

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

ННІ/факультет Навчально-науковий технологічний інститут  
Кафедра Інжинірингу з галузевого машинобудування  
Спеціальність 133 Галузеве машинобудування  
Форма навчання Денна

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА**

Ігнатенко Дмитро Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

на тему

Механічне обладнання Конверторного цеху Департаменту з виробництва чавуну та сталі ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Модернізація конструкції машини скачування шлаку з чавуновозного ковша

(повна назва теми)

за матеріалами

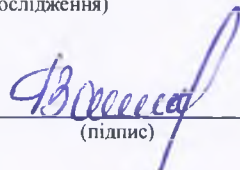
Конверторного цеху Департаменту з виробництва чавуну та сталі ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

(повна назва бази дослідження)

науковий керівник

к.т.н., асистент

(наук. ступінь, вчене звання)



(підпис)

Зайцев Г. Л.

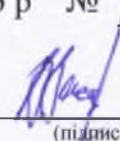
(прізвище, ініціали)

**Робота допущена до захисту в ЕК**

Протокол засідання кафедри

від 23 січня 2026 р № 9

Завідувач кафедри



(підпис)

д.т.н., професор

(наук. ступінь, вчене звання)

В. Й. Засельський

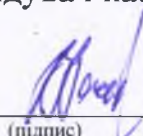
(ініціали, прізвище)

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
Кафедра Інжинірингу з галузевого машинобудування

Рівень вищої освіти Другий (магістерський)

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування  
(шифр і назва)

Завідувач кафедри ЗАТВЕРДЖУЮ  
ІГМ

  
(підпис) проф., д.т.н., Засельський В. Й.  
(посада, вчене звання, прізвище ініціали)

« 20 » ЖОВТНЯ 2025 року

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА ЗДОБУВАЧА

Ігнатенко Дмитро Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи магістра  
*Механічне обладнання Конверторного цеху Департаменту з виробництва чавуну та сталі ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Модернізація конструкції машини скачування шлаку з чавуновозного ковша*

керівник кваліфікаційної роботи магістра Зайцев Г. Л., к.т.н.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «20» жовтня 2025 р. № 723-ст

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи до кафедри 15.01.2026

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи магістра

*Умови виробництва Конверторного цеху Департаменту з виробництва чавуну та сталі ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Конструкція та технічна характеристика машини скачування шлаку з чавуновозного ковша, інформація про недоліки конструкції.*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

4.1 Аналітична частина;

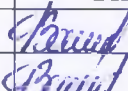
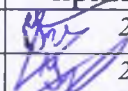
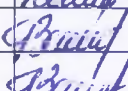
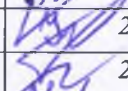
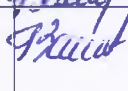
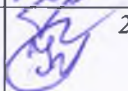
4.2 Основна частина;

4.3 Організація безпечного виробництва.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

*5 аркушів формату А1 складальний кресленик: машина скачування шлаку з чавуновозного ковша, механізм скачування шлаку, гідроциліндр телескопічний, маслостація.*

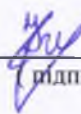
6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Аналітична частина	Зайцев Г. Л., к.т.н., асист.	 20.10.25	 20.10.25
Основна частина	Зайцев Г. Л., к.т.н., асист.	 20.10.25	 20.10.25
Організація безпечного виробництва	Зайцев Г. Л., к.т.н., асист.	 20.10.25	 20.10.25

7. Дата видачі завдання 20 жовтня 2025 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1.	Аналітична частина	21.11.2025	вик.
2.	Основна частина	15.12.2025	вик.
3.	Організація безпечного виробництва	22.12.2025	вик.
4.	Оформлення пояснювальної записки	26.12.2025	вик.
5.	Виконання графічної частини	12.01.2026	вик.
6.	Подання роботи до кафедри	15.01.2026	вик.
7.	Захист роботи в ЕК	26-31.01.2026	

Здобувач  (підпис)

Ігнатенко Д. Ю.  
(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи  (підпис)

Зайцев Г. Л.  
(прізвище та ініціали)

№ рядка	Формат	Позначення	Найменування	Кількість	№ екз	Примітки
1						
2			Документація загальна			
3						
4			Знов розроблена			
5						
6	A1	KPM.133.26.09.00.000 ЗВ	Креслення загального вигляду	1		
7	A4	KPM.133.26.09.ПЗ	Пояснювальна записка	96		
8						
9			Документація по			
10			складальним одиницям			
11						
12			Знов розроблена			
13						
14	A1	KPM.133.26.09.01.000 СК	Механізм скачування шлаку			
15			Складальне креслення	1		
16	A1	KPM.133.26.09.02.000 СК	Гідроциліндр телескопічний			
17			Складальне креслення	1		
18	A1	KPM.133.26.09.03.000 СК	Маслостанція			
19			Складальне креслення	1		
20	A1	KPM.133.26.09 СГ	Машина скачування шлаку з чавунової ковша			
21			Схема гідравлічна	1		
22						
<b>133.26.09.KPM</b>						
Изм.	Лист	№ док.им.	Подп.	Дата		
Разраб.	Изнатенко		Зайцев	12.01.26	Лит.	Лист
Пров.	Зайцев		Зайцев	12.01.26		Листов
Н.контр.	Зайцев		Зайцев	21.01.26	1 2	
Утв.	Засельський		Зайцев	23.01.26	ННТІ ДУЕТ кафедра ІГМ гр. ГМ-24м	
Машина скачування шлаку з чавунової ковша Відомість кваліфікаційної роботи магістра					Формат A4	

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра : 96 стор., 21 рис., 8 табл., 21 джерела.

Об'єкт розробки – машина скачування шлаку з чавуновозного ковша Департаменту з виробництва чавуну та сталі ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

Ціль розробки – зменшити тривалість процесу обробки ковшів (до 3÷5 хвилин на один ковш) при видаленні шлаку 70÷80 %.

Метод досліджень – аналітичний – визначення характеристик машини та навантажень в механізмах машини.

Запропонована конструкція механізму скачивання шлаку безперервної дії з гідроприводами. Визначено необхідну потужність електродвигунів.

Розглянуто організацію ремонтних робіт на підприємстві, методи монтажу і контролю при монтажі деталей і вузлів механізма. Запропоновано заходи щодо охорони праці при експлуатації, обслуговуванні і ремонті машини для скачування шлаку.

Запропонована конструкція дозволить знизити кількість браку сталі за рахунок підвищення ефективності роботи машини..

Результати роботи можуть бути використані при розробці аналогічного. Проектне рішення сприяє зниженню браку сталі по вмісту сірки, що виплавляється, собівартість однієї тонни сталі після впровадження проекту знизилася на 0,0026 грн/т, витрати на здійснення проектного рішення окупаються за 1,3 роки, а економічний ефект складе 16218 грн/рік на одне відділення міксерів.

Очікуваний економічний ефект від зниження браку сталі по вмісту сірки, що виплавляється, складе 16218 грн/рік на одне відділення міксерів.

Ключові слова: ШЛАК, ШКРЕБОК, НЕСКІНЧЕННИЙ ЛАНЦЮГ, ГІДРАВЛІЧНИЙ ПРИВОД, ЗНИЖЕННЯ БРАКУ СТАЛІ

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b>	7
<b>1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА</b>	8
1.1 Характеристика конвертерного цеху	8
1.2 Призначення та область застосування конусної дробарки	21
1.3 Технічна характеристика	21
1.4 Опис базової конструкції	22
1.5 Аналіз недоліків в роботі машини. Можливі причини недоліків	27
1.6 Формування мети та задач для її досягнення	28
<b>2 ОСНОВНА ЧАСТИНА</b>	29
2.1 Аналіз стану існуючих інноваційних рішень	29
2.2 Пропозиції по досягненню поставленої мети	33
2.3 Аналітичні розрахунки	40
2.3.1 Розрахунок навантажень і визначення вихідних даних	41
2.3.2 Розрахунок потужності приводу	43
2.3.3 Силовий і кінематичний аналіз механізму	45
2.3.4 Розрахунок ланцюгової передачі механізму скачування	46
2.3.5 Розрахунок підшипників приводного валу зірочок	50
2.3.6 Розрахунки і вибір муфт	51
2.3.7 Розрахунки і вибір елементів гідравлічної схеми	52
2.3.8 Розрахунок ємкості бака для робочої рідини	54
2.3.9 Розрахунок гідроциліндру	56
2.3.10 Розрахунок валу зірочок	59
2.4 Монтаж, ремонт, змащення	64
2.4.1 Прив'язка машини до технологічного тракту	55
2.4.2 Технологічна карта монтажу	67
2.4.3 Зношення відповідальних деталей та методи їх відновлення	70
2.4.4 Розробка графіка планово-попереджувальних ремонтів	73
2.4.5 Змащення	74

	6
<b>3 ОРГАНІЗАЦІЯ БЕЗПЕЧНОГО ВИРОБНИЦТВА</b>	79
3.1 Аналіз основних шкідливостей і небезпечностей	79
3.2 Заходи щодо зниження шкідливостей і небезпечностей	82
3.2.1 Засоби індивідуального захисту	85
3.2.2 Санітарно-побутові приміщення і пристрої	86
3.3 Пожежна профілактика	88
<b>ВИСНОВОК</b>	92
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b>	95
<b>ДОДАТКИ</b>	97

## ВСТУП

У сучасних реаліях сталь має велике значення. Практично немає жодної галузі, де б не використовували вироби зі сталі.

Останнім часом сталеплавильна промисловість зазнала значних змін: були розроблені нові металургійні процеси, створено унікальні технічні агрегати і машини, а також впроваджено механізацію й автоматизацію основних і допоміжних технологічних процесів. Основними методами промислового виробництва сталі є конверторний, електросталеплавильний і мартенівський способи. Конверторне виробництво відіграє ключову роль у збільшенні обсягів виготовлення сталі.

На нинішньому етапі розвитку металургії надзвичайно важливим аспектом є раціональне використання ресурсів. У рамках цього дипломного проєкту було запропоновано модернізувати машину для подачі шлаку із чавуновозного ковша, з метою зменшення дефектності сталі за вмістом сірки. Розроблена конструкція забезпечить більш ефективну обробку сталі та сприятиме зниженню рівня браку.

## 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

### 1.1 Характеристика конвертерного цеху

Конвертерний цех [1,2] функціонує для виробництва сталі в злитках із передільного чавуну, що досягається шляхом продування киснем у конвертері зверху, а потім розливанням сталі у виливниці. До складу цеху входять шість конвертерів із об'ємом по 160 тонн кожен.

До комплексу конвертерного цеху (рис. 1.1) входять такі основні об'єкти:

- головна будівля;
- міксерне відділення № 1;
- міксерне відділення № 2;
- шихтове відділення для сипучих матеріалів;
- шихтове відділення для магнітних матеріалів № 1;
- шихтове відділення для магнітних матеріалів № 2;
- шлакове відділення.

Окрім цього, комплекс включає додаткові будівлі та споруди:

- димососи № 1 і № 2;
- механічну майстерню;
- побутовий комплекс.

Також окремо до складу комплексу входить цех підготовки складів та дві кисневі станції, які є частиною кисневого цеху. Міксерне відділення використовується для тимчасового зберігання рідкого чавуну, його хімічного усереднення та підвищення температури.

Міксерне відділення № 1 і № 2 розташовані біля торця головної будівлі конвертерного цеху. У кожному з них (рис. 1.2) встановлено по два міксери об'ємом по 1300 тонн кожен.

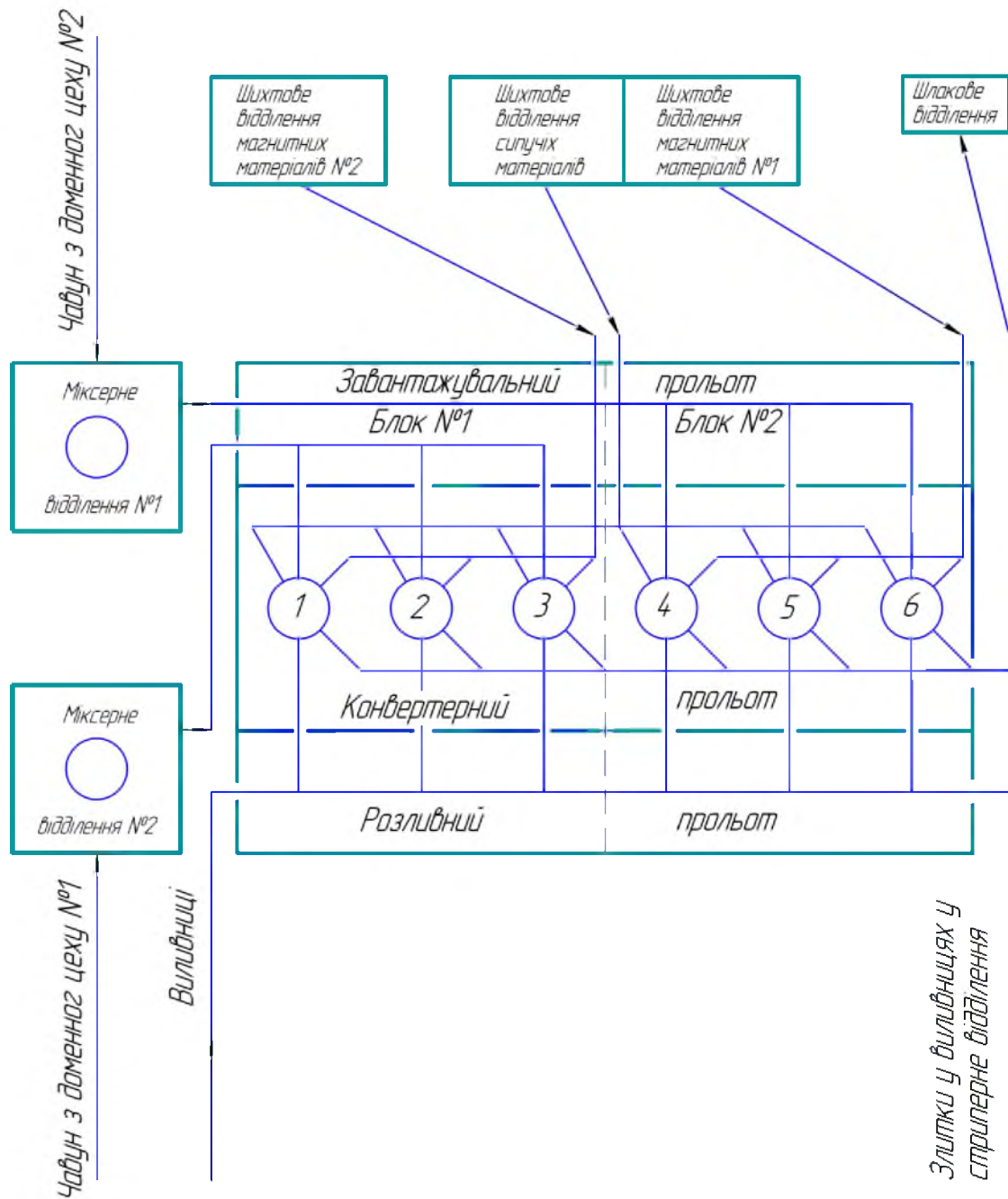
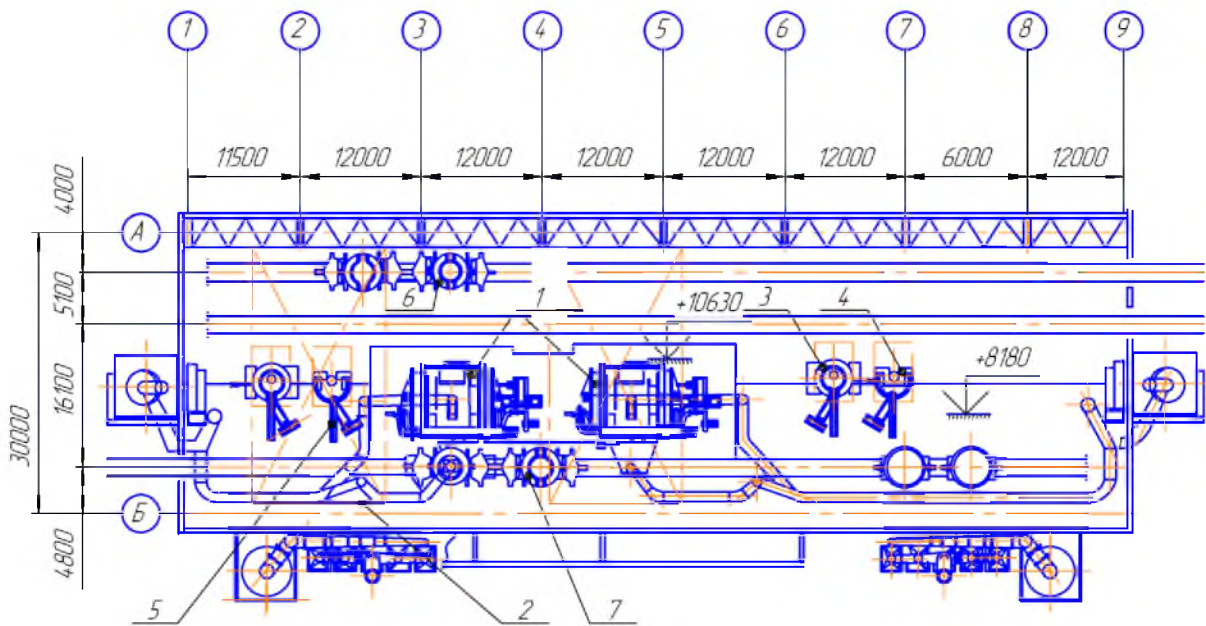


Рис. 1.1 Структурна схема конвертерного цеху

Джерело: розроблено із використанням [1]



**Рис. 1.2 План міксерного відділення**

- 1 – міксер; 2 – заливальний кран; 3 – стэнд під шлакову чашу;  
 4 – ківш – накопичувач; 5 – машина для скачування шлаку;  
 6 – чавуновіз для подачі чавуну з доменного цеху;  
 7 – чавуновіз для подачі чавуну у конвертерний прольот

Джерело: розроблено із використанням [1]

Для транспортування рідкого чавуну в міксерне відділення використовуються чавуновозні ковші з об'ємом 140 тонн. Такі самі ковші застосовуються для доставки рідкого чавуну до конвертерів. У міксерному відділенні ковші з рідким чавуном зважуються на залізничних вагах, розрахованих на вантажопідйомність 250 тонн. Завантаження чавуну, що надходить із доменного цеху в міксер, виконується кранами з вантажопідйомністю 180/50 тонн. У кожному відділенні встановлено по два заливальні крани з характеристиками  $Q = 180/50/16$  тонн. Крім того, у відділенні розташовані пульти управління міксерами, стэнд для роботи зі шлаковими чашами та установка для захоплення графіту.

Залізничні колії виконують такі функції:

1. Подавання чавуну до міксерів.
2. Вивезення шлаку.
3. Транспортування чавуну до конвертерів.

Шихтове відділення сипучих матеріалів виконує завдання прийому, зберігання та подавання цих матеріалів до конвертерів. У відділенні є два ряди бункерів, по вісім у кожному. Вісім бункерів призначено для зберігання вапна, шість – для залізняку (окатишів), два – для шпату. Під бункерами розташовані стрічкові живильники, а під ними розміщені два стрічкових конвеєри, що транспортують сипкі матеріали до конвертерів.

Шихтові відділення магнітних матеріалів №1 та №2 призначені для прийому, зберігання та подачі металошихти до конвертерів. У кожному відділенні передбачена яма глибиною 5180 мм для зберігання металошихти, а також окрема яма для феросплавів. Для виконання вантажно-розвантажувальних операцій у відділеннях встановлено п'ять електромостових кранів: два одного типу та три іншого. В верхніх фермах будівлі передбачено електроталі, які використовуються для обслуговування та ремонту кранів.

Металошихта транспортується до конвертерного відділення у спеціальних коробах залізничними шляхами.

Шлакове відділення складається з двох відкритих зон, основним призначенням яких є очищення шлакових чаш від шлаку, його сортування та відвантаження. Перша естакада обладнана трьома грейферно-магнітними кранами, одним електромостовим краном та установкою для нанесення вапна на чаші.

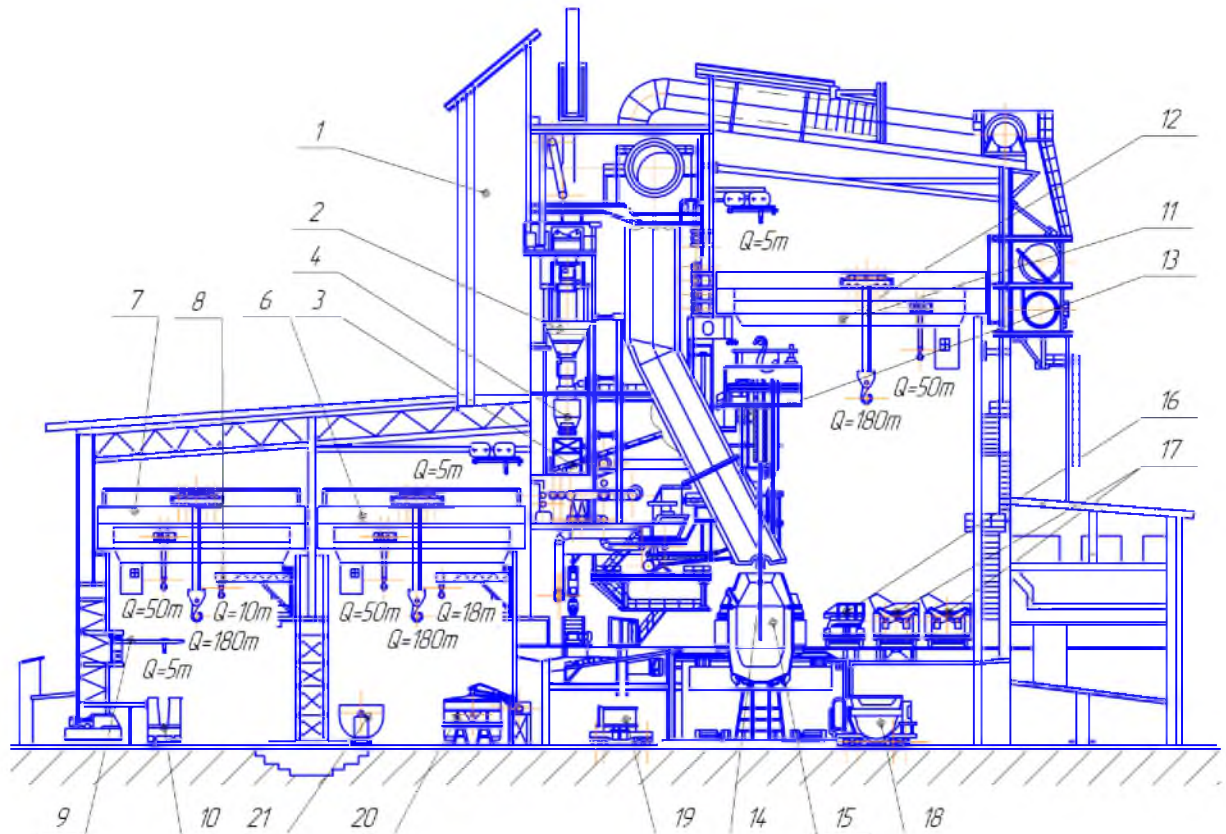
Головна будівля (див. рис. 1.3) включає такі частини:

- конвертерний проліт блоку №1;
- конвертерний проліт блоку №2;
- завантажувальний проліт блоку №1;
- завантажувальний проліт блоку №2;

– розливний проліт блоку №1;

– розливний проліт блоку №2.

