Міністерство освіти і науки України

Запорізький національний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні
(назва факультету)

кафедра металургійного обладнання
(повна назва кафедри)

# ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

На тему Аналіз механізму нахилу електродугової печі та пропозиції щодо його конструктивного удосконалення

Виконав: магістрант групи 8.1333-дн

Брагін Б.М.
(ПІБ) (підпис)

спеціальності

133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма
Металургійне обладнання
(шифр і назва)

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

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

Запоріжжя – 2025 року

Запорізький національний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

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

Кафедра металургійного обладнання

Рівень вищої освіти магістр
(другий (магістерський) рівень)

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

Спеціалізація
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма Металургійне обладнання
(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедрою А.О. Власов

_____

“____” _____20___ року

Завдання
до випускної кваліфікаційної роботи магістра

Брагіна Богдана Миколайовича
(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Аналіз механізму нахилу електродугової печі та пропозиції щодо його конструктивного удосконалення
керівник кваліфікаційної роботи Ph.D., доцент Гречаний О.М., затверджені наказом вищого навчального закладу від “30“ вересня 2024 року № 1485-с.
2. Строк подання здобувачем кваліфікаційної роботи 10 лютого 2025 року.
3. Вихідні дані кваліфікаційної роботи техніко-економічні показники роботи виробничого цеху
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Огляд науково-технічних рішень удосконалення транспортуючого обладнання та обґрунтування обраного напрямку роботи; 2. Розрахункова частина; 3. Дослідно-експериментальна частина; 4. Охорона праці та техногенна безпека в галузі. Загальні висновки та рекомендації
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень): 1. Піч ДСВ-40 – 2А1; 2. Механізм нахилу печі ДСВ-40 (модернізація) – 1А1; 3. Циліндр гідравлічний – 1А1; 4. Деталіровка (втулка, поршень,фланець, циліндр) – 4А3 5. Логічно-структурна схема обладнання для дослідження роботи механізму нахилу печі – 1А1; 6. Результати дослідження розподілу навантажень на вузли механізму нахилу електродугової печі – 1А1.

6. Консультанти кваліфікаційної роботи

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

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів магістерської роботи | Строк виконання етапів кваліфікаційої роботи | Примітки |
|---|---|---|---|
| 1 | Збір матеріалу на кваліфікаційну роботу | 29.05.2024 – 25.06.2024 | |
| 2 | Групування та аналіз зібраного матеріалу. Уточнення завдань кваліфікаційної роботи | 01.09.2024 – 17.09.2024 | |
| 3 | Виконання теоретичної частини кваліфікаційної роботи | 18.09.2024 – 18.10.2024 | |
| 4 | Виконання графічної частини кваліфікаційної роботи | 19.10.2024 – 19.11.2024 | |
| 5 | Написання та оформлення пояснювальної записки | 20.11.2024 – 31.12.2024 | |
| 6 | Перевірка кваліфікаційної роботи консультантами | 01.01.2025 – 01.02.2025 | |
| 7 | Попередній захист | 10.02.2025 | |
| 8 | Переплітання пояснювальної записки | Згідно з графіком | |
| 9 | Захист | Згідно з графіком | |

**Здобувач** _____ Брагін Б.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

**Керівник кваліфікаційої роботи** _____ Гречаний О.М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Брагін Б.М. Аналіз механізму нахилу електродугової печі та пропозиції щодо його конструктивного удосконалення

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 133 – Галузеве машинобудування, науковий керівник О.М. Гречаний. Запорізький національний університет, інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні, кафедра металургійного обладнання, 2025.

Проаналізовані режими роботи обладнання сталеплавильного цеху. Запропонований варіант поліпшення технічних характеристик механізму нахилу електродугової печі. Проведено теоретичний аналіз розподілу навантажень при розливанні сталі. Експериментальним шляхом досліджено розподіл навантажень на рейки електродугової печі.

Ключові слова: ДУГА, ЕЛЕКТРОДУГОВА ПІЧ, МЕХАНІЗМ НАХИЛУ, НАДІЙНІСТЬ, ПЕРЕКИДАЮЧИЙ МОМЕНТ, КУТ НАХИЛУ

## ABSTRACT

Brahin B. M. Analysis of the Tilting Mechanism of the Electric Arc Furnace and Proposals for its Constructive Improvement

Qualification final work for obtaining a higher education degree of a master's degree in specialty 133 - Industrial engineering, scientific adviser O.M. Hrechanyi. Zaporizhzhia National University, Engineering Educational and Scientific Institute named after Yu.M. Potebni, Department of Metallurgical Equipment, 2025.

The operating modes of the steelmaking shop equipment were analyzed. A variant of improving the technical characteristics of the electric arc furnace tilting mechanism was proposed. A theoretical analysis of the load distribution during steel pouring was conducted. The distribution of loads on the rails of the electric arc furnace was experimentally investigated.

Keywords: ARC, ELECTRIC ARC FURNACE, TILT MECHANISM, RELIABILITY, OVERTURN MOMENT, TILT ANGLE

Зміст

Вступ 7
1 ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ УДОСКОНАЛЕННЯ ВУЗЛІВ ЕЛЕКТРОДУГОВИХ ПЕЧЕЙ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ОБРАНОГО НАПРЯМУ РОБОТИ 9
1.1 Вантажопотоки процесу виготовлення сталі в електродугових печах 9
1.2 Короткий опис технологічного процесу виплавлення нелегованих, мало- та середньолегованих сталей 13
1.2.1 Плавлення шихти та окислювальний період плавлення 15
1.2.2 Рафінування сталі в печі 16
1.2.3 Порядок введення феросплавів при виплавці сталей 18
1.2.4 Мікролегування, кінцеве розкислення та модифікування 22
1.3 Аналіз пропозицій підвищення надійності та роботоздатності приводу нахилу печі з обґрунтуванням обраного напряму досліджень 25
2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА 36
2.1 Розрахунок потужності електродвигуна гідравлічного приводу нахилу печі 36
2.2 Аналіз основних кінематичних і силових параметрів привода механізму нахилу печі 40
2.3 Розрахунок деталей на міцність 47
3 ДОСЛІДНО–ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА 49
3.1 Загальна характеристика конструкції лабораторної моделі електродугової печі 49
3.2 Вибір обладнання для обробки результатів експериментальних досліджень розподілу навантажень в механізмі нахилу печі 53
3.3 Визначення датчиків для проведення експериментального дослідження навантажень у вузлах механізму нахилу печі 55
3.4 Експериментальне дослідження навантажень, що виникають при нахилі печі та обробка результатів 59

3.5 Обґрунтування вибору запропонованої гідравлічної схеми механізму нахилу печі 63
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА В ГАЛУЗІ 65
4.1 Оцінка електросталеплавильного цеху з гігієнічної точки зору 65
4.2 Дослідження можливих небезпечних чинників у виробничому середовищі. 66
4.3 Технічні заходи з організації виробничої санітарії 68
4.3.1 Об'ємно-планувальні рішення будівель і приміщень електросталеплавильного цеху 68
4.3.2 Заходи з організації мікроклімату у виробничих приміщеннях 70
4.3.3 Визначення загального повітрообміну по тепловиділенням 71
4.3.4 Освітлення 72
4.3.5 Організація санітарно-побутових приміщень 75
4.4 Організація техногенної та пожежної безпеки 75
4.5 Дослідження можливості покращення екологічних показників цеху та розрахунок рукавного фільтра 77
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ 84
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ 85
СПИСОК ГРАФІЧНОГО МАТЕРІАЛУ 90
ДОДАТКИ 91

# Вступ

Основним виробничим агрегатом в процесі виплавки сталі елктросталеплавильним методом є дугова електропіч. Її продуктивність, а також техніко-економічна ефективність роботи значною мірою залежать від конструктивних характеристик та параметрів окремих елементів.

Основний принцип роботи дугової печі ґрунтується на перетвореній електроенергії в теплову шляхом утворення електричного розряду в газовому середовищі або вакуумі. Завдяки високій концентрації енергії, що генерується в розряді, відбувається швидке нагрівання й плавлення металу в порівняно невеликому об'ємі, що забезпечує досягнення високих температур у короткі терміни.

Однією з найбільш відповідальних частин механічного оснащення печі є механізм її нахилу. Він виконує функцію зміни положення печі: нахил у бік ринви в межах 35-40° для зливу розплавленого металу та зворотний нахил (близько 15°) для видалення шлаку. Оскільки цей механізм зазнає значних навантажень, він є найбільш вразливим до збоїв у роботі.

Несправності механізму нахилу можуть спричинити серйозні наслідки, зокрема неконтрольоване випліскування металу або його передчасне застигнення у ванні. Відтак, механізм повинен відповідати низці вимог:

- забезпечувати стабільність та безпечну експлуатацію;
- гарантувати плавний нахил із заданою швидкістю, виключаючи ривки та заїдання, а також можливість зупинки на будь-якому етапі нахилу;
- унеможливлювати перекидання печі під час роботи;
- мінімізувати горизонтальні та вертикальні зміщення зливального носка відповідно до технології розливання металу.
- полегшувати доступ для технічного огляду та ремонтних робіт.

Зважаючи на ці вимоги, питання оптимізації механізму нахилу печі залишається актуальним. Подальший розвиток методик визначення навантажень

на ключові вузли механізму, а також його конструктивна модернізація є важливими напрямами удосконалення електросталеплавильного виробництва.

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є дослідження роботи механізму нахилу електродугової печі та вдосконалення його конструкції.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз раніше проведених досліджень в питаннях вдосконалення конструкції механізму нахилу з метою підвищення надійності його роботи;
- визначити зусилля на штоку гідроцилиндра та перекидаючий момент для різних положень кута нахилу печі;
- отримати експериментальним шляхом підтвердження достовірності виконаних розрахунків;
- за отриманими результатами обрати схему керування гідроприводом механізму нахилу електродугової печі;

**Предмет дослідження** – конструктивні параметри механізма нахилу електродугової печі та навантаження, що діють на його основні вузли.

**Об'єкт дослідження** – привод механізму нахилу електродугової печі.

**Апробація результатів роботи**. Основні положення роботи доповідалися на: Міжнародній науково-практичній конференції Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю.М. Потебні Запорізького національного університету «Інженерні інновації та розбудова національної економіки». Запоріжжя: ЗНУ, 2024 р. Опубліковано тези доповіді.

**Структура та обсяг роботи.** Кваліфікаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг роботи включає 107 сторінок, у тому числі 86 сторінок основного тексту, 25 рисунків, 3 таблиці, 52 найменування використаних джерел на 5 сторінках, 16 додатків.

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

# 1 ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ УДОСКОНАЛЕННЯ ВУЗЛІВ ЕЛЕКТРОДУГОВИХ ПЕЧЕЙ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ОБРАНОГО НАПРЯМУ РОБОТИ

## 1.1 Вантажопотоки процесу виготовлення сталі в електродугових печах

Основним агрегатом в електрометалургійному виробництві сталі є дугова сталеплавильна піч. Продуктивність дугової печі й техніко-економічні показники її роботи в значній мірі визначаються основними параметрами й конструктивним виконанням окремих елементів.

Технологічний процес електродугових сталеплавильних печей засновано на процесі перетворення електроенергії в теплову завдяки перетіканню в інертногазовому або вакуумному середовищі енергетичного розряду у формі електричної дуги. Електричний розряд зосереджує високу концентрацію енергії й велику потужність на відносно невеликі обсяги металу, завдяки цьому виникають високі температури й швидке розплавлювання металу [1-3].

Вантажопотоки електросталеплавильного цеху з функціональними міжопераційними взаємозв’язками наведено на рисунку 1.1.

Вантажопотоки сталеплавильного цеху з електродуговими печами можна розділити на декілька основних частин:

- лінія доставлення та вивантаження в піч металевого лому;
- лінія завантаження сипких матеріалів для утворення шлаку та додавання феросплавів
- шлакоприбирання;
- сталерозливний проліт.

Металевий лом транспортується у шихтове відділення І виробничого цеху та розвантажується у бункери 1, які встановлені в приймальних приямках головної будівлі. Далі відбувається завантаження бадей 5 електромостовими кранами обладнанами магнітною підвіскою (рис.1.2). Після зважування на електронних вагах 7, баддю на самохідному візку 6 переміщають у грубний

проліт II. Далі в піч при викоченому її поді за допомогою завалочного крана 9 розвантажують металевий лом.

Сипкі матеріали, для утворення шлаків транспортуються в спеціальні приймальні бункери, що мають змогу переміщуватися по дільниці. Після сушки в барабанному сушилі матеріал надходить у переносні бункери 4. З бункера матеріал завантажують у мульдозавалочний кран 8 і подають в електродугову піч 11 (рис.1.3).

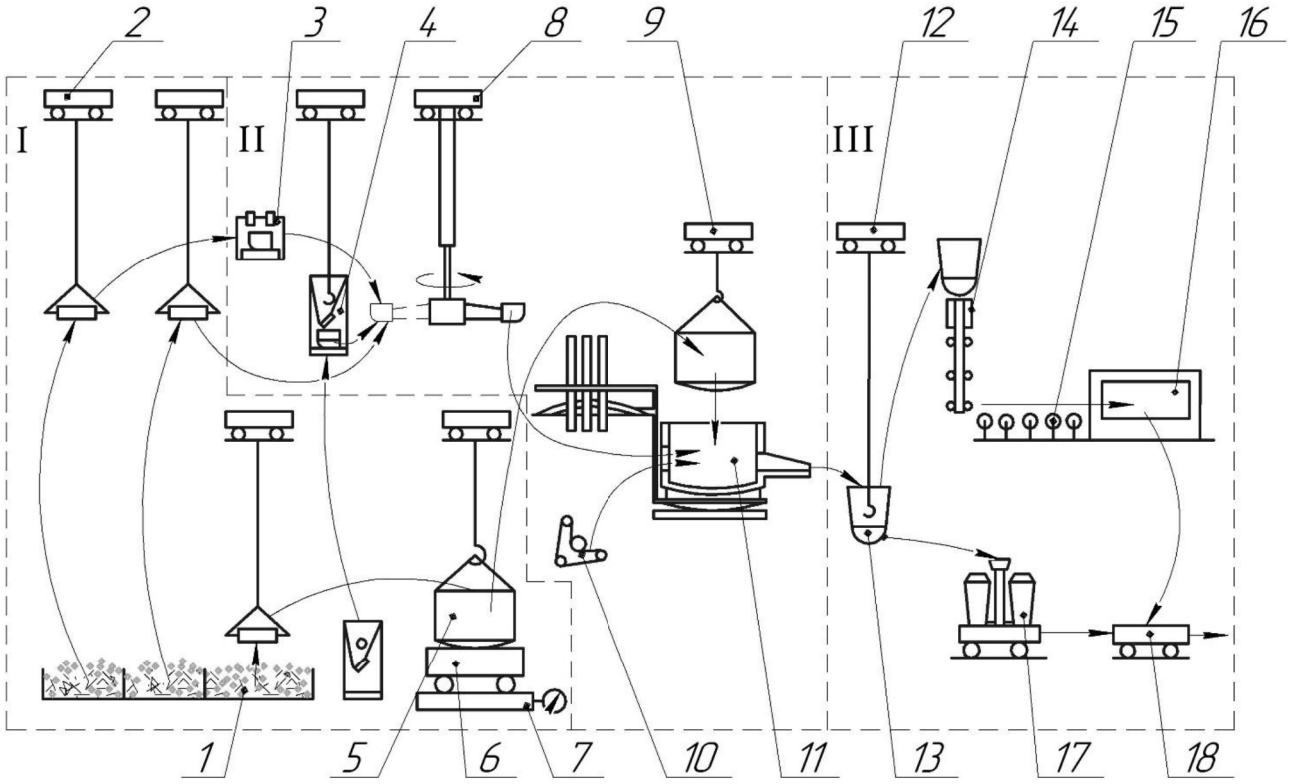



Рисунок 1.1 – Функціональна схема вантажопотоків електросталеплавильного цеху (позиції наведено в тексті)

Після проходження матеріалу платформенних вагів його мульдозавалочною машиною переміщують безпосередньо у піч. Феросплави з бункерів подають для дроблення в щокову дробарку, завантажують у мульди, зважують на вагах і задають у піч нагрівання 3, розташовану на балконі робочого майданчику. Усі операції обслуговує мульдозавалочний кран. Завантаження

нагрітих феросплавів в електропіч здійснюється стрічковою кидальною машиною 10.

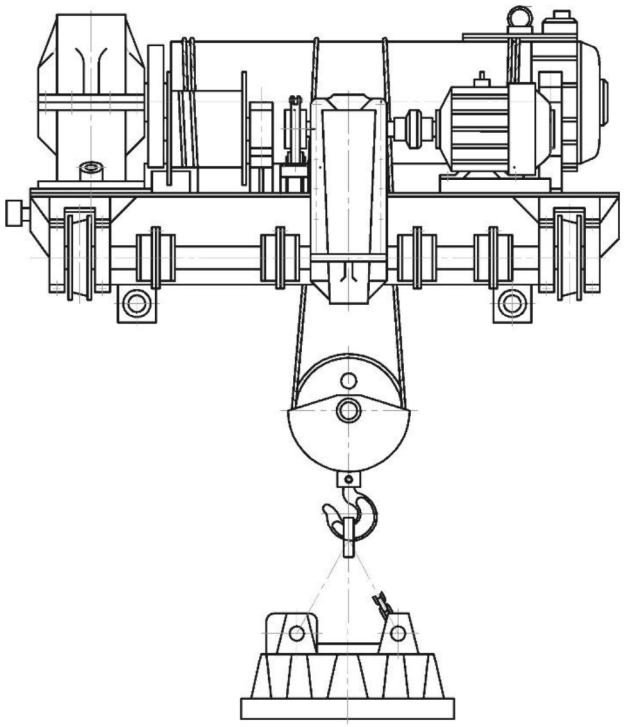


Рисунок 1.2 – Загальний вид візка електромостового крана з магнітом

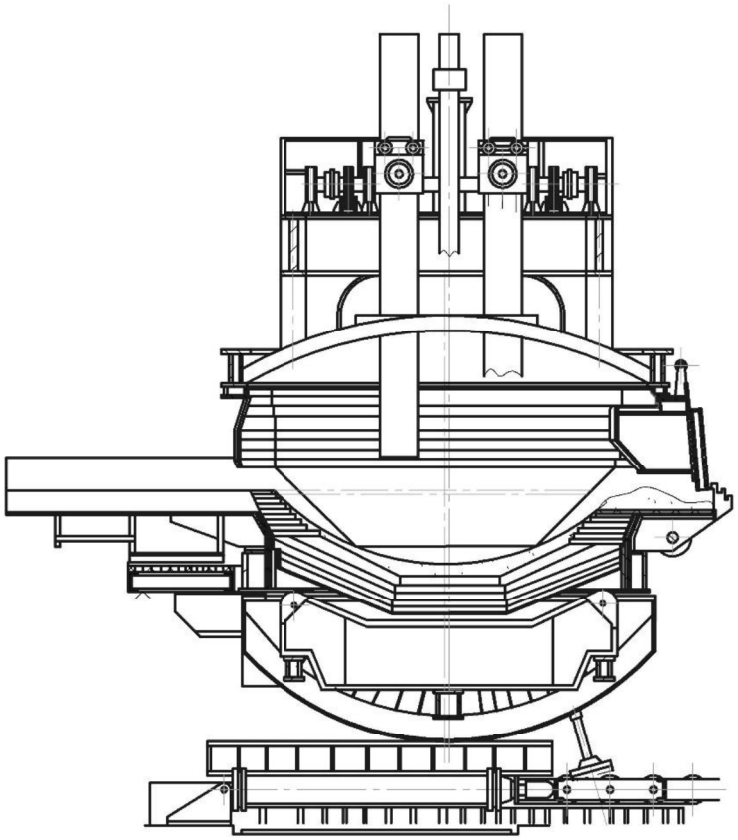


Рисунок 1.3 – Загальний вид електродугової печі

Кокс і бій електродів з бункера надходить на бігуни для здрібнювання а потім завантажується в мульди, що встановлюються мостовим краном на балкон робочого майданчика.

У разливочному прольоті отримана сталь може розливатися двома різними технологічноорганізованими способами.

Перший варіант. Сталь розливається у ківш 13 за допомогою разливочного мостового крана 12. Подають на установку напівбезперервного розливання сталі (УПНРС рисунок 1.4) 14 і за допомогою роликів 15 подають у піч відпалювання 16. З печі відпалювання отримані штанги передають у цех порошкової металургії за допомогою залізничних платформ 18.

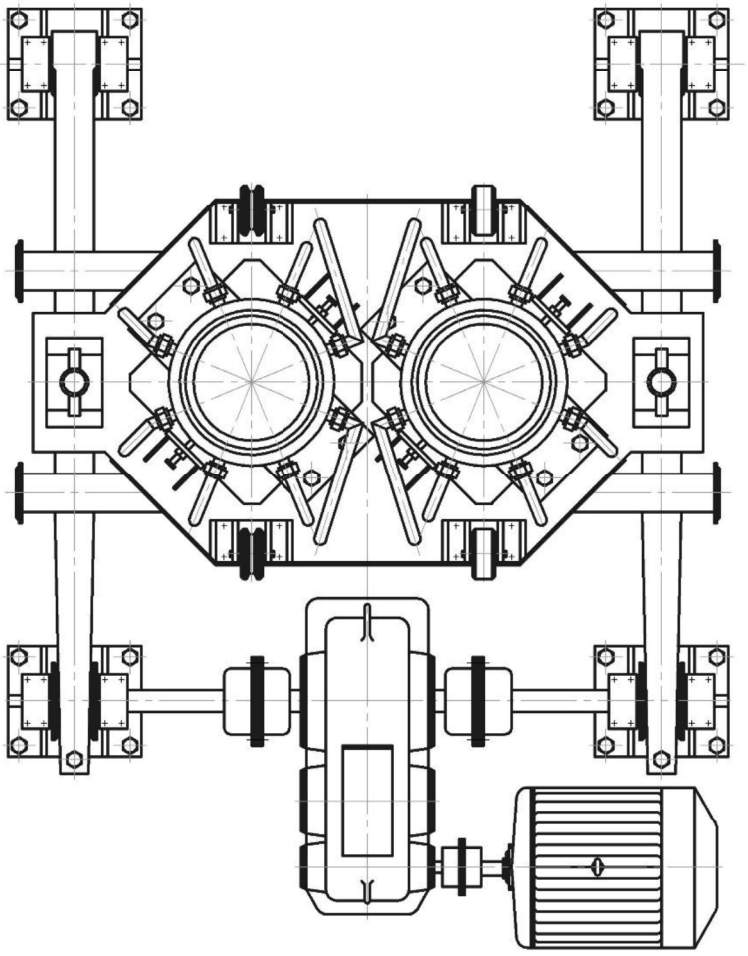


Рисунок 1.4 – Установка напівбезперервної розливки сталі (вид зверху)

Другий варіант. Сталь із печі також випускають у сталерозливний ківш і за допомогою разливочних кранів розливають у виливниці 17. Отримані зливки

сталевозними візками подаються у відділення роздягання зливків (стриперне відділення). Далі, після остигання зливки металу витягають із виливниць.

