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 роботи та удосконалення конструкції роторного вагоноперекидача

Виконав: магістрант групи 8.1333

Крюков А. Д.
(ПІБ) (підпис)

спеціальності

133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма
Металургійне обладнання
(шифр і назва)

Керівник Гречаний О.М.
(прізвище та ініціали) (підпис)

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

Запоріжжя – 2024 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 Металургійне обладнання
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедрою А.О. Власов

_____

“____”_____20___ року

Завдання
до випускної кваліфікаційної роботи магістра

Крюкова Антона Денисовича
(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Аналіз роботи та удосконалення конструкції роторного вагоноперекидача .
керівник кваліфікаційної роботи Ph.D., доцент Гречаний О.М., затверджені наказом вищого навчального закладу від “28“ лютого 2024 року № 359-с.
2. Строк подання здобувачем кваліфікаційної роботи 09 грудня 2024 року.
3. Вихідні дані кваліфікаційної роботи техніко-економічні показники роботи роторного вагоноперекидача .
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Огляд науково-технічних рішень механізації та автоматизації розвантажувальних робіт. 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. Роторний вагоноперекидач – 1А1; 2. Привод – 1А1; 3. Роликоопора – 1А1; 4. Дослідження моментів привода роторного вагоноперекидача – 1А1; 5. Розробка математичної моделі роботи роторного вагоноперекидача – 1А1; 6. Звукоізоляційна кабіна поста керування – 1А1

6. Консультанти кваліфікаційної роботи

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційої роботи	Примітки
1	Збір матеріалу на кваліфікаційну роботу	29.05.2024 – 25.06.2024	
2	Групування та аналіз зібраного матеріалу. Уточнення завдань кваліфікаційної роботи	01.09.2024 – 17.09.2024	
3	Виконання теоретичної частини кваліфікаційної роботи	18.09.2024 – 18.10.2024	
4	Виконання графічної частини кваліфікаційної роботи	19.10.2024 – 19.11.2024	
5	Написання та оформлення пояснювальної записки	20.11.2024 – 30.11.2024	
6	Перевірка кваліфікаційної роботи консультантами	01.12.2024 – 03.12.20243	
7	Попередній захист	09.12.2023	
8	Переплітання пояснювальної записки	Згідно з графіком	
9	Захист	Згідно з графіком	

Здобувач _____ _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

АНОТАЦІЯ

Крюков А. Д. Аналіз роботи та удосконалення конструкції роторного вагоноперекидача

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, 2024.

Проаналізовані наявні технічні рішення спрямовані на удосконалення вагоноперекидачів. Запропонований варіант удосконалення роликової опори роторного вагоноперекидача. Проведено аналіз впливу зміни кута нахилу ротора вагоноперекидача на крутні моменти в приводі. Розроблено спрощену математичну модель для визначення моменту ротора в залежності від кута нахилу.

Ключові слова: ВАГОНОПЕРЕКИДАЧ, РОТОР, КРУТНИЙ МОМЕНТ, КОРЕЛЯЦІЙНИЙ АНАЛІЗ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ

ABSTRACT

Kriukov A. D. Analysis of the Operation and Improvement of the Design of the Rotary Wagon Tippler.

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 named after Yu.M. Potebni, Department of Metallurgical Equipment, 2024.

The analyzed available technical solutions are aimed at the improvement of car transfer devices. The proposed version of improving the roller support of the rotary wagon dumper. An analysis of the influence of the change in the angle of inclination of the tipper rotor on the torques in the drive was carried out. A simplified mathematical model was developed for determining the rotor moment depending on the angle of inclination.

Keywords: WAGON TIPPLER, ROTOR, TORQUE, CORRELATION ANALYSIS, MATHEMATICAL MODEL

Зміст

Вступ 7
1 ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ МЕХАНІЗАЦІЇ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ РОЗВАНТАЖУВАЛЬНИХ РОБІТ. ОБҐРУНТУВАННЯ ОБРАНОГО НАПРЯМКУ РОБОТИ 9
1.1 Огляд та аналіз типових схем механізації та автоматизації переміщення та складування сипких матеріалів на прикладі доменного цеху 9
1.2 Огляд та аналіз конструкційних особливостей вагоноперекидачів 17
1.3 Огляд технічних рішень спрямованих на усунення конструктивних недоліків вагоноперекидачів та обґрунтування обраного напряму досліджень 25
2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА 32
2.1 Розрахунок приводу роторного вагоноперекидача 32
2.2 Технічне обґрунтування обраних рішень 43
3 ДОСЛІДНО–ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА 47
3.1 Аналіз обладнання для проведення експериментальних досліджень роботи роторного вагоноперекидача 47
3.2 Аналіз способів з'єднання тензодатчиків 49
3.3 Експериментальні дослідження перекидних моментів вагоноперекидача 50
3.4 Кореляційний аналіз результату проведення експерименту 53
3.5 Розробка спрощеної математичної моделі залежності моментів ротора від кута нахилу вагоноперекидача 58
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА В ГАЛУЗІ 62
4.1 Виявлення та оцінка шкідливих факторів виробничого середовища 62
4.2 Технічні рішення по гігієні праці і виробничій санітарії 64
4.2.1 Мікроклімат 64
4.2.2 Освітлення виробничих приміщень 65
4.2.3 Електробезпека 66
4.2.4 Шум і вібрація 67

4.2.5 Загазованість атмосфери 68
4.3 Техногенна безпека 69
4.3.1 Заходи пожежної безпеки 69
4.3.2 Вимоги безпеки при ремонтних роботах 69
4.3.3 Засоби захисту 71
4.4 Дослідження шляхів зниження шумового навантаження на оператора технологічного процеса 71
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ 75
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ 76
СПИСОК ГРАФІЧНОГО МАТЕРІАЛУ 82
ДОДАТКИ 83

Вступ

Останнім часом суттєво виросла інтенсифікація всіх виробних процесів шляхом автоматизації та механізації всіх етапів технологічного процесу, яка пов'язана зі зменшенням видатків, підвищенням енергоефективності та покращенням умов роботи робочого персоналу. В цьому напрямі металургійна промисловість є лідером, стрімко розвиваючи можливості зменшення ручної праці та все більше покладаючись на механізацію, як основних так, і підготовчих процесів.

Своєчасна доставка та розвантаження сипких та шматкових матеріалів при підготовчих процесах у металургійній промисловості займає важливе місце та здійснюється переважно за допомогою спеціальних вагонів – гондол, хоперів, думпкарів та платформ. При масових вантажопотоках важливе значення має швидкість розвантаження вагонів. З цією метою всі названі типи вантажних вагонів, крім платформ, є саморозвантажувальними. Однак пристосування саморозвантаження забезпечують висип матеріалу або поруч із вагоном, або під вагон. Крім того, на донній частині вагонів, що саморозвантажуються, залишається, як правило, досить велика кількість матеріалу, що вимагає для повного розвантаження вагона застосування ручної праці. Тому для механізованого розвантаження масових сипких вантажів застосовуються спеціальні вагонорозвантажувальні машини – вагоноперекидачі.

Вагоноперекидачі призначені для розвантаження сипких матеріалів із відкритих залізничних напіввагонів, що прибувають на склади доменних цехів та агломераційних фабрик.

Конструкції вагоноперекидачів далекі від досконалості і з огляду на їхнє важливе місце в технологічному ланцюгу виплавлення сталі потребують пристальної уваги конструкторів механіків, з метою їхнього удосконалення.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є дослідження роботи роторного вагоноперекидача з можливістю удосконалення його конструкції.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- виконати аналіз раніше проведених досліджень в питаннях конструктивних особливостей обладнання для механізованого розвантаження вагонів сипких матеріалів, та зокрема вагоноперекидачів;
- визначити навантаження, що діють на елементи приводу стаціонарного роторного вагоноперекидача;
- визначити обладнання та схеми його підключення для проведення екпериментальних досліджень крутних моментів при розвантаженні вагонів;
- провести аналіз виконаючих навантажень в приводі вагоноперекидача під час виконання технологічних операцій;
- розробити спрощену математичну модель роботи роторного вагоноперекидача

Предмет дослідження – конструктивні параметри стаціонарного роторного вагоноперекидача.

Об'єкт дослідження – роликові опори ротора.

Апробація результатів роботи. Основні положення роботи доповідалися на: 2 Міжнародній науково-практичній конференції «Scientific Exploration: Bridging Theory and Practice». Берлін: European Open Science Space, 2024 р. Опубліковано тези доповіді.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг роботи включає 94 сторінок, у тому числі 75 сторінок основного тексту, 25 рисунків, 9 таблиць, 55 найменувань використаних джерел на 5 сторінках, 11 додатків.

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

1 ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ МЕХАНІЗАЦІЇ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ РОЗВАНТАЖУВАЛЬНИХ РОБІТ. ОБҐРУНТУВАННЯ ОБРАНОГО НАПРЯМКУ РОБОТИ

1.1 Огляд та аналіз типових схем механізації та автоматизації переміщення та складування сипких матеріалів на прикладі доменного цеху

У доменних цехах існують різні системи вантажопотоків шихтових матеріалів, що подаються до доменної печі з фабрик окускування і з коксохімічного заводу, а також продуктів доменної плавки, що направляються:

- чавун – в сталеплавильний цех або на машину розливу;
- шлак – до агрегатів грануляції або у відвал;
- доменний газ – до різних споживачів.

Найбільш поширеною є система подачі шихтових матеріалів до бункерів доменної печі, що представлена на рис. 1.1. У ній передбачені дві незалежні лінії подачі: залізовмісної частини шихти та вапняку I та палива (коксу) II . Матеріали у вагонах 1 подають на склад (рудний двір), де їх штовхачем 2 задають пересувний вагоноперекидач баштового 3а або роторного типу 3б, а потім розвантажують в траншею 4, розташовану вздовж складу. У випадках установки стаціонарних вагоноперекидачів 3в матеріали з приймальних бункерів 5б вагоноперекидача живильниками 5а видають послідовно на конвеєри 5в, 5г і 5д і розвантажують в траншею 4 [1].

З траншеї матеріал забирають грейферним візком 6 перевантажувального крана 7, яка, переміщаючись з консольної частини моста на середню, розвантажує матеріал в штабеля 8 шляхом пошарового його укладання з метою усереднення. Матеріал зі штабелів 8 передають грейфером в рудний перевантажувальний вагон 9, що переміщається по бункерній естакаді, і розвантажують у бункера 10. Передбачено навантаження матеріалів зі штабелів 8 у вагони 11 для подачі їх у підготовче 12 і спічне 13 відділення аглофабрик [2].

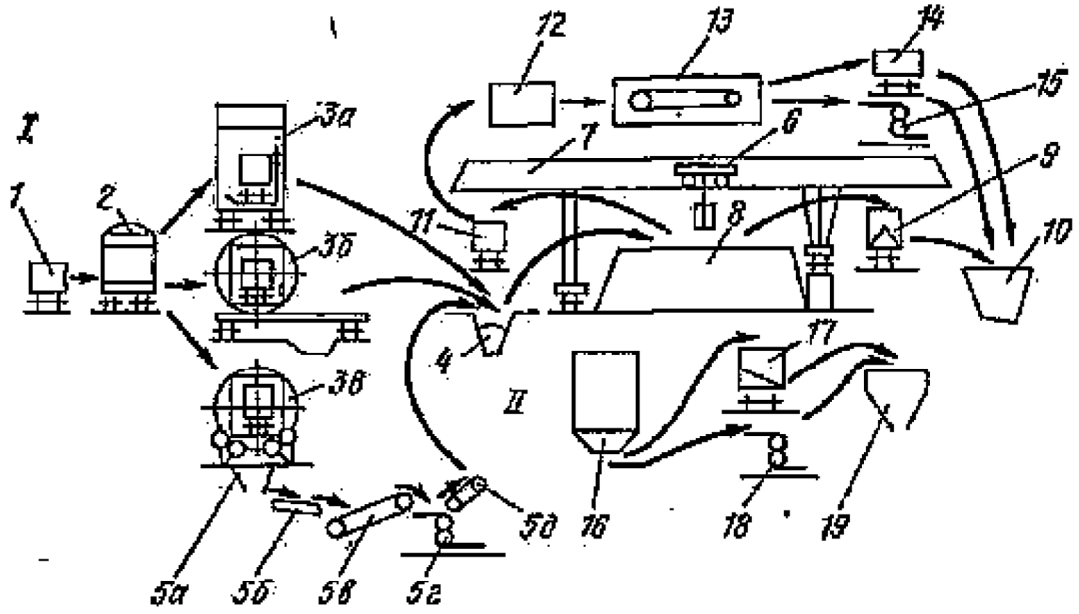


Рисунок 1.1 – Схема подачі залізовмісних компонентів шихти, флюсів (I) і коксу (II) до бункера доменної печі з використанням перевантажувального крана й машин періодичної дії (позиції наведені в тексті)

Для цього консоль крана перекриває не тільки шлях вагоноперекидача , але і шлях вагонів 11. Вагони можна подавати також на бункерну естакаду для безпосереднього розвантаження матеріалів бункера 10. Готовий агломерат з аглофабрики подають бункера 10 в хоперах 14 або конвеєрами 1 передають коксовим передавальним вагоном 17 або конвеєром 18 в коксові бункера 19, розташовані безпосередньо біля скіпової ями. Система подачі шихти до бункера доменної печі із застосуванням усереднювального комплексу машин та конвеєрів (рис. 1.2) має принципові відмінності від розглянутої вище.

Після надходження залізничні вагони 1 з шихтовими матеріалами (концентратами, рудою, флюсами та ін.) задають штовхачем 2 стаціонарний роторний вагоноперекидач 3, який розвантажує матеріали в приймальні бункера 4. З них матеріали видають живильниками 5 на конвеєр 6 і потім сортувальне відділення 7. Конвеєрами 8 з дробильно-сортувального відділення або безпосередньо від вагоноперекидача матеріали подають конвеєрами 6 і 8 на укладачі шихти 9. З конвеєра 8 матеріали подають у розподільну лійку укладача 10 і потім на консольні конвеєри 11. При переміщенні укладача шихта, що

зсипається з консольних конвеєрів, утворює штабелі 12 з пошаровим укладанням. Матеріали зі штабелів забирають усереднюючою машиною 13 за допомогою борони 14, що здійснює зворотно-поступальний рух поперек штабеля матеріалу з одночасним переміщенням посередника на штабель. У нижній частині усереднювача, куди зсипається матеріал з-під борони, розташований скребковий конвеєр 15, який видає матеріал на лопатевий живильник 17, що переміщається вздовж галереї 16. Живильник укладає матеріали на збиральний конвеєр 18, розташований уздовж галереї 18. Збиральні конвеєри 18 видають матеріали через перевантажувальну станцію 19 на конвеєри 20 [1-3].

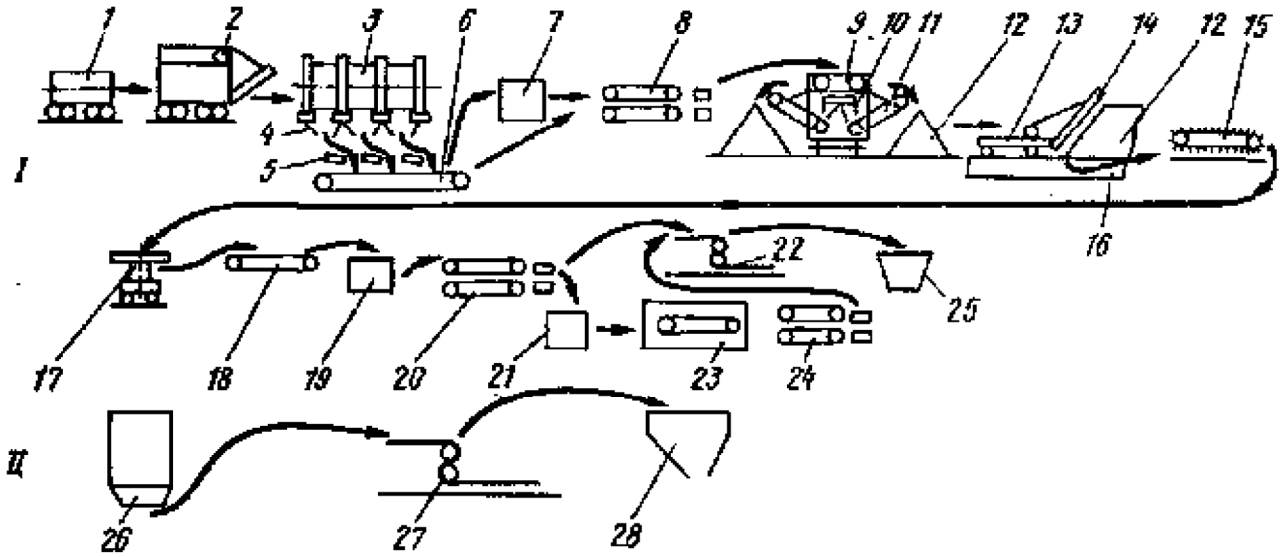


Рисунок 1.2 – Система подачі шихти до бункера доменної печі із застосуванням усереднювального комплексу машин та конвеєрів (позиції наведені в тексті)

Далі можливі два вантажопотоки матеріалів:

Перший варіант. Матеріали подають конвеєрами 20 в підготовче 21 і в спічнее відділення 23 фабрики огрудкування, звідки їх системою конвеєрів 24

передають на конвеєр 22. Цим конвеєром матеріали розподіляють по бункерах 25 естакади.

Друга схема. Матеріали подають безпосередньо на конвеєри 22 розташовані на бункерній естакаді. Кокс із силосу 26 подають у коксові бункери 28 конвеєром 27. На рисунку 1.3 наведено схеми подачі сирих матеріалів I та коксу II з бункерів бункерної естакади до скіпового витягу, на колошник та доменну піч, а також прибирання чавуну та шлаку від доменної печі [3].

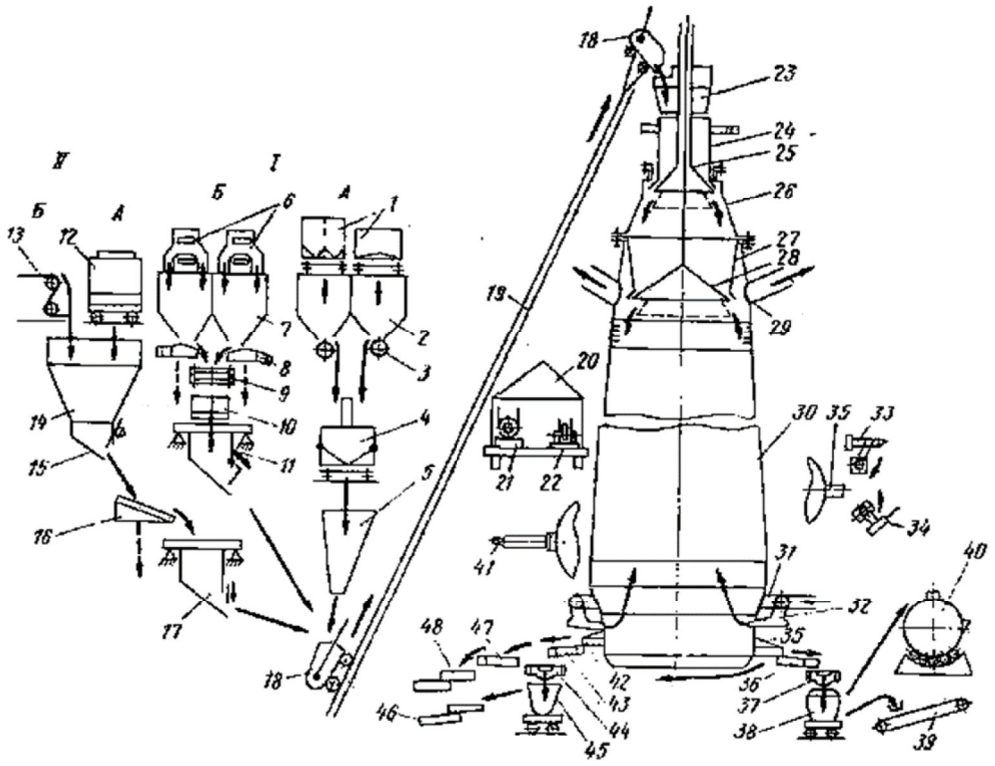


Рисунок 1.3 – Схема подачі шихтових матеріалів до скіпового підйомника та доменну піч та прибирання продуктів плавки (позиції наведені в тексті)

Можливі два основні варіанти подачі сирих матеріалів у скіп. У разі використання машин періодичної дії (варіант А) матеріали з перевантажувального вагона або вагонів 1, що саморозвантажуються, переміщуються по верху бункерної естакади, розвантажують у рудні бункери 2. За допомогою барабанних затворів 3 шихтові матеріали з бункерів відповідно до

програми завантаження доменної печі видають у дві кишені (ємність кожної кишені дорівнює ємності скіпу) вагон-ваг 4, які подають їх до скіпової ями і через вирву 5 вивантажують у скіп 18 [4].