Конвертерний проліт розташований у головній будівлі і складається з двох блоків, кожен з яких має довжину 108 метрів.



**Рис. 1.3 Поперечний розріз головної будівлі конвертерного цеху**

1 – тракт газовідвідний; 2 – система подачі вапна у конвертер;

3 – конвеєр подачі вапна; 4 – бункер; 5 – кесон; 6, 7 – крани розливні;

8, 9 – крани консольні; 10 – виливниця; 11 – механізм головного підйому;

12 – мост крана заливный; 13 – пристрій подачі кисню в конвертер;

14 – фурма киснева; 15 – конвертер; 16 – совок; 17 – ковші чавуновозні; 18 –

шлаковоз самохідний; 19 – сталевоз; 20 – стенд для сушки ковшів;

21 – сталевоз; 22 – чаша для зливу залишків металу

Джерело: розроблено із використанням [1]

Встановлено у кожному блоці по три конвертери. У відділенні конвертерного цеху виконуються такі процеси: виплавка сталі, ремонт і заміна футерівки, завантаження бункерів сипучими матеріалами разом із феросплавами, а також подача готової сталі в розливний проліт.

Кисень надходить до конвертерного відділення через спеціальні трубопроводи. До самого конвертера кисень постачається через фурму, що являє собою конструкцію з концентрично вставлених одна в одну труб. Внутрішня труба діаметром 180 мм забезпечує подачу кисню, а дві зовнішні труби формують канали для підведення та відведення води.

Усі механізми, необхідні для подачі кисню та керування рухом фурми, встановлені на візку. Серед них: механізм підйому фурми, трубопровід, система централізованого густого змащення, стенд для заміни фурми та візок для гнучких рукавів.

Розливний проліт використовується для проведення операцій з розливання сталі зі сталеразливочних ковшів у виливниці. Розливні майданчики розташовані на висоті 3130 мм. Для виконання цього процесу встановлено три розливні крани. Окрім них, під кожним розливним майданчиком передбачено консольно-поворотні крани, які використовуються для обслуговування і підготовки ковшів. Для проведення ремонтних робіт розливних кранів обладнані три дрібнорельсові візки. У зоні поперечних шляхів розташовані стенди для сушки сталеразливочних ковшів.

Металобрухт доставляється у відділення магнітних матеріалів залізничним транспортом і завантажується до приймальних бункерів. Заповнення совків металобрухтом здійснюється кранами з магнітно-

грейферними пристроями. Завантажені совки проходять зважування і встановлюються на скраповіз, який транспортує їх на робочий майданчик або в завантажувальний проліт. Подальше завантаження металобрухту в конвертер проводиться за допомогою завантажувальної машини.

Чавун із доменного цеху транспортують у ковшах чавуновозів до міксерного відділення, де за допомогою крана зливають його в стаціонарний міксер. Якщо виникає потреба, чавун випускають із міксера в ковші самохідних чавуновозів, які доставляють його до завантажувального прольоту конверторів. Процес заливки чавуну здійснюється за допомогою заливального крана.

Сипучі матеріали доставляють у шихтове відділення немагнітних матеріалів залізничним або автомобільним транспортом. Розвантаження матеріалів із залізничних піввагонів виконується в приймальні бункери, після чого їх подача організована через електровібраційні живильники. Матеріали транспортують до витратних бункерів конверторного корпусу похилим конвеєрним трактом та реверсивними пересувними конвеєрами. Система вагового дозування й подачі, яка складається з віброживильників, вагових дозаторів, конвеєрів, проміжних бункерів і тічок, забезпечує точне завантаження необхідної кількості шлакоутворюючих матеріалів у конвертер під час процесу плавки.

Технічно чистий кисень подається до конвертера через кисневу фурму за допомогою спеціальної машини. подача забезпечується кисневою магістраллю, що з'єднана з кисневим цехом.

Розплавлену сталь зливають з конвертера у сталеразливний ківш, встановлений на сталевозі, який потім транспортують у розливні проліт. У

виливниці рідкий метал наливається з ковша, переміщеного розливним краном над секцією з формами. Після того як злитки повністю твердіють і завершують процес кристалізації, виливниці з ними за допомогою локомотива транспортують у стріперне відділення. Тут здійснюється зняття прибуткових надставок і витягування злитків із форм із наступним розширенням доверху. Виливниці, які мають розширення вниз, знімаються з візків і надсилаються на підготовку до повторного використання. Усі роботи в цьому процесі виконуються за допомогою стріперного крана. Далі склади переміщують у нагрівальне відділення обтискового стану. В нагрівальних колодязях встановлюються злитки, а виливниці спрямовують на установку для душирування. Після охолодження виливниці потрапляють у відділення чищення й змащування, а потім у відділення підготовки составів. У цьому підрозділі виконують роботи з очищення та встановлення піддонів, центрових і прибуткових надставок на візки. Після завершення підготовлені состави знову відправляють у розливне відділення. Таким чином формується замкнений цикл використання і підготовки виливниць.

Шлак із конвертера зливають у ківш самохідного шлаковоза і спочатку доставляють у шлаковий проліт основного корпусу, де чаша переставляється на прибиральний шлаковоз. Звідти шлак надходить до шлакового відділення для охолодження та подальшого дроблення.

Технічні характеристики міксера:

- Місткість, т: 1300
- Зовнішній діаметр кожуха, мм: 7640
- Довжина по торцевих днищах, мм: 10700
- Кут повороту міксера, градуси:

- При повному зливі чавуну: 45
- Експлуатаційний: 30
- Глибина ванни, мм: 4490
- Потужність приводу, кВт:
- Нахилу: 50
- Відкриття кришки заливального вікна: 5
- Відкриття заслінки зливного носка: 2,2
- Маса без футерування, т: 330

#### Конвертер:

У складі конвертерного цеху встановлено шість конвертерів з місткістю 160 тонн кожен. Корпус конвертера має глухонну конструкцію зі зварним виконанням. На горловині розташований водоохолоджувальний шолом. Кріплення корпусу до опорного кільця відбувається за допомогою шістнадцяти кронштейнів, приварених до корпусу зверху і знизу. Верхні кронштейни забезпечують опору корпусу на верхньому поясі опорного кільця. Нижні кронштейни мають похилі площини, контактуючи з кутовими черевиками. При правильному виборі кута нахилу контактних поверхонь нижніх вузлів забезпечується надійність кріплення, а також запобігає деформації опорного кільця і корпусу при нагріванні. Вузли кріплення захищені кожухом від потрапляння металу та шлаку. Цапфові плити закріплені до півкілець шпильками, а опори конвертера монтуються на зварних станинах. Приводи механізму повороту конвертера розташовані на окремих рамах і з'єднуються з цапфами опорного кільця за допомогою універсальних шпинделів, які виконують функцію компенсуючих з'єднувальних муфт.

Технічна характеристика конвертера:

- Місткість, т: 160
- Внутрішній об'єм, м<sup>3</sup>: 135
- Питома вага, м<sup>3</sup>/т: 0,84
- Внутрішні розміри по футеруванню, мм: 5450×7275
- Габаритні розміри, мм: 14000×7680
- Маса футерування, т: 926

Частота обертання, об/хв:

- Номінальна: 1,09
- Мінімальна: 0,026

Електродвигуни

- Потужність, кВт: 4×150
- Частота обертання, об/хв: 950

Передавальні числа:

- Швидкохідного редуктора: 92,25
- Тихохідного редуктора: 10
- Загальне: 922,5

Сталевоз:

Сталевоз використовується для подачі сталерозливних ковшів до конвертера, переміщення ковшів під струменем металу під час зливу сталі з конвертера та транспортування ковша з рідким металом до розливного прольоту.

Це самохідний візок, що пересувається по рейках КР-120 та складається з основних елементів: рами, механізму пересування, струмоприймача, стаціонарних скребків, автозчепу та кабельної системи.

Технічна характеристика сталевозу:

- Вантажопідйомність, т: 180
- База візка, мм: 6500
- Колія візка, мм: 3600
- Діаметр ходових коліс, мм: 1000
- Швидкість руху, м/хв: 2,5–6
- Вид струму: постійний
- Маса без ковша, т: 39,4
- Маса з ковшем, т: 84,5

Самохідний шлаковоз:

Самохідний шлаковоз призначений для доставки шлакових чаш до конвертера та транспортування рідкого шлаку. Його основні елементи включають раму з ходовими колесами, ківш, механізми пересування, підйомний і стаціонарний скребки, струмоприймач і кабельну систему.

- Технічна характеристика шлаковозу:
- Вантажопідйомність становить 65 тонн.
- База візка має довжину 5000 мм,
- Шширина колії складає 3600 мм.
- Діаметр ходових коліс дорівнює 800 мм.
- Максимальна швидкість руху досягає 3,8 км/год.
- Живлення здійснюється перемінним струмом
- Маса шлаковозу з футеруванням складає 33,5 тонн

– Повна маса дорівнює 98,5 тонн.

Домкратний візок:

Домкратний візок використовують для монтажу та демонтажу днища конвертера під час ремонтних робіт футерування. Конструкція візка складається зі зварної рами, балансирів з колесами, гідравлічного домкрата, а також насосної установки. Візок обладнаний автозчепленням і транспортується краном, встановлюючись на залізничну колію. Після цього його подають сталевозом під конвертер.

Технічна характеристика домкратного візку:

- Зусилля на підйомному столі становить 150 тонн
- Візок здатен піднімати днища масою до 31 тонни
- Швидкість руху підйомного столу становить 0,34 м/хв
- Робочий хід столу дорівнює 1385 мм
- Максимальний хід столу дорівнює – 1540 мм
- Ширина колії становить 3600 мм
- Діаметр гідроциліндру – 800 мм
- Габаритні розміри візка – 7310 × 6000 × 3980 мм
- маса складає 55,4 тонн

Телескопічний підйомник:

Телескопічний підйомник призначений для виконання робіт, пов'язаних з укладанням футерування конвертера. Він включає передавальну платформу, систему гідроприводу, телескопічний гідроциліндр, робочий майданчик, підйомне обладнання з люлькою, канатний механізм приводу і пристрої для захисту від небажаного розвороту робочого майданчика.

Технічні характеристики підйомника:

- Вантажопідйомність робочого майданчика становить 5000 кг
- Вантажопідйомність самого підйомника – 2000 кг
- Колія візка дорівнює 3600 мм, а база візка – 4000 мм
- Робочий тиск рідини в гідросистемі складає 3,5 МПа
- Робочий хід гідроциліндра – 7500 мм
- Швидкість підйому робочого майданчика досягає 0,98 м/хв
- Максимальна швидкість опускання сягає 2 м/с
- Час повного підйому майданчика – 7,65 хв
- Загальна маса машини становить 290000 кг

Самохідний чавуновоз:

Чавуновоз з ковшем місткістю 140 тонн включає зварну раму, закріплену на балансири, механізми пересування, скребковий пристрій і струмоприймальний механізм. Верхню поверхню рами встеляють вогнетривкою цеглою для захисту від рідкого металу.

Машина для набивання футерування сталеразливочних ковшів "Орбіта":

Машина складається з порталу з механізмом пересування, рухомої колони в роликівій опорі, поворотної платформи, механізму вертикального переміщення та обертання платформи. У конструкції також є каретка, піскомет, секційний рухомий шаблон, механізм радіального переміщення шаблону та лінія для подачі вогнетривкої маси.

Технічні характеристики машини:

- Швидкість пересування становить 10 м/хв,
- Місткість бункера – 28 м<sup>3</sup>.

- Тривалість набивання футерування досягає 40 хвилин.
- Загальна потужність електродвигунів становить 186 кВт,
- Маса машини із завантаженим бункером – 140 тонн.

Додаткове обладнання конвертерного цеху:

- Електромостові крани з вантажопідйомністю від 15 до 225 тонн у кількості 43 одиниць
- Сталеразливочні ковші місткістю 160 тонн у кількості 46 штук
- Екскаватор ЕКГ-5А з ковшем об'ємом 4,6 м<sup>3</sup>
- Шлаковози з об'ємом 16 м<sup>3</sup>
- Тракт протяжністю 3 км для подачі сипких матеріалів, який є ланцюгом|цепом| конвеєрів похилого типу і перевантажувальних вузлів

## **1.2 Призначення та область застосування конусної дробарки**

Шлак, який потрапляє з міксерів у заливальний ківш, зазвичай містить до 1,5% сірки. Після процесу десульфурації чавуну в ковші її концентрація може збільшитися до 2–4% [3,4]. Щоб уникнути потрапляння такого шлаку в конвертер, його видаляють із чавуновозного ковша перед злиттям чавуну в міксер за допомогою спеціально розробленої машини для видалення шлаку.

Покращення якості металу тісно пов'язане з потребою у видаленні шлаку із ковшів і міксера. При здійсненні цієї операції забезпечуються кращі умови для десульфурації чавуну, підвищується зносостійкість футеровки, а також збільшується тривалість експлуатації міксера та чавуновозних ковшів.

Видалення шлаку з міксерів і ковшів здійснюється перед зливанням чавуну в міксер.

### 1.3 Технічна характеристика

1. Швидкість пересування шкребка вперед, м/с	0,5
2. Швидкість пересування шкребка назад, м/с	0,35
3. Хід шкребка, м	3,6
4. Ширина шкребка, м	0,35
5. Кут повороту стріли в горизонтальній площині, град.	±10
6. Кут підйому стріли, град.	15
7. Механізм пересування штанги	скреперна лебідка 30 ЛС-2 СМ
7.1 Електродвигун типу А02-72-8, виконання М201, потужністю 17 кВт, з частотою обертання 725 об/хв	
10. Механізм повороту стріли:	
швидкість пересування каната, м/с	0,1
10.1 Електродвигун типу МТКР-012-6, виконання М101, потужністю 2,2 кВт, з частотою обертання 840 об/хв	
11. Маса, кг	501

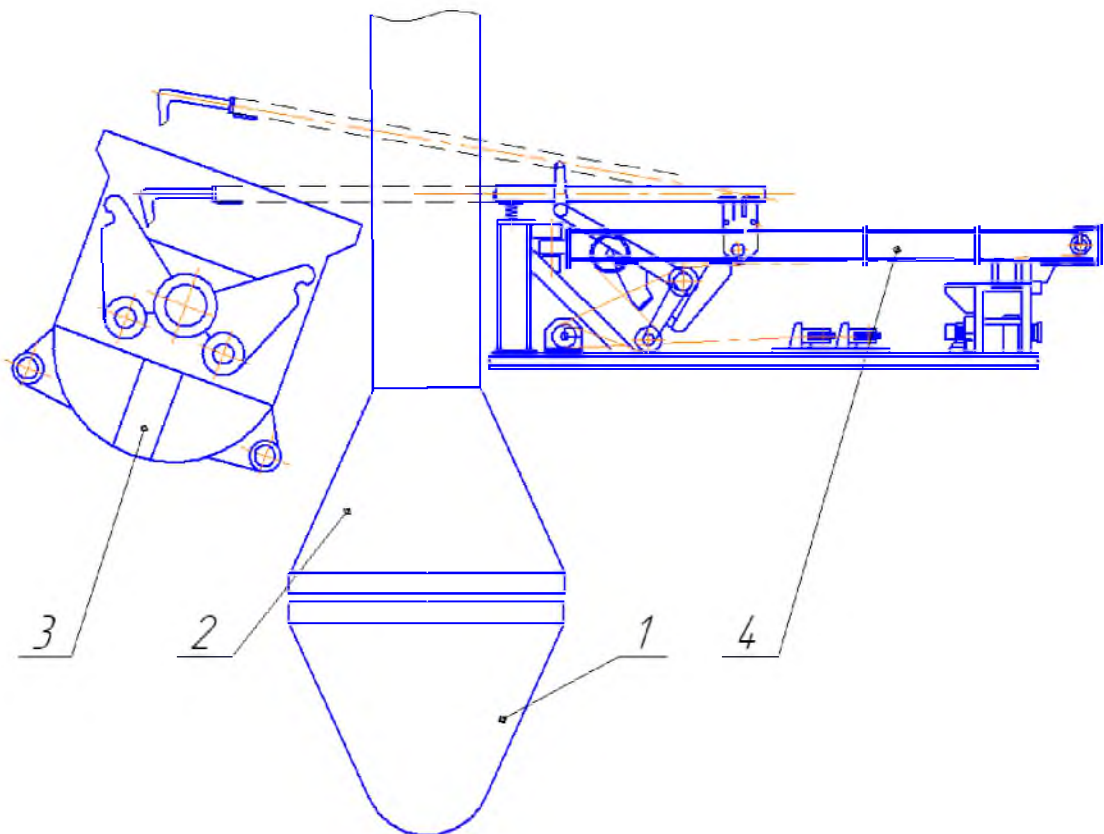
### 1.4 Опис базової конструкції

На рисунку 1.4 показана схема видалення шлаку з чавуновозного ковша за допомогою машини канатного типу конструкції Гипромеца. Ця установка застосовується в міксерному відділенні конвертерного цеху ПАТ "Арселор Міттал Кривий Ріг" [5].

Ківш із чавуном (поз. 3) транспортується міксерним краном до зони обробки, де його нахиляють за допомогою додаткового підйому. Це

виконується так, щоб рівень поверхні шлаку розташовувався на одному рівні зі зливним носком, який повинен перебувати над шлаковою чашею.

Процес викачування шлаку здійснюється шкребком, закріпленим на штанзі машини (поз. 4). Шлак переміщується в шлаковий ківш (поз. 1), над яким встановлений витяжний зонд (поз. 2). Конструкція машини наведена на рисунку 1.5.



**Рис. 1.4** Схема викачування шлаку з чугуновозного ковша за допомогою машини конструкції Гипромеца канатного типу

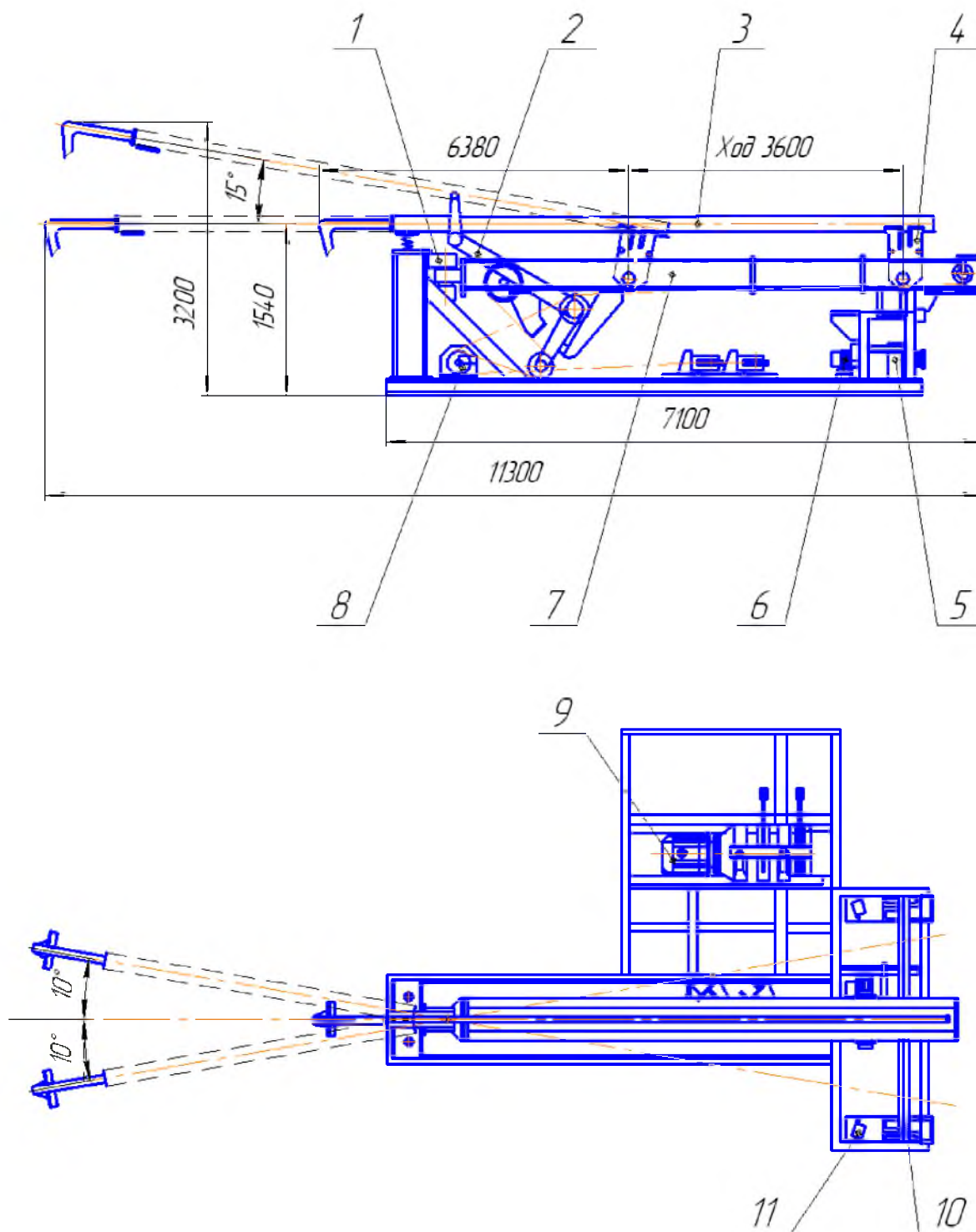
1 – шлаковий ківш; 2 – витяжний зонд; 3 – чугуновізний ківш;

4 – машина для скачування шлаку

Джерело: розроблено із використанням [5]

Штанга (поз. 3) є зварною металевою конструкцією, виготовленою з профільного й листового металу. У передній частині штанги, через клинове з'єднання, закріплено шкребок.

