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 БАКАЛАВРА

На тему Удосконалення механізму відкриття заслінки електродугової печі ДСВ-25

Виконав: студент групи 6.1333-с2

Гавриш О. С.
(ПІБ) (підпис)

спеціальності

133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

спеціалізація

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма
Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

Керівник Шейко С.П.
(прізвище та ініціали) (підпис)

Н.контроль Гречаний О.М.
(прізвище та ініціали) (підпис)

Запоріжжя – 2026 року

Запорізький національний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

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

Кафедра металургійного обладнання

Рівень вищої освіти бакалавр
(перший (бакалаврський) рівень)

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

Спеціалізація
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма Галузеве машинобудування
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедрою А.О. Власов

_____

“____”_____20___ року

Завдання
до випускної кваліфікаційної роботи бакалавра

Гавриша Олега Сергійовича
(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Удосконалення механізму відкриття заслінки електродугової печі ДСВ-25
керівник кваліфікаційної роботи професор, канд.техн. наук Шейко С.П.
затверджені наказом вищого навчального закладу від “23“ грудня 2025 року № 1831-с.
2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи 13 червня 2026 року.
3. Вихідні дані кваліфікаційної роботи техніко-економічні показники роботи цеху з виробництва феротитану
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Загальна частина; 2. Спеціальна частина; 3. Експлуатаційна частина; 4. Охорона праці та техногенна безпека. Загальні висновки та рекомендації
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень): 1. Дугова сталеплавильна електропіч ДСВ-25 – 2А1; 2. Механізм підйому заслінки робочого вікна (модернізація) – 1А1; 3. Деталювання (Кронштейн приводу рабочого вікна, поріг робочого вікна) – 1А1; 4. Схема гідравлічного приводу печі – 1А1; 5. Мережевий графік капітального ремонту дугової печі ДСВ-25 – 1А1; 6. Встановлення витяжної парасолі – 1А1.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Шейко С.П., канд.техн.наук, проф.кафедри		
2	Шейко С.П., канд.техн.наук, проф.кафедри		
3	Шейко С.П., канд.техн.наук, проф.кафедри		
4	Шейко С.П., канд.техн.наук, проф.кафедри		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційої роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітки
1	Збір матеріалу на проєктування	13.04.2026 – 04.05.2026	
2	Групування та аналіз зібраного матеріалу. Уточнення завдань проєктування	05.05.2026 – 10.05.2026	
3	Виконання теоретичної частини проєкту	11.05.2026 – 17.05.2026	
4	Виконання графічної частини проєкту	18.05.2026 – 31.05.2026	
5	Написання та оформлення пояснювальної записки	01.06.2026 – 09.06.2026	
6	Перевірка проєкту консультантами	10.06.2025 – 11.06.2025	
7	Попередній захист проєкту	12.06.2025	
8	Переплітання пояснювальної записки	Згідно з графіком	
9	Захист проєкту	Згідно з графіком	

Здобувач _____ Гавриш О. С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Шейко С. П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Гавриш О. С. Удосконалення механізму відкриття заслінки електродугової печі ДСВ-25

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти бакалавр за спеціальність 133 – Галузеве машинобудування, керівник С.П. Шейко. Запорізький національний університет, Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні, кафедра металургійного обладнання, 2026.

Проаналізовані переваги та недоліки конструктивного виконання приводу заслінки електродугової печі моделі ДСВ-25. Запропоновано варіант конструктивного удосконалення наявного приводу закриття та відкриття заслінки робочого вікна електродугової печі. Проведено аналіз та розрахунок найбільш навантажених вузлів електродугової печі. Розглянуті питання техногенної безпеки та екології електросталеплавильного виробництва.

Ключові слова: електродугова піч з викотним корпусом, робоче вікно, привод заслінки, привод, мережевий графік, витяжна парасоль

ABSTRACT

Havrysh O. S. Improvement of the Mechanism for Opening the Damper of the DSV-25 Electric Arc Furnace

Qualifying thesis for obtaining a bachelor's degree in higher education, specialty 133 – Industrial engineering, adviser S. P. Sheyko. Zaporizhzhia National University, Engineering Educational and Scientific Institute them. Yu.M. Potebni, Department of Metallurgical Equipment, 2026.

The advantages and disadvantages of the design of the electric arc furnace damper drive model DSV-25 are analyzed. A variant of the design improvement of the existing drive for closing and opening the damper of the working window of the electric arc furnace is proposed. The analysis and calculation of the most loaded nodes of the electric arc furnace are carried out. The issues of technogenic safety and ecology of electric steelmaking production are considered.

Keywords: electric arc furnace with a rolling body, working window, damper drive, drive, network diagram, exhaust umbrella

ЗМІСТ

ВСТУП 7
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА 8
1.1 Коротка технічна характарестика та вантажопотоки підприємства 8
1.2 Технологічний процес виплавки сталі та місце вньому електродугової печі типу ДСВ-25 13
1.3 Огляд та аналіз конструктивних особливостей електродугової печі з викотним корпусом типу ДСВ-25 з метою подальшого їхнього удосконалення 22
2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА 30
2.1 Розрахунок найбільш навантажених вузлів механізму нахилу печі 30
2.2 Перевірка конструкції гідроциліндра на міцність 53
2.3 Розрахунок приводу механізму переміщення заслінки робочого вікна 53
3 ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ЧАСТИНА 56
3.1 Аналіз та обгрунтування організації ремонтного господарства підприємства 56
3.2 Розробка річного графіка ППР сталеплавильного цеху 60
3.3 Складання мережевого графіка капітального ремонту електросталеплавильної печі ДСВ-25 63
3.4 Розрахунок річної трудомісткості поточних ремонтів устаткування цеху та складання штатного розпису обслуговуючого персоналу 68
3.5 Розрахунок облаштування для виконання монтажних робіт під час капітального ремонту електродугової печі 71
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА 79
4.1 Визначення небезпечних та шкідливих факторів електросталеплавильного цеху 79
4.2 Заходи щодо усунення впливу шумового та вібраційного навантаження на працівників цеху шкідливих і небезпечних чинників 81
4.3 Розробка засобів покращення мікроклімату на робочому місці 83

Висновки 85

Список використаної літератури 86

ДОДАТКИ 91

ВСТУП

Одним із ключових агрегатів електросталеплавильного виробництва є електродугова піч, від стабільності функціонування якої безпосередньо залежать продуктивність цеху, якість сталі та рівень енерговитрат. Водночас допоміжні механізми печі, зокрема система відкриття та закриття заслінки робочого вікна, відіграють важливу роль у забезпеченні безперервності технологічного процесу та безпеки обслуговуючого персоналу.

Практика експлуатації електродугових печей типу ДСВ-25 свідчить про наявність ряду конструктивних недоліків у механізмах відкриття заслінки, що проявляються у зниженій надійності приводу, підвищеному зношуванні елементів та складності технічного обслуговування. Це може призводити до простоїв обладнання, збільшення витрат на ремонт і створення потенційно небезпечних виробничих ситуацій. У зв’язку з цим актуальним є завдання удосконалення конструкції зазначеного механізму з метою підвищення його експлуатаційних характеристик.

Метою кваліфікаційної роботи є розроблення та обґрунтування технічних рішень щодо вдосконалення механізму відкриття заслінки електродугової печі ДСВ-25, спрямованих на підвищення його надійності, довговічності та ефективності роботи. Для досягнення поставленої мети необхідно виявити основні причини відмов і недоліків та запропонувати удосконалену конструкцію приводу з обґрунтуванням необхідними інженерними розрахунками.

Об’єктом дослідження є механізм відкриття заслінки електродугової печі типу ДСВ-25. Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості їх використання при модернізації існуючих електродугових печей, що дозволить зменшити кількість відмов обладнання, підвищити безпеку праці та покращити техніко-економічні показники виробництва.

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи містить 97 сторінок, на яких 20 рисунків, 5 таблиць, 7 додатків. Бібліографічний список має 47 найменувань літературних джерел.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Коротка технічна характарестика та вантажопотоки підприємства

Сталеплавильне виробництво підприємства ПрАТ «Дніпроспецсталь» представлене чотирма електросталеплавильними цехами, оснащеними відкритими основними дуговими електропечами місткістю від 20 до 60 тонн, однією індукційною піччю місткістю 7 тонн, агрегатом газокисневого рафінування, а також печами електрошлакового і вакуумно-дугового переплавов. Маса розливаємих на заводі сортових зливків від 0,215 до 7,4 тонни. Крім того, можливе відливання металу в товарні зливки масою від 8,9 до 14,7 тонн. Коротка технологічна схема виробництва наведена на риссунку 1.1 [1].