У варіанті Б застосовані машини безперервної дії. Конвеєри 6 з розвантажувальними візками (або реверсивні конвеєри) розподіляють шихтові матеріали по рудних бункерах 7. Затворами бункерів служать гуркоти 8, які відсівають дріб'язок, а велику фракцію видають на конвеєр 9, розташовані симетрично щодо осі підйомника. Для направлення матеріалів з конвеєра в будь-яку з двох лійок-ваг 11 служить рухомий (або поворотний) лоток 10. З лійок, що мають ємність скіпу, матеріали видають у скіп 18. У лінії подачі коксу для завантаження двох коксових бункерів 14 застосовують коксовий перевантажувальний вагон 12 або конвеєр з розвантажувальної візком 13. З горловини 15 бункера, під якою розташований гуркіт 16, великий кокс надходить у вирву-ваги 17 (ємність її дорівнює ємності скіпу) і потім, відповідно до програми завантаження доменної печі в скіп 18. На колошник доменної печі всі шихтові матеріали подають скіповим витягом або похилим конвеєром 19 скіпового підйомника укладено два паралельні шляхи для переміщення двох скіпів 18. У крайніх положеннях один скіп знаходиться в скіповій ямі (під завантаженням), а другий – вгорі, на розвантажувальних кривих моста . Для переміщення скіпів служить скіпова лебідка доменної печі. Зі скіпу при його русі по розвантажувальним кривим матеріал вивантажується в приймальну лійку 23 завантажувального пристрою і потрапляє на малий конус 25 обертової лійки 24 розподільника шихти. великого конуса 28. Після набору подачі (зазвичай з чотирьох скіпів) опускають великий конус і шихта завантажується в доменну піч 30. Маневрування конусами завантажувального пристрою здійснюють лебідкою 22, яка пов'язана зі штангами конусів за допомогою канатів через важільні балансири та тяги (на схемі не показані). Кисень вдують у доменну піч через кільцевий повітропровід 31, а природний газ та інші види палива через фурмові прилади 32, розташовані по колу печі. Доменний газ відводять через газопроводи 29 до очисних пристроїв. Чавун направляють у ковші 38 чавуновозів, після чого

подають до розливальної машини 39 для отримання твердого чушкового чавуну або в міксер 40. Розподіл чавуну і шлаку відбувається в розширеній частині головного жолоба, звідки шлак (верхній шар) по жолобу направляють на шлакову сторону ливарного двору - а чавун для заливання в чавуновозні ковші. Для розкриття чавунної льотки 35 служить свердлильна машина 34, а для забивання - гармата 33. Шлак з шлакової льотки 42 по жолобах 43 через пристрій для одноноскового розливання 44 зливають в чашу 45 шлаковозу і подають на установку для грануляції. обладнані установками припічної грануляції 48, яких рідкий шлак надходить по жолобах 47. Шлакову льотку закривають шлаковим стопором 41 [1].

Сирі матеріали – руда, концентрати, флюси та інші надходять на механізований склад для усереднення та зберігання. Кокс, агломерат і котуни подають у вагонах або стрічковими конвеєрами безпосередньо до доменних печей, минаючи склад. Запас матеріалів необхідний забезпечення безперервної роботи доменних печей. Місткість складу залежить від продуктивності доменного цеху, розташування металургійного заводу по відношенню до джерел сировини, способу доставки матеріалів на склад і кліматичних умов [5].

Усереднення матеріалів на складі здійснюють для вирівнювання їх фізико-хімічного складу. Склад машин та агрегатів складів може бути різним залежно від прийнятої схеми розвантаження, транспортування та усереднення матеріалів. У випадках розвантаження вагонів пересувними вагоноперекидачами транспортування та усереднення матеріалів зазвичай здійснюють перевантажувальними кранами. На складах зі стаціонарними вагоноопрокидувачами застосовують стрічкові конвеєри, живильники та комплекс усереднювальних машин [2].

Багато доменних цех мають склади, звані рудними дворами, які розташовані паралельно фронту доменних печей та оснащені вагоноперекидачами та перевантажувальними кранами. Ці склади обслуговують також аглофабрики, що побудовані в безпосередній близькості до доменних цехів. У тих випадках, коли аглофабрики знаходяться на великій відстані від

доменних цехів, вони мають власні склади, обладнані вагоноперекидачами та системою конвеєрів для видачі матеріалів у зону дії перевантажувальних кранів або посередників [1-6].

Вагони, що прибувають на розвантаження подають по дорозі 1 за допомогою штовхача 3 на пересувний вагоноперекидач 2, який переміщається по коліях 4 вздовж розвантажувальної траншеї 5. Після розвантаження вагонів вагоноперекидачем в траншею має грейферну візок 8 подають на склад, де пошарово укладають у штабелі 9. Перевантажувальний кран рухається вздовж складу по шляхах 10, покладеним паралельно бункерної естакаді доменних печей.

Матеріали, які необхідно подати в рудні бункери бункерної естакади, забирають зі штабелів грейфером перевантажувального крана та завантажують у рудний перевантажувальний вагон 11.

Цей вагон, переміщаючись шляхом 12, покладеному по верху естакади, розвантажує матеріали в бункера. На естакаді є шлях 13 для вивантаження матеріалу з вагонів безпосередньо бункера. Кокс подають у коксові бункери коксовим передавальним вагоном на шляху 14 або стрічковим конвеєром, встановленим на бункерній естакаді (замість шляху 14).

Для подачі матеріалів зі складу на аглофабрику їх забирають зі штабелів за допомогою грейферного візка перевантажувального крана та завантажують у передавальні вагони, розташовані на шляху 6.

Оскільки висувають високі вимоги до усереднення матеріалів, що істотно покращує техніко-економічні показники роботи доменних печей, то створюють нові типи складів з різним розташуванням доменних печей. На рис. 1.4 б показана одна зі схем складу із застосуванням високопродуктивних машин і механізмів для усереднення матеріалів, укладання в штабелі і забірки зі штабелів. Вагони, що прибувають по дорозі 1, розвантажують стаціонарними роторними вагоноперекидачами 2. За допомогою стрічкових конвеєрів матеріали подають в дробильно-сортувальне відділення 3.

Після підготовки матеріали конвеєрами 4 і 6 через перевантажувальні

станції 5 направляють до штабелеукладачів 9а і 96. Похилі конвеєри укладача, що переміщається по коліях 10, штабеля 11 утворюють шляхом пошарового укладання матеріалів.

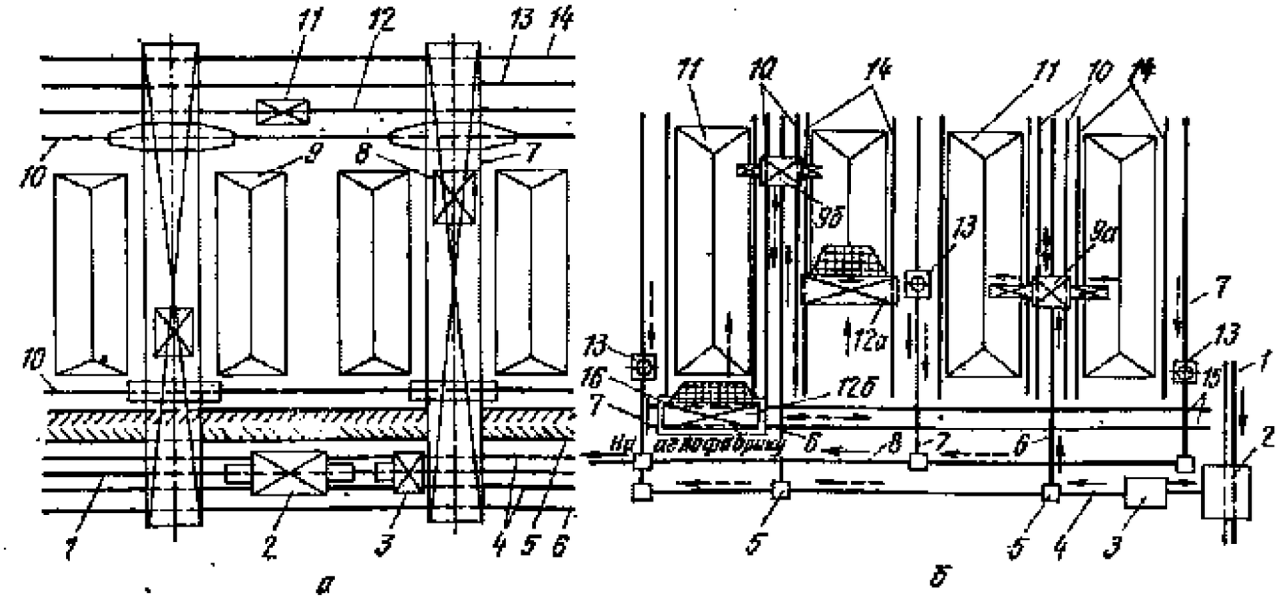


Рисунок 1.4 – Схеми складів шихтових матеріалів: а – з пересувним вагоноперекидачем та перевантажувальними кранами; б – зі стаціонарними вагоноперекидачами, конвеєрами та середнім комплексом

Зі штабелів матеріали забирають за допомогою усереднювачів шихти 12а і 12б, забезпечених бороною і скребковим конвеєром для видачі матеріалів на рухомий лопатевий живильник 13. Цим живильником матеріали подають на стрічковий конвеєр 7 і потім через перевантажувальну станцію складу на аглофабрику. Усереднювач переміщається по коліях 14 вздовж штабеля матеріалу. Для передачі усереднювача від одного штабеля до іншого служать поперечний шлях 15 і візок 16. Зазвичай здійснюють укладання одночасно двох штабелів одним штабелеукладачем 9а. Конвеєри іншого укладача 9б, в робочій зоні якого в даний момент здійснюють забір матеріалів усереднювачем шихти 12а, підняті і усереднювач 12б відведений у вихідне положення [1-6].

Як видно з вищенаведеного аналізу вагоноперекидачі відіграють важливу роль в ритмичності роботи доменних печей, тому потрібно звертати увагу на па їхню підримку в роботоздатному стані.

1.2 Огляд та аналіз конструкційних особливостей вагоноперекидачів

Вагоноперекидачі призначені для вивантаження з вагонів навалочних вантажів [7]. Як правило, піввагони розвантажуються шляхом повороту їх щодо поздовжньої осі на 170…175°, а криті вагони шляхом нахилу щодо поперечної й поздовжньої осі на кут до 50°. З економічної точки зору застосування вагоноперекидачів доцільно в пунктах масового вивантаження, якщо вантажопотік становить не менш 1 млн. т вантажу в рік.

Залежно від способу повороту й типу вагонів, що розвантажуються, розрізняють наступні типи вагоноперекидачів [8]:

- роторні — з поворотом вагона на 160…170° щодо поздовжньої геометричної осі, що проходить через бічну стінку [8];
- мостороторні — з поворотом вагона на 160…170° шляхом перекочування ротора з вагоном по мосту й вивантаженням вантажу через бічну стінку;
- бічні — з поворотом вагона на 160…170° щодо поздовжньої осі, розташованої збоку значно вище рівня рейкового шляху й поздовжньої осі вагона, і висипанням вантажу через бічну стінку;
- баштові — з підйомом і поворотом вагона на 160° щодо поздовжньої осі вагона з вивантаженням через бічну стінку;
- торцеві — з поворотом вагона на 50...70° щодо поперечної осі, при якому висипання вантажу відбувається через відкидну торцеву стінку вагона;
- комбіновані — з поворотом критого вагона в різних напрямках щодо поздовжньої й поперечної осей вагона;
- платформоперекидачі — з поворотом на 50…70° у бічному напрямку.

Вагоноперекидачі за способом обслуговування розвантажувального фронту розрізняють на:

- пересувні;

– стаціонарні.

Роторні вагоноперекидачі мають ротор, що повертається щодо поздовжньої осі, що проходить усередині контуру вагона на 175°. Вивантаження проводиться в заглиблений прийомний бункер. Бічні вагоноперекидачі повертають вагон на 160…170° навколо поздовжньої осі, що проходить поза контуром вагона збоку й значно вище рівня рейки. Вантаж надходить у бункер, розташований на висоті 4…7 м від рівня головки рейки. Роторні й бічні вагоноперекидачі одержали в нашій країні для розвантаження піввагонів найбільше поширення, з них на частку роторних доводиться не менш 90% [9].

Стаціонарний роторний вагоноперекидач (рисунок 1.5) складається з ротора 1 із зубчастими вінцями 7, люльки 2, мосту-платформи 3, опорних роликів, вібраторів 6 з упорами 5 і привода 8. Ротор має чотири кільцеві диски, зв'язані між собою трубчастими фермами й верхніми балками з підвішеними до них вібраторами. Кожний з дисків опирається бандажами на дві двороликові балансирні опори. Поруч із бандажами на диску укріплені зубчасті вінці 7, що перебувають у зачепленні із шестернями провідного валу електропривода. У роторі розташовано дві люльки, що мають привалочні стінки 4, армовані гумовою плитою товщиною 100 мм.

Привод складається із двох електродвигунів, чотирьох колодкових гальм, двох зубчастих редукторів і загального валу із провідними шестірнями. Вагоноперекидач повинен працювати в комплексі з електровізком-штовхачем і маневровим пристроєм.

Навантажені піввагони подаються вагоноштовхачем і встановлюються на платформі у середині ротора вагоноперекидача. У початковий період повороту ротора мост із вагоном зміщається убік привалочної стінки до контакту з нею. При подальшому обертанні ротора люлька під дією сили ваги, що направляється роликами в криволінійних прорізах і кривошипними тягами, переміщається з вагоном до упорів вібраторів. У перекинутому положенні піввагон повністю опирається на вібратори й привалочну стінку. Після включення вібраторів залишки вантажу обсипають зі стінок і дна піввагона.

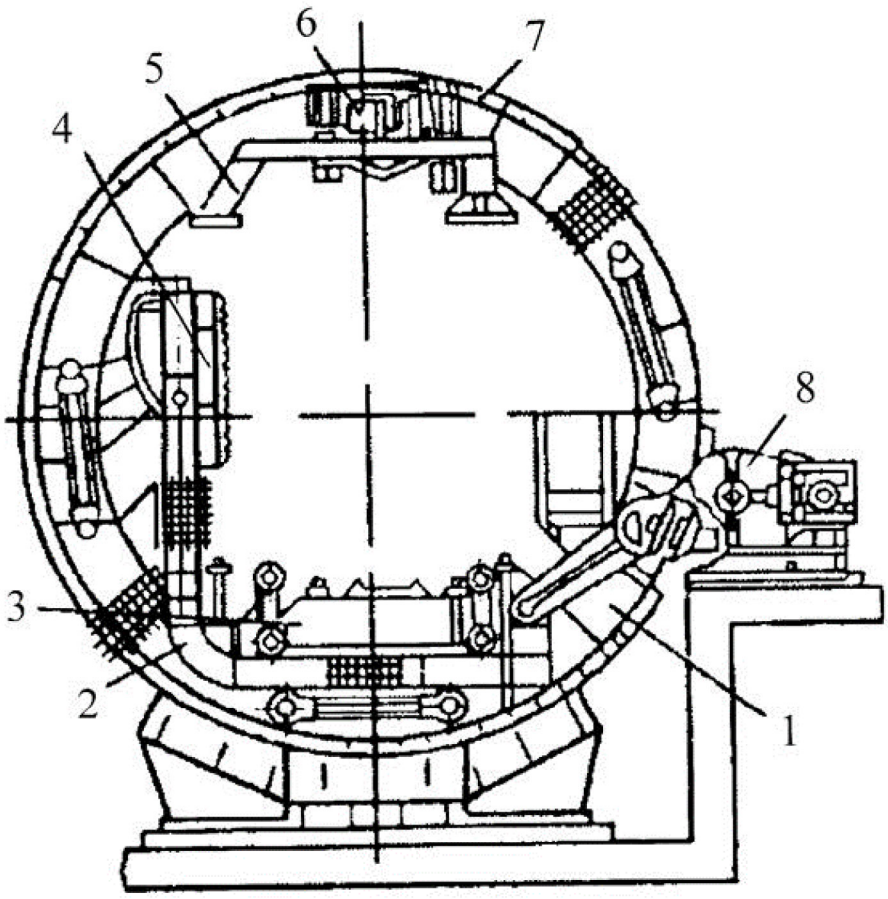


Рисунок 1.5 – Стаціонарний роторний вагоноперекидач (позиції наведено у тексті)

По закінченню розвантаження порожній піввагон виштовхується з вагоноперекидача й убирається маневровим пристроєм, а електровізок-штовхач подає й установлює на платформі наступний піввагон. Реальний термін служби вагоноперекидача досягає 30 років, виготовляються вони по індивідуальному замовленню.

У зимовий час навіть при попередньому прогріві вантажу в тепляку протягом 6…24 год вантаж з піввагона надходить на надбункерні решітки вагоноперекидача (величина гнізд — 0,5 х 0,5 м) двома-трьома блоками (масивами), які не можуть пройти крізь гнізда й утворюють затори на решітках. Для руйнування цих блоків створені й можуть поставлятися в комплекті з

вагоноперекидачами установки дезінтеграції вантажів, що змерзлися. Їхня продуктивність становить 850…900 т/год.

До пересувних роторних відносяться вагоноперекидачі, у яких ротор розташований на пересувному мосту. Вони дозволяють вести вивантаження на лінійному фронті великої місткості, але через складність конструкції й великої власної маси застосування їх досить обмежене [10-12].

Вагоноперекидач розвантажує вагон усього за 30 секунд, а його продуктивність досягає 10000 т/год. Найкращим рішенням для автоматизованого, швидкого розвантаження й перекидання декількох вагонів за один цикл роботи є поворотний вагоноперекидач. Також ідеальним для виконання різних завдань його робить відносно невелика вартість і застосування разом з ним маневрових локомотивів для того щоб розвантажувати вагони.

Підйомно-поворотний вагоноперекидач – є гарним рішенням для об'єктів, яким потрібен фундамент на невеликій глибині й у яких бункери для приймання повинні перебувати на тому ж рівні що й залізнодорожні шляхи [10-12].

У цьому випадку будуть зменшені витрати на будівництво й будуть зменшені строки виконання роботи. Вагоноперекидач використовують для середньої й для низької продуктивності.

Послідовність виконання дій поворотно-піднімальних і роторних вагоноперекидачів схожа. Вагон установлюють на платформу, затискачами вагон утримують на місці а перекидач повертає його максимально настільки, на скільки це дозволяє техніка (приблизно 170°). Головною відмінністю між цими двома видами вагоноперекидачів є те, що перший вид вагоноперекидачів утворює дугу під час руху, а другий вид (роторний) виконує осьове обертання. Під час роботи вагони повинні бути від’єднанні одне від одного й розвантажуватися по одному.

Базою мостороторного вагоноперекидача (рисунок 1.6) служить мост, складений із чотирьох або шести балок 1, що опираються на візки 4. На балках мосту перебуває ротор 2 з рейковою колією, люлькою, привалочною стінкою,

верхніми затискачами й блочно-канатним приводом обертання. До передньої й задньої балок шарнірно примикають похилі в'їзд 3 і з'їзд, призначені для закочування й наступного викочування вагонів з ротора. Керування проводиться з кабіни 5 [10-12].

У процесі вивантаження перекидання вагона досягається тим, що ротор перекочується по напрямним балок мосту з положення I у положення II на кут 160° над прийомною траншеєю. Основний недолік цього типу вагоноперекидачів – це велика витрата металу й недостатня надійність канатного приводу, особливо при роботі в зимових умовах. Загальна маса 445 т, годинна продуктивність 25 вагонів [10-12].

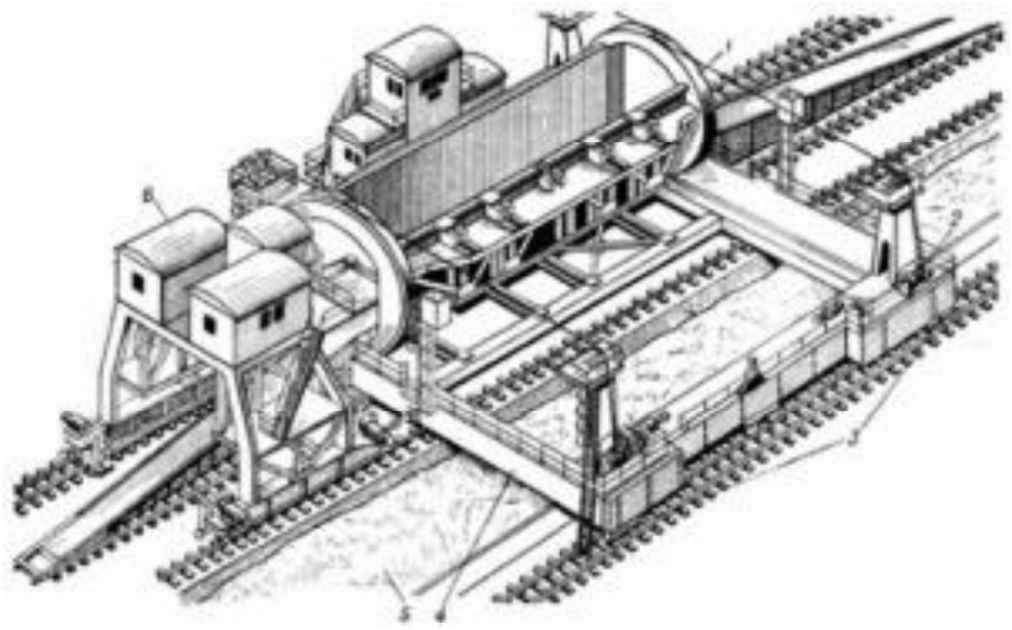


Рисунок 1.6 – Пересувний мостороторний вагоноперекидач (позиції наведено у тексті)

Окремим видом є стаціонарні й пересувні бічні підйомно-поворотні вагоноперекидачі. Стаціонарний (рисунок 1.7) складається із двох закріплених на валу фігурних роторів 5, двох колисок 1, до яких на тягах підвішені платформи 2, електропривода механізму перекидання й чотирьох опорних колон з підшипниками. На підшипники колон опираються вали роторів, зв'язані між собою еластичною муфтою.