Після відділення зливків від виливниць зливки направляються в прокатний цех, а виливниці відділення чищення, де вони прохолоджуються, та після чищення – змазуються. Після підготовки виливниці відправляються для подальшого використання при розливці інших плавок сталей.

## 1.2 Короткий опис технологічного процесу виплавлення нелегованих, мало- та середньолегованих сталей

На сьогоднішній час ПрАТ «Дніпроспецсталь» є лідером України з електросталеплавильного виробництва та має у своєму складі чотири сталеплавильних цеха, ковальсько-пресовий цех, прокатний цех, ремонтно-механічний цех, цех ремонту металургійного встаткування та допоміжні цеха [4].

Сталеплавильні цехи заводу оснащені дуговими електропечами місткістю від 25 до 50 тонн. У цих печах виплавляється найширший асортименти високоякісних марок стали й сплавів на основі заліза [5].

Для одержання металу з більш високими характеристиками стали піддають електрошлаковому переплаву або вакуумно-дуговому переплаву. Розважування злитків становить від 3,2 до 6,3 тонн.

Методом електрошлакового переплаву проводяться підшипникові, конструкційні, корозійно-стійкі й ін. стали. Розважування злитків від 1,2 до 20 тонн.

Виплавка нержавіючих корозійно-стійких сталей з низьким змістом вуглецю здійснюється дуговою піччю – конвертером.

Прокатний цех оснащено малотонажними прокатними станами: 550, 325 і 280, а також волочильними станами; ковальськиим та термічним віділеннями.

На переділ (прокатку, кування, пресування) злитки передаються в гарячім або холодному стані.

Електросталеплавильний завод “Дніпроспецсталь” у цей час спеціалізується на випуску легованих і високоякісних марках стали. Він випускає такі марки стали, як: 09Х15Н10, ШХ15, ШХ10, 95Х18, 10Х18Н10Т [7] (аналог сталі 321Н за міжнародним стандартом ASTM [8]), 15Х25Т2, Х12МФ, Р6М5, 60С2А, 16ХГ, 40Х, 8ХФ, 4Х5МФС, 3Х3М3Ф та ін. Також він випускає сплави, такі як: ВК9, НК79, ЕІ927, ВК18 і т.д.

Продукція, що випускається, і система менеджменту якості сертифікована Суспільством Технічного Нагляду «ТЮФ» (Німеччина) та відповідає вимогам ISO 9001:2015 [6].

Постійно враховуючи вимоги світового ринку, завод вчасно коректує свої плани виробництва й номенклатуру продукції.

Сьогодні завод пропонує:

- прокат (8…350 мм) круглого, квадратного, прямокутного й смугового перетинів;
- трапецієподібний профіль для шляхових шайб 8,9(9,9 мм;
- осьова заготовка для осей вагонів магістральних доріг;
- арматурний періодичний профіль 14…26 мм;
- гальмова шина 25(65(129 мм;
- куточок 40(40(5 мм;
- шестигранник 17…30 мм;
- кування торцеві (190…500 мм) круглого, квадратного, смугового перетинів;
- сталь холоднокатана 10…40 мм;
- сталь зі спеціальною обробкою поверхні 2…14 мм;
- труби електрозварні 27…83 мм;
- калібрований холоднотягнений дріт 2…6 мм;

Приблизно 85% продукції, що випускається, іде на експорт у далеке й близьке зарубіжжя [9].

### 1.2.1 Плавлення шихти та окислювальний період плавлення

При необхідності кращого видалення алюмінію, титану, кремній та основної кількості фосфору проводиться часткове скачування шлаку. Під час плавлення завалки та підвалок дозволяється при підвищених присадках вуглецю вводити газоподібний кисень. Введення кисню здійснюється після розплавлення не менше 1/3 частини завалки і не раніше, ніж через 15 хв плавлення підвалки при його витраті не менше 1000 м $^3$ /год. Завалка і підвалка, крім останньої, проплавляються в повному обсязі. Відразу після розплавлення останньої підвалки подача газоподібного кисню припиняється.

Після розплавлення шихти відбирається проба металу для хімічного аналізу, після чого скачується шлак, потім в піч вводиться вапно (15+5) кг/т шихти. Дозволяється застосовувати шамот. При необхідності навуглецювання металу після завантаження шлаку в піч вводиться електродна крупка, графіт або кокс, потім вводяться шлакоутворювальні матеріали.

Окислювальний період дозволяється проводити після витрати електроенергії в період розплавлення шихти для електропечей ємністю 50-60 т СПЦ-2 з циліндричним каркасом стін, з водоохолоджуваними панелями і водоохолоджуваним склепінням у кількості -(450+20) кВт.год /т, (27000+1200) кВт.год /пл.

При виплавці високохромистих інструментальних сталей продування металу киснем починається за температури > 1580°С.

Окисний період розпочинається або після завантаження руди або після початку подачі кисню, за умови, що розплавилася шихта та оновився шлак. Вапно, руда також кисень мають водитися в такій пропорції, щоб ванна кипіла інтенсивно, але при цьому не відбувалося викидання шлаку разом з розплаленим металом. Якщо після присадки першої порції руди або введення кисню вана не вирує, необхідно припинити окислення металу і підігріти його до початку окислення. Подальше присадження руди і введення кисню повинні проводитися тільки при киплячому металі з урахуванням його температури. Потужність

трансформатора повинна забезпечувати рівномірне підвищення температури розплаву.

У період кипіння шлак має бути пінистим, рідкорухливим і самопливом сходити через робоче вікно. Якщо утворюється магнезіальний шлак його потрібно розрідити, скачати, і навести новий із вапна (15+5) кг/т шихти.

Після введення останньої порції руди ванна витримується (10+2) хв, після продування киснем – (3±1) хв, потім проводиться замір температури розплаву яка повинна бути на (15+5) °С вище температури сталі перед випуском плавки з печі. При потрібній температурі береться хімпроба на аналіз та відбувається скачування шлаку на (80 + 10)% до появи «дзеркала» металу за гребком при тонкому шарі шлаку.

Окисний період триває за технологічною інструкцією 50 хв.

Після продування киснем зниження температури розплаву при його перегріві дозволяється вводити трохи більше 50 кг/т розплаву відходів виробництва сталі близького хімічного складу як шматків масою трохи більше 100 кг і перетином трохи більше 200 мм. Дозволяється присадка прожареного передільного чавуну. Охолоджувальні добавки вводяться в піч за допомогою шаржирмашини.

### 1.2.2 Рафінування сталі в печі

Скачений окислювальний шлаковий розплав при потребі навуглецьовується електродною крупкою або порошком коксу. розкислення в піч шпатом з розрахунку (4+1) кг/т. кремнію. Дозволяється використання феросилікомарганцю ФМпС15У, ФМп78С4 замість феросиліцію і феромарганцю в кількості 5-10 кг/ т . , ніж 0,015%.

Проведення операцій з навуглецювання, розкислення та легування металу вважається початком рафінування . Після цього наводиться рафінірувальний шлак з шамоту (4+1) кг/т і вапна (15±5) кг/т.

Після розплавлення шлакоутворюючої суміші розплав перемішується та

відбирається проба на хімічний аналіз. Потім починається дифузійне розкиснення шлаку та металу порошками коксу, феросиліція ФС65, алюмінію або АПС у суміші з вапном. При необхідності в шлак додається шпат або флюс.

Перша розкислювальна суміш складається з порошків феросиліцію (ФС650,5 +0,5) кг/т сталі, порошку коксу (1,5+0,5) кг/т сталі та вапна (1,5±0,5) кг/т сталі. Дозволяється замість порошку коксу використовувати вуглецевий кремнієвий розкислювач, що постачається за ТУ 48-4801-55-96. Після введення першої розкислювальної суміші заслінка робочого вікна закривається, шлак не перемішується протягом (10±2) хв. Наступні суміші, що складаються з порошку феросиліцію ФС65(1,0:0.2) кг/т сталі і вапна (1,0±0,2) кг/т сталі, вводяться через (10+2) хв. Під час рафінування в піч вводяться (4+1) розкислювальні суміші. Дозволяється заміна порошку феросиліція ФС65 на крупку силікокальцію . Фракція крупи до 25 мм.

До складу розкислювальних сумішей дозволяється вводити порошок алюмінію марки ПА або ПАР (0,5+0,1) кг/т сталі або АПС 1-1,5 кг/т сталі.

Легування сталі проводиться у печі чи ковші. Доведення сталі по вуглецю дозволяється проводити в ковші порошком коксу не більше ніж на 0,03% вуглецю. При внепечной обробці коригування вмісту вуглецю в ковші проводиться порошком коксу, вуглецевмісним дротом, що вводиться трайбапаратом, а також вуглецем використовуваних феросплавів.

Перед випуском плавки відбирається пробка шлаку на хімічний аналіз. Шлак при охолодженні має розсипатися у світлий порошок (білий шлак).

Зміст оксидів має бути: FeO не більше 1,5%, CaO не менше 45,0%, МДО не більше 15,0%.

За 2-4 хвилини до випуску плавки на шлак вводиться суміш з порошку алюмінію (0,5±0,1) кг/т сталі або АПС 1,0-1,5 кг/т і шпату (1 0,0±0,2) кг/т сталі, які виконують роль розкислювачів.

У процесі проведення рафінувального періоду має бути забезпечене інтенсивне видалення сірки, що досягається повним дотриманням технології та контролюється за результатами хімічного аналізу проб металу, що відбираються.

Ступінь рафінування металу від сірки визначається вимогами приватних технологічних інструкцій щодо вмісту сірки у готовому металі.

Кінцеве розкислення , мікролегування та модифікування металу проводиться введенням відповідних матеріалів у піч та (або) в ківш. Тривалість рафінування в печі має бути (60+30) хв.

Після випуску плавки з печі рекомендується проводити продування металу в ковші аргоном. В обов'язковому порядку продуваються в ковші аргоном плавки, що призначаються для прокатки на сорт зі стану 1050 або для КПЦ, з контролем неметалевих включень, а також розкислені в ковші алюмінієм прутковим.

Для продування металу в ковші аргоном використовуються ковші, обладнані продувними вузлами з пористими або щілинними фурмами. Ківш подається до спеціального майданчика, до якого підведено аргонопровід і де є відповідні прилади для вимірювання тиску та витрати аргону. Підведення продувного вузла підключаються до аргонопроводу при тиску аргону в магістралі не менше 6 атм. відкривається вентиль і починається продування металу в ковші. Подача аргону здійснюється з досить інтенсивним перемішуванням металу без оголення від шлаку.

Тривалість продування 3-10 хв (залежно від температури металу). Витрата аргону не повинна перевищувати 200 л/хв. Перед продуванням і після закінчення проводиться замір температури металу.

Після закінчення продування ківш відключається від аргонопроводу і передається на розлив без додаткової витримки.

### 1.2.3 Порядок введення феросплавів при виплавці сталей

Ферромарганець і металевий марганець для легування вводиться в піч у період рафінування розкислений розплав. Дозволяється виконувати легування фракціонними марганцевими матеріалами МКФ, Мп95Ф і ФМп88Ф, а також силікомарганцем. Присадка фракціонованих матеріалів проводиться на початку

рафінування після присадки феросиліція з розрахунку на 0,10% марганцю нижче за нижню його межу в сталі, що виплавляється. Остаточне коригування за вмістом марганцю в металі проводиться шматковим феромарганцем або металевим марганцем по контрольній пробі на рафінуванні .

Ферохром при виплавці сталей з продуванням киснем вводиться в шихту (вуглецевий ферохром), нерозкислений розплав, у період рафінування. Коригування вмісту хрому в розплаві не більше 0,5% ( мас .) Допускається за (7+3) хвилин до випуску плавки, при збільшенні масової частки хрому більше 0,5% - (15±5) хвилин до випуску плавки.

Ферровольфрам у шматках не більше 100 мм, лігатура залізовольфрамова вводиться в шихту, перед початком окисного періоду, на початку рафінування Забороняється присадка феровольфраму мульдою. При виплавці інструментальних сталей дозволяється вводити в завалку (підвалку) окалину і відходи абразивної обробки відповідних вольфрамзмістовних сталей. Коригування вмісту вольфраму до 0,3% дозволяється проводити феровольфрамом у шматках не більше 40 мм на рафінуванні за 15-30 хвилин до випуску плавки в залежності від маси присадки. Після введення добавок феровольфраму розплав перемішується установкою ЕМП (8⊥2) хв або металевими гребками.

Ферромолібден у шматках не більше 100 мм на плавках з окисленням і переплавом відходів з киснем вводиться в шихту перед початком окислювального періоду, в період витримки, в період рафінування. Металізований молібденовий концентрат (ММК) у період рафінування розплаву в печі не застосовується Коригування вмісту молібдену в розплаві в період рафінування проводиться тільки феромолібденом або феровольфрам-молібденовою лігатурою (при сумісному коригуванні вольфраму та молібдену). Коригування вмісту молібдену до 0,3% дозволяється проводити феромолібденом у шматках не більше 40 мм на рафінуванні за 15-30 хв до випуску плавки залежно від маси присадки.

Після введення добавок феромолібдену розплав перемішується установкою ЕМП (8±2) хв або металевими гребками.

Нікель електролітичний (листовий) та вогневий (чушковий) застосовується у всі періоди плавки і вводиться, як правило, у розплав.

Нікель НКС, гранульований нікель і феронікель (гранульований, чушковий) сідають у завалку, підвалку або в кінці періоду плавлення шихти до початку окисного періоду плавки.

Нікель листовий, чушковий та НКС у складі завалки або підвалки вводиться в нижню частину цебра під шар шихти, феронікелю та вапна.

При виплавці хромонікелевих сталей переплавом відходів із застосуванням кисню листовий і нікель чушковий (30±20) кг/т сталі дозволяється вводити після продування розплаву киснем в якості охолоджуючої добавки.

Ферронікель гранульований або чушковий застосовується відповідно до приватних інструкцій у кількості не більше 300 кг/т сталі. При застосуванні феронікелю в завалку або підвалку в баддю вводиться кокс або графіт при співвідношенні мас відповідно 1: (0,3±0,1).

Окис або закис нікелю вводиться в розплав наприкінці плавлення шихти в кількості не більше 40 кг/т шихти разом з коксом або графітом при співвідношенні мас відповідно 1: (0,4±0,1).

Феррованадій у шматках не більше 60 мм вводять: на (0,10±0,05 )% ( мас .) ванадію за (10+2) хв до випуску плавки; на (0,20±0,05)% ( мас .) ванадію за (15±2) хв до випуску плавки; на (0,30+0,05)% ( мас .) ванадію за (20±2) хв до випуску плавки; При добавках більш високий вміст ванадію феррованадій вводять у розплав пізніше як 30 хв до випуску плавки (і тільки рафінуванні ).

Вміст кремнію в розплаві перед введенням феровanадія має бути не менше 0,17% (травень).

Після введення феррованадія шлак розкислюється сумішшю порошку алюмінію або АПС.

Феросиліцій для легування сталі кремнієм вводять у розплав за (15+5) хв до випуску плавки при добре розкисленому рідкорухливому (білому) шлаку і вміст кремнію в розплаві не менше 0,20% ( мас ).

Дозволяється проводити легування розплаву при виплавці конструкційних, підшипникових та інших сталей кремнієм феросиліція ФС65, що вводиться в ківш до випуску плавки.

Легування сталі титаном проводиться в печі, в ковші або частково в печі та в ковші із застосуванням феротитану ФТі30 , ФТі70 та відходів виробництва титану металевого (брикети титану губчастого, обріз прокату титану, відходи титанових сплавів та ін).

Первинний алюміній для легування сталі вводиться в піч за 10-15 хв до випуску плавки або ковш до випуску плавки. Для кінцевого розкислення використовується прутковий алюміній, що вводиться в ківш механізованим методом (трайбапаратом). Для розкислення сталі в печі застосовується алюміній у чушках масою не більше 8 кг, закріплених на сталевих штирях. Чушки алюмінію поринають у розплав і витримуються до повного розплавлення.

Ферроніобій у шматках не більше 20 мм, нікель-хром-ніобієва, нікель ніобієва або залізоніобієва лігатури вводяться в розплав на початку рафінування після скачування окисного шлаку. Після введення фероніобію і ніобійсо - тримають лігатур в піч наводиться шлак рафінувальний. Розплав перемішується установкою ЕМП (10 +2) хв або металевими гребками. Коригувальні добавки ніобію в період рафінування не більше 0,10% ( мас .) дозволяється виробляти фероніобієм і лігатурами за (15±5) хв до випуску плавки, а при великих добавках, до 0,20% за (30± 10) хв до випуску плавки.

Кобальт у кількості не більше 10% вводиться в розплав в кінці плавлення завалки або у складі підвалки на дно або в середину бадді під шар відходів сталі, вапна, невеликі добавки до 0,5% кобальту вводяться в розплав у період рафінування за (15+5) хв до випуску плавки.

Мідь марок МООк , МОк , М1к, М2, МОЗ, М1р, М1ф, М2ф, ін. у вигляді катодів, а також напівфабрикатів або злитків вводиться в розплав в кінці

плавлення завалки або у складі підвалки на дно або в середину бадді під шар відходів стали, вапна 0,5% міді вводять у розплав у період рафінування за (15±5) хв до випуску плавки.

Силікокальцій у вигляді крупки фракцією до 25 мм застосовується для розкислення шлаку в печі і сідає у суміші з вапном при співвідношенні мас 1:(2±1). Застосування силікокальцію при виплавці корозійностійких сталей визначається приватними інструкціями.

### 1.2.4 Мікролегування, кінцеве розкислення та модифікування

Мікролегування сталі сірою, з урахуванням залишкового її вмісту, проводиться з наступними особливостями:

1) Для забезпечення нормованого вмісту сірки в межах 0,015-0,040% на плавках з рафінуванням у печі технологічний процес виплавки ведеться за технологією, що діє. За 5-10 хв до випуску плавки після отримання аналізу вмісту сірки в контрольній пробі в піч сідає 10-12 кг/т річкового піску (кварциту).

Мікролегування сірою проводиться присадкою сірки технічної або сірчаного колчедану в паперових пакетах в ківш під струмінь металу після випуску 1/4 - 1/3 частини плавки або сірковмісного дроту в ківш після випуску плавки не більше ніж на 0,005% нижче верхньої межі вмісту сірки з обліком її вміст у металі.

Мікролегування сірої плавок з позапічною обробкою (на КПК, вакууматорі, агрегаті ГКР) проводиться після кінцевого розкислення металу присадкой порошкового дроту не більше ніж на 0,005 % нижче верхньої межі вмісту сірки з урахуванням її вмісту в металі.

Після введення сірки у вигляді порошкового дроту проводиться м'яка продувка аргоном металу протягом не більше 3 хв. Для сталей, що контролюються за забрудненістю неметалевими включеннями, рекомендується вміст сірки ближче до нижньої межі.

2) При виплавці з рафінуванням в печі регламентований вміст сірки вище 0,050% забезпечується присадкою матеріалів, що містять сірки, на голе дзеркало ванни після скачування окислювального шлаку перед попереднім розкисленням на верхню межу його вмісту в марці з урахуванням залишкового.

Після попереднього розкислення наводиться рафінувальний шлак із вапна 10-12 кг/т, шпату 0,5-1,0 кг/т і шамота 4-5 кг/т.

Розкислення шлаку проводиться 3-4 порціями порошків коксу 0,8-1,0 кг/т (1-а суміш) та феросиліція ФС65 0,8-1,2 кг/т.

Після відбору контрольної проби за 5-10 хв до випуску плавки сідає річковий пісок (кварцит) у кількості 10-12 кг/т.

Коригування вмісту сірки проводиться за контрольною пробою присадкою в ківш під струмінь металу після випуску %-1/3 частини плавки сірковмісного матеріалу або порошкового дроту після випуску плавки на 0,010% нижче верхньої межі з урахуванням залишкової.

3) При виплавці металу з позапечною обробкою регламентований вміст сірки більше 0,050% забезпечується після проведення рафінування та кінцевого розкислення на КПК або вакууматорі введенням сірки порошковим дротом на 0,010% нижче верхньої межі з урахуванням залишкового, після чого проводиться м'яка продування аргоном.

Кінцеве розкислення стали алюмінієм із забезпеченням його вмісту у металі 0,010-0,050% виробляється з урахуванням наступних особливостей:

Для кожної марки сталі чи окремих груп марок сталі встановлюються свої оптимальні межі вмісту алюмінію. Забезпечення цих меж проводиться введенням у ківш алюмінію у вигляді прутка за допомогою трайбаппарату. Кількість алюмінію, що вводиться, визначається ступенем його засвоєння металом , а також вмістом розчиненого кисню, умовно визначеним вмістом вуглецю.

Розкислення сталі алюмінієм у процесі позапічної обробки на КПК проводиться з урахуванням залишкового вмісту алюмінію в металі у контрольних пробах. Кількість використовуваного для кінцевого розкислення

алюмінію визначається рекомендованою або заданою його нижньою межею в марці сталі.

Якщо залишковий вміст алюмінію в металі вище верхньої межі його в марці, позапічна обробка повинна бути продовжена з метою зниження вмісту алюмінію до необхідного значення.

Модифікування (кінцеве розкислення ) сталі кальцієм здійснюється шляхом введення в ківш силікокальцію , як правило, у вигляді порошкового дроту.

Силікокальцій повинен вводиться в метал, попередньо розкислений алюмінієм. Вміст кальцію, що рекомендується, в металі 0,0010-0,0020%.

Оптимальна швидкість подачі SiCa-дроту в ківш становить 3-5 м/с.

Для мікролегування (модифікування) сталі титаном при рафінуванні плавки в печі, як правило, у ківш перед випуском плавки вводиться на розрахунковий вміст ферротитану титану ФТі30 або ФТі70, а також відходи титанових сплавів. Маса окремих шматків має перевищувати 5 кг. При позапічній обробці плавки для мікролегування сталі титаном вводиться феротитан Фті30 , що присаджується аргоном, що барботується, на область шлаку в ковші.

Модифікація сталі церієм проводиться за допомогою фероцерію. При випуску рафінованого в печі металу фероцерій сідає у ківш на струмінь металу після наповнення 1/3 частини ковша.

