

Міністерство освіти та науки України

Запорізький національний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

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

(назва факультету)

кафедра металургійного обладнання

(повна назва кафедри)

## **ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА**

На тему Аналіз механізмів установки піч-ківш

Виконав: магістрант групи 8.1332-з

Єгорова О.О.

(ПІБ)

(підпис)

спеціальності

133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма

133.00.12 Металургійне обладнання

(шифр і назва)

Керівник Власов А.О.

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Н.контроль Васильченко Т.О

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Запоріжжя – 2023 року

Запорізький національний університет  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет Інженерний навчально-науковий інститут .

Кафедра металургійного обладнання .

Рівень вищої освіти магістр .  
(другий (магістерський) рівень)

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування .  
(шифр і назва)

Спеціалізація \_\_\_\_\_ .  
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма 133.00.12 Металургійне обладнання .  
(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедрою А.О. Власов

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ року

Завдання  
до випускної кваліфікаційної роботи магістра

Єгоровій Олені Олександрівні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема магістерської роботи: Аналіз механізмів установки піч-ківш керівник магістерської роботи к.т.н., доцент Власов А.О., затверджені наказом вищого навчального закладу від “09” жовтня 2023 року № 1581-с.
2. Строк подання студентом магістерської роботи 10 грудня 2023 року.
3. Вихідні дані магістерської роботи техніко-економічні показники роботи електросталеплавильного цеху
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Огляд і аналіз науково-технічних рішень підвищення енергоефективності механізмів пристрою піч-ківш; 2. Розрахункова частина; 3. Дослідно-експериментальна частина; 4. Охорона праці та техногенна безпека в галузі. Загальні висновки та рекомендації .
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 1. Електропіч дугова сталеплавильна ДСП-50 – 1А1; 2. Механізм переміщення електродів печі ДСП-50 – 1А1; 3. Механізм переміщення електродів – 1А1; 4. Схема виконавчого механізму з однокаскадним і двохкаскадним золотником – 1А1 5. Вплив параметрів механізму переміщення електродів ДСП на їх стійкість проти автоколивань – 2А1; 6. План вентиляційної системи – 1А1.

## 6. Консультанти розділів магістерської роботи

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

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів магістерської роботи	Примітки
1	Збір матеріалу на проектування	01.05.23 – 27.05.23	
2	Групування та аналіз зібраного матеріалу. Уточнення завдань проектування	01.09.23 – 15.09.23	
3	Виконання теоретичної частини проекту	16.09.23 – 16.10.23	
4	Виконання графічної частини проекту	17.10.23 – 17.11.23	
5	Написання та оформлення пояснювальної записки	18.11.23 – 30.11.23	
6	Перевірка проекту консультантами	01.12.23 – 08.12.23	
7	Попередній захист проекту	08.12.2023	
8	Переплітання пояснювальної записки	Згідно з графіком	
9	Захист проекту у ЕК	Згідно з графіком	

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник магістерської роботи \_\_\_\_\_  
(підпис) (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Єгорова О.О. Аналіз механізмів установки піч-ківш

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

Виконано аналіз існуючих слідкуючих гідроприводів з аналоговою та цифровою системами керування. Проведено математичне визначення параметрів гідравлічного приводу переміщення електродів. Вказані рекомендації для забезпечення високої стійкості слідкуючих гідроприводів механізму переміщення електродів найбільш доцільним є застосування золотника, що має позитивне перекриття щілин.

Ключові слова: ПІЧ-КІВШ, КІВШ, СТАЛЕВОЗ, МЕХАНІЗМ ПЕРЕМІЩЕННЯ ЕЛЕКТРОДІВ, ЕЛЕКТРОДЕРЖУВАЧ.

## ABSTRACT

Yehorova O.O. Analysis of furnace-bucket installation mechanisms.

Qualifying final work for obtaining a master's degree in specialty 133 - Industrial engineering, scientific adviser A.A. Vlasov. Zaporozhye National University, Engineering Educational Scientific Institute, Department of Metallurgical Equipment, 2020.

The analysis of the existing servo hydraulic drives with analog and digital control systems is carried out. The mathematical definition of the parameters of the hydraulic drive for moving the electrodes has been carried out. The above recommendations to ensure high stability of the servo hydraulic drives of the mechanism for moving the electrodes, the most expedient is the use of a spool, which has a positive overlap of the slots.

Key words: FURNACE BUCKET, BUCKET, STEEL TRUCK, ELECTRODE MOVEMENT MECHANISM, ELECTRO HOLDER.

## Зміст

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ	7
Вступ	8
1 ОГЛЯД І АНАЛІЗ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ МЕХАНІЗМІВ ПРИВОДУ ПЕРЕМІЩЕННЯ ВІЗКА МАШИНИ ЧИЩЕННЯ ВИЛИВНИЦЬ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ОБРАНОГО НАПРЯМКУ РОБОТИ	10
1.1 Вантажопотоки сталеплавильного цеху	10
1.2 Технологічний процес цеху підготовки потягів	11
1.3 Характеристика механічного устаткування сталеплавильного цеху	13
1.4 Огляд технічних рішень по зниженню коливань електродотримачів у вертикальній площині.	14
1.5 Пропозиції щодо поліпшення технічних характеристик обладнання	26
2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА	31
2.1 Пристрій піч-ківш	31
2.2. Розрахунок механізму переміщення візка сталевоза	40
2.3. Розрахунок гідроприводу механізму переміщення електродів	52
2.4. Розрахунок системи рідкого мастила редуктора ВКУ-950	54
2.4.1 Аналіз теплового балансу	55
2.4.2 Вибір сорту олії	57
2.5. Розрахунок болтів редуктора СКУ-950	59
3 ДОСЛІДНО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	45
3.1. Призначення та конструкція механізму переміщення електродів установки піч-ківш	45
3.2. Аналіз швидкості переміщення стійки механізму переміщення електродів установки піч-ківш	47
3.3 . Математична модель об'єкта діагностування	50
3.3.1. Побудова логічної моделі	52
3.3.2. Побудова явної математичної моделі у табличній формі	53

	6
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА В ГАЛУЗІ	61
4.1. Розрахунок рівня механізації праці металургійного в електросталеплавильному цеху №2	61
4.2 . Аналіз потенційних та шкідливих факторів виробничого середовища	63
4.3. Технічні рішення щодо виробничої санітарії	64
4.3.1. Об'ємно-планувальні рішення будівель та споруд цеху	64
4.3.2 Опалення та вентиляція	66
4.3.3. Природне та штучне освітлення.	67
4.3.4. Санітарно-побутові приміщення	68
4.3.5. Виробничий шум, виробнича вібрація	69
4.3.6 . Виробничі випромінювання	70
4.4. Заходи з техніки безпеки	70
4.5. Заходи пожежної безпеки	72
4.6. Рішення щодо захисту навколишнього середовища	74
4.7. Розрахунок газового тракту в системі очищення газів установки піч- ківш	75
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ	81
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	82
СПИСОК ГРАФІЧНОГО МАТЕРІАЛУ	86
ДОДАТКИ	87

## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

СПЦ – електросталеплавильний цех;

ПАТ – публічне акціонерне товариство;

ДСП – дугова сталеплавильна піч;

МПЕ – механізм переміщення електродів.

САР – система автоматизованого регулювання (аналогова);

САУ – система автоматизованого управління (цифрова);

$E$  – модуль пружності матеріалу;

$[\sigma_p]$  – межа міцності при розтягуванні;

БНіП – будівельні норми і правила;

НПАОП – нормативно-правовий акт з охорони праці;

ГДК – гранично допустима концентрація;

ГДР – гранично допустимий рівень;

СН – санітарні норми;

КПО – коефіцієнт природної освітленості;

н.у. – нормальні умови

## Вступ

**Актуальність роботи.** У світовій практиці на багатьох металургійних і машинобудівних підприємствах в останні роки зберігається тенденція і зростає частка виробництва сталі в дугових сталеплавильних печах (ДСП) змінного струму при цьому зниження собівартості продукції пов'язано зі зменшенням витрати графітованих електродів. При виплавці сталі в ДСП частка витрат на електроди досягає 15÷20 % від усіх витрат на виробництво, при цьому біля 8% витрати електродів приходиться на поломки, які пов'язані зі згинальними, ударними та вібраційними навантаженнями. [1]

Динамічні навантаження електродів ДСП виникають при вертикальному переміщенні стійки електродотримача, упиранні в шихту та при дії електродинамічних сил на рукав електродотримача та електрод, які генеруються магнітними потоками, що створюються кожною електричною фазою.

У зв'язку з високою питомою вартістю електродів в загальному кошторисі витрат на виробництво сталі в ДСП, важливою задачею сучасної електromеталургії при освоєнні технологій матеріало та енерго збереження є розробка технічних рішень, що спрямовані на зниження витрати графітованих електродів.

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є оцінка стійкості слідкуючого гідроприводу механізму переміщення електродів дугових електропечей с різними параметрами слідкуючих золотників.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- виконати аналіз раніше проведених досліджень в стійкості слідкуючого гідроприводу механізму переміщення електродів дугових електропечей с різними параметрами слідкуючих золотників;
- визначити кращий тип перекриття скалки слідкуючого золотника;
- визначити зусилля діючі на основні елементи конструкції машини;



- виконати дослідження динамічних процесів при нестационарних режимах печі;
- встановити найкращий показник по жорсткості та по точності.

**Предмет дослідження** – Структурні, конструктивні та динамічні параметри системи переміщення електродотримачів дугової сталеплавильної печі та вплив системи керування на автоколивання електродотримачів у вертикальній площині при різних параметрах перекриття скалки золотника.

**Об'єкт дослідження** – системи електродотримачів дугової сталеплавильної печі.

**Апробація результатів.** Основні положення роботи доповідалися на: XI Міжнародна науково-технічна конференція "Ресурсозбереження та енергоефективність процесів і обладнання обробки тиском у машинобудуванні та металургії" (Харків: НТУ "Харківський політехнічний інститут", 2019 р.). Опубліковано тези доповіді.

**Структура та обсяг роботи.** Магістерська робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг роботи включає 95 сторінок, у тому числі 82 сторінки основного тексту, 16 рисунків, 7 таблиць, 38 найменувань використаних джерел на 4 сторінках, 1 додаток.

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

# 1 ОГЛЯД І АНАЛІЗ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ МЕХАНІЗМІВ ПРИВОДУ ПЕРЕМІЩЕННЯ ВІЗКА МАШИНИ ЧИЩЕННЯ ВИЛИВНИЦЬ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ОБРАНОГО НАПРЯМКУ РОБОТИ

## 1.1 Вантажопотоки сталеплавильного цеху

Лом з копрового цеху на контейнерних вагонах подають у шихтовий проліт електросталеплавильного цеху й розвантажують у ямні бункери. Завантаження саморозвантажних бадей роблять магнітним краном. Після зважування на платформних вагах баддю візком переміщують у грубний проліт і встановлюють над піччю й при відведеному зводі завалочним краном роблять завантаження лома. На шихтовий проліт так само доставляються додатково-заправні матеріали (вапно, шпат, шамот, магнезит порціонний, електроди) і феросплави, які переміщуються передатними візками на грубний проліт. Додатково-заправні матеріали, що доставляють у цех, розвантажують у прийомні переносні бункери. З бункера матеріал завантажують у мульду й кранову завалочну машину (мультдозавальним краном) подають у піч. Феросплави з бункерів завантажують у мульди й зважують на вагах. Завантаження феросплавів в електропіч здійснюються крановою завалочною машиною. На прольоті здійснюють шлакоуборку.

Після виплавки металу на грубному прольоті напівпродукт подається на ділянку газокисневого конвертера (ГКР), а далі доведення металу роблять на установці піч-ківш (УПК). Для деяких марок сталі метал на ГКР не обробляється.

На розливочний проліт надходять допоміжні матеріали для розливання сталі. Сталь із печі випускають у сталерозливний ківш, розливочним краном подають для розливання в виливниці до поїзду. Отримані зливки передають у прокатний цех.

Для проведення ремонтних і підготовчих робіт служать ями для вибивки, пристрій для зрощування електродів, яма для ремонту й пристрою для сушіння сталерозливних ковшів. Кожна з електропечей обслуговується своєю електропідстанцією.

## 1.2 Технологічний процес цеху підготовки потягів

Перед завалкою в піч шихта розраховується на зміст легуючих елементів і вуглецю. Сумарний зміст у шихті шкідливих домішок, що видаляють не в процесі виплавки, не повинне перевищувати їхнього змісту в марці стали з урахуванням домішок, внесених феросплавами.

Як шихта може бути використаний скрап, що утвориться в сталеплавильних цехах, або вступник з жужільного відвала, що класифікується - по магнітності: магнітний, немагнітний, а також по зашлакованості й габаритності. Використовуваний для виплавки марочного сортаменту скрап повинен бути замаркірований й очищений від шлаків до його змісту не більше 5%. Загальна кількість замаркірованого скрапу при виплавці вуглецевої і легованої конструкційної й інструментальної сталі повинне бути не більше 30% від маси шихти, при виплавці нержавіючих сталей - не більше 50%. Зашлакований скрап зі змістом шлаків до 15%, а також дрібний скрап і корольки металу, отримані при глибокій переробці (сепарації) шлаків, використовується для виплавки паспортних болванок.

У шихті дозволяється використати внутрішньозаводську й привізну стружку в ІТІ тин із ДСТУ4121-2002(ДСТУ 2787-75).

У складі шихти дозволяється використати передільний чавун, піддонів й іншого устаткування, а також рідкий чавун виробництва ВАТ «Запоріжсталь».

При необхідності в завалку, підвалку або в піч наприкінці плавлення вводяться легуючі матеріали.

По габаритності розмір шматків шихти (скрапу) повинен бути не більше 1 м для печей ємністю (масою плавки ) до 20 т, не більше 2м- для печей з масою плавки 30-60т.

У якості вуглецеутримуючого елемента в шихту вводяться: бій електродів у шматках не більше 500x300 мм, відходи виробництва електродів, графітова крупка, кокс кусковий і коксовий дріб'язок. Дозволяється використовувати вуглецемісткий матеріал (кусковий і порошкоподібний) у кількості до 7 кг/т поставки ПАТ «Укрграфіт» (ТУ48-4801-55-96).

При виплавці всіх марок сталі на шихту в баддю в складі завалки або підвалки, або в період плавлення шихти в піч вводиться вапно ( $20\pm 5$ ) кг/т шихти. На подину печі вводити вапно мульдою або бросковою машиною забороняється. Вапно, застосовуване в усі періоди плавки, повинно бути кускове, свіжого випалу (не більше 24 годин після вивантаження з випалювальної печі), без ознак гасіння. При необхідності в завалку або підвалку вводиться залізна руда 21-го й 22-го класу. Забороняється присадка залізної руди на подину печі. Фракція залізної руди повинна бути не більше 100 мм, волога - не більше 1,5%.

Під час плавлення шихти й в окислювальний період плавки застосовується технічний кисень, що поставляється з киснепровода комбінату «Запоріжсталь» зі змістом кисню не менш 98%, при тиску в киснепроводі перед піччю ( $1,2\pm 0,4$ ) МПа. Киснепроводи повинні бути обладнані вlahовідстійниками, манометрами, приладами обліку витрати кисню.

Для розкислення шлаків застосовуються порошки феросиліцію ФС65, коксу вуглець-кремнієвого розкислювача, алюмінію (застосування алюмінієвої пудри забороняється), АПС фракцією не більше 1,5 мм, а також силікокальцієва крупка фракції до 25 мм. Зміст вологи в розкислювачах не більше 1.5%. Порошки розкислювачів до уведенням у піч відміряються тарованими мірками.

Плавка зливається з ковша компактним струменем в виливниці.

Зливки передаються в передільні цехи гарячим всадом.

### 1.3 Характеристика механічного устаткування сталеплавильного цеху

Основні технічні характеристики устаткування цеху наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Характеристика технічного устаткування СПЦ-3

№ п/п	Вид устаткування	Тип, марка	Кількість, шт	Призначення або місце установки	Вантажопідйомність, т
1	2	3	4	5	6
1	Мостовий кран	КР № 29	1	Шихтовий	15
2	Мостовий кран	КР № 30	1	Пічний	80
3	Мостовий кран	КР № 32	1	Пічний	20
4	Мостовий кран	КР № 33	1	Розливний	10
5	Мостовий кран	КР № 34	1	Розливний	100
6	Мостовий кран	КР № 141	1	Розливний	80
7	Мостовий кран	КР № 154	1	Пічний	20
8	Мостовий кран	КР № 155	1	Пічний	10
9	Мостовий кран	КР № 156	1	Шихтовий	32
10	Мостовий кран	КР № 157	1	Двір виливниць №2	35
11	Мостовий кран	КР № 158	1	Двір виливниць №2	10
12	Мостовий кран	КР № 159	1	Шихтовий	100
13	Мостовий кран	КР №174	1	Розливний	50
14	Мостовий кран	КР № 190	1	Пічний	16
15	Мостовий кран	КР №191	1	Двір виливниць №1	16
16	Мостовий кран	КР № 192	1	Двір виливниць №1	10
17	Мостовий кран	КР № 193	1	Шихтовий	100
18	Мостовий кран	КР № 195	1	Розливний	50
20	Мостовий кран	КР № 572	1	Ділянка ГКР	100
21	Мостовий кран	КР № 573	1	Ділянка ГКР	10
22	Мостовий кран	КР № 574	1	Ділянка ГКР	
1	Дугова піч	ЭП №2 ДСВ-40	1	СПЦ-3 Пічний проліт	40
2	Дугова піч	ЭП №4 ДСВ-50	1	СПЦ-3 Пічний проліт	50
3	Дугова піч	ЭП №6 ДСП-50Н2	1	СПЦ-3 Пічний проліт	50

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5	6
4	Установка піч-ківш		1		50
5	Газо-кисневий конвертер		1		60

#### 1.4 Огляд технічних рішень по зниженню коливань електродотримачів у вертикальній площині.

Відомо, що значне збільшення швидкості (прискорення або друга похідна) гідроавтоматики може знизити вартість електроенергії на 20 - 30%, а споживання електродів - вдвічі. Такий ефект досягається шляхом мінімізації кількості відставання при проходженні сигналу управління в системі автоматичного регулювання електричної печі. Система практично не дозволяє збільшити відхилення, що в свою чергу різко знижує реактивну (паразитарну) потужність.

При такому значному збільшенні продуктивності виникають проблеми з використанням традиційних насосно-акумуляторних станцій (НАС) з великим інерційним об'ємом маневрування, а також з використанням нещодавно поширених насосних станцій, не призначених для складного групового приводу, з невеликою батареєю і насосами з регулятором тиску, що визначає коливання робочого тиску НАС зі збільшеною частотою. Також стає непридатним використовувати електричні гідравлічні перетворювачі з пружинним поверненням силового золотника, навіть якщо є датчик положення. Значне підвищення продуктивності також передбачає застосування додаткових заходів, які зменшують відставання від проходження сигналу управління. До них відносяться:

- наявність сухого тертя в манжетах гідроциліндрів пересування електродів;

- стиснення робочої рідини в циліндрах і трубопроводах, а також її інерційна маса;
- інерційна маса рухомих механічних деталей.

Беручи до уваги все вищесказане у відносинах, розроблених гідромеханіки, результати хороші для цілей, окреслених на початку впровадження.

Для модернізованої дугоподібної сталеві печі для досягнення високих енергетичних результатів пропонується:

1. Використання запатентованої гідроенергетики - універсального насосно-акумуляторного гідравлічного модуля, такого як МПК зі стабілізацією високого робочого тиску. Наскільки висока стабілізація робочого тиску (ультрапротивності) досягається технічним рішенням, заснованим на теорії лінійного згладжування і прогнозування, що застосовується замість традиційної теорії автоматичного управління.
2. Використання оригінальних електрогідротехнічних перетворювачів типу PEGM, спеціально розроблених для управління рухом електродів на дугових сталевих печах (профіль силового золота вирівнюється з інерційними можливостями механізму руху електрода).
3. Заміна рухомих дотичних ущільнень сучасними низько-тертям і надійними ущільненнями на плунжерній гідравліки.
4. Застосування електронного дугового електричного режиму регулятора з оригінальним запатентованим алгоритмом, що виключає фазову взаємодію.
5. Стабілізація тиску на злив з гідроциліндрів руху електричних поміщиків (спеціальний стабілізатор забезпечує рівність перепадів тиску при опущені електроді і при його піднятті);
6. Використання оригінальних автоматичних захисних пристроїв типу ОС1 для запобігання збоїв електродів при їх вставці в струмопровідний шихту і відсікання гідроциліндрів при відрізі рукавів високого тиску;

7. Застосовують систему синхронізації (блок-роздільники) циліндрів нахилу печі.

Застосування запропонованого повного електричного гідравлічного регулятора дає комбіноване збільшення швидкості (прискорення) в регуляторній системі в 3 - 4 рази, і, як наслідок, значну економію енергії, збільшення кількості виплавки сталі на одиницю часу і загальне поліпшення якості управління дугою процесу в печі.

Пропонований гідроавтоматичний комплект печі включає в себе:

1. Плунжерні гідравлічні циліндри рухомі електроди 180 мм;
2. Джерело гідроенергетики на базі гідравлічних модулів МПК в комплекті з силовим шафою;
3. Гідравлічна панель управління живленням в комплекті з шафою управління;
4. Гідравлічні панельні механізми управління печі в комплекті з електричною шкатулкою;
5. Диспетчери оператора та сталеварів;
6. Стабілізатор тиску зливу;
7. Монтаж очищення і кондиціонування робочої рідини;
8. Електронний дуговий електричний режим регулятора;
9. Набір автоматичних захисних пристроїв від відмови електрода.
10. Стабілізатори електричних електродотримачів.

Гідропривод, що поставляється, адаптований для стикування з будь-якими регуляторами електричного режиму, а також з утворенням чартерів і управління CPD, такими як AVV-Master, Simelt AC і т. ін.

Ущільнення циліндрів флюлізера замінюються ущільненнями з сучасних матеріалів на основі поліуретану або флюорокаучука, які мають коефіцієнт тертя набагато менше, ніж існуючі гумово-штампові ущільнення з достика.



Ущільнення виготовляються взаємозамінні з існуючим шевроном - достиком. Вибір герметичного матеріалу визначається типом робочої рідини: мінеральним маслом або незаймистою водно-гліколічною гідравлічною рідиною.

Як джерело гідроенергетики, універсальні насосні та акумуляторні гідравлічні типи МПК, розроблені на основі принципу надстійкості, з добре розвинутою конструкцією і досвідом їх експлуатації, пропонуються виключно і серійно виробленими нашою компанією.

Використання традиційних насосних акумуляторних станцій (NAS) на дугових сталевих печах було необхідністю і змушували миритися з притаманними йому недоліками, оскільки тільки НАН дозволяла управляти випадковими гідравлічними витратами. Недоліки NAS можна віднести до складності технічного обслуговування, так як вони мають судини високого тиску з системою датчиків рівня рідини і супутніми електроавтоматичними. Судна високого тиску, як правило, підлягають реєстрації та контролю з боку технагляду і потребують відповідної підготовки обслугованого персоналу.