Люльки обладнано привальними стінками 3 і верхніми притисками 4. Підвіска платформи й зв'язок колисок з роторами виконані так само, як і в стаціонарному роторному вагоноперекидачі. Поворотна частина вагоноперекидача частково врівноважена противагами 6.

Поворот роторів здійснюється від двох окремих приводів потужністю по 100 кВт кожний. Пульт керування розташовано в кабіні 7.

Для вивантаження вантажу з піввагона ротори повертають на 170…175°, і вантаж вивантажується на висоті 7 м над рівнем землі, що дозволяє обійтися без глибоких приямків, що влаштовуються при використанні роторних вагоноперекидачів для розміщення прийомних бункерів і конвеєрів. Вантаж з вагона надходить у прийомний бункер 8, звідки живильником 9 подається на конвеєр 10. У порівнянні з роторним бічний вагоноперекидач має більшу масу й вартість виготовлення у два рази вище, чим у роторного. Продуктивність – 20 вагонів у годину [10-12].

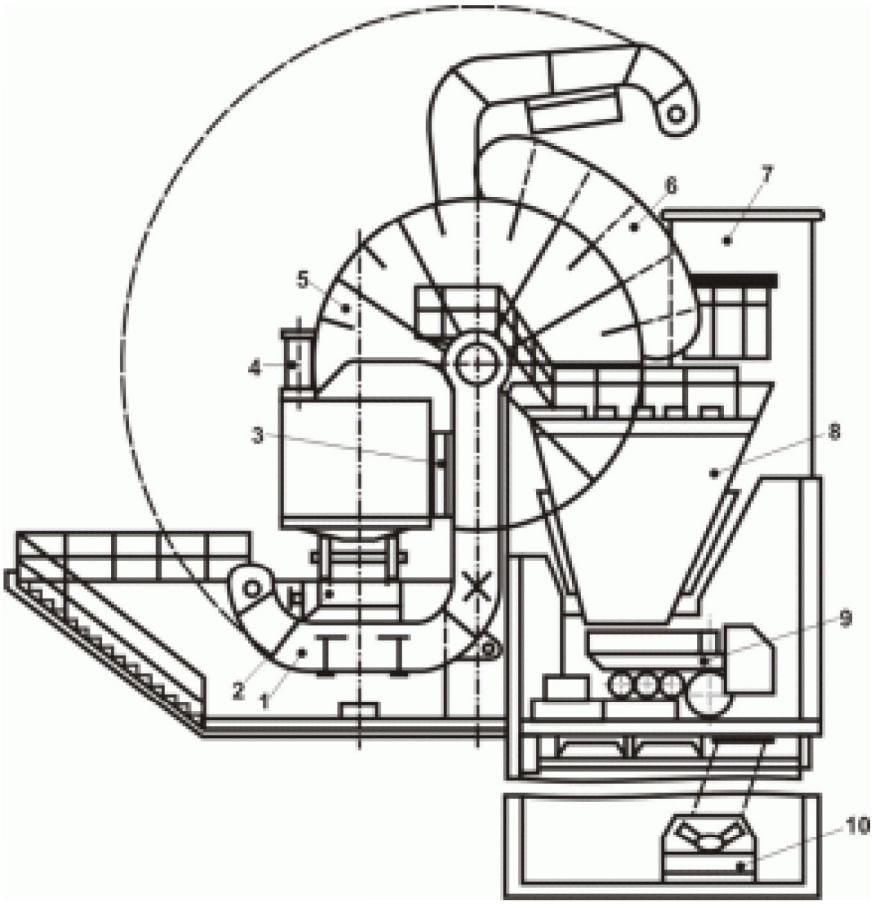


Рисунок 1.7 – Бічний підйомно-поворотний вагоноперекидач (позиції наведено у тексті)

Пересувний бічний вагоноперекидач має таку ж конструкцію, як і стаціонарний, але він встановлений на спеціальну платформу, що переміщає його уздовж фронту розвантаження. Вагони подаються в люльку вагоноперекидача й убираються по спеціальних накатах.

Баштовий вагоноперекидач (рисунок 1.8) встановлюють на металургійних заводах на рудних дворах і він служить для вивантаження руди й вугілля із чотирьох- і шестивісних напіввагонів.

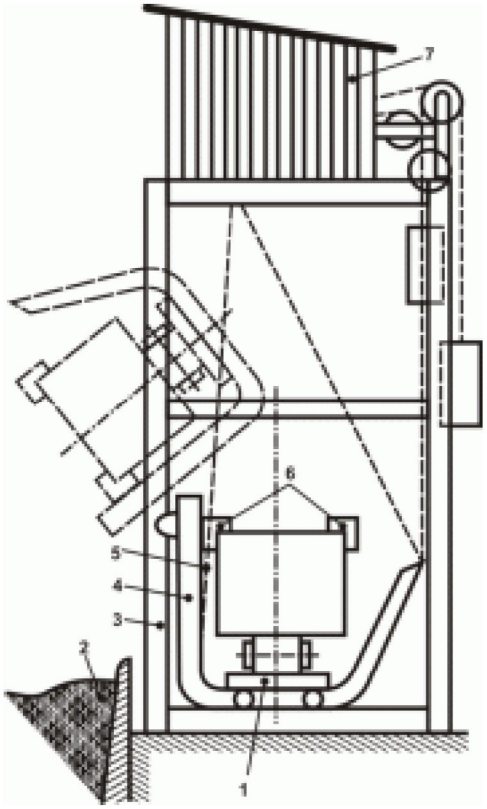


Рисунок 1.8 – Баштовий вагоноперекидач (позиції наведено у тексті)

Баштовий вагоноперекидач складається з пересувного самохідного або стаціонарного порталу 3, усередині якого розмішена люлька 4 з підвісною платформою 1, що несе рейки для установки вагона під розвантаження. Люлька підвішена на двох цапфах до колон порталу з боку прийомної траншеї.

Портал пересувного вагоноперекидача опирається на вісім приводних балансирних візків. До порталу примикають із двох сторін похилі шляхи для подачі вагонів у люльку й збирання їх після вивантаження.

Люлька з підвісною платформою обладнана стопорними пристроями 6 для закріплення вагона. У верхній частині порталу в кабіні 7 розміщена піднімальна лебідка механізму перекидання, а також система канатів і противаг. Кінці канатів і лебідки закріплені на люльці.

При включенні лебідки люлька піднімається канатами й повертається щодо цапфи. Як тільки люлька повернеться на 10…15°, платформа 1 із встановленим на ній навантаженим вагоном переміститься убік привалочних брусів 5, закріплених на вертикальній стінці люльки. Після цього автоматично включається привод вертикальних затискачів, а потім і привод підйому: люлька перекидається убік прийомної траншеї 2, куди й висипає вміст вагона. Після цього люлька вертається у вихідне положення, затискачі відключаються й вагон виштовхується з люльки. Противаги знижують ступінь статичної неврівноваженості люльки з навантаженим вагоном. Кут повороту люльки 160°, продуктивність 20 вагонів у годину, загальна потужність електродвигунів 530 кВт, маса 667 т.

Торцевий вагоноперекидач (рисунок 1.9) складається з поворотної платформи 1, привода 2 з канатним поліспастом, розташованим у поглибленні 3. При розвантаженні піввагон упирається в буферний брус 5 [10-12].

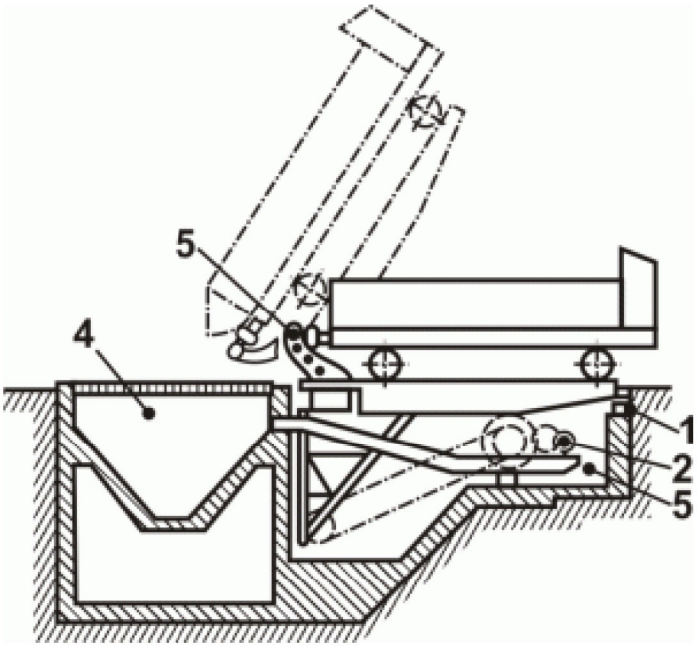


Рисунок 1.9 – Торцевий вагоноперекидач (позиції наведено у тексті)

Вантаж зсипається в прийомний бункер 4 через торцеву стінку. Застосовуються ці вагоноперекидачі для вивантаження вантажу з піввагонів західноєвропейської колії, у яких відкриваються торцеві стінки. По конструкції торцеві вагоноперекидачі прості, надійні в експлуатації, але вимагають значної витрати енергії внаслідок неврівноваженості платформи з вагоном щодо осі повороту. Продуктивність – до 20 вагонів у годину.

Для запобігання вагоноперекидачів і прийомних бункерів від атмосферних опадів, а також запобігання поширення пилу, що утворюється при розвантаженні, над цими установками споруджують укриття (намети). У наметах монтують мостові крани для ведення монтажних робіт при установці й ремонті вагоноперекидачів, спуска встаткування й запасних частин у прийомну яму. Удосконалювання вагоноперекидачів ведеться в напрямку підвищення їх пропускної здатності, автоматизації процесів вивантаження та ін.

Комбіновані вагоноперекидачі служать для вивантаження із критих вагонів легкосипних вантажів, таких як зерно, доломіт, магнезитовий порошок і т.п. Закріплений на спеціальній платформі вагон спочатку повертають навколо поздовжньої осі й вивантажують частину вантажу через відкриті бічні двері. Після цього роблять кілька торцевих нахилів платформи з вагоном у протилежні сторони. При цьому весь вантаж висипається через двері в прийомний бункер.

Теоретична продуктивність таких перекидачів 8…10 перекидань/год. Однак на експлуатаційну продуктивність значний вплив виявляють сипкість вантажу, ступінь розпушення й розморожування його, спосіб зачищення від залишків вантажу й т.п. Великого поширення в нашій країні комбіновані вагоноперекидачі не одержали.

1.3 Огляд технічних рішень спрямованих на усунення конструктивних недоліків вагоноперекидачів та обґрунтування обраного напряму досліджень

Аналіз роботи роторного вагоноперекидача рудного двору доменного цеху показав, що найбільш «вузьким» місцем агрегата є вузол роликоопори. Часті

ремонти вузла роликоопори, які зв’язані з заміною підшипників приводять до аварійних зупинок процесу розвантаження вагонів за допомогою вагоноперекидача.

У вітчизняній практиці відомі рішення з модернізації вагоноперекидачів направлені, як на усунення конструктивних недоліків так і на підвищення їхньої продуктивності.

Так авторський колектив [13] пропонує створення вагонооперекидача, що переміщується до місця розвантаження в процесі технологічного вивантеження вагону.

Завдяки тому, що зубчасті рейки, які заходять в зачеплення із зубчастими вінцями барабанів та закріплені на направляючих шляхах розвантаження відбувається до транше паралельно основному залізничному шляху.

На рисунку 1.10 показаний перекидач, вигляд збоку; рисунку 1.11 - загальний вигляд візків; рисунку 1.12 - направляючий шлях і нижня частина візка з барабаном.

Вагонооперекидач складається з пересувного моста 1, на якому змонтовані направляючі шляхи 2. На направляючих шляхах встановлені візки 3 з приводом 4. Привод контактує шестернями 5, пов'язаними валом 6, із зубчастими вінцями 7 барабанів 8, які рухливо встановлені на опорних роликах 9 візків 3 і контактують з опорними роликами бандажами 10. Барабани пов'язані один з одним загальною рамою 11 з шляхами 12 для перевертаного вагону. На направляючих шляхах змонтовані зубчасті рейки 13, що контактують із зубчастими вінцями 7 барабанів. Зубчасті рейки захищені від забруднення щитами 14.

При включенні приводу 4 обертаються шестерні 5. Вони провертають за зубчасті вінці 7 барабанів 8 з поміщеним усередині них вагоном. Під час повороту зубчасті вінці 7 контактують із зубчастими рейками 13 і відбувається бічне зміщення барабанів разом з візками.

Після повного перекидання вагону привод перемикається на зворотний хід і повертає візки і барабани в первинне положення.

Роторний вагонооперекидач включає декілька пов'язаних загальною рамою барабанів, розташований поворотно на паралельних направляючих шляхах візках, має приводо, який контактує з укріпленими на барабанах зубчастими вінцями. З метою повороту барабанів з одночасним бічним зміщенням їх разом з візками, на направляючому шляху змонтована зубчаста рейка, яка контактує із зубчастим вінецем барабану.

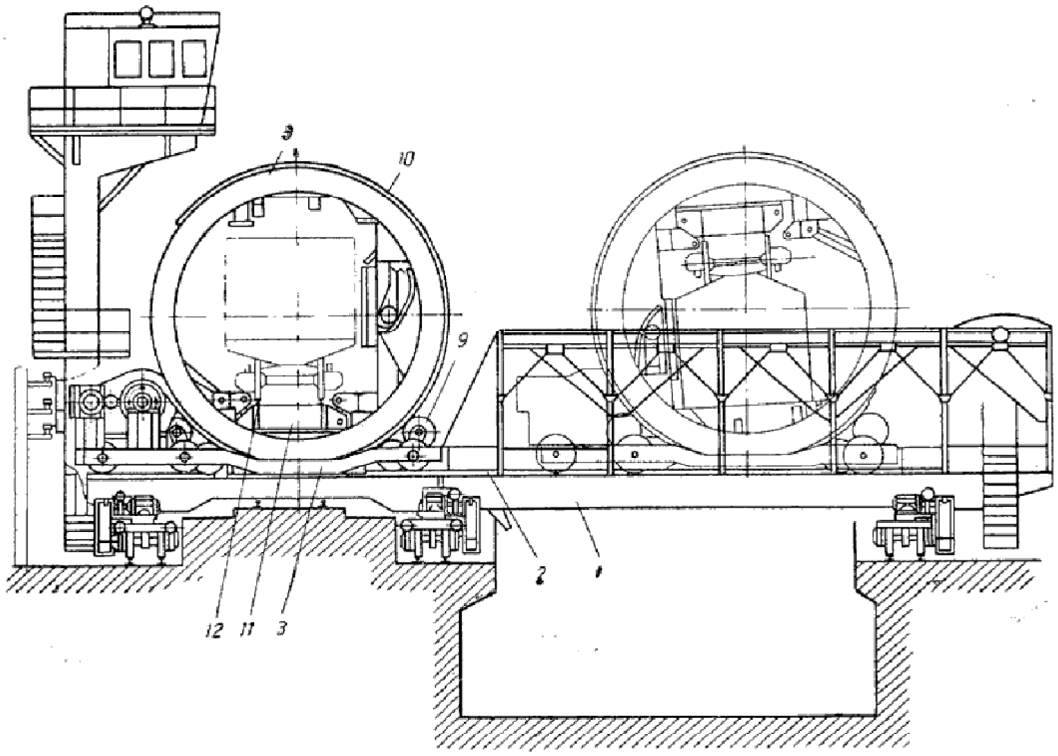


Рисунок 1.10 – Вагоноперекидач (вигляд збоку)

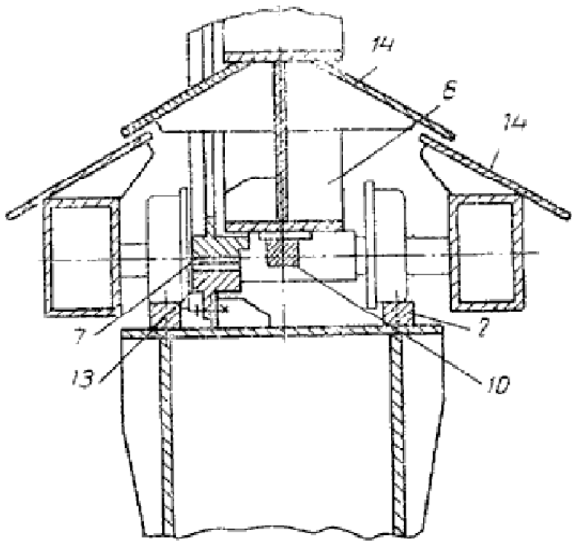


Рисунок 1.11 – Направляючий шлях і нижня частина візка з барабаном

Але така конструкція є дуже матеріалоємкою та затратною у виробництві.

Патент SU 816920 ставить за мету спрощення конструкції і зниження металоємності.

Вказана мета досягається тим, що дугоподібні направляючі шарнірно сполучені з мостом ротора і за допомогою вказаної шарнірної тяги - з подовжніми балками і привалочними стінками, при цьому інша з дугоподібних направляючих пов'язана з приводним ланцюгом, а ролик,що притискає закріплений на нерухомій основі.

На рисунку 1.12 зображений вагонооперекидач в початковому положенні, вид загальний; на рисунку 1.13 – вагонооперекидач в перевернеому положенні.

Вагонооперекидач складається з приводу 1, приводного ланцюга 2, ротора 3, встановленого на роликових опорах 4, і складається з вертикальних дисків 5, сполучених між собою мостом 6 і подовжніми балками 7.

При включенні приводу 1 приводний ланцюг 2, сполучений з дугоподібною направляючою 11, приводить його в обертання навколо шарніра 9 проти годинникової стрілки. Під дією важеля 11 і шарнірної тяги 19 і 21 привалочної стінки 20, здійснюючи поступальну ходу, притискається до вагону. При подальшому русі ланцюга 2 починає обертатися ротор 3. При цьому ролик 13, впливаючи на направляючу 10, повертає її навколо шарніра 8. Направляюча 10, аналогічно направляючій 11, за допомогою шарнірної тяги 16 і 18 притискує стінку 17 до вагону. При подальшому обертанні ротора 3 ролик 13, обкатуючи ребро 12 направляє утримує стінки 17 і 20 притиснутими до вагону до повного його розвантаження. Направляюча 10 своїм вільним кінцем охоплює напрвляючу 11, щільно притискуючи її у бік вагону.

Після вивантаження матеріалу з вагону привод за допомогою реверсу повертає систему в початкове положення. При цьому робота перекидача відбувається в зворотному порядку, а потім цикл повторюється. Використання пристрою дозволяє спростити конструкцію і понизити металоємність.

Про виробничу ефективність такого рішення відомостей у відкритих джерелах не знайдено.

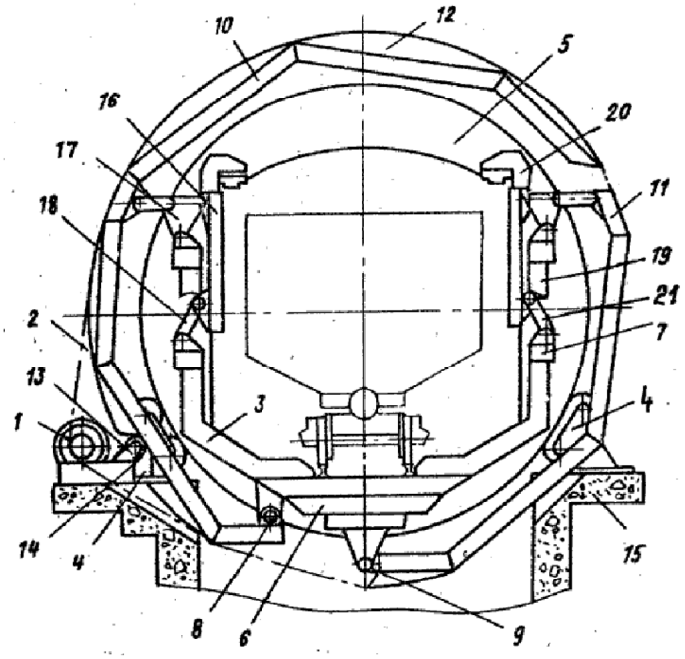


Рисунок 1.12 – Направляючий шлях і нижня частина візка з барабаном

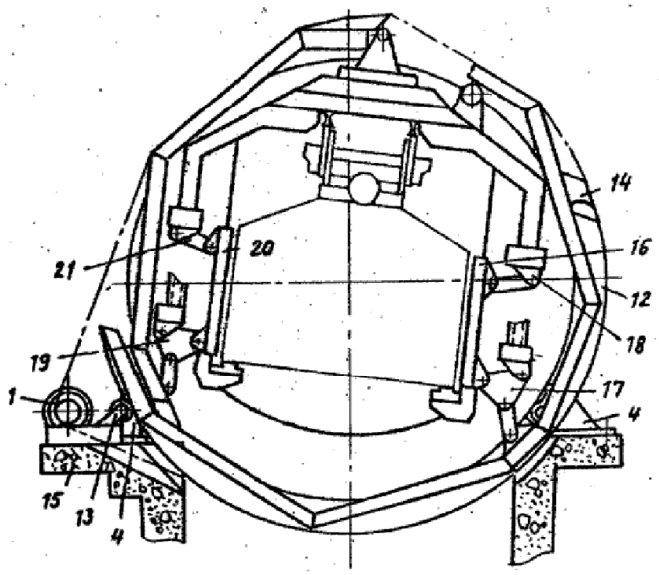


Рисунок 1.13 – Вагонооперекидач в перевернеому положенні

Автор патенту SU 442131 з метою повороту перекидача на обидві сторони і точної зупинки під час повороту пропонує обладнати вагонооперекидач демпферами, шарнірно встановленими на підставі каткових опор і контактуючими з дисками, обладнаними виступами, причому демпфери забезпечені роликами, що контактують з жорстко встановленими на дисках копірними направляючими.