У сталеплавильному цеху № 1 встановлені електросталеплавильні печі ДСВ-25. Для виробництва жароміцних і прецизійних сплавів встановлена індукційна піч місткістю 8 тонн. У цеху діє установка напівбезперервного розливання стали, для виробництва квадратних електродів, що витрачаються, розміром 370 мм для електрошлакової переплавки і круглих діаметром 405 і 530 мм для вакуумно-дугової переплавки.

У сталеплавильному цеху № 2 встановлені електросталеплавильні печі ДСП- 50, конвертер газокисневого рафінування. А також установка піч-ківш для позапічної обробки та розкислювання і продування стали аргоном безпосередньо в ковші перед розливанням. Конвертер дозволяє виробляти низьковуглецеві корозійностійкі нержавіючі марки сталі чисті по неметалічних включення дуплекс процесом - відкрита дугова піч плюс конвертер (EAF+AOD).

У сталеплавильному цеху № 3 встановлені електросталеплавильні печі ДСВ-50. Для отримання металу з вищими якісними характеристиками напівпродукт, отриманий у відкритій дуговій печі, обробляють на установці піч-ківш фірми "Danieli". Перед розливанням сталь піддається позапічному вакуумуванню на устаткуванні фірми "Mannesmann Demag".

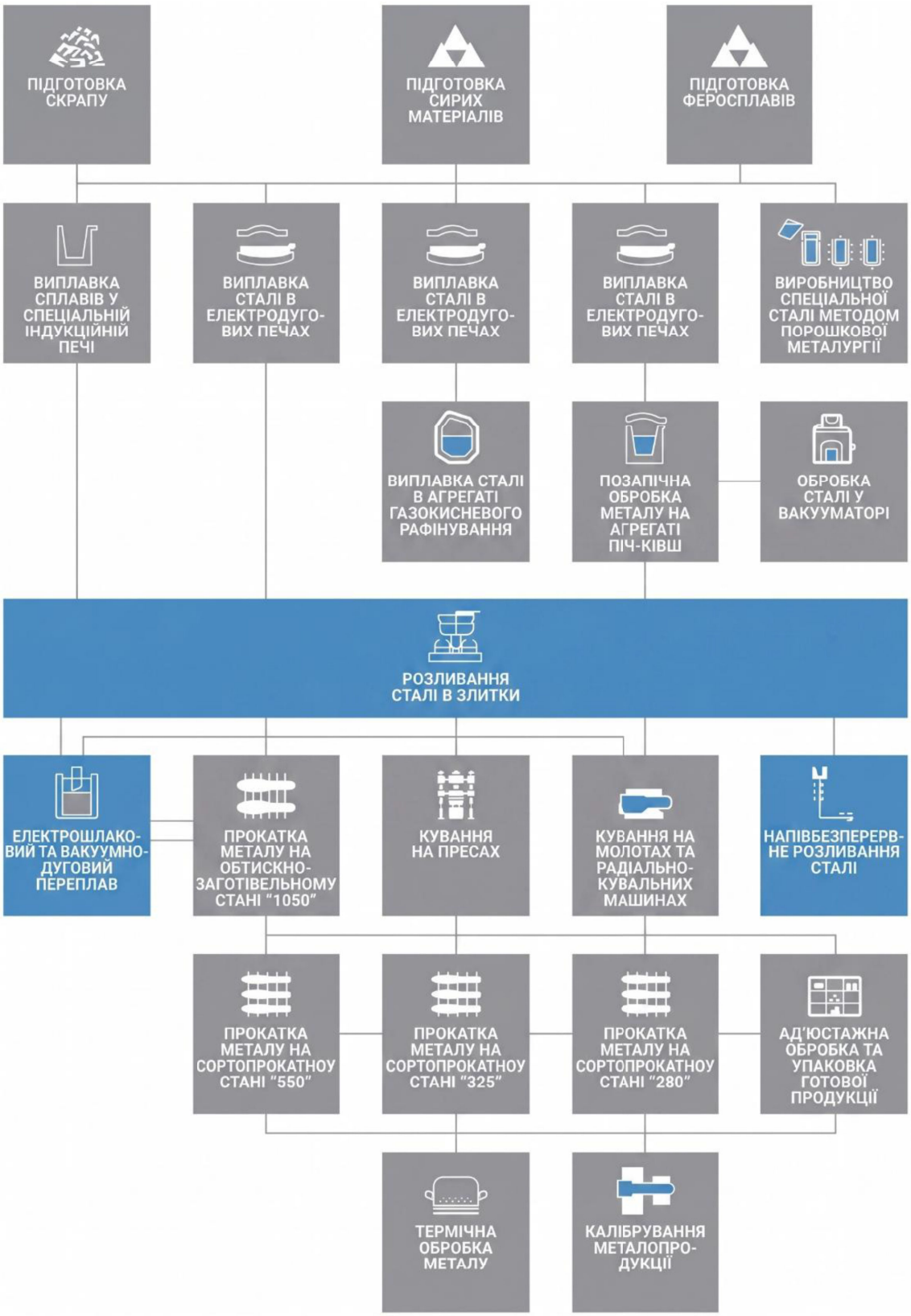


Рисунок 1.1 Коротка технологічна схема виробничого циклу підприємства

У сталеплавильному цеху № 5 встановлені печі електрошлакової і

вакуумно-дугового переплаву (ЕШП і ВДП), які дозволяють виплавляти сортові зливки масою від 0,9 до 6,0 тонн і товарні листові зливки масою 9,3÷20,0 тонн. Методом ЕШП виробляється високоякісна сталь, до якої висуваються підвищені вимоги по структурі металу і змісту шкідливих домішок і неметалічним включення. Електроди, що витрачаються, для ЕШП використовуються як відліті на установці напівбезперервного розливання сталі, так і ковані та катані, вироблені з сортових зливків.

З використанням вакуумно-дугового переплаву освоєно виробництво підшипникових, конструкційних, нержавіючих сталей і жароміцних сплавів на нікелевій і залізонікелевій основі. Метод ВДП дозволяє отримувати високоякісну сталь, чисту по неметалічних включення і з низькою газонасиченістю. Електроди, що витрачаються, для ВДП використовуються відліті на установці напівбезперервного розливання сталі і відліті в кокільні виливниці спеціальної форми.

У 1980 році введений в експлуатацію цех по виробництву інструментальної і швидкорізальної сталі методом порошкової металургії. Виплавка металу виробляється в індукційній печі місткістю 4 т, а вживані у виробництві методи холодного ізостатичного, а потім гарячого пресування в газостаті при температурі 1100°С - 1150°С і тиску 1000 атм. (процес ASEA - STORA) дозволяють отримувати метал з однорідною структурою без слідів карбідної сітки у вигляді пресувань діаметром 450 мм і масою 1.8 т. В цеху виробляються поковки круглого перерізу діаметром від 80 до 350 мм, завдовжки 1÷5 м. Фахівцями підприємства розроблені технології виробництва широкої гамми інструментальних ледебуритных марок сталі, в т.ч. високованадієвих (9-11 % V), безвольфрамових сталей. Сортамент сталей, що поставляються, виготовляються методом порошкової металургії від 1,9 до 350мм. Методом порошкової металургії освоєно більше 30 марок швидкорізальних і інструментальних сталей відповідно до ДСТУ, DIN і ASTM.

ПрАТ "Дніпроспецсталь" спеціалізується на виробництві сортового прокату різного перерізу. Плющення зливків масою 3.6÷7.4 т на заготівлю для

сортових станів, а також виробництво сортового прокату діаметром 130-280 мм здійснюється на обтисково-заготівельному стані "1050/950" [2].

На сортових станах "550", "325" і "280" за інтенсивними схемами і найбільш оптимальними калібруваннями обробка металу на адьюстажах механізована і виробляється на агрегатних лініях і високопродуктивних верстатах. Увесь метал може поставлятися з суцільною зачисткою або в обточеному стані. Відповідно до вимог замовників метал піддається ультразвуковому контролю на наявність внутрішніх дефектів за методикою SEP 1921.

У калібрувальному цеху виробляють холоднотягнуті прутки круглого перерізу, що калібруються, діаметром 2.0-45.0 мм (точність виготовлення по квалитету h11), прутки із спеціальною обробкою поверхні (квалитет точність h9 - h11) діаметром 1.9- 50.0 мм і шестигранні прутки, що калібруються, 14-36 мм. Калібрування прутков виробляється на ланцюгових волочильних станах зусиллям від 15 до 30 тонн, а також на бунтоволочильных станах. Підкат для калібрування поступає з станів "325" і "280" прокатного цеху [3].

Термообробка металу здійснюється в ковпакових газових і електричних печах із застосуванням захисної атмосфери, а також на установках високочастотного нагріву. Обробка металу виконується на високопродуктивних верстатах фірми "Кизерлинг", а також на вітчизняних автоматизованих лініях. Цех оснащений високоефективними засобами неруйнівного контролю металу для виявлення поверхневих дефектів, у тому числі дефектоскопом фірми "Ферстер".