Ферробор вводиться в піч за 1-2 хв до випуску плавки після присадки останньої суміші розкислювальної або під струмінь металу під час випуску плавки після випуску не менше 1/3 частини плавки.

Плавка зливається з ковша компактним струменем у виливниці.

Зливки передаються в передільні цехи гарячим всадом.

Аналіз вищесказаного вказує на те, що особливе значення при розливці сталі має не тільки технічний стан усієї печі, а й окремо механізму її нахилу, що впливає на швидкісно-якісні характеристики розливки сталі

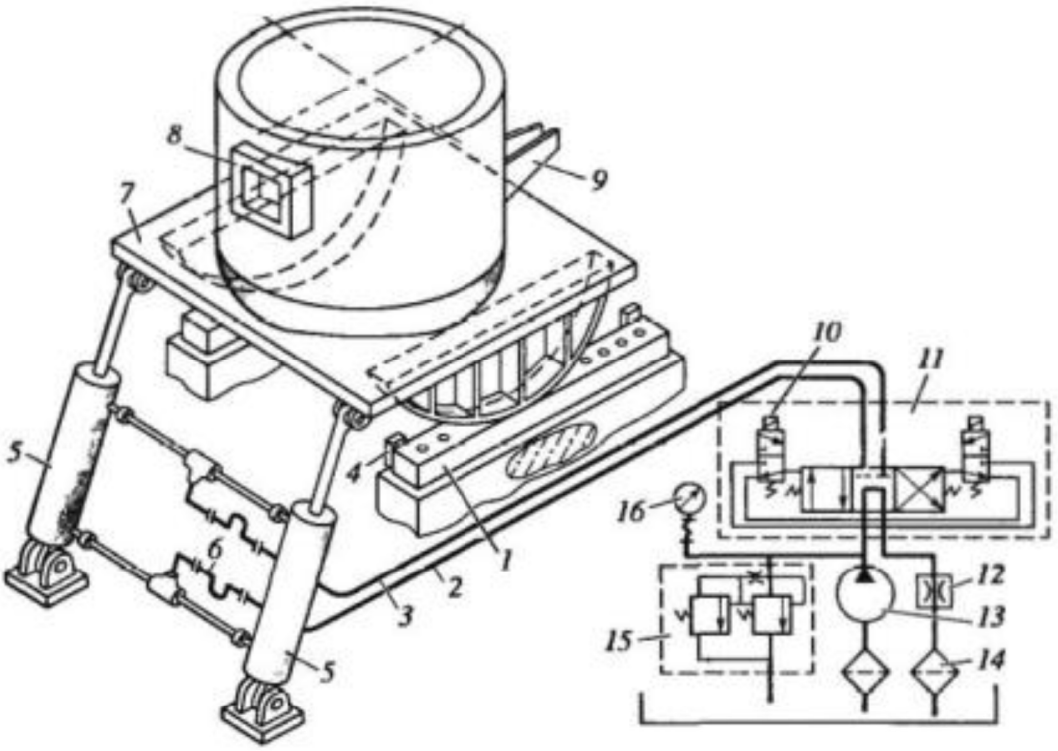
## 1.3 Аналіз пропозицій підвищення надійності та роботоздатності приводу нахилу печі з обґрунтуванням обраного напряму досліджень

З точки зору організації механічної частини нахилу електродугової печі найбільш надійним є секторний механізм нахилу, конструкція якого перевірена часом та використовується на більшості печей. Найбільш перспективним в своєму подальшому розвитку має розглядатися роликовий механізм, але на сьогоднішній момент йому притаманний суттєвий недолік – зливальний носок при такому конструктивному виконанні значно відхиленний в задню частину частину, що перешкоджає вільному зливанню металу у ківш великотонажними печами. Найпростіше конструктивне виконання має механізм, що базується на цапфах, але таке виконання потребує компенсувати значні зусилля нахилу, що призводить до значного здорожчання приводної частини механізму нахилу. Незважаючи на такий суттєвий недолік дана конструкція є безальтернативною у випадку виробничої необхідності створення мінімальних переміщень струменя розливаємого металу, тому в деяких конструкціях печей для виплавки спеціальних сталей він ще використовується.

Роботою [10] вказується на те, що незалежно від організації нахилу печі (зубчастий сектор, цапфи, ролики) в механізмах нахилу печі розрізніють два типи приводу –гідравлічний та електромеханічний.

Гідравлічний привод (рис. 1.5) забезпечує нахил колиски з піччю шарнірнозакріпленими на фундаменті гідроциліндрами двосторонньої дії за рахунок подачі робочої рідини від маслостанції до гідроциліндрів.

При цьому робоча рідина до циліндрів двосторонньої дії подається від маслостанції, розміщеної в окремому приміщенні. До складу маслостанції входить насос, запобіжний клапан, манометр, розподільний золотник, дросель та фільтри. Напрямок нахилу колиски з піччю убік зливального носка або робочого вікна, тобто подача робочої рідини в різні гілки маслопроводу, визначається положенням золотника шляхом включення відповідного електромагніту.




1 – фундаментні балки, 2,3 – трубопровод, 4 – кінцевий вимикач, 5 – гідроциліндри, 6 – рукави високого тиску, 7 – колиска, 8 – робоче вікно, 9 – зливальний носок, 10 – електромагніт, 11 – золотник, 12 – дросель, 13 – насос, 14 – фільтри, 15 – запобіжний клапан, 16 - манометр

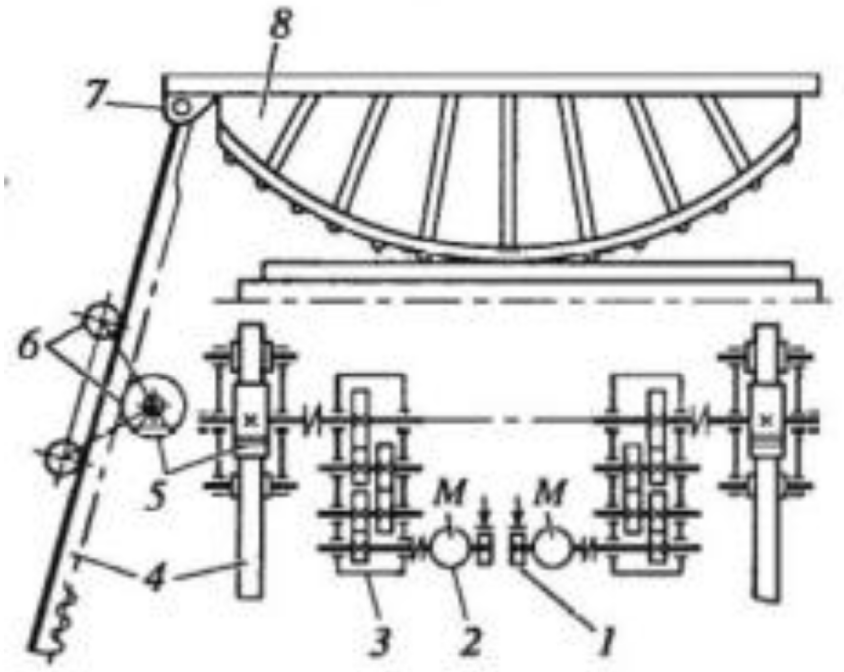
Рисунок 1.5 – Функціональна схема гідравлічного приводу механізму нахилу електродугової печі

Швидкість нахилу регулюється дроселем, який встановлюють у зливальну магістраль. Кут нахилу печі при перекочуванні колиски по фундаментних балках обмежується кінцевими вимикачами. Задля врахування зміни положення гідроциліндрів при нахилі печі, у трубопроводи вбудовують гнучкі ділянки з рукавів високого тиску.

В елетромеханічному приводі (рис. 1.6) рейки мають окремий привод, який встановлюють на фундаменті під піччю з боку робочого вікна.

У кожному приводі обертання від електродвигуна через зубчату муфту крутний момент передається редуктору, який в свою чергу, з'єднано зубчатою муфтою з валом рейкової шестерні, що входить у зачеплення з рейкою. Остання з'єднана шарніром із сектором колиски. За такого виконання механізму нахилу, при зливанні металу рейки виконують гібридний рух, так приводні шестерні

створюють прямолінійний рух, а від переміщення колиски створюється колихальний рух, від переміщення щодо осей цих шестерень. Необхідне притиснення рейки до шестірні, здійснюється за допомогою хитної притискної обойми. Вал рейкової шестірні опирається на два підшипникові вузли. Привод обладнано гальмом, із включенням якого автоматично відключається електродвигун [10].




1 – гальмо, 2 – електродвигун, 3 – редуктор, 4 – рейка, 5 – рейкова шестерня, 6 – притискна обойма, 7 – шарнір, 8 – сектор колиски

Рисунок 1.6 – Облаштування електромеханічного приводу механізму нахилу електродугової печі

Незалежно від того, який використовується привод – гідравлічний чи електромеханічний, він має бути надійним в роботі та довговічним, забезпечуючи якомого більші міжремонтні періоди. Як було вже сказано в попередньому розділі він має також забезпечувати необхідну швидкість розливання сталі, а отже плавний, без поштовхів хід печі при її нахилі, забезпечуючи при цьому необхідний кут нахилу. Так як електродугові печі є

об’єктами підвищенної небезпеки за умови обслуговування її робочим персоналом при виливці розплавленого металу, механізм нахилу також має запобігати можливості перекидання колиски задля уникнення аварійних ситуацій та створення форс-мажорних обставин.

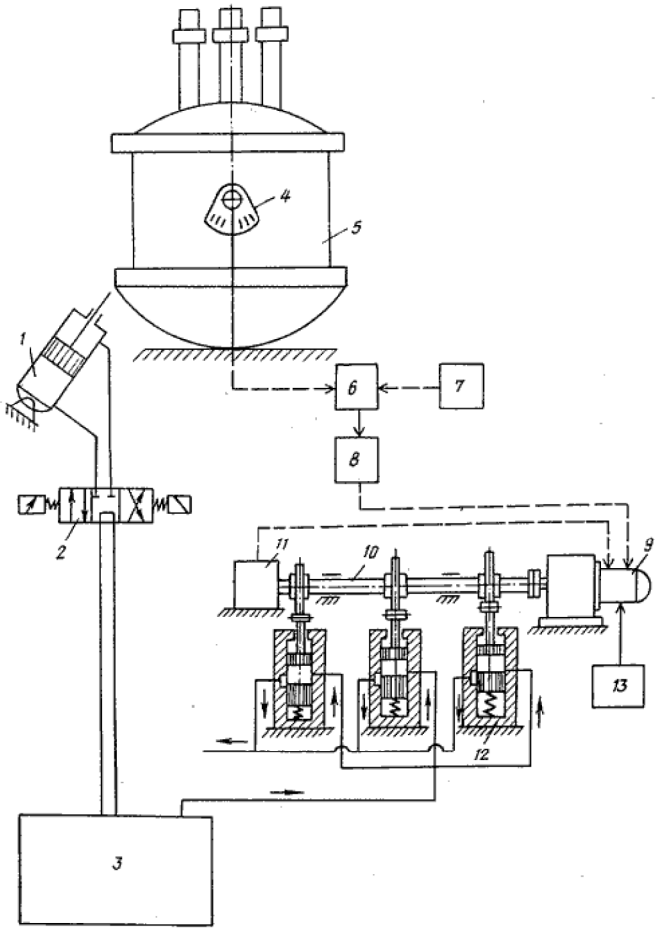
Бурхливий розвиток електродугового способу виготовлення сталі беззупинно продовжується з п’ятидесятих років минулого сторіччя і до сьогодення, що підтверджується чисельними науковими працями опублікованими зарубіжними авторами з метою аналізу та удосконалення не тільки безпосередньо самого технологічного процесу електродугової виплавки сталі, а й обладнання, що приймає в ньому участь [11-19].

З іншого боку вітчизняні науковці не менш пристально відносяться до цього перспективного методу отримання сталі, який в таких аспектах, як екологічність та економічність, значно перевершує мартенівський та киснево-конверторний способи. Так, наприклад, основним науковим напрямом діяльності кафедри металургійного обладнання від початку її створення було саме удосконалення обладнання електродугових печей.

Засновником напряму удосконалення обладнання електродугових печей був завдувач кафедри Сапко Олександр Іванович, який ще в 1966 році розглядав як найбільш надійну систему нахилу печі, що має в своєму складі з рейковий виконавчий орган та електромеханічний привода. Система досить проста та надійна у повсякденному використанні. Проте застосування електромеханічного приводу не дозволяє здійснювати форсування швидкості механізму нахилу печі на початковій стадії, що ускладнює контролювання запобіганню попадання шлаку в ковш.

Тому Сапко О.І. в тому ж 1966 році пропонує використання гідравлічних механізмів нахилу, які містять гідроциліндри та маслонапірну станцію, однак дана конструкція не знайшла практичної реалізації внаслідок того, що механізмом не забезпечується необхідна швидкість нахилу печі. Збільшення швидкості робочого органа приводить до значних інерційних навантажень, які можуть спричинити ушкодження електродів, вузлів та деталей печі.

Ретельний аналіз раніше запропонованої конструкції гідравлічного приводу дозволив вже колективу авторів, до якого входив не тільки Сапко О.І., а і його заступник, майбутній завідувач кафедри Жук Анатолій Якович авторським свідоцтвом № 619767 від 1976 року усунути конструктивні недоліки. Зниження інерційних навантажень досягається встановленням датчика кута повороту на рухомій частині печі, робота якого відбувається наступним чином (рис.1.7): після встановлення кута форсованого положення печі задатчиком положень вмикається одночасно розподільний золотник та електродвигун регулятора витрат, який обертає вал з кулачками, вмикаючи золотниковий блок.

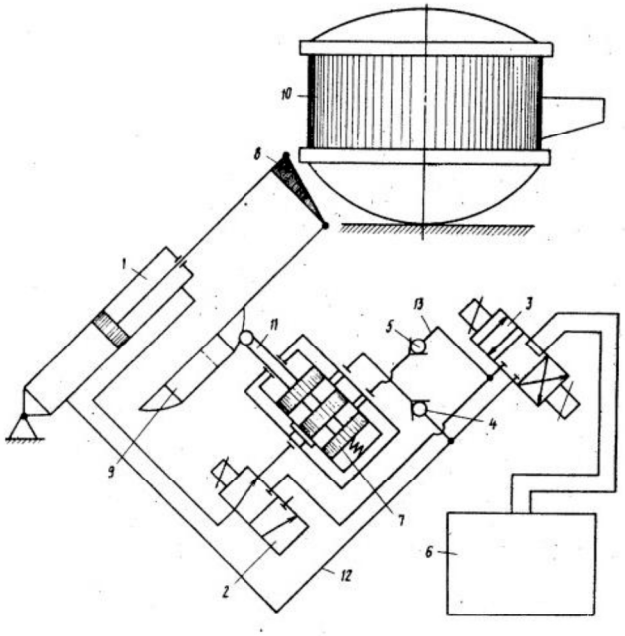



1 – поршневі гідроциліндри, 2 – золотник, 3 – маслостанція, 4 – датчик кутів повороту, 5 – рухома частина печі, 6 – нуль-орган, 7 – задатчик положень, 8 – підсилювач, 9 – електродвигун регулятора витрат, 10 – вал, 11 – обмежувачів поворотів, 12 – блок золотників, 13 – ручне керування двигуном

Рисунок 1.7 – Механізм нахилу печі з датчиком кута повороту (а.с. №619767)

При максимальному відкритті розподільного золотника обмежувачі подають сигнал на вимикання електродвигуна. При повороті печі на заданий кут, коли сигнал з датчика кутів повороту дорівнюватиме сигналу задатчика положень, з нуль-органа поступає сигнал через підсилювач на електродвигун, який обертаючись в зворотньому напрямі почергово закриває золотники. В крайньому положенні електродвигун вимикається обмежувачем поворотів. Далі керування нахилом печі відбувається вручну за допомогою регулятора витрат. Головним недоліком даного механізму є суттєве ускладнення конструкції, а також складність обслуговування.

На момент впровадження запропонованого рішення найбільш уразливим місцем був саме датчик кута повороту. Тому Сапко О. І. та Жук А.Я. разом з кколективом авторів авторським свідоцтвом №750245 від 1980 року пропонують замість датчика кута нахилу використати на штоці гідроциліндру кронштейн з копірною планкою, яка пов’язана за допомогою штовхача з блоком слідкуючих і керуючих золотників (рис.1.8).



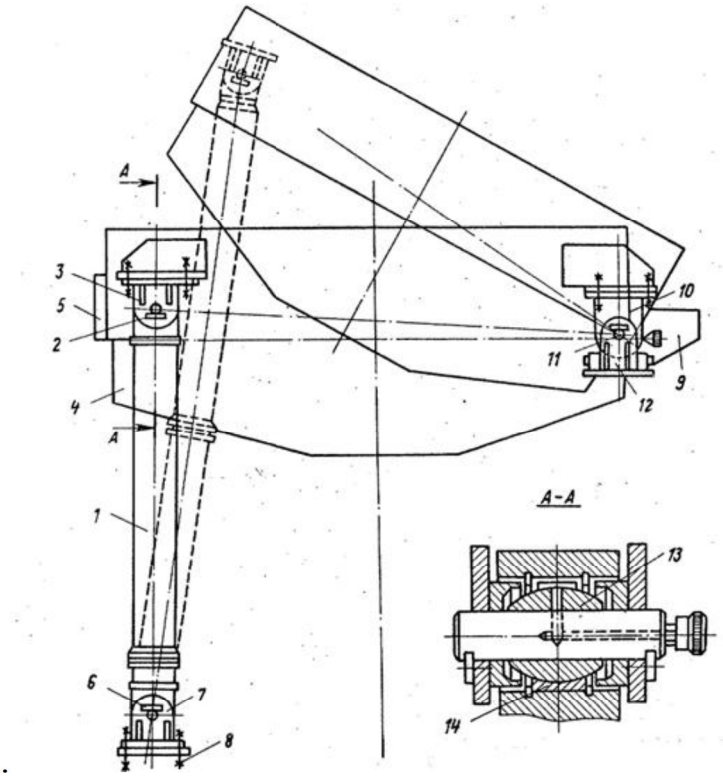

1 - гідроциліндр, 2-двопозиційний золотник, 3-трьохпозиційний золотник, 4, 5 – зворотні клапани, 6 –маслостанція, 7 – слідкуючий золотник, 8 – кронштейн, 9 – планка, 10 – піч, 11 – штовхач, 12 – слідкуючий золотник, 12 , 13 – трубопроводи

Рисунок 1.8 – Механізм нахилу печі з копірною планкою

Недолік даної конструкції полягає в тому, що планка виконана збірною, що позначається на її міцностних характеристиках, та неможливість безшлакового зливання сталі в ковш при виплавці шарикопідшипникових сталей.

Також відомий привод механізма нахилу печі, що містить плунжер, який рухомо поєднаний через вісь з цапфою, що закріплена на корпусі печі, та опори, закріпленої рухомо на корпусі печі з боки зливного носка. Недоліками данної конструкції є наявність лише однієї ступені волі у всіх зчленуваннях «вісь-цапфа», що накладає жорсткі вимоги на точність виготовлення та монтажу даних деталей.

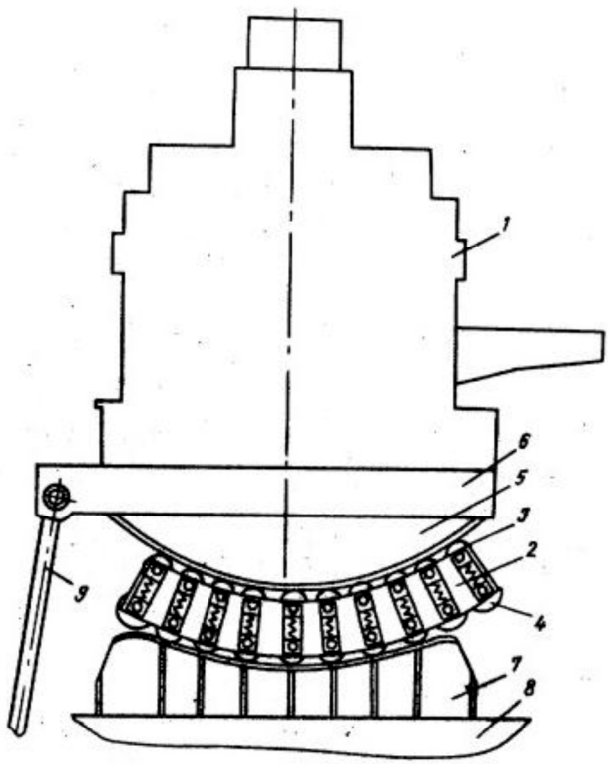
Колектив авторів під керівництвом З.Н. Ройтенбурга авторським свідоцтвом №737470 від 1978 року пропонують всі рухомі зчеплення в механізмі нахилу монтувати на сферичних підшипниках (рис.1.9). Сферичні опори дозволять компенсувати неспівосність між симетрично розташованими приводами, яка виникає при виготовленні та монтажі електропечі.




1 – плунжер, 2 – вісь, 3 – цапфа, 4 – піч, 5 – робоче вікно, 6 – вісь, 7 – цапфа, 8 – фундамент, 9 – зливний носок, 10 – цапфа, 11 – вісь, 12 – рухома опора, 13 – внутрішня опора, 14 – зовнішня обойма

Рисунок 1.9 – Механізм нахилу печі зі сферичними підшипниками

Розвиток технічного рішення запропонованого З.Н. Ройтенбургом відобразився в авторському свідоцтві №85333 опублкованого в 1981 році від колектива авторів під керівництвом Сапко О.І. Колектив, для підвищення надійності механізму нахилу печі, пропонує роликову обойму, яка розташована між круговим сектором люльки та дугоподібною балкою фундамента , виконати з верхніми та нижніми опорними роликами, а кожний опорний ролик змонтувати на осі, яка зафіксована стопорними планками (рис. 1.10). Недоліком запропонованої конструкції є прискорене пластичне зношування поверхонь кочення внаслідок похибок виготовлення та монтажу.




1 – піч, 2 – роликова обойма. 3 – верхні ролики, 4 – нижні ролики, 5 – круговий сектор, 6 – люлька, 7 – дугоподібна балка, 8 – фундамент, 9 – приводна рейка

Рисунок 1.10 – Механізм нахилу печі з роликовою обоймою

Питанню оптимального переміщення зливного носка присвячена робота робота Ворохобова А.А. (авторське свідотцтво 500446 від 1976 року), в якій, по ствердженню автора досягається наявністю упорів, які входять до пазів

фундаментних балок, проте дані про практичну реалізацію запропонованого рішення в літературі відсутні.