Для зручності підведення струму до вібратора на одному з дисків

закріплені направляючі для кабелю, розташовані симетрично відносно отвору для проходу вагонеток, і ролик, що охоплюється кабелем, а поруч з поворотними дисками монтовані вертикальні направляючі, на яких встановлені рухливий і нерухомий ролики, що огинаються кабелем.

На рисунку 1.14 зображено запропонована конструкція. Вагонооперекидач має раму 1, на якій встановлені приводні 2 каткові опори і неприводні ролики 3. На ці ролики спираються пов'язані між собою диски 4, що мають отвір 5 для проходу вагонеток 6, який обладнаний рейками 7 з поміщеним між ними електровібратором 8. Над рейками розташовані верхні упори 9 і бічні відкидні упори 10. Біля каткових опор шарнірно встановлені демпфери 11, що контактують з виступами 12 на дисках, причому кожен демпфер обладнаний збоку роликами 13, що контактують з копірними направлячими 14 на дисках. Але обидві сторони від отвору 5 на одному з дисків 4 встановлені направляючі 15 для кабелю 16, а згори на цьому ж диску укріплений ролик 17, охоплюваний кабелем 16. Біля відповідного диска, в тій же площині, розташовані вертикальні направляючі 18, на яких встановлений нерухомий ролик 19 і рухливий уздовж них ролик 20. Ці ролики також охоплені кабелем, який закріплений на вертикальних направляючих 18. Електровібратор 8 підвішений на підпружиненій важільній системі 21, такій, що забезпечує підведення бойка 22 вібратора до вагонетки під дією власної ваги вібратора при перевернутому положенні вагонетки.

У первинному положенні диски спираються з одного боку своїми виступами на відповідні демпфери 11, причому ролики цих демпферів стикаються з копірною направляючою в її найвужчій частині. З іншого боку демпфери своїми роликами стикаються з широкою частиною копірої направляючої і тому відхилені убік. В процесі обертання копірні направляючі відводять убік перші демпфера і встановлюють у вертикальне положення демпфера, розташовані з іншого боку. Завдяки цьому, виступи 12 вільно проходять повз відведені убік демпфери. Кабель під час обертання лягає на відповідну направляючу 15. Рухливий ролик 20 при цьому піднімається,

звільняючи кабель. При перевернутому положенні вагонооперекидача електровібратор під дією власної ваги притискається до дна вагонетки.

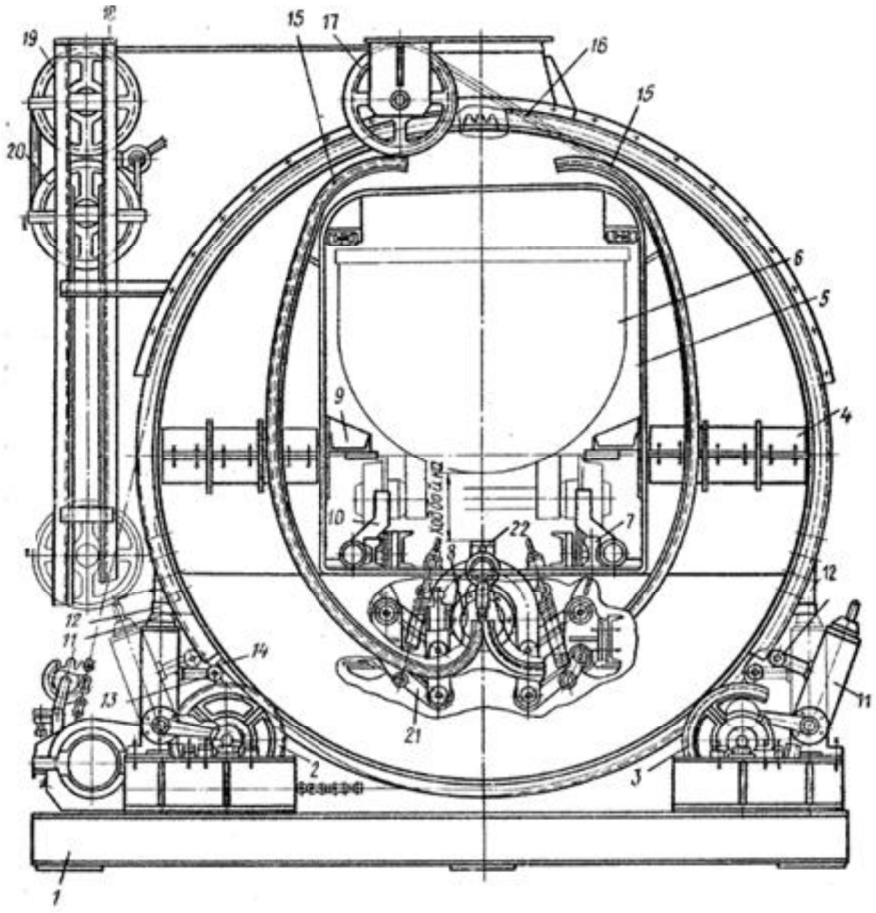


Рисунок 1.14 –Модернізований вагоноперекидач

Вищезгадані роботи та багато інших не пропонують вирішення проблеми, що виникає у підшипникому вузлі роликоопори роторного вагоноперекидача. Тому виходячи із світової практики пропонується замінити роликопідшипники з короткими циліндричними роликами на радіальні сферичні дворядні роликопідшипники. Такі підшипники мають багато переваг, а саме витримують більше радіальне навантаження, здатні компенсувати значну неспіввісність і прогин вала, а також сприймати комбіноване навантаження.

Для виконання запропонованої модернізації необхідне чітке розуміння навантажень на привод перекидача під час виконання технологічних операцій, які в умовах виробничих обмежень можна отримати шляхом імітаційного моделювання та лабораторних досліджень роботи роторного вагоноперекидача.

2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунок приводу роторного вагоноперекидача

Цикл роботи роторного вагоноперекидача при розвантаженні вагонів складається з наступних операцій:

- встановлення штовхачем вагона на платформу ротора з одночасним виштовхуванням порожнього вагона.
- поворот ротора з вантаженим вагоном з одночасним переміщенням його до привалочної стінки її затискачем.
- повернення ротора з порожнім вагоном у вихідне положення й одночасне звільненням вагона від затискачів.

Сумарний час циклу роботи механізму кантування становить близько двох хвилин. Тому потужність двигунів необхідно визначати з урахуванням повторно-короткочасного режиму їх роботи.

Потужність двигунів витрачається на визначення статичних і динамічних навантажень.

Загальний статичний момент складається з:

- Моменту від сили ваги ротора із платформою й механізмами затискача;
- Моменту від сили ваги вагона;
- Моменту від сили ваги сипучого матеріалу;
- Моменту від сил тертя на опорних катках.

Вихідні дані до розрахунку приводу роторного вагоноперекидача наведено в таблиці 2.1

Для розрахунків моментів що виникають при перекиданні вагона роторним вагоноперекидачем при розвантаженні врахуємо положення наведені роботами [14-18] та розрахунковою схемою рисунок 2.1

Таблиця 2.1 – Вихідні дані до розрахунків

Найменування величини	Позначення	Величина
Маса, т: -ротора -люльки -платформи	$G_р$ $G_л$ $G_п$	95 50 18
Координати центру ваги у вихідному положенні, м: -ротора -люльки -платформи	 $x_{ро}$ $y_{ро}$ $x_{ло}$ $y_{ло}$ $x_{по}$ $y_{по}$	 0,48 -0,744 -1,10 0,765 0,20 2,81
Маховий момент щодо осі обертання ротора, МН·м^2	GD^2	54
Діаметр ротора, м	$D_р$	7,71
Діаметри, м: -опорного катка -осі опорного катка	 $D_к$ d	 0,7 0,2
Відстань по вертикалі від рівня головок рейок, м: - до осі вагоноперекидача - до верхніх опорних балок	 $H_р$ $H_б$	 1,83 3,98
Відстань по горизонталі від осі вагона до осі обертання ротора, м	Хво	0,2
Час циклу обробки одного вагона, хв	$t_ц$	2
Час розгону, с	$t_р$	5
Час гальмування, с	$t_т$	5
Передаточне число привода	i	433
Повний кут повороту, град	$\alpha_п$	160
Частота обертання, хв$^{-1}$	n	1,3
Вантажопідйомність вагона, т	$G_{гр}$	60
Маса вагона, т	$G_в$	25
Висота загальна, м	Но	3,27
Розміри кузова у світлі, м: -висота -ширина -довжина	 A B L	 1,73 2,85 12,005
Ордината центру ваги, м		1,385
Маховий момент щодо центру ваги, МН·м^2	$GD^2_{ц.в.}$	1
Об'ємна маса, кг/м^3	γ	1,5·103
Кут природнього укосу, град	ψ	45

Момент від сили ваги ротора:

$$M_p=G_p\cdot h_p=G_p\cdot r_p\cdot \sin(\beta_p+\varphi_i); \quad (2.1)$$

де r_p – радіус-вектор центру ваги ротора;

$$r_p=\sqrt{x_p^2+y_p^2}; \quad (2.2)$$

$$r=\sqrt{0{,}48^2+0{,}744^2}=0{,}885;$$

β – кут радіуса-вектора з віссю *y* у вихідному положенні;

$$\beta=\tan^{-1}\frac{x_p}{y_p}; \quad (2.3)$$

$$\beta=\tan^{-1}\frac{0{,}48}{-0{,}744}=-32{,}8^\circ;$$

$$M_p^{0^\circ}=95\cdot 10^3\cdot 0{,}885\cdot \sin(-32{,}8^\circ+0)\cdot 9{,}81=-446{,}787 \text{ кН·м}.$$

Момент від сили ваги вагона:

$$M_в=G_в\cdot h_в=G_в\cdot r_в\cdot \sin(\beta_в+\varphi_i); \quad (2.4)$$

де $r_в$ – радіус-вектор центру ваги вагона;

$$r_в=\sqrt{x_в^2+y_в^2};$$

$$r=\sqrt{1,424^2+1,14^2}=1,824;$$

β – кут радіуса-вектора з віссю *y* у вихідному положенні;

$$\beta=\tan^{-1}\frac{x_в}{y_в};$$

$$\beta=\tan^{-1}\frac{1,424}{-1,14}=-51,32^\circ;$$

$$M_в^{0^\circ}=25\cdot10^3\cdot1,824\cdot\sin\left(-51,32^\circ+0\right)\cdot9,81=-349,1\ кН\cdot м.$$

Момент від сили ваги сипучого матеріалу:

$$M_{см}=G_{см}\cdot\frac{F_{см}}{B\cdot H_{см}}\cdot h_{смі}; \qquad (2.5)$$

де В – площа поперечного перерізу матеріалу у вихідному положенні; при цьому умовно приймають, що поверхня матеріалу горизонтальна, а перетин представляє прямокутник шириною В и висотою $H_{см}$;

$$H_{см}=\frac{H}{\gamma_{см}\cdot B\cdot L}; \qquad (2.6)$$

де $\gamma_{см}$ – питома вага матеріалу;

L – довжина вагона;

$h_{см}$ – плече центру ваги поперечного перереза матеріалу;

F_i – площа поперечного перереза матеріалу в розглянутому положенні ротора при кутах повороту ротора, що не перевищують кут природнього укосу матеріалу останній не переміщається;

Пи кутах повороту люльки, перевищуючий кут природнього укосу поперечний переріз набуває форму трапеції, а потім трикутника, коли лінія поверхні матеріалу досягає розвантажувальної крайки привалочної стінки, матеріал починає висипатися, а його площа перетину – зменшується.

Для прямокутного перетину центр ваги перебуває на перетинанні діагоналей, для перетину, що має вид трапеції, центр ваги перебуває на перетинанні двох відрізків. Для трикутного перетину центр ваги перебуває на перетинанні медіан.

$$H_{см}=\frac{60000}{1,5\cdot10^{3}\cdot2,85\cdot12,005}=1,169 \text{ м};$$

$X_в=0,2$ м, $Y_в=-H_р+ Нв-А=-1,83+3,27-1,73=-0,29$ м;

$h_{см}^{0^\circ}=0,2$ м;

$$M_{см}=60000\cdot9,81\cdot\frac{2,85\cdot1,73}{2,85\cdot1,73}\cdot0,2=117,72 \text{ кН·м}.$$

Момент від сил тертя на опорних катках

Згідно з розрахунковою схемою (рисунок 2.1):

$$M_{тр}=4T\frac{\mu d+2k}{D}\beta\frac{D_р}{2}, \qquad (2.7)$$

де μ – коефіцієнт тертя в підшипниках опорних катків, μ=0,005...0,01;

k – коефіцієнт тертя катання бандажа по опорних катках, k=0,08...0,1;

β – коефіцієнт, що враховує тертя в ребордах опорних катків, β=2;

D – діаметр опорних катків.

При розрахунках приймають рівним розподіл навантаження на всі катки.

Коли зробимо проєкцію усіх сил на вісь Y отримаємо:

Звідки:

$$2T\cos\psi_1+2T\cos\psi_2=\frac{G_г+G_в+G_{см}}{2};$$

$$T=\frac{G_г+G_в+G_{см}}{4(\cos\psi_1)}; \qquad (2.8)$$

$$T^{0^\circ}=\frac{95000+25000+60000}{4\cos 30^\circ}\cdot 9.81=509{,}74 \text{ кН·м};$$

$$M_{тр}^{0^\circ}=4\cdot 509{,}74\cdot 10^3\,\frac{0{,}0075\cdot 0{,}2+2\cdot 0{,}09}{0{,}7}\,2\,\frac{7{,}71}{2}=4076{,}15 \text{ кН·м}.$$

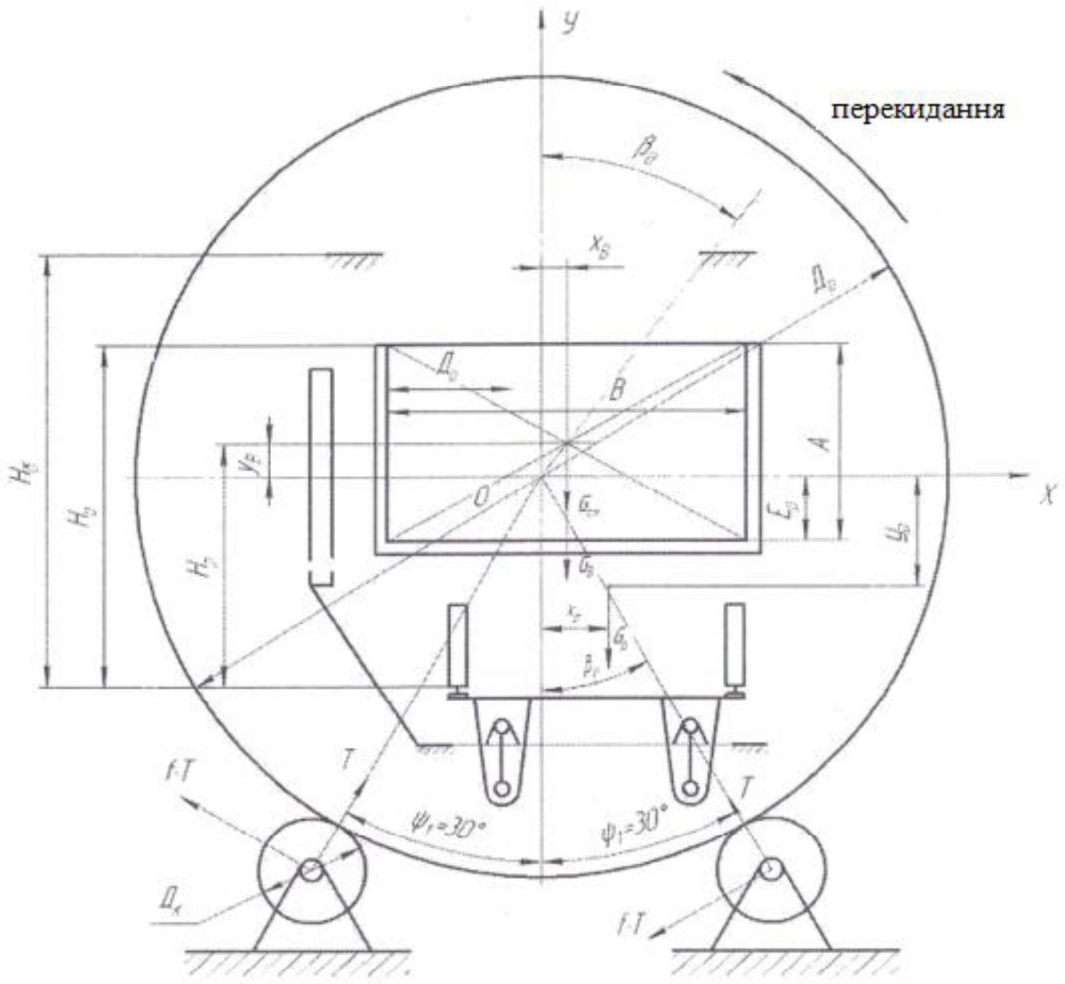


Рисунок 2.1 – Розрахункова схема вагоноперекидача

Загальний статичний момент щодо осі ротора:

а) при кантуванні ротора:

$$M_{р.ст.1}=M_р+M_в+M_{см}+M_{тр.к}; \quad (2.9)$$

$$M^{0^\circ}_{р.ст.1}=-446.787-349,1+117,72+4076,15=3398,3 \text{ кН·м.}$$

б) при поверненні ротора:

$$M_{р.ст.2}=M_р+M_в+M_{тр.в}; \quad (2.10)$$

$$M^{0^\circ}_{р.ст.2}=-446,787-349,1+4076,21=3280,5 \text{ кН·м.}$$

Статичний момент, наведений до вала одного двигуна:

а) при кантуванні:

$$M_{ст1}=\frac{M_{р.ст\ 1}}{2\cdot i\cdot \eta}; \quad (2.11)$$

де і – передатне відношення механізму;

η – К.К.Д. механізму;

$$M^{0^\circ}_{ст1}=\frac{3398,3}{2\cdot 433\cdot 0,85}=4616,6 \text{ Н·м.}$$

б) при поверненні ротора:

$$M_{ст2}=\frac{M_{р.ст\ 2}}{2\cdot i\cdot \eta}; \quad (2.12)$$

де і – передатне відношення механізму;

η – К.К.Д. механізму;

$$M_{ст.2}^{0^\circ} = \frac{3280,5}{2 \cdot 433 \cdot 0,85} = 4456,6 \text{ Н·м.}$$

Отримані значення моментів для всіх положень вагоноперекидача заносимо в таблицю 2.2.

За отриманими значенням будуємо графіки залежності моментів при кантуванні й поверненні ротора у функції кута повороту ротора (рисунок 2.2).

Однак, для того, щоб з цього графіка визначити еквівалентний момент, необхідний для визначення орієнтовної потужності двигуна, необхідний графік $M_c = f(\varphi)$перевести в залежність виду $M_c = f_2(t)$ (рисунок 2.3) [19].

