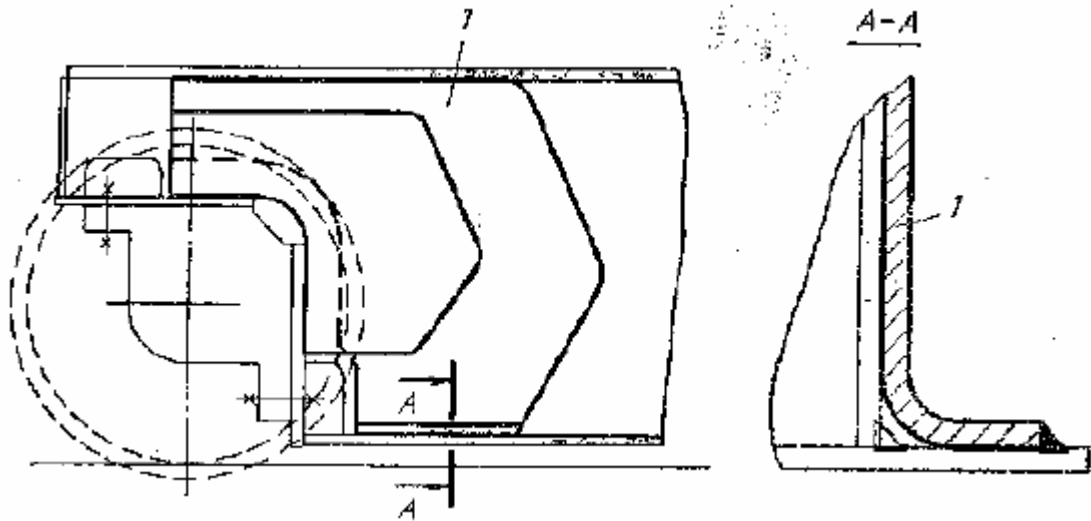


Рисунок 1.6 – Підсилення кінцевої балки листом з відбортунням

Допускається застосування низьколегованих сталей для ремонту зварних конструкцій вантажопідіймальних кранів, виготовлених з вуглецевої сталі. Вуглецеву сталь для ремонту зварних конструкцій, виконаних з низьколегованих сталей, не використовують.

З огляду на все вищесказане можна зробити висновок, що не дивлячись на досить розповсюджену різноманітність конструктивного виконання мостових кранів, вони далекі від досконалості та потребують подальшого удосконалення.

1.5 Обґрунтування обраного напрямку

На даний момент на мостовому крані складу слябів ПАТ «Запоріжсталь» (рис. 1.7) в механізмі пересування мосту конструктивно передбачений центральний привод, який відрізняється простотою використання. Але експлуатаційний досвід показує, що центральний привод не тільки збільшує металоемкість крана за рахунок великого діаметру та довжини трансмісійного

вала, для встановлення якого потрібні масивні муфти та підшипники, а й має доволі не надійну конструкцію.

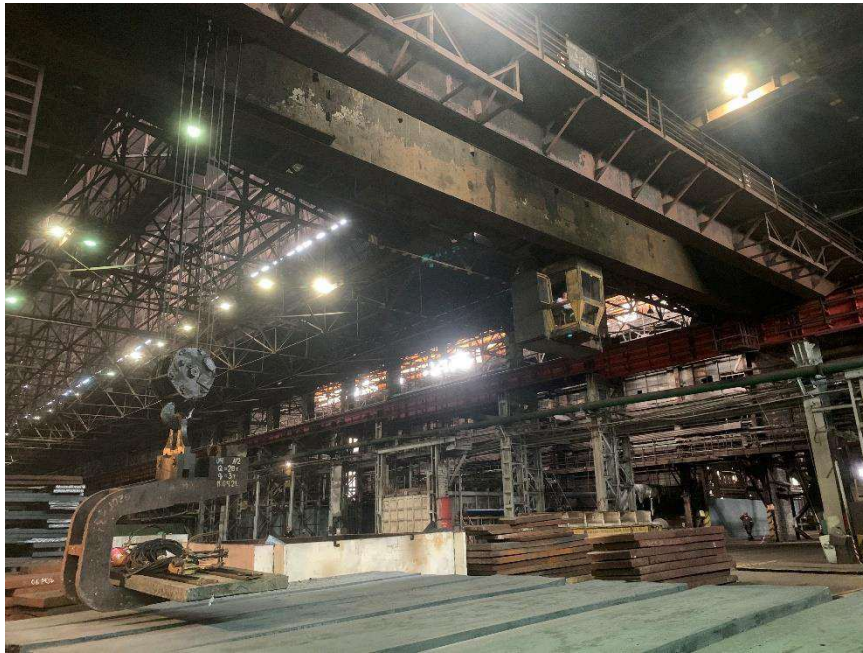


Рисунок 1.7 – Мостовий кран складу слябів

Так в період з 2021 року по 2023 рік почастишали випадки виходу з ладу трансмісійного валу (рис.1.8)



Рисунок 1.8 – Аврійна ситуація в зв'язку з поломкою трансмісійного валу

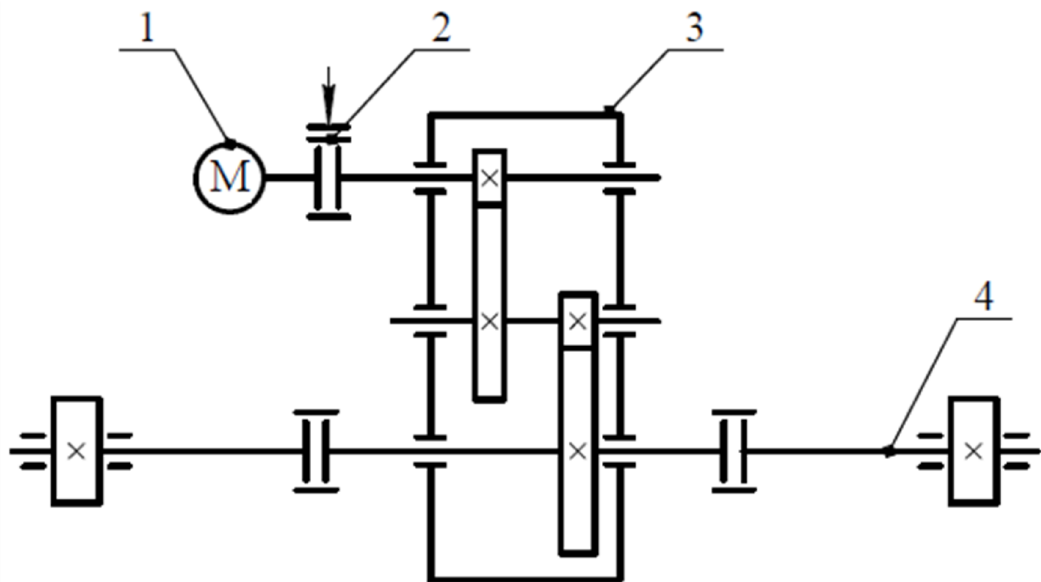
Також даній конструкції крана притаманний дуже швидкий знос реборд кранових коліс (рис.1.9). Реборди виключають схід коліс з рейок, забезпечуючи надійну роботу крана, але при цьому відбувається тертя ковзання реборд на рейках, що викликає підвищений знос реборд і рейок, а отже робота з таким краном стає небезпечною.



Рисунок 1.9 – Знос реборд кранових коліс

Гарно описані існуючі методи підвищення довговічності кранових колес роботою [12], але в своїй більшості вони направлені на ремонтні та відновлювальні роботи і суттєво не підвищують ресурс колеса, тому пропонується з метою збільшення терміну служби механізму пересування крана замінити двохребордні ходові колеса на безребордні з встановленням опорних роликів, вісь яких розташована перпендикулярно осі ходового колеса. Опорні ролики виключають сходу колеса з рейок, при цьому тертя ковзання реборд на рейках замінюється тертям кочення роликів на рейках. Застосування безребордних коліс значно підвищує термін служби механізму пересування крана, знижує потужність електродвигуна механізму та динамічні навантаження на металоконструкцію крана і підкранові шляхи.

Проблему з трансмісійним валом пропонується вирішити шляхом заміни центрального приводу механізму пересування мосту крана (рисунок 1.10) на індивідуальний.



1 – електродвигун; 2 – гальмо; 3 – редуктор; 4 – ходове колесо

Рисунок 1.10 – Кінематична схема центрального приводу механізму пересування мосту крана

Встановлення механізму пересування з індивідуальним приводом виключає наявність великого трансмісійного вала, а саме знижує трудомісткість ремонтних робіт. Конструктивно не передбачається зв'язок між приводами, а під час пересування крана відбувається перерозподіл навантажень між двигунами через горизонтальну жорсткість металоконструкції мосту крана і сил зчеплення ведучих коліс з коліями, що забезпечує більш плавний рух мосту крана, виключає додаткові втрати під час просковзування ходових коліс, що має місце в механізмах пересування з центральним приводом. Не дивлячись на те, що пропонується привід буде знаходитися з кожного боку мосту, по два

електродвигуна, два редуктора і два гальма, його вага буде співзначна з вагою елементів центрального приводу.

Важливою стадією модернізації будь якого обладнання є встановлення причини виникнення конструктивних недоліків.

Великий вплив на якість машин мінімальної металомісткості надають: вибір раціональних кінематичних схем можливості без надлишкових зв'язків, застосування компактних приводів та вибір місця їх встановлення, впровадження нових матеріалів та ефективних способів виготовлення та зміцнення деталей.

Невдало обрану кінематичну схему механізму підйомно-транспортних машин не можна виправити навіть якісним конструктивним виконанням

Для вантажопідйомних машин характерним є циклічність роботи механізмів із частими пусками, зупинками та реверсами. Інтенсивність роботи та умови експлуатації, тип та призначення машини визначають режим її роботи, правильний вибір якого необхідний для розрахунку механізмів та металоконструкцій. Залежно від режиму роботи приймають запаси міцності деталей, динамічні коефіцієнти при розрахунку механізмів та металоконструкцій, коефіцієнт запасу гальмування, параметри та тип електродвигуна [13].

Оцінюючи значення розрахунків для створення вантажопідйомних машин, що інтенсивно використовуються, важливо приділяти особливу увагу динамічним розрахункам. При підвищенні продуктивності за рахунок інтенсифікації технологічного процесу значно підвищується динамічна напруженість роботи не тільки основного технологічного обладнання, а й елементів вантажопідйомних машин, а саме несучих металоконструкцій, приводів, трансмісії та робочих органів. В машобудуванні та прокатному виробництві динаміка навантажень при переходних режимах має вирішальне значення. Тому при створенні сучасних мостових кранів все більшого значення набуває удосконалення розрахункових методів, що дозволяють точно визначити діючі в деталях та вузлах динамічні навантаження.

2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунок потужності електродвигуна привода мостового крана

Для виконання розрахунків пов'язаних зі внесенням запропонованих змін в конструкцію мостового крана скористаємося вихідні даними на даними підприємством під час проходження виробничої практики:

- вага крана $G_{кр}=480,15$ кН
- вага головного візка $G_{гл}=97,9$ кН
- вантажопідйомність крана $Q=125$ т
- число ходових коліс з одного боку $n_1=2$
- діаметр ходових коліс $D=700$ мм
- діаметр осі ходових коліс $d = 200$ мм
- швидкість пересування мосту $V=67,8$ м/хв= $1,13$ м/с
- тип приводу індивідуальний

Вага вантажу, що піднімається:

$$G_{гр}=g \cdot Q, \quad (2.1)$$

де g – прискорення вільного падіння, $g = 9,81 \approx 10$ м/с²;

Q – номінальна вантажопідйомність крана, кг;

$$G_{гр}= 9,81 \cdot 20\,000 = 196200 \text{ Н} = 196,2 \text{ кН.}$$

Найбільше зусилля на ходові колеса буде, коли головний візок з вантажем знаходяться з одного боку крана у крайньому положенні (рисунок 2.1):

$$\Sigma M_B=0;$$

$$-G_{кр} \cdot \frac{L}{2} - (G_{кр} + G_{глт}) \cdot (L - X_1) - G_{вт} (L - X_2) + R_a \cdot L = 0; \quad (2.2)$$

$$R_a = \frac{G_{кр} \cdot \frac{L}{2} + (G_{кр} + G_{глт}) \cdot (L - X_1) - G_{вт} (L - X_2)}{4} =$$

$$= \frac{480,15 \cdot \frac{22}{2} + (196,2 + 97,9) \cdot (22 - 2,1)}{4} = 2783,5 \text{ кН.}$$

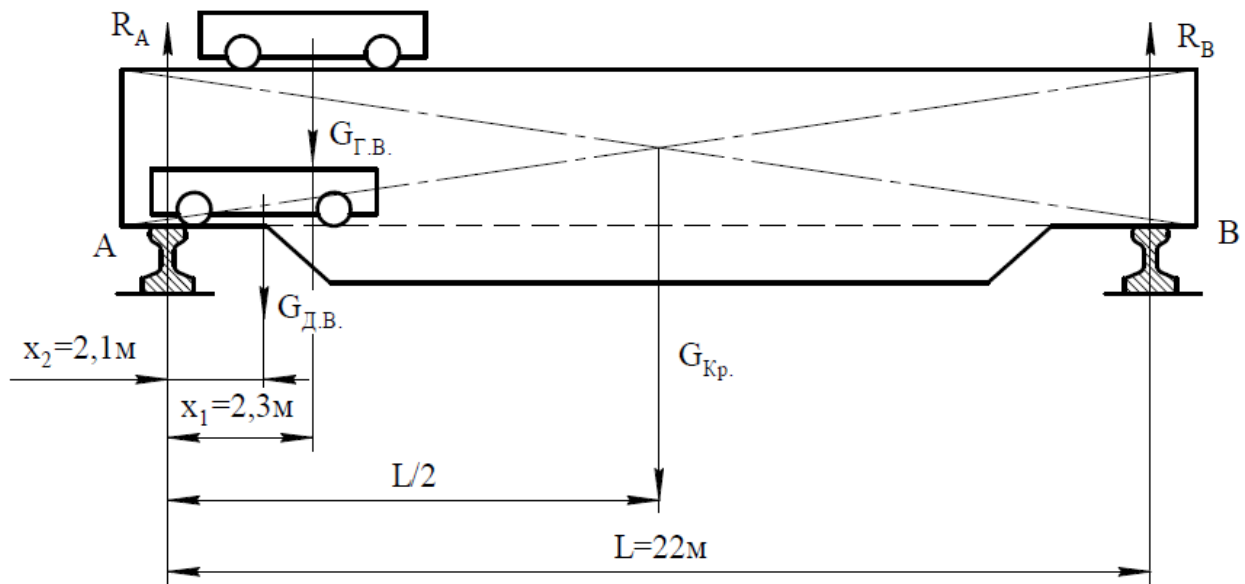


Рисунок 2.1 – Розрахункова схема для визначення зусилля на ходові колеса

Опір пересуванню найбільш навантаженої частини мосту від сил тертя:

$$W_f = R_a \cdot K_p \cdot \frac{2\mu + f \cdot d}{D}, \quad (2.3)$$

де K_p – коефіцієнт, який враховує опір в ребордах, так як колеса безребордні з опорними роликками $K_p=1,1$ [5];