Таким чином модернізація механізму нахилу печі значно вплине надійність роботи агрегату та якісно підвищить технічний рівень печі в цілому.

Аналіз короткого технологічного процесу, наведеного в попередньому розділі, вказує на те, що для запобігання межкристалітної корозії нержавіючих сталей в них, при виплавці, уводять елементи стабілізатори, одним із яких є титан. Цей спосіб виплавки нержавіючих сталей застосовується і на заводі «Дніпроспецсталь».

Практично вміст титана в сталі повинен бути в п'ять разів вище вмісту вуглецю. Однак, у сталь при легуванні, титана подається в 2,5 і більше разів більше розрахункової кількості, з метою компенсації втрат.

При подачі ферротитана в піч за 10-15 хвилин до випуску сталі, основну частку втрат становить титан, який перейшов у шлаки (до 83 % загальних втрат) за рахунок окислювання його киснем з повітря й окислами різних металів (кремній, залізо, марганець, хром), а також за рахунок утворення нітридів. Основне окислювання титана (до 50% від кількості титана, який перейшов в шлаки) відбувається до випуску плавки з печі, у результаті массопередачі кисню через шлаки.

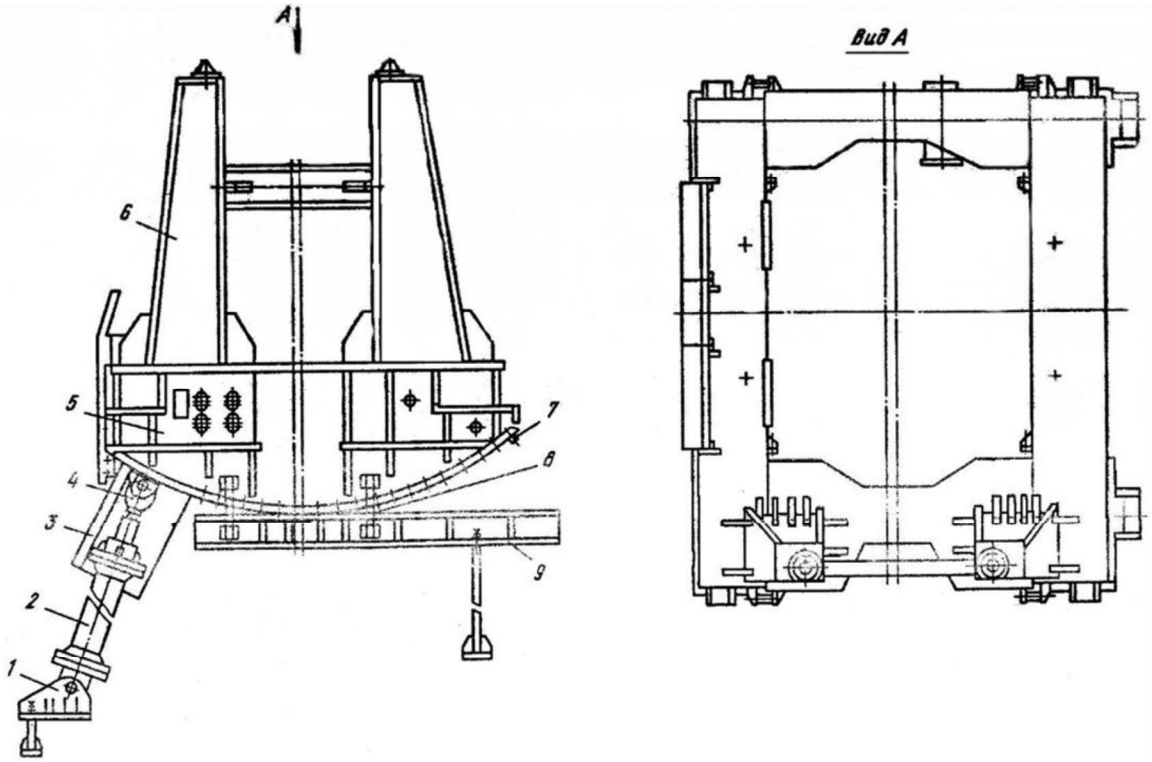
З огляду на вищесказане, перспективним способом легування сталі є, так називане, зовнішнє легування, що полягає в тому, що титан подається в сталерозливний ківш перед випуском у нього сталі з печі. Особливо доцільним цей спосіб є при легуванні сталі металевим титаном, який при легуванні в печі доводиться просажувати у метал на шомполах.

Важливою умовою здійснення способу зовнішнього легування є забезпечення безшлакового зливу металу з печі. У противному випадку титан буде інтенсивно окислятися шлаками, що ллється в нього. Одним з можливих способів безшлакового зливу є застосування двошвидкісного механізму нахилу, що забезпечує прискорений нахил на першій стадії зливу метала з печі. При використанні такого механізму, уже в самий початковий момент зливу

випускний отвір у печі повністю перекриється сталлю й шлак, як більш легкий і який знаходиться зверху, не буде попадати в ківш. Після того як титан у ковші буде покритий шаром сталі, піч можна буде нахиляти з нормальною швидкістю.

Призначення механізму нахилу печі (рис.1.11) полягає в забезпеченні зливу з печі по закінченні плавки всього її вмісту й забезпеченні нахилу печі при скачуванні шлаків. Перше вимагає нахилу печі убік зливального носка на кут 42°, друге – нахилу убік робочого вікна на 12°. Швидкість нахилу печі становить до 1,5 град/с у малих і до 0,4-0,8 град/с у великих печей.

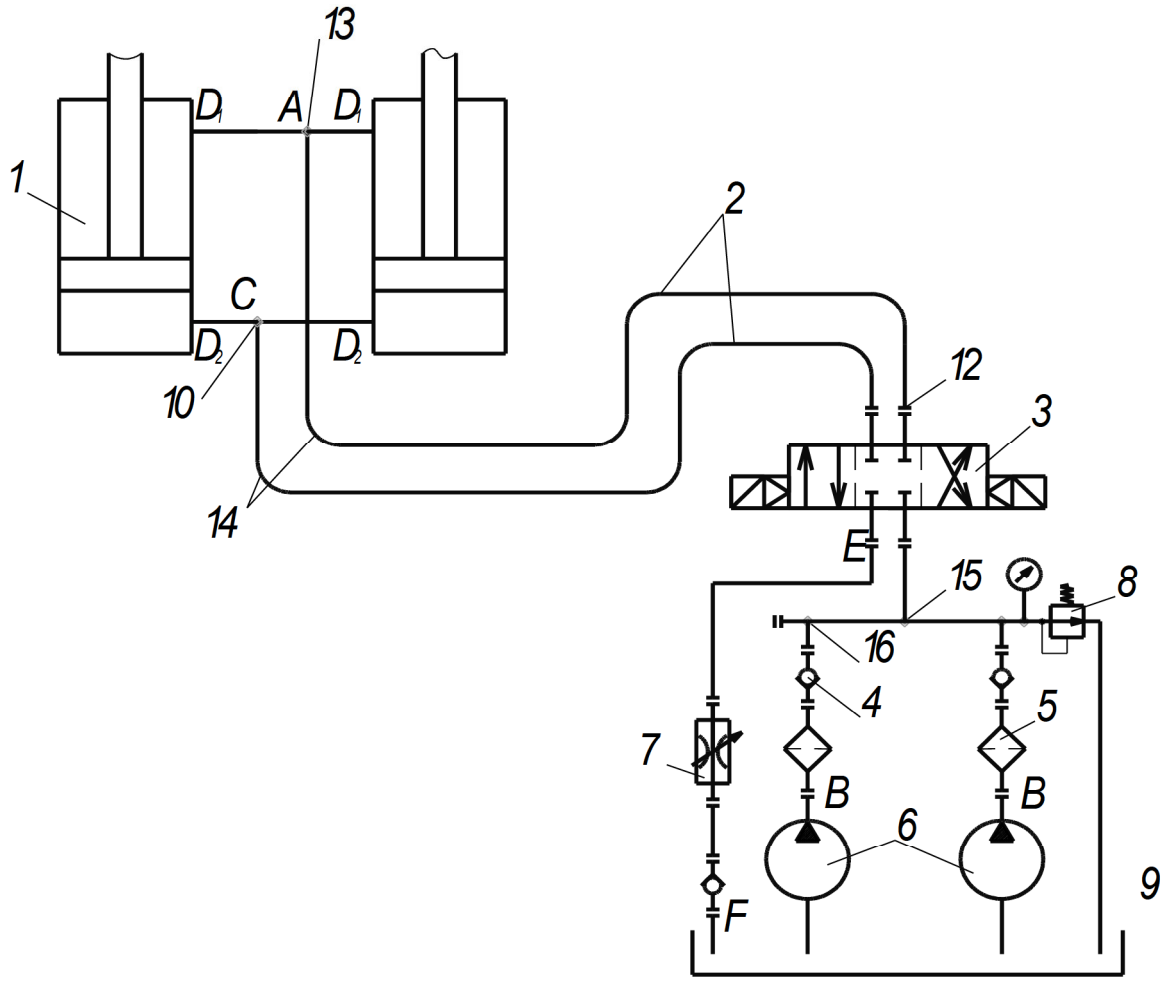
При нахилах в обидва боки на потрібний кут піч повинна зберігати стійкість. Нахили повинні здійснюватися з певною швидкістю; бажано, щоб при цьому кінець носка льотки мав можливо менше горизонтальне переміщення. При зливі металу ківш висить на гаку крана безпосередньо під носком льотки для того, щоб струмінь металу був по можливості коротше, а отже, його окислювання й розбризкування – менше.




1 – шарнірні опори; 2 – циліндри; 3 – екран; 4 – з'єднання; 5 – люлька; 6 – тумба; 7 – шипи; 8 – стяжки; 9 – фундаментні балки

Рисунок 1.11 – Механізм нахилу електропечі

Тому проаналізувавши все вищескзане, пропонується встановити двошвидкісний насос, гідравлічну схему якого наведено на рисунку 1.12, із регульованою швидкістю для прискореного зливу металу в початковий період плавки.




1 – гідроциліндр; 2 – трубопровод; 3 – розподільник; 4 – зворотній клапан; 5 – фільтр; 6 – насос; 7 – дросель; 8 – запобіжний клапан; 9 – бак; 10 – колектор; 11-16 – місцеві опори

Рисунок 1.12 – Гідравлічна схема двошвидкістного механізму нахилу печі

Загальний опис роботи такої схеми наведено в роботі [20], але при цьому не врахована специфіка розподілу навантажень під час нахилу електродугової печі з розплавленим металом. Тому постає питання розгляду та визначення теоретичним шляхом зусиль, що виникають у вузлах механізму нахилу печі та їхнє експериментальне дослідження під час виконання експериментальної частини на лабораторній установці кафедри металургійного обладнання.

# 2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

## 2.1 Розрахунок потужності електродвигуна гідравлічного приводу нахилу печі

Для виконання теоретичних досліджень розподілення навантажень в механізмі нахилу печі розглянемо технологічний процес електродугової печі середнього типорозміру ДСВ-40, яка набула досить широкого розповсюдження в світовій практиці виготовлення сталі електродуговим способом.

Розрахувавши потужність електродвигуна гідроприводу насоса можна вибрати тип електродвигуна. При цьому необхідно розрахувати параметри гідроциліндра й вибрати насос [21].

Робоче навантаження [22]:

$$F_T = g \cdot m = 12000 \cdot 9{,}81 = 117720 \text{Н} \qquad (2.1)$$

де g – прискорення вільного падіння;

m – маса частин, що рухаються;

Сила інерції частин, що рухаються, приведена до штока:

$$F_{ін} = F_T \cdot a\,, \qquad (2.2)$$

a – прискорення;

$$a = \frac{V_p - V_0}{t_p},$$

де $V_0$ – швидкість руху штока в початковий період. $V_0 = 0$

$$F_{ін} = F_т \cdot \frac{V_{р.х.} - V_0}{t_р} = \frac{117720 \cdot 0{,}12}{9{,}81 \cdot 0{,}5} = 2880 \text{ Н.}$$

Сила тертя в конструктивних елементах:

$$F_{тр} = f \cdot \pi \cdot D \cdot в \cdot P_к \cdot z, \quad (2.3)$$

де $f$ – коефіцієнт тертя, $f = 0{,}1 \ldots 0{,}2$ ;

$D$ – діаметр циліндра або штока;

в – ширина контактного паска ущільнення;

$P_к$ – контактний тиск:

$$P_к = (1{,}1 \ldots 1{,}5) \cdot P_р$$

$P_р$ – робочий тиск у гідросистемі;

$z$ – число ущільнювальних кілець.

Т.я. невідомі діаметр циліндра й штока, то орієнтовно величину сили тертя приймаємо [23]:

$$F_{тр} = (0{,}05 \ldots 0{,}1) \cdot F_т = 0{,}1 \cdot 117720 = 11772 \text{ Н.} \quad (2.4)$$

Тягове зусилля на штоку (фактичне):

$$F_{факт} = F_т + F_{ін} + F_{тр} = 117720 + 2880 + 11772 = 132372 \text{ Н.} \quad (2.5)$$

Розрахункове зусилля:

$$F = \frac{F_{факт}}{\eta_{мех}}, \quad (2.5)$$

де $\eta_{мех}$ – механічний ККД, $\eta_{мех} = 0{,}9 \ldots 0{,}98$ .

Приймаємо $\eta_{мех} = 0{,}9$, тоді

$$F = \frac{132372}{0{,}9} = 147080 \text{ Н.}$$

Вибираємо тиск робочої рідини в робочому органі гідравлічної системи згідно рекомендацій [24]:

- робочий тиск – $P_р = 5$ МПа
- умовний тиск – $P_у = 6{,}4$ МПа
- випробувальний тиск – $P_{пр} = 9{,}6$ МПа

Визначаємо тиск в порожнині циліндра

$$P_1 = 0{,}95 \cdot P_р = 0{,}95 \cdot 5 = 4{,}75 \text{ МПа ;}$$

Визначаємо діаметр циліндра [25]:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{P \cdot \eta_ц \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 147080}{4{,}75 \cdot 10^6 \cdot 0{,}9 \cdot 3{,}14}} = 0{,}2 \text{ м} \qquad (2.6)$$

Приймаємо D = 200 мм.

Площа циліндрової порожнини:

$$A_{ц.} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3{,}14 \cdot 200^2}{4} = 31400 \text{ мм}^2 = 0{,}031 \text{ м}^2 \qquad (2.7)$$

Витрата робочої рідини при подачі її в циліндр:

$$Q_{ц.} = A_{ц.} \cdot V_{р.х.} = 0{,}031 \cdot 0{,}12 = 0{,}000372 \text{ м}^3/\text{с} = 22{,}32 \text{ дм}^3/\text{хв} \qquad (2.8)$$

Необхідна подача насоса з урахуванням зменшення фактичної подачі насоса на 10 % (можливі витоки) визначається максимальною сумарною витратою рідини по всіх циліндрах гідросистемі, що обслуговуються одним насосом:

$$Q_н = 1,1 \cdot \sum Q_i = 1,1 \cdot Q_ц = 1,1 \cdot 22,32 = 24,552 \text{ л/хв.} \qquad (2.9)$$

По каталогу вибираємо насос, що має наступну характеристику:

Тип насоса Г 12 – 25 АМ

Подача насоса $Q'_н = 100$ л/хв

Робочий тиск $P'_н = 6,3$ мПа

Робочий обсяг $V_0 = 125$ см$^3$

Частота обертання насоса $n = 970$ хв$^{-1}$

Поправочний коефіцієнт:

Потужність електродвигуна для привода насоса:

$$P = \frac{P_н \cdot Q'_н}{1000 \cdot \eta_e}, \qquad (2.10)$$

де $P_н$ – робочий тиск насоса;

$Q'_н$ – подача обраного насоса, у м/с$^3$, $Q'_н$=100 л/хв = 0,00167 м$^3$/с ;

$\eta_э$ – ефективний ККД насоса, $\eta_e = 0,8$ .

$$P = \frac{6,3 \cdot 10^6 \cdot 0,00167}{1000 \cdot 0,8} = 13,15 \text{ кВт.}$$

По каталогу вибираємо електродвигун, що має наступну характеристику:

Тип 4А160М6УЗ

Потужність P = 15,0 кВт

Частота обертання $n = 970\ хв^{-1}$ .

## 2.2 Аналіз основних кінематичних і силових параметрів привода механізму нахилу печі

Вихідні дані:

Вага колиски $G_Л$=230 кН;

Вага порталу $G_Л$=230 кН;

Вага корпуса печі $G_К$=825 кН;;

Вага підсклепінного кільця $G_{СК}$=95 кН;

Вага склепіння $G_С$=70 кН;

Координати центра ваги:

- колиски $X_4$=0 м; $Y_4$=-2,5 м;
- порталу $X_5$=0,45 м; $Y_5$=-1,5 м;
- корпуса $X_6$=0 м; $Y_6$=-0,53 м;
- підсклепінного кільця $X_7$=0 м; $Y_5$=-1,47 м;
- склепіння $X_8$=0 м; $Y_8$=-1,87 м;

Розрахункова схема рис.2.1

Якщо за початок координат прийняти центр опорних сегментів $O_1$ з радіусом R, то координати загального центра ваги печі можна знайти з вираження:

$$e = \frac{G_Л \cdot X_4 + G_{ПЛ} \cdot X_5 + G_К \cdot X_6 + G_{СК} \cdot X_7 + G_С \cdot X_8}{G_Л + G_{ПЛ} + G_К + G_{СК} + G_С}, \qquad (2.11)$$

$$f = \frac{G_Л \cdot y_4 + G_{ПЛ} \cdot y_5 + G_К \cdot y_6 + G_{СК} \cdot y_7 + G_С \cdot y_8}{G_Л + G_{ПЛ} + G_К + G_{СК} + G_С}, \qquad (2.12)$$

де $G_Л$ – вага колиски;

$G_{ПЛ}$ – вага порталу;

$G_К$ – вага корпуса печі;

$G_{СК}$ – вага підсклепінного кільця;

$G_С$ – вага склепіння;

$x_4, в_4$; $x_5, в_5$; $x_6, в_6$; $x_7, в_7$; $x_8, в_8$ – координати центра ваги відповідно колиски, порталу, корпуса, підсклепінного кільця, склепіння.

Підставивши чисельні значення одержимо:

$$e = \frac{230 \cdot 0 + 780 \cdot 0{,}45 + 825 \cdot 0 + 95 \cdot 0 + 70 \cdot 0}{230 + 780 + 825 + 95 + 70} = 0{,}175 \text{ м}$$

$$f = \frac{230 \cdot (-2{,}5) + 780 \cdot (-1{,}5) + 825 \cdot (-0{,}53) + 95 \cdot (1{,}47) + 70 \cdot (1{,}87)}{230 + 780 + 825 + 95 + 70} = -0{,}956 \text{ м}$$

Перекидаючий момент, що створюється масою печі в заданий час (встановлення залежності моменту від кута нахилу) [26]:

$$M_П = G_П \cdot r_0 \cdot \sin(\alpha \pm \varphi), \qquad (2.13)$$

де $G_п$ – повне навантаження від маси печі;

$r_о$ – радіус-вектор центра ваги печі:

$$r_0 = \sqrt{e^2 + f^2} = \sqrt{(0{,}175)^2 + (-0{,}956)^2} = 0{,}972, \qquad (2.14)$$

де e, f – положення центру тяжіння печі.

α – кут нахилу радіуса-вектора до вертикальної осі печі, рад.:

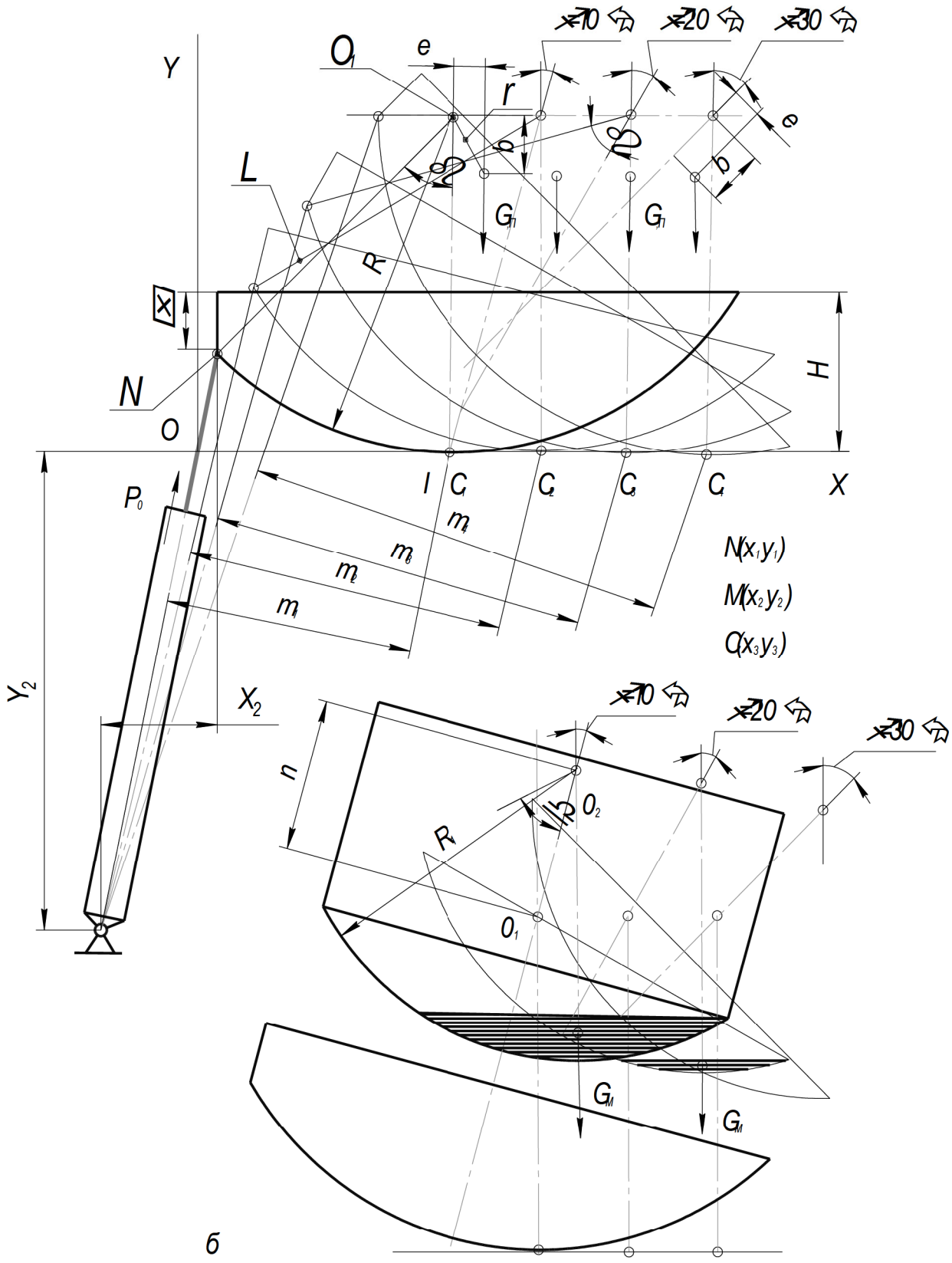



Рисунок 2.1 – Розрахункова схема механізму нахилу електропечі ДСВ 40

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{e}{r_0}\right)\arcsin\left(\frac{0{,}175}{0{,}972}\right) = \arcsin(0{,}18) = 10{,}5^0, \qquad (2.15)$$

φ – кут нахилу печі, $\varphi = 0^0$.

$$M_{п} = 2000 \cdot 0{,}972 \cdot \sin(10{,}5 + 0) = 354 \text{ кНм}$$

Перекидаючий момент, створюваний масою металу для заданого кута нахилу φ:

$$M_{м} = \pm G_{м} \cdot n \cdot \sin\varphi, \qquad (2.16)$$

де $G_М$ – вага металу;

n – відстань між $O_1$ і $O_2$, n=4,2 м;

φ – кут нахилу печі.