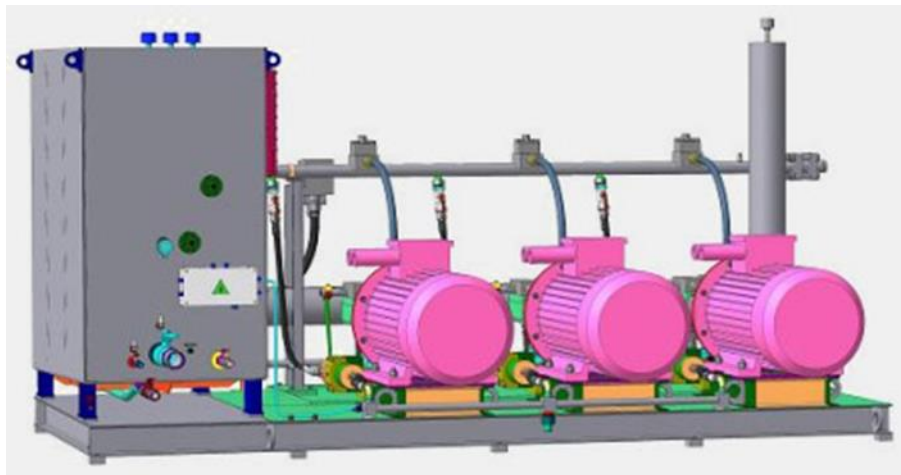


Рисунок 1.1 - Надстійкий гідравлічний модуль

На відміну від традиційних NAS, надстійкий гідравлічний модуль має наступні переваги:

- стабільність високого тиску (синусоїдне відхилення від номінальних 0,5% або менше) і повна відсутність перенапруг тиску (гідровпливів) при будь-яких порушеннях в гідросистемі;

Значне поліпшення якості управління дисками з системами стеження, а також груповими дисками;

- Усунення ризику виходу азоту з системи, так як мікроаккумулятор гідравлічного модуля має розділювач навколишнього середовища; Заряджається від звичайного азотного циліндра, майже не вимагає підзарядки;

- підвищити надійність гідравлічної системи в кілька разів, за рахунок високого гідравлічного модуля і усунення гідравлічних ударів;

Скорочення в кілька разів фінансових і експлуатаційних витрат корисної площі в порівнянні з традиційними насосо-аккумуляторні системи;

- уніфікація неоднорідних гідроелектростанцій і приведення їх до однорідності.

Автоматичне регулювання продуктивності гідравлічного модуля здійснюється за наявності пари «предиктор-коректор» («провісник-коректор»), що забезпечує зворотний зв'язок з більш високими замовленнями. Принцип гідравлічного модуля запатентований.



Рисунок 1.2 - «Предиктор-коректор»

Згадана пара «предиктор-коректор», з відгуками про вищі замовлення, від рівня елементної основи гідроприводу виглядає (в плані ТАУ) як негативний відгук поршневого мікроаккумулятора з контролем подачі насоса по положенню рідкого рівня мікроаккумулятора, що забезпечує автоматичне регулювання поставок за фактичний рахунок з підтримання стабільного робочого тиску в гідравлічній системі. Відсутність гідравлічних ударів гарантується, так як тиск

залишається незмінним по всьому регуляторному діапазону (параметр тиску виходить з системи).

#### Варіанти джерел гідро-харчування:

Запропоноване джерело гідроенергетики забезпечує швидкість від 0 до 9 м/хв (в динаміці при абсолютно постійному тиску) і необхідні швидкості інших виконавчих механізмів печі.

- робочий тиск джерела гідроенергетики 12,5 МПа (125 кг/см<sup>2</sup>);
- відхилення робочого тиску в гідросистемі sineoidal, амплітуда не більше 0,5 кг/см<sup>2</sup>;

Маневрений об'єм поршневих мікроаккумуляторів об'ємом 3,0 літра;

Автоматична подача, в залежності від фактичної потреби системи від 0 до 680 л/хв; Силкові двигуни 3х90 кВт.

#### Склад джерела гідроенергетики:

- гідравлічні модулі МПК 6Б 250-90 (всього 3 штуки: два робітники, один - резервний) на базі регульованих насосів РНК 250/35, керовані блоком автоматичного регулювання поставок робочої рідини при фактичному споживанні (за патентом РФ 2079004);
- інкасатор тиску в колекції;
- газовий колектор - стабілізатор тиску;
- гідравлічний рекуператор;
- гідробак;
- електричний ланцюг з живленням від мікроконтролера.

Газовий колектор є додатком робочого тиску. Заряджається азотом або аргоном (або повітрям для негорючих рідин), його об'єм становить 220 літрів, що дозволяє мати відхилення робочого тиску в гідросистемі не гірше 0,5%.

3000-літровий живильний бак оснащений датчиком температури, безконтактним датчиком на рівні робочої рідини, а також системою електронних датчиків на фіксаторі, що блокує силкові насоси під час заблокованого всмоктування, дренажних і дренажних кранів.

Живильний бак заправляється тільки за допомогою очисних і кондиціонуючих насосів, щоб уникнути забруднення робочої рідини.

Робоча рідина - мінеральна в'язкість нафти від 17 до 35 сСт (50°C). Рекомендовані масляні марки: ICP-30, MGE-46B, TP-30. Клас чистоти не є більш грубим, ніж 11-й на ГОСТ 17216-71, тонкість фільтрації не більше 10 мкм.

Вся гідравлічна система печі може бути переведена на незаймисту гідравлічну рідину класу водяного гліколю (рідина HFC) з кінематичною в'язкістю 38 - 52 мм<sup>2</sup>/с (и) при температурі 40 С. Температура замерзання - не вище мінус 30 С. Необхідна худорлявість фільтрації - 10 мкм. Рекомендовані марки незаймистих рідин: «Камгідрол-46» (російського типу), або аналогічні імпорتنі.

Існує практичний досвід перекладу гідросистем на незаймисті рідини.

### **Регулятор потужності гідропанеля**

Гідравлічна панель (управління механізмами руху електродів), таких як PRM-4, монтується на одній пластині, на базі чотирьох (трьох робітників і однієї резервної копії) спеціальних пропорційних електрогідравлійних перетворювачів, таких як PEGM. На гідропанелі немає громіздкого фіксатора. Крани високого тиску м'яч дозволяє легко переключитися з робочого конвертера в резервну копію.

Щоб запобігти несанкціонованому руху електродотримачів у разі раптового виснаження гідравлічної станції, гідравлічна панель оснащена спеціально розробленими гідро-мураками з електромагнітним управлінням.



Рисунок 1.3 - Гідропанель PRM оснащений шафою для електричного управління.

Електрогідрататор типу PEGM-300 є дводольним прецизійним дозатором зі спеціальним профільним ювеліром, що відповідає інерційним можливостям тримача електрода. Дозатор управляється пропорційним електромагнітним лінійним приводом з вбудованим датчиком зворотного зв'язку в золотистому положенні. Принцип дії заснований на пропорційному управлінні споживанням робочої рідини від малої потужності електричного сигналу.

Завдяки своїм характеристикам PEGM покращує якість регулювання дуги, що економить до 7...10% електроенергії. Крім того, завдяки оригінальному і простому дизайну, конвертер має високу ремонтостійкість і може обслуговуватися в непрофційних умовах. Технічне обслуговування не вимагає його розбирання, так як конструктивний доступ до отворів zwickler забезпечується ззовні.

Технічні параметри електричних гідравлічних перетворювачів PEGM:

- Номінальний тиск 20,0 Мп;
- Регулювання потоку рідини від 0 до 250 л/хв;
- Параметри сигналу зовнішнього управління 4 - 20 мА або  $\pm 10$  В;
- Нечутливість зони  $\pm 2\%$ ;
- Пропускна здатність не менше 30 Гц.

Гідропанель контролює механізми печі

Наступні механізми управляються:

- гідроциліндри стиснення електродів;
- гідроциліндри нахилити піч;

- плунжерний гідравлічний циліндр підйому склепіння;
- плунжерні гідравлічні циліндри повороту арки;
- циліндр робочого вікна.

При необхідності панель може бути завершена (збільшена) додатковими гідродистриб'юторами. Для забезпечення плавного регулювання (прискорення уповільнення) нахилу печі і розвороту склепіння використовуються пропорційні гідродистриб'ютори з високоточним електроприводом.

На гідропанелі встановлюються спеціальні гідропанелі з електромагнітним управлінням, які щільно блокує рух нахилу печі і підйом склепіння при отриманні сигналів від кінцевих вимикачів (або від контролера), а також у разі раптового деочищення. Панель механізмів печі оснащена електричною розсіювачем з гідравлічною системою управління дозатором.

#### Стабілізатори тиску на злив

Стабілізатори забезпечують рівне падіння тиску на електрогідравлічні перетворювачі, як тоді, коли електроди рухаються вгору і вниз. Стабілізатор тиску - це спеціальний поршневий пневматичний мікроаккумулятор, оснащений автоматичним пристроєм підтримки тиску на зливів, власним зарядним пристроєм, газовими і гідравлічними деталями датчиків. Газова частина стабілізатора заряджається азотом для певного розрахункового тиску. Стабілізатор встановлюється в безпосередній близькості від гідропану регулятора потужності на зливних трубопроводах з усіх трьох циліндрів електродотримачів.

#### Відновлення потужності робочої рідини

Використання відновлення потужності обумовлено тим, що робочі циліндри регулятора, перебуваючи під навантаженням, визначаються вагою механізмів руху електродів, в момент опущення стають вантажними батареями з нульовим к.к.д., енергія яких витрачається тільки на нагрівання робочої рідини. І кількість цієї енергії дорівнює кількості енергії, що використовується для підйому механізмів руху електрода. Рекуператором є пара «гідромотор -

насос» (гідралічний модуль). Робоча рідина зливу потужності проходить через гідродвигун, повідомляючи йому обертання, енергія якого передається на насос-модуль, який, розвиваючи необхідний робочий тиск, знижує його подачу до вартості переданої йому потужності:  $W_{\text{qxP}}$ . Рекуператорний насос розвиває вдвічі більше тиску з подачею, половину тиску на злив. Таке рішення в поєднанні з високим джерелом гідроенергетики дозволяє системі практично завжди обітатися без теплообміннику при температурі робочої рідини 36 - 40 С. Теплообмінник в нашому випадку, в принципі, необхідний тільки для дуже спекотної погоди.

Установка очищення і кондиціонування робочої рідини

Очищення та кондиціонування включає фільтрацію, системи опалення та охолодження.



Рисунок 1.4 - Система очищення робочої рідини

Система очищення робочої рідини впроваджується за схемою циркуляції: фільтраційна станція постійно перекачує робочу рідину зі умовно брудної порожнини резервуара через фільтри з хударлявістю 10 мкм в чисту порожнину. Фільтри оснащені електровізуальними показниками забруднення.

Схема фільтраційної системи включає в себе високоестійкий водоплавний плитний теплообмін-нік, який активується автоматично для підтримки заданої температури робочої рідини. Холодна і гаряча вода надходять в теплообмінник, подача того чи іншого водогону для охолодження або нагрівання робочої рідини здійснюється електромагнітними клапанами, керованими системою терморегуляції на мікроконтролері.

Очищення та кондиціонування також використовується для заправки живильного резервуара робочою рідиною та завантаження його при заміні.

#### Регулятор електричного режиму

Регулятор електричного режиму виконаний на платі і поміщений в духовку або в окрему шафу. Регулятор впровадив оригінальний запатентований алгоритм контролю, який виключає фазову взаємодію. Цей регулятор сумісний з усіма відомими існуючими ASUTP CPD.

#### Пульт дистанційного керування оператора

Пульт дистанційного керування дозволяє оператору керувати високовольтними вимикачами, перемикати сходишки трансформатора печі, контролювати механізми печі, рухати електроди в ручному і автоматичному режимах; містить пристрої струму і напруги і стрілки напруги для кожної фази, дисплей кінцевого вимикача, включає в себе ручний вибір контурів і систему замикання.

При експлуатації в системі цифрового управління пульт дистанційного керування включає в себе діючу станцію промислового класу.

#### Автоматичні захисні пристрої

При експлуатації дугових печей однією з проблем є поломка дорогих електродів, а також розриви рукавів подачі масла, що викликають пожежі. Щоб запобігти цим небезпечним ситуаціям, пропонується оснастити піч спеціальною системою захисту. Повна назва - система захисту електродів від збою при вставці підсилення і автоматичного відсікання робочої рідини під тиском з місця руйнування масла (відрізні клапани, такі як ОК1 і ОК2).



При наведенні на струмопровідний шейту ОК замикає порожнину глибокого циліндра, тим самим розвантажуючи електрод і захищаючи його від збою. При цьому видається електричний сигнал оповіщення. При нанесенні тиску на плунжер (сигнал для підйому) пристрій автоматично відкривається. Пристрій ОС не реагує на коливання тиску, характерні для занурення циліндрів печі. Але коли рукава високого тиску, встановлені на циліндрах, розбиваються, він автоматично відрізає розрив зі швидкістю 0,2-0,4 с, захищаючи циліндри від втрати масла.

Відрізні клапани встановлюються під плунжери електродотримачів - 3 штуки, а на рукавах печі нахилиються циліндри - 2 штуки.

#### Електричні стабілізатори

Одним з поширених недоліків існуючих електродотримачів є низька жорсткість конструкції рукава, висока вага і вібрація під час роботи.

Відхід рукава становить кілька метрів. А якщо врахувати, що вага електрода в потужних печах перевищує 5 тонн, і що цей електрод фіксується в кінці рукава, то природно в поперечному перерізі рукава є великий згинаючий момент. Рукав під впливом моменту згинання згинається в межах еластичної деформації. Такий вигин є однією з головних причин коливань в системі автоматичного регулювання при збереженні електричної дуги, що сприяє дестабілізації енергорегулятора.

При спробі підвищити жорсткість рукава традиційним способом - збільшується вага рукава електроотримувача. А збільшення ваги рухомих частин відбивається на швидкості гідравлічної системи автоматичного управління рухом електрода. Затримка розробки дезінцепту сигналу знижує якість регулювання введення в піч (це відбивається на продуктивності електричної печі).

Ми розробили просте і дешеве рішення, яке дозволяє значно підвищити жорсткість рукава електродотримача.

Таке рішення полягає в тому, що два стрижні (стабілізатори електротримача) кріпляться до існуючого рукава під кутом. Завдяки насадці артикуляції стрижнів, сила від ваги електрода викладена на компоненти і спрямована уздовж стрижнів, тому немає вигину рукавів. При цьому один з стрижнів розтягується, а інший стискається. Кількість відносного розтягування і стиснення стрижнів незначна.

## 1.5 Пропозиції щодо поліпшення технічних характеристик обладнання

Вибір ефективної схеми механізму руху електродів відіграє виключно роль у забезпеченні високої якості регулювання процесу електричної дуги та підвищенні економічних показників агрегату печі (підвищення ефективності, зниження споживання електроенергії та електродів, підвищення якості виплавки металу).

Така схема, як показала давня практика експлуатації печей, повинна, в першу чергу, забезпечити високі показники стійкості, швидкості, точності і чутливості. При цьому, як свідчать попередні дослідження, на перше місце слід поставити стійкість проти автозабору, друге - швидкість і останнє - точність і чутливість. Результати цих досліджень представлені в статтях. Існують також розроблені математичні моделі, описані сімейними рівняннями-деференціалами, різними схемами механізмів. Тому ця стаття дає лише результати досліджень на основі порівняльної оцінки. Розглянуто вплив на технічні показники механізмів таких факторів:

- вид перекриття управителя ювеліром (негативні і позитивні перекриття);
- кількість каскадів управителя ювеліром (одно- і два каскадні ювеліри);
- тип управління золотим приводом (постійний струм і повнопривідні двигуни, крок двигун, пропорційний електромагніт).

Дослідження проводилися за допомогою комп'ютера зі спеціально розробленими модулями. Результати дослідження впливу типу щілини

перекриття золотникової головки для чотирьох типів приводу представлені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Порівняльні дані про вибір типу перекриття керування золотником.

Тип приводу	Тип перекриття	Статичні характеристики			Динамічні характеристики	
		$\overline{k_V}$	$\overline{k_R}$	$\sigma_{ст}, \text{м}$	$p_{гр}, \text{МПа}$	$t_p, \text{с}$
Двигун з полим ротором	Від'ємний.	1.0	0...1.0	$2 \cdot 10^{-6}$	-	0,207*
	Додатний.	$\rightarrow 0$	$\rightarrow \infty$	$2 \cdot 10^{-5}$	8.2	0,217
Пропорційний електромагніт	Від'ємний.	1.0	0...1.0	$2 \cdot 10^{-6}$	-	0,280*
	Додатний.	$\rightarrow 0$	$\rightarrow \infty$	$2 \cdot 10^{-5}$	> 10	0,322
Двигун постійного струму	Від'ємний.	1.0	0...1.0	$2 \cdot 10^{-6}$	-	0,228*
	Додатний.	$\rightarrow 0$	$\rightarrow \infty$	$2 \cdot 10^{-5}$	9.2	0,291
Кроковий двигун	Від'ємний.	1.0	0...1.0	$2 \cdot 10^{-6}$	-	0,149*
	Додатний.	$\rightarrow 0$	$\rightarrow \infty$	$2 \cdot 10^{-5}$	9.7	0,184

Знак «-» означає, що система не має області абсолютної стабільності.  
Знак «\*» вказує на те, що час регулювання додається до часу згасання

У таблиці:  $\overline{k_V}, \overline{k_R}$  - відповідно, коефіцієнти приносяться з точки зору швидкості і навантаження;  $p_{гр}$  - граничний тиск,  $t_p$  - час обробки сигналу (регулювання).

Таблиця 1.2 показує, що тільки механізми з ювеліром, що мають позитивне перекриття щілиних, стійкі до автопереносу. Тому їх слід рекомендувати до застосування з подальшими, більш детальними дослідженнями.

Також необхідно звернути увагу на те, що для механізму з ювеліром, що має негативне перекриття щілин, при амплітуді і обуреного  $A_z=0,02 \text{ м}$  і підведеного тиску  $p_{п}=4 \text{ МПа}$  будуть автострушування, тому час перехідного процесу слід додати до часу переходу коливачів.

Результати досліджень щодо порівняльної оцінки впливу кількості золотих каскадів на динамічні характеристики в  $k_{п}=20 \text{ В/м}$  (коефіцієнт конверсії аналогового SAU),  $k_{пм}=500 \text{ кг}\cdot\text{м/м}$  (коефіцієнт конверсії для digital SAU (або для qD),  $p_{п}=4 \text{ МПа}$  (підвести до золотого тиску),  $A_z=0,02 \text{ м}$  (амплітуда збуреного удару),  $t_{тр}=30 \text{ м}$  (довжина трубопроводу) наведені в таблиці 2

Таблиця 1.3 - Порівняльні дані по вибору кількості каскадів золотників з позитивним перекриттям щілини.

Тип приводу	Тип золотника	Динамічні характеристики	
		$p_{гр}$ , МПа	$t_p$ , с
Двигун з повним ротором	Двохкаскадний	<3	0,217
	Однокаскадний	8,2	0,769
Електромагніт	Двохкаскадний	<3	0,322
	Однокаскадний	>10	0,833
Двигун постійного струму	Двохкаскадний	<3	0,291
	Однокаскадний	9,2	0,769
Шаговий двигун	Двохкаскадний	<3	0,184
	Однокаскадний	>10	0,373

Таблиця 1.3 показує, що одноколісний ювелір забезпечує високу стійкість і меншу швидкість механізму в порівнянні з двоколісним водяним ювеліром. Однак перехідний час механізму з двокаскадного золотника – це більше часу перехідного процесу механізму з однокаскадного золотника. Крім того, прикордонний тиск RGR, який є показником стійкості, з однокаскадним золотником становить менше 3,0 МПа. Звідси випливає, що при використанні двокатестового ювеліра практично неможливо домогтися якісного регулювання процесу електричної дуги. Низька стійкість механізму з двокаскадним золотом пояснюється наявністю високоеластичного зворотного зв'язку між електродвигуном і качалкою силового каскадного ювеліра (тобто трансмісійним зв'язком між каскадами є стовпчик рідини, в той час як при одноасотичній золотниці відбувається жорсткий механічний зворотний зв'язок). Таким чином, в цьому випадку доцільно використовувати одноциклічних менеджерів ювелірів.

Результати досліджень для оцінки впливу на продуктивність механізму електродвигуна, качалки однотійного золота, на статичні і динамічні характеристики, наведені в таблиці 1.4. При цьому задавались такі значення вихідних даних:  $k_{п}=25$  В/м,  $t_{тр}=20$  м,  $A_z=0,02$  м,  $p_{п}=4$ МПа,  $k_{пм}=750$  кг·м/м,  $k_{гд}=1$  (передаточне число від двигуна до золотника).

З таблиці випливає, що для приводів з аналогічною регуляторною системою (SAR) кращі показники стійкості мають механізм із золотом,

оснащений пропорційним магнітом і двигуном постійного струму. Механізм з управлінням золотим від двигуна з порожнистим ротором має достатній граничний тиск для його нормальної роботи (без автопарків) і найкращий показник для швидкості.

Таблиця 1.4 - Порівняльні дані про вибір типу приводу золотника

Тип системи САР/САУ	Показники					
	Тип двигуна	$\overline{k_V}$	$\overline{k_R}$	$\sigma_{ст}, \text{М}$	$P_{гр}, \text{МПа}$	$t_p, \text{с}$
Аналогова система	З полим ротором	$\rightarrow 0$	$\rightarrow \infty$	$2 \cdot 10^{-6}$	55	0,699
	Електромагніт	$\rightarrow 0$	$\rightarrow \infty$	$2 \cdot 10^{-6}$	>100	0,719
	Постійного струму	$\rightarrow 0$	$\rightarrow \infty$	$2 \cdot 10^{-5}$	58	0,699
Цифрова система	Кроковий	$\rightarrow 0$	$\rightarrow \infty$	$2 \cdot 10^{-5}$	62	0,327

Тому найбільш підходящим для аналогової системи є використання електромагніт або двигуна з порожнистим ротором. Використання електромагнітного повітря доречно в гідромеханічних системах, де потрібен високий граничний тиск (вище 10 МПа), а двигун з порожнистим ротором - в системах, де потрібен низький тиск (до 5,0 МПа).

Крім того, в існуючих механізмах переміщення електродів з гідромеханічним приводом використовується двигун з порожнистим ротором. Тому, з точки зору техніко-економічної ефективності, заміна цього двигуна на електромагніт є непрактичною. І, в цілому, для аналогової системи механізму управління при роботі на тиск нижче 5,0 МПа найбільш застосованим є двигун з порожнистим ротором, як з техніко-економічної точки зору.

Аналіз різних джерел показує, що подальші характеристики аналогових систем регулювання рухових механізмів електрода неефективні. Навіть використання ідеальних регуляторів з абсолютною чутливістю і найвищою

швидкістю руху електрода може збільшити продуктивність печі не більше ніж на 2%, а також знизити витрату агрегату електродів менш ніж на 1%. У зв'язку з цим, замінюючи елементарну базу дисків відстеження на більш сучасну, акцент має бути зосереджений на вдосконаленні принципів управління. Це стосується, перш за все, управління програмним забезпеченням і впровадження гнучкої адаптивної цифрової системи управління (SAS). При цьому, як свідчать дані таблиці 1.4, найбільш підходящим є використання крокових двигунів, система управління якими найбільш органічно поєднується з цифровою піччю SAU. І якщо питання стосується будівництва нових печей, то відповідне використання digital SAU буде явним. Але якщо мова йде тільки про заміну аналогового АТР існуючих печей на цифровий САУ, то, в першу чергу, детальні дослідження повинні проводитися в будь-якому випадку на економічній доцільності цієї заміни. Бо при майже рівній вартості САУ як для малих, так і для великих печей термін окупності для невеликих печей буде набагато довшим.