Хвостова частина штанги опирається на каретку, до якої прикріплені канати скреперної лебідки. Головна частина підтримується підйомним роликом двоплечого важеля (поз. 2), що може обертатися. За допомогою цього механізму шкребок зі штангою переміщуються у вертикальній площині.



**Рис. 1.5** Машина для викачування шлаку з ковша конструкції

**Гипромеца**

1 – опора; 2 – важіль двуплечий; 3 – штанга зі шкребком; 4 – каретка;  
 5 – редуктор; 6 - електродвигун; 7 – рама поворотна; 8 – блок; 9 – лебідка  
 скреперна; 10 – платформа; 11 – вимикач шляховий

Джерело: розроблено із використанням [5]

Рама, що повертається (7), обертається навколо опори (1) на платформі (10) відносно середнього положення, здійснюючи відхилення на кут  $10^\circ$  у обидва боки для ефективного викачування шлаку з усієї поверхні.

Скреперна лебідка (9) з роздільним обертанням барабанів забезпечує переміщення каретки (4), до якої закріплена штанга. Під час руху штанги вперед натяг каната, що проходить через блок (8) і двуплечий важіль, спричиняє обертання важеля, піднімаючи штангу зі шкребком.

При зворотному русі шкребка, коли штанга рухається назад, натяг каната зменшується, внаслідок чого штанга під дією власної ваги опускається, забезпечуючи викачування шлаку. Щоб уникнути ушкодження штанги, поворот рами обмежений шляховими вимикачами (11). Кінематична схема приводу каретки подана на рисунку 1.6.

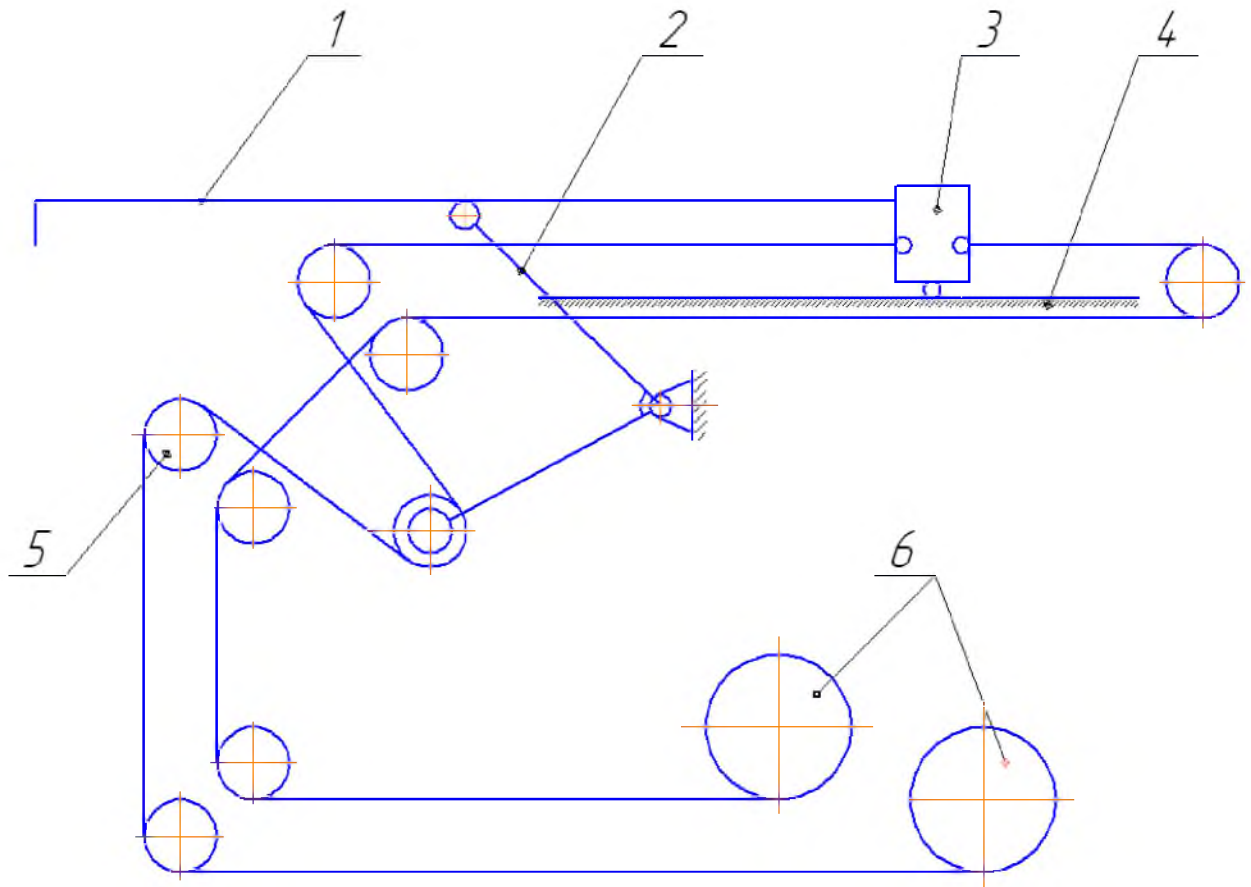
Механізм повороту рами демонструється на рисунку 1.7. Його основа являє собою зварну конструкцію з приводом, до складу якого входять електродвигун, гальмо і два редуктори – швидкохідний і тихохідний. На вихідному валу тихохідного редуктора розташований барабан, через який передається канат до поворотної балки. Для обмеження кута повороту стріли встановлено два кінцевих вимикачі моделі КУ-701.

Скреперна лебідка 30ЛС-2СМ призначена для забезпечення поворотно-поступального руху та підйому штанги під час викачування шлаку. Її конструкція включає приводний редуктор, два блоки барабанів з планетарними редукторами, гальмівні пристрої, електродвигун і раму.

Процес викачування шлаку здійснюється наступним чином. Ківш розміщується перед машиною так, щоб рівень шлаку в ковші досягав краю зливного носка, який при цьому знаходиться над приймальною чашею для збору шлаку.

Оператор вмикає привод скреперної лебідки та розпочинає викачування. Цей процес виконується за допомогою шкребка, що кріпиться на передньому кінці штанги. Для забезпечення поворотно-поступального руху шкребка

використовуються робочий та холостий барабани лебідки, які переключаються для зміни напрямку та режиму роботи.



**Рис. 1.6 Кінематична схема приводу каретки**

1 – штанга; 2 – важіль двуплечий; 3 – каретка; 4 – рама поворотна;

5 – блок; 6 – барабани лебідки скреперної

Джерело: розроблено із використанням [5]

Для включення будь-якого з барабанів скреперної лебідки потрібно, щоб при працюючому двигуні було затягнуто відповідне гальмо. У цьому випадку сателіти починають перекинутися по зубцях загальмованого зубчастого вінця. Разом із сателітами починає обертатися і водило, яке приводить у рух барабан, закріплений на його маточині за допомогою шпонки. При намотуванні каната, наприклад, на робочий барабан, штанга починає переміщуватися вперед. У цей же час на холостому барабані відбувається розмотування каната. Завдяки чергуванню включення різних гальм у

планетарних редукторах робочого і холостого барабанів забезпечується рух штанги, а отже, і скребка в необхідному напрямку. Якщо при намотуванні каната на один із барабанів другий злегка пригальмувати, це викличе підйом стріли.

Таким чином, руху штанги вперед може відповідати підняте положення скребка.

Опускання штанги разом із скребком здійснюється під власною вагою у момент переходу одного з барабанів у холостий хід. Під час падіння скребок руйнує кірку шлаку, і при зворотному притягуванні штанга вичищає шлак по всій поверхні ковша. Оператор повинен коригувати положення штанги вліво або вправо залежно від потреби. Ця дія виконується за допомогою механізму повороту.

### **1.5 Аналіз недоліків в роботі машини. Можливі причини недоліків**

Машини канатного типу, які застосовуються в конвертерному цеху комбінату для видалення шлаку, мають ряд серйозних недоліків:

– Через невелику площу контакту шлаку в зоні гребка, а також пласку форму та малі розміри самого гребка, ефективність видалення шлаку не перевищує 50%;

– Низька продуктивність роботи машин, що зумовлена використанням канатів як приводу для робочого органу;

– Тривалість процесу обробки ковшів є значною і складає 10–15 хвилин на один ківш.

Попри спроби вдосконалити конструкцію таких машин для видалення шлаку, їх експлуатація все ще характеризується низькою ефективністю та недостатньою надійністю.

## 1.6 Формування мети та задач для її досягнення

Аналіз конструктивних недоліків вказує на необхідність впровадження нових технічних рішень, спрямованих на підвищення ефективності роботи машин.

Для досягнення поставленої мети потрібно виконати такі завдання:

1. Провести літературний і патентний аналіз з метою пошуку інноваційних технічних рішень.
2. Розробити обґрунтовані рішення щодо конструктивних елементів механізму.
3. Виконати необхідні технічні й економічні розрахунки для підтвердження доцільності запропонованих рішень.
4. Розробити інструкції з обслуговування і ремонту модернізованої машини.
5. Підготувати необхідну конструкторську документацію.
6. Провести аналіз ключових економічних показників, які впливають із запланованих проєктних рішень.

## 2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

### 2.1 Аналіз стану існуючих інноваційних рішень

Машина для зняття оксидних плівок і шлаку з поверхні розплаву поділяються за характером процесу на машини періодичної дії й безперервної дії.

Залежно від типу приводу робочого механізму, вони бувають з електромеханічними або гідравлічними приводами.

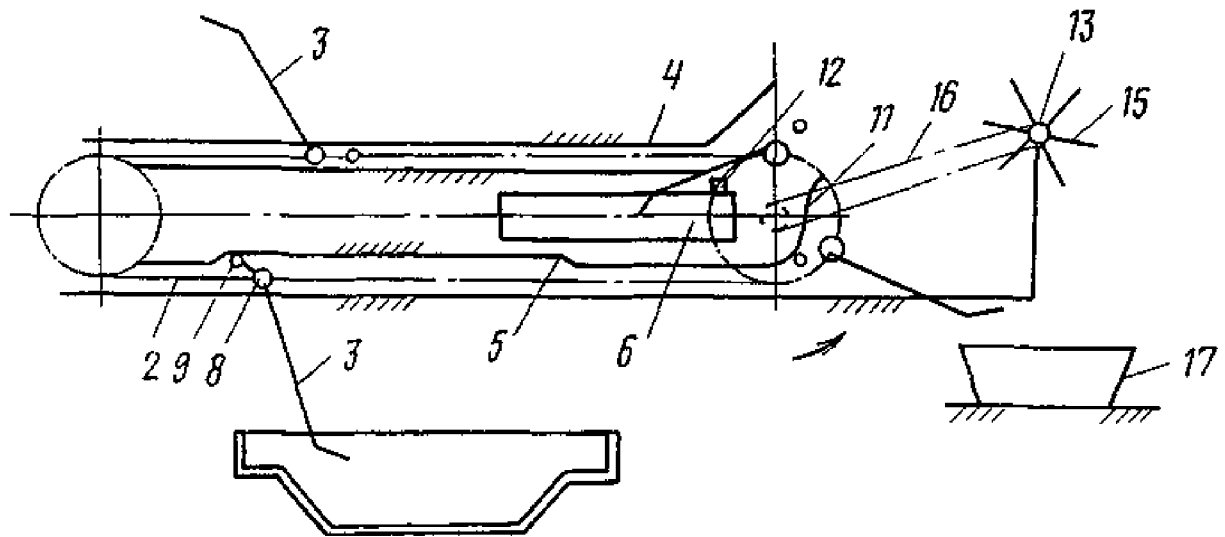
Винахід [6] належить до галузі металургії і стосується пристроїв для машин безперервного зняття шлаку. Основна мета цього винаходу — підвищення надійності та ефективності їхньої роботи.

Пристрій (зображений на рис. 2.1–2.2) включає раму (1), два безконечних приводних ланцюги (2), опорні лопатки (3), верхні (4) та нижні (5) фігурні напрямні, а також короб (6). Осі (7) лопаток (3) закріплені шарнірно в приводних ланцюгах (2).

До кожної осі (7) прикріплений механізм регулювання положення лопаток (3), виконаний у вигляді важеля (8) з роликом (9) на кінці. Між нижньою (5) і верхньою (4) напрямними, у проміжку між приводними ланцюгами (2) за приводними зірочками (10), розташований короб (6), який призначений для збору оксидної плівки.

Нижня фігурна направляюча 5 оснащена похилою ділянкою 11 у зоні скидання оксидної плівки. У верхній частині пристрою, відразу за приводними зірочками 10, розташований упор 12. Зовнішня сторона приводної зірочки 10 взаємодіє з несучими лопатками 3 через шкребок 13, виконаний із пластин 15 із пружного матеріалу, такого як ресорно-пружинна сталь, закріплених на приводному валу 14. Вал 14 з'єднаний з приводною зірочкою 10

нескінченим ланцюгом 16. Під шкребком 13 передбачений додатковий короб 17 для збору окисних плівок.



**Рис. 2.1 Пристрій для знімання шлаку**

1 – рама; 2 – ланцюг приводний; 3 – лопатки, що несуть; 4 – верхня фігурна направляюча; 5 – нижня фігурна направляюча; 6 – короб; 7 – вісь; 8 – важіль; 9 – ролик; 10 – зірочка приводна; 11 – похила ділянка нижньої фігурної направляючої; 12 – упор; 13 – шкребок; 14 – вал приводний; 15 – пластина; 16 – ланцюг; 17 – короб додатковий

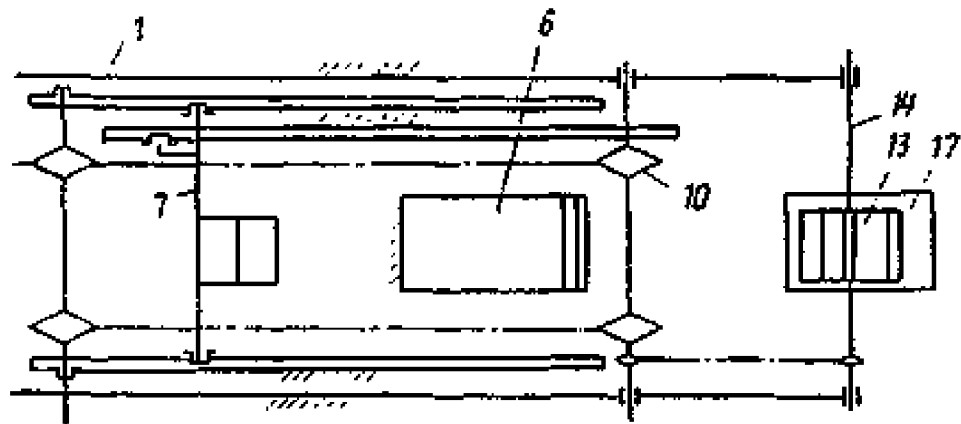
Джерело: розроблено із використанням [6]

Принцип роботи пристрою такий. Обертальний момент від приводу передається на зірочки 10, які обертають нескінченні ланцюги 2 та ланцюг 16. Це забезпечує рух шкребка 13. Ланцюги 2 переміщують осі 7 із прикріпленими лопатками 3, важелями 8 і роликами 9. Ролики 9 пересуваються похилою ділянкою 11 нижньої направляючої, що дозволяє важелям 8 утримувати лопатки 3 у положенні, необхідному для збереження окисної плівки під час їхнього руху навколо приводних зірочок 10.

У момент контакту лопаток 3 із пластинами 15 шкребка 13 пластини очищають їх від плівки, яка потрапляє в додатковий короб 17. Після виходу лопаток 3 із зони дії шкребка вони стикаються з упором 12, що сприяє струшуванню залишків окислу в основний короб 6.

При подальшому русі ланцюгів, ролики 9, котячись по верхній направляючій 4, за допомогою важеля 8 сприяють виходу лопатки 3 з короба 6. У цьому положенні лопатка 3 транспортується у вихідну позицію.

Використання шкребка 13 з гнучкими пластинами забезпечує ефективніше очищення поверхні лопаток, що дозволяє збільшити тривалість безвідмовної роботи пристрою, поліпшити його довговічність та підвищити якість операції зі зняття оксидної плівки. У цілому це сприяє підвищенню надійності та ефективності устаткування.



**Рис. 2.2 Пристрій для знімання шлаку, вигляд зверху  
(позначення по рис. 2.1)**

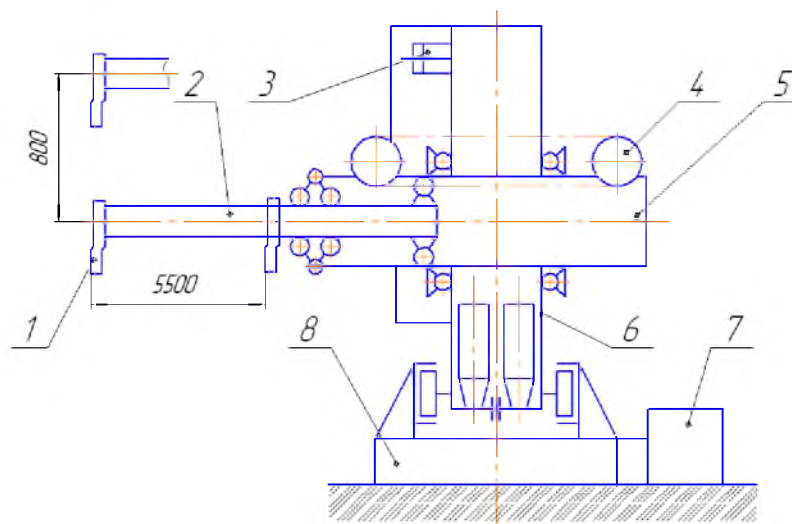
Джерело: розроблено із використанням [6]

Існуючі машини для видалення шлаку з чавуновізних ковшів і міксерів зазвичай є періодичними за принципом дії та відрізняються типами приводів.

До таких машин можна віднести описану вище установку з канатним приводом, яка експлуатується в конвертерному цеху комбінату "АМКР", а

також машини конструкції ВНІМехчермета, оснащені гідравлічними приводами механізмів.

Основною конструктивною частиною машини (рис. 2.3) є станина 1, яка закріплюється на металевій конструкції будівлі, а також поворотна колона 8. Колона може обертатися навколо вертикальної осі на катках 2 за допомогою гідроциліндра, забезпечуючи кут повороту до  $20^\circ$  в обидва боки від середнього положення. Уздовж колони у вертикальному напрямку пересувається каретка 7, що приводиться в рух двома гідроциліндрами 10. Всередині каретки горизонтально рухається стріла 4 на роликах, на кінці якої закріплений гребок 3. Переміщення стріли здійснюється за допомогою ланцюгового приводу з гідравлічними двигунами 6. Машина оснащена маслостанцією 9, а кабіна управління 5 розміщена на поворотній колоні. Під час роботи з шлаком стріла 4 залишається в горизонтальному положенні. Рухом колони, висувним переміщенням стріли, а також регулюванням положення каретки у вертикальній площині забезпечується ефективно скачування шлаку з поверхні чавуну в ковші.



**Рис. 2.3** Машина для скачування шлаку з гідравлічними приводами

1 – шкребок; 2 – штанга; 3 – пульт управління; 4 – двигун гідравлічний;

5 – каретка; 6 – колона поворотна; 7 – маслостанція; 8 – станина

Джерело: розроблено із використанням [6]

Машина конструкції ВНІМехчермета з гідравлічними приводами МСШ-1 має виліт стріли 5,5 метра та здатна видаляти 70-80% шлаку з 140-тонного ковша за 2-3 хвилини. Модель МСШ-2, з вильотом стріли 7 метрів, забезпечує очищення ковшів місткістю до 350 тонн за 8-10 хвилин.

Окрім цього, використовуються машини компанії «Гервін Гольтман» (ФРН), оснащені цільнотягнутою стрілою квадратного перетину, яка рухається за допомогою електропривода зі запобіжною муфтою. Особливістю конструкції є горизонтальне гойдання каретки, яке здійснюється гідроциліндром замість традиційного вертикального переміщення. Поворот колони також виконується за допомогою гідроциліндра.

## **2.2 Пропозиції по досягненню поставленої мети**

Аналіз матеріалів літературно-патентного огляду підтверджує перспективність використання гідравлічних приводів у машинах для викачування шлаку.

Впровадження гідравлічного приводу для переміщення робочого органу (шкребків) сприяє підвищенню зусилля на ньому, що, у свою чергу, дозволяє збільшити його розміри. Це призводить до зростання продуктивності машини та покращує ефективність обробки ковшів.

Використання гідроприводу дає змогу обійтися без складних передавальних механізмів, значно підвищуючи точність зупинки веденої ланки. Точність за такого підходу в десятки разів перевищує точність механізмів, обладнаних електроприводом.

Машини безперервної дії демонструють вищу продуктивність у порівнянні з машинами періодичної дії, оскільки у їхній роботі відсутній холостий хід робочого органу.