Ковальнопресовий цех виробляє сортові великогабаритні поковки з різних марок сталі і сплавів, у тому числі з важкодеформуємих жароміцних і прецизійних сплавів [4]. В цеху встановлені гідравлічні преса з номінальним зусиллям 60 і 32 МН, оснащені маніпуляторами вантажопідйомністю відповідно до 10 і 5 тонн.

Сортамент продукції, що випускається:

- поковки круглого і квадратного перерізу розміром від 180 до 550 мм (квадрат до 450 мм);
- штабовового перерізу 120-300 х 300-800 мм;
- шайби діаметром 400-1100 мм і заввишки 120-350 мм.

Довжина поковок 1-6 м. Ковальський цех спеціалізується на виробництві прутков з важкодеформуємих легованих марок сталі – інструментальних, швидкорізальних, нержавіючих, а так само жароміцних сплавів. У цеху встановлено дві радіально-кувальні машини зусиллям 10 і 3,4 МН австрійської фірми "GFM", а також пневматичні молоти з масою частин, що падають, від 1 до 3 тонн.

Оптимальні схеми деформації металу із застосуванням радіально-кувальних машин дозволяють отримувати поковки і заготівлі з високою якістю поверхні і достатньою точністю по розмірах, забезпечують високий рівень автоматизації і механізації процесу кування. За бажанням замовника може бути вироблена зачистка або обдирання заготівель. Сортамент продукції:

- прутки круглого і квадратного перерізу розміром 80-200 мм;
- штаби завтовшки 30-150 мм і шириною 80-350 мм;
- заготівлі змінного перерізу (осьова заготівля для залізничних вагонів).

З метою підвищення якості і конкурентоспроможності продукції, що випускається, компанія закінчила будівництво нового цеху фінішної обробки металу, в якому будуть встановлені дві високопродуктивні обробні лінії. Ці лінії, оснащені фаскознімними і правильно-полірувальними пристроями, засобами неруйнівного контролю поверхні геометрії профілю, ультразвукового контролю дозволяють виготовляти високоякісний обточений прокат діаметром від 12 до 200 мм з точністю по квалитету h9.

Залежно від вимог замовника і виду продукції метал може поставлятися в термообробленому стані або без термообробки. Компанія має у розпорядженні необхідне технічне обладнання для виконання операцій термообробки і постачання металу з відпалом, після нормалізації, із загартуванням для

аустенітних нержавіючих сталей. Освоєна технологія виробництва конструкційних легованих сталей гарячекатаних і кованих прутков діаметром від 180 до 550 мм, що поставляються в термопокращенному стані (після загартування і відпущення).

1.2 Технологічний процес виплавки сталі та місце вньому електродугової печі типу ДСВ-25

У сталеплавильному цеху на підставі затвердженого місячного сортаменту складається графік виробництва по тижнях. Відповідно до графіку виплавки сталеплавильний цех подає заявку відділу сировини і палива на шихту, феросплави, вогнетриви. Відділ сировини і палива оперативно розглядає потребу цехів в матеріалах і через цех підготовки виробництва організовує доставку матеріалів в сталеплавильні цехи. Спрощену схему технологічного процесу сталеплавильного цеху, що отримує основну продукцію методом електродугового переплаву наведено на рисунку 1.2.

Зберігання матеріалів для сталеплавильных цехів здійснюється як на заводських складах (склади феросплавів, вогнетривів, електродів, сипких матеріалів, виливниць і так далі), так і в самих цехах. Шихта складується в бункерах копрового цеху і на шихтовых ділянках сталеплавильних цехів [5].

Договори на постачання заводу сировини і матеріалів готує і укладає відділ сировини і палива. Вхідний контроль сировини і матеріалів відповідно до стандартів і діючих внутрішньозаводських інструкцій здійснює відділ технічного контролю.

У разі виявлення невідповідності отриманих на завод сировини і матеріалів відділ технічного контролю направляє постачальникові претензію, а матеріал береться на відповідальне зберігання. Після з'ясування причин невідповідності матеріал або прямує для використання в сталеплавильному виробництві, або повертається постачальникові.

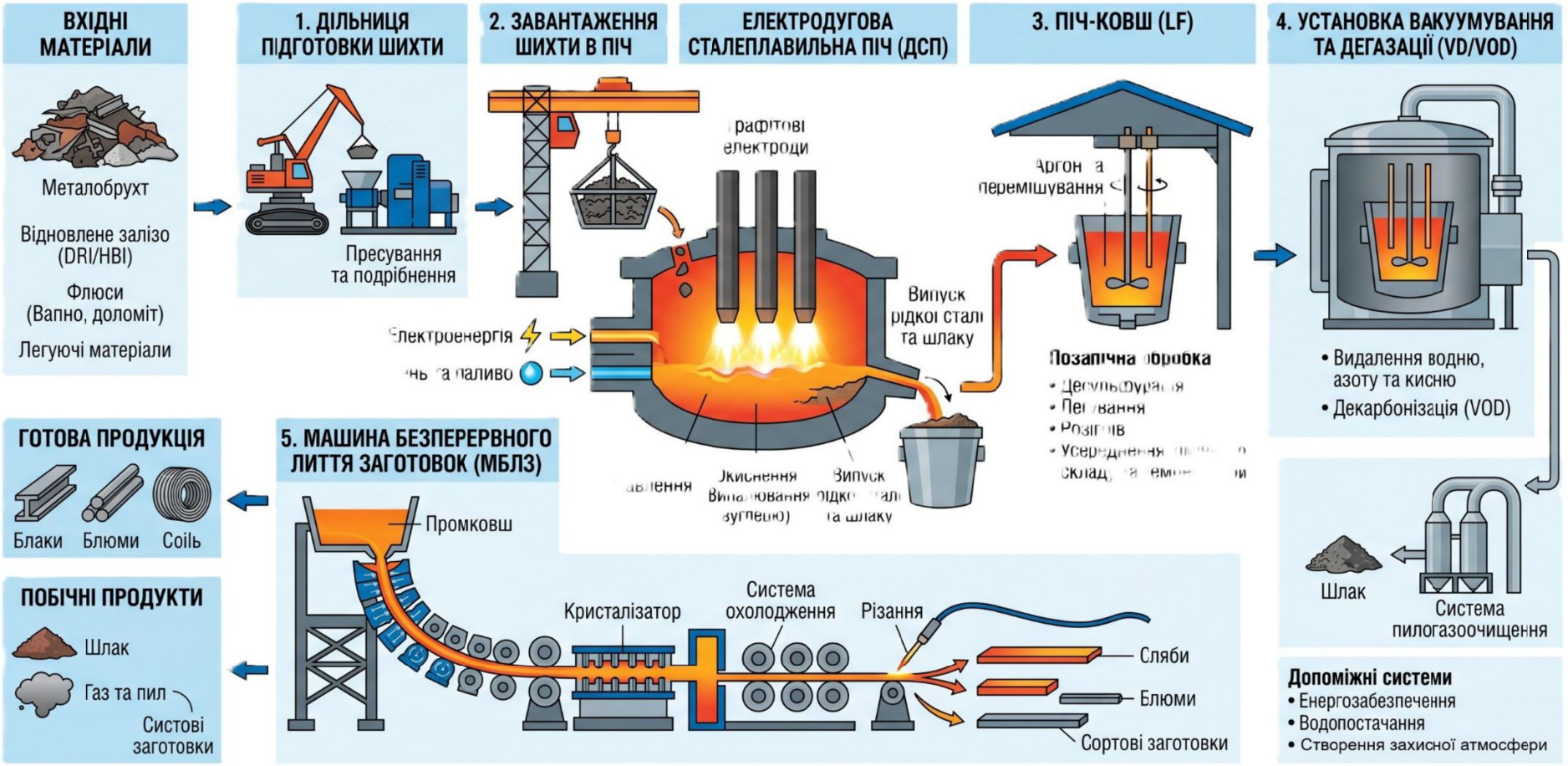


Рисунок 1.2 – Спрощена схема технологічного процесу сталеплавильного цеху, що отримує основну продукцію методом електродугового переплаву

Лом і леговані відходи від постачальників і з передільних цехів заводу поступають в скрапообробний цех.

Для зберігання легованих відходів в копровом цеху є більше 80 засіків. У кожному із засіків зберігається певна група відходів. Лом, що поступає, піддається прийманню, яке здійснюють начальник зміни скрапообробного цеху і контролер відділу технічного контролю.

На підставі добового графіку виплавки сталеплавильні цехи направляють заявку в скрапообробний цех на постачання ломи і легованих відходів. Скрапообробний цех відправляє лом і відходи в сталеплавильні цехи по залізниці у вагонах, цебрах і спеціальних контейнерах. Використання відходів в сталеплавильному цеху за відсутності сопровідного документу з відміткою ВТК скрапообробного цеху забороняється.