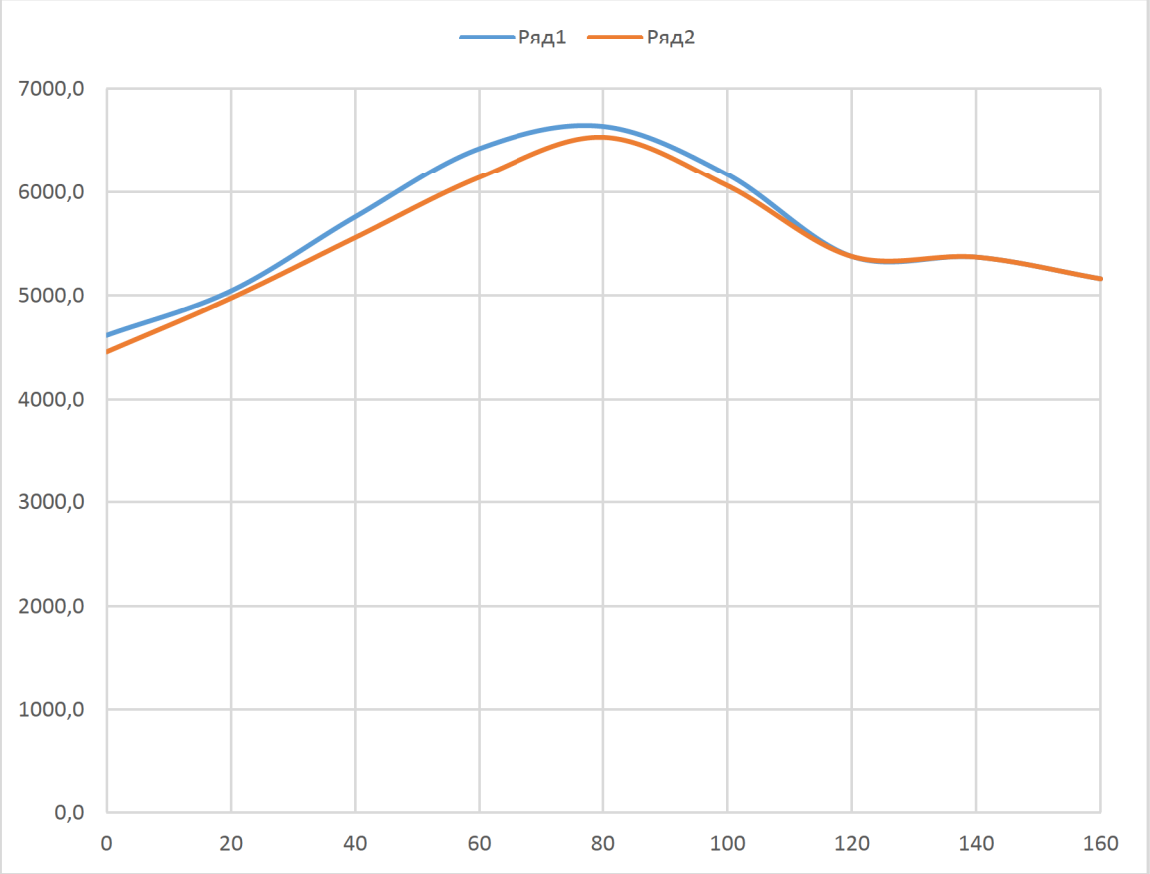


Рисунок 2.2 – Графіки залежності моментів при кантуванні й поверненні ротора від кута повороту

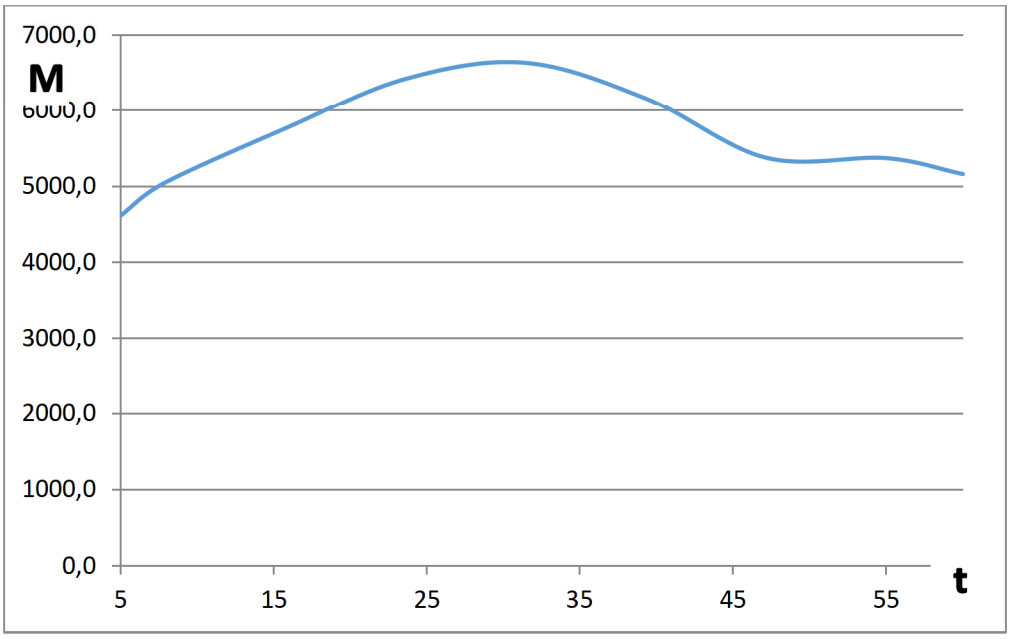


Рисунок 2.3 – Діаграма залежності$M_c = f_2(t)$

По діаграмі $M_c = f_2(t)$ визначаємо попередньо еквівалентний момент і попередню потужність одного електродвигуна:

$$N_{екв.пр.} = \frac{M_{екв.пр.} \cdot \omega_{р1.ном.} \cdot i_{заг}}{1000}; \quad (2.13)$$

$$N = \frac{6637{,}2 \cdot 8{,}164 \cdot 433}{1000} = 23 \text{ кВт}.$$

За цим значенням потужності вибираємо по каталогу двигун MTF 411-6; N=27кВт, n=965 хв$^{-1}$ і його маховий момент $GD^2_я$=19,62 Н·м^2.

Загальний динамічний момент на валу одного двигуна:

$$M_д = I_{пр} + M\left[\frac{I_{пр}+I_в+I_{см}}{2 \cdot i^2 \cdot \eta} + \delta\frac{GD^2_я}{4g}\right] \cdot \frac{(\omega_{р.\,ном.} \cdot i)}{t_{р(Т)}}; \quad (2.14)$$

де $I_{см}$ – момент інерції сипучого матеріалу, щодо осі ротора, рівний:

$$I_{см}=\left\{\frac{B\cdot H_{см}^3+H_{см}\cdot B^3}{12}+BH_{см}\left[x_в^2+\left(H_д-0.5H_{см}\right)^2\right]\right\}I; \qquad (2.15)$$

$$I_{см}=\left\{\frac{2,848\cdot 1,567^3+1,567\cdot 2,848^3}{12}+2,848\cdot 1,567\cdot\left[0,2^2+(0,31-0.5\cdot 1,567)^2\right]\right\}\cdot 18,668\frac{1500}{9,81}=15008\ кН\cdot м^2$$

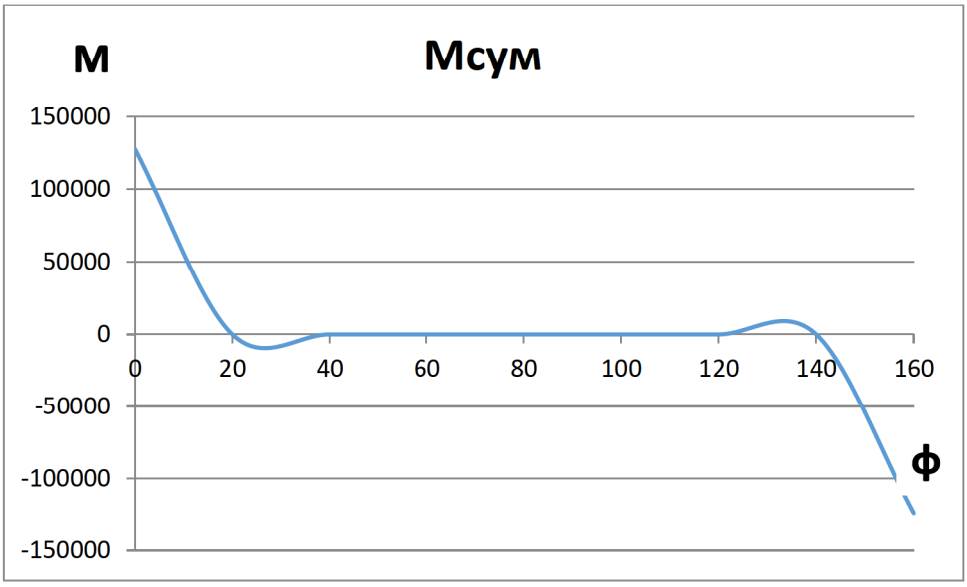
$H_д$ – рівень днища вагона від осі обертання ротора;

$\delta=1,15$–коефіцієнт враховуючий махові моменти передачі від двигуна до ротора;

$$M_д=\left[\frac{54\cdot 10^6+1,6\cdot 10^6+144,8\cdot 10^3}{2\cdot 433^2\cdot 0,85}+1,15\frac{19,62\cdot 9,81}{4\cdot 9,81}\right]\cdot$$

$$\cdot\frac{(8,164\cdot 433)}{5}=127,639\ кН\cdot м.$$

Підсумовуючи статичні й динамічні моменти, будуємо навантажувальну діаграму (рисунок 2.4), по якій визначаємо еквівалентні моменти $M_{екв}$.



Навантажувальна діаграма

Таблиця 2.2 – Результати розрахунку моментів під час технологічного процесу перекидання вагону

кут	$M_р$ кН м	$M_в$ кН м	$h_{см}$ м	$M_{см}$ кН м	T кН м	$M_{тр}$ кН м	$Mр._{ст.1}$ кН м	$Mр._{ст.2}$ кН м	$M_{ст}$ Н м	$M_{ст2}$ Н м	Мд кН м	$M_{сум}$ кН м
0°	-446,8	-349,1	0,2	1	117,72	509,7575	4076,21	3398,3	3280,5	4616,6	127639,9	127644,5
20°	-182,7	-232,4	0,0872	1	51,32592	509,7575	4076,21	3712,5	3661,1	5043,4	0	5,043435
40°	103,4	-87,8	0,25	1	147,15	509,7575	4076,21	4238,9	4091,8	5758,6	0	5,758616
60°	377	67,5	0,352	1	207,1872	509,7575	4076,21	4727,7	4520,5	6422,6	0	6,422633
80°	605,1	214,6	0,1398	0,9359	77,01173	498,8657	3989,115	4885,6	4808,6	6637,2	0	6,637196
100°	760,3	335,8	0,2866	0,4762	80,33149	420,7538	3364,504	4540,8	4460,5	6168,7	0	6,168745
120°	823,8	416,6	0	0	0	339,8383	2717,474	3957,9	3957,9	5376,8	0	5,376792
140°	787,9	447,2	0	0	0	339,8383	2717,474	3952,8	3952,8	5369,9	0	5,369928
160°	656,9	423,9	0	0	0	339,8383	2717,474	3798,9	3798,9	5160,9	-123665	-123660

Потужність одного електродвигуна:

$$N=\frac{M_{екв}\cdot\omega_{р.ном.}\cdot i_{заг}}{1000\cdot\eta} \quad (2.16)$$

де $\omega_{р.ном.}$ – номінальна кутова швидкість обертання ротора;

$$\omega_{р.ном.}=\frac{\varphi_{заг}}{0{,}5(t_p+t_m)+(t_k-t_p-t_m)}, \text{ рад/с;} \quad (2.17)$$

$$\omega_{р.ном.}=\frac{160}{0{,}5(5+5)+(60-5-5)}=2{,}9$$

$$N=\frac{127639{,}9\cdot 2{,}9\cdot 433}{1000\cdot 0{,}85}=188561{,}6 \text{ Вт}=189 \text{ кВт}.$$

Вибираємо двигун змінного струму AIP 355 M6; N= 200 кВт, U=380 В, n=1000 хв$^{-1}$ з частотним керуванням [20, 21].

2.2 Технічне обґрунтування обраних рішень

Вихідні дані до розрахунку базового підшипника:

- частота обертання підшипника – n=780хв$^{-1}$ –;
- навантаження – T=207,18 кН
- тип підшипника – конічний однорядний.

Розрахунки ведемо за відомими методиками [22-25].

В наявних опорах вала використано роликові радіальні підшипники з короткими циліндричними роликами 2528 з параметрами 140×250×68 мм, C=308 кН, C_0=302 кН. Вал має частоту обертання n=780 хв$^{-1}$ [26].

Розрахунки ведемо за максимальним навантаженням, R_{MAX}=T=207,18 кН.

Еквівалентне навантаження визначається за формулою:

$$Q_E = \left(k_K \cdot R_{max} + m \cdot A_{max}\right) \cdot k_e, \text{ кН}, \qquad (2.18)$$

де R_{max} – максимальне радіальне навантаження на підшипник, R_{max}=207,18 кН;

A_{max} – максимальне осьове навантаження, A_{max}=0;

m – коефіцієнт, який враховує неоднаковий вплив радіального та осьового навантажень на термін служби підшипника, m = 0,24 ;

$k_к$ – коефіцієнт, що враховує залежність терміну служби підшипника від того, яке кільце обертається щодо вектора навантаження, $k_к$=1;

k_e – коефіцієнт, що враховує непостійність дії максимального навантаження, k_e=0,12.

$$Q_E = (1 \cdot 207{,}18 + 0{,}24 \cdot 0) \cdot 0{,}12 = 24{,}86 \text{ кН}.$$

Розрахункова довговічність:

$$L = \left(\frac{C}{Q_E \cdot k_\sigma \cdot k_T}\right)^3, \text{ млн. об}, \qquad (2.19)$$

де C – коефіцієнт, що характеризує працездатність підшипника (динамічна вантажопідйомність), C=308 кН;

k_σ – коефіцієнт, що враховує вплив характеру навантаження на термін служби підшипника, k_σ=3;

$k_т$ – коефіцієнт , що враховує вплив температурного режиму роботи, $k_т$=1,1.

Відповідно до рекомендацій [24], для вагоноперекидача характерні наступні значення коефіцієнтів, k_K=1, k_σ=3, k_T=1,1.

Тоді

$$L = \left(\frac{308}{24{,}86 \cdot 3 \cdot 1{,}1}\right)^3 = 530 \text{ млн. об.}$$

Розрахункова довговічність:

$$L_h = \frac{L \cdot 10^6}{60 \cdot n}, \text{ год.}, \qquad (2.20)$$

n=780 хв$^{-1}$– частота обертання підшипника;

$$L_h = \frac{530 \cdot 10^6}{60 \cdot 780} = 11324 \text{ год.}$$

В зв'зку з збільшенням статичних навантажень пропонується замінити існуючі підшипники на роликові радиальні сферичні двохрядні. Ці підшипники можуть сприймати більші навантаження і мають здатність самовстановлюватись (не потребують точної співвісності посадкових місць).

Для опори вала використовуємо роликові радіальні сферичні дворядні підшипники 3528 з параметрами 140×250×68 мм, C=395 кН, C_0=475 кН. Вал має частоту обертання n=780 хв$^{-1}$ [26].

Тоді еквівалентне навантаження буде:

$$Q_E = \left(k_K \cdot R_{max} + m \cdot A_{max}\right) \cdot k_e, \text{ кН},$$

де R_{max} – максимальне радіальне навантаження на підшипник, R_{max}=207,18 кН;

A_{max} – максимальне осьове навантаження, A_{max}=0;

m – коефіцієнт, який враховує неоднаковий вплив радіального та осьового навантажень на термін служби підшипника, m = 0,22 ;

$k_к$ – коефіцієнт, що враховує залежність терміну служби підшипника від того, яке кільце обертається щодо вектора навантаження, $k_к$=1;

k_e – коефіцієнт, що враховує непостійність дії максимального

навантаження, k_e=0,11.

$$Q_E = (1 \cdot 207{,}18 + 0{,}22 \cdot 0) \cdot 0{,}11 = 22{,}8 \text{ кН}.$$

Розрахункова довговічність:

$$L = (\frac{C}{Q_E \cdot k_\sigma \cdot k_T})^3, \text{ млн. об},$$

де C – коефіцієнт, що характеризує працездатність підшипника (динамічна вантажопідйомність), C=395 кН;

$$L = (\frac{395}{22{,}8 \cdot 3 \cdot 1{,}1})^3 = 1440 \text{ млн. об}.$$

Розрахункова довговічність:

$$L_h = \frac{L \cdot 10^6}{60 \cdot n}, \text{ год.},$$

n=780 хв$^{-1}$– частота обертання підшипника;

$$L_h = \frac{1440 \cdot 10^6}{60 \cdot 780} = 30770 \text{ год}.$$

Аналіз виконаного розрахунку дозволяє зробити висновок, що розрахункова довговічність запропонованих підшипникових опор майже втричі більша від наявного технічного рішення, отже прийняті рішення вірні.

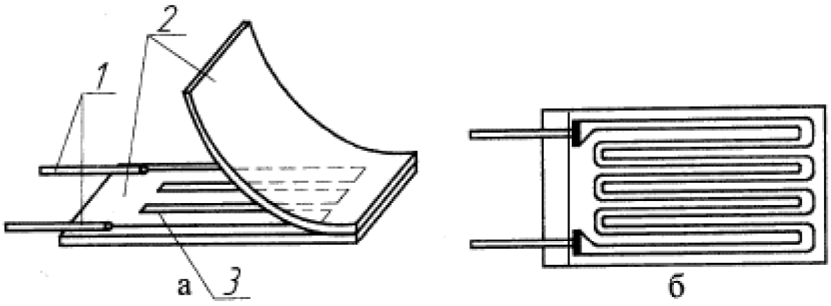
3 ДОСЛІДНО–ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1 Аналіз обладнання для проведення експериментальних досліджень роботи роторного вагоноперекидача

Для дослідження напружень і навантажень у деталях та вузлах металургійних машин і механізмів широко використовуються тензометричні датчики опору [27].

Сутність тензометрування полягає в тому що на об'єкт, в якому потрібно визначити навантаження, кріпляться сприймаючі елементи з кількох тензодатчиків. зібраних у місткову схему з подачею на неї електроживлення. Разом з деформацією піддослідного об'єкту деформуються і тензодатчики, змінюючи свій опір. В результаті чого на виході моста виникає електричний сигнал розбалансу. пропорційний величини деформації (напруження, навантаження) [28,29].

Використовують дротові та фольгові тензодатчики (рисунок 3.1).



1 - виводи: 2 - ізоляційна підстилка; 3 - спіраль

Рисунок 3.1 – У стрій дротяного (а) і фольгового (6) тензодатчиків [27]

Дротяний тензодатчик (рисунок 3.1, а) складається з тонкого дроту діаметром 0,012...0,05 мм з великим омічним опором (200 Ом), зигзагоподібно розташованих поміж двох шарів паперу або плівки. Фольгові тензодатчики (рисунок 3.1, 6). на відміну від дротяних, мають спіраль, виготовлену із фольги

значно меншої товшини методом фототравлення. Як ізолююча підстилка використовується лакостійка плівка. Матеріалом для тензодатчиків є константан, манганін та ніхром. Тензодатчики на паперової підстилці скріплюються з деталлю за допомогою клею БФ-2 . а тензодатчики на плівочній підстилці - лаком ВЛ-4 або ВЛ-7. Для більш надійної роботи тензодатчиків вони після наклейки можуть бути захищені від впливу вологи спеціальними покриттями (фуріловою смолою Ф-10, клеєм Р-88, перхлорвініловою емаллю ХЗ-13 та ін.). Наклейку тензодатчиків здійснюють так, щоб їх осьова лінія суворо збігалась з лінією впливу головних напружень. В такому разі тензодатчик сприймає суто деформації розтягнення або стиску. При розтягненні опір тензодатчиків збільшується. при стиску – зменшується [30].

Зміна опору тензодатчика підкоряється лінійному закону. Як відомо, опір провідника, Ом [31]:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}, \tag{3.1}$$

де ρ – опір провідника. Ом м:

l – довжина провідника, м:

S – площа поперечного перерізу, м^2.

При відносно малій величині коефіцієнта Пуассона, S змінюється незначно. При постійних ρ і S опір прямо пропорційний l. Однак опір тензодатчика змінюється і при зміні температури навколишнього середовища. Ом :

$$R_t = \rho \cdot l \cdot \frac{1+a\cdot(t_1-t_0)}{S}, \tag{3.2}$$

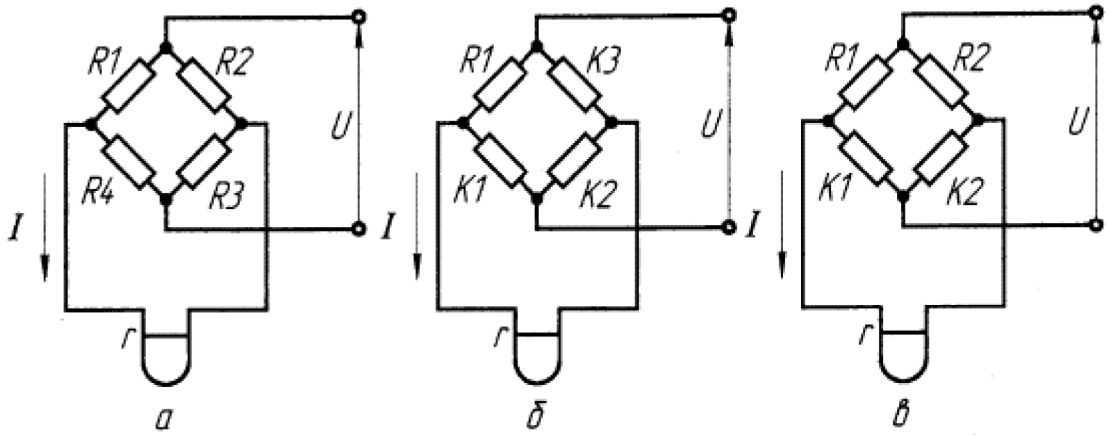
де а – коефіцієнт лінійного подовження;

$t_1 - t_0$ – перепад температур.

Тому один датчик здебільше не застосовують, а використовують спеціальні схеми їх з'єднання, виключаючи вплив температури навколишнього середовища.