## 2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

### 2.1 Пристрій піч-ківш

Як показано в розділі 1, установка піч-ківш призначена для позапічної обробки сталі в ковші різними способами з метою підвищення якості рідкого металу перед розливанням у виливниці (рис 2.1). Обробка здійснюється окремими пристроями, за допомогою яких можна виконувати:

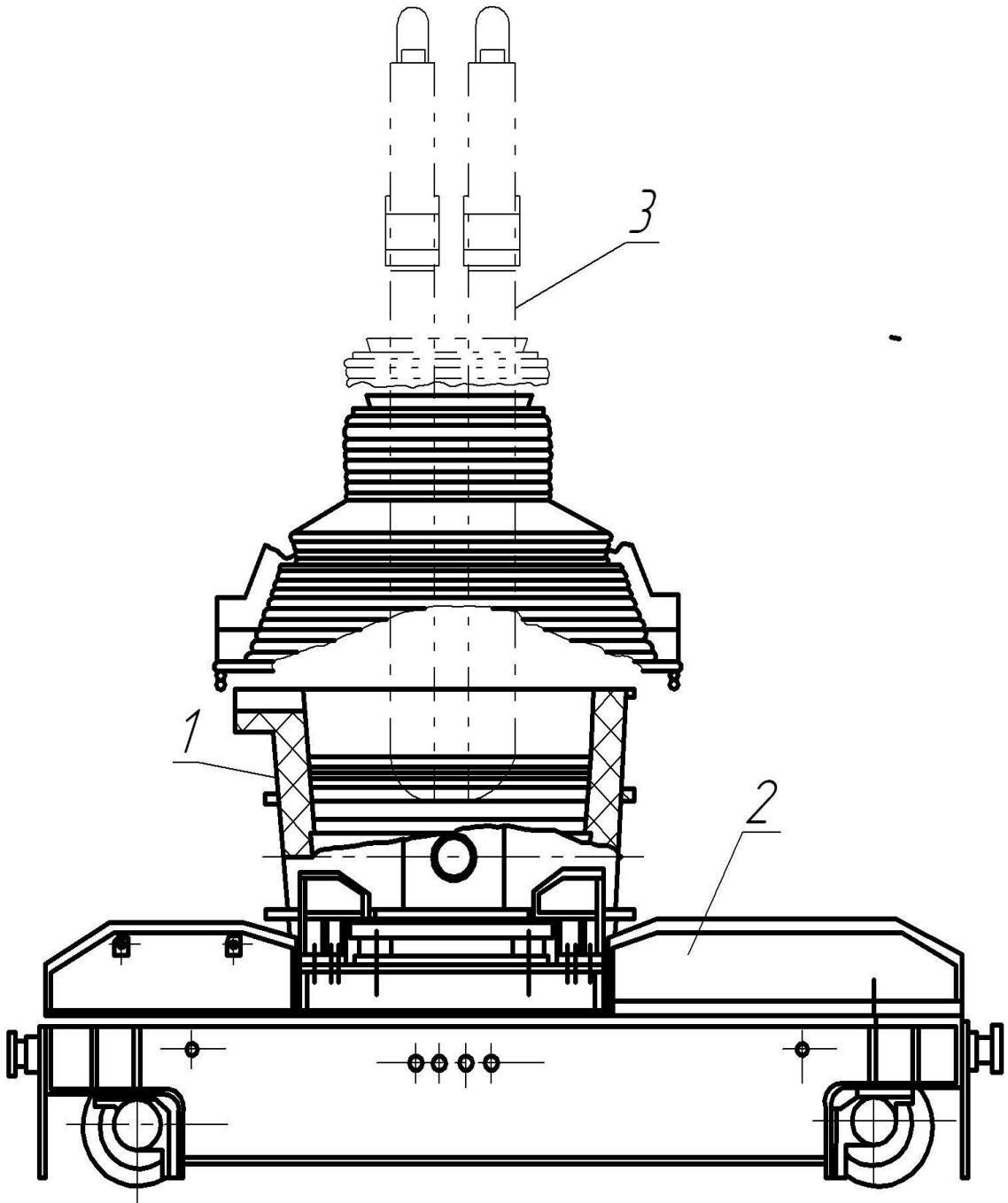
- усереднення складу та температури сталі за обсягом ковша,
- зниження температури сталі в ковші присадкою обрізу,
- коригування складу сталі по вуглецю та сірці,
- механізацію процесу набирання фурм,
- коригування складу сталі різними феросплавами.

Основні технологічні параметри встановлення піч-ківш:

- |  |                              |
|--|------------------------------|
| 1. Кількість рідкого металу в ковші з новим футеруванням | - 53 т;                      |
| 2. Кількість шлаку в ковші                               | - 1 т;                       |
| 3. Номінальна потужність трансформатора                  | - 20 МВА;                    |
| 4. Діапазон вторинної напруги                            | - 29,55-144 В;               |
| 5. Максимальна сила струму електрода                     | - 24 кА;                     |
| 6. Діаметр електрода                                     | - 350 мм;                    |
| 7. Діаметр розпаду електродів                            | - 650 мм ;                   |
| 8. Швидкість нагріву металу                              | - 3-4°C/хв;                  |
| 9. Витрата аргону (азоту) максимальна                    | - 60 м <sup>3</sup> /годину; |
| 10. Витрата води для охолодження:                        |                              |
| - короткої мережі  | - 60 м <sup>3</sup> /годину; |
| - зводу та інших елементів печі                          | -125                         |
| м <sup>3</sup> /годину;                                  |                              |
| 11. Витрата електроенергії                               | - 50-60 кВт·год/т;           |
| 12. Час обробки сталі в ковші                            | - 60 хв;                     |
| 13. Витрата матеріалів на 1 т придатного:                |                              |
| - феросплави шматкові                                    | - до 30 кг/т;                |
| - алюмінієва катанка і А1 гранульований                  | - по 0,5 кг/т;               |
| - феросіліцій  | - до 2 кг/т;                 |
| - вапно (фракція 20-80 мм)                               | - до 0.3 кг/т;               |
| - плавиковий шпат (фракція 5-50 мм)                      | - до 2 кг/т;                 |

- порошковий дріт (кожного виду)

- до 10 кг/т.



1-ківш; 2-сталевоз; 3-механізм переміщення електродів.

Малюнок 2.1- Установа піч-ківш



Установка піч-ківш складається з таких основних механізмів:

- ківш;
- сталевоз;
- механізм переміщення електродів;
- пристрій для подачі феросплавів в ківш.

### 2.1.1 Призначення та влаштування ковша сталерозливного

Сталерозливний ківш служить для прийому сталі, виплавленої в електропечі, транспортування її на КПК або ГКР і наступного розливання у виливниці .

Технічні характеристики-

1. Загальний обсяг ковша (метал + шлак)	- 7,94 м <sup>3</sup>
2. Найбільша допустима маса металу	- 53233 кг
3. Маса шлаку	- 1006 кг
4. Об'єм металу при середній щільності рідкої сталі $V = 7000 \text{ кг/м}^3$	- 7,6 м <sup>3</sup>
5. Об'єм шлаку при щільності рідкого шлаку $Y = 3000 \text{ кг/м}^3$	- 0,34 м <sup>3</sup>
6. Маса ковша без футерування	- 10569 кг
7. Маса футерування ковша	- 16995 кг
8. Маса порожнього ковша	- 27564 кг
9. Максимальна маса нормально завантаженого ковша	- 81803 кг

Основними складовими частинами сталерозливного ковша є корпус, кантувальний пристрій та шибєрний затвор.

Корпус ковша складається з кожуха 1, цапфового пояса та футерування (рис. 2.2). Цапфи 2 служать захоплення ковша гаками траверси ливарного крана. Вогнетривка футеровка 3 корпуси складається з трьох шарів -

ізоляційного, арматурного та робочого. Ізоляційний шар завтовшки 10-25 мм розташований на внутрішній поверхні кожуха і виконується з вогнетривкої глини або магнезитового порошку. Арматурний шар межує із ізоляційним шаром. Товщини цих шарів призначається з розрахунку забезпечення допустимих теплових та температурних впливів на кожух (від рідкого розплавленого металу та шлаку, що знаходяться в ковші). Робочий шар вогнетривкої футеровки захищає арматурний шар, безпосередньо контактуючи з рідким металом і шлаком і інтенсивно зношуючись у процесі експлуатації.

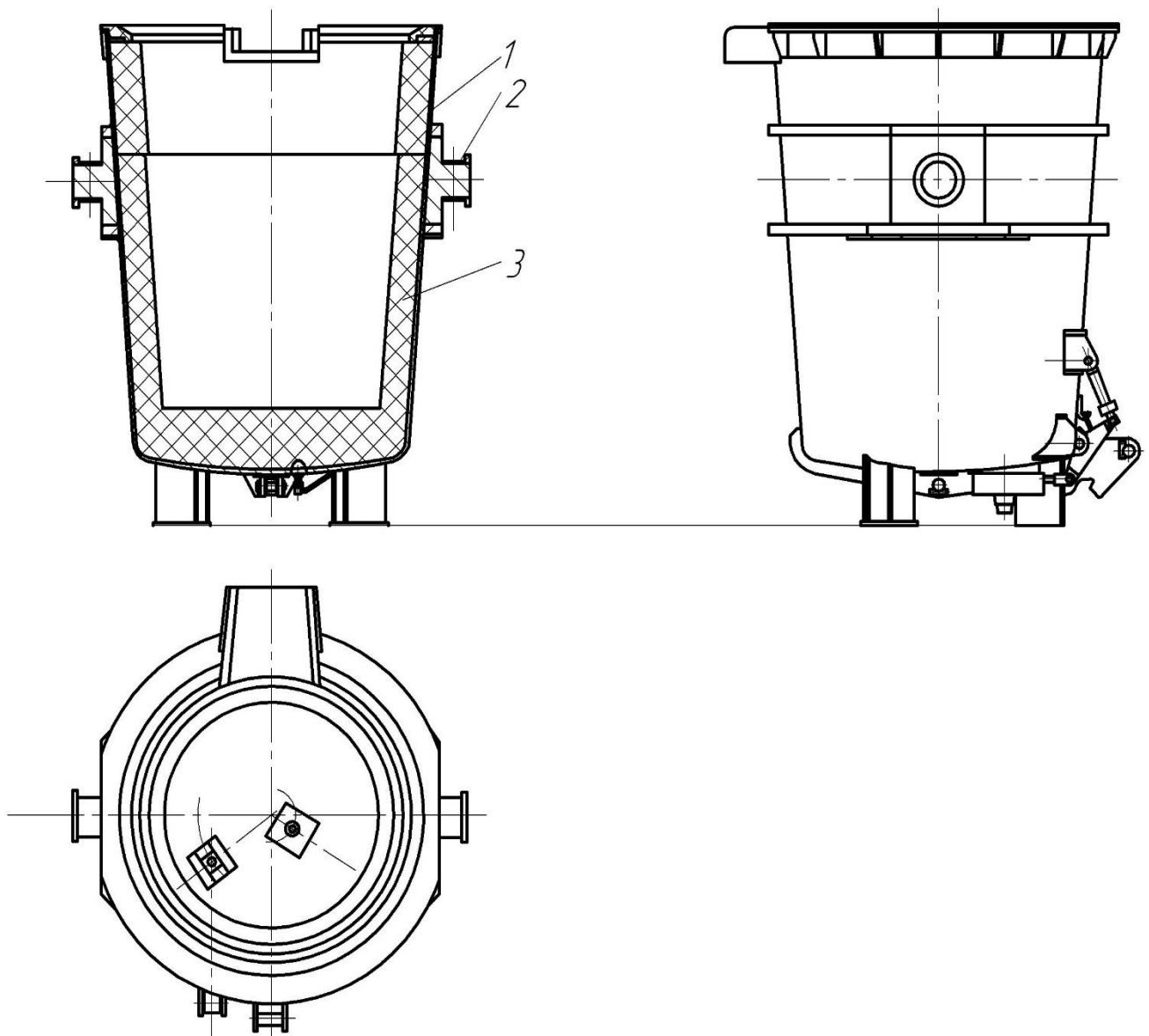


Рисунок 2.2 – Ківш.

Кантальний пристрій призначений для нахилу ковша при зливі шлаку після розливання сталі.

У днищі ковша є сталевипускний отвір, через який випускається рідка сталь при розливанні. Вертикальна вісь цього отвору збігається з віссю фланця, ввареного в днище. На фланець встановлені дві вогнетривкі гніздові цегли, що є елементами футерування днища. У них вставлено вогнетривку розливну склянку. До фланця за допомогою двох штирів з клиновими планками кріпиться шиберний затвор (рис. 2.3).

Шиберний затвор є затвором важільного типу з пружинним притиском вогнетривких плит. Затвор збирається в корпусі 5 і включає нерухому і рухливу робочі частини. Нерухлива робоча частина складається із сталевій обойми 6 і вогнетривкої плити 7. Рухлива робоча частина складається із сталевій обойми 4, вогнетривкої плити 3 і вогнетривкої склянки-колектора 2. пружин 12. До корпусу 5 кріпиться кронштейн 14. Переміщення рухомої частини здійснюється від знімного гідроциліндра 15, який встановлюється в пазах кронштейна 14 перед випуском сталі з ковша. Шток гідроциліндра пов'язаний у замку зі штангою 13, з'єднаною, у свою чергу, з обоймою 4 пересуває її разом з плитою 3 і склянкою-колектором 2.

Гідроциліндр 15 пов'язаний гнучкими рукавами високого тиску з гідроприводом дистанційного керування затворами сталерозливних ковшів. Після закінчення розливу плавки гідроциліндр витягується розливником з пазів кронштейна 14 і укладається у відведене місце на розливному майданчику. Після розлитої плавки, шиберний затвор і склянку розливу зазвичай замінюються. Для цього ківш встановлюється на стенд та розливник за допомогою маніпулятора виконує зазначені операції. Вибивання та встановлення клинових планок штирів 16 проводиться вручну.

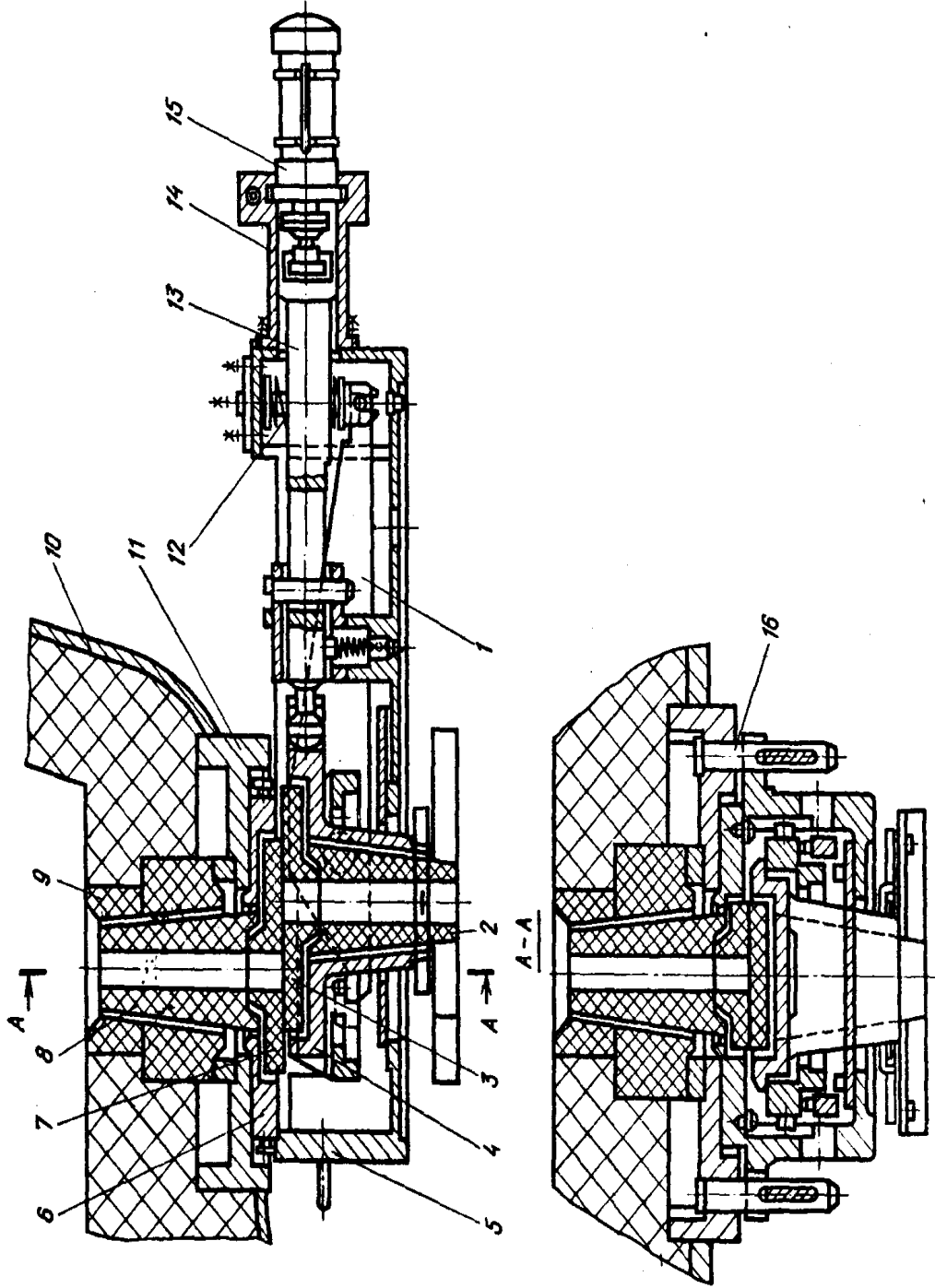


Рисунок 2.3 – Шиберный затвор ковша

Розбирання відпрацьованих шибєрних затворів, заміна їх вогнетривкої частини, вибракування та ремонт механічної частини проводяться на спеціалізованій ділянці.

### 2.1.2 Призначення та устрій сталєвоза

Сталєвоз призначений для транспортування та зважування сталєрозливних ковшів з рідким металом під зведення установки піч-ківш.

#### Технічна характеристика:

1. Вантажопідйомність	- 90 т;
2. Швидкість пересування	- 0,25 м/с;
3. Прискорення /уповільнення/ тах	- 0,2 м/с <sup>2</sup> ;
4. Привод	
4.1. Рід струму - змінний	- 380 В;
4.2. Редуктор	- СКУ-950, і -145,75;
4.3. Ел. Двигун	- МТКН-312-6, N -15 кВт, n -915 од/хв;
4.4. Гальма	- ТКТ 200
5. Діаметр ходових коліс	- 840 мм
6. Тип рейки	- КР 120
7. Колія	- 3400 мм;
8. База	- 5800 мм;
9. Максимальний тиск колеса на рейку	- 31т.
10. Управління сталєвозом	- дистанційне

Сталєвоз (рис. 2.4) складається з рами 1, на якій встановлюється сталєрозливний ківш. Сталєвоз обладнаний пристроєм, що зважує, скребками 4 і двома автозчепками 2. Управління сталєвозом здійснюється дистанційно, з постів управління.

На рамі візка монтується механізм пересування 3 сталєвозу, що складається з двох електродвигунів 1 (рис. 2.5), двох циліндричних триступінчастих редукторів 2 і двох колодкових гальм 3 з електромагнітами постійного струму. Двигуни та редуктори з'єднані зубчастими муфтами 4, а редуктори та ходові колеса 5-зубчастими муфтами 8 та 6 через проміжний вал 7.

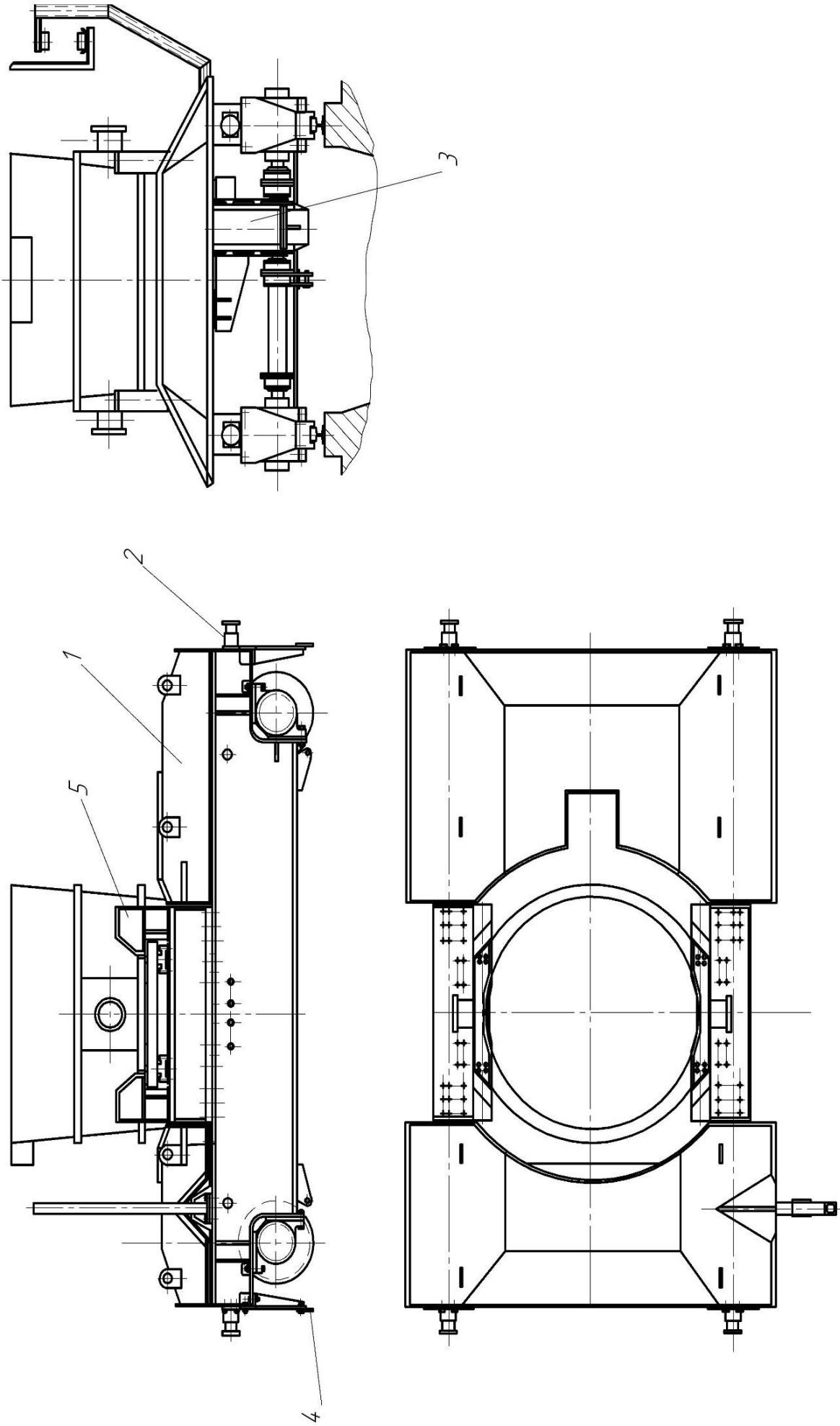


Рисунок 2.4 – Устрій сталевозу

Рама 1 (див. рис. 2.4) являє собою металоконструкцію, зварену з поздовжніх та поперечних балок коробчатого перерізу. У середній частині верхньої поверхні поздовжніх балок є обмежені чотирма упорами площадки 5, на які встановлюється ківш. Решта верхньої поверхні платформи футерується вогнетривкою цеглою товщиною 60-80 мм в один шар з метою захисту деталей і вузлів сталевого від пошкодження розплавленими сталлю та шлаком.