У сталеплавильних цехах складування відходів і лома виконують в бункерах строго по групах відходів.

Феросплави, лігатура і інші легуючі матеріали використовуються тільки з сертифікатами на хімсклад. Феросплави складуються в бункерах по видах і класах.

Перед початком плавки в плавильну карту записується хімічний склад відповідно до вимог нормативно-технічної документації (замовлення).

Перед завантаженням в піч розраховується вага придатного металла і зміст в нім усіх елементів нормованих складом сталі. Вміст вуглецю в шихті повинен забезпечити окислення його в окислювальний період плавки не менше 0,30%.

Виплавку сталі виконують у дугових печах місткістю 50 т, 25 т (рисунок 1.3 та 1.4). Печі обладнані трансформаторами потужністю 25 МВА, 20МВА, 9 МВС, кисневими фурмами [6]. При виплавці у дугових печах для забезпечення якості продукції встановлені наступні, контрольовані параметри:

- хімічний склад по ходу плавки;
- температура рідкої сталі перед початком продування разплаву киснем (1580-1600°С);
- тиск кисню 6-15 ат., витрата кисню 1000-2000 м^3/годину;

– температура рідкої сталі в ковші.

Відбір проб рідкої сталі виконується разовими пробовідбірними пристроями або ложкою з наступною заливкою в склянку.

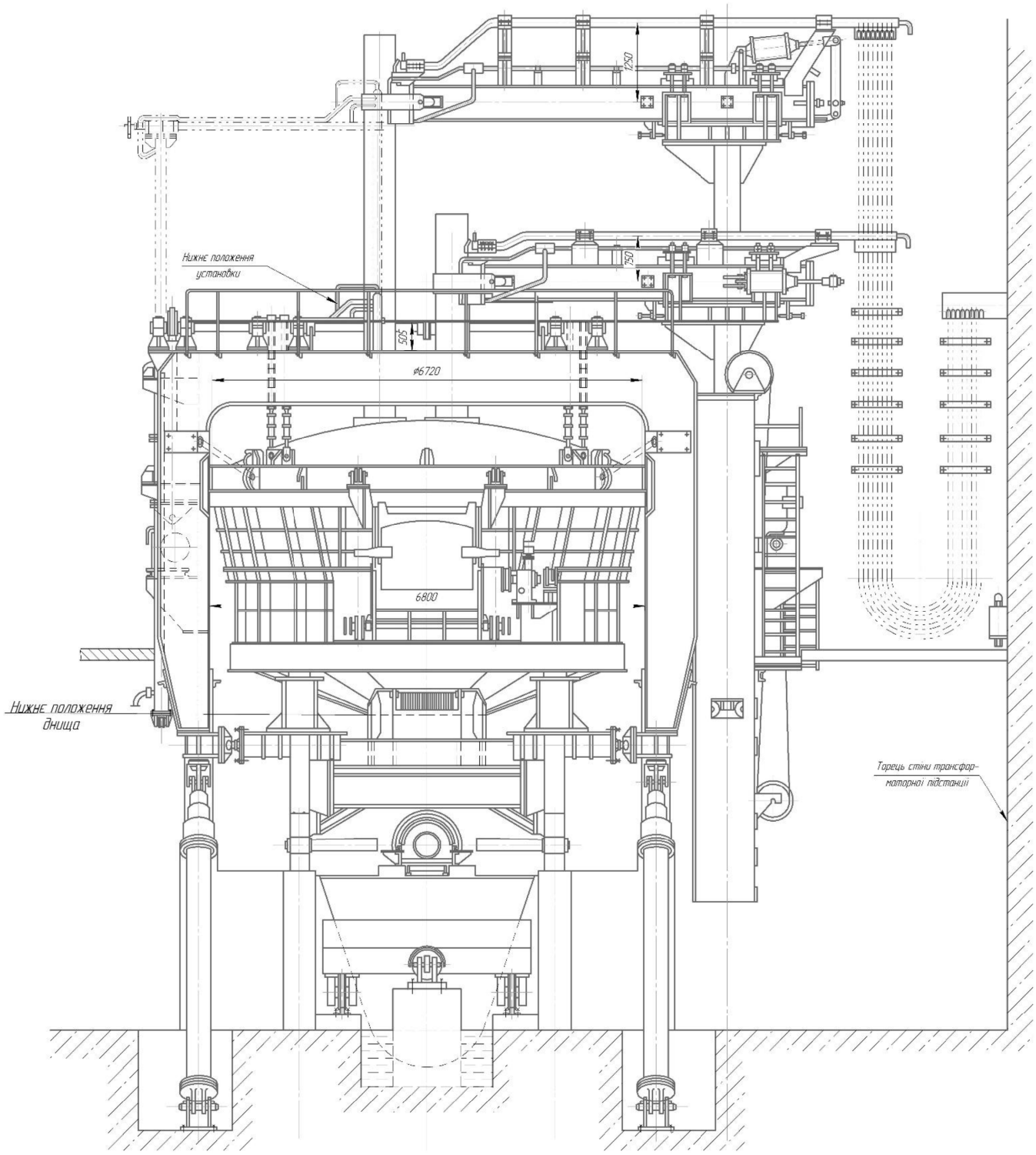


Рисунок 1.3 – Піч конструкції ДСВ (з викотним корпусом, вид спереду)

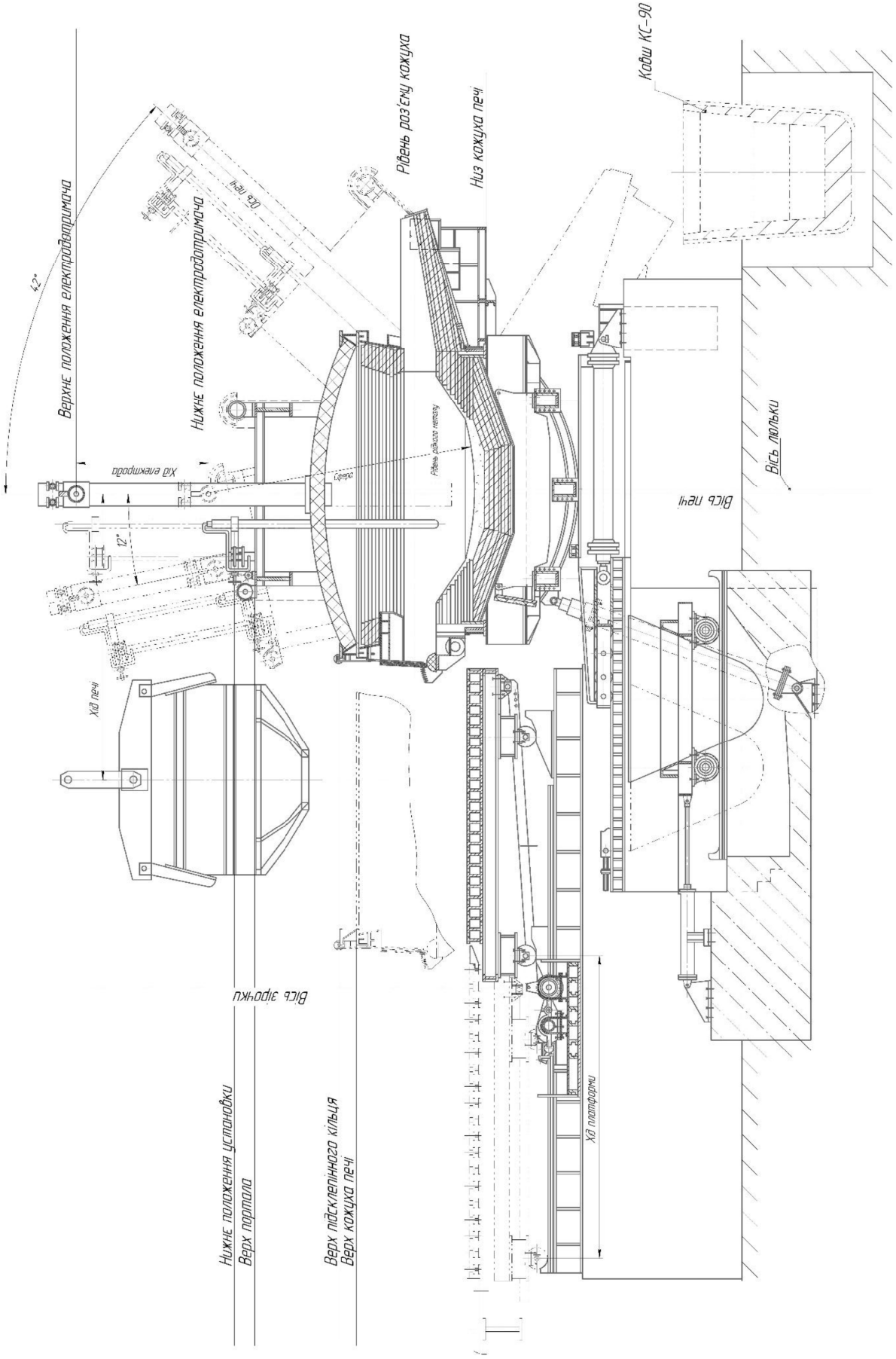


Рисунок 1.4 – Піч конструкції ДСВ (з викотним корпусом, вид збокуу)

Пробовідбірні пристрої складуються по модифікаціях. Для відбору проб за допомогою разових пробовідбірних пристроїв застосовуються маніпулятор термопроб і ручний зонд [7].