3.2 Аналіз способів з'єднання тензодатчиків

Для того, щоб виключити похибки від температурного впливу, отримати подвійну або збільшену в четверо чутливість тензодатчиків в порівнянні з одним. тензодатчики з'єднують по містковій схемі. На рисунку 3.2, а, показана схема одинарного мосту Уітстона, який дає можливість компенсувати температурний вплив на показання тензодатчиків та підвищити їх чутливість.



R - робочі (активні) датчики; К - компенсаційні датчики

Рисунок 3.2 – Схеми з'єднання тензодатчиків:

Тензодатчики з'єднують так, щоб отримати найбільшу різницю у виразі для знаходження сили струму. Дійсно, що найбільше значення струму буде отримано, якщо тензодатчики R1 R3 будуть сприймати деформацію розтягнення, збільшуючи свій опір, а тензодатчики R2, R4 – деформацію стиснення, зменшуючи свій опір. Але у цьому випадку необхідно розглянути схему із її можливості компенсувати дію температурного впливу. Якщо при зміні

температури деталі, що досліджується, усі датчики моста сприймають деформацію одного знаку, то така схема буде компенсувати температурний вплив. У випадку, коли датчики мають різні деформації, необхідно використовувати місткову схему з компенсаційними датчиками (рисунок 3.2, 6), які не повинні сприймати активних деформацій. їх наклеюють на пластинах, розташованих поряд з піддослідною деталлю, або перпендикулярно до лінії дії головних напружень.

Відповідно в містковій схемі (рисунок 3.2, 6) робочі датчики повинні мати один вид деформації (розтяг або стиск), так як в протилежному випадку сигнал на виході мосту буде рівний нулю.

Якщо робочі датчики мають деформації зворотних знаків (у випадку виміру напруження вигину у балці при наклеюванні з нижньої та верхньої сторін), схема включення мосту буде мати вигляд, показаний на рисунку 3.2, в. Ця схема використовується при вимірах крутних моментів, при цьому компенсаційні датчики розташовують на окремій пластині.

3.3 Експериментальні дослідження перекидних моментів вагоноперекидача

Таблиця 3.1 – Значення моментів в роторі в залежності від кута нахилу

Кут нахилу φ, град	Моменти ротора теоретичні $M_{р.т}$, кН·м	Моменти ротора експериментальні $M_{р.е}$,кН·м	Відхилення ΔM, кН·м	Середнє значення $M_{р.ср.}$,кН·м
0	127644,5	127702,5	58	127673,5
20	5,043435	5,513435	0,470	5,278435
40	5,758616	6,123616	0,365	5,941116
60	6,422633	6,720633	0,298	6,571633
80	6,637196	6,852196	0,215	6,744696
100	6,168745	6,343745	0,175	6,256245
120	5,376792	5,488792	0,112	5,432792
140	5,369928	5,929928	0,56	5,649928
160	-123660	-123738	-78	-123699

Експериментальні, теоретичні та середні значення моментів в роторі, в залежності від кута нахилу вагоноперекидача наведені в таблиці 3.1 та представлені у вигляді графічної залежності на рисунку 3.3.

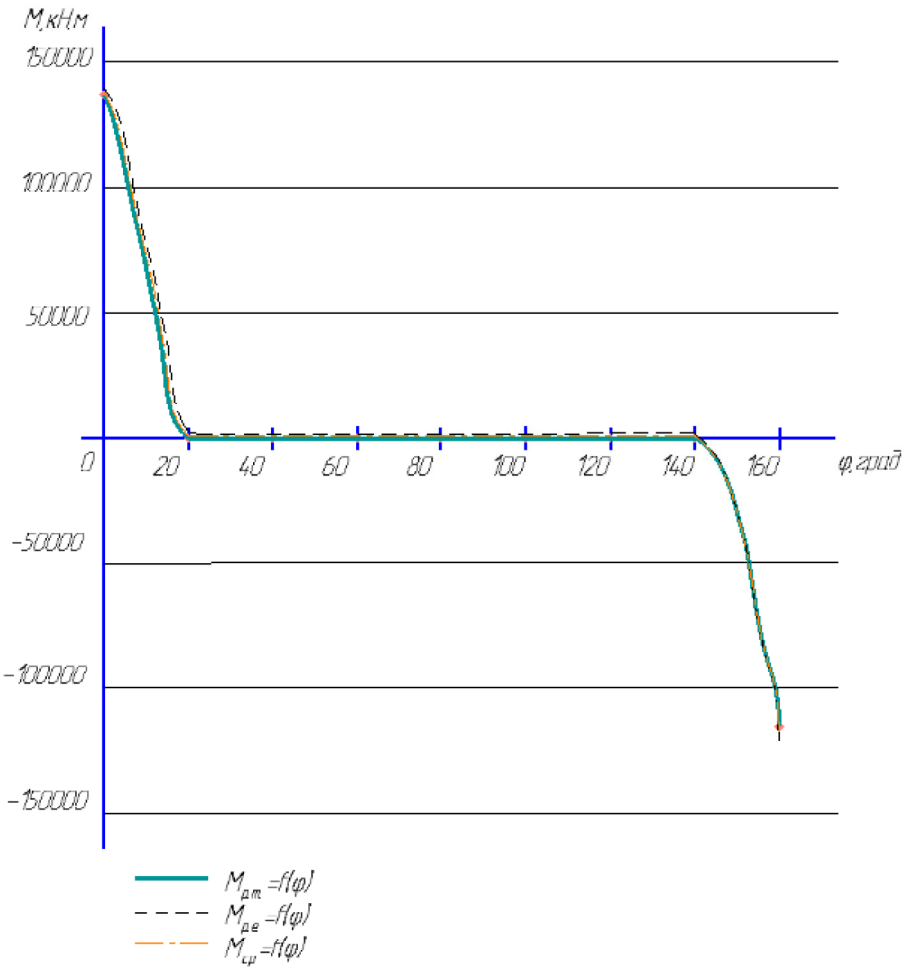


Рисунок 3.3 – Графік залежності моментів ротора в залежності від кута нахилу вагоноперекидача

Відхилення експериментальної величини від теоретичної ΔM, розраховуємо за формулою [32, 33]:

$$\Delta M = M_{p.e} - M_{p.m}, \tag{3.3}$$

$$\Delta M = 630100 - 624300 = 58 кН \cdot м.$$

Розрахунки виконуємо для всіх значень кутів.

Дисперсію розподілення D, розраховуємо за формулою:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta M^2}{n}, \tag{3.4}$$

де $n = 9$ – кількість значень;

$$D = \frac{58^2 + 0{,}47^2 + \ldots + (-76)^2}{9} = 1726.$$

Середньоквадратичне відхилення σ:

$$\sigma = \sqrt{D}, \tag{3.5}$$

$$\sigma = \sqrt{1726} = 41{,}5.$$

Побудувавши верхню та нижню границю відхилень у вигляді кривих та зобразивши на цьому графіку криву експериментальних значень ми бачимо, що практично усі точки лежать в межах середньоквадратичних відхилень (рис. 3.4).

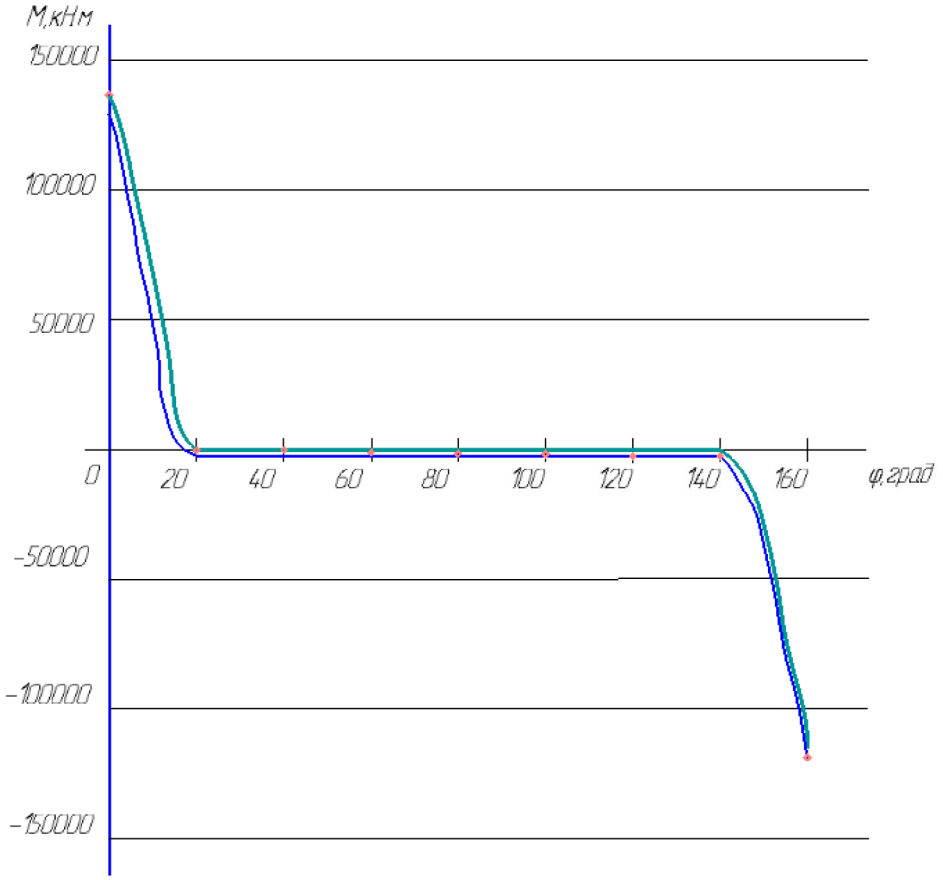


Рисунок 3.4 – Графічний аналіз адекватності теоретичної моделі

Таким чином аналіз рисунка 3.4 дозволяє зробити висновок, що теоретична модель процесу нахилу вагоноперекидача є адекватною

3.4 Кореляційний аналіз результату проведення експерименту

Кореляційний аналіз виконуємо для середніх значень моментів в роторі (таблиця 3.1).

Для спрощення розрахунку коефіцієнта кореляції складемо таблицю 3.2.

Коефіцієнт кореляції $r_{M\varphi}$, розраховуємо за формулою:

$$r_{M\varphi} = \frac{n \cdot \sum \varphi_i \cdot M_i - \sum \varphi_i \cdot \sum M_i}{\sqrt{\left[n \cdot \sum \varphi_i^2 - \left(\sum \varphi_i\right)^2\right] \cdot \left[n \cdot \sum M_i^2 - \left(\sum M_i\right)^2\right]}}. \qquad (3.6)$$

де $n = 9$ – кількість значень вибірки;

$$r_{M\varphi} = \frac{9 \cdot (-19788494) - 720 \cdot 4016{,}4}{\sqrt{\left[9 \cdot 81600 - 720^2\right] \cdot \left[9 \cdot 3{,}16 \cdot 10^{10} - 4016{,}4^2\right]}} = -0{,}73$$

Коефіцієнт кореляції $\left|r_{M\varphi}\right| = 0{,}73 > 065$ – тому розраховуємо коефіцієнти a и b. Знак «–» вказує на те, що залежність спадаюча.

Таблиця 3.2 – До розрахунку коефіцієнта кореляції

φ	$M_{ср}$	φ^2	M_p^2	$\varphi \cdot M_{р.н}$
0	127673,5	0	$1{,}63 \cdot 10^{10}$	0
20	5,278435	400	27,86	105,6
40	5,941116	1600	35,3	237,6
60	6,571633	3600	41,3	394,3
80	6,744696	6400	45,5	539,6
100	6,256245	10000	39,1	625,6
120	5,432792	14400	29,5	651,9
140	5,649928	19600	31,9	791
160	-123699	25600	$1{,}53 \cdot 10^{10}$	-19791840
∑*720*	∑4016,4	∑*81600*	∑3,16·*10*^{10}	∑-19788494

Коефіцієнт a, розраховуємо за формулою:

$$a = \frac{n \cdot \sum \varphi_i \cdot M - \sum \varphi_i \cdot \sum M_i}{n \cdot \sum \varphi_i^2 - \left(\sum \varphi_i\right)^2}. \quad (3.7)$$

$$a = \frac{9 \cdot (-19788494) - 720 \cdot 4016{,}4}{9 \cdot 81600 - 720^2} = -838.$$

Коефіцієнт b, розраховуємо за формулою:

$$b = \frac{\sum M_i - a \cdot \sum \varphi_i}{n}. \quad (3.8)$$

$$b = \frac{4016{,}4 - (-838) \cdot 720}{9} = 67486.$$

Тоді пряма залежність моментів в роторі від кута нахилу вагоноперекидача буде мати вигляд, кН·м:

$$\mathrm{M'_p} = \mathrm{a} \cdot \varphi + \mathrm{b}, \quad (3.9)$$

$$M'_p = -838 \cdot 0 + 67486 = 67486.$$

Достовірність зв'язку ρ_p, розраховуємо за формулою:

$$\rho_p = t_{qk} \cdot \frac{1 - r_{M\varphi}^2}{\sqrt{n}}, \quad (3.10)$$

де $t_{qk} = 2{,}145$ – коефіцієнт, що відображає розподілення Стьюдента

$k = n - 2 = 9 - 2 = 7$ – число ступенів свободи;

$q = (1 - \beta) \cdot 100\% = (1 - 0{,}95) \cdot 100\% = 5$ – ймовірнісний інтервал;

$\beta = 0{,}95$ – надійність;

$$\rho_p = 2{,}145 \cdot \frac{1-(-0{,}73)^2}{\sqrt{9}} = 0{,}33 .$$

Відхилення розрахункового значення від середнього ΔM_K, кН·м, розраховуємо за формулою:

$$\Delta M_K = M'_p - M_{cp}, \tag{3.11}$$

$$\Delta P_K = 67486 - 127673{,}5 = -60187 .$$

Середньоарифметичне відхилення S', Н, розраховуємо за формулою:

$$S' = \frac{\sum \Delta M_K}{n}, \tag{3.12}$$

$$S' = \frac{57140}{9} = 6349 .$$

Середнє значення зусилля в рейці $M'_{p.cp}$, кН·м, розраховуємо за формулою:

$$M'_{p.cp} = \frac{\sum M'_p}{n}, \tag{3.13}$$

$$M'_{p.cp} = \frac{4014}{9} = 446 .$$

Дисперсію розподілення D'_2, розраховуємо за формулою:

$$D'_2 = \frac{\sum \Delta M'^2_K}{n}, \tag{3.14}$$

$$D'_2 = \frac{(-60187)^2 + 50721^2 + \ldots + (57105)^2}{9} = 16{,}37 \cdot 10^8 .$$

Середньоквадратичне відхилення σ'_2, розрахуємо за формулою:

$$\sigma'_2 = \sqrt{D_2}\ , \qquad (3.15)$$

$$\sigma'_2 = \sqrt{6{,}26 \cdot 10^8} = 40460.$$

Остаточно рівняння лінійної залежності моментів в роторі від кута нахилу має вигляд:

$$M'_p = a \cdot \varphi + b = (-838) \cdot \varphi + 67486 \pm 40460.$$

Результати обчислень зводимо до таблиці 3.3

Таблиця 3.3 – До розрахунку середньоквадратичного відхилення

φ	M_{cp}	M'_p	ΔM_K
0	127673,5	67486	-60187
20	5,278435	50726	50721
40	5,941116	33966	33962
60	6,571633	17206	17199
80	6,744696	446	439
100	6,256245	-16314	-16308
120	5,432792	-33074	-33068
140	5,649928	-49834	-49828
160	-123699	-66594	57105
∑*720*	∑4016,4	∑4014	∑57140

Будуємо пряму лінійної залежності моменту в роторі від кута нахилу вагоноперекидача. Наносимо межі середньоквадратичних відхилень. На цьому ж

графіку зображуємо криві залежності моментів в роторі від кута нахилу отримані експериментальним та теоретичним шляхом (рисунок 3.4).

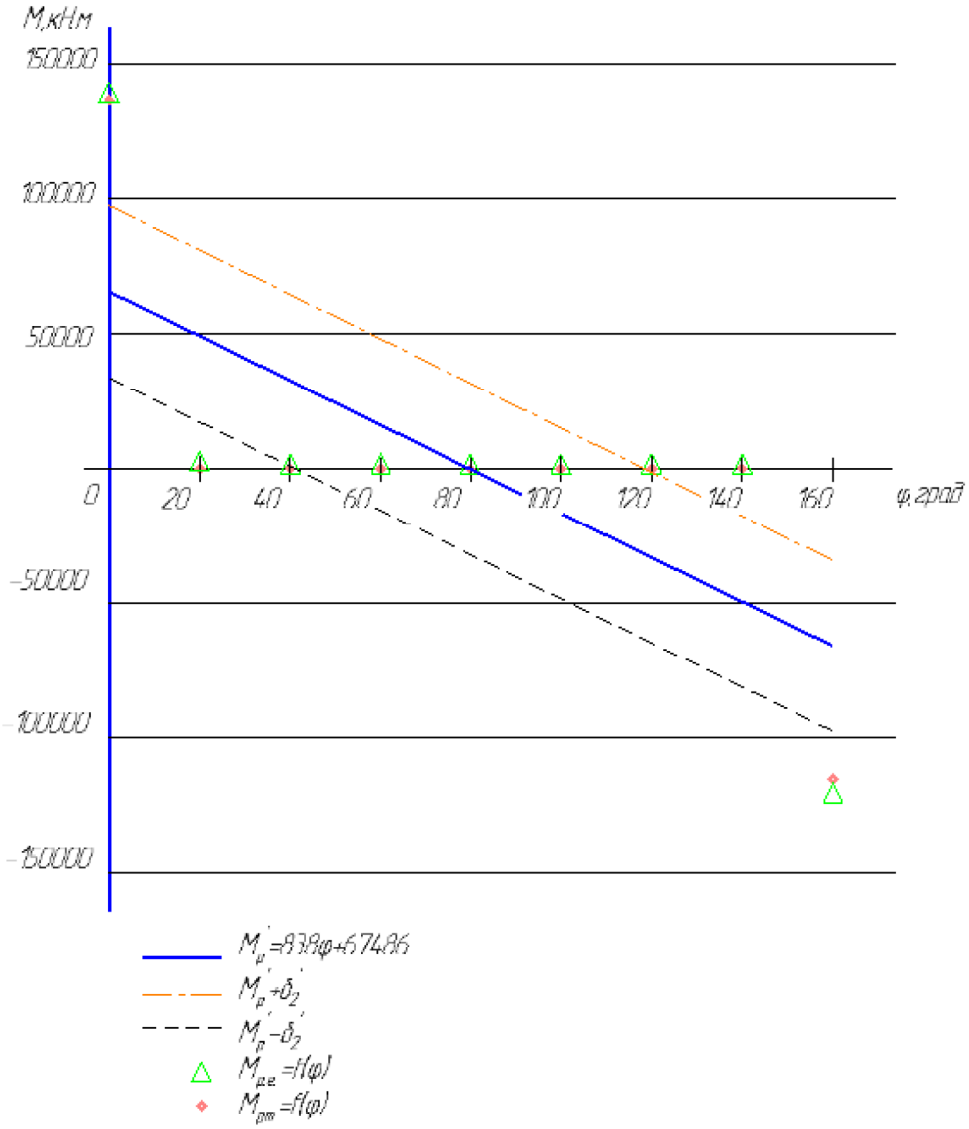


Рисунок 3.5 – Результати кореляційного аналізу

Аналіз отриманих графічних залежностей (кореляційний аналіз рисунок 3.5) вказує на те, що заміна теоретичної моделі процесу нахилу вагоноперекидача, яка має криволінійну залежність, на прямолінійну є досить наближеною і не виключає досить значних помилок та допущень. Тому варто розглянути можливість розробки спрощеної математичної моделі, яка буде більш наближеною до теоретичної, але при цьому зменшить математичні обчислення.

3.5 Розробка спрощеної математичної моделі залежності моментів ротора від кута нахилу вагоноперекидача

Побудували криву залежності моментів в роторі від кута нахилу вагоноперекидача за середніми значеннями. Для отриманої кривої задали лінію тренда − поліноміальну (рисунок 3.6).