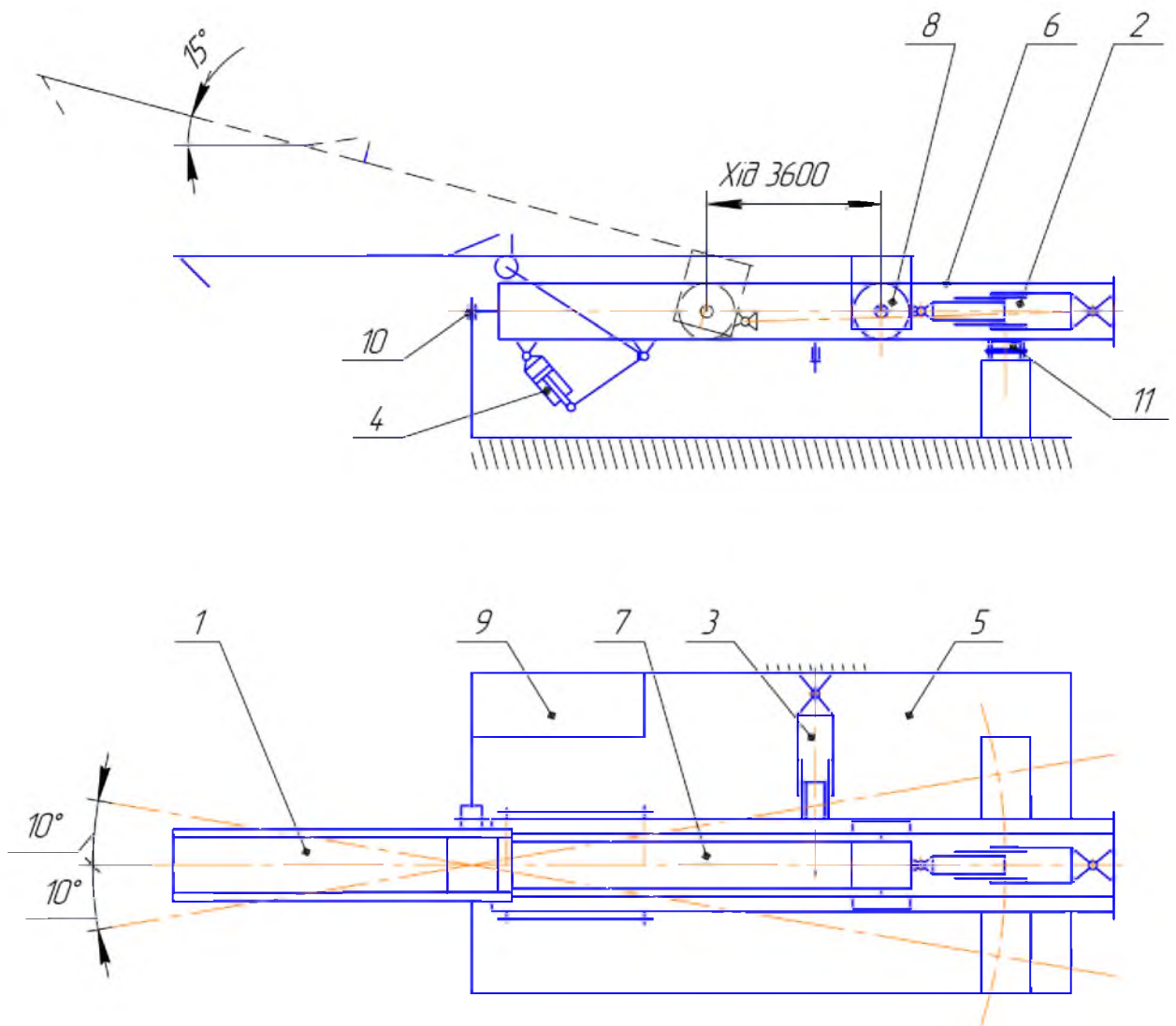
На основі зазначених переваг пропонується виконати модернізацію пристрою, втіливши такі рішення:

- замінити електромеханічний привід робочого органу на гідравлічний;
- створити робочий орган відповідно до технічного рішення, описаного в патенті [6], тобто у вигляді шкребків, закріплених на двох рухомих нескінченних ланцюгах. Ця конструкція дозволить реалізувати принцип безперервної дії машини. Підйом і поворот стріли разом із робочим органом варто також здійснювати за допомогою гідравлічних приводів.

Запропонована конструкція модернізованої машини включає такі основні вузли та механізми:

- механізм викачування шлаку;
- гідроциліндр переміщення стріли;
- гідроциліндр повороту балки;
- гідроциліндр нахилу стріли;
- станина;
- поворотна балка;
- стріла;
- каретка стріли;
- насосна установка.

Загальний вигляд модернізованої машини наведено на рисунку 2.4.



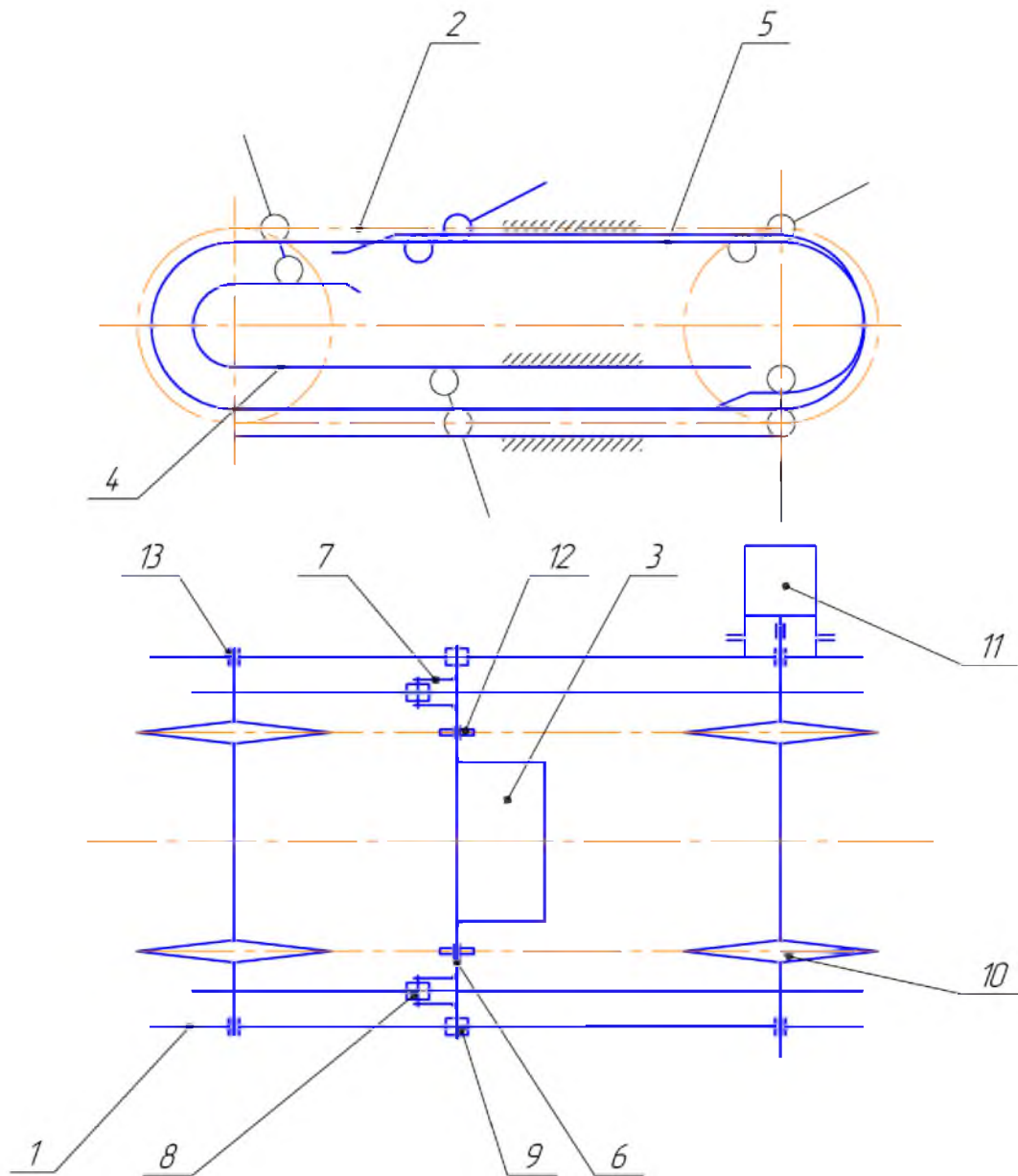
**Рис. 2.4** Загальна будова модернізованої машини для викачування шлаку

- 1 – механізм викачування шлаку; 2 – гідроциліндр переміщення стріли;  
 3 – гідроциліндр повороту балки; 4 – гідроциліндр нахилу стріли;  
 5 – станина; 6 – поворотна балка; 7 – стріла; 8 – каретка стріли;  
 9 – насосна установка; 10 – вісь повороту балки; 11 – ролик

Джерело: розроблено автором

Механізм видалення шлаку виконаний у вигляді окремого модуля, оснащеного власним приводом і закріпленого на стрілі за допомогою

болтового з'єднання. Кінематична схема цього механізму зображена на рисунку 2.5.



**Рис. 2.5 Кінематична схема механізму викачування шлаку**

1 – рама; 2 – ланцюг; 3 – шкребок; 4 – нижня фігурна направляюча;  
 5 – нижня фігурна направляюча; 6 – вісь шкребка; 7 – важіль; 8 – ролик  
 важеля; 9 – ролик вісі шкребка; 10 – зірочка приводна; 11 – гідромотор;  
 12 – вузол кріплення вісі шкребка до ланцюга; 13 – підшипник валу зірочок

Джерело: розроблено автором

Крутний момент від гідромотора 11 передається на пару приводних зірочок, які встановлені на валу. Вали із зірочками розміщені на рамі 1 за допомогою підшипників 13. До осі шкребка жорстко прикріплено сам шкребок 3 та важіль 7. На кінці важеля 7 розташований ролик 8, який взаємодіє з профільованими направляючими 4 і 5. Крім того, вісь шкребка оснащена роликами 9, які рухаються по поверхні рами 1. У конструкції передбачено два шкребки, розташовані опозитно один до одного.

Принцип роботи механізму ґрунтується на наступному. Рух ланцюга через кріпильні вузли 12 забезпечує переміщення шкребків. Їх положення (кут нахилу) визначається формою профільованих направляючих, що взаємодіють із роликами 8. Конфігурація направляючих підібрана таким чином, щоб створити оптимальний кут нахилу для захоплення та переміщення шлакової маси за межі ковша. У цьому процесі шкребки піднімаються вертикально, здійснюючи вивантаження шлаку в шлакову чашу. Важливо, що під час підняття шкребок проходить над краєм ковша, не зачіпаючи його.

Після цього шкребок піднімається на верхню частину ланцюга у вертикальному положенні. На горизонтальній ділянці ланцюга його положення забезпечує можливість переміщення без зіткнення з іншими компонентами та елементами механізму. Досягнувши непривідної зірочки, положення шкребка змінюється: він вертикально занурюється в шар шлаку, після чого повертається під кут, оптимальний для виконання процесу викачування. Оскільки механізм оснащений двома шкребками, під час роботи один із них здійснює процес викачування, тоді як другий перебуває у фазі зворотного переміщення (холостого ходу) вздовж верхньої частини ланцюга. Таким чином, один із шкребків завжди виконує робочу функцію, а інший здійснює холостий хід.

Гідравлічний привід шкребків забезпечує можливість плавного регулювання швидкості їх переміщення, що дозволяє обирати найоптимальніший режим процесу викачування.

Цей привід відзначається компактністю, малоінерційністю і дозволяє одночасно приводити всі механізми машини в дію від однієї маслостанції.

У цьому проєкті всі допоміжні рухи робочого органу реалізуються з використанням гідроциліндрів.

Поворотна балка (поз. 6), у направляючих якої на роликах переміщується каретка (поз. 8), закріплена на станині за допомогою осі (поз. 10) і ролика (поз. 11). Гідроциліндр повороту (поз. 3) забезпечує можливість повертати балку на кут  $\pm 10^\circ$ .

На каретці 8 нерухомо закріплено стрілу 7, яка оснащена механізмом викачування шлаку 1. Переміщення каретки 8 забезпечується довгоходовим телескопічним гідроциліндром 2.

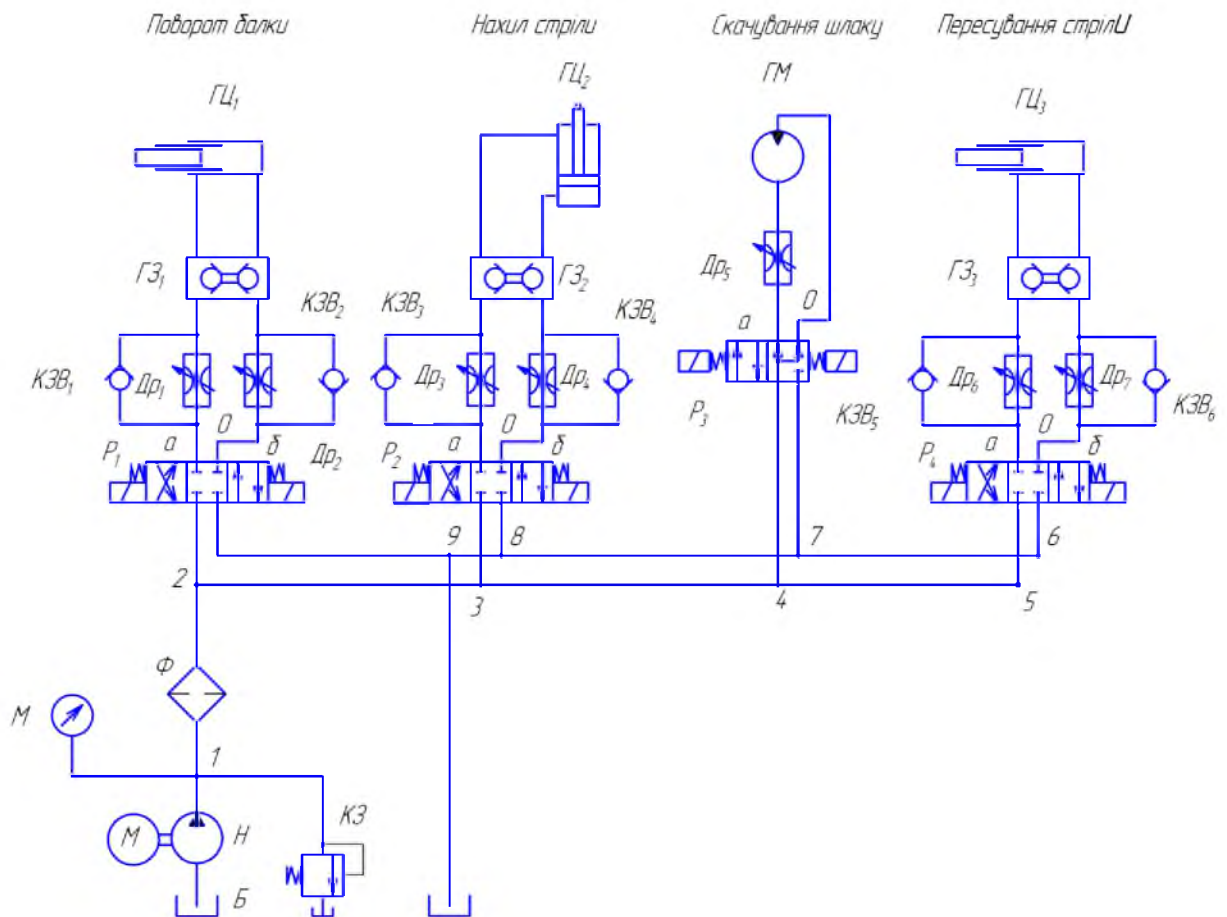
Зміна кута нахилу стріли виконується через гідроциліндр 4, що передає рух за допомогою важеля. Вісь обертання важеля та гідроциліндр шарнірно закріплені в нижній частині поворотної балки, дозволяючи їм рухатися разом із балкою в горизонтальній площині.

Процес роботи машини відбувається таким чином. Чавуновізний ківш нахиляють за допомогою заливального крана, досягаючи положення, при якому рівень дзеркала шлаку опиняється на краю ковша. Працюючий механізм викачування разом зі стрілою поступово опускають у шлак, розпочинаючи процес його видалення. За необхідності під час роботи змінюють кут нахилу та повороту стріли без перерви викачування.

Гідравлічна схема машини представлена на рисунку 2.6.

У випадку, коли обмотки електромагнітів гідророзподільників залишаються знеструмленими, золотники перебувають у положенні "0". У цьому стані робоча рідина, що подається насосом Н із бака Б під тиском, скидається через запобіжний клапан КЗ назад у бак.

При подачі електричного струму до лівої обмотки золотники переходять у положення "б". У цьому випадку робоча рідина від насоса через гідролінії, гідророзподільники Р, дроселі Др і гідрозамки ГЗ надходить до порожнин гідроциліндрів ГЦ. З другої порожнини гідроциліндрів рідина витісняється поршнем і через клапани КЗВ скидається в бак. Постачання рідини до порожнини гідромотора ГМ здійснюється через гідророзподільник Р3 і дросель Др5, після чого відпрацьована рідина зливається в бак. Реверсування гідромотора не передбачено.



**Рис. 2.6** Гідравлічна схема механізму виштовхування

М – електродвигун; Б – бак; Н – насос; КЗ – клапан запобіжний;

М – манометр; Ф – фільтр тонкого очищення; Р – гідророзподільники | електророзподільники; Др – дроселі; КЗВ – клапани зворотні; ГЦ – гідроциліндри;

ГЗ – гідрозамки; ГМ - гідромотор

Джерело: розроблено автором

При подачі електричного струму до правої обмотки золотники встановлюються в положення "а". У цьому випадку робоча рідина через гідролінію управління і гідророзподільник спрямовується до інших порожнин гідроциліндрів, а рідина, що витісняється з попередніх порожнин, проходить через клапани КЗВ та гідророзподільник і скидається в бак.

Дроселі Др використовуються для регулювання швидкості висування поршнів і частоти обертання гідромотора. Гідрозамки ГЗ запобігають переміщенню штоків гідроциліндрів під дією зовнішніх сил.

Гідравлічні машини характеризуються стійкістю до перевантажень, малою інерційністю і здатністю розвивати значні зусилля без помітного збільшення їхньої маси.

## 2.3 Аналітичні розрахунки

### 2.3.1 Розрахунок навантажень і визначення вихідних даних

1. Швидкість скребков,  $v = 0,35 \div 1,0 \text{ м / с}$ .

2. Розміри робочої частини скребка:

– ширина,  $a = 0,5 \text{ м}$ ;

– висота,  $b = 0,2 \text{ м}$ .

3. Зусилля на робочому органі.

Представляємо розплавлений шлак як рідину, тоді опір руху тіла (шкребка) буде пропорційно квадрату його швидкості [7], тобто

$$P_m = -kF\rho \frac{v^2}{2} = -2,0 \cdot 0,1 \cdot 2000 \frac{1,0^2}{2} = -200 \text{ Н}. \quad (2.1)$$

де  $k$  – коефіцієнт характеризує форму тіла (для добре обтічних тіл  $k = 0,03 \div 0,05$ , для погано обтічних  $k = 1,0 \div 2,0$ ), у нашому випадку шкрябань є пластиною невелику, що має стрілку прогинання ( $5 \div 10\%$  довжини пластини) і направлену увігнутою стороною вперед, тобто погано обтічне тіло, приймаємо  $k = 2$ ;  
 $F$  – площа робочої частини шкребка,  $F = a \cdot b = 0,5 \cdot 0,2 = 0,1 \text{ м}^2$ ;  
 $\rho$  – щільність розплавленого шлаку,  $\rho = 1800 \div 2000 \text{ кг / м}^3$  [8];  
 $v$  – максимальна швидкість скребка в період викачування шлаку  
 $v = 1,0 \text{ м / с}$ .

Сенс формули (2.1) полягає в тому, що під час руху тіла енергія, витрачена через опір середовища, використовується не на тертя між різними шарами рідини, а на надання кінетичної енергії рідині, яка змушена переміщатися, щоб розступитися і пропустити тіло [1].

На поверхні шлаку утворюється шлакова кірка різної товщини, що створює додатковий опір руху шкребка.

Орієнтовно приймаємо коефіцієнт додаткового опору рівним 10.

Максимальне зусилля на робочому органі визначається шляхом аналізу умов експлуатації.

$$P = P_m k_k = 200 \cdot 10 = 2000 \text{ Н} = 2,0 \text{ кН}. \quad (2.2)$$

4. Швидкість каретки при установці стріли з механізмом викачування

$$v_k = 0,5 \text{ м / с}.$$

3. Зусилля, необхідне для переміщення каретки із стрілою і робочим органом в період викачування шлаку,  $P_k = 1,1P = 1,1 \cdot 2,0 = 2,2 \text{ кН}$ .

4. Лінійна швидкість балки над опорним роликком при повороті

5. Зусилля необхідне для повороту балки розрахуємо по потужності електродвигуна механізму повороту до модернізації

$$P_n = \frac{N_n v_k}{\eta_n} = \frac{2,2 \cdot 0,1}{0,9} = 19,8 \text{ кН}, \quad (2.3)$$

де  $N_n$  – потужність електродвигуна механізму повороту,  $N_n = 2,2 \text{ кВт}$ ;

$v_k$  – швидкість каната,  $v_k = 0,1 \text{ м/с}$ ;

$\eta_n$  – к.к.д. передачі (два циліндрові редуктори, канатний барабан і блоки),  
 $\eta_n = 0,9$ .

5. Швидкість зміни кута нахилу стріли  $\omega_{стр} = 5 \text{ град/с}$ .

Для визначення розмірів гідроциліндрів вибираються стандартні моделі для зміни кута нахилу стріли та повороту балки. Разом з цим розробляється конструкція довгохідного телескопічного гідроциліндра для пересування каретки. Такий циліндр є двохступеневим і виконується з подвійною дією.

Конструктивно він складається з гільзи та двох рухомих поршнів. Далі проводиться розрахунок зовнішніх діаметрів і робочих довжин поршнів для забезпечення необхідних характеристик роботи.

– поршень № 2,  $l_{n2} = 1800 \text{ мм}$ .

$$d_{n2n} = \sqrt{\frac{4P}{\pi p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,2 \cdot 10^{-3}}{\pi 10}} = 0,032 \text{ м}, \quad (2.4)$$

де  $p$  – тиск насоса,  $p = 10 \text{ МПа}$ .

Приймаємо  $d_{n2n} = 30 \text{ мм}$ .

– поршень № 1,  $d_{m1n} = 60 \text{ мм}$ ,  $l_{m1} = 1800 \text{ мм}$ .

Початкові дані для розрахунку

– хід штока гідроциліндра,  $l = 3600 \text{ мм}$ ;

– максимальне зусилля,  $P = 2,2 \text{ кН}$ ;

– зовнішній діаметр гідроциліндру,  $d_{з.н.} = 80 \text{ мм}$ ;

– швидкість переміщення штока гідроциліндру,  $v = 0,5 \text{ м/хв}$ .

Необхідна розрахункова витрата масла при висуненні поршнів

$$Q_p = \frac{v\pi d_{n2n}^2}{4} = \frac{\pi 0,5 \cdot 0,06^2}{4} = 0,000628 \text{ м}^3 / \text{хв} = 6,28 \text{ л/хв}. \quad (2.5)$$

Вибираємо шестеренний насос типу НМШ–0,03, який має необхідну продуктивність при розрахунковому тиску [9].

Номінальний тиск, МПа	10,0
Робочий об'єм, см <sup>3</sup>	30
Номінальна подача, л/хв	50
Частота обертання валу, об/хв	1480

### 2.3.2 Розрахунок потужності приводу

Потужність двигуна для приводу скребка

$$N = \frac{Pv}{\eta} = \frac{2 \cdot 1,0}{0,94} = 2,13 \text{ Вт}, \quad (2.6)$$

де  $\eta$  – к.п.д. ланцюгової передачі,  $\eta = 0,94$ .