Вимір температури рідкої сталі виробляється пірометричними комплектами, що складаються з електронного потенціометра і термоелектричного термометра (термопари).

Метал випускають з печі в ківш, який перевозиться розливним краном в місця, де зібрані форми-виливниці для відливання зливків або до сталевозу установки "піч-ківш" при необхідності подальшого доведення металу в ковші УПК.

Після випуску попередньої плавки подина, укоси очищаються від залишків металу і шлаку. Виконується заправка печі. Стан склепіння, економайзерів і заслінки робочого вікна повинні забезпечувати необхідну герметичність печі [8]. Перед включенням печі перевіряється стан системи водяного охолодження, кисневої фурми, системи відведення газів печі, установки електромагнітного перемішування, контрольно-вимірювальної апаратури.

Виплавку сталі здійснюють [9]:

- з повним окисленням;
- переплавкою легованих відходів без окислення або сплавом чистих матеріалів;
- переплавкою легованих відходів з окисленням киснем.

При усіх способах виплавки метал може піддаватися позапічній обробці (продуванню аргоном) [10]. Плавлення проводять відповідно до затверджених електричних режимів. Окислювальний період починається при температурах, встановленних в інструкціях. Продування металу киснем виконують через багатосоплову фурму. Витрата кисню нормується інструкціями (1000-2000 $м^3$/год). Кількість окисленого вуглецю в окислювальний період не менше 0,30%.

При виплавці методом переплавки легованих відходів для відновлення оксидів хрому і інших елементів з шлаку в піч досаджують розкислювачі (феросиліцій, ферросиликохром та ін.).

Шлак перед випуском має бути світлим [11]. Витримка металла під світлим шлаком не менше 30 хв.

Кінцеве розкислювання металу виконується у відповідності з вимогами нормативно-технічної документації і технологічними інструкціями.

Коригування сталі по хімічному складу на марочний зміст виконують в печі або ковші.

Мікролегування і модифікування сталі виконують в печі або в ковші [12]. Місце і час присадки, кількість досаджуваних матеріалів вказані в технологічних інструкціях. Контроль за правильністю виконання цих операцій здійснюють працівники ВТК.

Продування металу аргоном в ковші виконується в спеціально обладнаних ковшах через одну або декілька пористих пробок в дні ковша. Футерування ковша шамотне або мулитокорундове.

Продування металу в ковші аргоном здійснюється у вакуумній камері або на відкритих майданчиках. Обов'язковою продуванню аргоном підлягають флокеночутливі сталі, корозійностійкі сталі, леговані кремнієм та ін. Продування металу аргоном триває 5-15 хв. залежно від температури сталі в ковші. Витрата аргону складає 0,3-0,9 $м^3$/т і обмовляється приватними інструкціями.

В процесі обробки візуально контролюється характеристика "кипіння" шлаку в ковші. Не допускається оголення металу від шлаку.

Після отримання результатів експрес аналізів робиться висновок про необхідність позапічної обробки металу на установці піч-ківш. При його необхідності метал випускають в сталерозливний ківш КС-90 (рис. 1.4), обладнаний системою донного продування аргоном. Ківш переміщають на ділянку УПК і встановлюють на сталевоз. Той у свою чергу переміщають під склепіння УПК. Після опускання склепіння починається підігрівання металу до температури вище за температуру розливання на 10-15°С. Потім подаються необхідні легуючі компоненти, рід компонентів залежить від марки сталі, а також результатів експрес аналізу. Після подачі необхідних компонентів проводять експрес аналіз і по його результатах або здійснюють подальшу

обробку з додаванням легуючих компонентів або переходять безпосередньо до розливання сталі у виливниці, сифоновим способом [13].

Метал розливається сифоном у виливниці для зливків масою від 0,6 до 14,7 т під шаром рідкого шлаку.

Для розливання використовують ковші, футеровані шамотними і мулітокорундовими вогнетривкими виробами. Розливання в основному здійснюється через шиберні затвори.

Придатні до роботи екзотермічні суміші, лункерит і інші матеріали маркуються номером партії, датою виготовлення, номером бригади-виконавця. Придатне змінне устаткування маркується порядковим номером. Для маркування зливків використовуються маркувальні скоби і маркувальні смуги, на яких клеймуванням наноситься № плавки і зливка, марка сталі.

Виливниці для розливання чистяться, усі канали піддонів, центрові і виливниці продуваються стислим повітрям. Після підготовки складів до розливання виливниці накриваються металевими кришками. Перед розливанням контролюється температура сталі. В процесі розливання контролюється час наповнення металом виливниці, характер заповнення (не допускаються "підкипанння", завороти і так далі), правильність маркування. Контроль за ходом розливання здійснює майстер і контролер ВТК.

В середині розливання металу з розливного ковша відбирається проба сталі на повний хімічний аналіз. При відповідності хімічного складу металу плавки вимогам НТД, а також вимогам технологічних інструкцій по виплавці і розливанню майстер ВТК виписує аналізну карту плавки, де вказуються: № плавки, марка сталі, повний хімічний склад, температура металу, кількість і маса зливків, схема розташування зливків на складі.

З метою попередження помилок і забезпечення потрібного рівня якості усю технологічну операцію контролюють працівники ВТК.

Зливки передаються в передільні цехи гарячим всадом або охолоджуються у виливницях, потім на повітрі. Зливки, охолоджені на повітрі, складуються згідно номерів плавок на спеціально відведених ділянках.

Методом ВДП виготовляють: жароміцні сплави, корозійностійкі, конструкційні, підшипникові і інші сталі [14]. Типорозмір зливків від круга 320 до 530 мм і масою від 1 до 7 т.

Електроди, що витрачаються, відливаються в кокілі або на установці напівбезперервного розливання стали. Перед ВДП поверхня електродів піддається абразивній зачистці, токарній або плазмовій обробці.

ВДП здійснюється при залишковому тиску 3 мм рт.ст. Управління режимом переплавки автоматичне. Поверхня зливків ВДП обробляється на токарних верстатах, машинах абразивної зачистки або установках плазменнодугового рафінування поверхні.

Методом ЕШП виготовляють підшипникові, конструкційні, корозійностійкі і інші сталі [15].

Типорозміри зливків ЕШП: для прутків і трубної заготівлі від круга 300 мм до квадрата 565 мм масою 0,8-4,5 т, для листового прокату 630 х(1100-1460) мм і масою 9-20 т.

Електродами, що витрачаються, для зливків квадратного поперечного перерізу 300÷555 мм служить кована (катана) заготівля Ш180 – кв.240 мм або лита заготівля кв.370 мм. Для листових зливків використовують сляби.

Перед ЕШП електроди піддають абразивній зачистці, або їх травлять в кисневому розчині, або обробляють на дробеметній установці. ЕШП листових зливків проводять на "рідкому" старті, зливків 4,5 т і менш на "твердому" старті.

Як робочі флюси використовують шлакові системи 70% CaF2 - 30, А1Д - 30%, Cao - 24%; CaF2 - 5%, А1Д - 40%, Si02 (флюс АН- 32) та ін.

ЕШП виконують на змінному струмі промислової частоти. Контрольовані параметри ЕШП: сила струму, напруга, опір шлакової ванни. Процес автоматизовано. Поверхня зливків ЕШП не вимагає ремонту. У разі потреби поверхня зливків піддається абразивній зачистці.

Нині на заводі діє наступна нормативно-технічна документація (НТД) [16]:

– постійні технічні умови – 370;
– державні стандарти сортаментів – 14;

– державні стандарти на металопродукцію – 34;
– державні стандарти на методи випробувань – 51.

На підставі вимог НТД розробляється внутрішньозаводська технологічна документація: технологічні інструкції по виплавці і розливанню сталі, переплавним процессам, використанню і збору вторинних чорних металів, приготовлению і зберіганню сирих матеріалів, інструкції по відбору проб і виміру температури.

1.3 Огляд та аналіз конструктивних особливостей електродугової печі з викотним корпусом типу ДСВ-25 з метою подальшого їхнього удосконалення

Дугова сталеплавильна піч місткістю 25 т належить до типорозмірного ряду агрегатів серії ДСВ, що характеризуються наявністю викотного корпусу.