Знак «+» приймають тільки при поверненні печі з положення $-12^0$ після зливу шлаків. В інших випадках приймають знак «-» через те, що метал дає можливості до самоперекиду.

Вагу металу в печі можна визначити в такий спосіб (за спрощеною методикою професора Сапка О.І.) [27]:

$$G_{м} = \pi \cdot R_1^3[1 - \cos\cdot(\delta - \varphi)]^2 \cdot \left[1 - \frac{1 - \cos\cdot(\delta - \varphi)}{3}\right] \cdot \rho, \qquad (2.17)$$

де $R_1$ – радіус кульового сегмента печі, $R_1$=5,78 м;

δ – половинний центральний кут кульового сегмента для початкового рівня металу, $\delta = 27^0$.

ρ – питома щільність металу в печі, $\rho = 70$ кН/м$^3$.

$$G_м = 3{,}14 \cdot 5{,}78^3 [1 - \cos\cdot (27^0 - 0^0)]^2 \cdot \left[1 - \frac{1 - \cos\cdot (27^0 - 0^0)}{3}\right] \cdot 70 = 486 \text{ кН}$$

$$M_м = 486 \cdot 4{,}2 \cdot \sin 0 = 0 \text{ кНм}$$

При нахилі печі виникає момент від сил тертя-кочення в опорно-поворотній частині, у наслідку пружного стиску сегментів:

$$M_к = (G_п + G_м) \cdot к, \quad (2.18)$$

де к – відстань, яка характеризує деформаційну складову, м.

Деформаційну складову можна визначити як:

$$к = \frac{c}{4}, \quad (2.19)$$

де с – ширина поперечного перерізу сегментів з фундаментними балками, яка чинить опір, м. Можна визначити за відомою формулою Герца:

$$c = 2{,}16 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot p \cdot R}{E}}, \quad (2.20)$$

де p – розподілене між опорними сегментами навантаження, що приходиться на одну умовну одиницю довжини, Н/м;

R – радіус сегментів, R =3,9 м;

E – модуль пружності для сталі, E =$2 \cdot 10^{11}$ Па.

Погонне навантаження дорівнює:

$$p = \frac{G_п + G_м}{в}, \quad (2.21)$$

де в – сумарна ширина двох опорних сегментів, в=1,3 м.

Тоді:

$$p = \frac{G_{П}}{в} = \frac{2000 + 486}{1{,}3} = 1912 \frac{кН}{м}$$

$$c = 2{,}16 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 1912 \cdot 10^{3} \cdot 3{,}9}{2 \cdot 10^{11}}} = 0{,}018 м$$

$$к = \frac{c}{4} = \frac{0{,}018}{4} = 0{,}0045 \text{ м}$$

$$M_{К} = (2000 + 486) \cdot 0{,}0045 = 11{,}1 \text{ кНм}$$

Тоді повний розрахунковий перекидаючий момент при нахилі печі:

$$M_{ОП(Р)} = M_{П} + M_{К}, \qquad (2.22)$$

$$M_{ОП(Р)} = 354 + 11{,}1 = 365{,}1 \text{ кНм}$$

Розрахункове зусилля на штоці гідроциліндру, що слугує основним силовим виконавчим органом для нахилу печі можна визначити з вираження:

$$P_{О(Р)} = \frac{M_{ОП(Р)}}{2 \cdot m}, \qquad (2.23)$$

де $M_{ОП(Р)}$ – повний розрахунковий перекидаючий момент при нахилі печі;

m – плече дії сили.

Плече m можна визначити в такий спосіб. Початок координат ОБ розташуємо на відстані, рівному R від точки С у початковому положенні колиски. Вісь Х приймаємо спрямованою уздовж опорної поверхні

фундаментних балок. Тоді поточні координати крапки N визначаються параметричними рівняннями подовженої циклоїди:

$$X_1 = R \cdot (\beta + \varphi) - l \cdot \sin(\beta + \varphi), \quad (2.24)$$

$$y_1 = R - l \cdot \cos(\beta + \varphi), \quad (2.25)$$

де β – кут нахилу лінії $O_1N$ до осі печі, β=0,6628 рад.; $\beta=38^0$.

l – відстань від точки кріплення гідроциліндрів до центра сегментів, l=4,1 м.

$$X_1 = 3{,}9 \cdot (0{,}6628 + 0) - 4{,}1 \cdot \sin(38 + 0) = 0{,}06 \text{ м}$$

$$y_1 = 3{,}9 - 4{,}1 \cdot \cos(38^0 + 0) = 0{,}7 \text{ м}$$

$X_2$=-1,7 м

$У_2$=-5 м

Поточні координати миттєвого центра обертання рівні:

$$X_3 = R \cdot (\beta + \varphi) = 3{,}9 \cdot (0{,}6628 + 0) = 2{,}585 \text{ м; } У_3 = 0 \text{ м.}$$

Плече m можна визначити по формулі аналітичної геометрії як довжину відрізка, перпендикулярно опущеного із точки на пряму.

$$m = \frac{A \cdot (X_3 - X_1) + y_1}{\sqrt{A^2 + 1}}, \quad (2.26)$$

де А – коефіцієнт:

$$A = \frac{y_2 - y_1}{X_2 - X_1}, \quad (2.27)$$

$$A = \frac{y_2 - y_1}{X_2 - X_1} = \frac{-5 - 0{,}7}{-1{,}7 - 0{,}06} = 3{,}23$$

$$m = \frac{A \cdot (X_3 - X_1) + y_1}{\sqrt{A^2 + 1}} = \frac{3{,}23 \cdot (2{,}585 - 0{,}06) + 0{,}7}{\sqrt{3{,}23^2 + 1}} = 2{,}619$$

Знаходимо розрахункове зусилля, що діють на шток гідроциліндра механізму нахилу печі:

$$P_{O(P)} = \frac{365{,}1}{2 \cdot 2{,}619} = 70 \text{ кН}$$

Значення для інших положень кута нахилу φ [$-12^0$; $42^0$], одержимо відповідно до вищевикладеної методики розрахунку. Результати розрахунків заносимо в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Перекидаючий момент і зусилля на штоку гідроцилиндра для різних положень кута φ

| Величина | $\varphi=-12^0$ | $\varphi=0^0$ | $\varphi=10^0$ | $\varphi=20^0$ | $\varphi=30^0$ | $\varphi=42^0$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| $M_{ОП(Р)}$, кНм | -309 | 365 | 50 | 333 | 657 | 1023 |
| $P_{О(Р)}$, кН | -90 | 70 | 7,7 | 43 | 75 | 104 |

Таким чином можна зробити висновок, що максимальні моменти на штоку гідроциліндра виникають при зливі шлаку – кут нахилу печі 12°, та при поверненні печі в вихідне положення та нахилу печі в бік носка, через який відбувається технологічний процес зливання металу – в цьому випадку кут нахилу печі складає сорок два градуси.

## 2.3 Розрахунок деталей на міцність

Умова стійкості штока гідроциліндра на повздовжній вигин [28]:

$$F_k = k \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2} \geq F_\phi, \qquad (2.28)$$

де $k$ – коефіцієнт, що описує конструктивне з'єднання штока та циліндра,

$k$=1 – при шарнірному закріпленні обох кінців;

$E$ – модуль пружності матеріалу штока, $E=2\cdot10^5$ МПа;

I – момент інерції перетину штока;

L – довжина стисливої ділянки.

$$F_{кр}=1\cdot\frac{3{,}14^2\cdot2\cdot10^5\cdot0{,}05\cdot0{,}125^4}{3{,}445^2}=1{,}01\text{ МН}.$$

$$F_{кр}=1{,}01\text{ МН}>F_{ф}=0{,}13\text{ МН}$$

Отже параметри штока задовольняють умові стійкості на повздовжній вигин.

Допускаємі напруження знаходимо з вираження

$$\sigma_р=10^{-2}\cdot\frac{0{,}4\cdot r+1{,}3\cdot R}{R^2-r^2}\cdot p_y\le[\sigma_р],\qquad(2.29)$$

де R – зовнішній радіус гідроциліндра, R=160 мм;

r – внутрішній радіус гідроциліндра, r=100 мм;

$p_y$ – умовний тиск рідини, $p_y$=9,3 МПа;

$\sigma_р$ – напруження розтягання на внутрішній поверхні стінки гідроциліндра;

$[\sigma_р]$ – допустиме напруження на розтягнення, $[\sigma_р]$=120 МПа.

$$\sigma_р=10^{-2}\cdot\frac{0{,}4\cdot0{,}100^2+1{,}3\cdot0{,}160^2}{0{,}160^2-0{,}100^2}\cdot9{,}3=7{,}3\text{ МПа}<120\text{ МПа}$$

Умова виконується, міцність гідроциліндра забезпечена.

# 3 ДОСЛІДНО–ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

## 3.1 Загальна характеристика конструкції лабораторної моделі електродугової печі

Діюча модель дугової електропечі (рис. 3.1 та 3.2) виконана в масштабі 1:10 призначена для проведення лабораторних та дослідницьких робіт: визначення навантажень механізму нахилу печі, вимірювання зусиль, необхідних для викоту корпусу печі.



Рисунок 3.1 – Лабораторна модель електропечі

Модель дугової електропечі виконана в масштабі 1:10 (рис.3.3) і складається з електродотримачів 1, склепіння 3, кільця 4 та зливного носика 6. Дугова електропіч призначена для виплавки високоякісних та спеціальних

сталей. Корпус печі 5 встановлено на люльці 7. Люлька своїми сегментами спирається на дві опорні балки викотної платформи 8, що лежать на рухомих катках механізму викоту корпусу печі. В свою чергу, портал печі двома сегментами, геометрично однаковими з сегментами люльки, спираються на фундаментні балки.



Рисунок 3.2 – Лабораторна модель електропечі з боку зливного носка

Нахил печі можливий тільки при повністю всунутій в портал 2 люльці, коли вісі всіх опорних сегментів співпадуть. Для того, щоб відбувся сумісний поворот порталу і люльки у верхній частині останньої закріплено чотири ролики, що входять в напрямні пази порталу. Нахил печі здійснюється здвоєним механізмом нахилу. Привод кожного механізму нахилу складається з електродвигуна 12, черв'ячного редуктору 13, відкритої зубчатої передачі 9, приводної шестерні 11 та зубчатої рейки 10 шарнірно закріпленої до порталу печі. Для того, щоб не порушилась правильність зчеплення шестерні та рейки встановлена хитна обойма 14. При роботі механізму, люлька і портал отримують як поступальні, так і обертальні рухи в результаті обкочування сегментів по опорним балкам. Викочення корпусу печі виконується механізмом з викотною платформою. Вага корпусу електропечі та люльки передається через сегменти

балкам викотної платформи. Остання спирається на котки, що містяться в рамі. При русі рами котків викотна платформа також отримує поступальних рух, але з подвійним переміщенням. Котки спираються на дві паралельні балки. Привод механізму викоту печі складається з електродвигуна, черв'ячного редуктора, гвинтової пари з поступально рухомою гайкою. Тяга з овальними отворами забезпечує її роботу на розтягнення при зміні напрямку руху рами. Керування роботою печі виконується з пульта управління. Тензометричні датчики 15 наклеєно на рейку 10.

Технічні характеристики та данні до розрахунку механізму нахилу моделі печі наведено в таблиці 3.1

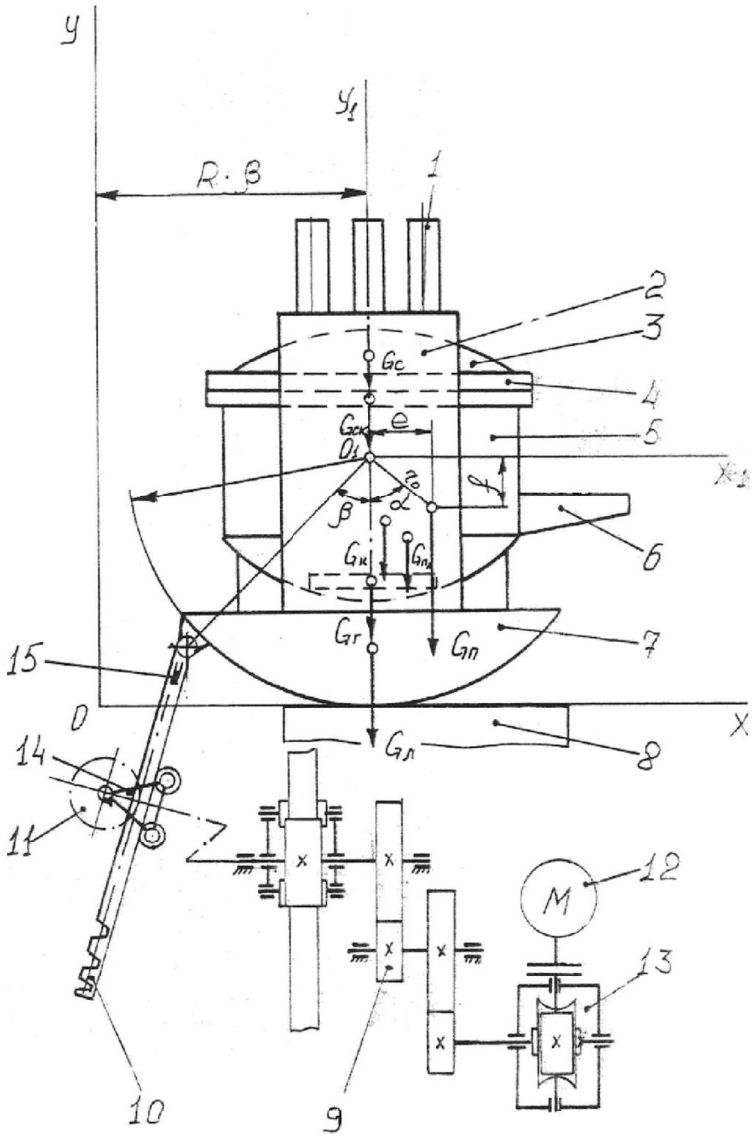



Рисунок 3.3 – Кінематична схема приводу механізму нахилу моделі печі (позиції наведено в тексті)

Таблиця 3.1 – Технічна характеристика лабораторної моделі печі

| № | Найменування | Величина |
|---|---|---|
| 1 | Габарити моделі дугової печі | 1050 х 1850 х 1100 мм |
| 2 | Вага установки | 209,5 кг |
| 3 | Вага люльки | 23 кг |
| 4 | Вага порталу | 78 кг |
| 5 | Вага корпусу печі | 32,5 кг |
| 6 | Вага підсклепінного кільця | 9,5 кг |
| 7 | Вага склепіння | 7 кг |
| 8 | Вага печі | 50 кг |
| 9 | Електродвигун механізму викоту печі | тип АО 200/2 |
| 10 | Електродвигун механізму нахилу печі | тип Д-83 |
| 11 | Електродвигун механізму підйому склепіння | тип Д-83 |
| 12 | Передавальне число редуктора механізму нахилу печі, і | 533,12 |
| 13 | Передавальне число редуктора механізму викоту, і | і=384 |
| 14 | Передавальне число механізму підйому склепіння, і | 24 |
| 15 | Кут нахилу печі, φ | ±60° |
| 16 | Довжина шляху викоту печі, z | 380 мм |
| 17 | Величина руху гайки гвинтової пари викоту печі, l | 370 мм |
| 18 | Діаметр опорних катків, d | 22 мм |
| 19 | Діаметр цапфи опорних катків, d | 7 мм |
| 20 | Вага опорного катка, q | 0,138 кг |
| 21 | Довжина рейки механізму нахилу печі, b | 450 мм |
| 22 | Сумарна вага двох обойм катка, $Q_{заг}$ | 81 кг |

## 3.2 Вибір обладнання для обробки результатів експериментальних досліджень розподілу навантажень в механізмі нахилу печі

Для збору та обробки експериментальних даних основним обладнанням на кафедрі є модуль МС-212, призначений для роботи з тензометричними датчиками. Цей модуль підтримує підключення мостових, полумостових тензодатчиків та одиночних тензорезисторів з опором у діапазоні 0,100...1 кОм, що дає змогу проводити як статичні, так і динамічні вимірювання [29].

Сфера застосування модуля включає:

- вимірювання механічних навантажень;
- визначення зусиль, таких як тяга або вага;
- високоточні вимірювання лінійних переміщень;
- вимірювання тиску.

Управління модулями, а також вимірювання і реєстрація сигналів здійснюється через програмне забезпечення Recorder. Для аналізу, обробки та відображення результатів вимірювань використовується програма WinПОС, яка також дозволяє виводити результати на друк. Схему підключення датчиків до системи збору даних можна побачити на рисунку 3.4.

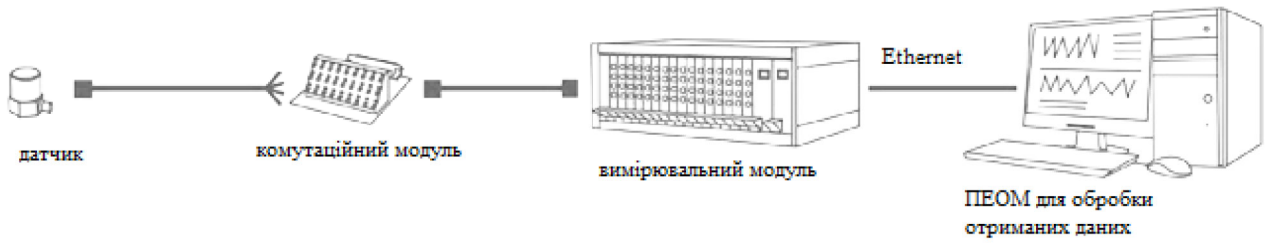



Рисунок 3.4 – Типове з1єднання датчиків з ПЕОМ для накопичення та обробки даних експерименту

Програмне забезпечення доа АЦП з модулем МС-212 є потужним інструментом для створення вимірювальних систем з можливістю обробки експериментальних даних. Це зручна, надійна та універсальна платформа для

управління дослідницькими комплексами MIC, що підтримує різні стандарти (PXI, RXI, MC). Програма надає такі можливості:

- керування каналами вимірювання, їх налаштування та діагностика;
- контроль процесу збору вимірювальних даних з подальшим їх збереженням у файли;
- використання бази даних різних фізичних характеристик, виконання процедур градуювання, калібровки та перевірки;
- відображення виміряних параметрів на екрані в табличному вигляді таблиць та у осцилограмами;
- інтеграція додаткових бібліотек для розширення функціональності програми.

Recorder також дозволяє відображати дані у кількох форматах:

- створення кількох сторінок формулярів;

підтримка різних типів мнемосхем;

- відображення даних на осцилограмах, в табличному виді та визначення трендів.

База даних градуювальних характеристик має такі функції:

- управління набором градуювальних характеристик;
- організація даних у вигляді каталогу;
- імпорт/експорт даних у різних форматах;
- легке перенесення від приладу до приладу;
- графічне відображення градуювальних характеристик;
- підтримання інших типів функціональних характеристик.

Щодо розрахункових можливостей, комплекс пропонує:

  - створення користувацьких параметрів, що базуються на арифметичних операціях;
  - простота використання без потреби в кваліфікації програміста;
  - за потреби дозволяє організовувати складні багаторівневі умови експерименту;

- управління апаратними (вихідними) каналами з двикористанням простих математичних виразів.
- Щодо формування звітів:
- можливість підготовки звіту для друку, що містить поточні налаштування системи;
- включення всіх даних про канали, градуювальні характеристики та додаткову інформацію від користувацьких модулів;
- доступність повного і скороченого форматів звітів [29].

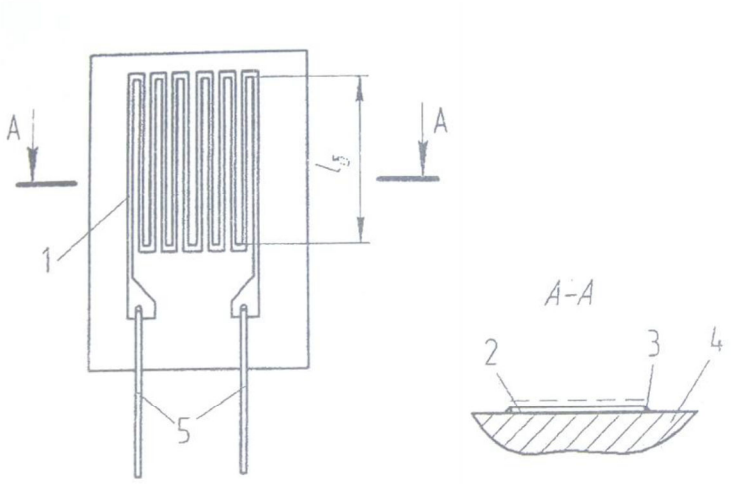
## 3.3 Визначення датчиків для проведення експериментального дослідження навантажень у вузлах механізму нахилу печі

Основним виконавчим елементом під час експериментальних досліджень навантажень у вузлах металургійних машин є тензометричні датчики опору.