μ – коефіцієнт тертя кочення колеса на рейках, при $D_{хк}=700$ мм $\mu = 0,001$ [5];

f – коефіцієнт тертя в вальниках, $f = 0,015$ [5];

$$W_f = 2783,5 \cdot 1,1 \cdot \frac{2 \cdot 0,001 + 0,015 \cdot 0,2}{0,7} = 21,88 \text{ кН.}$$

Опір від ухилення шляху:

$$W_y = R_a \cdot \alpha, \quad (2.4)$$

де α – коефіцієнт, який враховує ухилення шляху, $\alpha = 0,0015$ [5];

$$W_y = 2783,5 \cdot 0,0015 = 4,2 \text{ кН.}$$

Сумарний статичний опір пересування:

$$W_{ст} = W_f + W_y = 21,88 + 4,2 = 26,08 \text{ кН.}$$

Загальний опір пересуванню навантаженого крана з урахуванням сил інерції:

$$W_{об} = W_{ст} + F_u, \quad (2.5)$$

де F_u – сила інерції:

$$F_u = \frac{R_a}{g} \cdot a(1,1 \dots 1,3), \quad (2.6)$$

де a – середнє прискорення крана під час пуску, $a = 0,1 \text{ м/с}^2$;

$$W_{об} = 26,08 + \frac{2783,5}{10} \cdot 0,1 \cdot 1,2 = 59,5 \text{ кН.}$$

Потужність двигуна:

$$P_{\text{дв}} = (0,5 \dots 0,7) \frac{W_{\text{об}} \cdot g_k}{\eta_{\text{мех}} \cdot \psi}, \quad (2.7)$$

де $\eta_{\text{мех}}$ – ККД механізму, $\eta_{\text{мех}} = 0,85$;

ψ – коефіцієнт навантаження двигуна, $\psi = 1,5 \dots 1,7$;

$$P_{\text{дв}} = \frac{0,6 \cdot 59,5 \cdot 67,8}{102 \cdot 0,85 \cdot 1,5} = 18,6 \text{ кВт.}$$

З огляду на те, що привод мостового крана індивідуальний, то потужність одного двигуна привода:

$$P = 0,5 \cdot P_{\text{дв}}, \quad (2.8)$$

$$P = 0,5 \cdot 18,6 = 9,3 \text{ кВт.}$$

З урахуванням можливих додаткових навантажень у вигляді динамічної складової по каталогу обираємо двигун, який має наступну характеристику Тип Д 41-У III, потужність $P = 13$ кВт, частота обертання $n = 700 \text{ хв}^{-1}$

2.2 Основні силові і кінематичні параметри привода пересування мостового крана

Число обертів ходових коліс:

$$n_{\text{хк}} = \frac{V}{\pi \cdot D} = \frac{67,8}{3,14 \cdot 0,7} = 30,8 \text{ хв}^{-1}. \quad (2.9)$$

Загальне передаточне число механізму:

$$u_{\text{об}} = \frac{n}{n_{\text{хк}}} = \frac{700}{30,8} = 22,7 \quad (2.10)$$

По каталогу [14], обираємо редуктор, який має наступну характеристику:

Тип ВКУ-765М Передаточне число $U_p = 25$

Розбивання передаточного числа на ступені [13]:

– передаточне число I ступені:

$$U_1 = \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{68}{31} = 2,2. \quad (2.11)$$

Передаточне число II ступені:

$$U_2 = \frac{Z_4}{Z_3} = \frac{75}{24} = 3,125. \quad (2.12)$$

Передаточне число III ступені:

$$U_3 = \frac{Z_6}{Z_5} = \frac{70}{19} = 3,68. \quad (2.13)$$

Загальне передаточне число:

$$U_p = U_1 \cdot U_2 \cdot U_3 = 2,2 \cdot 3,125 \cdot 3,7 = 25. \quad (2.14)$$

Частота обертання та кутова швидкість вхідного вала редуктора:

$$N_1 = n_{дв} = 700 \text{ хв}^{-1}; \quad (2.15)$$

$$W_1 = \frac{\pi n_1}{30} = \frac{3,14 \cdot 700}{30} = 73,3 \text{ рад/с.} \quad (2.16)$$

Частота обертання та кутова швидкість першого проміжного вала редуктора:

$$n_2 = \frac{n_1}{u_1} = \frac{700}{2,2} = 318,2 \text{ хв}^{-1}, \quad (2.17)$$

$$\omega_1 = \frac{\omega_1}{u_1} = \frac{73,3}{2,2} = 33,3 \text{ рад/с} . \quad (2.18)$$

Частота обертання та кутова швидкість другого проміжного вала редуктора:

$$n_3 = \frac{n_2}{u_2} = \frac{318,2}{3,125} = 101,8 \text{ хВ}^{-1} ; \quad (2.19)$$

$$\omega_3 = \frac{\omega_2}{u_2} = \frac{33,3}{3,125} = 10,6 \text{ рад/с} . \quad (2.20)$$

Частота обертання та кутова швидкість вихідного вала редуктора – вала ходових коліс:

$$n_u = n_{\text{хк}} = \frac{n_3}{u_3} = \frac{101,8}{3,68} = 27,7 \text{ хВ}^{-1} ; \quad (2.21)$$

$$\omega_u = \omega_{\text{хк}} = \frac{\omega_3}{u_3} = \frac{10,6}{3,68} = 2,9 \text{ рад/с} . \quad (2.22)$$

Крутний момент на вхідному валу редуктора:

$$M_1 = M_{\text{дв}} = \frac{P_{\text{дв}}}{\omega_1} = \frac{13}{73,3} = 0,18 \text{ кН м} . \quad (2.23)$$

Крутний момент на першому проміжному валу редуктора:

$$M_2 = M_1 \cdot U_1 = 0,18 \cdot 2,2 = 0,396 \text{ кН м} . \quad (2.24)$$

Крутний момент на другому проміжному валу редуктора:

$$M_3 = M_2 \cdot U_2 = 0,396 \cdot 3,125 = 1,24 \text{ кН м} . \quad (2.25)$$

Крутний момент на вихідному валу редуктора – на валу ходових коліс:

$$M_4 = M_{\text{хк}} = M_3 \cdot U_3 = 1,24 \cdot 3,68 = 4,6 \text{ кН м.} \quad (2.26)$$

2.3 Розрахунок деталей на міцність

2.3.1 Розрахунок ходового колеса

Для розрахунку запропонованої конструкції колеса скористаємося наступними характеристиками:

- радіус ходового колеса $R = 350 \text{ мм}$
- радіус головки рейок $R_1 = 500 \text{ мм}$
- навантаження на ходове колесо $G = 347,9 \text{ кН}$
- матеріал ходового колеса сталь 65
- межа міцності $\sigma_B = 735 \text{ МПа}$
- межа плинності $\sigma_T = 430 \text{ МПа}$
- модуль пружності $E_{\text{пр}} = 2,1 \cdot 10^6 \text{ МПа}$

Згідно вихідних даних приведені розрахункові навантаження [15]:

$$F = K_T \cdot K_H \cdot G, \quad (2.27)$$

де K_T – коефіцієнт поштовхів, який враховує вплив вертикального динамічного навантаження, яке виникає під час пересування крана внаслідок нерівномірності рейкового шляху, $K_T = 1,1$ [13];

K_H = коефіцієнт нерівномірності розподілу навантаження, $K_H = 1,1$ [15].

$$F = 1,1 \cdot 1,1 \cdot 347,9 = 420,96 \text{ кН.}$$

Ефективне навантаження змінання [16]:

$$\sigma = \frac{K \cdot K_f}{102} \cdot \sqrt{\frac{F \cdot E^2}{R^2}} \leq [\sigma_e], \quad (2.28)$$

де K – коефіцієнт, який залежить від відношення [17]:

$$\frac{R_2}{R_1} < 1; \quad \frac{350}{500} = 0,7 < 1;$$

$$K = 0,44;$$

K_f – коефіцієнт, який враховує вплив тангенціального навантаження,

$$K_f = 1,08;$$

$$\sigma = \frac{0,44 \cdot 1,08}{102} \cdot \sqrt{\frac{420,96 \cdot 10^3 \cdot (2,1 \cdot 10^6)^2}{350^2}} = 12949,5 \text{ Па} = 12,9495 \text{ МПа};$$

Умову міцності ходового колеса виконано.

2.3.2 Розрахунок вала ходового колеса

Вихідні дані до розрахунку:

- Навантаження, що діє на ходове колесо $G_k = 347,9$ кН;
- крутний момент, який передається валом $M_{\text{хк}} = 4,6$ кН м;
- діаметри посадкових місць;
- під ходове колесо $d_3 = 200$ мм;
- під вальницю $d_2 = 170$ мм;
- під втулку зубчастої муфти $d_1 = 125$ мм;
- матеріал валу сталь 45, термообробка – поліпшення;
- межа міцності $\sigma_B = 510$ МПа;
- межа плинності $\sigma_T = 270$ МПа;

Реакції в опорах вала [18]:

$$\Sigma M_a = 0$$

$$G_K \cdot \frac{L}{2} - R_B \cdot L = 0$$

$$R_B = \frac{G \cdot L/2}{L} = \frac{347,9 \cdot 0,190}{0,38} = 173,9 \text{ кН.} \quad (2.29)$$

$$\Sigma M_B = 0:$$

$$R_a \cdot L - G_K \cdot \frac{L}{2} = 0$$

$$R_a = \frac{G \cdot L/2}{L} = \frac{347,9 \cdot 0,190}{0,38} = 173,9 \text{ кН.} \quad (2.30)$$

Перевірка:

$$\Sigma R = 0 = R_a - G_K + R_B = 173,9 - 347,9 + 173,9 = 0. \quad (2.31)$$

Згинаючий момент в точці «0»:

$$M_0 = R_B \cdot \frac{L}{2} = 173,9 \cdot 0,19 = 33,04 \text{ кН м;} \quad (2.32)$$

$$M_0 = R_a \cdot \frac{L}{2} = 173,9 \cdot 0,19 = 33,04 \text{ кН м.} \quad (2.33)$$

Межа витривалості матеріалу вала.

При симетричному циклі згину:

$$\sigma_{-1} = 0,35\sigma_B + (70 \div 120) = 0,35 \cdot 510 + 120 = 298,5 \text{ МПа.} \quad (2.34)$$

При симетричному циклі дотичних напружень:

$$T_{-1} = 0,58 \cdot \sigma_{-1} = 0,58 \cdot 298,5 = 173,13 \text{ МПа.} \quad (2.35)$$

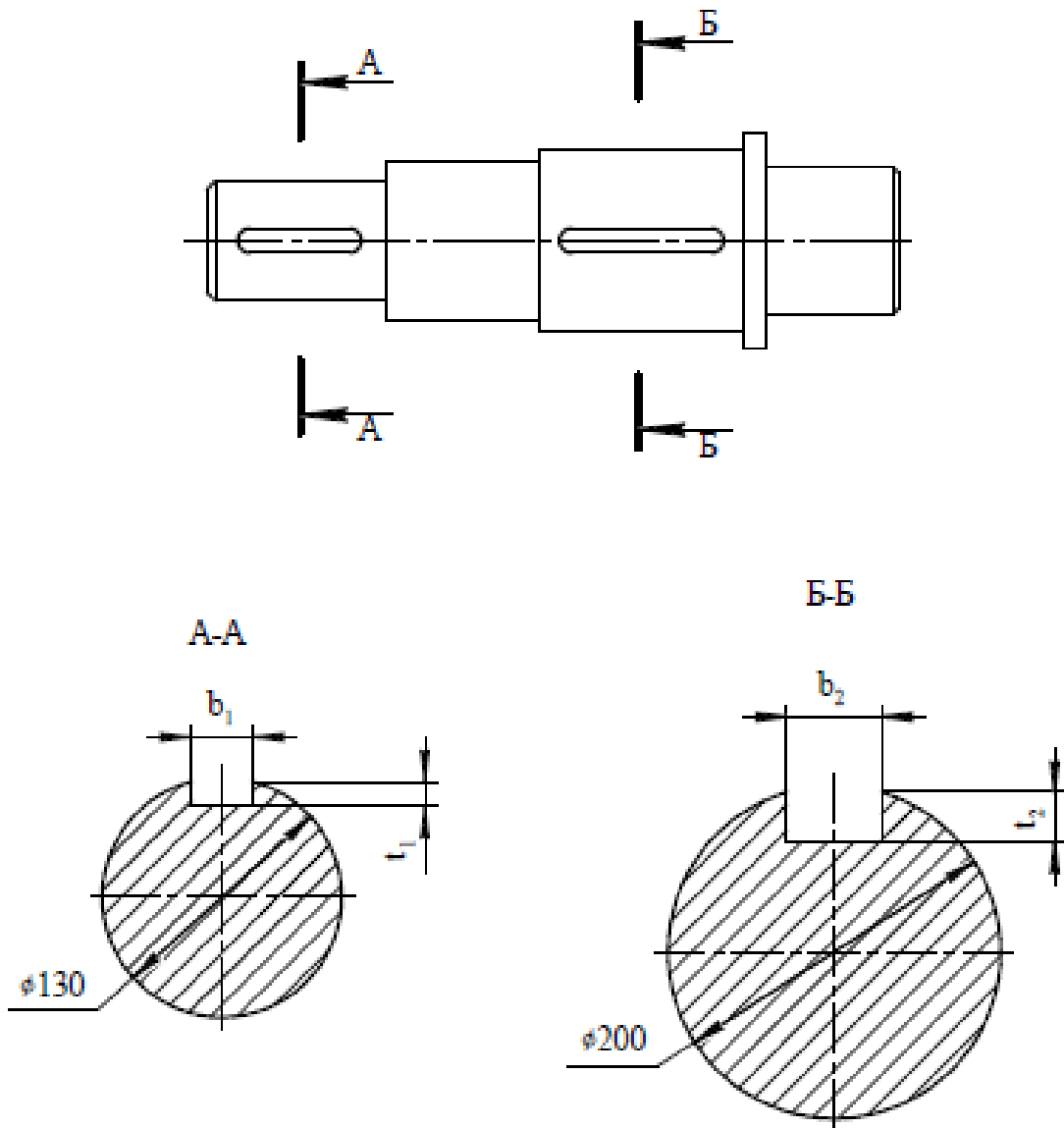


Рисунок 2.2 – Схема до визначення небезпечних перерізів приводного вала ходового колеса

Розрахунок запасу міцності.