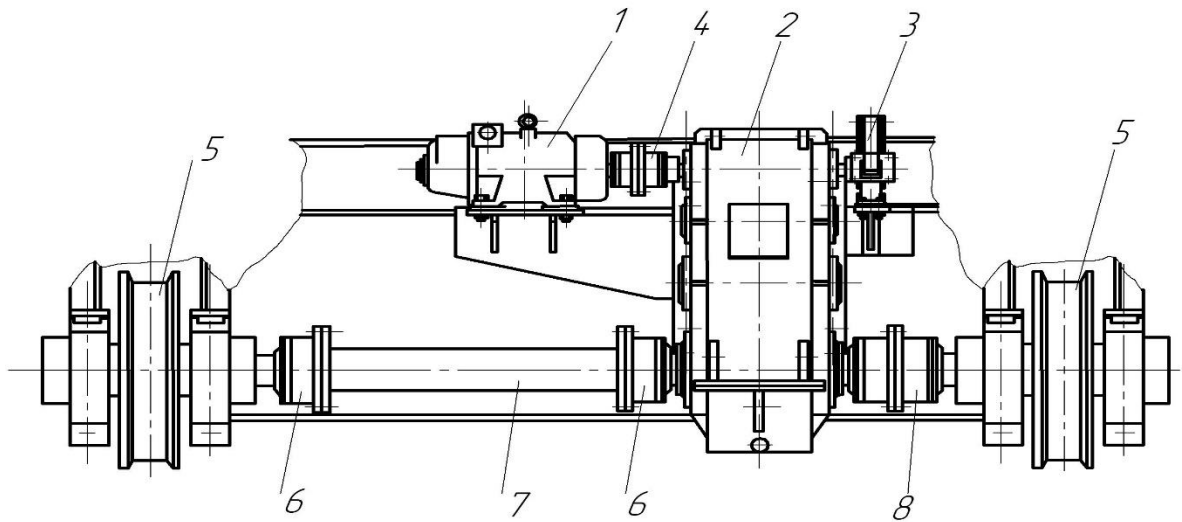
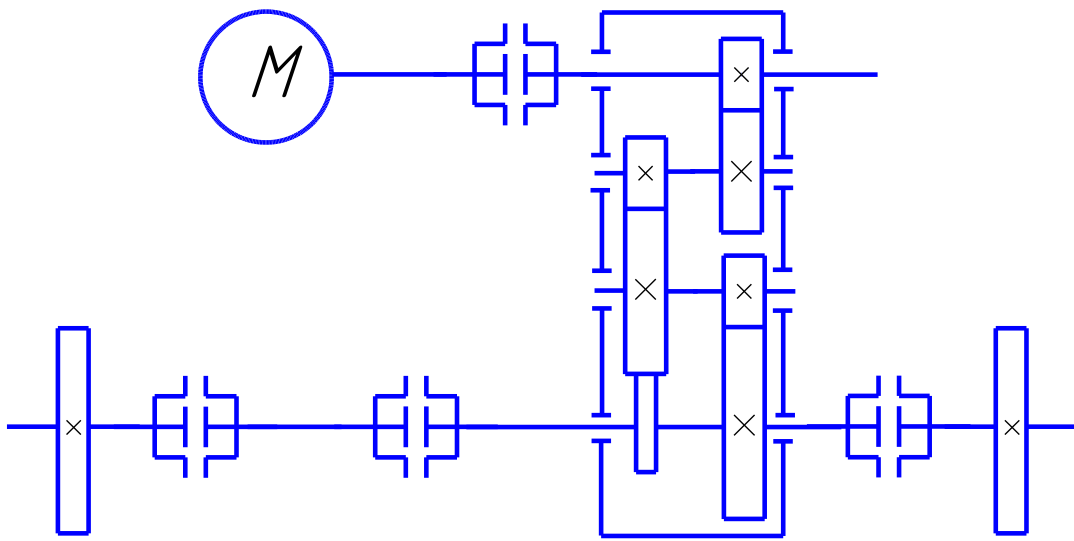


Рисунок 2.5 – Привод сталевого

Основною складовою зважувального пристрою є тензорезисторні датчики, які служать для перетворення зусилля, що діє на них, від маси платформи з наповненим ковшем в електричні сигнали.

Для періодичного змащування підшипників кочення ходових коліс і редукторів механізмів пересування передбачена стандартна дволінійна станція централізованого мастила (ГОСТ 11700-73) з типовим ручним насосом НРГ-М, яка через живильники почергово подає до підшипників пластичний мастильний.

## 2.2. Розрахунок механізму переміщення візка сталевоза



Малюнок 2.6.- Кінематична схема механізму переміщення візка

Технічна характеристика механізму переміщення повинна дозволити мати швидкість візка 0,25 м/с за її вантажопідйомності 90 т., виключаючи власну масу візка рівну 31,43 т. Режим роботи візка – середній.

Попередній аналіз показує, що встановлені на приводі двигуни МТКН-312-6: номінальна потужність при ПВ = 25%,  $P_{\delta} = 15$  кВт, частота обертання  $n_{\delta} = 915$  хв<sup>-1</sup>, максимальний (пусковий) момент  $T_{\delta} = 600$  Н·м, момент інерції ротора  $J_p = 0,484$  кг·м<sup>2</sup>, Потужність діаметр валу  $d_1 = 50$ , висота центрів  $h = 180$ мм [1, табл. III.3.6], поставлені явно із запасом потужності. У разі енергетичної нестабільності ставати актуальними питання зниження енергоємності устаткування. У зв'язку з цим зробимо розрахунки та визначимо необхідну потужність приводу.

### 2.2.1. Найбільше навантаження на одне колесо

$$F = (m + m_T) \cdot g / Z_K, \quad (2.1)$$



де  $Z_K$  - кількість коліс візка; приймаємо  $Z_K = 4$ .

Підставивши числові значення (2.1), отримаємо

$$F = (m + m_T) \cdot g / Z_K = (90 + 31,43) \cdot 9,8 / 4 = 297,5 \text{ кН.}$$

Вибираємо [1, табл.ІІІ.2.3] при заданій швидкості пересування  $V_T = 0,25 \text{ м/с}$  та середньому режимі роботи колесо: діаметр  $D_K = 800 \text{ мм}$ , допустиме навантаження  $F_K = 544 \text{ кН}$ , тип рейки КР120. В опорах колеса встановлено 3628 підшипників (2, табл.) з внутрішнім діаметром  $d = 140 \text{ мм}$ ; діаметр реборд  $D_1 = 880 \text{ мм}$ .

Опір пересування з номінальним вантажем

$$W_C = (m + m_T) \cdot g \cdot \left( \frac{f \cdot d + 2 \cdot \mu \cdot k_p}{D_K} + \alpha \right), \quad (2.2)$$

де  $f$  - Коефіцієнт тертя в опорах колеса, приймаємо  $f = 0,015$  [1, с.33];

$\mu$  - Коефіцієнт тертя кочення колеса по рейці;

$k_p$  - Коефіцієнт, що враховує тертя реборд про рейку;

$\alpha$  - Ухил шляху,  $\alpha = 0,002$  [1, табл. 2.10].

$\mu = 0,0003 \text{ мм}$  при  $D_K = 800 \text{ мм}$  та рейці з плоскою головкою [1, табл.1.28];

$k_p = 3,5$  при підшипниках кочення [1, с.33];

Підставивши числові значення (2.2), отримаємо

$$W_C = (90 + 31,43) \cdot 9,8 \cdot \left( \frac{0,015 \cdot 0,14 + 2 \cdot 0,0003}{0,8} \cdot 3,5 + 0,002 \right) = 16,44 \text{ кН.}$$

## Перевірочний розрахунок

### 1. Електродвигун

Статична потужність приводу

$$P' = W_C \cdot V_T / \eta, \quad (2.3)$$

де  $\eta$  - ККД механізму пересування; приймаємо  $\eta = 0,82$  [1, табл. 1.18].

$$P' = 16,44 \cdot 0,25 / 0,82 = 5 \text{ кВт.}$$

## 2. Редуктор

Частота обертання ходових коліс

$$n_K = \frac{60 \cdot 10^3 \cdot V_T}{\pi \cdot D_K}. \quad (2.4)$$

Підставивши числові значення (2.4), отримаємо

$$n_K = \frac{60 \cdot 10^3 \cdot 0,25}{3,14 \cdot 800} = 5,97 \text{ хв}^{-1}.$$

Передатне відношення приводу

$$i = n_\partial / n_K. \quad (2.5)$$

Підставивши числові значення (2.5), отримаємо

$$i = 915 / 5,97 = 153,3$$

Мінімально можлива сумарна міжосьова відстань редуктора

$$a'_\Sigma = 0,5 \cdot D_1 + h + 100. \quad (2.6)$$

Підставивши числові значення (2.6), отримаємо

$$a'_\Sigma = 0,5 \cdot 880 + 180 + 100 = 720 \text{ мм.}$$

Вибираємо редуктор ВКУ - 950: потужність, що передає  $P_p = 9,8$  кВт при середньому режимі роботи, частота обертання  $n_p = 750$  мін<sup>-1</sup>. Передатне число  $U_p = 147,62$ , діаметр вхідного валу  $d = 32$  мм, діаметр вихідного валу  $d_1 = 65$  мм.

Фактична швидкість пересування

$$V_{T\Phi} = \frac{\pi \cdot D_K \cdot n_\partial}{60 \cdot U_p}. \quad (2.7)$$

Підставивши числові значення (2.7), отримаємо

$$V_{T\Phi} = \frac{3,14 \cdot 0,8 \cdot 950}{60 \cdot 147,62} = 0,27 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}.$$

### 2.3. Муфта на швидкохідному валу

Номінальний момент на валу

$$T_H = 9550 \cdot P_\partial / n_\partial. \quad (2.8)$$

$$T_H = 9550 \cdot 15 / 915 = 156,6 \text{ Нм}.$$

Розрахунковий момент

$$T_M = k_1 \cdot k_2 \cdot T_H, \quad (2.9)$$

де  $k_1$ - Коефіцієнт, що враховує ступінь відповідальності механізму;

$k_2$ - Коефіцієнт, що враховує режим роботи; приймаємо [1, табл.1.35]

$$k_1 = 1,2, \quad k_2 = 1,2.$$

Підставивши числові значення (2.9), отримаємо

$$T_M^{\wedge} = 1,2 \cdot 1,2 \cdot 156,6 = 225,5 \text{ Нм} .$$

Вибираємо зубчасту муфту з гальмівним шківом: номінальний момент  $T_M = 700 \text{ Н} \cdot \text{м}$ , момент інерції  $J_{M_1} = 0,0763 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ , діаметр отворів  $d = 40 \text{ мм}$ .

#### 2.4. Муфта на тихохідному валу

Розрахунковий момент

$$T_M^{\wedge} = k_1 \cdot k_2 \cdot T , \quad (2.10)$$

де  $T$  - Момент на валу редуктора.

$$T = T_H \cdot U_p \cdot \eta_p , \quad (2.11)$$

де  $\eta_p$  - ККД редуктора; приймаємо  $\eta_p = 0,85$ . [1, табл. 1.18] .

Підставивши числові значення (2. 10 ), (2.11) отримаємо

$$T = 156,6 \cdot 147,62 \cdot 0,85 = 19650 \text{ Нм} ;$$

$$T_M^{\wedge} = 1,2 \cdot 1,2 \cdot 19400 = 27937 \text{ Нм} .$$

Вибираємо зубчасту муфту з гальмівним шківом:  $T_M = 30000 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ,  $J_{M_2} = 0,471 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ,  $d = 160$ ,  $d_1 = 190 \text{ мм}$ .

#### 2.5. Гальмо

Максимально допустиме уповільнення під час руху візка без вантажу

$$a_T = \left[ \frac{Z_{II}}{Z} \cdot \left( \frac{\varphi}{1,2} - f \cdot \frac{d}{D_K} \right) + (2 \cdot \mu + f \cdot d) \frac{1}{D_K} \right] \cdot g , \quad (2.12)$$

де  $Z_{II}$  - число колес, що приводяться,  $\varphi$  - коефіцієнт зчеплення ходових коліс з рейками; приймаємо  $Z_{II} = 2$ ,  $\varphi = 0,12$  [1, с.33].

$$a_T = \left[ \frac{2}{4} \cdot \left( \frac{0,12}{1,2} - 0,015 \cdot \frac{0,14}{0,8} \right) + (2 \cdot 0,0003 + 0,015 \cdot 0,14) \frac{1}{0,8} \right] \cdot 9,8 = 0,51 \text{ м/с}^2.$$

Час гальмування

$$t_T = V_{T\Phi} / a_T. \quad (2.13)$$

$$t_T = 0,27 / 0,51 = 0,54 \text{ с}.$$

Опір пересування візка без вантажу при гальмуванні

$$F_0^T = (m_T + m_{\text{Э}}) \cdot \left[ (2 \cdot \mu + f \cdot d) \frac{1}{D_K} - \alpha \right] \cdot g. \quad (2.14)$$

$$F_0^T = 31,43 \cdot \left[ (2 \cdot 0,0003 + 0,015 \cdot 0,14) \frac{1}{0,8} - 0,002 \right] \cdot 9,8 = 0,43 \text{ кН}.$$

Гальмівний момент під час руху без вантажу

$$T_T' = \delta \cdot (J_p + J_{M_1}) \cdot \frac{n_{\partial}}{9,55 \cdot t_T} + 9,55 \cdot (m_T + m_{\text{Э}}) \cdot \frac{V_{T\Phi}^2}{n_{\partial} \cdot t_T} \cdot \eta - F_0^T \cdot \frac{D_K}{2 \cdot U_p} \cdot \eta. \quad (2.15)$$

$$T_T' = 1,1 \cdot (0,484 + 0,0763) \cdot \frac{915}{9,55 \cdot 0,54} + 9,55 \cdot 31,43 \cdot \frac{0,27^2}{915 \cdot 0,54} \cdot 0,85 -$$

$$- 0,43 \cdot \frac{0,8}{2 \cdot 147,62} \cdot 0,85 = 110 \text{ Нм}.$$

Вибираємо гальмо ТКТ-200 з гальмівним моментом  $T_T = 160 \text{ Н} \cdot \text{м}$ , що слід відрегулювати до  $T_T = 110 \text{ Нм}$ .

Довжина шляху гальмування, що рекомендується [1, табл. 1.23],

$$S = \frac{V^2}{2k}, \quad (2.16)$$

де  $V = V_{T\Phi} = 0,27 \text{ м/с}$ .

$$S = \frac{0,27}{2 \cdot 1,5} = 0,09 \text{ м}.$$

Фактична довжина шляху гальмування

$$S_\Phi = 0,5 \cdot V_{T\Phi} \cdot t_T. \quad (2.17)$$

$$S_\Phi = 0,5 \cdot 0,27 \cdot 0,54 = 0,073 \text{ м}.$$

### 2.2.2. Перевірка пускового режиму двигуна

Максимально допустиме прискорення під час пуску

$$a_{II} = \left[ \frac{Z_{II}}{Z} \cdot \left( \frac{\varphi}{K_\varphi} + \frac{f \cdot d}{D_K} \right) - (2 \cdot \mu + f \cdot d) \frac{K_p}{D_K} \right] \cdot g, \quad (2.17)$$

де  $K_\varphi$  - мінімально допустиме значення коефіцієнта запасу зчеплення; приймаємо  $K_\varphi = 1,1$  [1, табл. 1.27].

$$a_{II} = \left[ \frac{2}{4} \cdot \left( \frac{0,12}{1,1} + \frac{0,015 \cdot 0,14}{0,8} \right) - (2 \cdot 0,0003 + 0,015 \cdot 0,14) \frac{2}{0,8} \right] \cdot 9,8 = 0,48 \text{ м/с}^2.$$

Найменший допустимий час пуску

$$[t_{II}] = V_{T\Phi} / a_n . \quad (2.18)$$

$$[t_{II}] = 0,27 / 0,48 = 0,56 \text{ с} .$$

Середній пусковий момент двигуна

$$T_{Псп} = 0,5 \cdot (T_0 + \psi_{\min} \cdot T_H) , \quad (2.19)$$

де  $\psi_{\min}$  - Мінімальна кратність пускового моменту; приймаємо  $\psi_{\min} = 1,2$  [1, с.35].

$$T_{Псп} = 0,5 \cdot (600 + 1,2 \cdot 156,6) = 394 \text{ Нм} .$$

Опір пересування під час роботи без вантажу

$$F_0 = m_T \cdot (2 \cdot \mu + f \cdot d) \frac{K_P}{D_K} \cdot g . \quad (2.20)$$

$$F_0 = 31,43 \cdot (2 \cdot 0,0003 + 0,015 \cdot 0,14) \frac{2}{0,8} \cdot 9,8 = 2,1 \text{ Кн} .$$

Статичний момент під час роботи без вантажу

$$T_C = F_0 \cdot \frac{D_K}{2 \cdot U_P \cdot \eta} . \quad (2.21)$$

$$T_C = 2,1 \cdot \frac{0,8}{2 \cdot 147,62 \cdot 0,85} = 70 \text{ Нм} .$$

Момент інерції обертових мас приводу

$$J = J_p + J_{M_1}. \quad (2.22)$$

$$J = 0,484 + 0,0763 = 0,56.$$

Фактичний час пуску під час роботи без вантажу

$$t_{II} = \frac{\delta \cdot J \cdot n_{\delta}}{9,55 \cdot (T_{IIcp} - T_C)} + \frac{9,55 \cdot (m_T + m_{\Sigma}) \cdot V_{T\Phi}^2}{(T_{IIcp} - T_C) \cdot n_{\delta} \cdot \eta}. \quad (2.23)$$

$$t_{II} = \frac{1,1 \cdot 0,56 \cdot 915}{9,55 \cdot (394 - 70)} + \frac{9,55 \cdot 31,43 \cdot 0,27^2}{(394 - 70) \cdot 915 \cdot 0,85} = 1,8 \text{ с}.$$

Фактичне прискорення при пуску та роботі без вантажу

$$a_{\Phi} = V_{T\Phi} / t_{II}. \quad (2.24)$$

$$a_{\Phi} = V_{T\Phi} / t_{II} = 0,27 / 1,8 = 0,15 \text{ м/с}^2.$$

$$a_{\Phi} = 0,15 < a_{II} = 0,48$$

Фактичний запас зчеплення приводних коліс з рейками під час роботи без вантажу

$$K_{СИ} = \frac{\varphi}{\frac{Z}{Z_{II}} \cdot \left[ \frac{a_{\Phi}}{g} + (2 \cdot \mu + f \cdot d) \cdot \frac{K_p}{D_K} \right] - f \cdot \frac{d}{D_K}}. \quad (2.25)$$

$$K_{СИ} = \frac{0,12}{\frac{2}{4} \cdot \left[ \frac{0,15}{9,8} + (2 \cdot 0,0003 + 0,015 \cdot 0,14) \cdot \frac{2}{0,8} \right] - 0,015 \cdot \frac{0,14}{0,8}} = 14,3$$



де  $K_{\text{сц}} = 14,3 > K = 1,1$

### 2.2.3. Перевірка двигуна на нагрівання

Статичний момент на валу двигуна при номінальному навантаженні

$$T_1 = \frac{W_C \cdot D_K}{2 \cdot U_p \cdot \eta} \quad (2.26)$$

$$T_1 = \frac{W_C \cdot D_K}{2 \cdot U_p \cdot \eta} = \frac{14,3 \cdot 0,8}{2 \cdot 147,62 \cdot 0,85} = 45,6 \text{ кНм} .$$

Коефіцієнт перевантаження двигуна

$$\alpha = T_1 / T_H \quad (2.27)$$

$$\alpha = 45,6 / 156,6 = 0,29 .$$

Перевантажувальна здатність двигуна

$$\lambda = T_\partial / T_H \quad (2.28)$$

$$\lambda = 600 / 156,6 = 3,8 .$$

Момент інерції мас, що рухаються, приведений до валу двигуна

$$J = \delta \cdot (J_p + J_{M_1}) + 91,2 \cdot \frac{(m + m_T) \cdot V_{T\Phi}^2}{n_\partial^2 \cdot \eta} \quad (2.29)$$

$$J = 1,1 \cdot (0,484 + 0,0763) + 91,2 \cdot \frac{31,43 \cdot 0,27^2}{915^2 \cdot 0,85} = 0,62.$$

Час запуску

$$t_{\Pi} = t_{\Pi}^{омн} \cdot \frac{J \cdot n_{\delta}}{9,55 \cdot T_H}, \quad (2.30)$$

де  $t_n^{омн}$  - Відносний час пуску; приймаємо при  $T_{пуск} = \lambda \cdot T_H$   $t_n^{омн} = 1,1$ .

$$t_{\Pi} = 1,1 \cdot \frac{0,56 \cdot 915}{9,55 \cdot 156,6} = 0,38 \text{ с.}$$

Середній час робочої операції

$$t_p = S_1 / V_{T\Phi}, \quad (2.31)$$

де  $S_1$  - середній шлях пересування візка, приймаємо  $S_1 = 0,128 \text{ м.}$

$$t_p = 0,128 / 0,27 = 0,475 \text{ с.}$$

Розрахунковий коефіцієнт

$$\beta = t_{\Pi} / t_p. \quad (2.32)$$

$$\beta = 0,38 / 0,475 = 0,8.$$

Еквівалентна нагрівання потужність при ПВ = 25%.

$$P_{E25} = k_{25} \cdot \gamma \cdot W_C \cdot V_{T\Phi} / \eta, \quad (2.34)$$

де  $k_{25}$ - Коефіцієнт, що враховує відносну тривалість включення, приймаємо

$k_{25} = 1,5$  [1, табл. 1.32] при середньому режимі роботи ;

$\gamma$  - Коефіцієнт впливу пускового моменту на еквівалентну потужність,

$\gamma = 1,6$  При  $\beta = 0,35$  [1, рис. 1.6, крива Б].

$$P_{E25} = 1,5 \cdot 1,6 \cdot 16,44 \cdot 0,27 / 0,85 = 12,5 \text{ кВт} .$$

#### 2.2.4. Визначення динамічних навантажень у механізмі пересування

Максимальне навантаження у пружному зв'язку у пусковий період:

$$M_{Д.маx} = M_{cm} + 2(M_{n.маx} - M_{cm}) \frac{J}{J_p + J} . \quad (2.35)$$

$$M_{Д.маx} = 45,6 + 2 \cdot (600 - 45,6) \cdot \frac{0,62}{0,484 + 0,62} = 666,5 \text{ кН} \cdot \text{м} .$$

Коефіцієнт динамічності

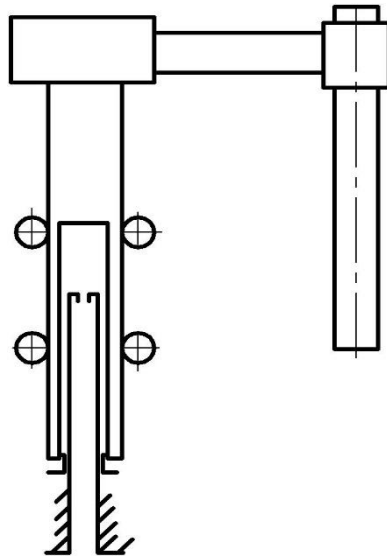
$$k_{Д} = \frac{M_{Д.маx}}{M_{cm}} . \quad (2.36)$$

$$k_{Д} = \frac{666,5}{45,6} = 14,6 .$$

Провівши перевірочний розрахунок, визначено, що необхідна потужність двигуна 12,5 кВт. Вибираємо двигуни МТКН-312-6 : номінальна потужність при ПВ = 25%,  $P_{\partial} = 15$  кВт, частота обертання  $n_{\partial} = 915 \text{ хв}^{-1}$  , максимальний

(пусковий) момент  $T_{\delta} = 600 \text{ Н} \cdot \text{м}$ , момент інерції ротора  $J_p = 0,484 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ , Потужність діаметр валу  $d_1 = 50$ , висота центрів  $h = 180 \text{ мм}$  [1, табл. III.3.6].