Принцип процесу тензометрії полягає в тому, що на об'єкт, на якому необхідно визначити навантаження, встановлюють сприймаючі елементи з кількох тензодатчиків, з'єднаних у мостову схему, що живиться електричним струмом. Під час деформації досліджуваного об'єкта тензодатчики також деформуються, що призводить до зміни їхнього опору. Це викликає електричний сигнал на виході моста, який є розбалансованим і пропорційним величині деформації (напруження або навантаження).

У тензометрії використовуються два основні типи датчиків: дротові та фольгові. Перший тип тензодатчиків складається з тонкого прецизійного дроту діаметром 0,012÷0,05 мм, який має великий омічний опір (від 150 до 200 Ом), та в формі зигзагу розташований між двома шарами паперу або плівки. Другий тип тензодатчиків, структурне виконаня яких наведено на рисунку 3.5, мають спіральну форму, виготовлену з фольги значно меншої товщини, отриману методом фото-травлення. В якості ізоляційного матеріалу використовують лакостійку плівку. Матеріалами для виготовлення тензодатчиків служать такі

прецизійні матеріали як ніхром та константан, в деяких випадках також можливе використання манганіну [30].




1 – фольгова спіраль, 2 – лакова плівка, 3 – лак, 4 – деталь, 5 – виведення;

Рисунок 3.5 – Принципова схема устрою тензодатчиків

Тензодатчик на паперовій основі фіксується на деталі за допомогою клею БФ2, тоді як датчик на плівковій основі приклеюється за допомогою лаків ВЛ4 чи ВЛ7. Для покращення надійності роботи тензодатчиків після встановлення їх можна додатково захистити від вологого впливу навколишнього середовища за допомогою спеціальних покриттів, таких як фурілова смола Ф10, клей Р88 або перхлорвінілова емаль Х3-13 та інших подібних матеріалів. При наклеюванні тензодатчиків важливо, щоб їх осьова лінія співпадала з напрямком головних напружень. Це дозволяє тензодатчику сприймати лише деформації, пов'язані з розтягненням або стисненням. У разі розтягнення опір тензодатчика збільшується, а при стисненні – зменшується [31].

Зміна омічного опору підпорядковується лінійному закону, відповідно до якого опір провідника можна визначити за законом Ома, Ом:

$$R = \rho \frac{1}{S}, \qquad (3.1)$$

де ρ – омічний опір, Ом·м;

l – довжина елементу опору, м;

S – площа перетину елементу опору, м$^2$.

Оскільки коефіцієнт Пуассона є малим, зміна площі поперечного перерізу ($S$) є незначною. При сталій електричній провідності ($\rho$) та площі поперечного перерізу ($S$) опір тензодатчика буде прямо пропорційний його довжині ($l$). Однак, опір тензодатчика також змінюється в залежності від температури навколишнього середовища, Ом:

$$R_t = a \cdot \rho \cdot \frac{l \cdot (t_1 - t_0)}{S}. \qquad (3.2)$$

де a – коефіцієнт, що характеризує подовження провідника;

$t_1 - t_0$ – зміна температури.

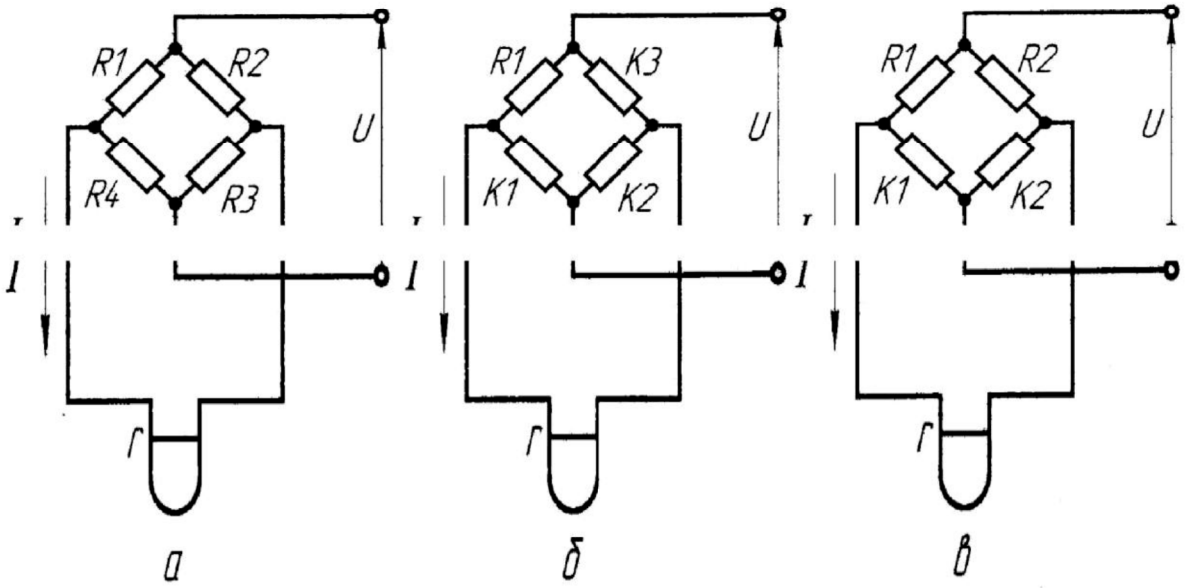
Зазвичай один тензодатчик не використовують через його чутливість до температурних коливань. Натомість застосовують спеціальні схеми з'єднання датчиків, що дозволяють мінімізувати вплив температури навколишнього середовища. Щоб знизити похибки, викликані температурними змінами, та підвищити чутливість системи вдвічі або навіть у чотири рази порівняно з одним датчиком, тензодатчики з'єднують у місткову схему. Схему одинарного мосту Уітстона, зображену на рисунку 3.6, використовують для компенсації температурних впливів і покращення чутливості тензодатчиків.

Тензодатчики розташовуються так, щоб забезпечити максимальну різницю у виразах для обчислення сили струму. Найбільше значення струму буде досягнуто, якщо тензодатчики R1 і R3 сприйматимуть деформацію розтягнення, при цьому опір буде збільшуватися, а датчики R2 і R4 – деформацію стиснення, і відповідно опір буде зменшуватися. Водночас важливо врахувати, що схема має компенсувати температурні впливи. Якщо при зміні температури

досліджуваного об'єкта всі датчики моста сприйматимуть однакову деформацію за напрямком, тоді така схема ефективно компенсуватиме температурний вплив.

У випадку, коли датчики мають різнонаправленні деформації, необхідно застосувати мостову схему з компенсаційними датчиками (рисунок 3.6, б), які не повинні реагувати на активні деформації. Ці датчики розташовують на пластинах поруч із деталлю або перпендикулярно до лінії вздовж, якої виникають основні напруження [32].

Важливо, щоб робочі датчики R1 і R2 в мостовій схемі мали однаковий тип деформації (розтягнення або стиснення), оскільки в іншому випадку сигнал на виході мосту буде нульовим.




R – основні датчики для виміру дефермацій; К –датчики, що зкомпенсовують різний тип деформації

Рисунок 3.6 – Типові мостові схеми під’єднання тензометричних датчиків [32]

Коли робочі датчики мають деформації з протилежними знаками, як у випадку вимірювання напружень вигину в балці (при наклеюванні датчиків на нижній та верхній сторонах), схема з'єднання моста виглядатиме, як показано на рисунку 3.6 в. Така схема використовується для вимірювання крутних моментів,

при цьому компенсаційні датчики мають бути розташованими на окремому елементі [33].

## 3.4 Експериментальне дослідження навантажень, що виникають при нахилі печі та обробка результатів

Для вимірювання зусиль виконуємо наклейку тензодатчиків за мостовою схемою на рейки приводу нахилу печі (рисунок 3.7 та 3.8)



Рисунок 3.7 – Встановлення тензодатчиків на лівій рейці



Рисунок 3.8 – Встановлення тензодатчиків на правій рейці

Порядок проведення досліджень на моделі печі:

1. З'єднуємо мостову схему тензометричного силовимірювача для визначення зусиль в канаті дротовими датчиками з обчислювально-вимірювальним комплексом MIC-212;
2. Налаштовуємо обчислювально-вимірювальний комплекс MIC-212 та двоканальну реєстрацію вимірювань програмою Recorder (Ver. 3.0.5.17b);
3. Збираємо вимірювальну схему, встановивши в залежності від навантаження ступінь підсилення тензометричного підсилювача;
4. Тільки після того як дослідник переконається про справність лабораторної установки, шляхом її візуального контролю, можна подавати напругу на пульт керування.
5. Виконуємо тарування наклеяних датчиків на зубчастих рейках.
6. Вмикаємо механізм нахилу печі і виконуємо запис діаграми зусиль в зубчастих рейках .
7. Вимикаємо установку та пульт керування.
8. Подальшу обробку файлів з діаграмами виконуємо в програмному комплексі WinPos (Ver. 2.1.0.6-pro) з отриманням зусиль в рейках (рисунок 3.9).

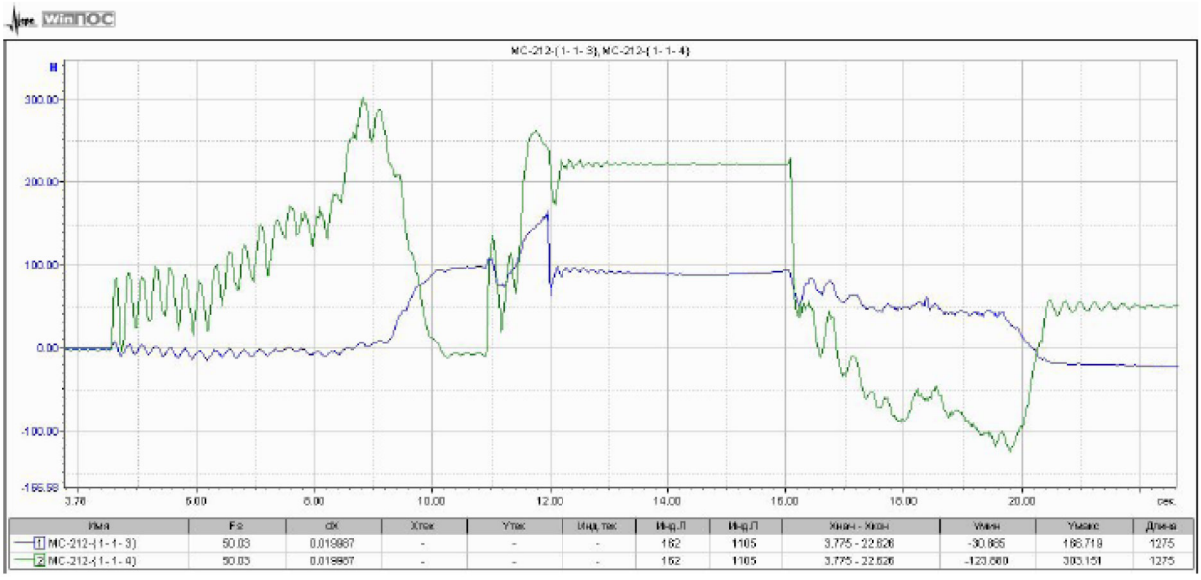



Рисунок 3.9 – Осцилограма зусиль виникаючих при нахилі печі

За результатами аналізу виконаних досліджень навантажень, що виникають при нахилі лабораторної моделі електродугової печі можна зробити висновки:

- максимальні зусилля виникають при нахилі печі на кут -12° в бік завантажувального вікна і 42° в бік льотки, що підтверджуються як теоретичними розрахунками, виконаними в розділі 2, так і осцилограмою результатів практичних досліджень (рис.3.9);
- обрана схема з гідравлічною системою приводу є більш надійною, так як з часом експлуатації виникають незкомпенсовані зазори в зачепленні рейка-шестерня, котрі призводять до перекосу печі відносно осі семетрії. Це чітко простежується на осцилограмі запису навантажень (рисунок 3.9). Такий експлуатаційний недолік проявляється в появі в одній із рейок, у нашому випадку – лівій, більших зусиль ніж в правій, чого на практиці не повинно бути. Данний недолік може виправити система з гідравлічним приводом механізму нахилу печі.

Пропонована гідравлічна схема приводу нахилу печі (рис.3.10) працює наступним чином. Гідроциліндр переміщює ванну, котра нахиляється завдяки секторному механізму нахилу. Гідроциліндр управляється золотником однокаскадного виконання, який функціонує на принципі дросельного регулювання і має позитивне перекриття.

Привод перемикання цього золотника складається з гвинтової передачі та крокового електродвигуна (електромеханічний привод – ЕМП), що оснащений трьома обмотками: ОВ1÷ОВ3.

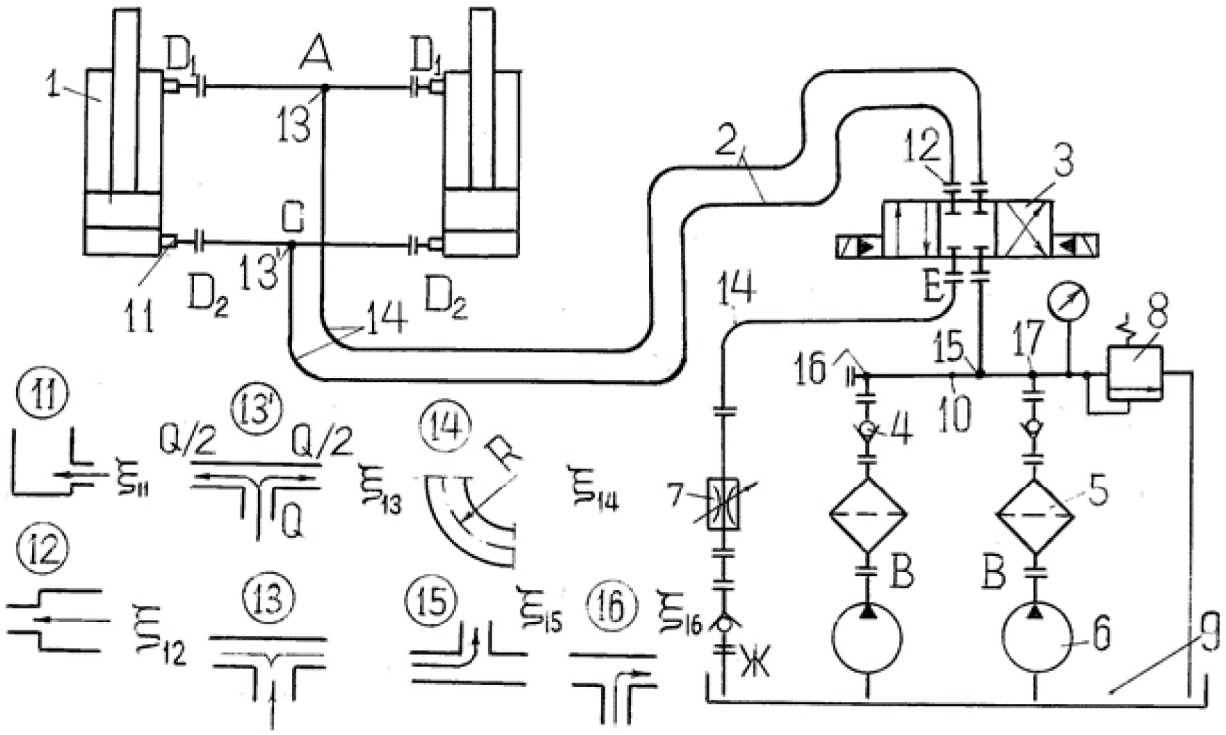
Тиск, що подається до цієї гідравлічної схеми через трубопровід, генерується лопатевим насосом. До складі гідросистеми входять фільтр, клапани (звортний, запобіжний), прилад для контролю величини тиску (манометр) та резервуар для робочої рідини.

Система автоматичного керування містить пристрої завдання й виміру струму й напруги (ПВС, ПВН), міст порівняння, блок перетворення аналогового

сигналу на цифровий АЦП, цифровий сигнал якого надходить у комп'ютер через блок кодування й управління каналами КУК (рис.3.11).

Імпульсні сигнали вихідні з КУК мають малу потужність, тому підсилюються блоком імпульсного підсилювального пристрою ІПП.

Зворотний клапан призначений для пропуску рідини лише в одному напрямку. Коли нагнітаючий лопатевий насос зупиняється, як в штатних так і аварійних ситуаціях, цей клапан блокує потік рідини з напірного колектора в резервуар, тим самим закриваючи напірний мастилопровід та запобігає зворотному руху рідини в систему, а отже унеможливлює самовільне переміщення печі назад.




1 – виконавчі гідроциліндри; 2 – напірні трубопроводи; 3 – розподілювач; 4 – зворотний клапан; 5 – фільтри; 6 – лопатевий насос; 7 – дросель (золотник); 8 – запобіжний клапан; 9 – масляний резервуар; 10 – колектор; 11-16 – місцеві опори в трубопроводах

Рисунок 3.10 – Запропонована функціональна схема механізму нахилу печі

Запобіжний клапан призначений для захисту системи від перевантаження, підтримки необхідного тиску в напірному колекторі та розвантаження системи, а саме для зливу рідини через клапан у масляний резервуар.

Напірний золотник захищає систему від перевантаження під час зливання розплавленого металу та запобігає мимовільному поверненню печі у віхідне положення при вимкненні двигуна насоса. Дросель з регулятором використовуються для забезпечення сталості витрати рідини з напірного колектора до плунжера гідроциліндра, незважаючи на зміни навантаження на плунжері, тобто незалежно від зміни маси переміщуваних частин.

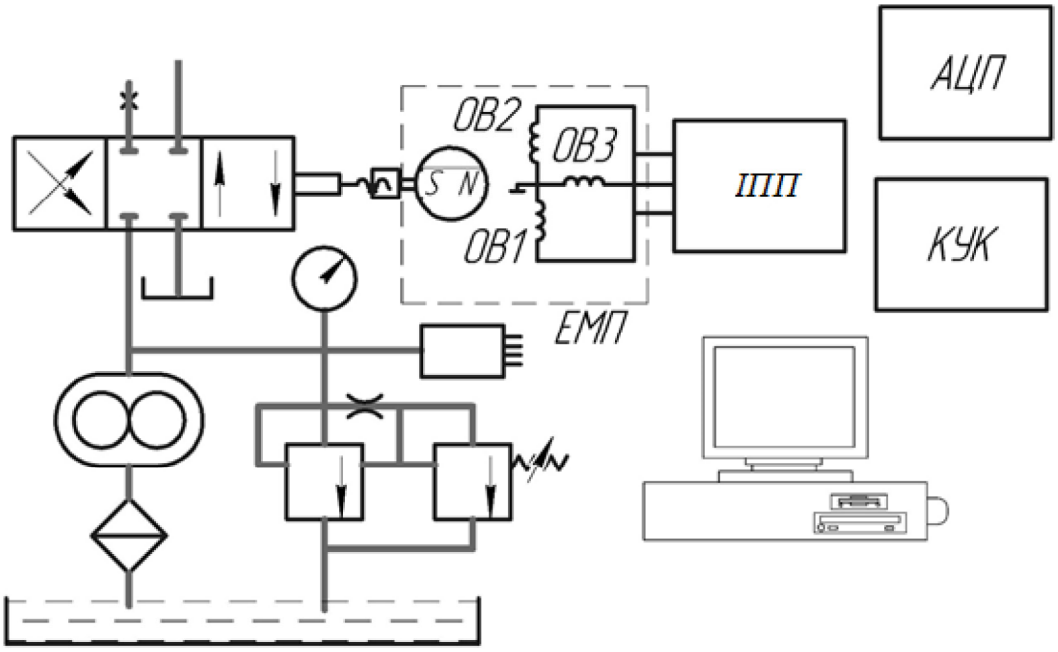



Рисунок 3.11 – Схема підключення керуючої апаратури

З огляду на те, що розплавлений метал поводить себе з фізичними характеристиками притаманними рідинам, тому під час розливки металу можливі виникнення автоколивань від переміщення рідкого металу в ванні. Це являється передумовою виконання дослідження впливу однокаскадного золотника на характеристики механізму нахилу печі

## 3.5 Обґрунтування вибору запропонованої гідравлічної схеми механізму нахилу печі

Аналіз принципів дросельного регулювання запропонованого гідравлічного механізму нахилу печі вказує на те, що їхні схеми базуються на

комбінаціях компонентів, які включають гідроциліндр для нахилу печі, золотник з приводом для його качалки, а також вимірювальні й підсилювальні пристрої. Таким чином, ефективність роботи всіх елементів механізму печі безпосередньо залежить від правильного підбору цих складових.

Опираючись на дослідження [34-36], вибрана схема механізму нахилу печі з цифровою системою автоматичного управління, яка використовує однокаскадний золотник, оскільки цей варіант впливає лише на динамічні характеристики механізму. Використання однокаскадного золотника забезпечує вищу точність регулювання переміщення печі порівняно з двокаскадною схемою.

До головних показників роботи стежачого гідроприводу, крім тих, які властиві звичайному гідроприводу, відносяться точність відтворення заданої програми й стійкість до автоколивань (у замкнених системах, що стежать, можливий стан, коли гідропривід може довільно робити незатухаючі коливання).

Реальний слідкуючий привод, відноситься до класу нелінійних автоматичних систем [37]. Основними нелінійностями є: криволінійна залежність витрати робочої рідини через золотник від тиску; насичення по перепаду тиску в зовнішньому ланцюзі золотника, сили сухого тертя. Для лінеаризації цих нелінійностей використовується метод гармонійної лінеаризації запропонований Е.П. Поповим.

Характерною величиною, що визначає область стійкості гідроприводу, є підведений граничний тиск $P_{гр}$, при якому виникають автоколивання в системі.

Підвищення підведеного до золотника, що стежить, тиску збільшує нестійкість системи, і при переході через величину граничного тиску в системі виникають незатухаючі коливання [38].

Необхідно зазначити, що така різниця в роботі гідроприводів вимагає додаткових досліджень впливу особливостей перекриття щілин золотника на статичні характеристики гідравлічного механізму нахилу печі (ГМНП).

# 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА В ГАЛУЗІ

## 4.1 Оцінка електросталеплавильного цеху з гігієнічної точки зору

З розвитком електросталеплавильного виробництва й підвищенням якості сталі необхідно передбачати заходи щодо поліпшення умов праці на робочих місцях, захисті повітряного й водного басейнів. Виконується реконструкція діючих і вивід з експлуатації застарілих цехів, застосуванням спеціальних пристосувань при завантаженні електросталеплавильних печей зверху.

Скорочується тривалість завантаження, забезпечується необхідна щільність і певний порядок укладання шихти, що виключає можливість ушкодження футеровки печі. Як таке пристосування застосовуються завалочні бадді типу, що саморозвантажується.