Момент опору перетину згинання:

$$W = \frac{\pi d_3^3}{32} - \frac{v \cdot t(d_3 - L_1)^2}{2d_3}, \quad (2.36)$$

Вибір параметрів шпонки та шпоночного пазу в посадкових місцях ходового колеса. При $d_3 = 200$ мм. Шпонка: $b \times h \times l = 50 \times 28 \times 18$. Глибина пазу валу $t_1 = 11,5$ мм [19].

$$W = \frac{3,14 \cdot 200^3}{32} - \frac{50 \cdot 11,5(200-11,5)^2}{2 \cdot 200} = 733922,39 \text{ мм}^2$$

Момент опору перетину кручення:

$$W = \frac{\pi d_3^3}{16} - \frac{b \cdot t(d_3 - L_1)^2}{2d_3} =$$

$$= \frac{3,14 \cdot 200^3}{16} - \frac{50 \cdot 11,5(200-11,5)^2}{2 \cdot 200} = 158922,39 \text{ мм}^3.$$

Амплітуда нормальних напружень згину:

$$\sigma_v = \frac{M_{\text{хк}}}{W} = \frac{33,04 \cdot 10^6}{733922,39} = 45 \text{ МПа.} \quad (2.37)$$

Середнє напруження згину

Так як вал не сприймає осьове навантаження, його сприймають опорні ролики, то $\sigma_m = 0$.

Амплітуда та середнє навантаження циклу дотичних навантажень:

$$\tau_v = \tau_m = \frac{M_{\text{кр}}}{2W_{\text{кнетто}}} = \frac{4,6 \cdot 10^6}{2 \cdot 1518922,39} = 1,5 \text{ МПа.} \quad (2.38)$$

Коефіцієнт запасу міцності і нормальних напружень:

$$S_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{K_\sigma}{E_\sigma} \cdot \sigma_v + \psi_\sigma \cdot \sigma_m}, \quad (2.39)$$

де K_σ – ефективний коефіцієнт концентрації нормальних навантажень,
 $K_\sigma = 1,5$ [19];
 E_σ – масштабний фактор для нормальних навантажень, $E_\sigma = 0,82$ [19];
 ψ_σ – коефіцієнт, який відображає співвідношення межі витривалості
при симетричному та пульсуючому циклах згину, $\psi_\sigma = 0,2$ [19].

$$S_\sigma = \frac{298,5}{\frac{1,5}{0,82} \cdot 45} = 3,6.$$

Коефіцієнт запасу міцності по дотичним напруженням:

$$S_\tau = \frac{\tau_{-1}}{\frac{K_\tau}{E_\tau} \cdot \tau_v + \psi_\tau \cdot \tau_m}, \quad (2.40)$$

де $K_\tau = 1,46$ – ефективний коефіцієнт концентрації дотичних навантажень;
 $E_\tau = 0,52$ – масштабний фактор для дотичних навантажень;
 $\psi_\tau = 0,1$ – коефіцієнт, який відображає співвідношення межі витривалості
при симетричному та пульсуючому циклах згину.

$$S_\tau = \frac{173,13}{\frac{1,46}{0,52} \cdot 1,5 + 0,1 \cdot 1,5} = 38.$$

Результуючий запас міцності для перетину I-I:

$$S = \frac{S_\sigma \cdot S_\tau}{\sqrt{S_\sigma^2 + S_\tau^2}} = \frac{3,6 \cdot 38}{\sqrt{3,6^2 + 38^2}} = 3,6 \quad (2.41)$$

де $[S] = 2,5$ – допустимий запас міцності [19].

$$S = 3,6 > [S] = 2,5.$$

Умова міцності виконується

Запас міцності перетину II-II.

Цей перетин працює на кручення та згин внаслідок дії консольного навантаження від встановлення втулки зубчастої муфти.

Вибір параметрів шпонки для посадкового місця вала:

$d_1 = 130$ мм [19]; шпонка $b \times h \times l = 36 \times 20 \times 150$; глибина паза валу $t_1 = 12$ мм.

Згинаючий момент від дії консольного навантаження:

$$M_{\text{из}} = S_M \cdot f_M, \quad (2.42)$$

де S_M – неврівноважена складова зусилля, яке передається муфтою:

$$S_M = 0,3 \cdot P_{\text{окр}}; \quad (2.43)$$

$$P_{\text{окр}} = \frac{2M_K}{D_K} = \frac{2 \cdot 4,6}{0,7} = 13,14 \text{ кН};$$

$$S_M = 0,3 \cdot 13,14 = 3,9 \text{ кН},$$

f_M – відстань до муфти:

приймаємо $f_M = 245$ мм (за кресленням):

$$M_{\text{из}} = S_M \cdot f_M = 3,9 \cdot 0,245 = 0,96 \text{ кН м}.$$

Момент опору перетину згинання:

$$W = \frac{\pi d_1^3}{32} - \frac{b \cdot t_1 (d_1 - t_1)^2}{2d_1} = \frac{3,14 \cdot 130^3}{32} - \frac{36 \cdot 12 (130 - 12)^2}{2 \cdot 130} = 192445,36 \text{ мм}^3.$$

Момент опору перетину кручення:

$$W = \frac{\pi d_1^3}{16} \cdot \frac{v \cdot t_1 (d_1 - t_1)^2}{2d_1} =$$

$$= \frac{3,14 \cdot 130^3}{16} - 23135,26 = 408025,99 \text{ мм}^3.$$

Амплітуда та середнє навантаження циклу дотичних напружень:

$$\tau_v = \tau_m = \frac{M_{\text{из}}}{W} = \frac{0,96 \cdot 10^6}{408025,99} = 2,35 \text{ МПа.}$$

Амплітуда нормальних напружень згинання:

$$\sigma_v = \frac{M_{\text{из}}}{W} = \frac{0,96 \cdot 10^6}{192445,36} = 5,02 \text{ МПа.}$$

Запас міцності по нормальним напруженням:

$$S_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{K_\sigma}{E_\sigma} \cdot \sigma_v + \psi_\sigma \cdot \sigma_m} = \frac{298,5}{\frac{1,5}{0,82} \cdot 5,02 + 0,1 \cdot 0} = 32.$$

Запас міцності по дотичним напруженням:

$$S_\tau = \frac{\tau_{-1}}{\frac{K_\tau}{E_\tau} \cdot \tau_v + \psi_\tau \cdot \tau_m} = \frac{173,13}{\frac{1,46}{0,52} \cdot 2,35 + 0,1 \cdot 2,35} = 24,5.$$

Результуючий запас міцності:

$$S = \frac{S_\sigma \cdot S_\tau}{\sqrt{S_\sigma^2 + S_\tau^2}} = \frac{32 \cdot 24,5}{\sqrt{32^2 + 24,5^2}} = 19,5.$$

$$S_{II-II} > [S] = 19,5 > 2,5.$$

Висновок: міцність вала збережено.

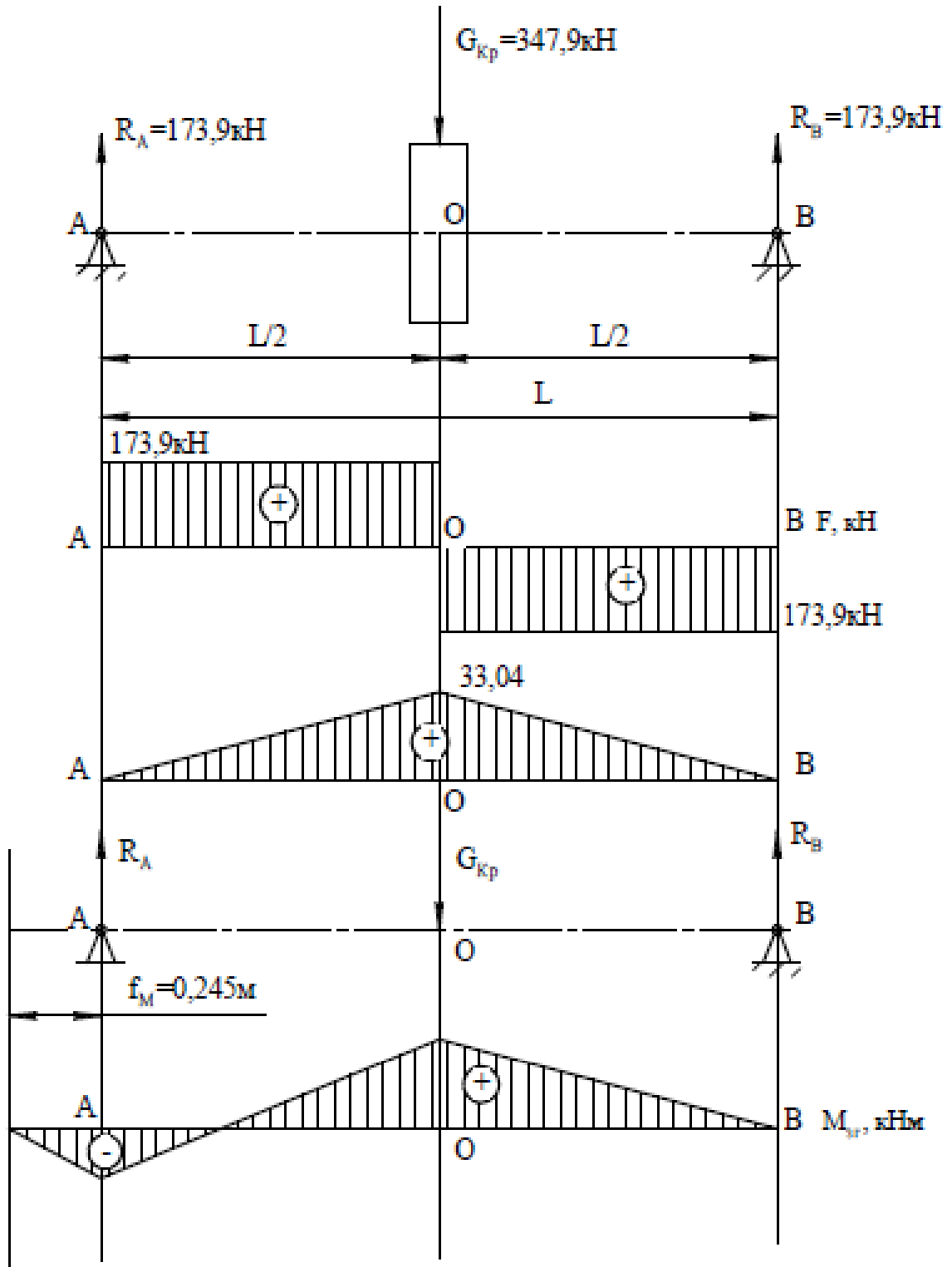


Рисунок 2.3 – Результати розрахунку вала ходового колеса

2.3.3 Розрахунок осі опорного ролика

Для розрахунку запропонованої конструкції безребордного колеса, тобто з опорними роликами, скористаємося наступними характеристиками:

- діаметр ролика $d=130$ мм
- відстань від точки прикладання зусиль, яке діє на ролик, до небезпечного перетину $ocid=120$ мм
- матеріал осі ролика сталь 45
- термообробка нормалізація
- межа міцності $[\sigma_b]=270$ МПа
- межа плинності $[\tau_T]=510$ МПа

Вісь опорного ролика випробовує напруження згинання від дії осьового навантаження.

Зусилля, яке діє на ролик:

$$F_p = 0,2G_k = 0,2 \cdot 347,9 = 69,58 \text{ кН.} \quad (2.44)$$

Так як опорні ролики розташовані з обох боків балансірного візка, то:

$$F_a = 2F_p = 2 \cdot 69,58 = 139,16 \text{ кН.} \quad (2.45)$$

Згинаючий момент в опорному ролику:

$$M_{изг} = F_a \cdot a = 139,16 \cdot 0,12 = 16,7 \text{ кН м.} \quad (2.46)$$

Момент опору перетину осі ролика згинанню:

$$W_{изг} = 0,1 \cdot d^3 = 0,1 \cdot 130^3 = 219700 \text{ мм}^3. \quad (2.47)$$

Згинаюче напруження:

$$\sigma_{\text{изг}} = \frac{M_{\text{изг}}}{W_{\text{изг}}} = \frac{16,7 \cdot 10^6}{219700} = 76 \text{ МПа.} \quad (2.48)$$

Умову опору згинанню виконано.