### 2.3. Розрахунок гідроприводу механізму переміщення електродів



Малюнок 2.7.- Кінематична схема гідроприводу механізму переміщення електродів

Для переміщення електродів служать 3 стійки, з'єднані з електродотримувачами і приводні від плунжерних гідроциліндрів. Електродотримач призначений для закріплення електродів і передачі до них електроживлення від кабельних гірлянд, виконаних у вигляді гнучких водоохолоджуваних кабелів з наконечниками. Несучою конструкцією електродотримача є рукав, зварений з маломагнітної сталі та закріплений у двох опорах на ізоляції з азбоцементних плит, обгорнутих азбестовим полотном.

Технічні характеристики гідроприводу повинні дозволяти переміщення електродів у потрібний період на необхідну висоту.

Електродотримач переміщається за допомогою гідравлічного плунжера. Маса електроутримувача складається з маси власне колони  $m_k = 3,915$  т, маси рукава електроутримувача  $m_p = 2,58$  т. Максимальна маса електрода може досягати  $m_e = 0,3$  т. Необхідна маршева швидкість переміщення електрода  $V_m = 2,5$  м/хв.

Метою розрахунку гідроприводу є підбір плунжерного циліндра та олії, виходячи з конструктивних розмірів електродотримача.

Зусилля на штоку плунжера визначимо як.

$$F = k \sum m_i \cdot g = k \cdot g \cdot (m_k + m_p + m_e), \quad (2.39)$$

де  $k$  - Коефіцієнт, що враховує сили тертя в підшипниках при підйомі електродотримача.

$$F = 1,05 \cdot 9,81 (3,915 + 2,58 + 0,3) = 70 \text{ КН} = 70000 \text{ Н}.$$

Взявши, що гідростанція забезпечує номінальний тиск 6,3 МПа, визначимо площу плунжера.

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{F}{\sigma}. \quad (2.37)$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}}. \quad (2.38)$$

Підставивши числові значення (2.37), (2.38), отримаємо

$$A = \frac{70 \cdot 10^3}{6,3} = 11111,1 \text{ м}^2.$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 11111,1}{3,14}} = 118,97 \text{ мм}^2.$$

Необхідний хід електрода 2250м.

З нормального ряду гідроциліндрів плунжерного типу вибираємо найближчий. Діаметр плунжера 325 мм, довжина гідроциліндра 2980 мм.

Необхідний мінімальний тиск у системі.

$$\sigma = \frac{F}{A_{\phi}} = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot d^2}. \quad (2.39)$$

$$\sigma = \frac{4 \cdot 7000}{3,14 \cdot 325^2} = 0,084 \text{ кг/мм}^2 = 0,84 \text{ МПа.}$$

Розрахунок витрати робочої рідини.

Для забезпечення маршової швидкості 2,5 м/хв за вибраних параметрів плунжерного циліндра. Витрата рідкої кістки визначимо як.

$$Q = V_M \cdot A. \quad (2.41)$$

$$Q = 2,5 \frac{3,14 \cdot 3,25^2}{4} = 207,3 \text{ л/хв}.$$

За величиною витрати та необхідного тиску вибираємо гідростанцію: насос радіально-поршневий 50 НР250/2 кТУ2-0531686-84, продуктивність якого  $Q = 210$  л/хв, тиск олії  $P=63$  кг/см<sup>2</sup>.

#### 2.4. Розрахунок системи рідкого мастила редуктора ВКУ-950

### 2.4.1 Аналіз теплового балансу

Кількість тепла, що виділяється у вузлах тертя  $\text{кДж/ч}$ :

$$Q_1 = 860(1 - \eta)N \cdot 4,1868 \cdot f, \quad (2.42)$$

де  $\eta = 0,96$  - ККД редуктора [4];

$N = 145,72 \text{ кВт}$  - Потужність приводу [4];

$f = 0,17$  - Коефіцієнт, що показує, що двигун у робочому стані перебувати 10 хвилин протягом години.

Підставивши значення в 2. 42 отримаємо:

$$Q_1 = 860(1 - 0,96) \cdot 145,72 \cdot 4,1868 \cdot 0,17 = 3567,87 \text{ кДж/ч}.$$

Кількість тепла, яке може бути відведено від вузла тертя в навколишній простір, визначимо за формулою 2. 43,  $\text{Дж/ч}$ :

$$Q_2 = k(t_m - t_b)A, \quad (2.43)$$

де  $k = 40 \text{ кДж/(м}^2 \cdot \text{град} \cdot \text{ч)}$  - Коефіцієнт теплопередачі;

$t_m = 50 \text{ }^\circ\text{C}$  - температура олії;

$t_b = 25 \text{ }^\circ\text{C}$  - Температура повітря навколишнього середовища;

$A = 3,6 \text{ м}^2$  - площа поверхні теплообміну із навколишнім середовищем.

Підставивши значення в 2. 43 отримаємо:

$$Q_2 = 40(50 - 25) \cdot 3,6 = 3600 \text{ кДж/ч}.$$

Так як  $Q_1 < Q_2$  вибираємо картерне змащування.

Розрахуємо кількість мастила, що заливається в редуктор:

— по потужності, що передається:

$$G_M = 0,4N . \quad (2.44)$$

$$G_M = 0,4 \cdot 145,72 = 58,3 \text{ літрів} .$$

— за площею піддону картера:

$$G_M = (h_1 + h_2) \cdot A_{\text{под}} , \quad (2.45)$$

де – відповідно глибина опускання зуба в олию та відстань  $h_1, h_2$  від картера до зубів колеса, м (рис. 2.3 ) ;

$$h_1 = r_6 - (r_2 + d_1 - 15) . \quad (2.46)$$

$$h_1 = 280 - (165 + 35 - 15) = 95 \text{ мм} ,$$

приймаємо  $h_1 = 100 \text{ мм}$  ;

$$h_2 = 25 \text{ мм} ;$$

$A_{\text{под}}$  – площа картера  $\text{м}^2$  :

$$A_{\text{под}} = 1,2 \cdot 1,6 = 1,92 .$$

Підставивши числові значення (2.46), отримаємо

$$G_M = (0,1 + 0,025) \cdot 1,92 \cdot 10^3 = 240 \text{ літрів} .$$

З двох  $G_M$  приймаємо більше значення, тобто кількість мастила, що заливається в редуктор дорівнює 240 літра.



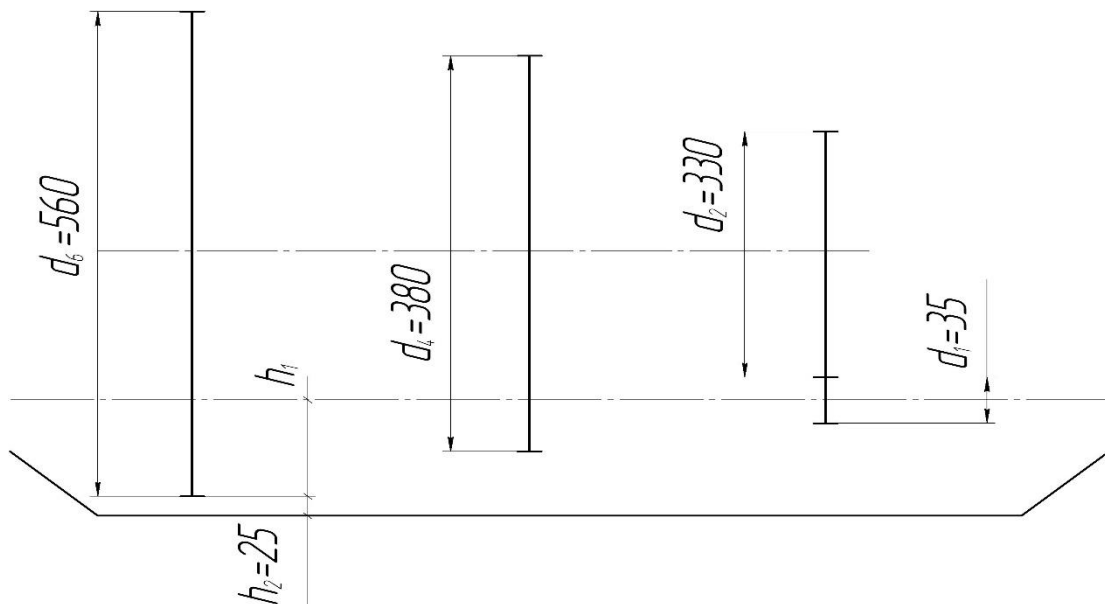


Рисунок 2.8 – Схема до розрахунку кількості мастила, що заливається в редуктор.

### 2.4.2 Вибір сорту олії

В'язкість олії [6, с. 256], що застосовується в зубчастих зачепленнях, визначають за формулою 2.3 Н/см:

$$\text{ВУ}_{50} = 5 \cdot 10^{-3} m \cdot q, \quad (3.47)$$

де  $\text{ВУ}_{50}$  - умовна в'язкість олії при  $50^\circ\text{C}$ ;

$m$  - Коефіцієнт, що залежить від окружної швидкості зубчастих коліс ( $m = 1,6$  при  $V < 8\text{ м/с}$ ,  $m = 1,2$  при  $V = 8 \dots 10\text{ м/с}$ ,  $m = 1$  при  $V > 10\text{ м/с}$ );

$q$  – тиск на одиницю довжини зуба, Н/див.

Тиск на одиницю довжини зуба [7, с. 242]:

$$q = \frac{102N}{VB}, \quad (2.48)$$

де  $N = 145,72\text{ кВт}$  - Потужність приводу [4];

$V$  – окружна швидкість, м/с;

$B = 98\text{ мм} = 9,8\text{ см}$  - Ширина зубчастого колеса.

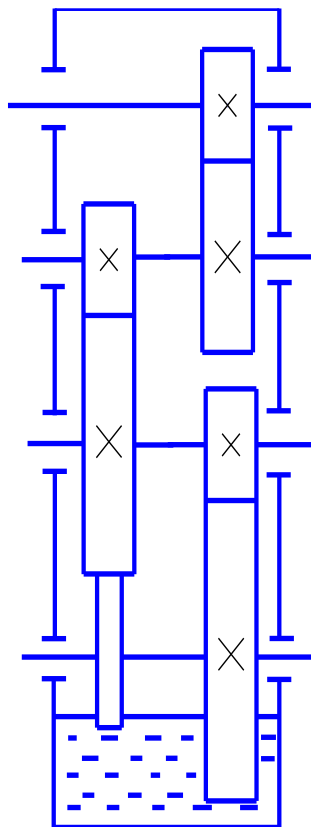


Рисунок 2.9.- Схема мастила редуктора ВКУ-950

Окружна швидкість:

$$V = \frac{\pi R n}{30i}, \quad (2.49)$$

де  $R$  - Початковий радіус шестерні, м;

$n = 1420 \text{ мин}^{-1}$  - Число оборотів приводу [4];

$i = 2,44$  - Передатне число передачі [4].

Початковий радіус шестерні:

$$R = d/2, \quad (2.50)$$

де  $d = 330 \text{ мм}$  - Початковий діаметр шестерні.

Підставивши відомі та отримані значення (2.50), (2.49), (2.48) і (2.47), отримаємо:

$$R = 330/2 = 165 \text{ мм},$$

$$V = \frac{3,14 \cdot 0,165 \cdot 1420}{30 \cdot 2,44} = 10,05 \text{ м/с},$$

$$q = \frac{102 \cdot 145,72}{10,05 \cdot 9,8} = 150,897 \text{ кН/м} = 1508,97 \text{ Н/см},$$

$$BY_{50} = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 1508,97 = 7,5445 \text{ Н/см}.$$

Вибираємо олію індустріальну ІС-50 ГОСТ 20799-88 [7, с. 194].

## 2.5. Розрахунок болтів редуктора СКУ-950

Визначимо вагу редуктора:

$$G_m = m_{\text{пр.м}} \cdot 9,81, \quad (2.51)$$

де  $m_{\text{пр.м}} = 1540 \text{ кг}$  – маса редуктора.

Підставивши значення 2.51, отримаємо:

$$G_m = 1540 \cdot 9,81 = 15107,4 \text{ Н} = 15,1074 \text{ кН}.$$

Визначимо зусилля розтягування болтів [9, с. 27]:

$$Q_b = \frac{F}{z}, \quad (2.52)$$

де  $F = G_m$  – сила, що діє на фундамент;

$z = 8$  - Число болтів [4].

Підставивши значення о 7.52, отримаємо:

$$Q_b = \frac{15107,4}{8} = 1,8884 \text{ кН}.$$

Визначимо діаметр анкерного болта по колу западин:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4Q_6}{\pi[\sigma]}}, \quad (2.53)$$

де  $[\sigma] = 11 \cdot 10^6$  МПа .

Підставивши значення в 2.53, отримаємо:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,8884 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 11 \cdot 10^6}} = 0,0148 \text{ м} = 14,8 \text{ мм},$$

Приймемо болт М16 для якого  $d_1 = 16 \text{ мм}$  [1].

## 3 ДОСЛІДНО–ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

### 3.1. Призначення та конструкція механізму переміщення електродів установки піч-ківш

Механізм переміщення електродів призначений підтримки заданої потужності дуги. На установці піч-ківш застосовують механізм переміщення електродів з гідравлічним приводом.

Для гідравлічних регуляторів характерні невеликі габарити і маса, а також висока швидкодія (швидкість реакцій на командний імпульс), зумовлена, в основному, малою інерцією рухомих частин та високою силовою напруженістю. До переваг гідравлічного приводу відносяться: практична відсутність запізнювань, зазорів, безступінчастість регулювання швидкості руху, а також плавність і стійкість руху, простота і надійність запобігання перевантажень і поломок електрода, простота експлуатації та ін.

Гідравлічний привід переміщення електродів (рис. 3.1) застосовують переважно для механізмів з рухомою колоною. Гідроциліндр 18 жорстко монтують всередині рухомої колони, а шток 17 закріплюють нерухомо. Робочу рідину подають до стежить золотнику 10 з маслобака 1 насосом 12 (з приводом від асинхронного електродвигуна 11) через зворотний клапан 13 або від акумулятора 15 під тиском, що визначається налаштуванням запобіжного клапана 14 (зазвичай 6-6,3 МПа). Золотник через дросель 16 і порожнистий шток 17 повідомляється з порожниною виконавчого гідроциліндра 18. Напрямок і швидкість переміщення колони з електродом залежать від напрямку і величини зміщення золотника 10 від свого нейтрального положення. При з'єднанні циліндра через золотник з напірною лінією гідросистеми електрон піднімається, а при з'єднанні зі зливною лінією - опускається.

Положення золотника 10 визначається тиском рідини в циліндрах 9, які живляться від системи управління (тиск 1 - 1,2 МПа). Система

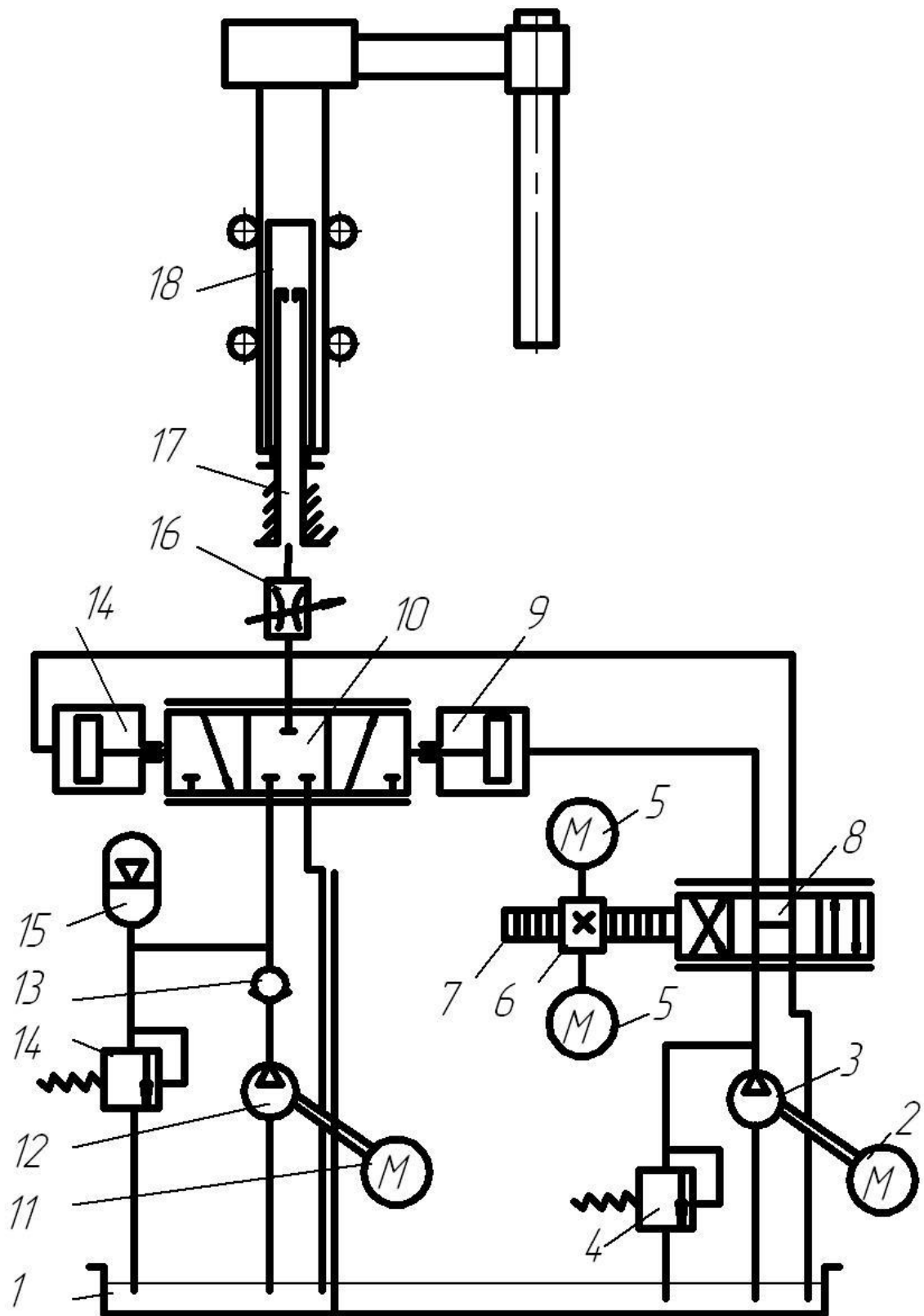


Рисунок 3.1 - Гідравлічна схема механізму переміщення електродів КПК

управління містить насос 3 з приводом від електродвигуна 2, запобіжний клапан 4, золотник 8, жорстко з'єднану з ним зубчасту рейку 7, шестерню 6 і два керуючих двигуна 5. Двигуни 5 розвивають моменти відповідно до поданих на них сигналів, пропорційних струму і напруги електричної дуги однієї фази печі. При номінальній дузі моменти врівноважені, завдяки чому шестерня 6 і рейка 7 нерухомі, золотники 8 і 10 займають нейтральне положення і електрод не переміщається. При появі разів балансу в електричній частині системи регулювання моменти двигунів стають неоднаковими, шестерня 6 повертається, рейка 7 із золотником 8 починає рухатися, золотник 10 зміщується, з'єднуючи гідроциліндр 18 з напірною або зливною лінією, внаслідок чого електрод переміщається. Пропускна здатність системи на один гідроциліндр становить 150-200 л/хв.

### 3.2. Аналіз швидкості переміщення стійки механізму переміщення електродів установки піч-ківш

Використовуючи гідравлічну схему рис.3.1 складемо розрахункову схему ділянки аккумулятор (15), золотник (21), клапан (10), плунжер (17). Вона матиме такий вигляд:

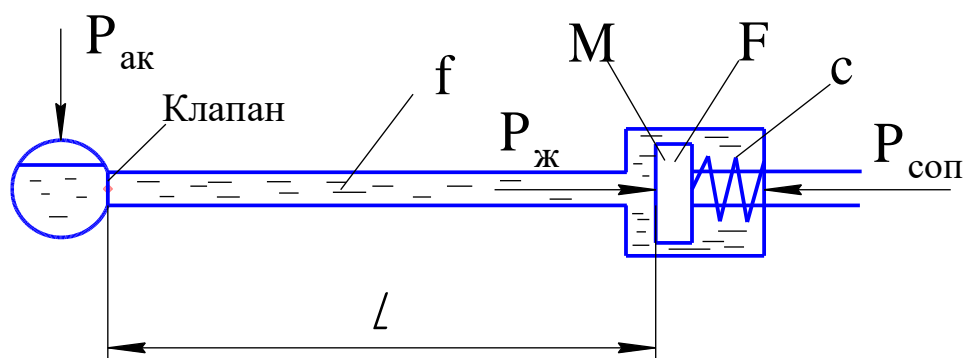


Рисунок 3.2. – Розрахункова схема системи електродотримача із гідравлічною передачею.

На рисунку 3.2 позначення означають:

$P_{ак}$  - Тиск в акумуляторі;

$f$  - площа поперечного перерізу

$P_{ж}$  – сила, що діє з боку олії на плунжер;

$P_{соп}$  - Зовнішня сила, що діє на стійку;

$M$  - Маса плунжера;

$F$  - Площа поперечного перерізу стійки;

$C$  - Жорсткість рідини.

Рівняння руху поршня під дією зовнішніх сил матиме вигляд:

$$M \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} + h \cdot \frac{dx}{dt} + cx = P_{ж} - P_{соп}, \quad (3.1)$$

де  $M$  - Маса плунжера;

$x$  - Переміщення плунжера;

$$h = \frac{\rho_0 c F^2}{Mf} + \frac{q}{M}, \quad (3.2)$$

$$P_{жс} = (2p_a + p_{вн} - p_0) \cdot F, \quad (3.3)$$

$P_{соп}$  - Сила зовнішнього опору;

$p_a$  - Тиск в акумуляторі;

$p_{вн}$  - Зовнішній тиск;

$p_0$  - атмосферний тиск.