Обираємо гідромотор типу МР-Ф-0,16/10, призначений для використання як привід обертового руху в різних машинах і механізмах, де виникає потреба у створенні великих крутних моментів при невеликій частоті обертання [9]. Гідромотори цієї моделі підтримують можливість реверсування обертання за рахунок зміни напрямку потоку робочої рідини на вході та дозволяють плавне регулювання швидкості шляхом дроселювання потоку. Пристрій має наступну технічну характеристику.

– номінальний момент, що крутить,  $m_{zm} = 1,2 \text{ кНм}$ ;

- номінальний тиск,  $p_{\text{змн}} = 10 \text{ кНм}$ ;
- частота обертання гідромотора максимальна,  $n_{\text{з.м}} = 50,4 \text{ об/хв}$ ;
- кутова швидкість гідромотора максимальна,  $\omega_{\text{зм}} = \frac{\pi n_{\text{з.м}}}{30} = \frac{\pi 50,4}{30} = 5,3 \text{ с}^{-1}$ ;
- номінальна витрата,  $\eta_{\text{з.моб}} = 0,91$ ;
- корисна потужність  $N_{\text{зм}} = 5,9 \text{ кВт}$ ;
- об'ємний к.п.д.,  $\eta_{\text{з.моб}} = 0,91$ ;
- ефективний к.п.д.,  $\eta_{\text{змэ}} = 0,86$ ;
- маса,  $m = 90 \text{ кг}$ .

Тоді розрахункова потужність електродвигуна насосу [12]

$$N_p = \frac{pQ}{60\eta} = \frac{10 \cdot 50}{60 \cdot 0,95} = 8,77 \text{ кВт}, \quad (2.7)$$

де  $\eta$  – к.к.д. гідроприводу  $\eta = 0,95$ ;

Приймаємо електродвигун змінного струму типу АІММ 132М2, технічна характеристика якого приведена в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

#### Технічна характеристика електродвигуна типу АІММ 132М2

Параметр	Значення параметра
Потужність, кВт	11
Напруга, В	380
Частота обертання, об/хв	1500

Джерело: розроблено автором

Номінальний момент вибраного двигуна

$$M_n = \frac{N_{\text{дв}}}{\omega} = \frac{11}{157} = 0,07 \text{ кНм}, \quad (2.8)$$

де  $\omega$  – кутова швидкість обертання електродвигуна

$$\omega = \frac{\pi n}{30} = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} = 157 \text{ с}^{-1}. \quad (2.9)$$

### 2.3.3 Силевий і кінематичний аналіз механізму

Разрахуємо зусилля, необхідне для зміни кута нахилу стріли (рис. 2.7)

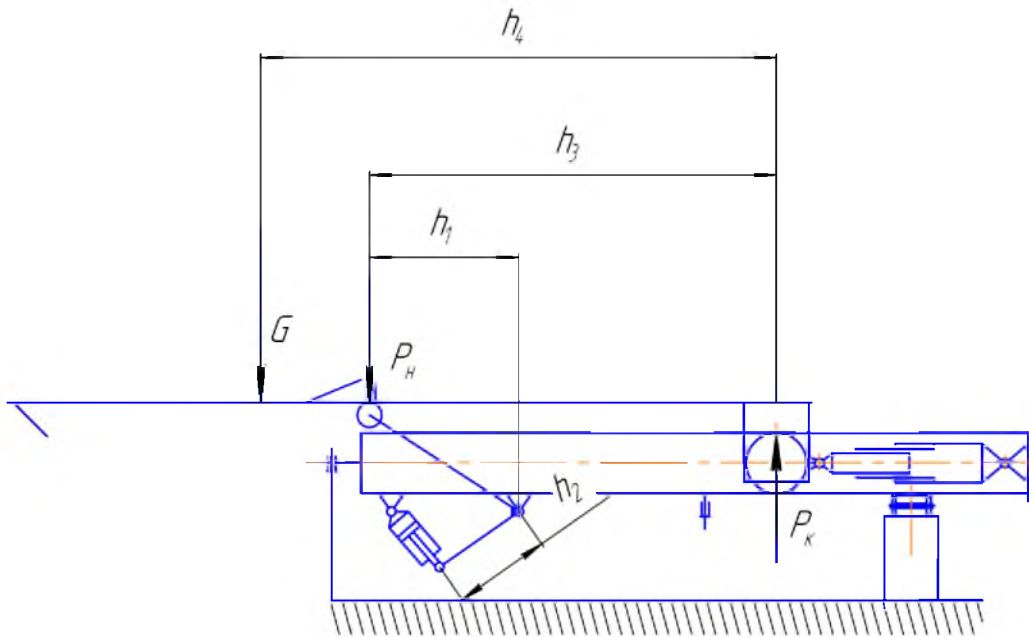
Сила, яка діє на ричаг зі сторони стріли

$$P = \frac{Gh_4}{h_3} = \frac{12 \cdot 2,9}{1,2} = 29 \text{ кН}, \quad (2.10)$$

де  $G$  – вага стріли,  $G = 12 \text{ кН}$ .

Зусилля, необхідне для зміни кута нахилу стріли

$$P_{\text{зч}} = \frac{P_n h_1}{h_2} = \frac{29 \cdot 1,2}{0,5} = 69,6 \text{ кН}. \quad (2.11)$$



**Рис. 2.7** Схема розрахунку зусилля на гідроциліндрі нахилу стріли

Джерело: розроблено автором

### 2.3.4 Розрахунок ланцюгової передачі механізму скачування

Початкові дані до розрахунку:

1. Момент на приводному валу гідромотора  $m_{зм} = 1,2$  кНм
2. Частота обертання гідромотора,  $n_{з.м} = 50,4$  об/хв;
3. Кутова швидкість обертання гідромотора,  $\omega = 5,3$  с<sup>-1</sup>.
2. Швидкість ланцюга  $v = 1,0$  м/с.

Обираємо роликовий тяговий пластинчастий ланцюг відповідно до ГОСТ 588-87 [10].

Розрахунок виконується згідно з методикою, викладеною у джерелі [11]. Кількість зубців зірочок визначаємо на основі рекомендованих значень.

Результуючий коефіцієнт експлуатації

$$K_e = k_d k_A k_n k_c k_p k_n = 2,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 \cdot 1,25 \cdot 1,5 = 5,625, \quad (2.12)$$

де  $k_d$  – динамічний коефіцієнт, залежний від коливань навантаження, при

ударному навантаженню шлакової кірки, що виникає при руйнуванні,

приймаємо  $k_d = 2$ ;

$k_A$  – коефіцієнт, що враховує міжосьову відстань, заздалегідь

приймаємо  $k_A = 1,0$ ;

$k_n$  – коефіцієнт, що відображає вплив кута нахилу лінії центрів до

горизонту, оскільки кут передачі, що розраховується, не перевищує

$60^\circ$

$k_n = 1,0$ ;

$k_c$  – коефіцієнт, що враховує спосіб мастила ланцюга, при

періодичному мастилу  $k_c = 1,5$ ;

$k_p$  – коефіцієнт, що враховує спосіб натягнення ланцюга, при

періодичному натягненні  $k_p = 1,25$ ;

$k_n$  – коефіцієнт, що враховує тривалість роботи механізму

у перебігу доби, при триміній роботі  $k_n = 1,5$ .

По частоті обертання валу зірочок вибираємо роликівий ланцюг М20 з кроком  $t = 63$  мм, і руйнуючим навантаженням  $P_{раз} = 20$  кН.

Фактичне навантаження на один ланцюг з урахуванням експлуатаційного коефіцієнта

$$P_{\phi} = \frac{PK_e}{n_{\phi}} = \frac{2,0 \cdot 5,625}{2} \approx 5,6 \text{ кН} \leq P_{раз} = 20 \text{ кН}. \quad (2.13)$$

Отже, вибраний ланцюг задовольняє умові міцності.

Геометричні розміри зірочок (рис.2.8):

1. Діаметр елемента зачеплення ланцюгів  $D_{\phi} = d_3 = 12,5$  мм.

2. Геометрична характеристика зачеплення  $\lambda = \frac{t}{D} = \frac{63}{12,5} = 5,04$ .

3. Крок зуб'їв зірочки  $t_z = t = 63$  мм.

4. Число зуб'їв зірочки для тягових і транспортерних ланцюгів  $z \geq 6$ , призначаємо  $z = 14$ .

5. Діаметр ділительного кола

$$\text{у кроках } d_t = \operatorname{cosec} \frac{180^\circ}{z};$$

$$\text{у мм } d_\partial = d_t t = 4,4939 \cdot 63 = 283,12 \text{ мм.}$$

6. Діаметр зовнішнього кола

$$D_e = tK_z + (1,2 \div 1,6)h_1 = 63 \cdot 4,38 + 1,3 \cdot 16 = 296,7 \text{ мм}, \quad (2.14)$$

де  $h_1$  – відстань від вісі шарніра до полиці спеціальної пластини

$$h_1 = 16 \text{ мм};$$

$K_z$  – коефіцієнт числа зуб'їв, для  $z = 14$   $K_z = 4,38$ ;

$1,2 \div 1,6$  – коефіцієнт, який збільшує пропорційно

збільшенню числа зуб'їв інтерполяцією в інтервалі

$5 \leq z \leq 60$ , для коефіцієнт рівний 1,3.

7. Діаметр кола западин, для транспортерних ланцюгів

$$D_i = d_\partial - (D_y + 0,175\sqrt{d_\partial}) = 296,7 - (12,5 + 0,175\sqrt{283,12}) = 281,1 \text{ мм.} \quad (2.15)$$

8. Зсув центрів дуг западин

$$e_{\min} = 0,01t = 0,01 \cdot 63 = 0,63 \text{ мм}, \quad e_{\max} = 0,05t = 0,05 \cdot 63 = 3,15 \text{ мм.} \quad (2.16)$$

9. Радіус западини зуб'їв, для транспортерних ланцюгів

$$r = 0,5(D_y - 0,05t) = 0,5(12,5 - 0,05 \cdot 63) = 4,7 \text{ мм.} \quad (2.17)$$

10. Половина кута загострення зуба, для транспортерних ланцюгів  $\gamma = 13 \div 20^\circ$ .

11. Кут западини зуба, при  $z = 14$   $\beta = 60^\circ$ .

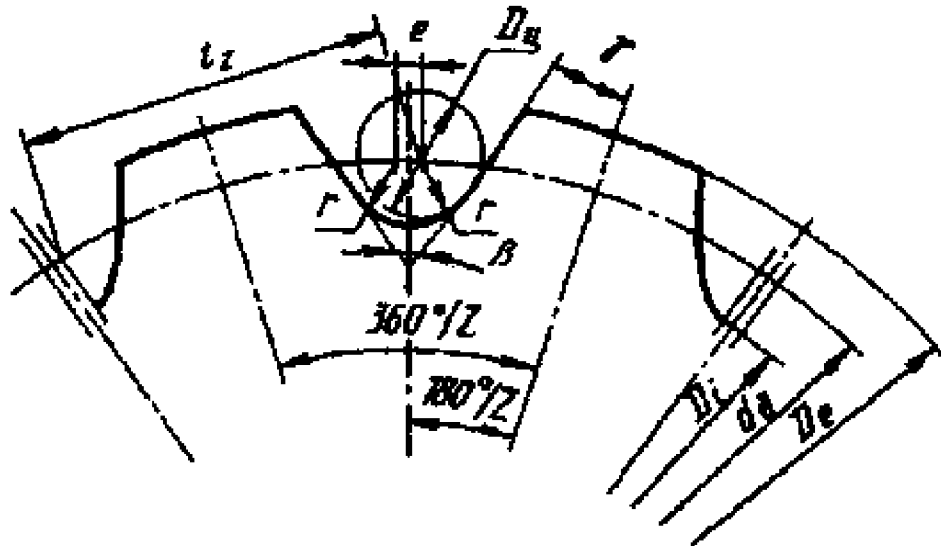


Рис. 2.8 Геометричні розміри зірочок

Джерело: розроблено автором

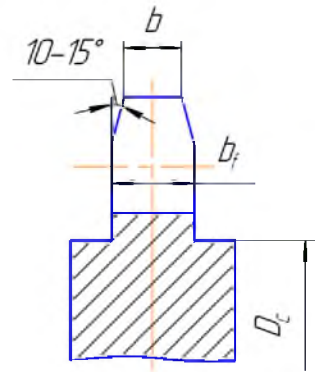
Геометричні розміри зуб'їв зірочок (рис.2.9):

1. Ширина зуба зірочки  $b_{fmax} = 0,9b_3 - 1 = 0,9 \cdot 15 - 1 = 12,5$  мм,

$$b_{fmin} = 0,87b_3 - 1,7 = 0,87 \cdot 15 - 1,7 = 9,9 \text{ мм}, \quad (2.18)$$

приймаємо середнє значення  $b_f = \frac{12,5 + 9,9}{2} = 11,2$  мм.

2. Ширина вершини зуба  $b = 0,75b_f = 0,7 \cdot 11,2 = 7,8$  мм.



**Рис. 2.9** Геометричні розміри бокової поверхні зірочок

Джерело: розроблено автором

3. Діаметр венцю  $D_c = tK_z - 1,3h = 63 \cdot 4,38 - 18 = 257,9$  мм.

Міжвісіва відстань  $A = 50t = 50 \cdot 63 = 3150$  мм.

Довжина ланцюга у кроках  $L_t = \frac{L}{t} = 2A_t + 0,5z_c = 2 \cdot 50 + 0,5 \cdot 28 = 114$ ,

де  $A_t = \frac{A}{t} = \frac{3150}{63} = 50$ ;

$z_c = z_1 + z_2 = 14 + 14 = 28$ .

Розрахункова довжина ланцюга  $L = L_t t = 114 \cdot 63 = 7182$  мм.

Швидкість ланцюга  $v = \omega \frac{d_o}{2} = 5,3 \frac{283,12 \cdot 10^{-3}}{2} = 0,75$  м/с.

### 2.3.5 Розрахунок підшипників приводного валу зірочок

Згідно конструкції вибираємо роликпідшипник двурядний сферичний, тип 3514, вантажопідйомність якого висока і має можливість компенсувати перекося валу.

Розрахуємо довговічність підшипників приводного валу зірочок

$$L_h = \frac{10^6}{60n} \left( \frac{C}{P} \right)^p = \frac{10^6}{60 \cdot 50,4} \left( \frac{26500}{2625} \right)^{\frac{10}{3}} = 34023 \text{ год}; \quad (2.19)$$

де  $C$  – каталожна динамічна вантажопідйомність підшипника, для підшипника 3514  $C = 26500 \text{ H}$ ;

$p$  – статичний показчик, для роликотпідшипників,  $p = 10/3$ ;

$P$  – еквівалентне розрахункове навантаження на підшипник

$$P = (XVF_r + YF_a)K_\sigma K_m = 1000 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2,5 \cdot 1,05 = 2625 \text{ H}; \quad (2.20)$$

$X$  – коефіцієнт радіального навантаження,  $X = 1,0$ ;

$V$  – коефіцієнт обертання, при обертанні внутрішнього кільця щодо напрямку навантаження,  $V = 1,0$ ;

$F_r$  – радіальне навантаження на підшипник,  $F_r = 1000 \text{ H}$ ;

$K_\sigma$  – коефіцієнт безпеки,  $K_\sigma = 2,5$ ;

$K_m$  – температурний коефіцієнт,  $K_m = 1,05$ .

Розрахунок довговічності показує, про те що термін служби підшипників ( $L_h = 34023 \text{ год}$ ) практично рівний вимогам, до терміну що висуваються серед служби редукторів загального призначення ( $L_h = 36000 \text{ год}$ ).

### 2.3.6 Розрахунки і вибір муфт

Для передачі крутного моменту використовуються зубчасті муфти, які мають значні переваги, що обумовлюють їхнє широке застосування, зокрема в металургійному обладнанні.

Серед цих переваг можна виділити:

- високу несучу здатність і надійність при компактних розмірах завдяки великій кількості зубів, які одночасно працюють;

- технологічність, забезпечену сучасними високопродуктивними методами нарізання зубів;
- здатність компенсувати лінійні та кутові відхилення розташування сполучених валів;
- можливість роботи на високих частотах обертання.

Вибір муфти здійснюється виходячи з розрахункового моменту [12].  
Розрахунковий момент муфти визначений для валу електродвигуна.

$$M_p = K_k M_{ном} = 3,5 \cdot 0,07 = 0,245 \text{ кНм}; \quad (2.21)$$

де  $K_k$  –коefficient запасу, для приводів машин з динамічними навантаженнями,  $K_k = 3,5$ .

Муфти вибираємо по довіднику виходячи з умови  $M_p \leq M_{макс}$ .

Обираємо зубчасту муфту №1, розраховану на передачу максимального крутного моменту  $M_{макс} = 0,7 \text{ кНм}$ .

Умова вибору муфти виконується, оскільки

$$M_p = 0,245 \text{ кНм} < M_{макс} = 0,7 \text{ кНм}. \quad (2.22)$$

### 2.3.7 Розрахунки і вибір елементів гідравлічної схеми

Усі компоненти схеми, за винятком телескопічного гідроциліндра для переміщення каретки, є стандартними й обираються відповідно до необхідних параметрів гідросистеми. До таких параметрів належать тиск, швидкість руху робочої рідини через трубопроводи, витрата, чистота масла та температура навколишнього середовища [14].

Розглянемо діаметр всмоктувальних трубопроводів до насоса.

$$d_s = 2\sqrt{\frac{Q_n}{60\pi v_s}} = 2\sqrt{\frac{50,4 \cdot 10^{-3}}{60\pi 1,6}} = 0,024 \text{ м}, \quad (2.23)$$

де  $v_s$  – швидкість робочої рідини, що рекомендується, у всмоктуючих трубопроводах насосів,  $v_s = 1,6 \text{ м/с}$ .

Приймаємо  $d_s = 25 \text{ мм}$ .

Визначимо діаметр нагнітального трубопроводу після насоса

$$d_n = 2\sqrt{\frac{Q_n}{60\pi v_n}} = 2\sqrt{\frac{50,4 \cdot 10^{-3}}{60\pi 5}} = 0,015 \text{ м}, \quad (2.24)$$

де  $v_n$  – швидкість робочої рідини, що рекомендується, в нагнітачах трубопроводах, при  $p = 10 \text{ МПа}$ ,  $v_n = 5 \text{ м/с}$ .

Приймаємо  $d_n = 20 \text{ мм}$ .

Визначимо діаметр зливних трубопроводів

$$d_c = 2\sqrt{\frac{Q_n}{60\pi v_c}} = 2\sqrt{\frac{50,4 \cdot 10^{-3}}{60\pi 2,0}} = 0,023 \text{ м}, \quad (2.25)$$

де  $v_c$  – швидкість робочої рідини, що рекомендується, в зливних трубопроводах,  $v_c = 2 \text{ м/с}$ .

Приймаємо  $d_c = 25 \text{ мм}$ .

Вибрані компоненти гідравлічного обладнання [9, 13–15].

1. Шестеренний насос НМШ–0,03:

- Номінальний тиск, МПа: 10,0
- Робочий об'єм, см<sup>3</sup>: 30
- Номінальна подача, л/хв: (не зазначено)
- Частота обертання, об/хв: 1480

- Маса, кг: 21,2
2. Гідромотор типу МР–Ф–0,16/10:
- Номінальний крутний момент, кН·м: 1,2
  - Номінальний тиск, МПа: 10
  - Максимальна частота обертання, об/хв: 50,4
  - Максимальна кутова швидкість, с<sup>-1</sup>: 5,3
  - Корисна потужність, кВт: 5,9
  - Об'ємний коефіцієнт корисної дії (ККД): 0,91
  - Ефективний ККД: 0,86
  - Маса, кг: 90
3. Гідророзподільник Г73 – 14А:
- Робочий тиск, МПа: 20
  - Номінальна витрата масла, л/хв: 80
  - Діаметр умовного проходу, мм: 30
4. Запобіжний клапан БГ52 – 14:
- Робочий тиск, МПа: 20
  - Витрата рідини, л/хв: 100
  - Діаметр умовного проходу, мм: 40
5. Фільтр напірний ГОСТ 16026-80:
- Номінальний тиск, МПа: 20
  - Номінальна витрата, л/хв: 100
  - Діаметр умовного проходу, мм: 40
6. Зворотний клапан М-КО-32/320:
- Номінальний тиск, МПа: 32
  - Номінальна витрата, л/хв: 320

- Діаметр умовного проходу, мм: 32
- 7. Гідроциліндр типу БУ – 0600 – 00:
  - Хід штоку, мм: 650
  - Діаметр поршня, мм: 90
  - Зусилля при тиску 10 МПа, кН: 63,5
- 8. Гідроциліндр телескопічний типу 53Б – 8603010:
  - Загальний хід, мм: 1800
  - Діаметр найменшого поршня, мм: 65
  - Зусилля при тиску 10 МПа, кН: 33,2

### 2.3.8 Розрахунок ємкості бака для робочої рідини

Згідно рекомендаціям [13] ємкість бака приймається рівною продуктивності насоса за 3 хвилини роботи.

$$V_{\sigma} = 3Q_n = 3 \cdot 50 = 150 \text{ л} = 0,150 \text{ м}^3. \quad (2.26)$$

Тепловий розрахунок гідросистеми і визначення розмірів маслобаку вироблюваний по методиці [12].

Причиною розігрівання масла є втрати потужності (кВт) в гідроприводі

$$N = \frac{p_n Q_n \tau_m}{60 \eta \tau_{\eta}} = \frac{10 \cdot 45 \cdot 10}{60 \cdot 0,95 \cdot 20} = 3,9 \text{ кВт}; \quad (2.27)$$

де  $p_n$  – номінальний тиск насоса,  $p_n = 10 \text{ МПа}$ ;

$Q_n$  – витрата рідини насосу,  $Q_n \approx 45 \text{ л/хв}$ ;

$\eta$  – к.к.д. насоса,  $\eta = 0,95$ ;

$\tau_m$  – машинний час роботи машини,  $\tau_m = 10$  хв.;

$\tau_u$  – середня тривалість циклу обробки одного ковша,  $\tau_u = 20$  хв.

Підвищення сталої температури масла в баку ( $^{\circ}\text{C}$ ) над температурою навколишнього середовища.

Для короткочасної роботи гідросистеми

$$\Delta T = T_y - T_0 = \frac{N}{kF} = \frac{3,9 \cdot 10^3}{17,5 \cdot 2,2} = 101,29^{\circ}\text{C}; \quad (2.28)$$

де  $k$  – коефіцієнт теплопередачі,  $k = 17,5 \text{ Вт} / \text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ ;

$F$  – площа поверхні бака,  $F = 2,2 \text{ м}$ ;

$T_y$  – стала температура,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$T_0$  – температура навколишнього середовища  $T_0 = 30^{\circ}\text{C}$ .