2.3.4 Перевірка вальниці вала ходових коліс на довговічність

Для опори вала ходових коліс приймаємо вальниці радіальні роликові двохрядні сферичні серії 3634, частота обертання ходових коліс $n_{\text{хк}} = 27,7 \text{ хв}^{-1}$, радіальне навантаження в опорах $R_a = R_b = 173,9 \text{ кН}$, розміри вальниці $d \times D \times B = 170 \times 360 \times 120$ [20], динамічна вантажопід'ємність $C = 984 \text{ кН}$, статична вантажопід'ємність $C_0 = 1180 \text{ кН}$.

Еквівалентне навантаження:

$$F_{\text{екв}} = R_a \cdot x \cdot V \cdot K_{\delta} \cdot K_T, \quad (2.49)$$

де V – коефіцієнт, який характеризує кільце, яке обертається, під час обертання внутрішнього кільця, $V = 1,0$ [19];

X – коефіцієнт радіального навантаження.

Приймаємо $x = 1$, так як відношення:

$$\frac{R_a}{L_0} = \frac{173,9}{1180} = 0,14 < l = 0,34; \quad (2.50)$$

$K_T = 1,05$ – температурний коефіцієнт [19];

$K_{\delta} = 1,3 \dots 1,5$ – коефіцієнт безпеки, [19].

Приймаємо $K_{\delta} = 1,4$.

$$F_{\text{екв}} = 173,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,4 \cdot 1,05 = 255,6 \text{ кН.}$$

Номінальна довговічність підшипника в млн. об:

$$L = \left(\frac{C}{F_{\text{екв}}} \right)^{\frac{10}{3}} = \left(\frac{984}{255,6} \right)^{\frac{10}{3}} \approx 157,0 \text{ млн об.} \quad (2.51)$$

Номінальна довговічність в годинах:

$$L_M = \frac{1 \cdot 10^6}{60 \cdot n} = \frac{157 \cdot 10^6}{60 \cdot 27,7} = 94825 \text{ год.}$$

Обрані вальниці працездатні для даного вузла, так як номінальна довговічність більш ніж рекомендовано значення $L_n = 25000$ год.

2.3.5 Розрахунок елементів з'єднання ходового колеса з валом

Шпонкове з'єднання виконаємо за наступними конструктивними параметрами:

- параметри шпонки $b \times h \times l = 50 \times 28 \times 180$
- глибина шпонкового пазу $t_1 = 17$ мм
- діаметр валу $d = 200$ мм
- матеріал шпонки сталь 45
- термообробка нормалізація
- допустимі напруження змінання $[\sigma_{\text{см}}] = 170$ МПа

Призматична шпонка в з'єднанні випробовує напруження змінання та зрізу.

Допустимі дотичні напруження зрізу:

$$[\tau_{\text{ср}}] = 0,6 [\sigma_{\text{см}}] = 0,6 \cdot 170 = 102 \text{ МПа.} \quad (2.52)$$

Дійсні напруження змінання:

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{2T_B}{d \cdot l_p (h - t_1)} \leq [\sigma_{\text{см}}]; \quad (2.53)$$

$$\sigma_{pvm} = \frac{2 \cdot 4,6 \cdot 10^6}{200 \cdot (180-20)(28-17)} = 26 \text{ МПа} < 170 \text{ МПа}$$

Дотичні напруження при зрізі:

$$\tau_{зр} = \frac{2T_B}{d \cdot l_B} \leq [\tau_{зр}]; \quad (2.54)$$

$$\tau_{зр} = \frac{2 \cdot 4,6 \cdot 10^6}{200 \cdot 180 \cdot 50} = 15 \text{ МПа} < 102 \text{ МПа}$$

Висновок: міцність шпоночного з'єднання забезпечено.

Розрахунок зубчастої муфти полягає в перевірці зубів на зминання, а болти, які з'єднують напівмуфти – на зріз та зминання:

- крутний момент, який передається муфтою $T_{\max} = 16,73 \text{ кН м}$
- тип муфти $M = 3-6$
- число зубів $z = 48$
- модулі зачеплення $m = 4$
- габаритні розміри $D_1 = 320 \text{ мм}$ $L = 254 \text{ мм}$ $B = 52 \text{ мм}$ $b = 30 \text{ мм}$
- діаметр кінців валів $d = 130 \text{ мм}$
- діаметр, на якому розташовані болти $D_2 = 190 \text{ мм}$
- різьба болтів, які з'єднують фланці $M10$
- кількість болтів $n = 8$
- матеріал болта сталь 3
- межа міцності матеріалу болту $\sigma_b = 380 \text{ МПа}$
- межа плинності матеріалу болту $\sigma_T = 240 \text{ МПа}$
- матеріал втулки та обойми сталь 45
- термообробка втулки загартування $HRC 40$
- термообробка обойми загартування $HRC35$
- розрахункова схема – рисунок 2.4

Розрахунок зубів муфти полягає в перевірці зубів на дотичні напруження зминання та болтів, які з'єднують фланці обойми, на зріз та зминання.

Діаметр тривалого кола зубчастого зачеплення:

$$d = m \cdot z = 4 \cdot 48 = 192 \text{ мм.} \quad (2.55)$$

Діаметр западин зубів:

$$D_f = d - 2,76 \cdot m = 192 - 2,76 \cdot 4 = 180,96 \text{ мм.} \quad (2.56)$$

Діаметр кола вершин зубів втулки:

$$D_a = d + 2 \cdot m = 192 + 2 \cdot 4 = 200 \text{ мм.} \quad (2.57)$$

Площа зминання дотичних поверхонь зубів:

$$A_{cm} = 0,8 \cdot m \cdot v = 0,8 \cdot 4 \cdot 30 = 96 \text{ мм}^2. \quad (2.58)$$

Дотичні напруження зминання:

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \cdot T_{\max}}{0,75 \cdot z \cdot d \cdot A_{зм}} \leq [\sigma_{зм}], \quad (2.59)$$

де 0,75 – множник, врахований для обліку нерівномірності розподілу навантаження на зуби;

$[\sigma_{зм}]$ – допустимі навантаження на зминання, під час спокійного навантаження, $[\sigma_{зм}] = 100 \text{ МПа}$ [19].

$$\sigma_{зм} = \frac{2 \cdot 16,73 \cdot 10^6}{0,75 \cdot 48 \cdot 192 \cdot 96} = 49,5 \text{ МПа.} < [\sigma_{зм}] = 100 \text{ МПа}$$

Під час використання, для з'єднання напівмуфт, напівчистих болтів, які встановлені із зазором, момент передається тертям на кільцевій дотичній поверхні обойми.

$$F_{\text{зат}} = \frac{2 \cdot K_p \cdot T}{f \cdot n \cdot D_2},$$

де f – коефіцієнт тертя між плоскостями фланців обойми, $f = 0,1 \dots 0,15$ [2],

приймаємо $f = 0,15$;

K_p – коефіцієнт розподілу навантаження фланців обойми, приймаємо

$K_p = 1,2$.

$$F_{\text{зат}} = \frac{2 \cdot 1,2 \cdot 16,73 \cdot 10^6}{0,15 \cdot 8 \cdot 190} = 1761,05 \text{ Н.}$$

Напруження розтягнення в тілі болту від затяжки:

$$\sigma_p = \frac{F_{\text{зат}}}{A_p}, \quad (2.60)$$

де A_p – площа затяжки:

$$A_p = \frac{\pi d_1^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,1^2}{4} = 65 \text{ мм}^2$$

де d_1 – внутрішній діаметр різьби болта;

$$S_p = \frac{1761,05}{65} = 27,1 \text{ МПа.}$$

Зусилля зрізу болта:

$$F_{\text{ср}} = \frac{2 \cdot T}{n \cdot D_2} = \frac{2 \cdot 16,73 \cdot 10^6}{8 \cdot 190} = 2201,3 \text{ Н.}$$

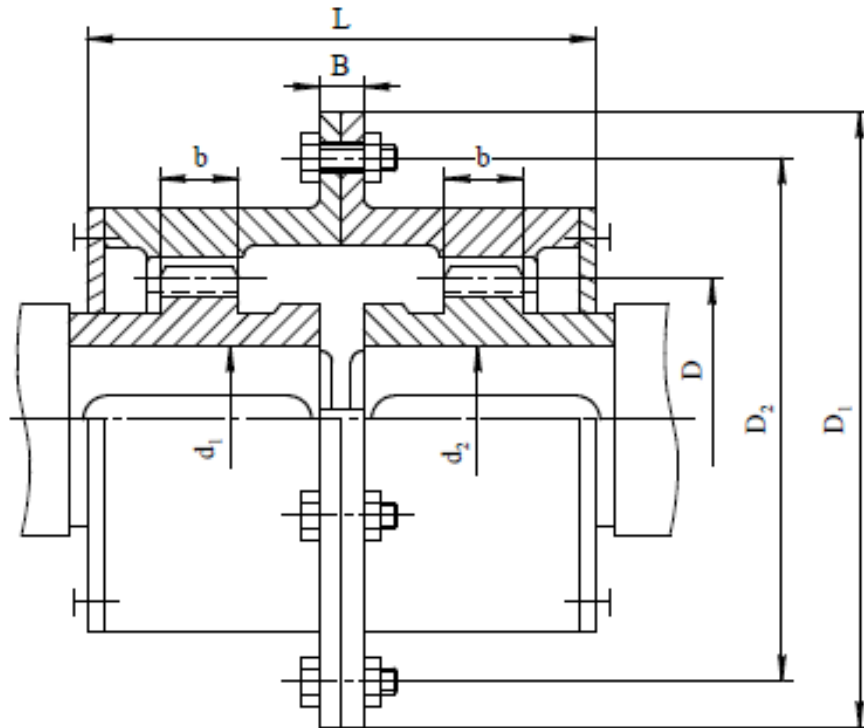


Рисунок 2.4 – Розрахункова схема зубчастої муфти

Дотичні напруження при зрізі в тілі болта:

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{F_{\text{ср}}}{A_{\text{ср}}}, \quad (2.61)$$

де $A_{\text{ср}}$ – площа зрізу:

$$A_{\text{ср}} = \frac{\pi d_1}{4} = \frac{3,14 \cdot 130}{4} = 102 \text{ мм}^2;$$

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{2201,3}{102} = 22 \text{ МПа.}$$

Результуючі напруження в тілі болту:

$$\sigma_{\text{рез}} = \sqrt{\sigma_p^2 + 4\tau_{\text{ср}}^2} \leq [\sigma], \quad (2.62)$$

де $[\sigma]$ – допустиме напруження:

$$[\sigma] = (0,5 \dots 0,6) \cdot \sigma_T = 0,6 \cdot 240 = 144 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\text{рез}} = \sqrt{27,1^2 + 4 \cdot 22^2} = 52 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_{\text{рез}} = 52 \text{ МПа} < [\sigma] = 144 \text{ МПа};$$

Напруження зминання на дотичній поверхні болта на фланцях обойми:

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{2 \cdot T}{n \cdot D_2 \cdot A_{\text{зм}}} = \frac{2 \cdot T}{n \cdot D_2 \cdot d \cdot B/2} \leq [\sigma_{\text{зм}}],$$

де d – діаметр болту, $d = 10$ мм;

$[\sigma_{\text{см}}]$ – допустимі напруження [17]:

$$[\sigma_{\text{зм}}] = (0,8 \dots 1) \cdot \sigma_T, \quad (2.63)$$

$$[\sigma_{\text{зм}}] = 0,8 \cdot 240 = 190 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\text{зм}} = \frac{2 \cdot 16,73 \cdot 10^6}{8 \cdot 190 \cdot 10 \cdot \frac{30}{2}} = 147 \text{ МПа.}$$

Умову опору зминання виконано.

3 ДОСЛІДНО–ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Аналіз робіт направлених на моделювання роботи мостового крану

Постійне зростання продуктивності агрегатів металургійного виробництва беззаперечно викликає зростання таких силових характеристик як навантаження та швидкості переміщення, що в свою чергу викликає перенавантаження в основних виконавчих вузлах. Постійна робота з навантаженнями більшими від розрахункових викликає з часом поломки агрегатів, які на жаль пов'язані не тільки з економічними втратами на відновлення робоспроможності вузла, а й часто несуть загрозу безпеці життю обслуговуючого і основного робочого персоналу та виникненню аварійних ситуацій на виробництві [21].

При проєктуванні дрібносерійного або жі зовсім одиничного, унікального обладнання металургійної галузі промисловості важко встановити достовірні динамічні навантаження на вузли без наявності дослідного зразка. Тому постає питання розробки імітаційних математичних моделей, які б давали розуміння природи динамічних складових технологічного процесу.

Авторами робіт [22, 23] детально розглянута спільна робота при переміщенню візка мостового крана з одночасним підняттям та переміщенням вантажу. Розроблені математичні моделі дають змогу стверджувати, що на початковому етапі підняття вантажу зменшення прискорення при підйомі, дозволяє значно зменшити горизонтальну раскачку переміщуємого вантажу. Таким чином можна зменшити коливальне навантаження на узли мостового крана. Але при цьому автори не враховують підатливість канату.

Більшої уваги динамічним процесам, що виникають при підйомі вантажу присвятила група авторів на чолі з Ловейкіним В. С., так роботою [24] вони акцентують увагу на тому, що значні коливання швидкості обертання електродвигуна, а отже і різка зміна його рушійного моменту призводять до

збільшення динамічних складових та можуть призводити до виходу з ладу привода підйома. Дослідження впливу реальних динамічних процесів методом математичного моделювання пружних систем електромеханічного приводу вони наводять в роботі [25], як підсумок якої є їхня робота [26].

Роботою [26] виконавши імітаційне моделювання різних варіантів підйому вантажу, на кшталт з підхватом чи з полу, обґрунтовані оптимальні режими роботи мостових кранів. Розроблені моделі враховують динамічні навантаження у пружних елементах, якими являються канати, але при цьому є досить громіздкими і дозволяють уточнити, шляхом удосконалення конструкторських методих розрахунку механізмів підйому вантажу на стадії проєктування, тому постає питання в розробці більш простих методів, які б дозволили скористатися їми вже безпосередньо в цеху.