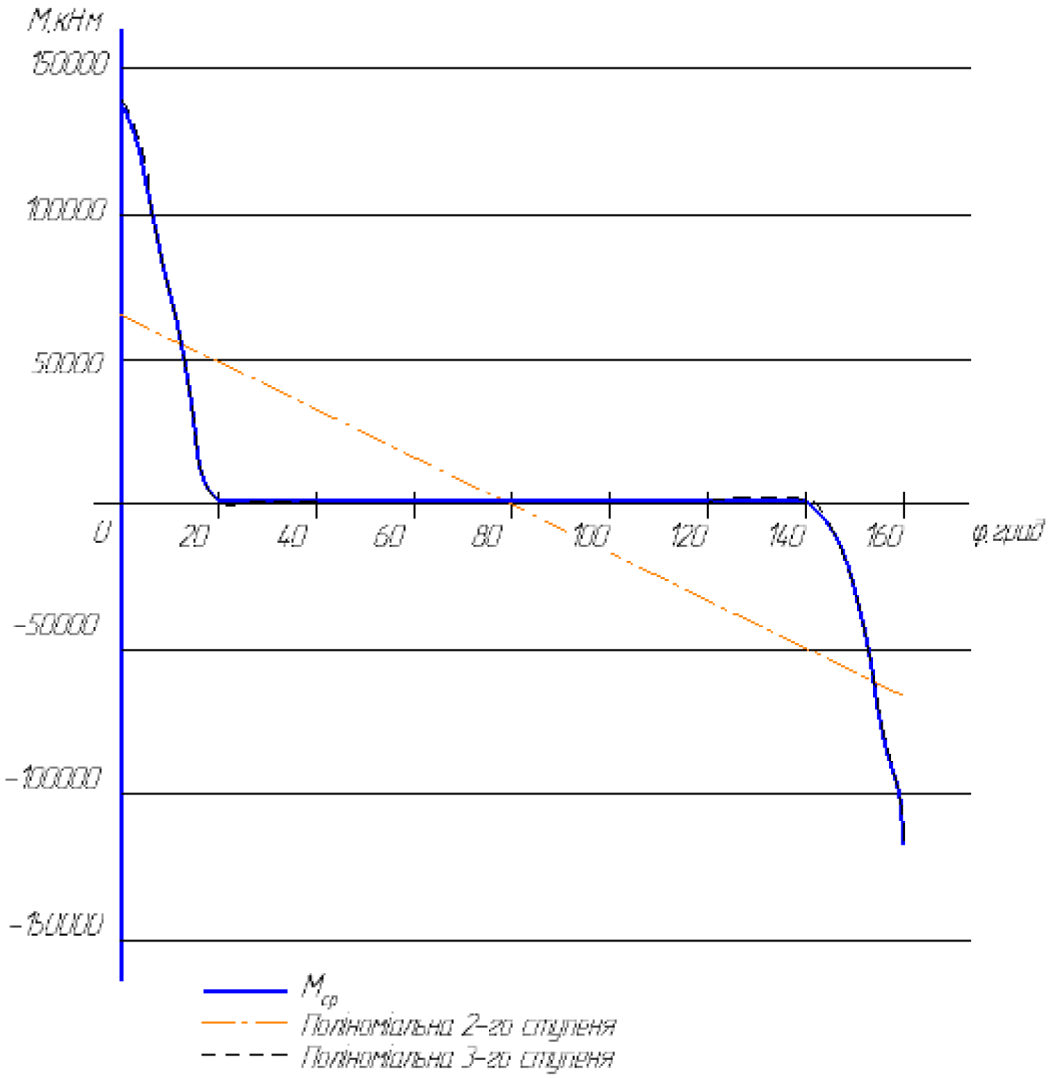


Рисунок 3.6 – Крива до визначення спрощеної математичної моделі

Виконавши аналіз данних кривих можна виконати розрахунок залежності моментів в роторі від кута нахилу вагоноперекидача та отримати математичну модель, яка має вигляд:

- для поліноміальної кривої 2-го ступеня:

$$M_p = 2{,}456 \cdot \varphi^2 - 586{,}8 \cdot \varphi + 712731; \quad (3.16)$$

величина достовірності апроксимації $R^2 = 0{,}8904$;

- для поліноміальної кривої 3-го ступеня:

$$M_p = 2{,}1 \cdot \varphi^3 - 84{,}8 \cdot \varphi^2 + 868{,}8 \cdot \varphi + 132035{,}5; \quad (3.17)$$

величина достовірності апроксимації $R^2 = 0{,}9984$.

Аналіз графічних залежностей та величини апроксимації (рис.3.6) дозволяють зробити висновок, що поліноміальна крива набагато точніше описує процес нахилу вагоноперекидача.

За рівнянням (3.17) розрахували значення моментів у роторі: M''_p, Н:

$$M_p = 2{,}1 \cdot 0^3 - 84{,}8 \cdot 0^2 + 868{,}8 \cdot 0 + 132035{,}5 = 631562.$$

Відхилення теоретичної величини від наближеної ΔP_2, розраховуємо за формулою:

$$\Delta M_2 = M''_p - M_{cp}, \quad (3.18)$$

$$\Delta M_2 = 132035{,}5 - 127673{,}5 = 4362.$$

Розрахунки виконуємо для всіх значень кутів. Результати розрахунків зводимо в таблицю 3.4.

Дисперсію розподілення D_2, розраховуємо як:

$$D_2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta M_2^2}{n}, \quad (3.19)$$

де $n = 9$ – кількість значень;

$$D_2 = \frac{4362^2 + (-8045)^2 + ... + (-3450)^2}{9} = 16{,}3 \cdot 10^6 .$$

Середньоквадратичне відхилення σ_2, розрахуємо по формулі:

$$\sigma_2 = \sqrt{D_2} , \qquad (3.20)$$

$$\sigma_2 = \sqrt{16{,}3 \cdot 10^6} = 4037 .$$

Таблиця 3.4 – Результати розрахунків відхилення теоретичної величини від наближеної

Кут повороту φ, град	Середні значення моментів $M_{p.m}$, кН·м	Момент ротора за спрощеною моделю $M"_p$, кН·м	Відхилення ΔM_2
0	127673,5	132035,5	4362
20	5,278435	-8040	-8045
40	5,941116	-934	-940
60	6,571633	2661	2655
80	6,744696	3308	3315
100	6,256245	2079	2085
120	5,432792	330	335
140	5,649928	1294	-1300
160	-123699	-125669	-1970

Остаточно рівняння спрощеної моделі визначення моменту ротора в залежності від кута нахилу має вигляд:

$$M_p = 2{,}1 \cdot \varphi^3 - 84{,}8 \cdot \varphi^2 + 868{,}8 \cdot \varphi + 132035{,}5 \pm 4037 .$$

Будуємо криву залежності моменту в роторі від кута нахилу вагоноперекидача та наносимо межі середньоквадратичних відхилень. На цьому ж графіку зображуємо криві залежності моментів ротора від кута нахилу отримані експериментальним та теоретичним шляхом (рисунок 3.7).

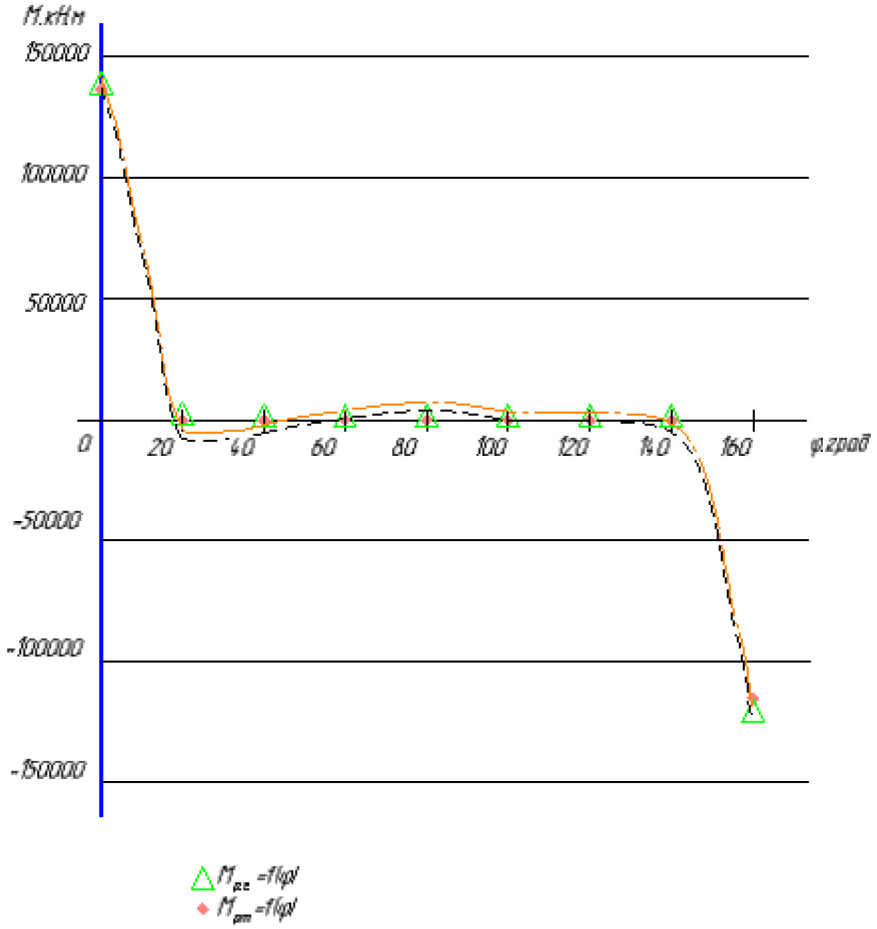


Рисунок 3.7 – Результати розробки спрощеної математичної моделі

Аналіз графічних залежностей, побудованих за спрощеною математичною моделлю (рисунок 3.6) дозволяє зробити висновок, що вона має достатньо високу точність визначення моментів обертання ротора та низьке значення відхилення. Наведена модель дозволяє розраховувати навантаження на елементи механізму обертання вагоноперекидача в декілька дій у порівнянні із складним теоретичним розрахунком.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА В ГАЛУЗІ

4.1 Виявлення та оцінка шкідливих факторів виробничого середовища

В доменному цеху діють різні шкідливі та небезпечні фактори, що значно погіршують умови праці [34-39].

Для зменшення впливу теплових впливів застосовується вентилятори, повітряне душирование, високодисперсне розпилювання води, холодне екранування, застосовані установки для охолодження й кондиціювання повітря. Природня вентиляція за допомогою ліхтарів на дахах будинків ливарних дворів і прорізів у стінах забезпечує необхідний відвід гарячого повітря. У зимовий час прорізи закривають. Для зниження впливу шкідливих впливів загазованості проводиться герметизація доменних печей, газових трас, пиловловлювачів і арматур, раціоналізація устаткування, організація технологічного процесу, комплексна автоматизація й механізація, впровадження автоматичного й дистанційного контролю й керування.

Для зниження пилоутворення й зниження запиленности робочих місць застосовується аспірація устаткування, відсмоктування, фільтрація запиленого повітря перед викидом його в атмосферу.

Зниження шуму й вібрацій досягається забезпеченням належної щільності повітропроводів, газопроводів, арматури, кожухів печі й повітронагрівачів.

Для попередження враження електрострумом у доменних цехах застосовується устаткування й апаратура закритого типу. Струмоведучі частини розташовуються по встановлених нормах. Для висвітлення застосовується напруга не вище 36В. Застосовуються спеціальні реле й плавкі запобіжники. Передбачене заземлення всього устаткування й апаратів. Для безпечної експлуатації механізмів і підйомно-транспортних пристроїв використовуються огородження й спеціальні проходи, а також захисні пристосування й блокування, і ін. Розглянемо карту умов праці слюсаря ремонтника (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 – Оцінка факторів виробничого середовища. Робоче місце – колошник, професія – черговий слюсар

№ п/п	Фактори виробничого середовища й трудового процесу	Норм. зн. (ПДК)	Фак-тич знач.	Клас шкідлиихі й небезпечні умов й характер праці			Час дії фактору, %, за зміну
				Іст.	IIст	IIIст	
1	Шкідливі хімічні речовини, мг/м^3: I клас небезпеки: II клас небезпеки: доменний газ, мг/м^3	0,5	0,8	1,6			85
2	Пил переважно фіброгенної дії, мг/м^3	4,0	6,3	1,6			94,5
3	Шум, дБА	80	97			17	80
4	Мікроклімат у приміщенні: -температура повітря, ^{0}C -швидкість руху повітря, м/с -теплий період -інфрачервоне випромінювання, Вт/м^2	26/15 0,2/0,5 18-27 140	40 0,7 42,3 480	 1,4 480		14 15,3 	100 100 95 100
5	Важкість праці,	середня, IIб					
6	Напруженість	помірна					
7	Нахил корпуса в просторі, обумовлений технологічним процесом, град	<300	115				85
Кількість факторів				4		3	

Атестація робочого місця:

Робоче місце має в наявності: 4 фактора 1 ступеня, 2 фактора 3 ступеня.

По показниках робоче місце варто вважати з особливо шкідливими й особливо тяжкими умовами праці, що відповідає показникам списку № 1, пункту 1:пенсія за списком № 1, надбавка до зарплати 24%, додаткова відпустка 18 днів і молоко.

Гігієнічна оцінка умов праці:

Умови й характер праці ставляться до 3 класу 3 ступеня.

Оцінка технічного й організаційного рівня: відповідає технологічному регламенту й проекту організації праці на робочому місці.

4.2 Технічні рішення по гігієні праці і виробничій санітарії

4.2.1 Мікроклімат

У доменному цеху пил утворюється в наступних місцях: на рудному дворі; бункерній естакаді; у підбункерному приміщенні; у скіповій ямі; не колошнику при завантаженні шихти в піч, під час випуску пилу з пиловловлювачів. Особливо небезпечний для організму пил, що містить кремнезем. Величини гранично припустимих концентрацій її залежать від наявності вільної кремнєкислоти, особливо в кристалічних модифікаціях (кварц, кристобаліт, тридиміт). Нормами допускається зміст пилу не більш 1 мг/м^3 повітря (при пилу, що містить понад 70% вільної SiO_2); при змісті в пилу 10 - 70% SiO_2 гранична запиленність повітря не повинна перевищувати 2 мг/м^3, а якщо в пилу втримується менш 10% SiO_2, - 4 мг/м^3.

Залежно від якості шихтових матеріалів пил може мати різний гранулометрічний і хімічний склад. Пил на ділянці завантаження має склад близький до складу шихтових матеріалів. У зв'язку із запиленністю й загазованістю зовнішнього повітря можливий замет пилу й газів у будівлю підйомника. У будівлі підтримується надлишковий тиск 1 кгс/м^2, створюваний механічним припливом повітря.

Дієвим засобом забезпечення необхідних гігієнічних якостей повітря, що сприяють нормальній роботі, і відповідно вимогам [40] передбачена вентиляція деяких робочих місць. Норми мікроклімату на постійних робочих місцях зазначені в таблиці 4.2.

Для боротьби з пиловиділенням передбачено низку технічних заходів: герметизація технологічного обладнання, що палить, і місць пересипання сипучих матеріалів при транспортуванні та завантаженні їх у піч, пристрій вентиляційних систем. Крім цього в цеху працює мокре газоочищення з трубами Вентурі, яка забезпечує очищення газів, що відходять від печей, що задовольняє санітарним нормам [41].

З метою зниження загазованості повітря у приміщенні цеху передбачено місцеву витяжну вентиляцію від кожної печі, ретельне ущільнення всіх зазорів у вентиляційних системах.

Таблиця 4.2 – Значення допустимих параметрів повітряного середовища, що допускають, у робочій зоні приміщень [42]

Період року	Категорія роботи за важкістю	Період року			Температура повітря непостійних робочих місць, °С
		на постійних робочих місцях			
		температура повітря, °С	відносна вологість повітря, %	швидкість руху повітря, м/с	
Холодний	Середньої важкості IIб	21	75	0,2	15
Теплий	Середньої важкості IIб	27	70 при 25°С	0,2-0,5	21

Для боротьби з теплонадлишками в літній та перехідний період передбачена аерація. Витяжка здійснюється через аераційний ліхтар, розташований на даху цеху. Приплив зовнішнього повітря передбачений через вікна у зовнішніх бічних стінах та двері. Крім того, застосовується екранування надзведених поверхонь печей азбестовими плитами; у розливному прольоті та біля печей широко використовується повітряне дутування робочих місць; пульти керування печами захищені від впливу високих температур стінами з поверхнею, що тепловідбиває [43].

4.2.2 Освітлення виробничих приміщень

Виробничі приміщення доменних цехів освітлюються природнім і штучним світлом. Особливість роботи в доменному цеху полягає в тому, що періодично в полі зору робітника перебувають розплавлені маси чавуну й шлаків, а також факели палаючого газу. Ці джерела мають високу яскравість, що

різко відрізняється від навколишнього фону. Природне висвітлення характеризується коефіцієнтом природної освітленості КПО – відношення природної освітленості усередині приміщення до освітленості зовнішнім, створюваним світлом повністю відкритого небозводу. Розряд робіт у спікальному відділенні VIII. Коефіцієнт природного освітлення дорівнює 1% [44].

Штучне освітлення застосовується двох систем: загальне й місцеве. Загальне освітлення здійснюється світильниками Г-700 і Г-1000 з лампами енергозберігаючого типу ЛЕД, люмінесцентними лампами. Загальна освітленість повинна бути не менш 75лк, фактична освітленість відповідає нормі. Місцеве освітлення, застосовується в якості додаткового на пультах керування агломашинами.

У доменному цеху відділенні застосовується як робоче, так і аварійне освітлення. Аварійне освітлення забезпечує освітленість не менш 5% нормативної для робочого освітлення.

4.2.3 Електробезпека

При напрузі до 100 В, або більше необхідно при виконанні робіт виконивати наступні заходи [45].

Всі струмоведучі частини повинні бути ізольовані. Як захисну ізоляцію застосовують теплостійкі лаки, що електроізолюють плівки, емалеві й олійні фарби.

Покриття повинні швидко сохнути, добре зв'язуватися з поверхньою, що покривається, утворювати на ній срумонепровідну, вологонепроникну та механічно міцну плівку. Для захисту від короткого замикання використовують швидкодіючий релейний захист і вимикачі, установлені автомати й плавкі запобіжники. Для захисту людини, при дотику до металевих частин, обладнання заземлюють. Індивідуальні засоби захисту (таблиця 4.3) також служать і для захисту від враження струмом [46].

Таблиця 4.3 – Індивідуальні захисні засоби працівників

Професія	Найменування захисного засобу	Матеріал	Строк видачі
Слюсар по ремонту механічного устаткування	Спецкостюм Черевики Рукавиці Каска	Бавовна Шкіра Бавовна Фібра	1 раз у рік 1 раз у рік 1 раз на місяць 1 раз в 5 років

4.2.4 Шум і вібрація

Джерелами шумових навантажень на організм є віброживильники, коксові гуркоти, вентиляційні установки, мотор-генератори машинних залів, витоку повітря та ін.

Зменшення шуму у джерелі виникнення є найбільш ефективним та економічним. У кожній печі в результаті коливань (зіткнень) виникають шуми механічного, аеродинамічного та електромагнітного походження. Знизити шум зубчастих передач можна підвищенням точності їх обробки та складання, заміною металевих шийок пластмасовими, чим вдається знизити шум на 5...10 дБ. Навіть заміна сталі в деталях, що контактують, на чавун може знизити шум на 3-4 дБ. Має значення та форма зубів. Менш галасливими є конічні, косі та шевронні передачі.

Зменшити аеродинамічний шум можна, покращивши аеродинамічні характеристики печі, а також застосувавши звукоізоляцію та глушники.

Екранні глушники (зниження шуму на 15...25 дБ) встановлюють на виході з повітроводу (каналу) в атмосферу. Ці глушники знижують шум на високих частотах; на низьких частотах, коли хвиля більша за розміри екрана, послаблення шуму не відбувається [47, 48].

Крім шумових навантажень, на організм людини шкідливо діє вібрація. Вібрації в доменному цеху створюються при русі поїздів по бункерній естакаді,

роботі віброгуркотів і віброживильників, при русі скіпів по похилому мосту й роботі механізмів машинного залу.

Дія шуму й вібрації на організм приводить до захворювань органів слуху, серцево-судинної системи, розширенню вен і захворюванню вегетативної нервової системи [49].

4.2.5 Загазованість атмосфери

Колошникові майданчики відносяться до газонебезпечних місць де короткочасне перебування загрожує смертельною небезпекою для життя. Основну небезпеку представляє можливість отруєння окисом вуглецю. Перебування людей у цих місцях короткочасно. Робота проводиться в газозахисній апаратурі.

Під час випуску шлаків з доменної печі виділяється сірчистий газ, який впливає на дихальні шляхи й зір.

У доменному газі може втримуватися до 37 мг/м^{3}CN(ціаністе з'єднання), яке дуже отруйно. Ціаністі лужні з'єднання накопичуються в кладці й виділяються з печі через нещільності кожуха.

Для різних робіт на ділянці горна й повітронагрівачів (сушіння ринви, льотки, футляра, розігрівши ВН і ін.) застосовують коксовий і природний газ. Природний газ, як правило, нетоксичний, але, впливаючи на організм людини, викликає задуху.

Коксовий газ містить 20-23% CH_4, 6-7% З, 56-60% H_2, 2-2,5%Cmhn, 2,5-3%CO_2+H_2S, 5-7% N_2, 0,5%O_2 Наявність у коксовому газі окису вуглецю, водню, метану й ін. робить його небезпечним. Він легко запалюється.

Заходи щодо захисту від шкідливих викидів повітряного та водного басейнів передбачають встановлення повітроочисників, які забезпечують очищення газів, що відходять від печей, встановлення фільтрів для очищення стічних вод. Застосовуються ефективні способи та засоби уловлювання, очищення та нейтралізації шкідливостей – пилу , газів, стічних вод.

4.3 Техногенна безпека

4.3.1 Заходи пожежної безпеки

По пожежній безпеці будівля доменного цеху належить до категорії Г-1, а по ступеню вогнестійкості до 3-ї групи. Заходи протипожежної профілактики проводяться з урахуванням правил [46, 50-53].

Правилами передбачена автоматична сигналізація при виникненні пожежі, установка теплових датчиків для автоматичного включення устаткування пожежогасіння.