Враховуючи температуру навколишнього середовища, температура масла в баку велика.

Для зменшення нагріву можна використовувати два варіанти:

1. Збільшити площу бака.
2. Встановити охолоджувач через який пропускається вода.

Вибираємо варіант з установкою охолоджувача. В цьому випадку коефіцієнт  $k$  збільшується в 10 разів.

$$\Delta T = T_y - T_0 = \frac{N}{kF} = \frac{3,9 \cdot 10^3}{17,5 \cdot 2,2 \cdot 10} = 10,1^{\circ}\text{C}. \quad (2.29)$$

З урахуванням температури навколишнього середовища

$$T_y = \Delta T + T_0 = 10,1 + 30 = 40,1^{\circ}\text{C}. \quad (2.30)$$

Така температура масла в баку допустима, оскільки

$$T_y = 40,1^\circ\text{C} < [T_y] = 55 \div 60^\circ\text{C}. \quad (2.31)$$

### 2.3.9 Розрахунок гідроциліндру

Розрахункова товщина стінки гідроциліндра [14]

$$\delta_p = \frac{pd}{2[\sigma]_p} = \frac{10 \cdot 0,06}{2 \cdot 350} = 0,00857 \text{ м}, \quad (2.32)$$

де  $[\sigma]_p$  – напруга, що допускається на розтягування

$$[\sigma]_p = \frac{\sigma_T}{n} = \frac{700}{2} = 350 \text{ МПа}, \quad (2.33)$$

$\sigma_T$  – межа текучості, для сталі 30ХГСА,  $\sigma_T = 700 \text{ МПа}$ ;

$n$  – коефіцієнт запасу міцності,  $n = 2$ .

Товщина стінки гідроциліндра відповідає умові міцності, оскільки

$$\delta_p = 8,57 \text{ мм} < \delta = 10 \text{ мм}. \quad (2.34)$$

Розрахункова товщина днища гідроциліндра [13]

$$\delta_{p,\delta} = 0,433d \sqrt{\frac{p}{[\sigma]_p}} = 0,433 \cdot 0,06 \sqrt{\frac{10}{350}} = 0,0043 \text{ м}. \quad (2.35)$$

Товщина днища гідроциліндра відповідає умові міцності, оскільки

$$\delta_{p,\delta} = 4,3 \text{ мм} < \delta_\delta = 10 \text{ мм}. \quad (2.36)$$

## Розрахунок гідроциліндра на стійкість

Розрахунок проводимо по методиці [15].

Розрахункова схема гідроциліндра приведена на рис. 2.10.

Ейлерова сила

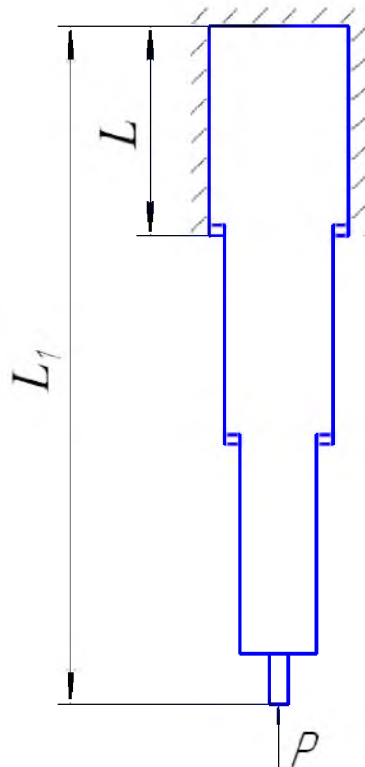
$$T_{э.р} = \frac{k\pi^2 EI}{L^2} = \frac{k\pi^2 E_1 I_1}{L^2} = \frac{0,8862\pi^2 2,04 \cdot 10^5 \cdot 2,7 \cdot 10^{-7}}{6,772^2} = 0,014 \text{ МН} = 14 \text{ кН}, \quad (2.37)$$

де  $k$  – коефіцієнт стійкості, табличний коефіцієнт залежний від

значень відносин  $\beta = \frac{L_1}{L}$  і  $\mu = \frac{E_2 I_2}{E_1 I_1}$ ,

$$\beta = \frac{L_1}{L} = \frac{2200}{5800} = 0,38, \quad (2.38)$$

$$\mu = \frac{E_2 I_2}{E_1 I_1} = \frac{2,04 \cdot 10^5 \cdot 1,37 \cdot 10^{-6}}{2,04 \cdot 10^5 \cdot 2,7 \cdot 10^{-7}} = 5,07, \quad (2.39)$$



**Рис. 2.10 До розрахунку гідроциліндра на стійкість**

$$L = 2200 \text{ мм}; L_1 = 5600 \text{ мм}; P = 2,2 \text{ кН}$$

Джерело: розроблено автором

$E1, E2$  – модуль пружності матеріалу відповідно штока і циліндра для сталі 30ХГСА

$I1, I2$  – осьові моменти осьових перетинів поршня №2 і гільзи відповідно

$$I_1 = \frac{\pi d_{2н}^4}{64} \left( 1 - \frac{d_{2г}^4}{d_{2н}^4} \right) = \frac{\pi 0,05^4}{64} \left( 1 - \frac{0,03^4}{0,05^4} \right) = 2,7 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4; \quad (2.40)$$

$$I_2 = \frac{\pi d_{1н}^4}{64} \left( 1 - \frac{d_{г.н}^4}{d_{1н}^4} \right) = \frac{\pi 0,08^4}{64} \left( 1 - \frac{0,06^4}{0,08^4} \right) = 1,37 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4. \quad (2.41)$$

По таблицях для розрахованих значень  $\beta$  і  $\mu$  вибираємо  $k = 0,8862$ .

Коефіцієнт запасу стійкості при дії на шток подовжньої розрахункової сили

$$n_p = \frac{T_{\text{э.р}}}{T_p} = \frac{14}{2,2} = 6,4. \quad (2.42)$$

Умова стійкості виконується, оскільки  $n_p = 6,4 > [n] = 1,4$ ,

де  $[n]$  – мінімально допустимі коефіцієнт запасу стійкості,  $[n] = 1,4$ .

### 2.3.10 Розрахунок валу зірочок

Перевірочний розрахунок валу здійснюється для оцінки втомної і статичної міцності при одночасному впливі вигину та кручення. Цей розрахунок вважається основним та фінальним етапом.

Оцінка втомної міцності охоплює визначення розрахункових коефіцієнтів запасу міцності у потенційно небезпечних перетинах. Ці перетини попередньо встановлюються на основі аналізу епюр моментів і зон концентрації напружень. Потім отримані коефіцієнти порівнюються зі значенням допустимого коефіцієнта запасу міцності.

У процесі розрахунків передбачається, що напруга вигину змінюється за симетричним знакозмінним циклом, а напруга кручення – за віднульовим циклом. Віднульовий цикл для напруги кручення обирається з огляду на те, що більшість валів передають змінні за величиною обертові моменти, які зберігають постійний напрямок.

Для виготовлення валу використовується сталь 45, термічно покращена, із відповідними характеристиками.

– тимчасовий опір розриву,  $\sigma_g = 750 \text{ МПа}$ ;

– межа текучості,  $\sigma_T = 390 \text{ МПа}$ ;

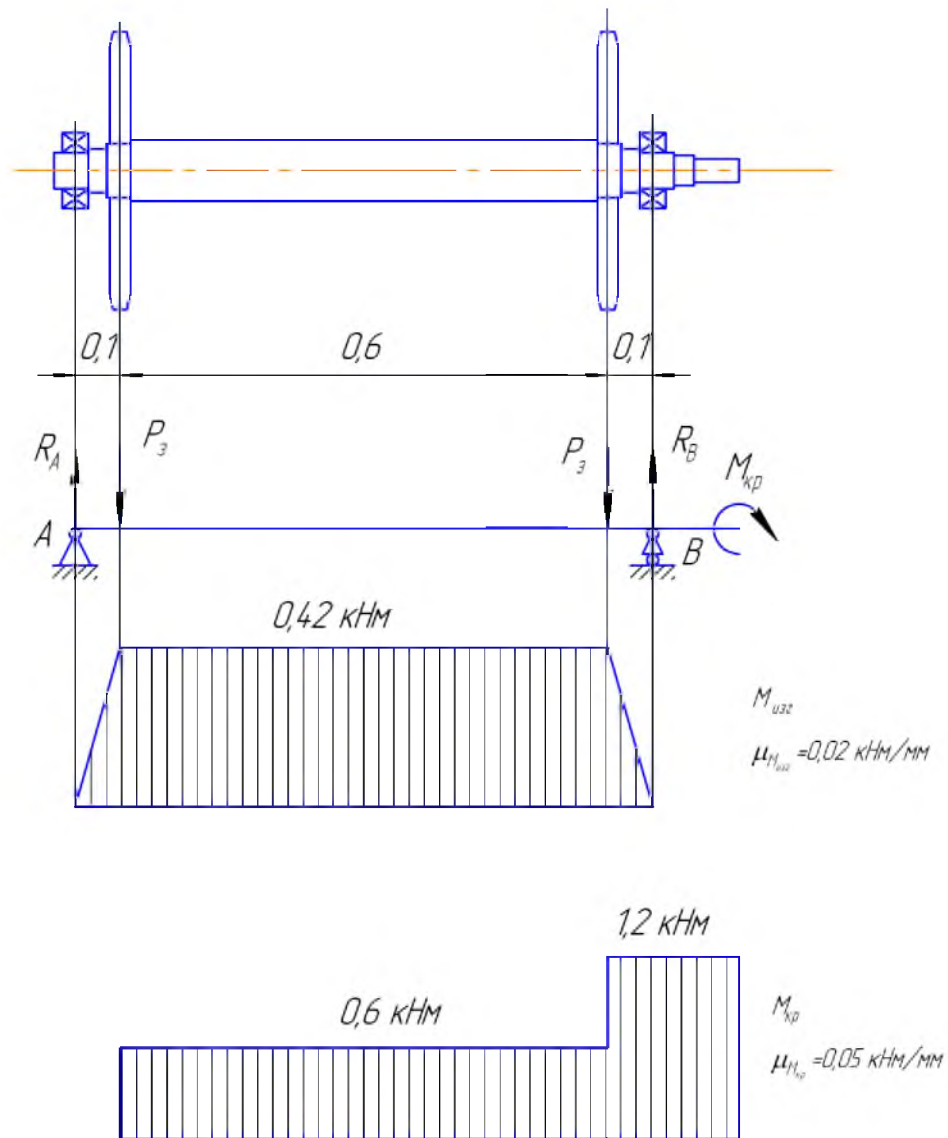
– межа витривалості при симетричному циклі напруги вигину,  $\sigma_{-1} = 323 \text{ МПа}$ ;

– межа витривалості при симетричному циклі напружений кручення,

$\tau_{-1} = 170 \text{ МПа}$ ;

– коефіцієнти чутливості матеріалу до асиметрії циклі напруги відповідно при вигині і крученні,  $\psi_\sigma = 0,1$  и  $\psi_\tau = 0,05$ .

Розрахуємо вал на втомну міцність (рис. 2.11).



**Рис. 2.11** Схема до розрахунку вала

Джерело: розроблено автором

Максимальна сила діюча на зірочку  $P_3 = \frac{M_{кр}}{d_\delta} = \frac{1,2}{0,283} = 4,2 \text{ кН}$ .

Небезпідний перетин I – приводний хвостовик. – діє момент, що крутить  $M_{кр} = 1,2 \text{ кНм}$ .

Небезпідний перетин II – під зірочкою діють:

–момент, що крутить  $M_{кр} = 1,2 \text{ кНм}$ ;

–момент, що вигинає  $M_u = 0,42 \text{ кНм}$ .

Діаметр валу під муфтою,  $d_1 = 65$  мм.

Діаметр валу під зірочкою,  $d_3 = 85$  мм.

Коефіцієнт запасу міцності по дотичній напрузі визначуваний по формулі

$$n_\tau = \frac{\tau_{-1}}{K_{\tau D} \tau_a} = \frac{170}{4,3 \cdot 21,8} = 1,82 > [n] = 1,8, \quad (2.43)$$

де  $\tau_{-1}$  – межа витривалості при симетричному циклі напружений кручення

$K_{\tau D}$  – ефективний коефіцієнт концентрації напруги для деталі

$$K_{\tau D} = \frac{K_\tau + K_\tau^n - 1}{\varepsilon_\tau} = \frac{1,7 + 1,25 - 1}{0,45} = 4,3; \quad (2.44)$$

$K_\tau$  – ефективний коефіцієнт концентрації напруги для полірованого зразка  $K_\tau = 1,7$ ;

$K_\tau^n$  – коефіцієнт стану поверхні,  $K_\tau^n = 1,25$ ;

$\varepsilon_\tau$  – масштабний коефіцієнт,  $\varepsilon_\tau = 0,45$ ;

$\tau_a$  – амплітудна напруга кручення, для валів нереверсивної передачі приблизно приймається

$$\tau_a = \tau = 21,8 \text{ МПа}; \quad (2.45)$$

$\tau$  – напруга кручення валу

$$\tau = \frac{M_{кр}}{0,2d_{1-1}^3} = \frac{1,2 \cdot 10^{-3}}{0,2 \cdot 0,065^3} = 21,8 \text{ МПа}; \quad (2.46)$$

$[n]$  – значення запасу витривалості, що допускається, при зниженій точності розрахунку і для валів  $[n] = 1,8 \div 2,5$ .

Небезпечний перетин II – під зірочкою з приводного боку – діють:

- момент, що крутить  $M_{кр} = 1,2$  кНм;
- момент, що вигинає  $M_u = 0,42$  кНм.

Коефіцієнт запасу міцності по дотичній напрузі визначуваний по формулі

$$n_\tau = \frac{\tau_{-1}}{K_{\tau D} \tau_a} = \frac{170}{4,875 \cdot 9,75} = 3,6, \quad (2.47)$$

де  $\tau_{-1}$  – межа витривалості при симетричному циклі напружений кручення;

$K_{\tau D}$  – ефективний коефіцієнт концентрації напруги для деталі

$$K_{\tau D} = \frac{K_\tau + K_\tau^n - 1}{\varepsilon_\tau} = \frac{1,7 + 1,25 - 1}{0,4} = 4,875, \quad (2.48)$$

$K_\tau$  – ефективний коефіцієнт концентрації напруги для полірованого зразка,  $K_\tau = 1,7$ ;

$K_\tau^n$  – коефіцієнт стану поверхні,  $K_\tau^n = 1,25$ ;

$\varepsilon_\tau$  – масштабний коефіцієнт,  $\varepsilon_\tau = 0,4$ ;

$\tau_a$  – амплітудна напруга кручення, для валів нереверсивної передачі приблизно приймаються

$$\tau_a = \tau = 9,75 \text{ МПа}; \quad (2.49)$$

$\tau$  – напруга кручення валу

$$\tau = \frac{M_3}{0,2d_{3-3}^3} = \frac{1,2 \cdot 10^{-3}}{0,2 \cdot 0,085^3} = 9,8 \text{ МПа}. \quad (2.50)$$

Коефіцієнт запасу міцності по нормальній напрузі визначений по формулі

$$n_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1}}{K_{\sigma D} \sigma_a + \Psi_{\sigma} \sigma_m} = \frac{323}{3,25 \cdot 0,05 + 0,1 \cdot 0,05} = 32,9, \quad (2.51)$$

де  $\sigma_{-1}$  – межа витривалості при симетричному циклі напружень;

$K_{\sigma D}$  – ефективний коефіцієнт концентрації напруги для деталі

$$K_{\sigma D} = \frac{K_{\sigma} + K_{\sigma}^n - 1}{\varepsilon_{\sigma}} = \frac{1,7 + 1,25 - 1}{0,6} = 3,25; \quad (2.52)$$

$K_{\sigma}$  – ефективний коефіцієнт концентрації напруги для

полірованого зразка  $K_{\sigma} = 1,7$ ;

$K_{\sigma}^n$  – коефіцієнт стану поверхні,  $K_{\sigma}^n = 1,25$ ;

$\varepsilon_{\sigma}$  – масштабний коефіцієнт,  $\varepsilon_{\sigma} = 0,6$ ;

$\Psi_{\sigma}$  – коефіцієнт чутливості матеріалу до асиметрії циклу

напруги,  $\Psi_{\sigma} = 0,1$ ;

$\sigma_a$  – амплітудна нормальна напруга, для валів реверсивної

передачі приблизно приймається

$$\sigma_a = \sigma_m = \frac{\sigma}{2} = \frac{0,1}{2} = 0,05 \text{ МПа}; \quad (2.53)$$

$\sigma$  – нормальна напруга валу

$$\sigma = \frac{M_{u2}}{0,1d_{3-3}^3} = \frac{0,42 \cdot 10^{-3}}{0,1 \cdot 0,85^3} = 0,07 \text{ МПа} \approx 0,1 \text{ МПа}; \quad (2.54)$$

Результуючий коефіцієнт запасу міцності

$$n = \frac{n_{\sigma} n_{\tau}}{\sqrt{n_{\sigma}^2 + n_{\tau}^2}} = \frac{3,6 \cdot 32}{\sqrt{3,6^2 + 32^2}} = 3,57 > [n] = 1,8 \div 2,5. \quad (2.55)$$

## 2.4 Монтаж, ремонт, змашення

### 2.4.1 Прив'язка машини до технологічного тракту

Установлення і регулювання технологічного обладнання виконують шляхом поєднання осей машин з монтажними осями, зафіксованими на фундаментах під обладнання. При цьому необхідно дотримуватися заданих проєктом розмірів у вертикальній площині між рівнем руху оброблюваного матеріалу і рівнем чистої підлоги цеху або іншою визначеною відміткою .

На кресленнях цехів зазначають основні подовжні та поперечні осі машин, які прив'язують до відповідних осей колон будівлі. Висотні відмітки наносять на розрізи цехів, а при монтажі всі вимірювання висот проводяться на основі спеціальних контрольних точок, що називаються реперами [16].

Усі монтажні осі на планах і висотні реperi поділяють на дві категорії: контрольні (головні) та робочі. Робочі осі і реperi, у свою чергу, класифікуються як основні і допоміжні.

Загальну систему осей і висотних відміток називають геодезичною базою монтажу. Основою цієї системи слугують контрольні осі та реperi. Подальша розбивка робочих осей і висотних реперів на фундаментах виконується на основі контрольних точок, закріплених в даному цеху.

Контрольні осі зазвичай розташовують так, щоб вони збігалися з осями колон будівель цехів або інших об'єктів. Будівлі та споруди прив'язують до осей робочої координатної сітки заводу, яка наноситься на генеральний план і закріплюється на місцевості у вигляді знаків, встановлених у точках перетину цих осей. Координатну сітку зазвичай прокладають через кожні 100

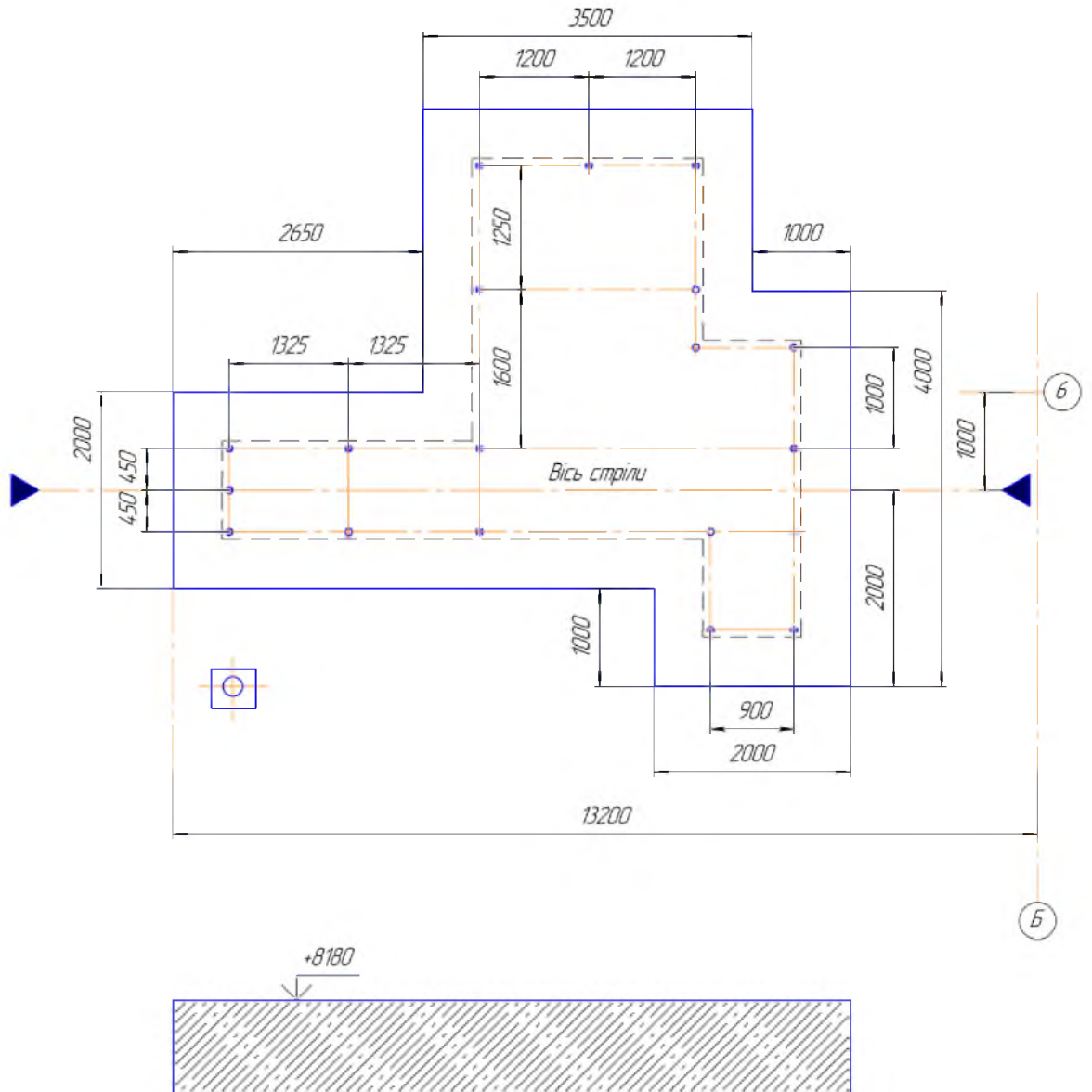
або 200 метрів, зазначаючи її розташування відносно умовної початкової точки координат. Ця сітка геодезично зв'язана з найближчими полігонометричними знаками. Кожну контрольну вісь фіксують за допомогою двох плашок або скоб, змонтованих на окремих бетонних стовпах поза межами фундаментів для обладнання або на основах колон.