3.2 Методи наближеного визначення частот вільних коливань багатомасових крутильних систем

Точні аналітичні методи визначення частот вільних коливань багатомасових крутильних систем, пов'язані з дуже громіздкими та складними розрахунками. Наближені методи на інженерному рівні запропоновані Толле, Криловим, Граммелем та Барановим [27].

Зупинимося на розгляді методу Толле-Крилова, як найпростішим і водночас задовільним для практики [28]. Розрахункова схема до цього методу наведено рисунку 3.1.

Відповідно до методу Толле-Крилова, із системи, що складається з n мас, виділяється i -а маса (рисунок 3.1) і складається для неї рівняння рівноваги

$$M_{i-1,i} - M_{i,i+1} + J\ddot{\phi}_i = 0, \quad (3.1)$$

де

$$M_{i-1,i} = C_{i-1,i} (\varphi_i - \varphi_{i-1}); \quad (3.2)$$

$$M_{i,i+1} = C_{i,i+1} (\varphi_{i+1} - \varphi_i). \quad (3.3)$$

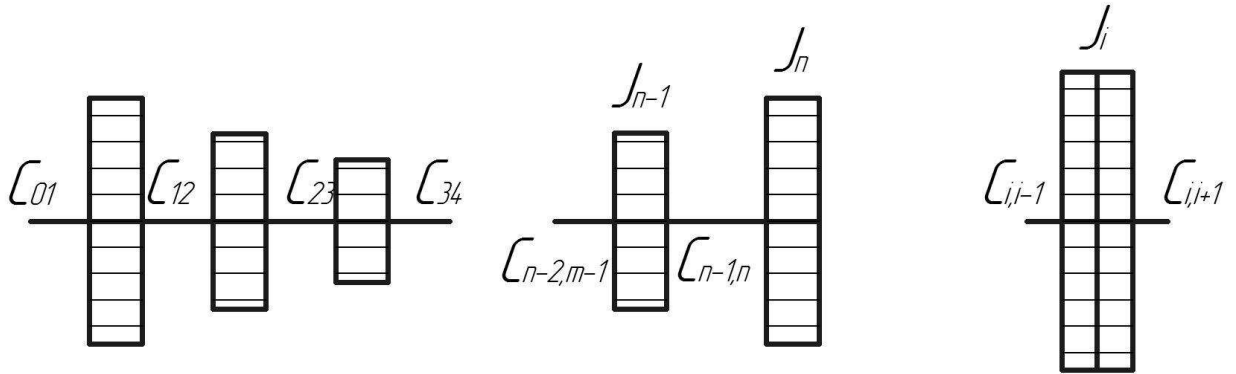


Рисунок 3.1 – Розрахункова схема визначення частот вільних коливань багатомасових крутильних систем.

Рішенням для φ_i може бути

$$\varphi_i = A_i \cos (pt + \varphi), \quad (3.4)$$

$$\ddot{\varphi} = -p^2 \varphi_i. \quad (3.5)$$

Підставивши перетворення (3.2), (3.3), (3.4), (3.5) у формулу (3.1), отримаємо:

$$3_{i-1,i} A_{i-1} + C_{i,i+1} A_{i+1} - A_i (C_{i-1,i} + C_{i,i+1} + p^2 J_i) = 0, \quad (3.6)$$

Позначимо відношення амплітуд A_i коливань мас до амплітуди A_1 першої маси через:

$$\alpha_1 = \frac{A_1}{A_1} = 1, \quad \alpha_2 = \frac{A_2}{A_1}, \quad \alpha_3 = \frac{A_3}{A_1}, \quad \dots, \quad \alpha_n = \frac{A_n}{A_1} \quad (3.7)$$

І з огляду на це перепишемо рівняння (3.6) для кількох мас.

Для першої маси:

$$\begin{aligned} C_{01}(A_1 - A_0) - 3_{12}(A_2 - A_1) - p^2 J_1 \alpha_1 &= 0, \\ C_{01}(\alpha_1 - \alpha_0) - C_{12}(\alpha_2 - \alpha_1) - p^2 J_1 \alpha_1 &= 0 \end{aligned} \quad (3.8)$$

Або

$$\frac{M_{12}}{A_1} = \frac{M_{01}}{A_1} - p^2 J_1 \alpha_1 = C_{12}(\alpha_2 - \alpha_1). \quad (3.9)$$

При $M_{01} = 0$ і $A_1 = 1$

$$M_{12} = -p^2 J_1 \alpha_1 = C_{12}(\alpha_2 - \alpha_1), \quad (3.10)$$

Звідси α_2 дорівнює:

$$\alpha_2 = \alpha_1 - \frac{p^2 J_1 \alpha_1}{C_{12}} = \alpha_1 + \frac{M_{12}}{C_{12}}. \quad (3.11)$$

Для другої маси отримаємо аналогічно:

$$\frac{M_{23}}{A_1} = \frac{M_{12}}{A_1} - p^2 J_2 \alpha_2 = C_{23}(\alpha_3 - \alpha_2), \quad (3.12)$$

$$\alpha_3 = \alpha_2 + \frac{M_{23}}{C_{23}} \quad (3.13)$$

Для n -ої маси:

$$\alpha_n = \alpha_{n-1} + \frac{M_{n-1,n}}{C_{n-1,n}} \quad (3.14)$$

суть методу полягає в тому, що, приймаючи момент сил пружності M_{01} лівіше першої маси рівним нулю і амплітуду A_1 першої маси рівної одиниці, а також, задаючись довільними значеннями кругової частоти p і виходячи з умови рівноваги першої маси, знаходять відносну амплітуду. Аналогічним чином визначають наступні значення $\alpha_3 \dots \alpha_n$.

, що момент сил пружності $M_{n,n+1}$ за останньою масою завжди дорівнює нулю. Тому, якщо власну частоту знайдено правильно, то

$$\frac{M_{n,n+1}}{A_1} = \frac{M_{n-1,n}}{A_1} - \alpha_n p^2 J_n = 0 \quad (3.15)$$

Користуючись цим, задаються довільно значенням p до того часу, поки залишковий член перетвориться на нуль:

$$R = M_{n,n+1} = 0 \quad (3.16)$$

Для подальших досліджень потрібно виконати розрахунок канату механізму підйому

3.3 Вибір канату механізму підйому

При розрахунках використана методика [13]

Найбільшез усилля в канаті

$$S_{\max} = \frac{Q_1}{2 \cdot i_n \cdot \eta_n} = \frac{228}{2 \cdot 2 \cdot 0,99} = 57 \text{ кН} \quad (3.17)$$

де Q_1 - вага переміщуємого вантажу, кН;

i_n - кратність поліспасти; $i_n = 2$

η_n - ККД поліспасти для блоків, що працюють на вальниціях кочення

$\eta_n = 0,99$.

Допустиме розривне зусилля каната

$$P_{\text{роз}} = S_{\text{max}} \cdot n_p \quad (3.18)$$

де n_p - запас міцності, для особливо відповідальних режимів $n_p = 6.6$

$$P_{\text{роз}} = 57 \cdot 6,6 = 376 \text{ кН}$$

Вибираємо канат подвійного звивання типу ЛК-Р конструкції $6 \times 19(1+6+6/6)+1$ с.с., діаметром $d=28$ мм, маркувальна група 1568 МПа, Розривне зусилля каната $[P] = 379 \text{ кН}$

3.4 Визначення жорсткостей та їх приведення

Для чіткої різниці між жорсткостями тіла та наведеної системи тіл введемо позначення:

- K – жорсткість тіла;
- C – наведена жорсткість системи тел.

Відповідно до закону Гука жорсткість K можна представити так:

при стисканні та розтягуванні:

$$K = \frac{E \cdot S}{l}, \quad (3.19)$$

де E - модуль пружності першого роду, $E = 2 \cdot 10^5$ МПа;

S - площа поперечного перерізу деталі, мм^2 ;

l - Довжина деталі, мм.

при крученні:

$$K = \frac{G_c \cdot I_p}{l}, \quad (3.20)$$

де G_c - модуль пружності при зсуві, $G_c = 8 \cdot 10^4$ МПа;

l - Довжина деталі, мм.

Момент інерції поперечного перерізу деталі, для валу визначається за формулою:

$$I_p = \frac{\pi d^4}{32}, \quad (3.21)$$

де d - діаметр валу, мм.

Приведення жорсткостей здійснюють на основі закону збереження потенційної енергії пружних тіл. З нього випливає, що потенційна енергія пружного тіла (системи) після приведення повинна дорівнювати потенційної енергії до приведення.

При приведенні жорсткості однієї ланки, що обертається, до іншої керуються наступним правилом: щоб привести жорсткість тихохідного валу до швидкохідного її необхідно розділити на квадрат передавального відношення між цими ланками i , навпаки, при приведенні жорсткості швидкохідної ланки до тихохідного її слід помножити на квадрат цього ж передавального відношення:

$$C = \frac{K}{i^2}, \text{Н} \cdot \text{мм}, \quad (3.22)$$

де i - передаточне відношення.

На підставі формули (2.18) та (2.19) отримаємо:

$$C = \frac{\pi \cdot G_c \cdot d^4}{32 \cdot l \cdot i^2}, \quad (3.23)$$

Підставивши числові значення формулу (3.23) отримаємо:

$$C_1 = \frac{3,14 \cdot 8 \cdot 10^4 \cdot 120^4}{32 \cdot 500 \cdot 1} = 3,3 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Наведену жорсткість пружної ланки, що поступово рухається, визначають за формулою:

$$C = K \cdot R_{\delta}^2, \text{ Н} \cdot \text{мм} \quad (3.24)$$

де R_{δ} – радіус барабана, мм;

Перетворивши вираз (3.24) на підставі формули (3.19) отримаємо:

$$C_2 = \frac{E \cdot S \cdot R_{\delta}^2}{l}, \quad (3.25)$$

Підставивши числові значення формулу (3.25) визначимо наведену жорсткість для каната:

$$C_2 = \frac{2 \cdot 10^5 \cdot 3,14 \cdot 14^2 \cdot 275^2}{37717} = 2,5 \cdot 10^8 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

3.5 Визначення частот, амплітуди вільних коливань та динамічної складової навантажень в канаті візка мостового крану

З формул 3.1 – 3.16 складемо таблицю Толле. Для складання таблиці скористаємося такими вихідними даними:

1. моменти інерції:

- електромеханічного приводу переміщення візка $J_1 = 7552,6 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$;
- візка мостового крана $J_2 = 94\,910,4 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$;
- електромеханічного приводу підйому $J_3 = 7550 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$.

2. жорсткості:

- валу, що з'єднує електромеханічний привід $J_{12} = 3,3 \cdot 10^6 \text{ Н}\cdot\text{м}$;
- каната $J_{23} = 2,5 \cdot 10^5 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

3. податливості:

- валу, що з'єднує електромеханічний привід $1/C_{12} = 3,03 \cdot 10^{-7} \text{ Н}\cdot\text{м}$;
- каната $1/C_{23} = 4 \cdot 10^{-6} \text{ Н}\cdot\text{м}$.

Для початку поставимо значення: $p = 15 \text{ с}^{-1}$, $p^2 = 225 \text{ с}^{-2}$, $\alpha_1 = 1$.

Таблиця 3.1 – Визначення частоти вільних коливань пружнього вала табличним методом Толле при $p = 15 \text{ с}^{-1}$

Ділянки пружнього вала	Момент сил пружності	$1/C_{k-1k}$	$p^2 J_k$	α_k	J_k
0-1	0	-	-	-	-
-	$p^2 J_1 \alpha_1$	=	$p^2 J_1 \alpha_1 = 1$		J_1
1-2	$-p^2 J_1 \alpha_1 \times 1/C_{12}$			$+ M_{12}/C_{12}$	
-	$p^2 J_2 \alpha_2$	=	$p^2 J_2 \alpha_2 = \alpha_1 + M_{12}/C_{12}$		J_2
			$30^2 J_k$		
0-1	0				
-	$1,7 \cdot 10^6$	=	$1,7 \cdot 10^6 \times 1$		$J_1 = 7552,6$
1-2	$-1,7 \cdot 10^6 \times 3,03 \cdot 10^{-7}$			$+ -0,52$	
-	$1 \cdot 10^7$	=	$2,1 \cdot 10^7 \times 0,48$		$J_2 = 94\,910,4$
2-3	$-1,17 \cdot 10^7 \times 4 \cdot 10^{-6}$			$+ -46,8$	
-	$-7,9 \cdot 10^7$	=	$1,7 \cdot 10^6 \times (-46,32)$		$J_3 = 7550$
3-4			$-6,7 \cdot 10^7$ (прийнята частота не підходить)		

Послідовність розрахунків у таблиці 3.1 показана стрілками. На межах клітин поставлені знаки «-», «+», «×», «=», що відповідно позначають операції: віднімання, додавання, множення, рівність. Для виключення надлишкового заповнення клітин таблиці отримані результати округлялися.