Для створення нормальних санітарно-гігієнічних умов праці в електросталеплавильному цеху відповідно до правил безпеки передбачається [39]:

- установку вентиляційних й аспіраційних пристроїв відповідно до санітарних норм проєктування промислових підприємств, а також застосування автоматично діючих газоаналізаторів для контролю за якістю повітря. Дією зазначених пристроїв повинне забезпечуватися якісний склад повітря в робочій зоні виробничих приміщень;
- організацію служби контролю експлуатації й ремонту всіх вентиляційних й аспіраційних пристроїв і контролю за якісним складом повітря;
- міри, що знижують пилогазовиділення при завантаженні й транспортуванні матеріалів й ін.

Технологічне обладнання, під час роботи якого утворюються пил, гази або тепловиділення, слід встановлювати в комплекті з герметичними кожухами. Ці кожухи повинні бути оснащені витяжними отворами з патрубками для підключення до аспіраційних систем [40].

Технологічний процес сталеплавильного цеху відноситься до 3 групи шкідливих процесів. Праця основних професій важка і напружена, включно-сталевара на печі ДСВ-40, горнового, шихтовика. Для полегшення праці широко використовується механізація та автоматизація.

## 4.2 Дослідження можливих небезпечних чинників у виробничому середовищі.

Робоче середовище електросталеплавильного цеху характеризується впливом низки несприятливих факторів, які виникають на багатьох робочих місцях. До основних чинників належать:

1. Фізичні фактори:
- підвищена температура повітря.
- інфрачервоне та ультрафіолетове випромінювання.
- значні перепади температур, особливо в перехідний і зимовий періоди, сильні потоки гарячого й холодного повітря.
- інтенсивний шум, джерелами якого є технологічні гази, крани, транспортери, потяги та інше обладнання. Рівні шуму на робочих місцях сягають 90 дБА.
- вібрація, яка спостерігається в кабінах кранів та під час зачистки металу.

2. Хімічні фактори:
- забруднення повітря токсичними речовинами та пилом.
- утворення пилу в шихтових і плавильних відділеннях, особливо під час ремонтних робіт. Пил вогнетривів містить сполуки кремнію, з яких до 70% діоксиду кремнію, що може спричинити силікоз. Концентрація пилу зазвичай становить 25-40 мг/м³.
- виділення оксиду вуглецю під час плавки, випуску й розливання сталі.

3. Інші шкідливі фактори:
- теплове випромінювання.
- низька вологість повітря (сухе повітря).

– значні фізичні навантаження під час виконання ручних операцій, а також підвищена увага при роботі з автоматизованими системами управління.

Таблиця 4.1 - Оцінка факторів виробничого й трудового процесу.Професія: сталевар

| № п/п | Фактори виробничого середовища й трудового процесу | Нормативне значення | Фактичне значення | 3 клас: шкідливі й небезпечні умови й характер праці | | | Тривалість дії фактора за зміну, % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 1 ст. | 2 ст. | 3 ст. | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1 | Шкідливі хімічні речовини, мг\м$^3$:<br>1 клас небезпеки<br>Ангідрид хромовий<br>Марганцю оксид | <br><br><br>0,01<br>0,05 | <br><br><br>0,07<br>0,39 | | | <br><br><br>7<br>7,8 | 90 |
| | 2 клас небезпеки<br>Сірководень | 10 | 10,8 | 1,08 | | | 90 |
| | 3 клас небезпеки<br>Азоту діоксид<br>Вуглецю оксид | 2,0<br>20,0 | 0,55<br>5,0 | 0,27<br>0,25 | | | 90 |
| 2 | Пил переважно фіброгенного дії, мг\м$^3$ силікатовмісна | 4 | 18,4 | | | 4,6 р | 90 |
| 3 | Шум, дБА | 80 | 104 | | | 24 | 90 |
| 4 | Вібрація (локальна),дБ | 92 | 115 | | | 23 | 90 |
| 5 | Мікроклімат у приміщенні (теплий період):<br>- температура, $^0$С;<br>- швидкість руху повітря, м/с;<br>- відносна вологість повітря %;<br>- інфрачервоне випромінювання, Вт/м$^2$ | <br>27<br>0,7<br>50<br>140 | <br>39<br>0,71<br>39<br>4200 | <br><br>0,01 | | <br>12<br><br><br>4200 | <br>85<br><br><br>85 |
| 6 | Вага й напруженість праці | категорія робіт - важка, III напружений | | | | | |
| 7 | Кількість факторів | | | 4 | 2 | 5 | |

Всі основні технологічні процеси електродугової виплавки сталі супроводжуються низкою негативних факторів, зокрема:

- виділення пилу під час завантаження шихти, плавлення та ремонту печей.
- теплове випромінювання та високі температури.
- шум, вібрація та сухе повітря.

Оцінка робочого місця сталевара:

1. Технічний та організаційний рівень відповідає технологічному регламенту та проєкту організації праці.

2. Атестація робочого місця виявила наявність 4 факторів 1-го ступеня та 7 факторів 3-го ступеня. Умови праці класифікуються як особливо шкідливі й тяжкі, що відповідає вимогам списку №1 пункту 1 згідно з гігієнічною класифікацією.

Компенсації та пільги для сталеварів:

30 днів додаткової відпустки.

- надбавка до заробітної плати у розмірі 24%.
- забезпечення молоком (0,5 літра за зміну).

## 4.3 Технічні заходи з організації виробничої санітарії

### 4.3.1 Об'ємно-планувальні рішення будівель і приміщень електросталеплавильного цеху

Загальні принципи об'ємно-планувальних рішень будинків електросталеплавильних цехів визначаються в значній мірі необхідністю створення найбільш сприятливих умов для організованого природного видалення з них надлишків тепла. Тому всі плавильні й нагрівальні агрегати, місця розливання й остигання металу й розміщаються в одноповерхових будівлях. Ці будівлі не мають стельових перекриттів, а їхні покрівлі обладнаються уздовж і поперек розташованими аераційними ліхтарями не задувного типу.

Будівлі мають стіни із гладкими поверхнями для попередження скупчення пилу й полегшення її збирання. У всіх випадках варто передбачати механізоване збирання пилу (змив водою або пневмочистку). У цеху, де передбачається змив і мокре збирання підлог встановлені водонепроникні й неслизькі покриття. Ухил підлог для стоку води повинен бути не менш 0,02 . На магістральних проходах ухили підлог не повинні перевищувати 0,04 , у службових проходах – не більше 0,1. Прокладені по підлозі рейки утоплені, стічні канали закриті кришками [41].

Сталеплавильний цех розташовується так, що забезпечується гарне провітрювання. Для надходження в приміщення цеху зовнішнього повітря бічні огородження будівель на всю довжину по обидва боки обладнані на різних рівнях фрамугами, що розкриваються. Верхні фрамуги служать для надходження повітря в холодний період року, а нижні – для повітря в теплий період.

Вентиляційні пристрої в приміщеннях цеху повинні забезпечувати температуру, вологість і швидкість руху повітря, а також нормативний зміст шкідливих речовин у повітрі робочої зони .

У зв'язку зі значною шириною будівель, особливо багатопрогонових, бічні огородження на висоті від 2-3 м і до підкранових колій, якщо не вважати несучих конструкцій будівель (колон), складаються із суцільного засклення, одинарного. Висота будівель для різних з названих корпусів і прольотів (до підкранових колій) не менш 8- 0 м. Стіни будівель поза зонами засклення й аераційних ліхтарів не утеплені. Підлоги робочих площадок у печей рівні й виконані з міцних зносостійких матеріалів з неслизькою поверхнею. Підлоги в будинках покриті або залізними плитами (гарячі прольоти), або бруківкою в торець (холодні прольоти).

Площадки, розташовані на висоті більше 0,6 м від поверхні підлоги, перехідні містки, сходи, прорізи, люки, канави, приямки обгороджені поруччям із суцільним обшиванням по низу.

Допоміжні служби цехів з особливо шкідливими умовами праці, такі як контори, лабораторії, а також санітарно-побутові приміщення (роздягальні, душові, їдальні тощо), зазвичай розміщують в окремих будівлях, які примикають

до одного з фасадів основного виробничого корпусу або сполучаються з ним через теплий перехід [42].

Розташування будівель і цехів на території заводу або в межах окремих виробничих зон організовується з урахуванням виробничих вантажопотоків та послідовності технологічних операцій. Це має важливе гігієнічне значення, оскільки уникнення перехресних або зустрічних потоків сприяє зменшенню ризику травматизму.

### 4.3.2 Заходи з організації мікроклімату у виробничих приміщеннях

Чисте повітря з необхідним хімічним складом, оптимальною температурою, вологістю та швидкістю руху має ключове значення для нормальної життєдіяльності людини. Ці параметри регламентуються відповідними нормативними документами [42].

Для забезпечення зазначених умов застосовуються заходи з опалення та вентиляції, які розробляються згідно з нормативними вимогами.

Опалення у виробничих приміщеннях зазвичай реалізується у вигляді повітряного обігріву, поєднаного з припливною вентиляцією. Приплив свіжого повітря забезпечується великими вентиляційними установками, згрупованими для ефективної роботи [44-45].

У зонах, де умови формування повітряного потоку дозволяють створити необхідний мікроклімат, зокрема відповідну температуру, рухливість повітря (0,15-0,3 м/с) і мінімізацію пиловиділень, використовується струминна подача повітря [45].

Для приміщень з невеликою висотою та щільним розташуванням обладнання застосовуються повітророзподільні насадки, які подають повітря безпосередньо в робочу зону.Вентиляції в цеху здійснюється за допомогою великих централізованих установок. Приплив повітря в цех здійснюється десятьма припливними системами загальною продуктивністю 600000 $м^3$/год. Крім того, для поліпшення мікроклімату на робочих місцях сталеварів

передбачена подача повітря чотирма (по числу електродугових печей) душуючими пристроями загального кондиціювання. Продуктивність кожної душуючої установки 20000 м$^3$/год. Роздача повітря проводиться через перфоровані повітряводи на висоті близько 3 метрів від підлоги .

### 4.3.3 Визначення загального повітрообміну по тепловиділенням

Розрахунок ведеться відповідно до відомої методики і зводиться до визначення надлишків теплоти й розрахунку кількості повітря на її асиміляцію.

Кількість необхідного припливного повітря визначається по формулі:

$$L_{пр} = \frac{Q - C_в\left(t_{р.з} - t_{пр}\right)}{C_в\left(t_{ух} - t_{пр}\right)} + L_{м.о} \text{ м}^3/\text{с}, \qquad (4.1)$$

де Q – надлишок явної теплоти в приміщенні, Q = 4200 Вт/м$^2$;

$L_{м.об}$ – кількість повітря, що видаляється з робочої зони місцевими відсосами, $L_{м.про}$ = 17 м$^3$/с;

$C_в$ – теплоємність повітря, $C_в$ = 1,005кДж/(м$^3 \cdot {}^0$С);

$t_{р.з.}$ – температура робочої зони, $t_{р.з.} = 39^0$С;

$t_{пр.}$ – температура припливного повітря, $t_{пр.} = 27^0$С;

$t_{ух}$ – температура повітря, що видаляється з-під стелі виробничої зони приміщення, $^0$С.

Температура повітря, що видаляється, $t_{ух}$ визначають по формулі:

$$t_{ух} = \frac{t_{р.з.} - (1-m)\cdot t_{пр}}{m}, {}^0\text{С} \qquad (4.2)$$

де m – коефіцієнт, що залежить від співвідношення площі устаткування, що генерує теплові надлишкові виділення до загальної площі виробничого приміщення, m = 0,4

$$t_{ух} = \frac{39 - (1 - 0{,}4) \cdot 27}{0{,}4} = 57\,^{0}C$$

Таким чином, необхідна кількість повітря, що надходить у цех, становить:

$$L_{пр} = \frac{4200 - 1{,}005(39 - 27)}{1{,}005 \cdot (57 - 27)} + 17 = 155{,}9 \text{ м}^3/\text{с}$$

Наявні технічні рішення задовольняють виконання визначених умов.

### 4.3.4 Освітлення

Раціональне освітлення відіграє важливу роль у забезпеченні сприятливих умов праці. Недостатнє освітлення ускладнює виконання робіт, знижує продуктивність і може стати причиною нещасних випадків або погіршення зору робітника. Освітлення може здійснюватися природним і штучним світлом.

Природне освітлення здійснюється через вікна в бічних стінах (бічні). Через верхні світлові прорізи, ліхтарі (верхні) або обома способами одночасно (комбіноване освітлення) [46].

Відповідно до «вказівок по проєктуванню електричного освітлення виробничих будівель» під час нормального функціонування освітлювальної установки освітленість приміщень і робочих поверхонь повинна бути не менш значень, зазначених у таблиці 4.2.

Аварійне освітлення у всіх випадках становить 0,3 лк, а коефіцієнт запасу дорівнює 1,7. При виборі рішень по висвітленню основне значення мають наступні фактори:

– відсутність точних зорових робіт і вкрай несприятливі умови середовища спричиняють вибір як джерела світла винятково ламп накалювання або газорозрядних. Люмінесцентні лампи застосовуються тільки в ізольованих електроприміщеннях;

– у зонах із високим рівнем запиленості освітлювальні прилади встановлюють у зручних для обслуговування місцях, використовуючи пилонепроникні світильники типів СХ і ПВЛП.;

– має бути передбачене аварійне освітлення у всіх виробничих і перохідних приміщеннях через небезпеку знаходження в них у темряві.

– для забезпечення можливості виробництва ремонтних робіт й огляду внутрішніх порожнин застосовують переносне освітлення.

Таблиця 4.2 – Карти освітленості для електросталеплавильного цеху

| Найменування відділення, ділянки, робочого місця й допоміжних приміщень | Розряд зорової роботи | Освітленість, (лк) і коефіцієнт запасу | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | При люмінесцентних лампах | | | При лампах накалювання | | |
| | | Система комб. освітлення | Система загального освітлення | Коефіц. запасу | Система комб. освітлення | Система загального освітлення | Коефіц. запасу |
| Грубний і розливний прольоти | VII | 150 | 150 | 1,8 | – | 50 | 1,5 |
| Вертикальна поверхня печей | VII | 150 | 150 | 1,8 | – | 50 | 1,5 |
| Пульти керування печами | IV | 1000 | 300 | 1,5 | 500 | 150 | 1,3 |

Для проведення ремонтних робіт обладнання передбачено використання штучного освітлення.

На промислових підприємствах штучне освітлення поділяється на кілька видів:

– Робоче освітлення – забезпечує умови для виконання робіт вночі або в приміщеннях із недостатнім природним освітленням.
– Аварійне освітлення – використовується під час аварійного відключення основного робочого освітлення для забезпечення можливості продовження роботи.
– Евакуаційне освітлення – підвид аварійного освітлення, що створює умови для безпечної евакуації людей у разі вимкнення основного освітлення.
– Охоронне освітлення – призначене для контролю за територією підприємства.

За необхідності частина світильників будь-якого з видів освітлення може бути використана для чергового освітлення.

Штучне освітлення проєктується за двома системами:

1. Загальне освітлення – забезпечує рівномірне або локалізоване освітлення з урахуванням розташування робочих місць.

2. Комбіноване освітлення – поєднує загальне освітлення з додатковим місцевим освітленням у робочих зонах.

Використання виключно місцевого освітлення не допускається, оскільки контраст між яскраво освітленими ділянками та затемненими зонами спричиняє стомлення очей, знижує продуктивність роботи й може стати причиною нещасних випадків. Відповідно до [46], для приміщень, де виконуються роботи 6-го розряду, такі як спостереження за перебігом виробничого процесу, передбачається комбіноване освітлення.

Природне освітлення регламентується нормативами, основним показником яких є коефіцієнт природної освітленості (КПО).

Оскільки ПрАТ «Дніпроспецсталь» розташоване у 4-му поясі світлового клімату, значення коефіцієнта природної освітленості можна розраховувати за формулою:

$$КПО_{ln}^{4} = КПО_{ln}^{3} \cdot m \cdot e = 1{,}8 \cdot 0{,}9 \cdot 0{,}85 = 1{,}38\%, \qquad (4.3)$$

де $КПО^{3}_{ln}$ – значення коефіцієнт природної освітленості для порівняльного поясу світлового клімату;

m – коефіцієнт, що визначає світловий клімат;

e – коефіцієнт, що визначає сонячність у відповідному поясі світлового клімату.

Досягнення обов'язкової освітленності величиною не менше ніж сімдесят п'ять відсотків від максимальної можливе використанням комбінованої системи освітлення.

### 4.3.5 Організація санітарно-побутових приміщень

Цех розташовується з підвітряної сторони стосовно житлового району, а також до цехів, що не є джерелами виділення шкідливостей у навколишнє середовище й до адміністративно-побутових будинків.

Передбачено санітарно-побутові приміщення: гардеробні для зберігання одягу, умивальні й душові, убиральні, здравпункт й ін. згідно вимог БНІП 2.09.04-87.

Висота поверхів 3,3 м (від підлоги до підлоги). Одяг зберігають у гардеробних закритим способом (у закритих шафах). Приміщення для знепилення одягу влаштовані суміжними із приміщеннями для зберігання робочого одягу. Умивальні розміщають в окремих приміщеннях суміжних з гардеробними. В цеху також передбачені додаткові вмивальники з душовими сітками й підводкою теплої води [41].

## 4.4 Організація техногенної та пожежної безпеки

Цех за категорією пожежної небезпеки належить до групи Г (для негорючих речовин в гарячому стані). Адміністративна будівля цеху має III ступінь вогнестійкості, відповідно до ДБН 1.1.-7.2002. Це означає, що будівля

має несучі конструкції, огороджені природними або штучними кам'яними матеріалами, бетоном або залізобетоном із використанням негорючих листових та плиткових матеріалів [47].

Згідно [48-49] цехові конструкції мають забезпечувати вогнестійкість в наступних межах:

– сходи та несучі клітки – 1 година;

– самонесучі конструкції – 0,5 години;

– зовнішні несучі конструкції – 0,25 години;

– внутрішні несучі конструкції – 0,25 години;

– колони – 1 година;

– сходові майданчики, щаблі, балки, марші сходових кліток – 0,5 години;

– плити, настили та інші несучі конструкційні перекриття – 0,75 години.

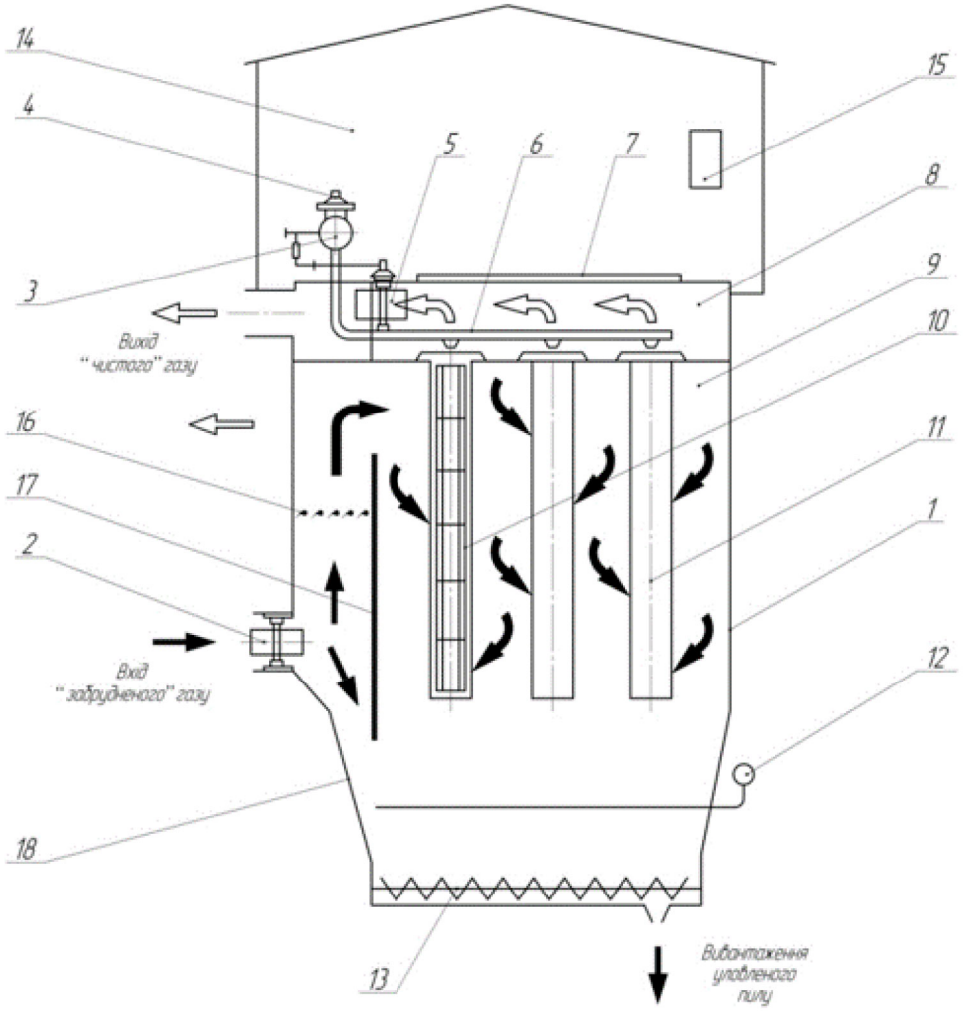
Первинними засобами пожежогасіння в цеху є: вогнегасники вуглецеві, та вуглецево-порошкові типу ВП10 та ВВ2 (мінімум 19 штук), ВВ-2 (14 шт.), вогнегасники водо-пінні типу ВВП-6 ( мінімум 8 шт.), а також пожежний інвентар, включаючи покривала з негорючого теплоізоляційного матеріалу, ємності з піском, окремо ємності з водою, пожежні цебра, лопати, багри, ломи, сокири та інші інструменти. У цеху також є внутрішній протипожежний водопровід з пожежними кранами та рукавами.

На території цеху заборонено:

– закривати та/або захаращувати проїзди, під'їзди та підходи до будівлі, водопроводів та пожежних гідрантів;
– до вогневих робіт можуть допускатися тільки ті особи, які пройшли обов’язковий інструктаж з пожежного мінімуму;
– використовувати воду з пожежних водойм і засоби пожежогасіння не для локалізації аварії техногенного характеру або пожежі;
– користуватися відкритим вогнем під час огляду обладнання та комунікацій.

## 4.5 Дослідження можливості покращення екологічних показників цеху та розрахунок рукавного фільтра

Рукавний фільтр з імпульсною регенерацією ФРІР-7000 призначений для очистки промислових газів з робочою температурою не більше 135°С, (короткочасно допустима 150°С) (рисунок 4.1).