Текст програми, що вирішує це рівняння чисельно методом Рунге-Кутта, наведено в наступному лістингу:

Змінюючи вид правої частини рівняння (3.1), тобто, змінюючи вигляд залежності зовнішнього тиску від часу, ми в результаті отримуватимемо різні залежності переміщення стійки від часу. Зміна правої частини рівняння (3.1) можлива за допомогою функції f3, яка найбільш адекватно реалізує нашу математичну модель. У лістингу, наведеному вище:



$$f_3 = -A * x - B * v - D * \sin(4 * t), \quad (3.4)$$

змінюючи третій член у правій частині рівняння отримаємо різні графіки для швидкості та переміщення залежно від часу:

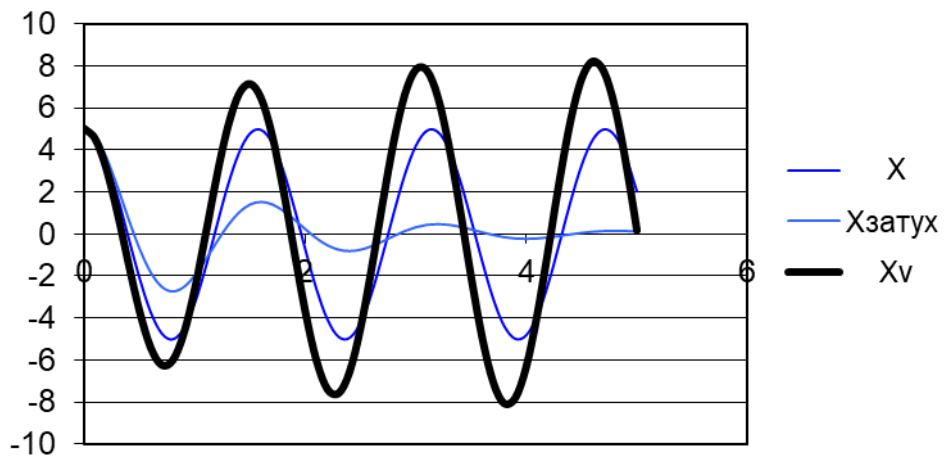
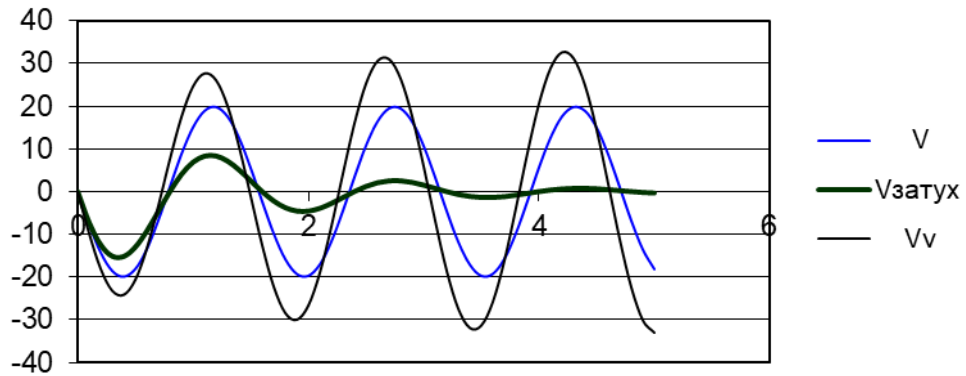
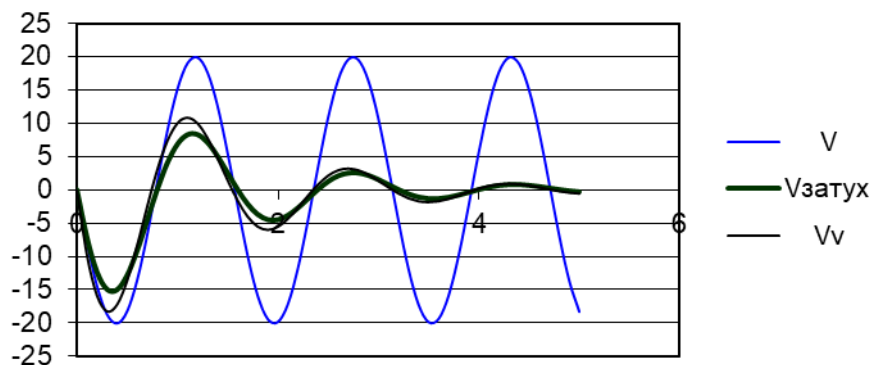


Рисунок 3.4. - Графіки залежності при  $f_3 = -A * x - B * v - D * \sin(4 * t)$ ,



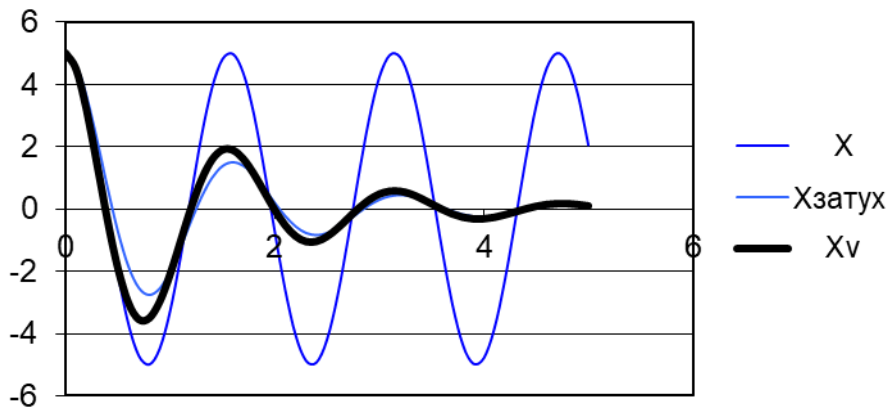


Рисунок 3.5. - Графіки залежності при  $f_3 = -A \cdot x - B \cdot v - D \cdot \text{Exp}(-4 \cdot t)$

Тут  $V$ ,  $X$  – швидкість та переміщення стійки, коли відсутні 2-й та 3-й члени у рівнянні (3.4) (див. функцію  $f_1$  у програмі);  $V$  загас,  $X$  загас - те саме, але враховується другий член, що викликає загасання в часі (див. функцію  $f_2$  в програмі);  $V_v$ ,  $X_v$  – швидкість та переміщення, коли функція  $f_3$  має повний вигляд.

Таким чином, з малюнків видно, що оптимальний вид рівняння для зовнішнього тиску буде тоді, коли швидкість та переміщення стійки загасатимуть (тобто не відбуватимуться постійних коливань). Цим вимогам відповідає експоненційний характер залежності зовнішнього тиску від часу.

### 3.3 . Математична модель об'єкта діагностування

Математична модель об'єкта діагностування – це формальний опис об'єкта та його поведінки у працездатному та непрацездатному станах.

Будь-яку машину можна розглядати як перетворювач вхідних (технологічних) впливів величин у вихідні  $z$ .

Це перетворення можна записати як:

$$z(t) = A \cdot x(t), \quad (3.5)$$

де  $t$  - Час;

$A$  - оператор, що характеризує перетворення вхідних параметрів у вихідні.

Якщо об'єкті дефектів немає, система (3.5) є математичної моделлю працездатного стану.

Позначимо символом  $S$  безліч з усіх можливих відмов машин і вважатимемо, що система знаходиться в  $i$ -му неробочому стані.

Тоді для цього випадку:

$$z(t) = A \cdot x_i(t) \quad (3.6)$$

І це буде математичною моделлю  $i$ -го непрацездатного стану об'єкта.

Т.о. система (3.5) і сукупність систем (3.6) всім можливих відмов утворюють явну математичну модель об'єкта діагностування.

Для металургійного устаткування явно задають лише модель у працездатних станах, а поведінка в  $i$ -х неробочих станах представляють опосередковано через безліч можливих відмов. І тут отримують неявну математичну модель устаткування.

При експлуатації устаткування треба вирішувати різні завдання, найважливіша з яких, визначення фактичного залишкового ресурсу деталей та вузлів та вибір початку ремонтних впливів. Можливі різні шляхи вирішення:

1. можна спробувати знайти явний або неявний аналітичний опис об'єкта та отримати уточнене значення напрацювання на відмову. Цей шлях не можна фактично реалізувати під час створення математичної моделі, т.к. невідомі закони змін умов експлуатації, закони зміни механічних властивостей матеріалів, закони зміни технології виготовлення деталей тощо.
2. на підставі змін вхідних та супутніх параметрів (тональність, температура, кількість оборотів, потужність тощо) робиться висновок про працездатність об'єкта (допускові оцінки). Для опису станів машин такими оцінками використовують моделі логічного типу, для побудови

яких достатньо знати причинно-наслідкові залежності між діагностичними ознаками та параметрами.

### 3.3.1. Побудова логічної моделі

Об'єкт технічного діагностування (механізм переміщення електродів КПК) складається із зв'язаних між собою компонентів: гідроциліндр, насос, електродвигун, зубчаста рейка, шестерня. Склад компонентів, зв'язки між ними та зовнішні зв'язки утворюють структуру об'єкта. З точки зору діагностування при розчленуванні об'єкта слід враховувати такі показники, як змінність компонентів, їх контролепридатність, методи ремонту та ін.

Гідравлічна схема механізму переміщення електродів зображена малюнку 3.1. Компоненти структури називатимемо блоками.

Позначення:

$X_{i_1}, X_{i_2}, \dots, X_{i_n}$  - вхідні сигнали блоку  $P_i$ , що є зовнішніми вхідними сигналами об'єкта діагностування;

$Y_{i_1}, Y_{i_2}, \dots, Y_{i_n}$  - вхідні сигнали блоку  $P_i$ , що являють собою вихідні сигнали інших блоків;

$Z_{i_1}, Z_{i_2}, \dots, Z_{i_n}$  - Вихідні сигнали блоку  $P_i$ .

Проаналізуємо роботу механізму (рисунок 3.1). Вихідний параметр системи – олія у баку 1. Якщо  $1 = Н$  (норма), то механізм переміщення електродів перебуває у працездатному стані. Система переходить у непрацездатний стан при появі відмов в електродвигунах 5, насосах 9 і 3, гідроциліндрі 18 або руйнування шестерні 6 і рейки 7 які безпосередньо переміщують електроди.

Таким чином, суттєвими подіями для працездатного стану гідравлічного приводу механізму переміщення електродів є:

а) відсутність олії в баку: 1;

- б) відмова електродвигунів: 2 і 11;
- в) відмова гідронасосів: 3 та 12;
- г) знос запобіжних (4 і 14) та зворотного (13) клапанів;
- д) відмова акумулятора: 15;
- е) знос шестірни: 6;
- ж) знос зубчастої рейки: 7;
- з) знос золотників: 8 та 10;
- і) знос циліндра: 9;
- к) поломка дроселя: 16;
- л) знос штока: 17;
- м) відмова гідроциліндра 18.

Логічна модель показана малюнку 3.6, де блоки зображені прямокутниками, у яких записані умовні позначення подій. Блоки позначені  $Q_i$ , а сигнали  $Z_i$ .

### 3.3.2. Побудова явної математичної моделі у табличній формі

Явна математична модель є сукупністю всіх працездатних і непрацездатних станів об'єкта діагностування.

Використовуючи логічну модель, можна побудувати таблицю, рядки якої відповідають допустимим елементарним перевіркам, а стовпці – технічним станам об'єкта:

- е – працездатний стан;
- і – непрацездатний стан.

Математична модель представлена у вигляді такої таблиці називається таблицею функцій несправності об'єкта і застосовується розробки алгоритмів діагностування. Вважатимемо, що в металургійних машинах виникають лише поодинокі несправності та функції умови роботи кожного блоку рівні результату логічного множення вхідних зовнішніх та внутрішніх сигналів:

$$F_i = (x_{i1} \dots x_{in}) \cdot (y_{i1} \dots y_{il}). \quad (3.7)$$

К.т. задають глибину діагностування, наприклад змінного блоку.

Фактичне значення вихідного сигналу  $z_i$  будь-якого блоку  $Q_i$  залежить від значення функції  $F_i$  і тому працездатний блок чи ні.

При працездатному блоці  $Q_i = 1$ , непрацездатному -  $Q_i = 0$ .

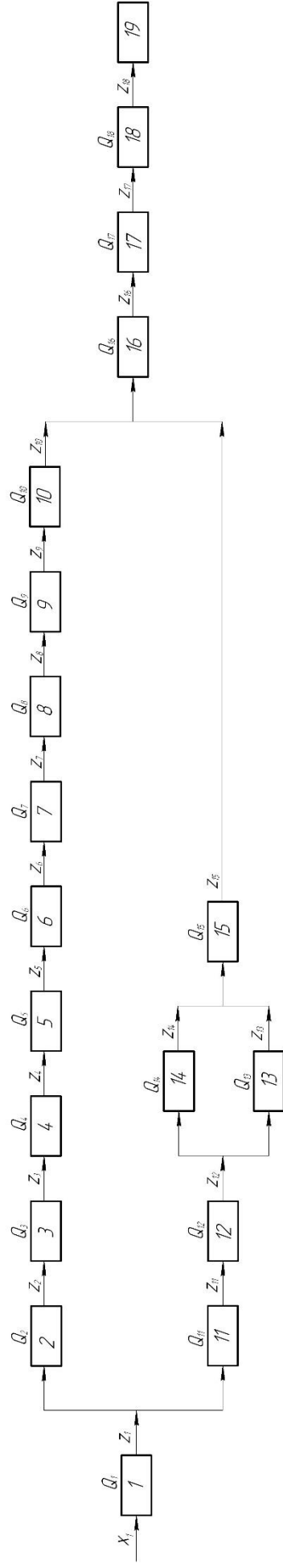


Рисунок 2.6 - Логічна модель механізму переміщення електродів установки піч-ківш

Таблиця 3.1. - Можливі набори двійкових змінних

$F_i$	$Q_i$	$z_i$
1	1	1
0	1	1
1	0	0
0	0	0

де  $F_i$  - Вхідні та вихідні сигнали;

$Q_i$  - Фактичний стан блоку;

$z_i$  - Вихідний сигнал.

З цієї таблиці випливає, що  $z_i$  – результат логічного множення  $F_i \times Q_i$

Фізично це означає, що вихідний сигнал  $z_i$  блоку  $Q_i$  допустимий тоді, коли всі його вхідні сигнали ( $F_i = 1$ ) допустимі і блок ( $Q_i = 1$ ) працездатний.

Інформацію про технічний стан об'єкта знімають із виходів блоків його логічної моделі. Максимум інформації буде отримано під час контролю виходів усіх блоків. В цьому випадку добуток  $z_i = 1$ :

$$\prod_{i=1}^n z_i = 1, \quad (3.8)$$

де  $n$  - число блоків що входять в математичну модель.

При технічній діагностиці немає необхідності контролювати виходи всіх блоків, тут прагнуть користуючись логічними моделями, отримати мінімальну кількість елементарних перевірок, використовуючи два правила:

1. Якщо вихід блоку  $Q_i$  з'єднаний тільки з входом іншого блоку  $Q_j$  вихід блоку  $Q_i$  включається в мінімальний алгоритм.
2. Для пошуку несправностей обов'язкові зовнішні виходи логічної моделі, які утворюють мінімальну сукупність, що перевіряє.



З усіх цих теоретичних положень будемо модель роботи стаціонарного перекидача.

Запишемо функції умов роботи логічної моделі:

$$F_1 = x_1 - \text{зовнішні сигнали,}$$

$$F_2 = Z_1, F_3 = Z_2, F_4 = Z_3, F_5 = Z_4, F_6 = Z_5, F_7 = Z_6, F_8 = Z_7, F_9 = Z_8, F_{10} = Z_9, F_{11} = Z_1, F_{12} = Z_{11}$$

$$F_{13} = Z_{12}, F_{14} = Z_{12}, F_{15} = Z_{13} \cdot Z_{14}, F_{16} = Z_{10} \cdot Z_{15}, F_{17} = Z_{16}, F_{18} = Z_{17}.$$

Складемо рівності:

$$Z_i = Q_j \cdot F_i$$

$$Z_1 = Q_1 \cdot x_1$$

$$Z_2 = Q_2 \cdot Z_1$$

$$Z_3 = Q_3 \cdot Z_2$$

$$Z_4 = Q_4 \cdot Z_3$$

$$Z_5 = Q_5 \cdot Z_4$$

$$Z_6 = Q_6 \cdot Z_5$$

$$Z_7 = Q_7 \cdot Z_6$$

$$Z_8 = Q_8 \cdot Z_7$$

$$Z_9 = Q_9 \cdot Z_8$$

$$Z_{10} = Q_{10} \cdot Z_9$$

$$Z_{11} = Q_{11} \cdot Z_1$$

$$Z_{12} = Q_{12} \cdot Z_{11}$$

$$Z_{13} = Q_{13} \cdot Z_{12}$$

$$Z_{14} = Q_{14} \cdot Z_{12}$$

$$Z_{15} = Q_{15} \cdot Z_{13} \cdot Z_{14}$$

$$Z_{16} = Q_{16} \cdot Z_{10} \cdot Z_{15}$$

$$Z_{17} = Q_{17} \cdot Z_{16}$$

$$Z_{18} = Q_{18} \cdot Z_{17}$$

Єдиним впливом можливих елементарних перевірок можуть бути припустимі значення всіх зовнішніх вхідних сигналів. У разі  $x_1=1$ . Заповнимо

клітини по стовпцях. Для цього поставимо технічний стан об'єкта і обчислимо значення  $Z_i$ . Перший стовець таблиці, відповідний працездатному стану об'єкта  $e$ , обчислюється за умови, що це  $Q_j = 1$  всім  $j = 1, 2, \dots, h$  і тому все  $Z_i = 1$ . Другий стовець - за умови, що  $Q_1 = 0$ , інші  $Q_j = 1$ . Отримуємо:

$$\begin{aligned} Z_1 &= Q_1 x_1 = 0; \\ Z_2 &= Q_2 \cdot Z_1 = 0; \\ Z_3 &= Q_3 \cdot Z_2 = 0; \\ Z_4 &= Q_4 \cdot Z_3 = 0; \\ Z_5 &= Q_5 \cdot Z_4 = 0; \\ Z_6 &= Q_6 \cdot Z_5 = 0; \\ Z_7 &= Q_7 \cdot Z_6 = 0; \\ Z_8 &= Q_8 \cdot Z_7 = 0; \\ Z_9 &= Q_9 \cdot Z_8 = 0; \\ Z_{10} &= Q_{10} \cdot Z_9 = 0; \\ Z_{11} &= Q_{11} \cdot Z_1 = 1; \\ Z_{12} &= Q_{12} \cdot Z_{11} = 1; \\ Z_{13} &= Q_{13} \cdot Z_{12} = 1; \\ Z_{14} &= Q_{14} \cdot Z_{12} = 1; \\ Z_{15} &= Q_{15} \cdot Z_{13} \cdot Z_{14} = 1; \\ Z_{16} &= Q_{16} \cdot Z_{10} \cdot Z_{15} = 0; \\ Z_{17} &= Q_{17} \cdot Z_{16} = 0; \\ Z_{18} &= Q_{18} Z_{17} = 0. \end{aligned}$$

Аналогічно заповнюються клітини інших стовпців.

Використовуючи отримані залежності, заповнюємо явну математичну модель у табличній формі (таблиця 3.2).



## Висновки:

1. Мінімальний алгоритм технічного діагностування механізму переміщення електродів містить вихідний сигнал  $Z_{18}$ .
2. Побудована математична модель роботи механізму переміщення електродів показує, що пошуку одиночних відмов у приводі механізму переміщення електродів необхідно контролювати кожен елемент ланцюжка  $Q_2 - Q_{10}$ .

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА В ГАЛУЗІ

### 4.1. Розрахунок рівня механізації праці металургійного в електросталеплавильному цеху №2

У цеху, за останнє десятиліття спроектовано та впроваджено у виробництво ряд заходів, пов'язаних з механізацією та автоматизацією технологічних процесів та праці, це: установка кантувача виливниць, трайбапарат 4-х струмковий, установка для подачі порошків та алюмінієвого дроту на КПК, бункер для сипучих матеріалів, вібросито у дворі виливниць, установка пневмопошти, пристосування для дроблення вольфраму, бункер для подачі ТШМ, майданчик, що вібрується, обладнання ЕП-4 стрічковою кидковою машиною, верстат для порізки проб, розчинозмішувач, пристрій виготовлення кіл з шліфувальної машини.

Одним із заходів (глобальних), які проводилися протягом кількох років, є проектування, будівництво та впровадження у виробництво установки піч-ківш (КПК).

На цій установці, в основному, всі етапи виплавки стали ведуть автоматично і механічно: подача ковша з напівпродуктом на КПК, зважування цього ковша (з металом), добавка всіх матеріалів, феросплавів та обробка металу аргоном, злив металу з агрегату.

Достатньо повне уявлення про рівень механізації можна отримати шляхом певних витрат механічної та ручної праці.

$$B = \frac{M}{M + R} \cdot 100\%, \quad (4.1)$$

де  $B$  – рівень механізації праці;

$M$  - сума людино-годин механізованої праці;

$R$  – сума людино-годин ручної праці.

Підставивши числові значення (4.1), отримаємо

- для електрогазозварювальника:

$$B = \frac{1}{1+7} \cdot 100\% = 12,5\% ,$$

- для слюсаря-ремонтника:

$$B = \frac{1,2}{1,2+6} \cdot 100\% = 16,7\% ,$$

- для машиністів кранів:

$$B = \frac{64}{64+0} \cdot 100\% = 100\% ,$$

- для плавильних майстрів:

$$B = \frac{32}{32+0} \cdot 100\% = 100\% .$$

Вихідні дані та отримані результати зведені до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1- Розрахунок рівня механізації праці

№ п/п	Професія робітників	Штат робітників	Кількість відпрацьованих людино-годин на добу			% механізованої праці
			вручну	за допомогою машин	всього	
1	Електрогазо-зварювальник	5	$7 \cdot 5 = 30$	$1 \cdot 5 = 5$	35	12,5
2	Слюсар ремонтник	15	$6 \cdot 15 = 90$	$1,2 \cdot 15 = 18$	108	16,7
3	Машиніст крана	8	0	$8 \cdot 8 = 64$	64	100
4	Плавильний майстер	4	0	$8 \cdot 4 = 32$	32	100

По ділянці рівень механізації праці становитиме 57,3%, без урахування інших професій.

$$\frac{12.5 + 16.7 + 100 + 100}{4} = 57.3\%$$

Плавильні майстри, кранові машиністи - це професії, що відносяться до групи «а», так як їхня праця автоматизована і механізована повністю; а ось професії електрогазозварювальник та слюсар-ремонтник відносяться до групи «в» - ручної праці.

## 4.2 . Аналіз потенційних та шкідливих факторів виробничого середовища

На людину в процесі її трудової діяльності можуть впливати небезпечні (що викликають травми) та шкідливі (що викликають захворювання) виробничі фактори. небезпечні та шкідливі виробничі фактори (ДСТУ 12.0.003-74) поділяються на чотири групи: фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні.

Мікроклімат виробничих приміщень визначається поєднанням температури, вологості, рухливості повітря, температури навколишніх поверхонь та їх тепловим випромінюванням. Параметри мікроклімату визначають теплообмін організму людини і істотно впливають на функціональний стан різних систем організму, самопочуття, працездатність і здоров'я.