Обчислення показують, що при прийнятому $p = 15 \text{ с}^{-1}$ залишковий член не перетворюється на нуль ($-6,7 \cdot 10^7 \neq 0$). Отже, необхідно зробити ще спробу. Заданося $p = 20^{-1}$, $p^2 = 225^{-2}$, $\alpha_1 = 1$ і побудуємо ще одну таблицю Толле (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2 – Визначення частоти вільних коливань пружнього вала табличним методом Толле при $p=20 \text{ с}^{-1}$

Ділянки пружнього вала	Момент сил пружності	$1/C_{k-1k}$	$p^2 J_k$	α_k	J_k
0-1	0	-	-	-	-
-	$p^2 J_1 \alpha_1$	=	$p^2 J_1 \alpha_1 = 1$		J_1
1-2	$-p^2 J_1 \alpha_1 \times 1/C_{12}$			$+ M_{12}/C_{12}$	
-	$p^2 J_2 \alpha_2$	=	$p^2 J_2 \alpha_2 = \alpha_1 + M_{12}/C_{12}$		J_2
			$30^2 J_k$		
0-1	0				
-	$3 \cdot 10^6$	=	$3 \cdot 10^6 \times 1$		$J_1 = 7552,6$
1-2	$-3 \cdot 10^6 \times 3,03 \cdot 10^{-7}$			$+ 0,9$	
-	$3,8 \cdot 10^6$	=	$3,8 \cdot 10^6 \times 0,1$		$J_2 = 94\ 910,4$
2-3	$-6,8 \cdot 10^6 \times 4 \cdot 10^{-6}$			$+ 27,2$	
-	$-8,1 \cdot 10^7$	=	$3,02 \cdot 10^6 \times 27,1$		$J_3 = 7550$
3-4			$7,4 \cdot 10^7$ (прийнята частота не підходить)		

Під час другої спроби залишковий член також не перетворюється на нуль ($7,4 \cdot 10^7 \neq 0$), звідси ясно, що справжнє значення частоти p лежить у проміжку між частотами $p=15 \text{ с}^{-1}$ і $p = 20 \text{ с}^{-1}$. Щоб знайти p_i необхідно побудувати залежність $M_{n,n+1} = f(p)$. На підставі проведених розрахунків збудуємо такий графік (рисунок 3.2).

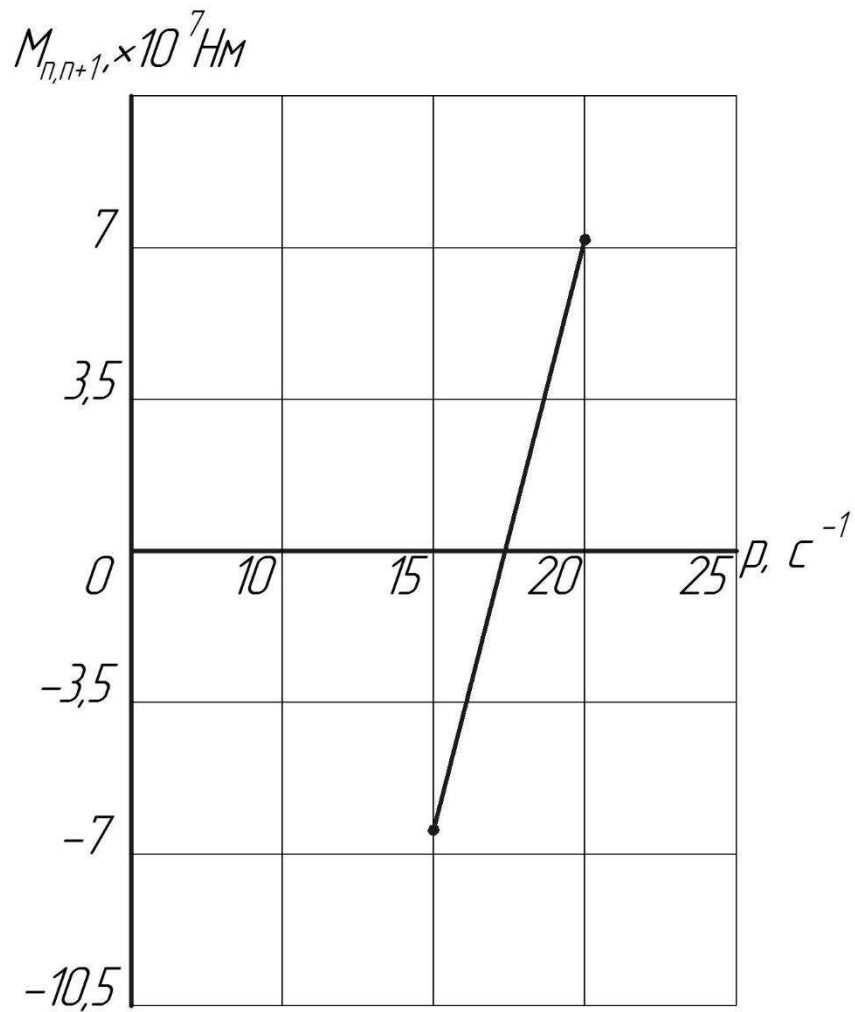


Рисунок 3.2 – Графік залежності $M_{n,n+1} = f(p)$.

Значення p_i знаходимо на перетині кривої з віссю p . Як видно з графіка воно становить $p_i = 17 \dots 18 \text{ с}^{-1}$.

Для визначення амплітуди коливань необхідно спочатку визначити коефіцієнт форми коливань:

$$\mu = \frac{C_0 - J_1 p^2}{C_0}, \quad (3.26)$$

де C_0 – наведена жорсткість каната;

J_1 – момент інерції візка мостового крана, Н·м;

p - частот вільних коливань, $p = 17,5 \text{ }^{-1}$;

$$\mu = \frac{2,5 \cdot 10^5 - 9,4 \cdot 10^5 \cdot 17,5^2}{2,5 \cdot 10^5} = -115,05 \text{ м}^{-1}$$

На підставі коефіцієнта форми коливань та частоти вільних коливань можна знайти амплітуду вільних коливань за формулою:

$$A = \frac{\omega}{p(1-\mu)}, \quad (3.27)$$

де ω - значення кутової швидкості під час перехідного процесу, $\omega = 0,349 \text{ }^{-1}$

$$A = \frac{0,349}{17,5 \cdot (1 - (-115,05))} = 1,7 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

Для визначення значення прискорення скористаємося формулою:

$$\ddot{\phi} = -\mu \cdot A_1 \cdot p^2 \sin(p \cdot t), \quad (3.28)$$

де t - час перехідного процесу, с.

$$\ddot{\phi} = -(-115,05) \cdot 1,7 \cdot 10^{-4} \cdot 17,5 \sin(17,5 \cdot 3) = 0,016 \text{ м/с}^2$$

Динамічний момент знаходимо виходячи із закону Ньютона:

$$M_{\text{дин}} = m \cdot \ddot{\phi}, \quad (3.29)$$

де m - вага люльки зі злитком, Н

$$M_{\text{дин}} = 3,9 \cdot 10^5 \cdot 0,016 = 6240 \text{ Нм}$$

Тоді динамічне зусилля, що виникає в канаті, дорівнює:

$$F_{\text{дин}} = \frac{M}{c}, \quad (3.30)$$

де c – плече докладання сили, м

$$F_{\text{дин}} = \frac{6240}{2,145} = 2909 \text{ Н}$$

Проаналізувавши виконані дослідження можна зробити висновок, що динамічна складова від навантажень при роботі (підйом-опускання вантажу) складає лише 4,2 % від розрахункових статичних навантажень і не матиме суттєвого впливу на роботу мостового крану. Тому використовуючи розроблену методику варто виконати прорахунок всіх важливих вузлів на вплив динамічної складової і у випадку перевищення 20 % порогу прийняти відповідні міри по нівелюванню її впливу. Запропонована методика дозволяє виконати таку перевірку на стадії експлуатації мостового крану без громіздких та ресурсоемних розрахунків.

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА В ГАЛУЗІ

4.1 Виявлення та оцінка шкідливих факторів виробничого середовища

4.1.1 Характеристика ступеня безпеки технологічного процесу

Нагрівання металу на ділянці обтискного стану здійснюється в регенеративних нагрівальних колодязях з різноманітним напрямком полум'я. Конструктивні особливості нагрівальних печей виключають ймовірність вибуху газу в робочому просторі печі.

Певну небезпеку становить операція видалення шлаку з нагрівальних колодязів. З технологічної точки зору рідке шлаковидалення є кращим, проте воно не забезпечує повної безпеки цього процесу, тому що при цьому можливі екстремальні відхилення, обумовлені наявністю розплавленого металу або шлаку.

Таким чином, небезпечними чинниками процесу нагрівання злитків і заготовок є вибивання полум'я з-під кришок нагрівальних пристроїв, особливо при перекиданні клапанів регенеративних колодязів, виплески розплавленого шлаку і вибухи при контакті розплавленого шлаку з водою або вологим матеріалом.

У обтискному цеху застосовують механізми для транспортування (електромостового крану, конвеєри, рольганги, шлеппери). Залізничний транспорт, внутрішньо цеховий транспорт (електрокари, автонавантажувачі) і автомобільний транспорт. Робота з цими видами транспорту вимагає виконання спеціальних правил техніки безпеки. При пересуванні автомашин і автонавантажувачів в прокатному цеху водії зобов'язані стежити за тим, щоб на шляху руху не було перешкод, нагромаджень і людей. Застосування електрокар допускається при обладнанні їх сигналізацією, гальмами і вимикачем, чинним автоматично.

4.1.2 Аналіз потенційних і шкідливих факторів виробничого середовища

Використання в якості палива доменно-коксового та природного газів в нагрівальних пристроях прокатних цехів пов'язане з небезпечністю освіти вибухонебезпечних сумішей і їх займання. Джерелами займання вибухової суміші в прокатному цеху являють відкрите полум'я, електрична іскра, нагрітий метал і т. д. Вибухова суміш газів з повітрям зазвичай утворюється при порівняно низькій температурі. При експлуатації прокатних станів можливі наступні небезпечності: захоплення валками або обертовими шпинделями і з'єднувачами муфтами частин одягу і кінцівок вальцівника та механічні пошкодження відлітаючими осколками прокатуваного металу і окалини.

При відхиленні параметрів процесу прокатки від заданих, таких як нерівномірне нагрівання зливків і заготовок, неправильне калібрування або розточуванню валків, різна швидкість обертання валків, виникає нерівномірність деформації з різними проявами-викривлення розкату в горизонтальній і вертикальній площинах, руйнування металу і т. д. Викривлення кінців розкату може призвести до виникнення ударів, поломку устаткування і травмування персоналу.

Прокатка на слябінгу, товстолистових станах супроводжується викидами частинок окалини з великою швидкістю, осколків металу і бризок шлаку. Відлітати частинки руйнують остекління постів управління і можуть травмувати операторів - вальцовщиків і перебуваючий при стані персонал.

У цеху є наступні види шумів: механічний, аеродинамічний, імпульсний, термічний. При тривалому впливі на робочих, шум різної інтенсивності призводить до розвитку професійної глухоти, перенапружує центральну нервову систему і веде до розладів функцій органів людини. У обтискному цеху спостерігається високий рівень запиленості та загазованості повітря (табл. 4.1). Утримання шкідливих речовин у повітрі робочої зони у вигляді газів, парів і пилу не повинен перевищувати встановлені ДСТУ ГДК. При перевищенні ГДК можливі пневмосклерози, бронхіальна астма, емфізема легенів, рак дихальних

шляхів. У цеху широко використовуються електроустановки, тому можливі різного ступеня тяжкості електротравми, виникнення опіків різного ступеня, внутрішніх пошкоджень і крововиливів.

Таблиця 4.1 – Загальна запиленість і загазованість обтискного цеху

Найменування токсичних речовин	ГДК	Фактична велич
бензопирен	0,00015	0,00028
оксиди Mn	0,3	1,05
фенол	0,3	1,05
оксид азота	5,0	20,42
оксид вуглецю	20,0	31,2
сірководень	10,0	21,5

Великий вплив на організм людини надає теплове випромінювання, що виходить від розплавленого металу, а так само виникаючі в ході різноманітних термічних процесів, широко використовуваних в обтискному виробництві. Величина явних тепловиділень на різних відділеннях цеху більше 23 Вт/м³, тому згідно СН245-71 цех відносять до класу гарячих. Робочі прокатного стану піддаються періодичним впливів інфрачервоного випромінювання.

Вплив на організм теплового випромінювання вище встановлених норм викликає порушення теплового балансу організму, теплові удари, опіки і більш важкі травми.

Для одного робочого місця у відповідності з гігієнічною класифікацією даємо гігієнічну характеристику трудового процесу і факторів виробничого середовища. Складаємо карту умов праці (табл. 4.2)

Таблиця 4.2 - Оцінка факторів виробничого і трудового процесу

Підприємство (організація,
ПАТ „Запоріжсталь”

Номер робочого місця

040027

Професія (посада)

15890

Виробництво ОбтискнийОператор поста управління
стана горячої прокатки

Цех (дільниця, відділ)

повне найменування)

Обтискний

Номери аналогічних робочих місць:

I. Оцінка факторів виробничого середовища і трудового процесу

№ п/п	Фактори виробничого середовища і трудового процесу	Нормативне значення (ГДР, ГДК)	Фактичне значення	III клас – шкідливі і небезпечні умови і характер праці			Тривалість дії фактора, % за зміну	Примітка
				1 ступінь	2 ступінь	3 ступінь		
1	2	4	5	6	7	8	9	10
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м³:							
	1 клас безпеки							
	ангидрид хромовий	0,01	0,011	11			86,4	
	озон							
2	Пил переважно фіброгенної дії, мг/м ³							
	Кремнія діоксид кристалічний при вмісті в пилі до 10% (горючі сланці, медносульфідні руди і др.)	4,0	8,5		2,13		86,4	
3	Вібрація (загальна і локальна) дБ							
4	Шум, дБА	80	85		5		10	
5	Мікроклімат у приміщенні:							
	- температура повітря, °С	15-28	35,2				86,4	
	- швидкість руху повітря, м/с	0,2-0,5	0,24				86,4	
	- відносна вологість повітря, %	75	20		50		86,4	
	- інфрачервоне випромінювання, Вт/м ²	140	936		936		86,4	
6	Робоча поза: - перебування в нахиленому положенні понад 30° (% тривалості зміни)		В похилому положенні понад 30°-28,1% прод.		В похилому положенні понад 30°			
	Напруженість праці Увага: - тривалість зосередження, % до тривалості зміни	86,3	90	90				
	- щільність сигналів у середньому за годину							
	Напруженість аналізаторних функцій: - слуху (при виробничій потребі сприйняття мови або диференціювання сигналів)	70		70				
	Кількість факторів			3	4			

I. Гігієнічна оцінка умов праці

Умови і характер праці відносяться до 3 ступеня 111 класу

II. Оцінка технічного та організаційного рівня
Відповідає технологічному регламенту і проекту організації праці на робочому місці

III. Атестація робочого місця
Робоче місце має в наявності: 3 фактора 1 ступеня, 2 фактори 2 ступеня, 1 фактор 3 ступеня. За показниками робоче місце слід вважати з особливо шкідливими показниками Списку №2 п.1

IV. Рекомендації щодо покращення умов праці, їх економічне обґрунтування
Покращити герметизацію літникового жолоба. Удосконалити аспірацію

V. Пільги і компенсації

Пільги і компенсації	Діючі	Запропоновані
Пенсійне забезпечення	Сп. 2	Сп. 2
Доплати	Згідно з діючим положенням	Згідно з діючим положенням
Додаткові відпустки	4 календарні дні	4 календарні дні
Скорочена тривалість		
Інші	МОЛОКО	МОЛОКО

4.2 Заходи захисту від впливу шкідливих факторів виробничого середовища

Дільниця обтискного стану відноситься до «гарячої» групи, тому робочих забезпечують підсоленою водою (0,5% солі) з розрахунку 4-5 дм³ на одну людину в зміну.