Конструктивно піч складається зі сталевого кожуха зі сферичним днищем, внутрішня поверхня якого викладена хромомагнезитовою футеровкою. Між футеровкою та кожухом передбачено теплоізоляційний прошарок з азбесту. Плавильний простір перекривається знімним склепінням, яке підвішується на ланцюгах механізму підйому. Підсклепінне кільце виконане у вигляді зварної конструкції з водяним охолодженням. Підйом склепіння здійснюється гідравлічним приводом із циліндром діаметром 300 мм при робочому тиску 15 кг/см², а його горизонтальне переміщення забезпечується ланцюговим механізмом. Маса склепіння становить близько 20 т.

Завантаження шихтових матеріалів здійснюється зверху за допомогою завантажувального кошика, що потребує попереднього викочування корпусу печі у бік робочого вікна. Для цього передбачено спеціальну викотну платформу, розташовану перед робочою зоною. Перед початком операції платформа опускається приблизно на 350 мм за допомогою ексцентрикового механізму, після чого разом із корпусом переміщується під перекриття робочого майданчика.

З метою інтенсифікації процесу плавлення корпус печі періодично обертається навколо вертикальної осі: спочатку в одному напрямку на кут до 40°, а потім у протилежному – до 80°. Опора корпусу реалізована через кругову рейку, яка спирається на ролики, розміщені у чотирьох тумбах, встановлених на колисці. В одній із тумб змонтовано привід поворотного механізму, що включає електродвигун потужністю 10 кВт (частота обертання 815 $хв^{-1}$) і двоступінчастий черв'ячний редуктор із передатним числом 1008. Обертання передається через шестірню на вертикальному валу редуктора до цівочного сектора, забезпечуючи поворот корпусу печі.

Колиска печі через сегментні опори спирається на балки викотної платформи, які, у свою чергу, розміщені на рухомих котках механізму відкочування. Переміщення здійснюється гідроциліндром, закріпленим на фундаментній рамі. Його шток шарнірно з'єднаний із рамою котків, що рухаються по нерухомих напрямних балках. Для запобігання проковзуванню частина котків оснащена радіальними отворами, в які входять відповідні шипи на балках. Така схема забезпечує подвоєне переміщення платформи разом із піччю відносно ходу рами котків. Викочування корпусу здійснюється після підняття склепіння.

У верхній частині колиски встановлено чотири ролики, що взаємодіють із напрямними пазами порталу. Під час викочування два задні ролики залишаються в пазах, запобігаючи перекиданню печі. Сам портал спирається сегментами на фундаментні балки, причому його геометрія відповідає формі сегментів колиски. Нахил печі можливий лише при повністю заведено¬му в портал корпусі, коли осі сегментів збігаються у вертикальній площині. Механізм нахилу включає два гідроциліндри, шарнірно з'єднані з елементами порталу та фундаменту. Під час роботи портал перекочується по опорних балках, захоплюючи за собою колиску.

Відкриття засувки робочого вікна здійснюється за допомогою редуктора, розташованого з лівого боку. До його вихідного валу прикріплено сталевий трос, який передає рух валу відкривання. Останній розміщений під робочим вікном і оснащений ланцюговими роликами.

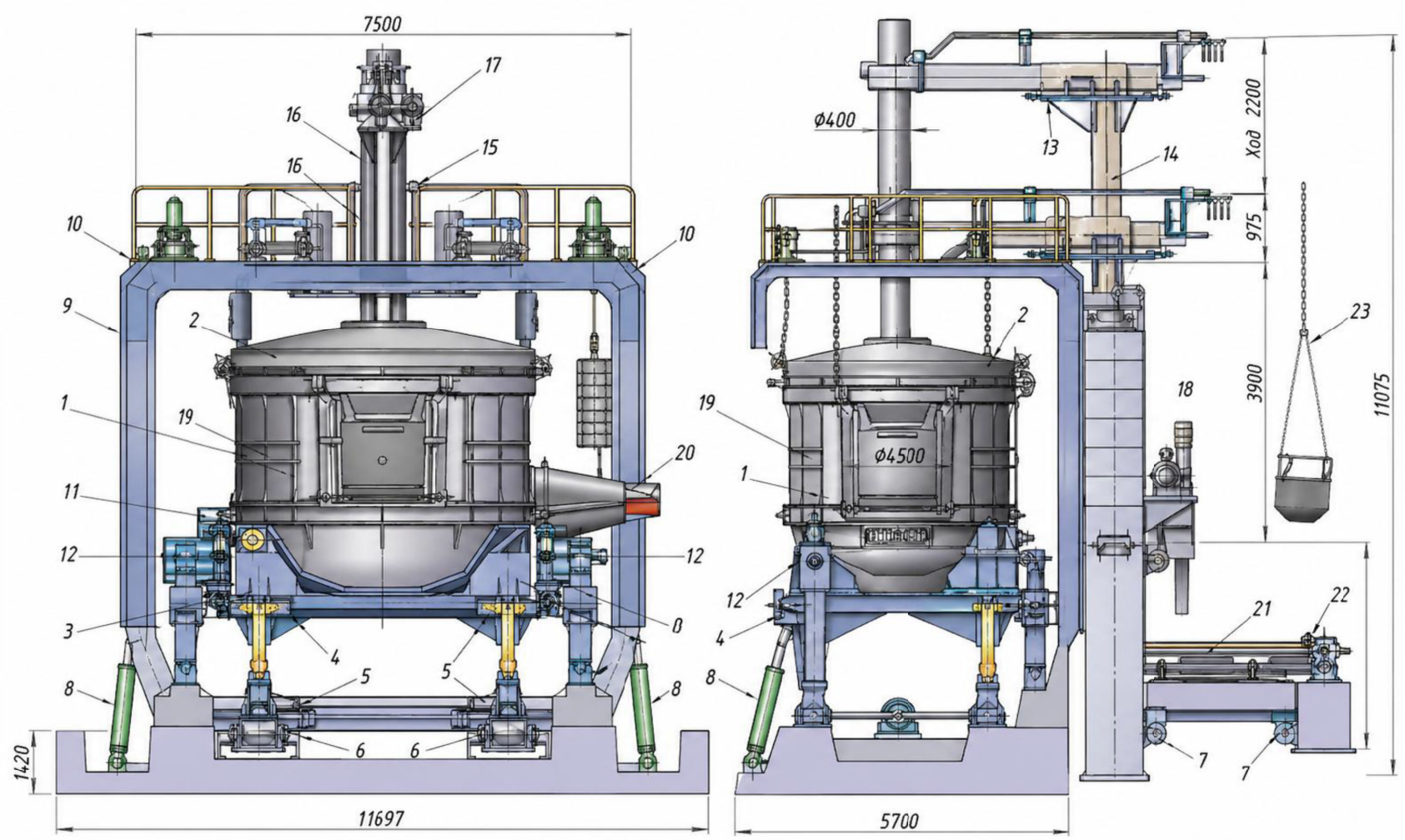


Рисунок 1.5 – Обладнання печі з викотним корпусом типу ДСВ-25: 1 – корпус печі; 2 – склепіння; 3 – колиска (викотна); 4 – опорні сегменти; 5 – балка; 6 – обойма опорних роликів; 7 – рама; 8 – гідроциліндри механізму нахилу печі; 9 – портал; 10 – гідравлічні циліндри механізму підйому склепіння; 11 – механізм повороту вани; 12 – тумби (з опорними й упорними роликами); 13 – механізм переміщення електродів; 14 – рухливі колони; 15 – електродотримачі; 16 – електроди; 17 – механізм затискача електродів; 18 – контрвантаж; 19 – робоче вікно; 20 – носок для зливання металу; 21 – відкочувальна платформа; 22 – кулачковий механізм опускання платформи; 23 – завантажувальний кошик.

При ввімкненні приводу відбувається намотування ланцюгів на ролики, що забезпечує відкривання заслінки.

Робоче вікно електродугової печі є критично важливим вузлом, що забезпечує герметизацію плавильного простору, а також доступ для завалки добавок, скачування шлаку та відбору проб металу. Привод засувки призначений для дистанційного керування вертикальним переміщенням запірного елемента.

Згідно з наявною схемою (рис. 1.6) та кінематичною схемою (рис.1.7), механізм приводу електромеханічний з ланцюговою передачею.