Високі температури негативно впливають на здоров'я людини.

Тривала дія високої температури, особливо у поєднанні з підвищеною вологістю, може призвести до значного накопичення тепла в організмі (гіпертермії).

При вплив на організм людини негативних температур спостерігається звуження судин пальців рук і ніг, шкіри обличчя, змінюється обмін речовин. Низькі температури впливають також і на внутрішні органи, і тривалий вплив цих температур призводить до їх стійких захворювань.

Розглянемо карту умов праці слюсаря ремонтника, (табл.4.2).

### **Атестація робочого місця**

Робочі місця мають в наявності: 2 фактори 3 ступеня, 4 фактори 1 ступеня, 1 фактор 2 ступеня. За показниками робоче місце слід рахувати з особливо шкідливими та особливо важкими умовами праці, що відповідає показникам списку №1 пункт 1.

Згідно зі списком №1: пенсійний вік за пільговими умовами для чоловіків становить 50 років, для жінок 45 років, дається додаткова відпустка 7 днів, дається молоко.

Таблиця 4.2- Технологічна карта умов праці для чергового та ремонтного слюсаря

Чинники	Нормативне значення, ГДК, ПДК	Фактичне значення	III клас шкідливих та небезпечних умов., та характер праці			Час дії фактора % за зміну
			1 ступінь	2 ступінь	3 ступінь	
I. Шкідливі хімічні речовини, мг/м <sup>3</sup>						
1 клас безпеки						
Ангідрид хромовий	0,01	0,020	2			83,1
2 клас безпеки						
Марганцю оксиди (дезінтегр)	0,3	0,56	1,87			83,1
3-4 клас безпеки						
Азот діоксид	2,0	4,0	2			83,1
Вуглецю оксид	20,0	4	0,2			83,1
II. Пил переважно фіброгенної дії, мг/м <sup>3</sup>						
Вміст кремнію діоксиду – 2,5%	4,0	26,4			6,6	83,1
III. Шум, Дб	80	93		13		100
IV. Мікроклімат у приміщенні						
- температура повітря °,	16-27	40,5			13,5	83,1
- швидкість руху повітря, м/сек	0,2-0,5	0,27				83,1
- відносна вологість повітря, %	55	46				83,1
Кількість факторів			4	1	2	

### 4.3. Технічні рішення щодо виробничої санітарії

#### 4.3.1. Об'ємно-планувальні рішення будівель та споруд цеху

Сталеплавильні цехи повинні бути відокремлені від меж житлових районів санітарно-захисними зонами, розмір яких слід приймати відповідно до



санітарних норм проектування промислових підприємств (ДНАОЛ 0.00 - 1.31.99).

Відповідно до ДБН П -89-90 будівлі та споруди сталеплавильних цехів слід розташовувати з урахуванням панівних вітрів, тому і СПЦ-2 звичайно розташований з підвітряного боку по відношенню до найближчих будівель і споруд, менш галасливих цехів і по відношенню до житлового селища . Санітарно-захисна зона складає 1000м. Вона озеленена, тому що листя дерев хороший поглинач шуму та пилу.

Комунікаційні тунелі повинні відповідати ДБН з проектування споруд промислових підприємств і мати припливно-витяжну вентиляцію, постійне електричне освітлення та пристрій для дренажу.

Параметри виробничих приміщень залежать від теплофізичних особливостей технологічного процесу, клімату, сезону року, умов опалення та вентиляції.

Метеорологічні умови для робочої зони виробничих приміщень регламентуються ГОСТ 12.1.005-88 «Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони» та «Санітарними нормами мікроклімату виробничих приміщень».

На заводі керуються «Правилами безпеки у сталеплавильному виробництві», який затверджений наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 19.02.1997р. №33.

Технологічний цикл сталеплавильного цеху №2 розташований у трьох прольотах виробничої будівлі: шихтовій, пічній (де розташована і ділянка КПК) та розливу.

Адміністративний будинок СПЦ-2 має 4 поверхи, висота одного поверху 3,3 м, загальна висота 13,2 м. Площа забудови 1240 м<sup>2</sup>, будівельний об'єм будівлі 15890м<sup>3</sup>.

Будівля КПК:

Одноповерхова будівля (виробнича), висота (максимальна) – 46,8м (верхня відмітка), мінімальна – ~28м (нижня відмітка). Площа забудови 7500м<sup>2</sup> · будівельний об'єм будівлі 103680м<sup>3</sup>.

#### 4.3.2 Опалення та вентиляція

Під вентиляцією розуміють систему заходів та пристроїв, призначених для забезпечення на робочих місцях, у робочих та обслуговуваних зонах приміщень метеорологічних умов та чистоти повітряного середовища. Залежно від способу переміщення повітря розрізняють природну та механічну вентиляцію. Для усунення осідання пилу в приміщенні, зменшуючи його кількість у повітрі, з'єднаними за допомогою повітроводів з пристроями для очищення повітря, що видаляється (ДН ІЛ 2.04.05 – 91).

У прольоті ділянки використовують природну вентиляцію повітря. У такому вигляді вентиляції повітря надходить та видаляється через щілини вікна, двері, ворота, ліхтарі.

Також на ділянці КПК використовується вентиляція припливу (в літній час) – здійснюється трьома кондиціонерами типу КТ4, один з яких у роботі, а два – в резерві. Також зараз триває встановлення кондиціонерів до крани кранів.

Опалення, яке застосовується в цеху та на ділянці це теплофікація, що здійснюється у зимовий період.

Також у цеху, на ділянці ГКР існує додаткове тепловипромінювання – тепло, що виділяється від працюючого електрообладнання головного поста управління (ГПУ) КПК та тепло, що виділяється від роботи агрегату КПК. Результати наведено у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3. – Допустимі параметри мікроклімату.

Характеристика Виробничих приміщень	Категорія роботи з тяжкості	Період року (теплий, холодний, перехідний)			Температура повітря поза постійними робочими місцями, С°
		на постійних робочих місцях			
		темпера- туру повітря, С°	відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с	
ДБН 2.04.05-91 середня	теплий період року	21-23	40-60	0,3	відповідає температурі навколишнього повітря
	холодний період року	18-20	40-60	0,2	

#### 4.3.3. Природне та штучне освітлення.

Для створення сприятливих умов праці важливе значення має раціональне висвітлення. Незадовільне висвітлення ускладнює проведення робіт, веде до зниження продуктивності праці та працездатності очей і може бути причиною їх захворювань та нещасних випадків.

На промислових підприємствах штучне освітлення поділяється на робоче (для проведення робіт у темний час доби або в місцях без природного достатнього освітлення), аварійне (для проведення роботи при аварійному відключенні робочого освітлення), евакуаційне (аварійне освітлення для евакуації людей з приміщення при аварійному) відключення робочого освітлення) та охоронне. Аварійне освітлення влаштовується у виробничих приміщеннях та на відкритій території для тимчасового продовження робіт у разі аварійного відключення робочого освітлення (загальної мережі). Воно має забезпечувати не менше 5% освітленості від нормованої за системою загального освітлення. При необхідності частина світильників того чи іншого виду освітлення може використовуватися для чергового освітлення. Застосовуються дугові ртутні лампи (ДРЛ).

Необхідні рівні освітленості нормуються відповідно до ДБН 23-05-95 «Природне та штучне освітлення» залежно від точності виконуваних виробничих операцій, світлових властивостей робочої поверхні та деталі, що розглядається, системи освітлення.

Електричні джерела світла характеризуються номінальними значеннями напруги, потужності, світлового потоку, лінійними розмірами. Важлива характеристика електричних ламп світлова віддача. Світлова віддача ламп розжарювання приблизно 18лм/вт\*, а люмінесцентних ламп у 3-4 рази більше. Тому в нас у цеху, на ділянці КПК використовують газорозрядні лампи – різновид люмінесцентних ламп типу « Fillips » (енергозберігаючі), згідно зі ДБН П-4-79. Для забезпечення евакуації людей – черговий персонал має акумуляторні ліхтарі, також має дві секції, підключені до різних трансформаторних підстанцій.

#### 4.3.4. Санітарно-побутові приміщення

У прибудові до виробничої будівлі цеху розташовані приміщення санітарно-побутового призначення, вбиральні та душові. Зберігання спецодягу, взуття, а також домашнього одягу проводиться закритим способом у шафах подвійного типу 50x40x165 см. Між рядами шаф (відстань до 2 м) встановлені лави шириною 30 см. Кількість місць у вбиральні відповідає числу працюючих у двох змінах.

У побутових приміщеннях використовують індивідуальні та групові умивальники з кількістю кранів, що відповідають числу робітників у найбільш численній зміні. Відстань між умивальниками - 0,7 м, ширина проходу між їхніми рядами -2м. Один умивальник розрахований на 5 осіб.

Кількість душових сіток обрано з розрахунку 5 осіб на одну сітку, 90% душових установок обладнано груповими змішувачами, а 10% - індивідуальними.

У приміщенні цеху встановлені закриті баки з фонтануючими насадками з температурою підсоленої води (0,5% солі) не більше 20°C і не нижче 10°C на відстані близько 70 м від основних робочих місць.

Виробниче приміщення розташоване з урахуванням послідовності виробничих операцій, що унеможлиблює перетин технологічних потоків. Виробничий процес дільниці практично автоматизовано на 70%, управління технологією здійснюється у кабінах. Ділянка має примусове відведення тепла, газів та вологи через газовідведення.

Конструкція стін, вікон, стель тощо. у виробничому приміщенні відповідає нормам санітарії та забезпечують сприятливі умови праці робочому персоналу.

До побутових належать приміщення задоволення санітарних і побутових потреб трудящих під час перебування їх у роботі: приміщення прийому їжі, вбиральні, душові, вбиральні, умивальні, курильні, обігріву трудящих і питного водоснабження. Так як ділянка КПК знаходиться не в окремо відведеному будинку, а під одним дахом з пічним прольотом, то в роботі бере участь велика кількість людей, побутові приміщення розташовуються в безпосередній близькості з виробничим будинком.

Склад обладнання та влаштування побутових приміщень залежить від СА-нітарної характеристики виробничих процесів. Ділянка відноситься до 2 групи, в якій виробничі процеси відбуваються за несприятливих умов (гарячий запилений цех). У цеху є буфет з цілодобовим режимом роботи на 20 місць, в якому робітники можуть придбати гарячу їжу. Також працює в нашому цеху та їдальня з денним режимом роботи, на 40 місць. Крім цього на ділянці є кімната їди забезпечена: електрокип'ятильниками, сатураторами газ води, холодильником.

У цеху є здоровпункт, на ділянках обладнані санітарні пости, укомплектовані аптечками та іншими медичними препаратами.

#### 4.3.5. Виробничий шум, виробнича вібрація

За походженням шум буває механічний, що виникає в результаті тертя вузлів і деталей механізмів і машин на холостому і робочому ході; аерогідродинамічний, що виникає при великих швидкостях руху потоків повітря, газів, рідин; імпульсний, що виникає в результаті зіткнення твердих

тіл; термічний, що генерується при згорянні га-подібного палива в пальникових та форсуночних пристроях. Джерелами шуму на ділянці є:

- переміщення кранів, завалочні пристрої для подачі шихти в дугову піч, розливання металу у виливниці, подача ковша на КПК, подача добавок до КПК – шум механічного походження – 95 дБ;
- аеродинамічного походження - рух газових потоків у печі та КПК - 87дБ;
- термічного походження – згорання палива – 90 дБ.

#### 4.3.6 . Виробничі випромінювання

Температурний режим у виробничих приміщеннях або в ізольованих його частинах залежить від величини тепловиділень обладнання, агрегатів, нагрітих напівфабрикатів та готової продукції, а також від сонячної радіації, що проникає в цех через відкриті та засклені отвори. Частина тепла, що надійшло в цех, віддається назовні, а решта, так зване явне або надлишкове тепло, нагріває повітря робочих приміщень.

Робочі гарячих цехів металургійних підприємств постійно чи періодично зазнають впливу інфрачервоного випромінювання. Інтенсивність опромінення на робочих місцях залежно від розмірів та температури джерел випромінювання та відстані від нього змінюється у широких межах.

Джерелами випромінювань у цеху є: факел полум'я, нагріта до високої температури вогнетривка футеровка внутрішнього простору печі та поверхня розплавленого шлаку, вплив яких проявляється при відкритих вікнах печі та в нашому випадку КПК.

Інтенсивність опромінення на різних робочих місцях при виконанні операцій коливається в широких межах, наприклад, до  $50,2 \text{ МДж/м}^2$ .

#### 4.4. Заходи з техніки безпеки

У процесі роботи здоров'ю і навіть, можливо, життю людей можуть загрожувати фактори, спричинені переважно неправильною організацією

роботи або недотримання техніки безпеки. Підвищену стомлюваність, ослаблення зору та слуху і просто зниження працездатності може викликати підвищений рівень шуму; високий рівень тепловипромінювання; високі температура та вологість.

Безпосередню небезпеку для життя і здоров'я людей являють собою прилади та елементи обладнання, що вимагають для своєї роботи живлення від мережі з високою напругою.

З метою уникнення нещасних випадків при використанні людиною подібного обладнання або контакту з нею, необхідне проведення серед персоналу підприємства інструктажів з техніки безпеки, а також дотримання та контроль за дотриманням вимог техніки безпеки. Крім того, зменшити ймовірність нещасних випадків чи аварій можна шляхом проведення деяких організаційних та профілактичних заходів.

При роботі з легкозаймистими, вибухонебезпечними та токсичними газами, а також рідинами та продуктами розкладання органічних речовин необхідна постійна вентиляція робочих приміщень. Роботи з небезпечними речовинами рекомендується проводити тільки в герметичних системах або під витяжною шафою, в приміщенні, що добре провітрюється.

Відповідно до Правил експлуатації електроустановок (ПЕУ) у цеху використовуються установки до 1000В із глухо-заземленою нейтраллю. За ступенем електронебезпеки виробничі приміщення цеху відносяться до категорії підвищеної небезпеки, оскільки є струмопровідний пил і підвищена температура.

Для унеможливлення ураження струмом при дотику до металевих частин обладнання, що випадково опинилися під струмом, використовують захисне заземлення. Струмопровідні дроти та кабелі забезпечені посиленою ізоляцією. Неізольовані тролі мостових кранів і передавальних візків захищають огорожувальними сітками з коміркою не менше 25x25 мм, висотою 1,7 м і розміщують у тунелях. Усі струмопровідні частини ізольовані.

Як захисну ізоляцію застосовують теплостійкі лаки, електроізолюючі плівки, емалеві та масляні фарби.

Ремонтний та експлуатаційний персонал електриків забезпечується оперативними штангами, інструментом із ізольованими ручками, діелектричними рукавичками, гумовими ботами та ін.

У цеху застосовують організаційні та інженерні заходи, спрямовані на захист персоналу від шкідливих та небезпечних факторів.

До першої групи заходів належить робота відділу техніки безпеки щодо навчання обслуговуючого та ремонтного персоналу безпечним та нешкідливим правилам та умовам праці, проводяться різні види інструктажів.

До інженерних заходів відноситься захисні, огорожувальні та запобіжні пристрої (кожухи, перила, запобіжні муфти, огороження).

Для захисту від надлишкових тепловиділень застосовують аерацію разом із витяжною вентиляцією безпосередньо від джерел інтенсивних виділень теплоти.

Для видалення пилу, шкідливих парів та газів використовують також систему витяжної вентиляції, з'єднаної з пристроями очищення та уловлювання.

З метою зниження рівня шуму на робочих місцях застосовують шумозахисні огороження, екрани та засоби індивідуального захисту.

Зменшення вібрації агрегатів та механізмів досягається за рахунок використання гумомеханічних амортизаторів, пружин, спеціальних вібропоглинаючих матів.

#### 4.5. Заходи пожежної безпеки

З метою забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу та забезпечення найшвидшого усунення ситуацій, що загрожують здоров'ю чи життя людей, на підприємстві передбачено комплекс заходів щодо запобігання та найшвидшого усунення подібних ситуацій, а також, наявність засобів захисту та пожежогасіння. До них відносяться вогнегасники та інші



протипожежні приладдя, а також системи пожежогасіння, сигналізація та системи оповіщення персоналу.

Для забезпечення найбільш повного використання цих коштів на підприємстві необхідно встановлення жорсткого контролю їх комплектності та якості.

Ділянка КПК має категорію з пожежонебезпечності Г (негорючі речовини розпечені або розплавлені, та горючі речовини спалюються або утилізуються як паливо). Будівля металургійної ділянки відноситься до 1 ступеня вогнебезпечності та до IV класу за ступенем вогнестійкості (будівлі з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону або залізобетону із застосуванням листових та плитних негорючих матеріалів).

До первинних засобів пожежогасіння в цеху відносять: вогнегасники ПС-1 (10 шт), ПС-2 (14 шт.), ПЗ-1Д (18 шт), пожежний інвентар (покривало з негорючого теплоізоляційного полотна, ящики з піском, бочки з водою, пожежні відра, совкові лопати); пожежний інвентар (багри, ломи, сокири та ін.).

Цех має внутрішній протипожежний водопровід із пожежними кранами та рукавами.

Відповідно до ДБН П -90-81 виробничі приміщення цеху відносяться до категорії Г (негорючі речовини та матеріали в гарячому або розплавленому стані з виділенням променистого тепла, іскор та полум'я). По вибухонебезпечності - клас В- 1а (вибухонебезпечні суміші парів та газів утворюються тільки при аваріях чи несправностях) (ДБН В 1.1 – 7.2002).

Для пожежогасіння використовуються спеціальні водопровідні мережі із пожежними гідрантами та рукавами з використанням генераторів піни. Є пожежний ручний інструмент: багри, гаки, сокири; та пожежний інвентар: бочки з водою, пожежні відра, знаки безпеки, ящики з піском, азбестова тканина та ін. (ГОСТ 12.1.004-91).

У цеху також використовуються різні види вогнегасників: хімічні пінні типу ОХВП-10, продуктивністю 50 л, дальністю подачі струменя 6 м, кратністю

виходу піни – 6 м (10 штук); порошок тина ОП-5 з корисною місткістю корпусу 5 л, часом дії 15 сек, дальністю подачі струменя - 5 м (8 штук); вуглекислотні типу ОУ-8 з ємністю балонів 8 л, часом дії – 20 сек, радіусом дії 2м.

По вогнестійкості будівля цеху відноситься до III ступеня з межею вогнестійкості несучих стін, сходових клітин і колон - 2 години, майданчиків, сходів, сходових маршів - 1 година, внутрішніх перегородок - 0,25 години, міжповерхових . перекриттів – 0,75 години. Межа поширення вогню: на несучих стінах, майданчиках, сходових маршах – не допускається, а внутрішніх перегородках – 40 см.

Цех обладнано охоронно-пожежною сигналізацією та диспетчерським зв'язком.

#### 4.6. Рішення щодо захисту навколишнього середовища

На ділянці КПК працює газовідвідний тракт неорганізованих викидів від печі-ківш, що включає:

1. Газозбірний пристрій.
2. Рухливу муфту.
3. Стационарний газохід, змонтований на даху цеху у існуючому газоході печі №5.
4. Димосос ДН-19ТА.
5. Колектор.
6. Рукавний фільтр.
7. Димову трубу.

Брудне та гаряче повітря через газозбірний пристрій потрапляє в газохід, де охолоджується. Далі через димосос і колектор протікає рукавний фільтр, який очищає  $0,01 \text{ кг/м}^3$  газу. Після рукавного фільтра чисте повітря через трубу диму потрапляє в атмосферу.

#### 4.7. Розрахунок газового тракту в системі очищення газів установки піч-ківш

Для розрахунку газового тракту використовуємо такі параметри:

- 1.1. Втрата газів у робочих умовах:  $Q=60\,000\text{ м}^3/\text{год}$ , або  $q=16,7\text{ м}^3/\text{с}$ .
- 1.2. Температура газу :  $t = 135^\circ\text{C}$ .
- 1.3. Барометричний тиск,  $Ba=99,98\text{ кПа}$ .
- 1.4. Тиск після печі:  $P_T = -1,57\text{ кПа}$ .
- 1.5. Концентрація газів:  $\rho_0=0,3\text{ кг/м}^3$ .

Визначаємо довжини окремих ділянок.

$$l_1 = 17,1\text{ м}; l_2 = 25\text{ м}; l_3 = 44\text{ м}; l_4 = 22\text{ м}; l_5 = 13,5\text{ м}; l_6 = 3,4.$$

Схема газового тракту представлена малюнку 4.1.

Розраховуємо груповий опір на перших трьох ділянках, якими проходить весь потік. Приймаємо на ділянці  $l_1$  швидкість  $W = 17,2$  а діаметр  $d = 1,22\text{ м}$ .

Знаходимо величину  $\lambda$ :

$$\lambda = \frac{0,0348}{\sqrt[4]{d}}$$

$$\lambda = \frac{0,0348}{\sqrt[4]{1,22}} = 0,033 \quad (4.2)$$

Їхній опір розраховуємо за формулою:

$$\Delta P_1 = \lambda \frac{l}{d} \frac{W^2}{2} \rho, \quad (4.3)$$

де

$$\rho = \rho_0 \frac{273 \cdot (Ba \pm P_T)}{(273 + t)101,3}$$

$$\rho = 0,3 \frac{273 \cdot (99,98 - 1,57)}{(273 + 135)101,3} = 0,195\text{ кг/м}^3 \quad (4.4)$$

$$\Delta P_1 = 0,0033 \frac{17,1}{1,22} \cdot \frac{17,2^2}{2} \cdot 0,195 = 13,3\text{ Па}.$$

Приймаємо  $P_1=14$  Па.

Прийmemo на ділянці  $l_2$  швидкість  $W = 17$  і діаметр  $d = 1,5$  м, тоді:

Знаходимо величину  $\lambda$  (4.2):

$$\lambda = \frac{0,0348}{\sqrt[4]{1,5}} = 0,031,$$

Опір розраховуємо (4.3):

$$\Delta P_2 = 0,0031 \frac{22,6}{1,5} \cdot \frac{17^2}{2} 0,195 = 13,2 \text{ Па}.$$

Приймаємо  $P_2=14$  Па.

Прийmemo на ділянці  $l_{3,4}$  швидкість  $W = 16,9$  і діаметр  $d = 1,22$  м, тоді:

Опір розраховуємо за формулою (4.3):

$$\Delta P_{3,4} = 0,0033 \frac{66}{1,22} \cdot \frac{16,9^2}{2} 0,195 = 49,7 \text{ Па}.$$

Приймаємо  $P_{3,4}=50$  Па.

Прийmemo ділянці  $l_{5,6}$  діаметр  $d = 1,22$  м, тоді:

Розраховуємо швидкість газу, що виходить з димососу:

$$Q = 21,92 \text{ м}^3/\text{с}.$$

$$W = 1,27 \frac{q}{d^2} = 1,27 \frac{21,92}{1,22^2} = 18,7 \text{ м/с} \quad (4.5)$$

Опір розраховуємо за формулою (4.3):

$$\Delta P_{5,6} = 0,0033 \frac{47,5}{1,22} \cdot \frac{18,7^2}{2} 0,195 = 43,8 \text{ Па}.$$

Приймаємо  $P_{5,6}=44$  Па.