Так як шкідливості відносяться до фізичної групи [29] всі працівники цеху безкоштовно забезпечені спецодягом, спецвзуттям і засобами індивідуального захисту.

Всі працівники цеху безкоштовно забезпечені спецодягом, спецвзуттям і засобами індивідуального захисту. До складу спецодягу входять: костюм х/б тканини, черевики, у зимовий час видається утеплена куртка й ватяні штани [30].

У таблиці 4.3 наведені фактори виробничого середовища трудового процесу й заходи щодо їхнього усунення.

Таблиця 4.3 – Технічні засоби захисту від впливу шкідливих факторів виробничого середовища

№ п/п	Небезпечний або шкідливий фактор виробничого середовища	Захисний пристрій	Тип пристрою	Параметри пристрою	Місце встановлення
1	Запиленність	Витяжна вентиляція	КСЗ	–	У місцях утворення пилу
2	Запиленність	Респіратор СИЗОД	ШБ–1М	–	Індивідуально
3	Шум	Навушники протишумові, бируши		Придатний до 110 дБ	Індивідуально
4	Температура Хол період Тепл період року	Утеплена куртка, ватяні штани, костюм з х/б тканини, черевики костюм з х/б тканини, черевики	Тн Ти	–	Індивідуально
5	Шкідливі хімічні речовини	Теж що й при запиленність + костюм х/б, рукавиці	Пм	–	Індивідуально

4.3 Технічні рішення по гігієні праці та виробничій санітарії

Відповідно до вимог санітарних норм для проєктованого прокатного виробництва, технологічні процеси які являються джерелами виділення шкідливостей в навколишнє середовище, передбачається встановлення санітарно-захисної зони для підприємства, до складу якого входить проєктований цех.

Цех розташовується на території підприємства таким чином, що воно становить послідовність продовження металургійного циклу і знаходиться в 1000 м зоні від житлового району, тобто відповідає вимогою до підприємств І класу. Вісь прокатного цеху перпендикулярна напрямку пануючих в даній місцевості вітрів, з підвітряного боку по відношенню до житловому району.

Конструктивно будівля прокатного цеху не відрізняються від типових проєктів. Стіни виконані з цегляної кладки. Вікна і отвори в верхній частині будівлі розташовують на висоті не менше 1,2 м від рівня підкранових колій.

Обсяг і площа приміщення припадає на одного працюючого складають не менше 15м³ і 4.5м², тобто задовольняє санітарні норми (ДНАОП 0.00-1.31.99).

У зв'язку з великими тепловипромінюваннями підвищені вимоги пред'явлені до покрівлі будівлі, яка виконана з міцних негорючих матеріалів.

Для безпечного і зручного проходу людей до робочих місць по периметру будівлі влаштовані спеціальні двері.

4.3.1 Мікроклімат

У зв'язку з високим рівнем запиленості та загазованості ділянки стану, а також в місцях роботи кліщових кранів, кранова кабіна забезпечена для очищення повітря і створення нормальних параметрів мікроклімату на робочому місці кранового машиніста, кондиціонером транспортним КТГ-Е-1.V1. Кабіна герметизирована для зменшення проникнення зовнішнього повітря (БНП 2.04.05-91).

Продуктивність кондиціонера по повітрю становить 400 м³/год; ефективність очищення повітря не менше 92 %. В якості холодоагенту використовується хладон.

У кондиціонері використовуються осьові вентилятори з приводами ІЕ-9305 (N = 0,055 кВт), ДАТ75-40 (N = 0,040 кВт), компресор з електроприводом ІЕ-9306 (N = 0,750 кВт).

Кондиціонер встановлюється на даху кабіни конденсатором в сторону задньої стінки кабіни, при цьому впускний і всмоктуючий отвір кондиціонера повинен бути герметично з'єднаний з відповідним отвором в даху кабіни.

Фільтр повітряний виконаний у вигляді касети прямокутної форми, всередині якої розміщені елементи тонкої очистки повітря. Елемент тонкого

очищення повітря являє собою розвинену методом гофрування поверхню синтетичного иглопробивного фільтруючого полотна.

Таблиця 4.4 – Значення допустимих параметрів повітря в робочій зоні виробничих приміщень [31].

Характеристика вироб. приміщення по надлишковим тепловиділення (більше-менше 23 Вт/м ³)	Категорія роботи по важкості	Період року-холодний			Температура повітря поза постійних робочих місць, °С
		На постійних робочих місцях			
		Температура повітря, °С	Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с	
1	2	3	4	5	6
>23	важка	15-27	до 75	до 0,2	Не більше ніж на 5% вище середньої температури зовнішнього повітря.

4.3.2 Природне й штучне освітлення.

Згідно з правилами Держгірпромнагляду і санітарним нормам, пульт управління, а так само робоча зона крана повинні бути забезпечені достатньою денним світлом, а в нічний час - електричним освітленням. Враховуючи високу біологічну і гігієнічну цінність природного світла, в проекті передбачається природне освітлення виробничих приміщень, для чого конструктивні рішення будівлі цеху виконуються з урахуванням вимог [32].

Визначивши розряди виконуваних в цеху робіт з зорової характеристики і встановлені для них значення коефіцієнта природної освітленості (КПО), розраховуючи для кожного варіанту природного освітлення нормовані значення КПО за формулою:

$$e_n = e * m * c , \quad (4.1)$$

де e – значення КЕО (%), визначається з урахуванням характеру зорової роботи,

m - коефіцієнт світлового клімату, $m = 1.1$

c - коефіцієнт сонячності клімату, $c = 0,8$

Значення визначаємо для IV світлового пояса, район Запоріжжя

$$e = 100 \cdot \frac{E_B}{E_H} = 2.7$$

$$e_H = 2,7 * 1,1 * 0,8 = 2,38$$

Штучне освітлення застосовується в темне і перехідний час доби.

Параметри освітлення наведені в таблиці 4.5

Таблиця 4.5 – Прийняті значення освітленості

Назва відділення, дільниці, робочого місця і допоміжних приміщень	Розряд зорової роботи	Освітленість, (лк) і коефіцієнт запасу						Аварійне освітлення, лк	
		при люминисцентних лампах			при лампах накаливання			Для продовження робіт	Для евакуації
		Система комб. освітлення	Система загального освітлення	Коефіцієнт запасу	Система комб. освітлення	Система загального освітлення	Коефіцієнт запасу		
Пост управління стана гарячої прокатки	V	200	150	1,5	150	50	2	не мен 0,5	не мен 0,5

Для світильників місцевого освітлення застосовувати LED лампи розжарювання, розраховані на номінальну напругу 12, потужністю до 50 Вт.

На працездатність людини впливають і фактори, що задовольняють, крім інших, і естетичні потреби. Установлено, що різні кольори по-різному впливають на безпеку праці. Підйомні механізми забарвлюють яскраво-жовтими смугами на чорному тлі. Протипожежне обладнання в червоний. Для трубопроводів прийняті різні кольори. Для повітря - блакитний, газові - жовтий, для

транспортування олії - коричневий, лугів - світло-оливковий, технічної води - чорний, живильної води - зелений. Правильна пофарбування обладнання та конструктивних елементів виробничої будівлі забезпечує підвищення продуктивності праці на 5%.

4.3.3 Виробничий шум, виробнича вібрація

Для даної професії (оператор) рівень шуму становить 85 дБА. Для попередження шкідливого впливу шуму на людину застосовують цілий комплекс захисних заходів. Виробничіве обладнанн., що створює шум, надають паспорт, в якому вказують шумові характерні характеристики його роботи. Для даного розміру шуму потрібно передбачити шумопоглинаючий екран. Якщо немає можливості його установки в такому положенні, щоб від шуму були захищені всі працівники, тим хто буде попадати під вплив шуму потрібно видати навушники (ДСН 3.3.6.037-99, ДЕСТ 12.1.029-80). Відповідно до норм і правил сумарний час контакту робочих з вібруючими поверхнями не повинно перевищувати двох третин тривалості робочого часу. При цьому рекомендується, щоб ці робочі періодично користувалися на інших операціях, які не зв'язані з дією вібрації.

4.3.4 Виробничі випромінювання

Джерелом інтенсивних теплових випромінювань є нагріті зливки. Робочі прокатного цеху періодично піддаються впливу інфрачервоного випромінювання. Інтенсивність опромінення на робочих місцях прокатником залежно від розмірів і температури джерел випромінювання і відстані становить від 0,01 до 5,6 - 7,0 кВт/м². При виконанні окремих операцій інтенсивність опромінення досягає 10,5 кВт/м² і більше. Вплив на організм теплового випромінювання вище встановлених норм викликає порушення теплового балансу організму, теплові удари, опіки і більш важкі травми.

4.4 Техногенна безпека

4.4.1 Заходи щодо техніки безпеки при ремонтних роботах на кранах

Ручна праця використовується при проведенні поточних і капітальних ремонтів, а так само для усунення дрібних неполадок без зупинки технологічного процесу.

Електроустаткування ділянки відноситься до установок до 1000 В. Умови безпечної експлуатації залежать значною мірою від захищених пристроїв [33].

Всі струмоведучі частини ізольовані. Як захисну ізоляцію застосовують теплостійкі лаки, електроізолюючі плівки, емалеві й олійні фарби. Покриття повинні швидко сохнути, добре зв'язуватися з покриваємою поверхнею, щоб утворювати на ній струмонепровідну, вологонепроникну, механічно міцну плівку.

Для захисту від короткого замикання використовують швидкодіючий релейний захист і вимикачі, плавкі запобіжники.

На всіх обертових частинах устаткування встановлені захисні щити, кожухи.

На вантажопідйомному встаткуванні крім перерахованих вище вимог повинні бути встановлені обмежники вантажопідйомності, а також відсутнє мимовільне опускання вантажу.

Робота вантажопідйомних машин і пристроїв для транспортування вантажів у момент пусків повинне супроводжуватися звуковими сигналами.

Дотримання всіх норм і правил техніки безпеки приводить до значного зниження нещасних випадків на виробництві.

4.4.2 Заходи пожежної безпеки

Для виходів з приміщень, розташованих у підвальних і цокольних ця-жах, де зберігаються горючі матеріали, використання загальних сходових клітин може

бути допущено тільки за умови влаштування відокремлених виходів назовні, окремих від решти частини сходових клітин глухими негорючими огорожувальними конструкціями з межею вогнестійкості не менше 1 ч. При цьому вхід у підвальне або цокольне приміщення влаштовують безпосередньо зовні будівлі поряд з входом до сходової клітки, що веде в верхні поверхи. Всі виробництва згідно з будівельними нормами і правилами [34] залежно від ступеня пожежної небезпеки поділяються на категорії А, Б, В, Г, Д. Обтискне виробництво відноситься до категорії пожежної небезпеки Г, пов'язані з обробкою негорючих речовин і матеріалів в гарячому, розжареному або розплавленому стані, і що супроводжуються виділеннями променевого тепла, систематичним виділенням іскор і полум'я, а так само виробництва, пов'язані з систематичним спалюванням твердого, газоподібного та рідкого палива.

У приміщеннях категорії Г пожежна безпека в будівлі та споруді забезпечується зазвичай планувальними рішеннями, підбором і компонованням вогнестійких будівельних конструкцій. Повинні дотримуватися відповідні протипожежні розриви між будинками, в залежності від їх вогнестійкості, дотримуватися вимоги БНП 2.01.02-85 про прокладання комунікаційних трубопроводів горючих газів і легко займистих рідин.

4.4.3 Ймовірність аварій та заходи щодо їх ліквідації

Будь-яку машину, механізм можна розглядати як систему, що складається з окремих елементів – деталей. Аварія – результат відмови одного чи декількох елементів [35].

При роботі у цеху технологічний і ремонтний персонал повинен дотримуватися інструкції по професіях. В процесі роботи:

- при експлуатації і технічному обслуговуванні приводу механізмів необхідно дотримувати правила безпеки у відповідності ДСТУ, а також керуватися загальними правилами безпеки для підприємств і організацій металургійної промисловості” затвердженими Держгірпромнагляду України;

- до управління і обслуговування приводів допускаються особи, пройшовші спеціальне вчення, засвоїли правила техніки безпеки на робочому місці, а також що ознайомилися із справжнім технічним описом і інструкцією з експлуатації.