1 – корпус фільтру; 2 – відсічний клапан; 3 – накопичувач стисненого повітря; 4 – продувний клапан; 5 – клапан відсічний; 6 – розподільний колектор; 7 – відкидна кришка; 8 – камера «чистого» газу; 9 – камера «забрудненого» газу; 10 – каркас рукава; 11 – фільтрувальний рукав; 12 – система пневмообвалення; 13 – вузол вивантаження пилу; 14 – шатер фільтру; 15 – пристрій управління регенерацією; 16 – аеродинамічна решітка; 17 – відбійний щит; 18 – бункер.

Рисунок 4.1 – Схема роботи рукавного фільтру

Запилене аспіраційне повітря поступає в колектор «забрудненого» газу. Напрямок руху газового потоку в колекторі організовано так, щоб запилене аспіраційне повітря потрапляло в міжрукавний простір кожної секції фільтра і, рівномірно розподіляючись по секції, спрямовувалося вниз. Схема руху «чистого» газу представлена на рис. 4.1.

Запилений газ з міжрукавного простору фільтра потрапляє через фільтрувальні рукава, рухаючись ззовні всередину. При цьому пил відділяється перегородкою з фільтрувального полотну. Дротяні каркаси, розміщені всередині фільтрувальних рукавів, підтримують їх форму, запобігаючи їх стисканню.

Для відновлення фільтруючої здатності рукавів періодично здійснюється їх регенерація. При досягненні опору рукавного фільтру 200 мм автоматично включається система регенерації. При короткочасному відкритті продувних клапанів з накопичувачів стисненого повітря подається стиснене повітря по рядно в розподільні колектори протягом імпульсу з надмірним тиском 0,4-0,5 МПа. Потім через сопла розподільних колекторів стиснене повітря з великою швидкістю минає в фільтровальні рукава.

Продувне повітря у вигляді ударної хвилі попадає в фільтровальний рукав. При цьому наростає відповідний противотиск. Перед подачею імпульсу рукав щільно прилягає до корпусу дротяного каркасу, після чого різко роздувається до повного об'єму. У кінцевому положенні його рух різко сповільнюється, а частки, завдяки інерції, продовжують свій шлях і відриваються від зовнішньої поверхні фільтрувального рукава.

Частки пилу з внутрішньої поверхні фільтрувального полотна виганяються потужним, але коротким струменем повітря назад у напрямку до «забрудненого» газу.

Виділений пил осідає в бункери фільтру. Після зачинення відсічного клапану очищенні рукава знову готові до процесу фільтрування. У відповідності з заданою тривалістю такту всі ряди рукавів будуть в визначеній послідовності переключатись у положення регенерації на час тривалості імпульсу [50-52].

Виконаємо розрахунок рукавного фільтра виготовленого із поліефірного іглопробивного полотна з каркасом із філаментних ниток, призначений для очистки газів печей ДСВ-40 і піч-ківш електросталеплавильного виробництва.

Допустима температура газів для поліефірного іглопробивного полотна з каркасом із філаментних ниток дорівнює 135°С.

Підсос повітря з температурою $T_п$=30°С, необхідний для охолодження повітря перед фільтром з $T_г$=150°С до $T_{см}$=135°С:

$$\frac{V_П}{V} = \frac{T_Г - T_{СМ}}{T_{СМ} - T_П}, \tag{4.4}$$

де $T_г$ = 150°С – температура газів, охолоджених в поверхневих холодильниках;

$T_{см}$ = 135°С – допустима температура газів для матеріалу;

$T_п$ = 30°С – температура підсосу повітря.

Підставивши числові значення в (4.4), одержимо:

$$\frac{V_П}{V} = \frac{150 - 135}{135 - 30} = 0{,}14.$$

Повний об’єм витрачення газів, поступаючих на фільтрацію, при нормальних умовах :

$$V_0' = \frac{(V_0 + 0{,}14 \cdot V_0) \cdot 1{,}25}{3600}, \tag{4.5}$$

де $V_0$ = 250000 м$^3$/год. − об’ємна витрата газів при н.у. ;

0,14 – коефіцієнт, враховуючий підсос повітря перед рукавним фільтром;

1,25 – коефіцієнт, враховуючий витрату повітря зворотної продувки, який дорівнює 25% витрат підведених до фільтру газів.

Підставивши числові значення в (4.5), одержимо:

$$V_0' = \frac{(250000 + 0{,}14 \cdot 250000) \cdot 1{,}25}{3600} = 99 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Об'ємна витрата газів, поступаючих на фільтрацію, при н.у.:

$$V = V_0' \cdot \frac{(273 + T_{СМ}) \cdot P_{бар}}{273 \cdot (P_{бар} \pm P_Г)}, \quad (4.6)$$

де $P_{бар}$ = 101,3 кПа – барометричний тиск;

$P_г$ = -200 Па – розрідження перед фільтром.

Підставивши числові значення в (4.6), одержимо:

$$V = 99 \cdot \frac{(273 + 135) \cdot 101{,}3}{273 \cdot (101{,}3 - 0{,}2)} = 148{,}2 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Площа необхідної активної фільтруючої поверхні:

$$F_a = \frac{V}{W_Ф}, \quad (4.7)$$

де $W_ф$= 0,025 м$^3$/(м$^2$·с) – газове навантаження.

Підставивши числові значення в (7.4), одержимо:

$$F_a = \frac{148{,}2}{0{,}025} = 5928 \text{ м}^2.$$

Приймаємо для встановлення один дванадцятисекційний фільтр ФРІР-7000 з площею фільтрації 7000 м$^2$. Враховуючи що в фільтрі одна секція (583,3 м$^2$) буде знаходитись на регенерації, активна поверхня фільтрації: $F_a' = 7000 - 583{,}3 = 6416{,}7 \text{ м}^2$, що близько к отриманої по розрахунку.

Фактичне газове навантаження фільтру:

$$W'_{Ф} = \frac{V}{F'_{а}}, \qquad (4.8)$$

де $F'_{а} = 6416{,}7 м^2$ – активна поверхня фільтрації.

Підставивши числові значення в (4.8), одержимо:

$$W'_{Ф} = \frac{148{,}2}{6416{,}7} = 0{,}0231 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с}).$$

Динамічна в'язкість газів при н.у. :

$$\mu = \mu_0 \cdot \frac{273 + C}{T_{СМ} + 273 + C} \cdot \left( \frac{T_{СМ} + 273}{273} \right)^{1,5}, \qquad (4.9)$$

де С = 124 – константа Сезерленда;

$\mu_o = 17{,}9 \cdot 10^{-6}$ Па·с – динамічна в'язкість газів при нормальних умовах.

Підставивши числові значення в (4.9), одержимо:

$$\mu = 17{,}9 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{273 + 124}{135 + 273 + 124} \cdot \left( \frac{135 + 273}{273} \right)^{1,5} = 24{,}4 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Коефіцієнти фільтрації:

$$A = 0{,}475 \cdot \frac{(1 - \varepsilon_{П})^2}{\varepsilon_{Т}^{3,24} \cdot \varepsilon_{П}^{3} \cdot \alpha^{1,77}}, \qquad (4.10)$$

де $\varepsilon_т = 0{,}83$ – пористість тканини;

$\varepsilon_п = 0{,}85$ – пористість часток пилу;

$\alpha = 10^{-6}$ – коефіцієнт.

Підставивши числові значення в (4.10), одержимо:

$$A = 0{,}475 \cdot \frac{(1-0{,}85)^2}{0{,}83^{3{,}24} \cdot 0{,}85^3 \cdot (10^{-6})^{1{,}77}} = 1327 \cdot 10^6.$$

$$B = \frac{817 \cdot (1-\varepsilon_П)}{\alpha^2 \cdot \varepsilon_П^2 \cdot \rho_П}, \qquad (4.11)$$

де $\rho_п$= 5500 кг/м$^3$ – щільність часток пилу.

Підставивши числові значення в (7.8), одержимо:

$$B = \frac{817 \cdot (1-0{,}85)}{(10^{-6})^2 \cdot 0{,}85^2 \cdot 5500} = 30{,}84 \cdot 10^9.$$

Гідравлічний опір тканини:

$$\Delta P_1 = A \cdot W'_Ф \cdot \mu \ . \qquad (4.12)$$

Підставивши числові значення в (4.9), одержимо:

$$\Delta P_1 = 1327 \cdot 10^6 \cdot 0{,}0231 \cdot 24{,}4 \cdot 10^{-6} = 748 \text{ Па}.$$

Час міжрегенераційного періоду:

$$t_р = \frac{\Delta P / (W'_Ф \cdot \mu) - A}{B \cdot W'_Ф \cdot z_1}, \qquad (4.13)$$

де ΔР =1000 Па - максимально допустимий перепад тиску на фільтрі;

$z_1$ = 10 г/м$^3$ – концентрація пилу в газах перед фільтром.

Підставивши числові значення в (4.14), одержимо:

$$t_р = \frac{1000/\left(0{,}0231 \cdot 24{,}4 \cdot 10^{-6}\right) - 1327 \cdot 10^{6}}{30{,}84 \cdot 10^{9} \cdot 0{,}0231 \cdot 10 \cdot 10^{-3}} = 62{,}8 \text{ с.}$$

Маса пилу, затриманої 1 м$^2$ площі фільтруючої поверхні:

$$M_1 = z_1 \cdot W'_Ф \cdot t_р, \qquad (4.14)$$

Підставивши числові значення в (4.14), одержимо:

$$M_1 = 10 \cdot 10^{-3} \cdot 0{,}0231 \cdot 62{,}8 = 1{,}45 \cdot 10^{-2} \text{ кг.}$$

Гідравлічний опір шару пилу:

$$\Delta P_2 = B \cdot M_1 \cdot W'_Ф \cdot \mu, \qquad (4.15)$$

Підставивши числові значення в (7.12), одержимо:

$$\Delta P_2 = 30{,}84 \cdot 10^{9} \cdot 1{,}45 \cdot 10^{-2} \cdot 0{,}0231 \cdot 24{,}4 \cdot 10^{-6} = 252 \text{ Па.}$$

Сумарний опір тканини і шару пилу:

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2, \qquad (4.16)$$

Підставивши числові значення в (4.16), одержимо:

$$\Delta P = 748 + 252 = 1000 \text{ Па.}$$

Що відповідає виробничим вимогам.

# ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Аналіз технології та обладнання електросталеплавильного цеху виявив, що однією з основних проблем є незадовільна робота приводу нахилу електродугової печі ДСВ 40.
2. Згідно з проведеним оглядом та аналізом технічної й патентної документації, визначено, що у світовій практиці для виплавки сталі електродуговим методом застосовуються різні конструкції печей. Однак, серед них найбільше поширення здобули моделі з подібними недоліками у вузлі нахилу, характерними для печі ДСВ 40 електросталеплавильного цеху ПрАТ «Дніпроспецсталь».
3. Завдяки запропонованій модернізації приводу нахилу печі, що передбачає кардинальну зміну конструкції гідравлічного приводу, можна досягти таких результатів: підвищення продуктивності, продовження терміну експлуатації та збільшення інтервалів між ремонтами.
4. За виконаними розрахунками на міцність найбільш навантажених елементів та вузлів гідравлічного приводу печі підтверджено високу ефективність і надійність запропонованого обладнання.
5. Розроблена методика експериментального визначення навантажень на вузли електромеханічного приводу механізму нахилу дозволила виявити «вузькі» місця такого типу приводу. Отримані результати експериментальних досліджень підтверджують вірність обраних рішень з модернізації вузла механізму нахилу електродугової печі.
6. За результатами дослідження встановлено, що для уникнення виникнення автоколивань у запропонованому слідкуючому гідравлічному приводі необхідно застосовувати золотники з позитивним перекриттям щілин.
7. Результати роботи можуть бути використані не тільки на ПрАТ «Дніпроспецсталь», але також на виробничих підприємствах кольорової та чорної металургії, де встановлено та використовується типове обладнання для електродугового способу виплавки сталі.

# СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ


1. Теорія металургійних процесів. / Охотський В.Б. та інш. К.: ІЗМН, 1997. 512 с.
2. Величко О.Г., Стоянов О.М., Бойченко Б.М. Технології підвищення якості сталі. Дніпропетровськ: Системні технології, 2009. 212 с.
3. Федорінов В. А., Доброносов Ю. К. Технологічні лінії та комплекси металургійних цехів: конспект лекцій. Краматорськ : ДДМА, 2019. 44 с.
4. Сталеплавильне виробництво - Виробництво та виробничі потужності - Компанія - Дніпроспецсталь. *Дніпроспецсталь*. URL: http://www.dss-ua.com/ukr/company/production/steel-making-production/ (дата звернення: 24.01.2024).
5. Дніпроспецсталь - Green Steel. *Green Steel*. URL: https://greensteel.com.ua/pidpryyemstva-zelenoyi-metalurgiyi-v-ukrayini/dniprospeczstal/ (дата звернення: 24.01.2024).
6. Політика в області якості - Політика в області якості - Якість та сертифікація - Компанія - Дніпроспецсталь. *Дніпроспецсталь*. URL: http://www.dss-ua.com/ukr/company/quality/index/index.wbp (дата звернення: 24.01.2024).
7. Марочний та профільний сортамент - Продажі - Дніпроспецсталь. *Дніпроспецсталь*. URL: http://www.dss-ua.com/ukr/product/grades/ (дата звернення: 24.01.2024).
8. ДСТУ EN 10088-1:2008 Сталі нержавкі. Частина 1. Перелік нержавких сталей (EN 10088-1:2005, IDT)
9. Повний перелік нержавіючих марок сталі - Нержавіюча сталь - Марочний та профільний сортамент - Продажі - Дніпроспецсталь. *Дніпроспецсталь*. URL: http://www.dss-ua.com/ukr/product/grades/stainless_steel/catalogue.wbp?catalog.page=6 (дата звернення: 25.01.2024).

10. Гречаний О. М., Васильченко Т.О., Мозгов Д. М. Дослідження шляхів підвищення надійності механізму нахилу електродугової печі. *Матеріали IV-ої Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології промислового комплексу: базові процесні інновації – 2018»*. 2018. № 4. С. 84-87.
11. Brown F. The steelworks electric arc furnace. *Students Quarterly Journal*. 1951. Vol. 22, no. 85. P. 9. URL: https://doi.org/10.1049/sqj.1951.0044
12. Karbowniczek M. Construction of Electric Arc Furnaces. *Electric Arc Furnace Steelmaking*. Boca Raton, 2021. P. 19–67. URL: https://doi.org/10.1201/9781003130949-3
13. Smutts-Müller D. Electric arc furnace steelmaking. [Cambridge] : Hobsons, 1990
14. The Electric arc furnace, 1990 / ed. by International Iron and Steel Institute. Committee on Technology. Brussels, Belgium : International Iron and Steel Institute, 1990
15. Wilson W. S., Guichelaar P. J. Electric Arc Furnace Processes. Carbide, Nitride and Boride Materials Synthesis and Processing. Dordrecht, 1997. P. 131–136. URL: https://doi.org/10.1007/978-94-009-0071-4_5
16. Toulouevski Y. N., Zinurov I. Y. Implementation of New Technology. *Electric Arc Furnace with Flat Bath*. Cham, 2015. P. 25–43. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-319-15886-0_2
17. Toulouevski Y. N., Zinurov I. Y. Fuel Arc Furnace FAF with Flat Bath: Steel Melting Aggregate of the Future. Electric Arc Furnace with Flat Bath. Cham, 2015. P. 117–132. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-319-15886-0_6 (
18. Maia T. A. C., Onofri V. C. Survey on the electric arc furnace and ladle furnace electric system. *Ironmaking & Steelmaking*. 2022. P. 1–18. URL: https://doi.org/10.1080/03019233.2022.2128550
19. Shiqi L., Jue Z., Kuangdi X. Electric Arc Furnace Steelmaking. *The ECPH Encyclopedia of Mining and Metallurgy*. Singapore, 2023. P. 1–4. URL: https://doi.org/10.1007/978-981-19-0740-1_951-1

20. Жук А. Я., Желябіна Н. К. Основи розрахунків приводів машин: навч. посіб. Запоріжжя: ЗДІА, 1996. 145 с.
21. Сидоренко В.П., Яхно О.М. Гідравлика та гідроприводи. Київ: Університет «Україна», 2008. 163 с.
22. Тарасов В.К., Новокщонова О.В. Гідравліка, гідро- та пневмопривод: навч.-метод. посіб. Запоріжжя: Видавництво ЗДІА, 2010. 132 с.
23. Мандрус В.І., Лещий Н.П., Звягін В.М. Машинобудівна гідравліка. Задачі та приклади розрахунків. Львів: Світ, 1995. 264 с
24. Герасимчук О.П., Селезньов Е.Л., Шимчук С.П. Гідравліка, гідро- та пневмоприводи: навч. посіб. Луцьк : Луцький НТУ, 2019. 168 с.
25. Кулінченко В.Р. Гідравліка, гідравлічні машини і гідропривід. К.: Інкос, 2006. 616 с
26. Електросталеплавильні печі. Конструкція електрометалургійних агрегатів - *Головна сторінка*. URL: https://kema.at.ua/book11.html (дата звернення: 26.07.2024).
27. Жук А. Я., Желябіна Н. К., Малишев Г. П. Основи наукових досліджень. Книга 1. Теоретичні дослідження: навч. посіб. Запоріжжя: ЗДІА, 2008. 195 с.
28. Гідравліка, гідромашини та гідропневмоавтоматика: підруч. для студентів вищ. техн. навч. закл / Л. Є. Пелевін та ін. Київ: КНУБА, 2015. 340 с.
29. Востоцький С.М. Основи наукових досліджень та техніка експерименту: метод. вказівки. Запоріжжя: ЗДІА, 2016, 80 с.
30. Жук А. Я., Желябіна Н. К., Малишев Г. П. Основи наукових досліджень. Книга 2. Експериментальні дослідження: навч.-метод. посіб. Запоріжжя: ЗДІА, 2008. 183 с.
31. Жук А. Я., Желябіна Н. К., Малишев Г. П. Основи наукових досліджень в сфері практичної механіки. Книга 2. Експериментальні дослідження: навч посіб. К.: Кондор-Видавництво, 2012. 224 с.

32. Параска Г. Б., Прибега Д. В., Майдан П. С. Методи та засоби експериментальних досліджень : навч. посіб. Київ : Кондор Вид во, 2017. 138 с
33. Основи наукових досліджень / Г. Стрелкова та ін. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 120 с
34. Левицький Б. Ф., Лещій Н. П. Гідравліка: загальний курс. Підручник.,. – Львів : Світ, 1994. 264 с.
35. Гідроприводи та гідропневмоавтоматика : підручник / В. О. Федорець та ін. К. : Вища шк. 1995. 463 с.
36. Чекулаєв Є.Ф. Виконавчі механізми і регулюючі органи: навч. посіб. Краматорськ: ДДМА, 2018. 196с.
37. Гідропривод слідкуючої дії – Wiki ТНТУ. *Wiki ТНТУ*. URL: https://wiki.tntu.edu.ua/Гідропривод_слідкуючої_дії (дата звернення: 27.11.2024).
38. Жук А. Я., Малишев Г. П. Основи технічного діагностування: навч.-метод. посіб. Запоріжжя: ЗДІА, 2007. 114 с.
39. Охорона праці на гірничо-металургійному підприємстві: навч. посібник. Ч.І: Металургійний комплекс. / В.О.Шеремет та ін. Дніпропетровськ: Січ, 2002. 375 с.
40. Ткачук К. Н. Охорона праці та промислова безпека. Навч.посіб. / К. Н. Ткачук. та ін. К: Основа, 2009. 360 с.
41. ДБН В.2.2–28:2010. Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення. Чинний від 2011–10–01. Вид. офіц.
42. ДСП 3.3.1.038–99. Підприємства чорної металургії. Чинний від 1999–12–01. Вид. офіц.
43. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень
44. ДСТУ 2894–94. Пристрої екранувальні для захисту від інфрачервоного випромінювання. Параметри та загальні технічні вимоги. Чинний від 1996–01–01. Вид. офіц. 1994.

45. ДСТУ EN 12097:2022. Вентиляція будівель. Повітроводи. Вимоги до складових повітроводів для полегшення обслуговування систем повітроводів. На заміну EN 12097:2006, IDT ; чинний від 2024-09-01. Вид. офіц. 2024.
46. ДБН В.2.5-28-2006. Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення [Електронний ресурс] // Мінбуд України. – 2006. – Режим доступу до ресурсу: http://www.gorsvet.kiev.ua/wp-content/uploads/2016/08/ДБН-В.2.5-28-2006.pdf.
47. ДБН В.1.1–7:2016.Пожежна безпека об'єктів будівництва Загальні вимоги [Електронний ресурс] // Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово–комунального господарства України. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: http://kbu.org.ua/assets/app/documents/dbn2/32.1.%20ДБН%20В.1.1–7~2016.%20Пожежна%20безпека%20об’єктів%20будівни.pdf.
48. СОУ 40.1–21677681–60:2012. Протипожежний захист машзалів електростанцій. Правила проектування та експлуатації протипожежного устаткування. На заміну НАПБ 05.030–2001 (ГКД 343.001.003.001–2001) ; чинний від 2012–03–29. Вид. офіц.
49. НАПБ А.01.001–2014. Правила пожежної безпеки в Україні. На заміну НАПБ А.01.001–2004 Правила пожежної безпеки в Україні ; чинний від 2023–04–07. Вид. офіц. 2014.
50. Геврик Е. О. Охорона праці. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. / Е. О. Геврик. – К: Ельга, Ніка–центр, 2003. – 280 с.
51. НПАОП 27.0-1.01-08 Правила охорони праці в металургійній промисловості.
52. Румянцев В. Р. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці та техногенна безпека» у дипломних роботах (проектах) для студентів ЗДІА спеціальностей МЧМ, МБ та інші / В. Р. Румянцев, І. О. Ткаліч. – Запоріжжя: ЗДІА, 2012. – 16 с.

# СПИСОК ГРАФІЧНОГО МАТЕРІАЛУ

| № п/п | Найменування | Кільк. листів | Формат |
|---|---|---|---|
| 1 | Піч ДСВ-40 | 2 | А1 |
| 2 | Механізм нахилу печі ДСВ-40 (модернізація) | 1 | А1 |
| 3 | Циліндр гідравлічний | 1 | А1 |
| 4 | Деталіровка (втулка, поршень,фланець, циліндр) | 4 | А3 |
| 5 | Логічно-структурна схема обладнання для дослідження роботи механізму нахилу печі | 1 | А1 |
| 6 | Результати дослідження розподілу навантажень на вузли механізму нахилу електродугової печі | 1 | А1 |

# ДОДАТКИ