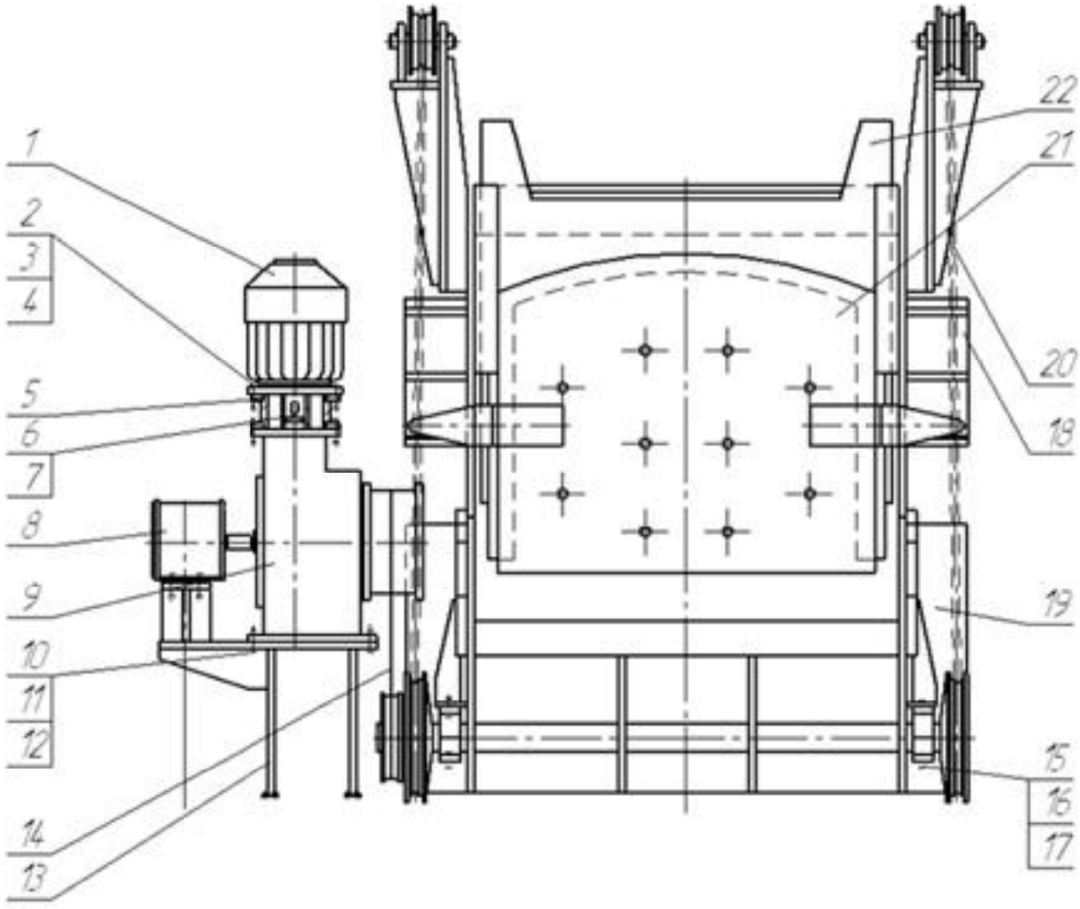


Рисунок 1.6 – Конструкція приводу заслінки робочого вікна: 1 – електродвигун; 2-7 –з'єднувальні елементи двигуна з редуктором; 8 – гальмо; 9 – черв'ячний редуктор; 10-12 - приєднувальні елементи редуктора до кронштейну; 13 – монтажний кронштейн; 14 – сталевий трос; 15 –вал підйому засувки; 16 – опорні корпуси; 17 – ланцюгові колеса; 18 – каркас; 19 – поріг; 20 – ланцюги; 21 – заслінка; 22 – робоче вікно.

Основними конструктивними елементами є:

- силовий блок: складається з електродвигуна (1), встановленого безпосередньо на черв’ячний редуктор (9). Для забезпечення надійної фіксації засувки у піднятому стані та запобігання її самовільному опусканню, на вхідному валу передбачено гальмо (8).
- трансмісійна група: крутний момент від редуктора передається на вал підйому (15) за допомогою гнучкого сталевого троса (14). Таке рішення дозволяє винести приводний агрегат за межі зони інтенсивного теплового випромінювання.
- виконавчий механізм: вал підйому встановлений у підшипникових вузлах (корпусах) (16). На валу жорстко закріплені два ланцюгові колеса (17), на які намотуються тягові ланцюги (20).

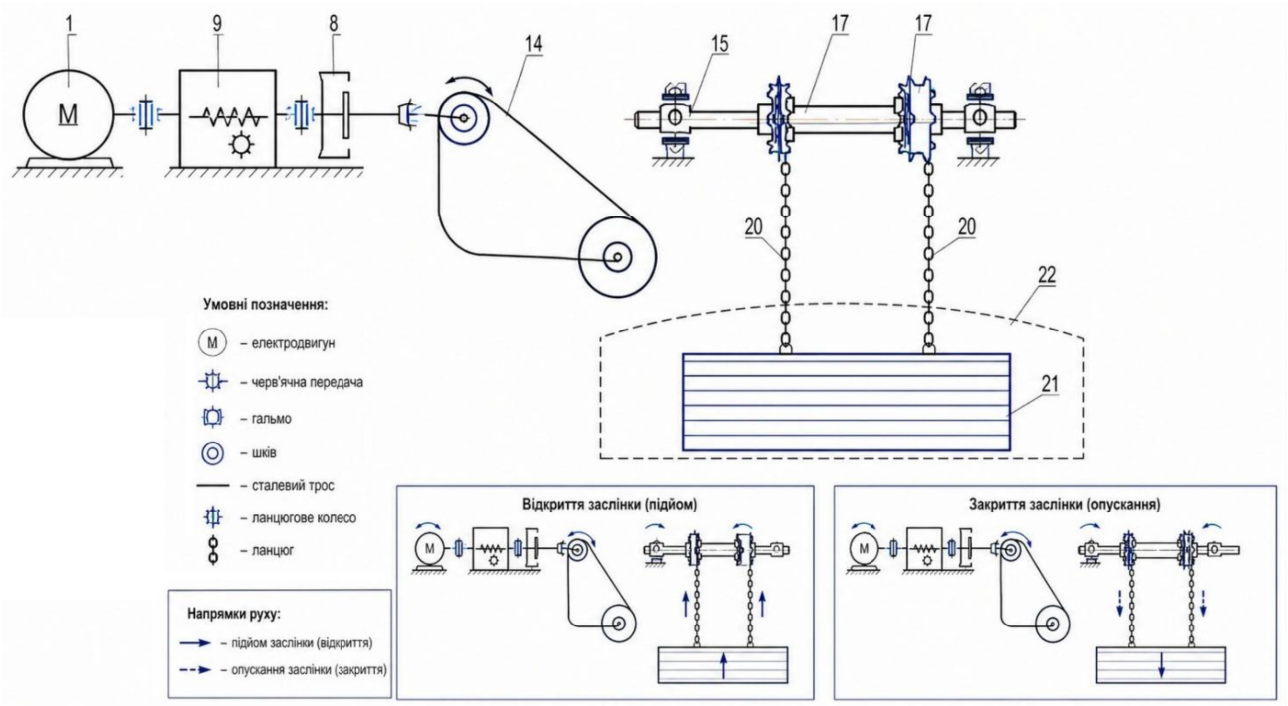


Рисунок 1.7 – Кінематична схема приводу заслінки робочого вікна печі (позиції наведено в тексті)

Кінематична схема приводу (рис. 1.7), працює наступним чином:

– Підйом заслінки: при подачі напруги на електродвигун (1), обертання через черв'ячну пару редуктора (9) та тросову передачу (14) передається на вал підйому (15). Ланцюгові колеса (17), обертаючись, намотують тягові ланцюги (20), що призводить до вертикального переміщення заслінки (21) вгору по напрямних арки робочого вікна (22).
– Фіксація положення: після досягнення необхідної висоти двигун вимикається, і спрацьовує електромагнітне гальмо (8). Завдяки поєднанню гальма та ефекту самогальмування черв'ячної пари редуктора, засувка надійно утримується в заданій точці.
– Опускання: рух вниз відбувається при реверсуванні електродвигуна. Засувка під власною вагою та примусовим розмотуванням ланцюгів опускається, перекриваючи отвір робочого вікна.

Незважаючи на простоту одностороннього приводу, його експлуатація на електродугових печах виявляє ряд критичних недоліків, які усуваються шляхом використання запропонованої дубльованої (симетричної) системи (рис.1.8).