Висотні репери базуються на абсолютних позначках полігонометричних знаків, визначених від рівня моря й перенесених на територію заводу. Ці позначки, переведені до рівня підлоги цеху чи головки залізничної рейки, вказуються на будівельних кресленнях. На технологічних планах, де визначене розташування обладнання, підлога цеху умовно приймається за нульову позначку, незалежно від її абсолютного рівня. Контрольні репери встановлюють на спеціальних залізобетонних стовпах перетином не менше 500×500 мм, які височіють на 200 мм над рівнем чистої підлоги та розміщуються поза фундаментами обладнання. Позначки контрольних реперів узгоджуються з відмітками найближчих реперів опорної сітки заводу. У випадку, якщо реперу присвоєно абсолютну позначку, для визначення висоти репера відносно підлоги цеху необхідно відняти відповідне значення абсолютної позначки підлоги цеху [16].

Відповідно до плану розташування обладнання в цеху, виконується розбивочне креслення, на якому зазначаються положення основних осей обладнання у вигляді конкретних координат, лінійних розмірів і висотних відміток. Для цього використовуються геодезичні знаки, такі як репери та плашки. Контрольний репер цеху, закріплений на спеціальному фундаменті, слугує основою для перевірки робочих реперів.

На кожному майданчику біля машини на базовій деталі встановлюється основний репер, позиція якого відповідає контрольному реперу з точністю до  $\pm 0,5$  мм. Після складання та монтажу машина для скачування шлаку підлягає ретельному вирівнюванню відповідно до встановлених норм точності. Найбільш ефективними методами вивіряння є оптико-геодезичний і

лазерний. Геодезичне обґрунтування монтажу приводу скіпової лебідки наведено на рисунку 2.12.



**Рис. 2.12** Геодезичне обґрунтування монтажу машини для скачування шлаку

▲ – вісева плашка; □ ⊙ – висотний репер

Джерело: розроблено автором

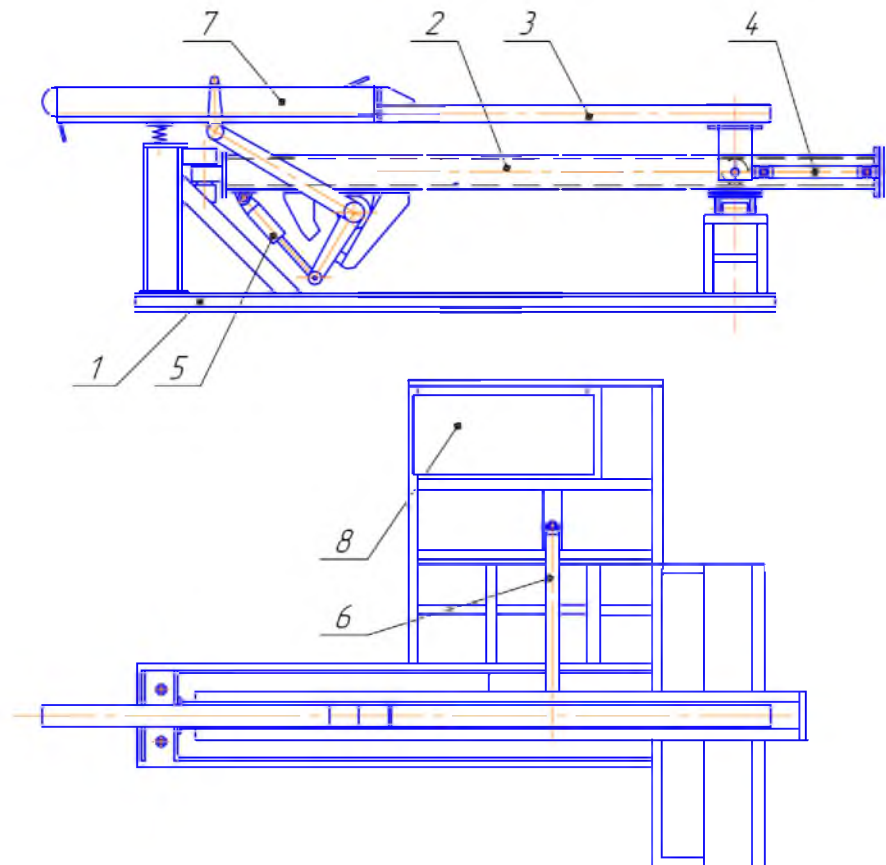
#### 2.4.2 Технологічна карта монтажу

Містить наступні документи:

1. Монтажене креслення із специфікацією (рис. 2.13).

2. Графік виробництва робіт їх об'єм, вартість і потреба в робочих по кваліфікаціях і розрядах (табл. 2.2).

3. Перелік монтажного устаткування інвентарю і пристосувань.



№ поз	Наменування	К-сть	Маса, кг	
			Од	Загал
1	Рама	1	1810	1810
2	Балка поворотна	1	1450	1450
3	Стріла	1	450	450
4	Гідроциліндр пересування стріли	1	150	150
5	Гідроциліндр нахилу стріли	1	40	40
6	Гідроциліндр повороту балки	1	134	134
7	Механізм скачування	1	420	420
8	Насосна установка	1	263	263

**Рис. 2.13 Монтажна схема машини для скачування шлаку**

Джерело: розроблено автором

Таблиця 2.2

## Технологічна карта монтажу машини для скачування шлаку

№ п/п	Опис робіт по монтажу в технологічній послідовності	Калькуляція						Сос-тавлан-ки	Три-валість опе-рації, год								
		Од-виміру	Об'єм робіт	На одиницю		На весь об'єм				2	4	6	8	10	12	14	16
				Норма часу, год	Рас-цінки	Норма часу, год	Сума зарпл, грн										
1	Встановити і закріпити раму 1	Шт	1	4		4		6/5/ 5/5	4								
2	Встановити балку поворотну 2	Шт	1	2		2		6/5/ 5/5	6								
3	Встановити стрілу 3 на балку 2	Шт	1	2		2		6/5/ 5/5	8								
4	Встановити гідроциліндр 4	Шт	1	1		1		6/5/ 5/5	9								
5	Встановити гідроциліндр 5	Шт	1	1		1		6/5/ 5/5	10								
6	Встановити гідроциліндр 6	Шт	1	1		1		6/5/ 5/5	11								
7	Встановити і закріпити механізм скачування 7	Шт	1	2		2		6/5/ 5/5	13								
8	Встановити насосну установку 8 і під'єднати гідравлічні магістралі	Шт	1	3		3		6/5/ 5/5	16								

Джерело: розроблено автором

Список монтажного устаткування, інвентарю та пристосувань [17]:

1. Набір ключів із наступними розмірами:  
S=17; 22; 32; 36; 41; 46; 50; 60; 75; 85
2. Кувалда
3. Молоток
4. Свердлильна машина
5. Шліфувальна машина
6. Мітчики у розмірах: М-12; М-20; М-24
7. Парні троси діаметром 28,5 мм

8. Парні троси діаметром 17,5 мм
9. Рулетка
10. Рівні
11. Комплект інструментів
12. Індикатори

### **2.4.3 Зношення відповідальних деталей та методи їх відновлення**

Знос ланцюгів.

Знос підшипників від забруднення мастила і відсутності мастила.

Знос робочої поверхні скребків.

Знос фігурних направляючих.

Знос ходових колес каретки і упорних роликів.

Знос деталей гідроциліндрів: поршней, ущільнювачей.

Ремонт валів і муфт проводять у разі появи наступних дефектів:

- зміна діаметра та форми шийок і цапф;
- наявність подряпин, рисок і задирів на поверхнях шийок і цапф;
- вигин або скручування валу;
- зношення, деформація або вицвітання робочих поверхонь шпонкових чи шліцьових канавок;
- пошкодження або зношення різьбових з'єднань.

Допустиме зменшення діаметра шийок трансмісійних валів становить до 10% від номінального при статичних навантаженнях і до 5% при динамічних. Вали підлягають вибраковуванню у разі виявлення тріщин або скручувань на кут понад  $10^\circ$ . Після оцінки ступеня зносу шийок приймається рішення щодо доцільності ремонту та способу його виконання. Якщо вал функціонує в підшипниках кочення і конструктивні особливості не допускають зменшення розміру шийки, відновлення діаметра здійснюється до номінальних параметрів шляхом металізації або наплавлення [18].

Ремонт шийок валів з доробкою до ремонтного розміру здійснюють наступними етапами: – оцінюють стан центрових отворів, при необхідності виправляючи їх за допомогою центрувального або токарного верстата;

- обробляють зношені шийки до необхідного ремонтного розміру на токарному чи круглошліфувальному верстаті. Відновлення шийок валів до номінального розміру виконується в такій послідовності:
- методом металізації або автоматичного вібродугового наплавлення збільшують діаметр шийок валу до величини, що перевищує номінальний розмір з урахуванням припуску на подальшу обробку;
- перевіряють та за потреби виправляють вигин осі валу. Незначні вигини усуваються на токарному верстаті за допомогою ручного гвинтового преса, прийомами чеканки або локального нагріву. Для сильно вигнутих валів застосовують правку у холодному стані на відповідних пресах. Допустимий прогин валу становить 0,2–0,3 мм на кожен метр його довжини;
- контролюють і коригують центрові отвори;
- формують нарощений шар до номінального розміру шляхом механічної обробки.

Канавки для шпонки на валах ремонтують шляхом обробки до ремонтного розміру, наплавлення з подальшою механічною обробкою або створення нової канавки, розташованої під кутом 90, 135 або 180° відносно старої. Для приведення канавок до ремонтного розміру використовуються довбальні верстати, або канавки фрезерують на новому місці. При встановленні призматичних шпонок між неробочою гранню шпонки і дном паза в напівмуфтах необхідно забезпечувати зазор 0,2–0,5 мм. Зношення сполучних муфт переважно відбувається в зонах посадки деталей: отворах для болтів і пальців, місцях контакту кулачків або зубів, а також у пазах для шпонок.

У зубчатих муфтах допустимий знос зубів за товщиною складає не більше 30% від номінального розміру. Максимальний перекіс осей валів

допускається до  $1,5^\circ$  за умови відсутності радіального зсуву осей. Радіальний зсув осей дозволений лише за відсутності перекосу. Місця обробляються за шаблоном напилком або простругуються на відповідному верстаті.

Ремонт зубчастих передач і редукторів.

У процесі експлуатації зубчастих передач зустрічаються такі види зносу:

– стирання робочих поверхонь зубців, що призводить до поступового викривлення профілю, особливо біля основи зубця. Virізняють два види стирання: припрацьоване (нормальний знос), який припиняється після вирівнювання поверхонь і встановлення режиму рідинного змащування, та прогресивне

- зношення, що виникає в умовах недостатнього або малов'язкого мастила.
- вифарбовування робочих поверхонь зубців (осипання, лущення, утворення вм'ятин), що є результатом змінних високих контактних навантажень, втоми матеріалу або неправильно підбраного мастила. Таке явище поділяється на припрацьоване та прогресивне і може супроводжуватися задирками зубців.

Зубчасті колеса та шестерні підлягають заміні в разі, якщо:

1. Площа пошкоджених зубців через вифарбовування перевищує 30% контактної поверхні.

2. Вифарбовування поширилося на вершину зубця. 3. Глибина утворених вм'ятин досягає 10% товщини зубця.

– подряпини на зубах (подовжні пошкодження на робочих поверхнях головок і ніжок зубів), що зазвичай виникають під час короткочасних, але значних перевантажень і ударів.

– заклинювання робочих поверхонь зубів, яке проявляється у формуванні та руйнуванні металевих з'єднань. Це явище часто спостерігається в неповністю притертих передачах за умови недостатньої в'язкості мастила та високого питомого тиску.

- абразивний знос робочих поверхонь зубів, що відбувається при проникненні в зачеплення абразивних частинок, таких як рудний пил, пісок, окалина тощо.

- деформації вигину і утворення напливів, які є результатом високих навантажень і пластичних деформацій у зоні контакту, особливо якщо шестерні виготовлені з м'яких сталей. Для зубів із твердою поверхнею та м'якою серцевиною характерна поява хвилястості на їхніх робочих поверхнях.

- відшарування поверхневих плівок, спостережуване у зубів з недостатньо глибокими шарами азотування або цементації.

- тріщини та поломки чавунних або твердих сталевих зубів, які трапляються через ударні навантаження чи перекоси осей коліс. Таке може статися через високу напругу вигину, появу мікротріщин у перехідній зоні між зубом і ободом колеса, а також подальше поширення тріщин у масиві зуба [18].

У високоточних передачах заміна зношених пар шестерня-колесо здійснюється виключно на нові.

Ремонт базових деталей.

Базові деталі металургійного обладнання здебільшого представляють собою важкі литі, зварені або комбіновані зварювально-литі конструкції, такі як станини, корпуси, плити, рами тощо.

сновні типи зносу литих базових деталей:

- локальні пошкодження та тріщини, які виникають через навантаження, найчастіше в місцях, де в матеріалі деталі є внутрішні дефекти або залишкова напруга після лиття;
- зношування поверхонь тертя, по яких переміщуються або на яких закріплюються вузли машини; – зношування гладких та різьбових отворів у базовій деталі, що відбувається внаслідок багаторазового складання і розбирання конструкцій.



приводиться в рух двигуном, до виконавчого елемента, а також забезпечує змащування взаємодіючих поверхонь гідроапаратури.

Для досягнення високого коефіцієнта корисної дії (ККД) роботи гідросистеми рідина повинна відповідати певним характеристикам, які залежать від її призначення, умов і місця експлуатації. Основною характеристикою робочої рідини є її щільність — кількість маси, що припадає на одиницю об'єму. Без знання цієї величини розрахунок режимів роботи гідросистеми є неможливим. Зі збільшенням температури більшість рідин мають властивість розширюватися. Отже, робочі рідини повинні характеризуватися високою теплопровідністю, достатньою питомою теплоємністю та низьким коефіцієнтом теплового розширення. У той же час температура впливає на в'язкість рідин — із її підвищенням в'язкість зменшується. Тому особливу увагу приділяють мінімальній залежності в'язкості рідини від зміни температур у межах робочого діапазону.

Робочі рідини повинні забезпечувати хорошу змащувальну здатність, мінімальне поглинання повітря та його легке відділення, а також проявляти високу стійкість до механічного й хімічного впливу [20].

Важливо, щоб вони мали мінімальний рівень механічних домішок, були нейтральними щодо матеріалів і відзначалися доступною вартістю. Ключовим параметром є температура застигання рідини, яка впливає на її текучість та можливість транспортування чи зливу в холодну пору року. Ця температура повинна бути не меншою ніж на 16-17°C нижче за мінімальну температуру навколишнього середовища, в якій експлуатуватиметься гідросистема.

Величина робочого тиску має вирішальне значення при виборі в'язкості рідини. Гідросистеми з навантаженими елементами при тиску 16-35 МПа працюють на маслах серії ІГП, що містять противозносні та антикорозійні присадки. Для систем з надвисоким тиском використовуються веретенні масла серії АУ і масло АМГ.

Для гідросистеми було обрано робочу рідину — індустріальне масло Індустріальне 45.

Технічні характеристики змащувальних матеріалів наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4

#### Властивості змащувальних матеріалів

Найменування змащувального матеріалу	Температурні межі °С	В'язкість при $t = 50^{\circ}\text{C}$ , сСтюкс
Жирова 1-13 ОСТ 38.01145 - 80	-20°C ÷ +110°C	25÷35
Індустріальне 45 ГОСТ 20799 - 75	-10°C ÷ +90°C	38÷52
ПІ-Л ГОСТ-23510-79	-10°C ÷ +65°C	42÷66
ЦИАТИМ-201 ГОСТ 6267 - 74	-60°C ÷ +80°C	24÷28

Джерело: розроблено автором

Карта змащування |змащування| приведена в таблиці 2.5.

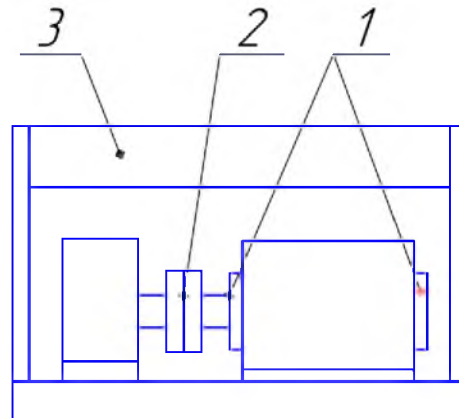
Точки змащування приведені на рис.2.19 – 2.20.

Таблиця 2.5

## Карта змащування вузлів тертя машини для скачування шлаку

Точка	Найменування точки змащування	К-ть точок, шт	Вживане мастило	К-ть на 1 точку, см <sup>3</sup>	Терміни заміни	Додаткові вказівки
1	Підшипники електродвигуна	2	1 - 13	400	1 раз у 6 міс	Набивання
2	Зубчата муфта	1	ЦИАТІ М-201	300	1 раз у 6 міс	Набивання
3	Гідросистема	1	Індустріальне 45	150 л	По контролю лабор.	Долив
4	Ланцюг	2	ПІ1 - Л	200	1 раз у 1 тиждень	
5	Підшипники кочення ланцюгової передачі	4	ПІ1 - Л	150	1 раз у 1 міс	Набивання
6	Шарнири гідроциліндрів	6	ЦИАТІ М-201	100	1 раз у 1 міс	Набивання
7	Підшипники ковзання роликів	8	ПІ1 - Л	50	1 раз у 1 тиждень	Набивання

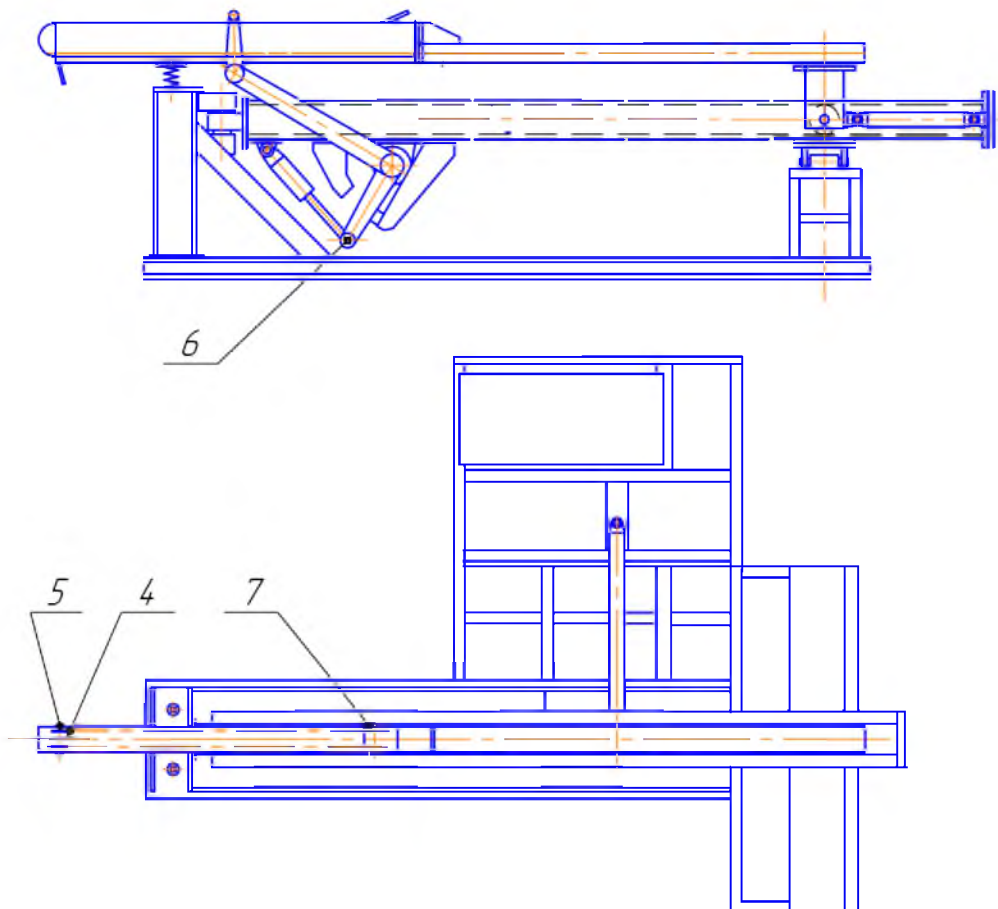
Джерело: розроблено автором



**Рис. 2.14** Схема точок змащування насосної установки

1 – підшипники електродвигуна; 2 – зубчата муфта; 3 – гідросистема

Джерело: розроблено автором



**Рис. 2.15** Схема точок змащування машини для скачування шлаку

4 – ланцюги; 5 – підшипники кочення ланцюгової передачі;

6 – шарнири гідроциліндрів; 7 – підшипники ковзання роликів

Джерело: розроблено автором

### **3 ОРГАНІЗАЦІЯ БЕЗПЕЧНОГО ВИРОБНИЦТВА**

#### **3.1 Аналіз основних шкідливостей і небезпечностей**

Машина для видалення шлаку з шлаковозного ковша розташована в міксерному відділенні конвертерного цеху. Умови роботи в цьому відділенні супроводжуються низкою несприятливих факторів, таких як запилення, загазованість, теплове випромінювання та шум.

У міксерному відділенні здійснюються операції транспортування, перевантаження, зважування та інші технологічні процеси, пов'язані з рідким чавуном. Основні етапи цих процесів включають:

- перелив рідкого чавуну з чавуновозного ковша, доставленого з доменного цеху, у міксер через заливний отвір;
- перелив рідкого чавуну з міксера до чавуновозного ковша для подальшої передачі його в конвертерний прольот;
- тимчасове зберігання чавуну в міксері задля стабілізації хімічного складу та температури;
- видалення шлаку з чавуновозних ковшів і міксера.

Основним джерелом забруднення повітря в цьому відділенні є графітний пил. Розміри частинок пилу варіюються: більші зазвичай швидко осідають, тоді як дрібні залишаються в повітрі тривалий час. Постійне запилення може спричинити хвороби органів дихання, а тривале перебування в таких умовах призводить до запалення очей (кон'юнктивіт) [21].

Ще одним важливим аспектом санітарно-гігієнічних умов у приміщенні є загазованість. Скупчення різних газів у повітрі обумовлене виділенням шкідливих речовин, таких як окис вуглецю і вуглекислий газ, що

утворюються під час переливу чавуну та шлаку в ковші, а також під час їх заливання в міксер.