Таблиця 4.6 – План локалізації аварійних ситуацій

Найменування аварії	Признаки	Перелік виконувачів, і їх дії
Витік газу з бака водовідведення	Загазувань території з присутністю різкого специфічного запаху (сірка, нафталін).	Перший хто виявив повідомляє про аварію ст. змінному майстру (тел :20-47). Майстер викликає чергового газорятувальника та виставляє пости навколо газонебезпечної зони, прибирає людей з небезпечної зони, знімає машиністів з ел. мостових кранів в районі небезпечної зони. По прибуттю газорятівник визначає ступінь загазованості території і робочих місць. Змінний персонал енергослужби спільно з газорятувальником закривають засувку стічної труби водовідведення на якому сталася аварія.
Виникнення пожежі в районі газопроводу змішаного газу	Горіння різних матеріалів, задимленість території цеху	Перший хто помітив пожежу повідомляє в пожежну охорону за тел.: 101, 31-15 і вказує місце під'їзду пожежних машин до вогнища пожежі. ст. змінний майстер повідомляє про пожежу начальнику цеху або його заступнику та черговому ГСС і приступає до гасіння пожежі силами цехового персоналу наявними засобами пожежогасіння. Виставляє пости навколо небезпечної зони, за допомогою селекторного, телефонного зв'язку та усно оголошує людям, що знаходяться в районі пожежі про негайну евакуацію з небезпечної зони, за винятком осіб пов'язаних з ліквідацією аварії. Дає вказівку змінному майстру електриків розібрати схеми електрообладнання в районі вогнища пожежі. У разі поширення пожежі та загрозу цілісності газопроводу: дає вказівку про зниження тиску газу за тел.: 20-68 та дає вказівку змінному бригадиру слюсарів енергетиків підготувати найближчі корінні засувки газопроводу до перекриття, при необхідності припинити паркан газу. Силами персоналу пожежної частини ліквідувати пожежу.

Імовірність аварії розраховується за формулою [36]:

$$Q = 1 - \prod_{n=1}^n (1 - Q_i), \quad (4.2)$$

де Q_i – імовірність відмови кожного елемента:

$$Q_i = \lambda_i \cdot \tau, \quad (4.3)$$

де λ_i – інтенсивність відмови i -го елемента;

τ – загальний час роботи даного елемента за аналізований період часу.

Розрахуємо імовірність аварії на ділянці нагрівальних колодязів за півтора року роботи кліщового крана. Відомо що $\lambda_i = 9 \cdot 10^{-5} \text{ рік}^{-1}$ $\tau = 1,5$ року

$$Q_i = 9 \cdot 10^{-5} \cdot 1,5 = 1,35 \cdot 10^{-4}$$

Тоді підставивши отримані значення в формулу (4.2) отримаємо

$$Q = 1 - \prod_{n=1}^n (1 - 1,35 \cdot 10^{-4}) = 1 - 0,999 = 0,001 = 0,1\%$$

Імовірність не висока, застосування захисних засобів не потрібне.

4.5 Дослідження можливості зменшення теплових випромінювань

Випромінювання нагрітого екрану значно слабкіше, ніж випромінювання первинного джерела – проходження рядів екранів, дозволяє значно послабити потік та можна знизити до бажаного рівня [37].

Температура підлоги пульта управління $t_1=700$ °С; температура повітря в цеху $t_2=35,2$ °С. Підлога пульта управління вкрита листами чорного заліза зі ступенем чорноти заліза $E_n = 0,8$. Потрібно отримати температуру на зовнішній поверхні огороження $t_3=40$ °С.

Для проведення розрахунку потрібно зробити перевести температуру в градуси Кельвіна:

$$T_{\text{пол}}=273+ t_1 =273+700=973 \text{ К};$$

$$T_{\text{воз}}=273+ t_2 =273+35,2=308,2 \text{ К};$$

$$T_{\text{нар.пов}}=273+ t_3 =273+40=313 \text{ К}.$$

Визначимо ступінь екранізації, за формулою:

$$\mu = \frac{T_{\text{підл}}}{T_{\text{зов.пов}}} \quad (4.5)$$

Підставивши значення у формулу (4.5), отримаємо:

$$\mu = \frac{973}{293} = 3,1$$

За довідником підбираємо екран з альфоля, ступінь чорноти якого становить $\epsilon_a=0,07$. Тоді наведений ступінь чорноти обчислимо за формулами:

а) між залізною підлогою і екраном

$$E_{зе} = \frac{1}{\frac{1}{E_H} + \frac{1}{E_a} - 1} \quad (4.6)$$

б) між джерелом енергії і повітрям

$$E_{еп} = \frac{1}{\frac{1}{E_H} + \frac{1}{E_B} - 1} \quad (4.7)$$

де $E_B=0,82$ – поглинаюча властивість повітря.

Підставивши значення у формулу (4.5) і (4.6), отримаємо:

$$E_{жэ} = \frac{1}{\frac{1}{0,8} + \frac{1}{0,07} - 1} = 0,07,$$

$$E_{\text{ив}} = \frac{1}{\frac{1}{0,8} + \frac{1}{0,82} - 1} = 0,7$$

Визначимо число екранів за формулою:

$$n = \frac{1 - \left(\frac{T_{\text{пов}}}{T_{\text{підл}}} \right)^4}{\frac{1}{\mu^4} - \left(\frac{T_{\text{пов}}}{T_{\text{підл}}} \right)^4} \times \frac{\varepsilon}{E_{\text{ив}}} - 1 \quad (4.8)$$

Підставивши значення у формулу (4.7), отримаємо

$$n = \frac{1 - \left(\frac{308,2}{973} \right)^4}{\frac{1}{3,1^4} - \left(\frac{308,2}{973} \right)^4} \times \frac{0,07}{0,7} - 1 \approx 1$$

Характеристика одношарового екрану з альфоля:

- Пропускає випромінювання 378 кДж (м³год)
- Застосовується при випромінюванні 2,52 кДж×10⁴ (м²год)
- Конвекцію 163,8 кДж (м²год)

Встановлена температура : T=35⁰C (K=308 K)

Маса одного квадратного метра дорівнює 4,2 кг.

З розрахунку видно, що досить одношарового екрану з альфоля, щоб забезпечити досягнення бажаної температури поверхні підлоги пульта управління в 40⁰C.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Ознайомлення з механічним устаткуванням ділянки обтискного стану показало, що однією з проблем є недостатньо надійна робота мостових кранів в тому числі й тих, що обслуговують приймальний рольганг.
2. На підставі наведеного огляду технічної й патентної літератури встановлено, що для переміщення зливків перед посадкою в піч, а також перед прокаткою використовуються електромостові крани, які мають ті ж самі недоліки, що й устаткування ПАТ «Запоріжсталь».
3. В результаті модернізації приводу переміщення кліщового мостового крану можливе досягнення таких цілей як – збільшення продуктивності, терміну служби, та зменшення незапланованих простоїв.
4. В ході теоретичних досліджень встановлено, що для обґрунтування оптимальних режимів роботи мостових кранів варто враховувати динамічні навантаження у пружних елементах, якими являються канати, але відомі розроблені моделі є досить громіздкими і потребують потужних обчислювальних машин для їхнього розв'язку;
5. На підставі проведених досліджень розроблена схема оцінки впливу динамічних навантажень в канатах механізму підйому як для двомасової крутильної системи;
6. Розроблена математична модель дозволяє стверджувати, що для нашого конкретно взятого технологічного процесу переміщення зливка для подачі його на приймальний рольганг динамічна складова не має значного впливу на роботу мостового крану, так як складає всього 4,2 % від розрахункових статичних навантажень.
7. Результати роботи можуть бути використані не тільки в прокатному цеху ПАТ «Запоріжсталь», але й на інших підприємствах чорної й кольорової металургії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ніколаєв, В. О., Бондаренко Ю. В. Сучасний стан прокатного виробництва : навч. посіб. Ч. 1 Запоріжжя : ЗДІА, 2017. 196 с.
2. Прищип М. Г. Обладнання прокатних цехів : навч. посіб для студентів ЗДІА металург. спец. ден. та заоч. форм навчання / ЗДІА. Запоріжжя : ЗДІА, 2017. 115 с.
3. Федьков Г. О., Хімін В. М., Кобрін Ю. Г. Проблеми та напрямки подальшого розвитку металургійного обладнання : навч.-метод. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2011. 78 с.
4. Рольганги приводні. АГУНА. URL: <https://aguna.ua/uk/gravitatsionnyie-konveyeryi/privodnoy-rolgang/> (дата звернення: 15.08.2023).
5. Іванченко Ф. К. Конструкція та розрахунок підйомно-транспортних машин. К. : Вища шк., 1988. 424 с.
6. Пристрій для транспортування і кантування слябів: пат. 88536 Україна : МПК (2014.01) В66С 17/00. № u201310213 ; заявл. 19.08.2013 ; опубл. 25.03.2014, Бюл. № 6. 6 с.
7. Григоров О. В., Губський С. О. Вплив механізму пересування мостового крана на ресурс металоконструкції. Вісник ХНАДУ. 2012. № 57. С. 296–299.
8. Branston J. W., Whitter C. R. Girders for Electric Overhead Cranes. Creative Media Partners, LLC, 2018.
9. Swann E. C. W. Design of overhead travelling crane structures. Association of Engineering & Shipbuilding Draughtsmen, 1960. 71 p.
10. ДСТУ-Н Б А.3.1-16 Настанова щодо виконання зварювальних робіт при монтажі будівельних конструкцій
11. Volkov D. S., Dubrovin G. A. Reconstruction of bridge cranes. *Metallurgist*. 1966. Vol. 10, no. 5. P. 290–292. URL: <https://doi.org/10.1007/bf00736788>.
12. Слепужніков Є., Лісняк А. Існуючі методи підвищення довговічності ходових коліс мостових кранів. *Impatto dell'innovazione sulla scienza: aspetti*

fondamentali e applicati / chair Н. Фідровська. 2020.

URL: <https://doi.org/10.36074/26.06.2020.v1.28> .

13. Розрахунки вантажопідйомних та транспортуючих машин / Ф. К. Іванченко та ін. К. : Вища шк., 1978. 576 с.
14. Редуктори вертикальні кранові. *інкомаш*. URL: <https://inkomash.com.ua/reduktori-vertikalni-kranovi> (дата звернення: 05.10.2023).
15. Кірієнко О. А., Гузенко Ю. М. Теорія механізмів і машин. Деталі машин. Розрахунки механічних передач. : навч. посіб. Київ : Київ. політехн. ін-т, 2016. 188 с.
16. Кіницький Я. Т. Теорія механізмів і машин : Підручник. Київ : Наук. думка, 2002. 662 с.
17. Іванов Г. О., Бабенко Д. В., Полянський П. М. Підйомно-транспортні машини : метод. вказівки. Миколаїв : Миколаїв. нац. аграр. ун-т (МНАУ), 2020. 156 с.
18. Опір матеріалів : З основами пружності й пластичності: У 2 ч., 5 кн. Київ : Вища шк., 1995. Т. 4 : Приклади і задачі. 463 с.
19. Стрелец В. В. Деталі машин і основи конструювання. Суми : Сум. держ. ун-т, 2022. 150 с.
20. Каталог підшипників по розмірах і номеру. *Магазин Підшипник – купити підшипники в Україні*. URL: <https://pidshypnyk.com/kataloh-podshypnykov/> (дата звернення: 06.10.2023).
21. Артюх В. Г. Навантаження та перевантаження в металургійних машинах. Маріуполь : ПГТУ, 2008. 246 с.
22. Дворніков В. І., Геммерлінг В. А. Моделювання динамічних процесів в кранах з рухомою кареткою підйому вантажу. *Наукові праці ДонНТУ*. 2004. № 83. С. 71–81.
23. Дворніков В. І., Михайлов А. В. Обґрунтування параметрів руху кареток підйомних кранів з метою підвищення безпеки переміщення вантажу. *Наукові праці ДонНТУ*. 2006. Т. 113, № 12. С. 92–98.

24. Ловейкін В. С., Човнюк Ю. В., Рибалко В. М. Новий метод дослідження динамічних моделей приводів машин з розподіленими параметрами. *Технологія і техніка друкарства*. 2009. № 4(26). С. 101–105.
URL: [https://doi.org/10.20535/2077-7264.4\(26\).2009.57858](https://doi.org/10.20535/2077-7264.4(26).2009.57858)
25. Ловейкін В. С., Ромасевич Ю. О. Динамічна оптимізація механізму підйому вантажу мостових кранів. : монографія. К. : ЦП „КОМПРІНТ”, 2015. 197 с.
26. Loveykin V. S., Chovniuk Y. V., Kadykalo I. O. Optimisation of dynamic loads in elastic elements of load lifting cranes with different methods of lifting. Part II. *Naukovij žurnal «Tehnika ta energetika»*. 2019. Vol. 10, no. 4. P. 5–11.
URL: <https://doi.org/10.31548/machenergy2019.04.005>
27. Жук А. Я., Желябіна Н. К., Таратута К. В., Коваль М. В. Напрями творчого проектування та його техніко-економічне обґрунтування : навч. посіб. Кн. 1. ЗДІА. Київ : Кондор, 2012. 540 с.
28. Жук А. Я., Желябіна Н. К., Таратута К. В., Коваль М. В. Напрями творчого проектування та його техніко-економічне обґрунтування : навч. посіб. Кн. 2. ЗДІА. Київ : Кондор, 2012. 542 с.
29. Охорона праці на гірничо-металургійному підприємстві: навч. посібник. Ч.І: Металургійний комплекс. / В.О.Шеремет та ін. Дніпропетровськ: Січ, 2002. 375 с.
30. 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.
31. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень
32. 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>.

33. Правила улаштування електроустановок.
URL: <https://mev.gov.ua/storinka/pravy-la-ulashtuvannya-elektrostanovok> (дата звернення: 03.07.2023).
34. 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>.
35. Геврик Е. О. Охорона праці. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. / Е. О. Геврик. – К: Ельга, Ніка-центр, 2003. – 280 с.
36. 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.
37. Ткачук К. Н. Охорона праці та промислова безпека. Навч. посіб. / К. Н. Ткачук та ін. – К: Основа, 2009. – 360 с.

СПИСОК ГРАФІЧНОГО МАТЕРІАЛУ

№ п/п	Найменування	Кільк. листів	Форма т
1	Візок кліщового крана	2	A1
2	Вузол приводного ходового колеса	1	A2
3	Вузол холостого ходового колеса	1	A2
4	Визначення частот та амплітуди вільних коливань табличним методом Толле	1	A1
5	Визначення частот вільних коливань	1	A1
6	Зменшення теплових випромінень для кабіни керування	1	A1

ДОДАТКИ