Для гасіння пожеж на колошниковому майданчику передбачаються водонапірні колонки-гідранти, вогнегасники, мішки з піском. На ділянці завантаження доменної печі розташовано три ящики з піском для гасіння осередків займання і знаходяться два пожежні щити з баграми, цебрами, сокирами, лопатами.

4.3.2 Вимоги безпеки при ремонтних роботах

Робочим місцем слюсаря ремонтника є слюсарна майстерня, механічне обладнання й робочі площадки довкола нього.

На робочому місці слюсаря, чергового слюсаря є наступні шкідливі й небезпечні фактори:

- наявність частин, що рухаються машин і обладнання;

- періодично, при виконанні робіт в робочій зоні слюсаря, чергового слюсаря можуть бути присутнім: пил, теплове випромінювання, шум.

Всі роботи усередині агрегатів, механізмів, газоходів робити після їхнього відключення, провітрювання й зниження в них температури повітря не вище 40°С.

Опіки полум'ям газу спостерігаються найчастіше при підпалюванні газу під час зупинки печей і при проштовхуванні застряглих матеріалів на конусах. Щоб уникнути опіків при підпалюванні газу, цю операцію слід здійснювати

палаючим коксом, що доставляються на конуси в скіпі. При проштовхуванні застряглих матеріалів на конусах, необхідно проводити подрібнення великих шматків скрапу й плутаної стружки.

При цьому роботу краще виконувати без запалювання газу на тихому ходу печі [приблизно 10 кН/м^2] у газозахисних апаратах. Якщо виникає небезпека самозапалювання газу, то необхідно підпалити газ при відкритих свічах, а потім відключити від газової мережі й зупинити дуття.

Під час роботи, пов'язаної з можливістю опіків палаючим газом, робітникам треба видавати азбестові плащі з каптурами.

При опусканні малого конуса тиск у міжконусному просторі знижується до атмосферного, у результаті чого навколишнє повітря, проникаючи в цей простір, утворює газоповітряну суміш. Це нерідко приводить до ударів і вибухам. Для запобігання останніх у міжконусний простір на час відкривання малого конуса слід подавати пар.

Для безпечного доступу до прийомної воронки засипного апарата, балансирам, шківам і до свіч повинні бути влаштовані майданчики зі сходами й поруччям.

Пил, що накопичується на колошнику слід видаляти по спеціальних трубах у залізничні вагони.

При значному газовиділенні у випадку несправності засипного апарата робітники повинні працювати в газозахисних апаратах.

Для захисту від опіків палаючим газом робітники (верхівкові) повинні бути забезпечені одягом з важко займистого матеріалу.

У доменному виробництві можуть виділятися наступні шкідливі для здоров'я гази й речовини: окис вуглецю С, сірчистий газ SO_2, вуглеводні CnHm і ціаністі з'єднання.

Доменний газ утворюється в печі в результаті згоряння коксу й протікання фізико-хімічних процесів. Різні складові доменного газу (С, N_2, C_2, H_2) по-різному діють на людський організм, викликаючи отруєння і задухи. Фільтруючим протигазом він не затримується.

4.3.3 Засоби захисту

Засоби захисту підрозділяються на індивідуальні й колективні.

До колективних ставляться засоби захисту, що впливають на необмежену кількість людей. Наприклад: аспірація й вентиляція приміщень, розпізнавальне фарбування, знаки й напису безпеки та ін.

Робочі ділянки завантаження доменної печі носять спецодяг з бавовняної тканини. Для захисту органів подиху від пилу застосовується респіратор «пелюстка», а при підвищеній загазованості, яку визначають працівники газорятувальної станції, промислові протигази типу «Урал 1», «Урал 1М», РтК-1, РтК-2. Так само в якості засобів індивідуального захисту органів слуху застосовують зовнішні й внутрішні противошуми (антифони). Зовнішні противошуми (шумозахисні навушники) прикривають вушну раковину.

У якості захисту працівника від падаючих з висоти дрібних предметів передбачені фіброві каски.

Спеціальні захисні окуляри охороняють органі зору під час спостереження за рухом розплавлених мас.

4.4 Дослідження шляхів зниження шумового навантаження на оператора технологічного процеса

Одним із самих ефективних методів зниження шумового навантаження є встановлення звукоізолюючих кабін. Звукоізолююча кабіна є поглиначем шуму та складається із чотирьох панелей, стелі й підлоги.

Розміри кабіни:

Висота – h = 2100 мм; ширина а – 1710 мм, довжина l =2380 мм, вікно розмірами = h =0,7 × l= 0,3 м.

Панелі й стеля виготовлені гівенерної рами, до якої із зовнішнього боку приварений сталевий лист. Із внутрішнього боку кріпляться також перфоровані листи. Простір між листами заповнюється мінерально-ватяними титанами ПП–

80. Основа кабіни складається з гівенерної рами, до якої приварений сталевий лист, на який нанесена противошумна мастика.

Розрахунки зниження шуму [47].

Необхідне зниження шуму кабіною оператора визначається по формулі:

$$R_{каб} = L_{ш} – L_{доп}, \quad (4.1)$$

де $L_{ш}$ – постійний рівень звукового тиску на робочому місці (машзал);

$L_{доп}$ – допустимий рівень звукового тиску на робочих місцях у кабінах, дБА.

$$R_{каб} = 105 – 97 = 7 \text{ дБА}$$

Необхідна звукоізольована придатність конструкцій, що обгороджують, вікон і дверей звукоізольованих кабін, знаходиться по формулі:

$$R_{н.і} = L_{сер} – 10\lg B_i + 10\lg S_i – L_{доп} + 10\ln n, \quad (4.2)$$

де $L_{сер}$ – середній рівень звукового тиску в гучних приміщеннях, дБ;

B_i – постійна гучного й ізольованого в даній лінії частот, м^2:

$$B_i = S_{заг} \cdot \frac{\alpha}{\alpha - l}, \; м^2, \quad (4.3)$$

де $S_{заг}$ – загальна площа кабіни, м^2:

$$S_{заг} = a \times l \; , \; м^2 \quad (4.4)$$

де a=1,71 – ширина кабіни,м;

l=2,38 – довжина кабіни,м;

$$S_{заг} = 1,71 \times 2,38 = 4,07 \text{ м}^2$$

α = 0,1 – коефіцієнт звукопоглинання поверхні, що огороджує, приміщення.

Підставивши розраховані значення в (4.3) отримаємо:

$$B_i = 4,07 \cdot \frac{0,1}{1-0,1} = 0,45 \text{ м}^2$$

S_i – площа розглянутого огородження або його елемента, через який проникає шум в ізольоване приміщення, м^2:

$$S_i = a_в \times l_в, \text{ м}^2 \qquad (4.5)$$

де h =0,7 – висота вікна кабіни,м;

$l_в$=0,3 – ширина вікна кабіни,м;

$$S_i = 0,7 \times 0,3 = 0,21 \text{ м}^2$$

$L_{доп}$ – припустимий рівень звукового тиску на робочих місцях у кабінах, дБ;

n – загальна чисельність окремих елементів огороджень, які розглядаються.

Підставивши розраховані значення в (4.2) отримаємо

$$R_{н.і} = 94 - 10\lg 0,45 + 10\lg 0,21 - 80 + 10\lg 3 = 15,46 \text{ дБА}$$

Знаходимо необхідну середню звукоізоляцію:

$$R_{ср} = 10 \cdot \lg\left(\frac{S_{заг}}{\sum_{i=1}^{n} S_i \cdot 10^{-0,1 \cdot R_i}}\right), \text{ дБ}, \quad (4.6)$$

$$R_{ср} = 10 \cdot \lg\left(\frac{S_{заг}}{\sum_{i=1}^{n} S_i \cdot 10^{-0,1 \cdot R_i}}\right) = 10 \cdot \lg\left(\frac{4,07}{6 \cdot 0,21 \cdot 10^{-0,1 \cdot 10}}\right) = 15 \text{ дБ}$$

Звукоізоляція кожного з елементів:

$$R_{тр\,i} = R_{ср} + 10 \cdot \lg\left(\frac{S_i}{S_{заг}}\right) + 10 \cdot \lg n, \text{ дБ};$$

$$R_{тр\,i} = 15 + 10 \cdot \lg\left(\frac{0,21}{4,07}\right) + 10 \cdot \lg 3 = 6,9 \text{ дБ}.$$

Вибираємо потрійне вікно із силікатним склом товщиною 3 мм.

Перевірочний розрахунки очікуваного зниження шуму кабіною $R_{каб}$:

$$R_{каб} = R_c - 3 \cdot 10 \cdot \lg B_i + 10 \cdot \lg \sum_{i=1}^{n} I_i, \text{ дБ},$$

$$R_{каб} = 15 - 10 \cdot \lg 0,45 + 10 \cdot \lg 1 = 27,4 \text{ дБ},$$

що більше необхідного зниження (7 дБ), а отже обрана конструкція звукоізоляційної кабіни задовольняє умови ефективного захисту оператора технологічного процесу ввід шумового навантаження.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Ознайомлення з обладнанням рудного двору доменного цеху виявило, що в зв'язку зі збільшенням обсягів виробництва листа та інтенсифікацією виробничих процесів збільшилися навантаження на вузли роторного вагоноперекидача, що призводить до незапланованих простоїв технологічного обладнання.
2. На підставі наведеного огляду технічної й патентної літератури встановлено, що найбільш розповсюдженим обладнанням для швидкого механізованого розвантаження вагонів з сипкими та кусковими матеріалами є вагоноперекидачі, конструкція яких далека від досконалості.
3. В результаті запропонованої модернізації роторного вагоноперекидача можливе досягнення таких цілей як – збільшення терміну служби та, як наслідок, покращення його енергоефективності.
4. В ході теоретичних досліджень розроблено математичну модель залежності крітних моментів привода ротора від кута нахилу, яка має криволінійний характер та досить складна до обчислень.
5. Аналіз можливості лінеарізації розробленої теоретичної моделі нахилу роторного вагоноперекидача виявився невдалим та вказує на те, що прямолінійна модель є занадто наближеною і не виключає досить значних помилок та допущень.
6. За результатами виконаної роботи розроблено спрощену математичну модель роботи приводу розвантаження вагонів з сипкими матеріалами та дозволяє розраховувати навантаження на елементи механізму обертання вагоноперекидача в декілька дій у порівнянні із складним теоретичним розрахунком.
7. Результати роботи можуть бути використані на підприємствах чорної й кольорової металургії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Усачов В.П. Технологічні лінії та комплекси металургійних цехів. Ч. 2 Технологічні основи компоновки ліній металургійних виробництв. К.: ІСДО, 1994. - 416 с.
2. Воденніков С.А., Гаврилко С.О., Кириченко О.Г. Технологічне проектування у чорній металургії: навч. посібник. Запоріжжя: ЗДІА, 2013. 386 с.
3. Арист Л. М., Городецький А. Н., Сімонов О. А. Засоби комплексної механізації у металургійному виробництві. К.: Техніка, 1981. 208 с.
4. Арист Л. М., Гребеник В. М., Городецький А. Н. Механізація робіт у чорній металургії. Механізація робіт у сталеплавильному виробництві. К.: Вища школа, 1989. 287 с.
5. Воденніков С.А., Галицький Ю.П., Воденнікова О.С. Теорія та технологія електросталеплавильного виробництва: навч. посібник. Запоріжжя: Видавництво Запорізької державної інженерної академії, 2010. 246 с.
6. Основи металургійного виробництва металів і сплавів: підручник / Д. Ф. Чернега та ін.; за ред. Д. Ф. Чернеги, Ю. Я. Готвянського. Київ: Вища школа, 2006. 503 с. ISBN 966-642-310-3.
7. Що таке вагоноперекидач і навіщо він. - Новини STVF. Благодійний фонд імені "Святого Володимира". URL: https://stvf.org.ua/novyny/shho-take-vagonoperekidach-i-navishho-vin/ (дата звернення: 27.11.2024).
8. Учасники проектів Вікімедіа. Вагоноперекидач – Вікіпедія. *Вікіпедія*. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Вагоноперекидач (дата звернення: 27.11.2023).
9. Мала гірнича енциклопедія : у 3 т. Т. 1 : А – К. / за ред. В. С. Білецького. Д.: Донбас, 2004. 640 с. ISBN 966-7804-14-3.
10. Prakash O., Mahato A. C. Finite element analysis of the side bolster beam of the wagon tippler. International Journal of Computer Aided Engineering and

Technology. 2021. Vol. 15, no. 4. P. 553. URL: https://doi.org/10.1504/ijcaet.2021.118472

11. Schlüter T. Excavation Scheme for a Deep Wagon Tippler at Jawaharlal Nehru Port Trust, Bombay. GRIN Verlag GmbH, 2005.
12. Русанов І. Ф., Петрушов С. М. Конструкції і обладнання фабрик окускування: навч. посібник. Алчевськ: ДонДТУ, 2010. 272 с.
13. Вагоноперекидач роторний : пат. 76779 Україна : B65G 67/00. № 20040403156 ; заявл. 27.04.2004 ; опубл. 15.09.2006, Бюл. № 9. 3 с.
14. Improvement of wagon tippler disc spring life by design modification / U. Pal et al. Engineering Failure Analysis. 2021. Vol. 120. P. 105030. URL: https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.105030
15. Calculation model for the evaluation of tired defect development in the freight wagon side frame / D. V. Rudavs′kyy et al. Ukrainian Journal of Information Technology. 2021. Vol. 3, no. 2. P. 15–20. URL: https://doi.org/10.23939/ujit2021.02.015
16. Viznyak R. Determination the parameters of stressed and deformed state a gondola car at during interaction by a rotary car dumper. Collection of Scientific Works of the Ukrainian State University of Railway Transport. 2023. No. 204. P. 53–61. URL: https://doi.org/10.18664/1994-7852.204.2023.283882
17. Calculation of strength of half wagon cover made of polymeric composite material / O. Fomin et al. Collection of scientific works of the State University of Infrastructure and Technologies series "Transport Systems and Technologies". 2022. No. 39. P. 143–152. URL: https://doi.org/10.32703/2617-9040-2022-39-14
18. Viznyak R. The significance of dynamic forces acting on a gondola car when unloading by a rotary car dumper. Collection of Scientific Works of the Ukrainian State University of Railway Transport. 2023. No. 203. P. 35–44. URL: https://doi.org/10.18664/1994-7852.203.2023.277952
19. Жук А. Я., Желябіна Н. К., Малишев Г. П. Основи наукових досліджень в сфері практичної механіки. Кн.1. Теоретичні дослідження. : навч. посіб. К.

: Вид-во «Кондор», 2012. 186 с.

20. Каталог електродвигунів AIP - таблиця, довідник двигунів. *AIP Україна*. URL: https://аир.com.ua/uk/katalog_elektrodvyguniv_air/ (дата звернення: 29.11.2023).
21. Промислова автоматизація - купити в Україні | Італ-Техно. Тип Частотний перетворювач, Потужність, кВт 200-315. *Інтернет-магазин "Італ-Техно"*. URL: https://ital-tecno.com.ua/peretvoryuvalyna-elektrotehnika/promislova-avtomatizatsiya/moschnost-kvt/200-315/tip/chastotnyj-preobrazovatel/ (дата звернення: 29.11.2023).
22. Інженерна механіка (деталі машин): посібник-практикум (Частина 2) : навч. посіб. / О. О. Дереза та ін. Мелітополь: : Тавр. держ. агротехнол. ун-т ім. Дмитра Мотор. (ТДАТУ); Люкс, 2021. 132 с.
23. Гайдамака А.В. Підшипники кочення. Базові знання та напрямки вдосконалення: навч. посіб. Харків: НТУ «ХПІ», 2009. 248 с.
24. Павлище В.Т. Підшипники кочення: Основні параметри, конструкції опор, змащування, ущільнення та розрахунки ресурсу. Львів: НУ “Львівська політехніка”, “Інтелект-Захід”, 2001. 136 с.
25. Літовченко П.І. Деталі машин: навч. посіб. Х.: НАНГУ, 2015. 302 с.
26. Каталог підшипників за розміром і номером підібрати онлайн. *Українська підшипникова компанія Постачальник підшипників.* URL: https://www.upk.com.ua/catalog/bearings/ (дата звернення: 29.11.2023).
27. Жук А. Я., Желябіна Н. К., Малишев Г. П. Основи наукових досліджень в сфері практичної механіки. Кн.2. Експериментальні дослідження: навч. посіб. К. : Вид-во «Кондор», 2012. 224 с.
28. Олешко Т., Квашук Д., Троцюк К. Аналіз характеристик індуктивних перетворювачів в приладах для вимірювання обертальних моментів. Věda a perspektivy. 2022. № 6(13). URL: https://doi.org/10.52058/2695-1592-2022-6(13)-317-332
29. Слепужніков Є., Варченко І. Проведення експериментальних досліджень методом тензометрії. наукове забезпечення технологічного прогресу xxi

сторіччя / chair Н. Фідровська. 2020. URL: https://doi.org/10.36074/01.05.2020.v2.10

30. Кузьмич Л. В., Орнатський Д. П., Квасніков В. П. Оптимізація вимірювальних засобів напружено-деформованого стану за допомогою тензодатчиків. Aerospace technic and technology. 2019. № 3. С. 50–56. URL: https://doi.org/10.32620/aktt.2019.3.06
31. Specific electrical resistance as an indicator ordering of coke structure / D. V. Miroshnichenko et al. Chemistry, Technology and Application of Substances. 2024. Vol. 7, no. 1. P. 78–85. URL: https://doi.org/10.23939/ctas2024.01.078
32. Пташинський В. К., Гриценко А. І., Драгобецький В. В. Формування методів експериментальних досліджень підшипникових вузлів транспортних засобів. XXXI Міжнародна науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих учених «Актуальні проблеми життєдіяльності суспільства». 2024. URL: https://doi.org/10.32782/2222-5099.2024.4.3
33. Дослідження інформативності порівняння середніх вибірок експериментальних досліджень / M. Valentin та ін. International scientific and technical conference Information technologies in metallurgy and machine building. 2024. С. 153–154. URL: https://doi.org/10.34185/1991-7848.itmm.2023.01.041
34. Охорона праці на гірничо-металургійному підприємстві: навч. посібник. Ч.І: Металургійний комплекс. / В.О.Шеремет та ін. Дніпропетровськ: Січ, 2002. 375 с.
35. Охорона праці в галузі (для спеціальності «Металургія чорних металів») : навч. посіб. / В. П. Полєтаєв, О. А. Крюковська, під ред. д.т.н., проф. А. П. Огурцова. Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2015. 363 с.
36. ДСП 3.3.1.038–99. Підприємства чорної металургії. Чинний від 1999–12–01. Вид. офіц.
37. НПАОП 27.0-1.01-08 Правила охорони праці в металургійній промисловості.

38. НПАОП 27.1-1.01-09 Правила охорони праці в сталеплавильному виробництві.
39. ДНАОП 27.1-1.02-97. Правила безпеки у доменному виробництві
40. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування
41. ДСТУ EN 482:2016 Повітря робочої зони. Загальні вимоги до характеристик методик вимірювання вмісту хімічних речовин (EN 482:2012+A1:2015, IDT)
42. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень
43. ДСТУ 2894–94. Пристрої екранувальні для захисту від інфрачервоного випромінювання. Параметри та загальні технічні вимоги. Чинний від 1996–01–01. Вид. офіц. 1994.
44. 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.
45. Правила улаштування електроустановок. URL: https://mev.gov.ua/storinka/pravyla–ulashtuvannya–elektroustanovok (дата звернення: 07.11.2024).
46. 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.
47. ДСТУ–Н Б В.1.1–35:2013. Настанова з розрахунку шуму в приміщеннях і на територіях. Чинний від 2014–01–01. Вид. офіц.
48. ДСН 3.3.6.037–99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Чинний від 1999–12–01. Вид. офіц.
49. Геврик Е. О. Охорона праці. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. / Е. О. Геврик. – К: Ельга, Ніка–центр, 2003. – 280 с.

50. ДБН В.2.2–28:2010. Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення. Чинний від 2011–10–01. Вид. офіц.

51. 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.

52. СОУ 40.1–21677681–60:2012. Протипожежний захист машзалів електростанцій. Правила проектування та експлуатації протипожежного устаткування. На заміну НАПБ 05.030–2001 (ГКД 343.001.003.001–2001) ; чинний від 2012–03–29. Вид. офіц.

53. НАПБ А.01.001–2014. Правила пожежної безпеки в Україні. На заміну НАПБ А.01.001–2004 Правила пожежної безпеки в Україні ; чинний від 2023–04–07. Вид. офіц. 2014.

54. Довідковий посібник керівника та спеціаліста гірничо-металургійного підприємства з охорони праці: навч. посіб. / В.О. Шеремет та ін. Дніпропетровськ: ПП „Ліра ЛТД”, 2005. 850 с.

55. 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.

СПИСОК ГРАФІЧНОГО МАТЕРІАЛУ

№ п/п	Найменування	Кільк. листів	Формат
1	Роторний вагоноперекидач	1	А1
2	Привод	1	А1
3	Роликоопора	1	А1
4	Дослідження моментів привода роторного вагоноперекидача	1	А1
5	Розробка математичної моделі роботи роторного вагоноперекидача	1	А1
6	Звукоізоляційна кабіна поста керування	1	А1

ДОДАТКИ