У міксерному відділенні головним джерелом теплових впливів є розплавлений чавун, температура якого становить 1250-1300°C. Під час виробничого процесу тепло інтенсивно виділяється в навколишнє середовище, що спричиняє підвищення температури повітря. Надлишкове тепловиділення порушує нормальну терморегуляцію організму.

Перегрів може призвести до підвищення температури тіла, частішого дихання та серцебиття, а також сприяти посиленню кровообігу в області мозку.

У випадках сильного перегріву можливе настання теплового удару, що супроводжується втратою свідомості.

Крім того, під час роботи з нагрітим металом існує ризик отримання опіків.

Операції транспортування, перевантаження, зважування та інші технологічні процеси, пов'язані з рідким чавуном, виконуються за допомогою спеціалізованих механізмів і обладнання. До таких засобів належать ковші для перевезення чавуну, міксери, міксерні крани, машини для видалення шлаку тощо. Робота цих пристроїв створює значний рівень шуму.

Тривалий вплив шуму на центральну нервову систему викликає загальне виснаження організму, порушує роботу серцево-судинної і дихальної систем, а також уповільнює психічні реакції. Унаслідок цього на виробництві можуть виникати випадки травматизму, технічні помилки та професійні захворювання.

Небезпека отримання механічних травм виникає за наявності таких факторів:

- робота механізмів міксера;
- приводи машин для видалення шлаку;
- вантажопідйомне обладнання;
- залізничний транспорт, а також інші пристрої та механізми.

Санітарно-гігієнічні умови праці ремонтників наведено в таблиці 3.1.

Показники гранично допустимих рівнів (ГДР) і фактичні дані шкідливих виробничих факторів на робочих місцях механослужби з таблиці 3.1 вказують на необхідність впровадження заходів для зменшення їх впливу.

Фактичний рівень шуму становить 82 дБА, що перевищує гранично допустимий показник у 80 дБА на 2 дБА.

Мікроклімат у міксерному відділенні у літній період загалом характеризується як нагріваючий, а в зимовий – як охолоджувальний. Це зумовлено відсутністю відповідних засобів для регулювання умов мікроклімату. Водночас основні показники мікроклімату приміщення (температура, швидкість повітряного потоку та відносна вологість) відповідають встановленим санітарним нормам.

Таблиця 3.1

### Санітарно-гігієнічні характеристики умов праці працівників

Ділянка, професія	Фіз-фактор		Метеофактори								Шкідливі речовини, мг/м <sup>3</sup>			
	Шум, дБ(А)		Швидкість руху повітря, м/с		Відносна вологість повітря, %		Температура				Запиле-ність		Загазо-ваність (СО)	
							Холодний період, t°C		Теплий період, t°C					
ГДР	Факт	ГДР	Факт	ГДР	Факт	ГДУ	Факт	ГДР	Факт	ГДК	Факт	ГДК	Факт	
Конвер-терний цех, міксерне відділення, слюсарь-ремонтник	80	82	0,3	0,3	75	71	15–21	6	20–27	27	6	7	20	11

Джерело: розроблено автором

У цеху використовують електрообладнання, що працює від джерел струму з напругою 380 В (технологічне обладнання) та 220 В (освітлювальні системи), що створює ризик виникнення електротравм.

Ймовірність ураження та травмування електричним струмом може виникати у таких ситуаціях:

- при контакті з оголеними проводами, троплями кранів чи передавальних візків;
- при торканні корпусів машин і щитів управління, які випадково опинилися під напругою і не мають заземлення;
- під час відключення роз'єднувача під навантаженням або контактора без дугогасильної камери.

Електричний струм, що перевищує 0,15 А, може негативно впливати на нервову систему і м'язи, спричиняючи, зокрема, параліч дихальних м'язів і м'язів серця навіть без утворення опіків.

Агрегат для зняття шлаку є комплексним обладнанням, яке об'єднує як електричні, так і механічні компоненти. При контакті з його рухомими частинами можливі різного роду ушкодження. Ризик зростає в ситуаціях, коли на обертових елементах присутні виступаючі деталі, такі як болти чи шпонки, або коли механізми рухаються в протилежних напрямках, створюючи небезпечну зону захоплення чи втягнення.

### **3.2 Заходи щодо зниження шкідливостей і небезпечностей**

Для зниження рівня шуму рекомендується реалізовувати такі заходи:

- Зводити спеціальні фундаменти, що є незалежними від основної конструкції будівель. Вони повинні мати значну масу, акустичні шви, а також оснащуватися ізолюючими прокладками та амортизаторами.
- Забезпечувати раціональне з'єднання повітропроводів із повітрорудними машинами, а трубопроводи закріплювати на опорах з амортизуючими прокладками.
- Встановлювати звукоізоляційні кожухи для ізоляції особливо шумного обладнання від виробничих приміщень.
- Використовувати звукоізоляційні та звукопоглинальні матеріали.

- Забезпечувати працівників індивідуальними засобами захисту від шуму, вібрацій та пилу.

Схеми управління електродвигунами механізмів і машин розробляють таким чином, щоб виключити самовільний запуск при появі напруги після її раптового відключення. Освітлювальні мережі підключені через ввідний автомат та залишаються під напругою навіть у разі його відключення.

Для зменшення тепловиділень у повітрі та видалення надлишкового тепла впроваджується припливна вентиляція.

Для очищення запиленого повітря пропонуються наступні методи: сухе очищення в пилоосаджувальних камерах, циклонах, мультициклонах, інерційних і матерчатих фільтрах; мокре очищення в різних видах скрубєрів; електричне видалення пилу за допомогою сухих і мокрих електрофільтрів; а також часткова або повна герметизація устаткування виробничого призначення.

Надмірний шум має шкідливий вплив на здоров'я працівників, підвищує ризик травматизму та негативно впливає на продуктивність праці.

Заходи щодо запобігання впливу ультразвуку на працівників включають звукоізоляцію обладнання та його розміщення у спеціальних звукоізолювальних камерах [21].

Для захисту від шуму та вібрації застосовуються такі заходи:

- заміна виробничих процесів, що супроводжуються шумом і вібрацією, більш тихими технологіями; будівництво спеціалізованих фундаментів, які не пов'язані з конструкцією основної будівлі;
- використання ізоляційних матеріалів і демпферів;
- застосування звукоізолюючих і вібропоглинальних матеріалів;
- використання індивідуальних засобів захисту від шуму, пилу та вібрації.

Для попередження ураження електричним струмом вся електротехніка у виробничих приміщеннях заземлена. Розетки для переносних ламп підключені до мережі з напругою 12 В. На електрощитах та розподільчих

пристроях передбачені попереджувальні написи. До колективних засобів захисту від ураження струмом належать захисні, запобіжні й гальмівні механізми, сигналізація, дистанційне керування і відповідні знаки безпеки.

Погане освітлення може стати причиною травматизму, негативно впливає на зір працівників і знижує їхню продуктивність. Тому важливо забезпечити достатній рівень освітлення робочих місць як удень, так і в темний час доби. Розглянемо розрахунок освітлення в міксерному відділенні. Приміщення міксерного відділення має розміри 90×30 метрів, а нормативна освітленість становить 200 лк. Освітлення здійснюється за допомогою світильників прямого світла. Напруга освітлювальної мережі – 220 В, потужність електроламп становить 1500 Вт.

Для визначення загальної потужності освітлювальної системи та кількості ламп, необхідних для забезпечення рівномірного освітлення по всій площі приміщення, розрахунок проводиться методом ватів.

Потужність освітлювальної установки визначається за наступною формулою

$$W_1 = \frac{ESK}{1000E_{cp}} = \frac{200 \cdot 2700 \cdot 1,5}{1500 \cdot 5,3} = 101,88 \text{ кВт}, \quad (4.1)$$

де  $E$  – нормована освітленість,  $E = 200$  лк;

$S$  – площа освітленої ділянки,  $S = 90 \cdot 30 = 2700$  м<sup>2</sup>;

$K$  – коефіцієнт запасу, що враховує зниження освітленості в результаті забруднення ламп и освітлювальної арматури, при середніх виділеннях кіптяви, пилу і диму,  $K = 1,5$ ;

$E_{cp}$  – середня горизонтальна освітленість, визначаємо по таблиці при  $U = 220$  В і потужності лампи  $W_2 = 1,5$  кВт,  $E_{cp} = 5,3$  лк.

Необхідна кількість ламп

$$n = \frac{W_1}{W_2} = \frac{101,88}{1,5} = 67,92 \text{ шт.} \quad (4.2)$$

Приймаємо кількість ламп  $n = 68 \text{ шт.}$ , що забезпечує рівень освітлення згідно СН 2527 – 82.

### 3.2.1 Засоби індивідуального захисту

Відповідно до вимог СНіП №539 від 28.10.2003 року, кожен працівник має бути забезпечений спеціальним одягом та засобами індивідуального захисту (ЗІЗ). Працівники цехів отримують ці засоби згідно з чинними нормами, які включають:

- Захист органів дихання від шкідливих речовин (респіратори, пилозахисні маски типу «Пелюстка»);
- Спецодяг (комбінезони, куртки, штани тощо), який захищає тіло від впливу хімічних, термічних чи механічних факторів навколишнього середовища;
- Спеціальне взуття для захисту ніг від механічних ушкоджень;
- Засоби для захисту рук від механічних впливів (різні типи рукавиць);
- Захист голови від механічних ушкоджень (каска з амортизаторами, повстяні шоломи для теплового випромінювання);
- Захист обличчя від теплових випромінювань (захисні сітчасті маски від летючих частинок, прозорі щитки);
- Засоби захисту від іскор, пилу та бризків металу під час зварювальних робіт (щитки з фібри зі спеціальними склом);
- Захист органів слуху від високих рівнів шуму (навушники, шоломи, вушні вставки або заглушки);

- Засоби для захисту очей від механічних, хімічних та енергетичних пошкоджень, а також від засліплення електричними дугами (різноманітні моделі захисних окулярів).

Перелік ЗІЗ, що надаються працівникам цеху, а також їхня річна потреба і частота видачі, наведено у таблиці 3.2 [21].

Таблиця 3.2

### Річна потреба і періодичність видачі ЗІЗ

Професія або посада	Кількість людей за професією	Спецодяг, спецвзуття та інші засоби індивідуального захисту	Терміни носіння, міс.	Загальна кількість на рік, шт.
Слюсар - ремонтник	48	Костюм бавовняний	12	48
		Черевики	12	48
		Чоботи кирзові	12	48
		Валянки	36	48
		Рукавиці	1	528
		Окуляри	6	96
		Каска	36	48
		Підшоломник	12	48
		Куртка ватяна	36	48

Джерело: розроблено автором

### 3.2.2 Санітарно-побутові приміщення і пристрої

Виробничий процес у конвертерному цеху за санітарно-гігієнічними характеристиками, згідно з БНіП 2.09.04-87, належить до групи 2б. Для цієї групи передбачений набір побутових приміщень: душові, умивальники, кімнати для прийому їжі, туалети, пункти водопостачання і здоров'я [21].

Туалети також використовуються для зберігання особистого та робочого одягу. Вони проєктуються з урахуванням загальної чисельності працівників і додаткового резерву в 5%. Кожен працівник забезпечується індивідуальною шафою для одягу.

Інші побутові приміщення розраховуються виходячи з кількості працівників найбільш чисельної зміни.

Кількість душових сіток визначається з розрахунку: одна сітка на трьох осіб. Для умивальників кількість кранів визначена за нормою: один кран на 20 осіб. Душові та умивальні приміщення розташовані поруч з убиральнями. Харчування працівників забезпечує їдальня, кількість місць у якій розраховано за нормою: одне місце на чотири особи. Основним критерієм є чисельність працівників під час денної зміни, тому кількість посадкових місць у їдальні визначається виходячи з цього показника.

$$n = \frac{C_d}{5} = \frac{685}{5} = 137, \quad (4.3)$$

У результаті необхідно 137 посадкових місць.

Для забезпечення поповнення втрат вологи та мінеральних солей у цеху встановлені питні фонтанчики та автомати з підсоленою газованою водою. Джерела питного водопостачання знаходяться не далі, ніж за 75 метрів від робочих місць. Їх кількість розраховується за нормою: один пристрій на 100 осіб. Убиральні також розташовані не далі 75 метрів від робочих зон. Кількість санітарних приладів визначається за нормою: один прилад на 15

осіб. Працівники цеху обслуговуються цілодобово медичним пунктом II категорії.

### **3.3 Пожежна профілактика**

Протипожежна безпека об'єкта забезпечується за допомогою систем попередження пожеж, пожежного захисту та організаційних заходів. У будь-якому випадку має бути гарантована як безпека самого об'єкта, так і захист людей. Основними умовами для запобігання виникненню пожеж є недопущення утворення горючого середовища та уникнення виникнення джерел запалення [21].

Система пожежного захисту включає використання негорючих або важкозаймистих матеріалів, обмеження кількості легкозаймистих речовин, ізоляцію горючого середовища, а також перешкоджання поширенню вогню. Вона також передбачає ефективні засоби гасіння пожеж, організацію швидкої та безпечної евакуації людей, установку колективних і індивідуальних засобів захисту, систем протидимового захисту, сигналізації та зв'язку, а також організацію відповідної пожежної охорони об'єкта.

Організаційні заходи пожежної безпеки включають:

- формування спеціалізованої пожежної охорони на об'єкті;
- розробку та впровадження правил і норм протипожежної безпеки, дотримання режиму протипожежної охорони та планів ліквідації можливих пожеж;
- навчання працівників і населення основним заходам протипожежної безпеки. Згідно з вимогами БНіП 2.09.02-85.

Виробничий процес у міксерному відділенні класифікується за вибуховою, вибуховопожежною і пожежною небезпекою як категорія «Г», оскільки обробці піддаються негорючі матеріали (рідкий чавун) у розпеченому стані.

Забудова цеху з негорючих матеріалів, таких як металоконструкції, цегла, залізобетон і скло. Згідно з БНіП 2.01.02-85, споруда має II ступінь вогнестійкості.

Пожежі на об'єкті можуть виникати через такі причини:

- займання електроустаткування у випадках перевантаження, перегріву або короткого замикання (клас пожежі – Е);
- загоряння паливно-мастильних матеріалів при потраплянні на них іскри електричного чи механічного походження, впливу тепла від нагрітих предметів або внаслідок контакту з відкритим полум'ям (клас пожежі – В);
- самозаймання промасленої тканини або дрантя (клас пожежі – А).

Для зменшення ризику виникнення пожеж у зоні конвертерного відділення в проєкті передбачено такі заходи:

- обладнання систем управління електрообладнанням пристроями максимального струмового захисту та плавкими запобіжниками;
- обмеження кількості горючих мастильних матеріалів до добового запасу (запаси ГММ зберігаються у спеціальному складі, обладнаному відповідно до протипожежних норм);
- розташування трансформаторних кіосків поза виробничими приміщеннями;
- збирання промасленого дрантя в металеві ящики з герметичними кришками, яке після закінчення зміни вивозиться з цеху та утилізується шляхом спалювання у спеціально відведеному місці;
- відведення статичного заряду до заземлювальної мережі.

Ймовірність ураження будівель блискавкою знижено завдяки використанню системи захисту від блискавки II категорії, виконаної відповідно до нормативів СІ 305-77.

Для забезпечення пожежної безпеки в цеху передбачено використання первинних засобів гасіння, відповідно до норм, прописаних у «Правилах пожежної безпеки в Україні». У таблиці 4.3 наведено перелік оснащення

пожежних щитів первинними засобами пожежогасіння, передбаченими для міксерного відділення.

Пожежний щит встановлено на рівні +8180 мм поблизу пульта управління міксером.

Для гасіння пожеж водою використовується пожежний водопровід, який інтегровано з виробничою системою водопостачання. У приміщенні ділянки на його мережі розташовані пожежні крани, обладнані брезентовими рукавами та відводами.

Зовні будівлі, уздовж її периметра, у підземних колодязях розміщені пожежні гідранти.

Таблиця 3.3

### Перелік інвентарю пожежного щита

Найменування інвентарю	Кількість, шт
Вогнегасники: повітряно-пінний ВПП-5, вуглекислотний ВВ-5, хімічний пінний ВХП-10	3
Ящики з піском	1
Покривало з матеріалу, що не згоряє	1
Багри	2
Ломи	2
Лопати	2
Сокири	2

Джерело: розроблено автором

Для доступу на дах споруди передбачено пожежні драбини, закріплені на зовнішніх стінах. Системи автоматичного пожежогасіння та сповіщення наразі не включені до вимог чинних нормативів.

## ВИСНОВОК

Під час дослідження конструктивних особливостей та роботи машини для видалення шлаку з чавуновозного ковша було виявлено кілька істотних недоліків чинної конструкції, серед яких:

- низька ефективність очищення шлаку, яка не перевищує 50%, через обмежену площу контакту гребка зі шлаком, його плоску форму та невеликі розміри;
- недостатня продуктивність машини, спричинена використанням канатного приводу для робочого органу;
- тривалий час обробки одного ковша, який становить 10–15 хвилин.

Основою цієї кваліфікаційної роботи магістра є розробка, базована на авторському свідоцтві, яка пропонує вдосконалену конструкцію робочого органу. Вона передбачає використання шкребків, які кріпляться на двох рухомих нескінченних ланцюгах.

Проведений аналіз стану існуючих інноваційних рішень підтверджує перспективність впровадження гідравлічного приводу для роботи основного органу машини.

У новій концепції запропоновано створити машину безперервної дії з інтеграцією гідроприводів, завдяки яким здійснюються підйом і поворот стріли разом із робочим органом.

Очікується, що модернізація дозволить скоротити час обробки одного ковша до 3–5 хвилин, при цьому підвищивши ефективність видалення шлаку до 70–80%. Крім того, розрахунки основних економічних параметрів модернізації свідчать про зменшення рівня браку сталі через зниження вмісту сірки в металопродукції.

Таким чином, запропоноване технічне рішення є доцільним для реалізації та має значний потенціал для широкого впровадження у виробництво.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Криворізький державний гірничо-металургійний комбінат "Криворіжсталь". Кривий Ріг, 1997. 26 с
2. Усачов В.П. "Технологічні лінії та комплекси металургійних цехів". У 2-х ч. - Ч. 2. Технологічні основи компоновки ліній металургійних виробництв. Підручник для вузів: К.: ІСДО, 1994. 415с.
3. Лукашкін М.Д., Кохан Л.С., Якушев А.М. Конструкція та розрахунок машин і агрегатів металургійних заводів. Підручник для вузів. Академкнига, 2003. 456 с.
4. Машини та агрегати металургійних заводів. В 3-х томах. Т. 2. Машини та агрегати сталеплавильних цехів. Підручник для вузів А.І. Целіков, П.І. Полухін, В.М. Гребеник та ін. 2-е вид. перероб. і доп. Металургія, 1988. 432с.
5. Інструкція до машини для скачування шлаку з чавуновозних ковшів. НКМЗ, 1974. 13 с.
6. Пристрій для зняття окисної плівки: А.с. №1360896, кл.В 22 D 43/00 Шайбатшаєв В.І., Балгабаєв М.А., Замчій та Ісембргенов Н.Т. № 4087636/31 - 02; Заявлено 19.05.86; Опубл. 23.12.87, Бюл. №47. 2 с.
7. Довідник машинобудівника. В 6-и т. Довідник / Під ред. Н.С. Ачеркана.
8. Григор'єв В.С. Технологія виробництва пористих шлакових заповнювачів для легких бетонів. К. Державне видавництво літератури з будівництва та архітектури, 1963. 147 с.
9. Гідравлічне обладнання. В 2-х ч. Каталог – довідник / Під ред. І.М. Степуніна та В.Я. Скрицького. 1977 р.
10. Анур'єв В.І. Довідник конструктора-машинобудівника в 3-х т.-5-е вид. перероб. і доп. Машинобудування, 1979. Т.1-728 с.; Т.2-559 с.; Т.3-557 с.
11. Чернавський С.А., Іцкович Г.М., Кисильов В.А. та ін. Проектування механічних передач. Навч. посібник. Машинобудування, 1978. 608 с.
12. Розрахунок та проектування деталей машин, ч. 2. Киркач Н.Ф., Баласанян Р.А. Х. : Вища шк., 1987. 144с.

13. Розрахунок на міцність деталей машин. Довідник. І.А. Биргер, Б.Ф. Шорр, Г.Б. Йоселевич. 4–е вид. перероб. Машинобудування. 1993 р. 640 с.
14. Марутов В.О. Розрахунок та конструювання лінійних гідродвигунів (гідроциліндрів) промислового обладнання автоматизованого виробництва. Навч. Посібник. К.: УМК ВО, 1991. 116 с.
15. Гідравлічний привод верстатного та промислового устаткування. Навч. Посібник / Марутов В.О. К.: ІСДО, 1993. 84 с.
16. Плахтін В.Д. Надійність, ремонт і монтаж металургійних машин. Металургія, 1983. 415 с.
17. Притикін В.Д. Надійність, ремонт і монтаж металургійного обладнання. Металургія, 1985. 368 с.
18. Седуш В.Я. Надійність, ремонт і монтаж металургійних машин. Київ. Вища школа, 1976. 228 с.
19. Касаткін М.Л. «Ремонт і монтаж металургійного обладнання». «Металургія», 1970р, 2-е вид., 312 с.
20. Автоматизовані мастильні системи та пристрої. Машинобудування, 1982. 176 с.
21. Шеремет В.О., Каракаш О.І., Марунчак В.Ф. та ін. Довідковий посібник керівника та спеціаліста гірничо-металургійного підприємства з охорони праці: Навчальний посібник. Дніпропетровськ: ПП "Ліра ЛТД", 2005 р. 850 с.

# ДОДАТКИ

## ЗГОДА

### здобувача(чки) вищої освіти

Державного університету економіки і технологій  
про перевірку кваліфікаційної роботи на прояви академічного плагіату  
та розміщення в Репозитарії Університету

Я, *Ігнатенко Дмитро Олександрович*, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу.

Засвідчую, що кваліфікаційна магістерська робота *«Механічне обладнання Конверторного цеху Департаменту з виробництва чавуну та сталі ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». Модернізація конструкції машини скачування шлаку з чавуновозного ковша»* виконана самостійно та не містить академічного плагіату. Я не надавав(ла) і не одержував(ла) недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Із чинним Положенням про запобігання та виявлення академічного плагіату в роботах здобувачів вищої освіти Державного університету економіки і технологій ознайомлений(а). Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі порушення норм академічної доброчесності робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

Також я поінформований(на), що відповідно до «Положення про Репозитарій (електронну базу даних) Державного університету економіки і технологій» зазначена робота буде розміщена в Електронному архіві Університету (Репозитарії ДУЕТ). З умовами такого розміщення ознайомлений(на).

15.01.2026

(ініціали, прізвище, власноруч)