Підсумовуємо загальний опір:

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_{3,4} + \Delta P_{5,6} = 14 + 14 + 50 + 44 = 122 \text{ Па}.$$

Розраховуємо місцевий опір ділянок.

Спочатку визначимо місцеві опори ділянки  $l_1$  на якому швидкість газу однакова. Опір визначається за такою формулою:

$$\Delta P_{.m1} = \zeta \frac{W^2}{2} \rho, \quad (4.6)$$

На цій ділянці є 3 повороти на  $90^\circ$ . Коефіцієнт опору повороту розраховуємо за такою формулою:

$$\zeta = 0,05 + 0,19 \frac{d}{R}, \quad (4.7)$$

Розраховуємо  $\zeta$  для ділянки  $l_1$  приймаємо  $d/R = 1$ :

$$\zeta = 0,05 + 0,19 \cdot 1 = 0,24.$$

Розраховуємо місцеві опори відповідних ділянок за формулою (4.6).

$$\Delta P_{.m1} = 0,24 \frac{17,2^2}{2} 0,195 = 6,93 \text{ Па}.$$

Приймаємо  $P_1 = 7$  Па.

На ділянці  $l_2$  є поворот і зміна газопроводу з меншого діаметра на більший, при цьому  $\zeta = 0,24 + 0,1 = 0,34$ .

$$\Delta P_{.m2} = 0,34 \frac{17^2}{2} 0,195 = 9,58 \text{ Па}.$$

Приймаємо  $P_2 = 10$  Па.

На ділянці  $l_{3,4}$  є поворот і зміна газопроводу з більшого діаметра на менший, при цьому  $\zeta = 0,24 + 0,1 = 0,34$ .

$$\Delta P_{.m3,4} = \zeta \frac{W^2}{2} \rho = 0,34 \frac{16,9^2}{2} 0,195 = 9,47 \text{ Па}.$$

Приймаємо  $P_{3,4} = 10$  Па.

На ділянці  $l_{5,6}$  є поворот і зміна газопроводу з меншого діаметра на більший, при цьому  $\zeta = 0,24 + 0,1 = 0,34$ .

$$\Delta P_{m5,6} = 0,34 \frac{18,7^2}{2} 0,195 = 11,6 \text{ Па}.$$

Приймаємо  $P_{5,6} = 12 \text{ Па}$ .

$$\Delta P_m = \Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_{3,4} + \Delta P_{5,6} = 39 \text{ Па}$$

Таблиця 4.4.-Результати розрахунків опорів газоходу.

№ п/п	Діа- метр, м	Швидкість газу, м/с	Довжина, м	Опір тертя, $\Delta$ $P_t$ , Па	Сума місцевих опорів, $\Delta P_m$ , Па	Загальний опір, $\Delta P$ , Па
1 <sub>1</sub>	1,22	17,2	17,1	14	7	21
1 <sub>2</sub>	1,5	17	25	14	10	24
1 <sub>3</sub>	1,22	16,9	44	50	10	60
1 <sub>4</sub>	1,22	16,9	22			
1 <sub>5</sub>	1,22	18,7	13,5	44	12	56
1 <sub>6</sub>	1,22	18,7	3,4			
Усього				122	39	161



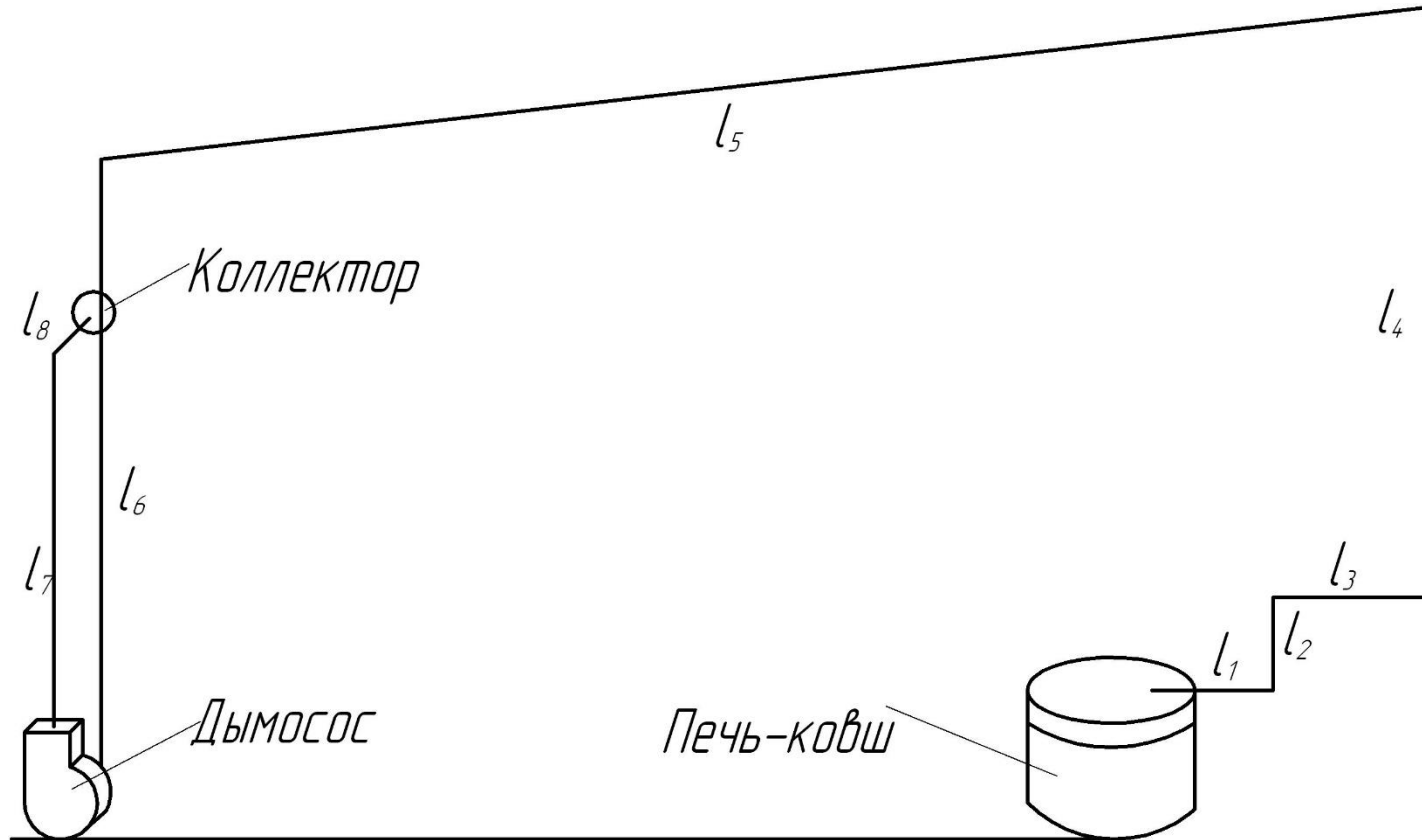


Рисунок 4.1.- Схема газового тракту установки піч-ківш.



## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Ознайомлення з технологією й устаткуванням електросталеплавильного цеху СПЦ-2, ПАТ «Дніпрспецсталь» є велика витрата електродів при плавці ДСП-50.
2. Для забезпечення високої стійкості гідроприводів механізму переміщення електродів найбільш доцільним є застосування золотника, що має позитивне перекриття щілин.
3. Тривалість перехідного процесу приводу з золотником, що мають позитивне перекриття, близьке до нуля, менше тривалості перехідного процесу приводу з золотником, що мають негативне перекриття, а тривалість перехідного процесу приводу з двохкаскадним золотником менше тривалості перехідного процесу приводу з однокаскадним золотником.
4. Встановлено, що найбільш раціональними схемами механізму переміщення електродів є:
  - для аналогових систем - схема, що складається з електродвигуна з порожнистим ротором, кінематичної рейкової передачі, однокаскадного золотника з позитивним перекриттям щілин і електронних блоків;
  - для цифрових систем - схема, що складається з крокового двигуна, кульково гвинтової передачі, однокаскадного золотника з позитивним перекриттям щілин і електронного блоку.
5. Дослідження, проведені з використанням програмного забезпечення, дозволили встановити вплив на статичні характеристики механізму (чутливість системи і точність виконання заданої програми) діаметра качалки і ширини перекриття щілин стежить золотника, робочого тиску, діаметра робочого циліндра, навантаження на робочий орган і електричних параметрів, які характеризуються коефіцієнтами перетворення для аналогової САР і для цифрової САУ.
6. Результати роботи можуть бути використані на ПАТ «Дніпрспецсталь», та на інших підприємствах, які спеціалізуються на електрометалургії.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Oiks G. N. Converter and open-hearth steel manufacture: Fundamentals of theory and technology. Moscow : Mir, 1977.
2. ПАТ «Дніпроспецсталь» [Електронний ресурс] // Режим доступу до ресурсу: <http://www.dss-ua.com/rus/company/production/schema/>
3. Rutberg P. M., Sapko A. I. Modernization of electric-arc furnaces. *Metallurgist*. 1959. Vol. 3, no. 4. P. 158–159. URL: <https://doi.org/10.1007/bf00740733> (date of access: 19.11.2023).
4. Williams R. V. Blast-furnace instrumentation. *Control and Analysis in Iron and Steelmaking*. 1983. P. 67–117. URL: <https://doi.org/10.1016/b978-0-408-10713-6.50008-2> (date of access: 19.11.2023).
5. Hersch J. E. Metallurgical plants of Japan. [Tokyo] : Supreme Commander for the Allied Powers, Natural Resources Section, 1950. 71 p.
6. Білецький М. І. Техніко-економічні основи виробництва : навч.-метод. посібник / М. І. Білецький, Л. І. Котик. – Львів : ЛНУ ім. І. Франка, 2013. – 134 с.
7. Методичні вказівки до самостійної роботи з дисципліни «Споруди та обладнання сталеплавильних цехів» для студентів заочної форми навчання напряму 6.050401 «Металургія» / Укл.: Крячко Г.Ю.-Кам'янське: ДДТУ, 2016 р., 52 стор..
8. Гущин О. В. Технологічні методи виробництва заготовок деталей машин : посібник для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 131 – «Прикладна механіка» спеціалізації «Технології машинобудування» / О. В. Гущин. – Краматорськ : ДДМА, 2019. – 159 с.
9. Leonard B. Mechanical Equipment Repair Industry (machine Shops): Guides To Pollution Prevention. Diane Pub Co, 2004. 45 p.
10. Britain G. Mechanical Lifting and Handling Equipment. Stationery Office Books, 1988.

11. Lifting N. S. The International Rigging and Lifting Handbook. Aberdeen, Scotland : North Sea Lifting Ltd, 2001. 202 p.
12. Polach P. Applied Methods of the Analysis of Static and Dynamic Loads of Structures and Machines. Trans Tech Publications, Limited, 2015.
13. From data protection to knowledge machines: The study of law and informatics / ed. by S. P. 1939-, B. J. 1944-. Oslo : Tano, 1990. 283 p.
14. Деталі машин : підручник / [Міняйло А.В., Тіщенко Л.М., Мазоренко Д.І. та ін.]. – К. : Агроосвіта, 2013. – 448 с. ISBN 978-966-2007-28-2..
15. Makarenko N. G., Yakovleva Y. S., Mikhalevich O. A. Ways to increase the durability of machines and mechanisms. *Omsk Scientific Bulletin*. 2023. P. 39–44. URL: <https://doi.org/10.25206/1813-8225-2023-187-39-44> (date of access: 23.10.2023).
16. Sergeev S. N. New highly efficient energy-saving gas-cleaning equipment for the regulated cleaning of emissions from machines and units of metallurgical production. *Metal and Casting of Ukraine*. 2019. Vol. 308-309, no. 1-2. P. 77–83. URL: <https://doi.org/10.15407/steelcast2019.01.077> .
17. Геврик Е. О. Охорона праці. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. / Е. О. Геврик. – К: Ельга, Ніка–центр, 2003. – 280 с..
18. Ткачук К. Н. Охорона праці та промислова безпека. Навч. посіб. / К. Н. Ткачук. та ін. – К: Основа, 2009. – 360 с.
19. Раздорожній О. А. Охорона праці та виробнича безпека. / О. А. Раздорожній. – К.: Вища школа, 2007.
20. Румянцев В. Р. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці та техногенна безпека» у дипломних роботах (проектах) для студентів ЗДІА спеціальностей МЧМ, МБ та інші / В. Р. Румянцев, І. О. Ткаліч. – Запоріжжя: ЗДІА, 2012. – 16 с.
21. Dudás I. Theory and Practice of Worm Gear Drives. Elsevier Science & Technology Books, 2005.
22. Kragel'skiĭ I. V. Handbook of friction units of machines. New York : ASME Press, 1988. 318 p.

23. Fun M. M. Knife Making Design Sketch Book: Blank Notebook for Knifemaker and Bladesmith Projects. Independently Published, 2020. 120 p.
24. Dymott T. C. Atomic absorption with electrothermal atomisation. 3rd ed. Cambridge : Pye Unicorn, 1985. 85 p.
25. Semenov A. B. Design and calculation of structured cabling systems and components. Book on Demand Ltd., 2018. 418 p.
26. Hydraulics and hydraulic pneumatic drive. Hydraulics. / A. Lepeshkin et al. ru : INFRA-M Academic Publishing LLC., 2023. URL: <https://doi.org/10.12737/958917> (date of access: 23.12.2023).
27. Duckworth H. The design and application of servo systems using stepper motors. Salford : Department of Electrical Engineering, University of Salford, 1974. 78 p.
28. Freeman E. A., Aizerman M. A. Theory of Automatic Control: Adiwes International Series. Elsevier Science & Technology Books, 2016. 532 p.
29. Company G. E. Handbook of instructions with parts catalog, electric turret drive: Models 2CGD50USC1, 2CGD50USC2, and 2CGD50USC3. Schenectady, N.Y, 1944. 178 p.
30. Sul S.-K. Control of Electric Machine Drive Systems. Hoboken, NJ, USA : John Wiley & Sons, Inc., 2010. URL: <https://doi.org/10.1002/9780470876541> (date of access: 23.12.2023).
31. Automation automation automation. / ed. by Congress of Industrial Organisations. Committee on Economic Policy. [S.l.] : CIO, 1955. 24 p.
32. Power economy on electric-ARC furnaces =: Racionalizace spotřeby elektrické energie na oblukových pecích. Ostrava : [s.n.], 1968. 77 p.
33. Май Фиок Туан, Жук А.Я., Коваль М.В. Дослідження впливу характеру перекриття щілин слідкуючого золотника на стійкість гідроприводів механізму переміщення електронів дугової електропечі / Металургія (Праці ЗДІА). - Запоріжжя: ЗДІА, 2003. - Вип.7. - С.93-99.
34. Май Фиок Туан. Дослідження впливу характеру перекриття щілин стежить золотника на швидкодію гідроприводів механізму переміщення

- електродів дугової електричної / *Металургія (Праці ЗДІА)*. - Запоріжжя: ЗДІА, 2003. - Вип.8. -С.90-96.
35. Parker P. M. The 2007-2012 World Outlook for Industrial Furnaces and Ovens and Electric Industrial Heating Equipment. ICON Group International, Inc., 2006. 194 p.
36. Май Фиок Туан, Жук А.Я., Коваль Н.В. Дослідження впливу типу стежить золотника на статичні характеристики гідроприводу механізму переміщення електродів дугової електропечі / *Металургія (Праці ЗДІА)*. - Запоріжжя: ЗДІА, 2002. - Вип.6. - С.114-120.
37. Жук А.Я., Май Фиок Туан, Власов А.О. Дослідження та вибір найбільш ефективної схеми механізму переміщення електрода дугової сталеплавильної печі на базі гідроприводу/ *Металургія (Праці ЗДІА)*. - Запоріжжя: ЗДІА, 2007. - Вип.16. - С.85-89.
38. Жук А.Я., Май Фиок Туан, Власов А.О. Дослідження впливу параметрів механізмів переміщення електродів дугових сталеплавильних печей на їх статичні характеристики/ *Металургія (Праці ЗДІА)*. - Запоріжжя: ЗДІА, 2008. - Вип.17. - С.128-133.

## СПИСОК ГРАФІЧНОГО МАТЕРІАЛУ

№ п/п	Найменування	Кільк. листів	Формат
1	Електропіч дугова сталеплавильна ДСП-50	1	A1
2	Механізм переміщення електродів печі ДСП-50	1	A1
3	Механізм переміщення електродів	1	A1
4	Схема виконавчого механізму з однокаскадним і двохкаскадним золотником	1	A1
5	Вплив параметрів механізму переміщення електродів ДСП на їх стійкість проти автоколювань	2	A1
6	План вентиляційної системи	1	A1

## ДОДАТКИ

## Додаток 1

Лістинг 1 – Програма для вирішення рівняння (1) на VBA в середовищі Excel :

```
Dim t0, Tmax, x0, v0, h, m, c, As Double
Dim B, D, TTT As Double
Dim N As Integer
Dim xx(1-160), vv(1-160), TT(1-160) As Double
Dim xx2(1 To 160), vv2(1 To 160)
Dim xx3(1 To 160), vv3(1 To 160)
```

```
Private Sub InitRK4_Click()
Cells(1, 1) = "Рішення диф рівня 2- го порядку ."
Cells(2, 1) = "Метод : Runge-Kutta."
Cells(3, 1) = "Виконав студ . гр . "
Cells(3, 5) = "М0 - 01м Артеменко Г.С. 28.12.05"
Cells(5, 1) = "Імен. пров."
Cells(5, 2) = "Поч. знч."
Cells(6, 1) = "Кільк . Урав ."
Cells(7, 1) = " m ="
Cells(8, 1) = " c ="
Cells(14, 1) = " to ="
Cells(16, 1) = " X1o ="
Cells(17, 1) = "V1o ="
Cells(18, 1) = " Кільк . точок "
Cells(9, 1) = " КЗатух ="
Cells(10, 1) = " ЗовнішСила "
End Sub
```

```
Private Sub CommandButton1_Click() 'Vvod Data pour RK4
t0 = Cells(14, 2).
x0 = Cells(16, 2).
N = Cells(18, 2).
v0 = Cells(17, 2).
m = Cells(7, 2)
c = Cells(8, 2)
A = c/m
TTT = A ^ (1/2) 'Кругова частота
Cells(20, 1) = " W ="
Cells(20, 2) = TTT
Range("A21").Font.Color = RGB(0, 0, 255)
Range("B21").Font.Color = RGB(0, 0, 255)
Cells(21, 1) = " Період ="
Cells(21, 2) = 6.28 / TTT
Range("A22").Font.Color = RGB(255, 0, 0)
Range("B22").Font.Color = RGB(255, 0, 0)
Cells(22, 1) = " Введення h="
Cells(4, 3) = "N"
Cells(5, 3) = 0
Cells(4, 4) = "T"
Cells(5, 4) = t0
```



```

Cells(4, 5) = "X"
Cells(5, 5) = x0
Cells(4, 6) = "V"
Cells(5, 6) = v0
B = Cells (9, 2).
D = Cells (10, 2).
End Sub
Public Function f1(t, x, v As Double) As Double

f1 = -A * x ' - D * Sin (4 * t)

End Function
Public Function f2(t, x, v As Double) As Double

f2 = -A * x - B * v

End Function

Public Function f3(t, x, v As Double) As Double

f3 = -A * x - B * v - D * Sin (4 * t) ' Exp (t)

End Function

'Method Runge-Kutta
Private Sub CommandButton2_Click()
Dim t1, x1, k1, k2, k3, k4, r1 As Double
Dim v1 As Double
Dim j, l As Integer

h = Cells(22, 2).
Range("A15").Font.Color = RGB(0, 255, 100)
Cells(15, 1) = "Tmax ="
Range("B15").Font.Color = RGB(0, 255, 100)
Cells(15, 2) = h * N
h1 = h
TT(1) = t0
xx(1) = x0
vv(1) = v0
r1 = h1/2

For j = 2 To N + 1
t1 = TT(j - 1)
t1 = t1 + h1
TT(j) = t1
x1 = xx(j - 1)
v1 = vv(j - 1)
k1 = f1(t1, x1, v1) * h1
k2 = x1 + v1 * r1 + k1 * h1 / 8
k3 = f1(t1 + r1, k2, v1 + k1 / 2) * h1
k4 = k3

```

```

k3 = f1(t1 + r1, k2, v1 + k3 / 2) * h1
k4 = k4 + k3
t1 = t1 + h1
k3 = f1(t1, x1 + h1 * v1 + h1 * k3 / 2, v1 + k3) * h1
x1 = x1 + h1 * (v1 + k1 / 6 + k4 / 6)
xx(j) = x1
v1 = v1 + (k1 + 2 * k4 + k3) / 6
vv(j) = v1
Next j

```

```

For i = 1 To N + 1
Cells(5 + i, 3) = i
Cells(4 + i, 4) = TT(i)
Cells(4 + i, 5) = xx(i)
Cells(4 + i, 6) = vv(i)
Next

```

```
'+++++++++ Runge Pour Task2
```

```

For j = 2 To N + 1
t1 = TT(j - 1)
t1 = t1 + h1
TT(j) = t1
x1 = xx(j - 1)
v1 = vv(j - 1)
k1 = f2(t1, x1, v1) * h1
k2 = x1 + v1 * r1 + k1 * h1 / 8
k3 = f2(t1 + r1, k2, v1 + k1 / 2) * h1
k4 = k3
k3 = f2(t1 + r1, k2, v1 + k3 / 2) * h1
k4 = k4 + k3
t1 = t1 + h1
k3 = f2(t1, x1 + h1 * v1 + h1 * k3 / 2, v1 + k3) * h1
x1 = x1 + h1 * (v1 + k1 / 6 + k4 / 6)
xx(j) = x1
v1 = v1 + (k1 + 2 * k4 + k3) / 6
vv(j) = v1
Next j

```

```

For i = 1 To N + 1
Cells(5 + i, 3) = i
Cells(4 + i, 4) = TT(i)
Cells(4 + i, 7) = xx(i)
Cells(4 + i, 8) = vv(i)
Cells(4, 7) = "X загар "
Cells(4, 8) = "V загар "
Next

```

```
'+++++++++
```

```
'+++++++++ Runge Pour Task3
```

```

For j = 2 To N + 1
t1 = TT(j - 1)
t1 = t1 + h1
TT(j) = t1
x1 = xx(j - 1)

```

```

v1 = vv(j - 1)
k1 = f3(t1, x1, v1) * h1
k2 = x1 + v1 * r1 + k1 * h1 / 8
k3 = f3(t1 + r1, k2, v1 + k1 / 2) * h1
k4 = k3
k3 = f3(t1 + r1, k2, v1 + k3 / 2) * h1
k4 = k4 + k3
t1 = t1 + h1
k3 = f3(t1, x1 + h1 * v1 + h1 * k3 / 2, v1 + k3) * h1
x1 = x1 + h1 * (v1 + k1 / 6 + k4 / 6)
xx(j) = x1
v1 = v1 + (k1 + 2 * k4 + k3) / 6
vv(j) = v1
Next j

For i = 1 To N + 1
Cells(5 + i, 3) = i
Cells(4 + i, 4) = TT(i)
Cells(4 + i, 9) = xx(i)
Cells(4 + i, 10) = vv(i)
Cells(4, 9) = "Xv"
Cells(4, 10) = "Vv"
Next
'+++++++end Task3
End Sub

```