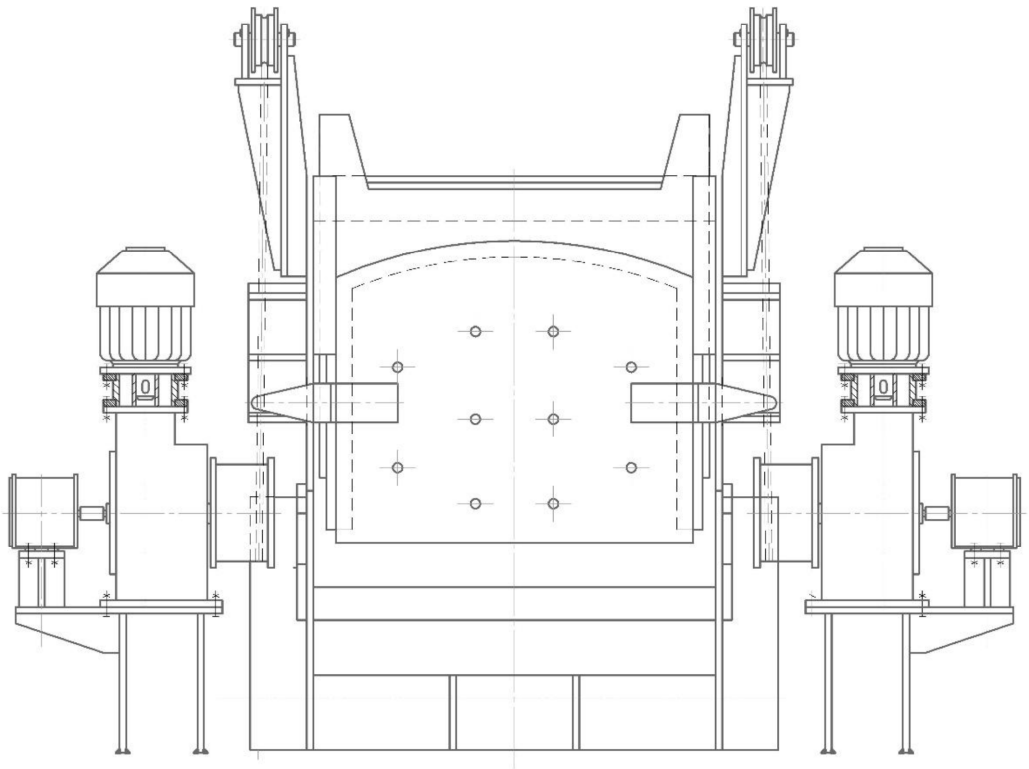


Рисунок 1.8 – Запропонована дубльована (симетрична) система приводу заслінки робочого вікна печі

До основних недоліків наявної односторонньої схеми (з одним редуктором) можна віднести:

1. Нерівномірність розподілу зусиль: через велику ширину робочого вікна та значну масу футерованої заслінки, передача моменту через довгий вал або систему тросів з одного боку призводить до пружних деформацій. Це спричиняє мікро-перекоси заслінки, що в умовах високих температур призводить до її заклинювання в напрямних.
2. Підвищений крутний момент на трансмісії: ддин редуктор і один приводний вал повинні витримувати 100% навантаження від ваги заслінки та сил тертя. Це вимагає використання масивних валів великого діаметру та потужних габаритних редукторів.
3. Низька відмовостійкість: вихід з ладу будь-якого елемента єдиного ланцюга (двигуна, гальма або редуктора) повністю блокує роботу вікна. У сталеплавильному виробництві неможливість закрити вікно призводить до величезних тепловтрат, а неможливість відкрити – до зриву технологічного циклу (завалки, пробовідбору).
4. Складність обслуговування довгого вала: підтримувальні вальниці довгого вала, що проходить над або під вікном, працюють у зоні екстремального теплового випромінювання, що спричиняє їх швидкий знос та висихання мастила.

При запропонованій модернізації (рис. 1.8) дещо збільшується елементна база кінематичної схеми (рис. 1.9), при цьому металоємність збільшується не значно за рахунок відсутності потреби в тарнсмісійному валу. З іншого боку схема набуває наступних переваг:

1. За умови використання частотного керування приводом можливе досягнення ідеальної синхронізації та стабільності роботи приводу. Підйом здійснюється одночасно з двох точок. Це повністю виключає можливість перекосу заслінки, забезпечуючи її плавний хід навіть при значному термічному розширенні металоконструкцій.
2. Рівномірний розподіл навантаження (50/50). Кожен редуктор сприймає

лише половину ваги заслінки. Це дозволяє використовувати компактніші, стандартні редуктори та двигуни меншої потужності, які простіше замінювати та обслуговувати.

3. У разі аварійної зупинки одного з приводів, другий (за умови достатнього запасу потужності двигуна) може короткочасно завершити операцію підйому або опускання, запобігаючи аварійній ситуації.
4. Зникає потреба в довгому з'єднувальному валі, що спрощує конструкцію порталу печі та звільняє простір для обслуговування інших вузлів.
5. Пуск і зупинка двох синхронізованих двигунів відбувається м'якше, що знижує знос ланцюгів та зірочок.

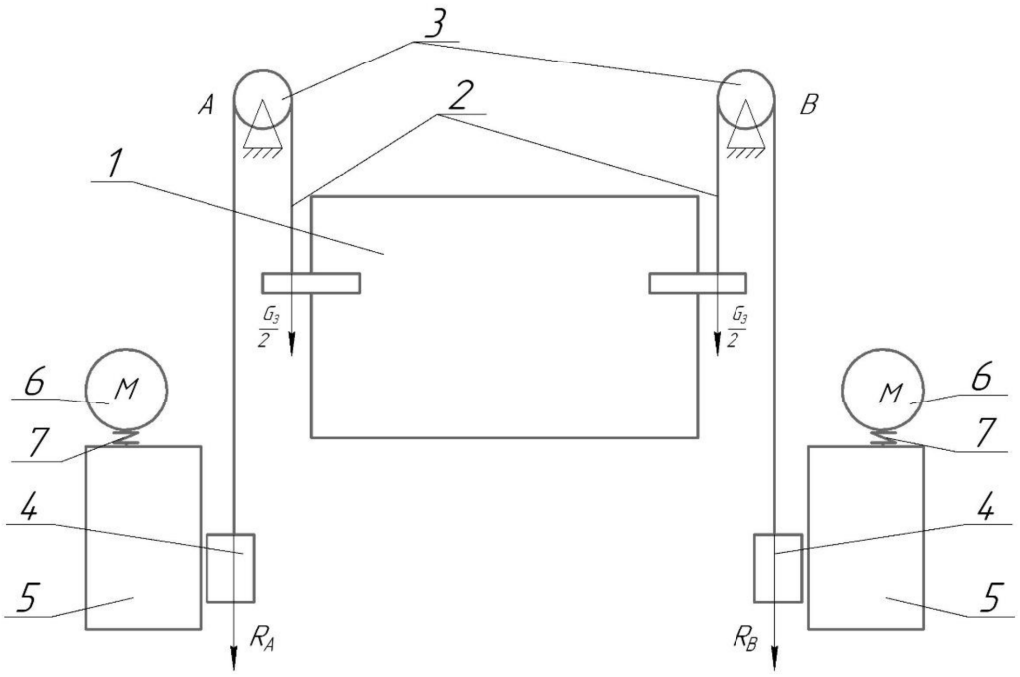


Рисунок 1.9 – Кінематична схема запропонованого приводу заслінки робочого вікна: 1 – засувка; 2 – вантажний ланцюг; 3 – ланцюговий ролик; 4 – ланцюговий барабан; 5 – редуктор; 6 – електродвигун; 7 – зубчаста муфта

Таким чином, впровадження двостороннього приводу заслінки для печі ДСВ-25 є технічно обґрунтованим рішенням, яке підвищує коефіцієнт готовності обладнання та знижує ймовірність аварійних простоїв, пов’язаних із заклинюванням механізмів робочого вікна.

2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунок найбільш навантажених вузлів механізму нахилу печі

Механізм нахилу електропечі складається із двох гідроциліндрів закріплених шарнірно до печі й фундаменту (рис. 1.5 поз.8). Гідроциліндри запитуються від однієї насосної станції (рис. 2.1) [17].

Для розрахунку необхідної подачі робочої рідини та вибору гідронасоса з допоміжною апаратурою скористаємося наступними вихідними даними:

- вага печі $G_П$=2200 кН
- вага виплавлюваного металу $G_М$=250 кН
- радіус сегментів R=3,4 м
- радіус печі по дну металу R_1=2 м
- швидкість руху поршня гідроциліндра $v=2\cdot10^{-2}$ м/с.
- розрахункова схема моментів рисунок 2.2

Визначення моментів для положень 0° та -120° під час нахилу печі у бік робочого вікна при зливанні шлаку, а також для положень -120° і 0° при поверненні агрегату у початковий стан, здійснюється із застосуванням відповідної розрахункової залежності:

$$M_П=\pm G_П\cdot r\cdot\sin(\alpha+\varphi), \quad (2.1)$$

де $G_П$ – вага, що створюється всіма складовими частинами печі;

r – радіус-вектор;

Під час розрахунків знак «+» використовують у випадку нахилу печі в напрямку робочого вікна, тоді як знак «–» приймають при її поверненні до початкового положення.

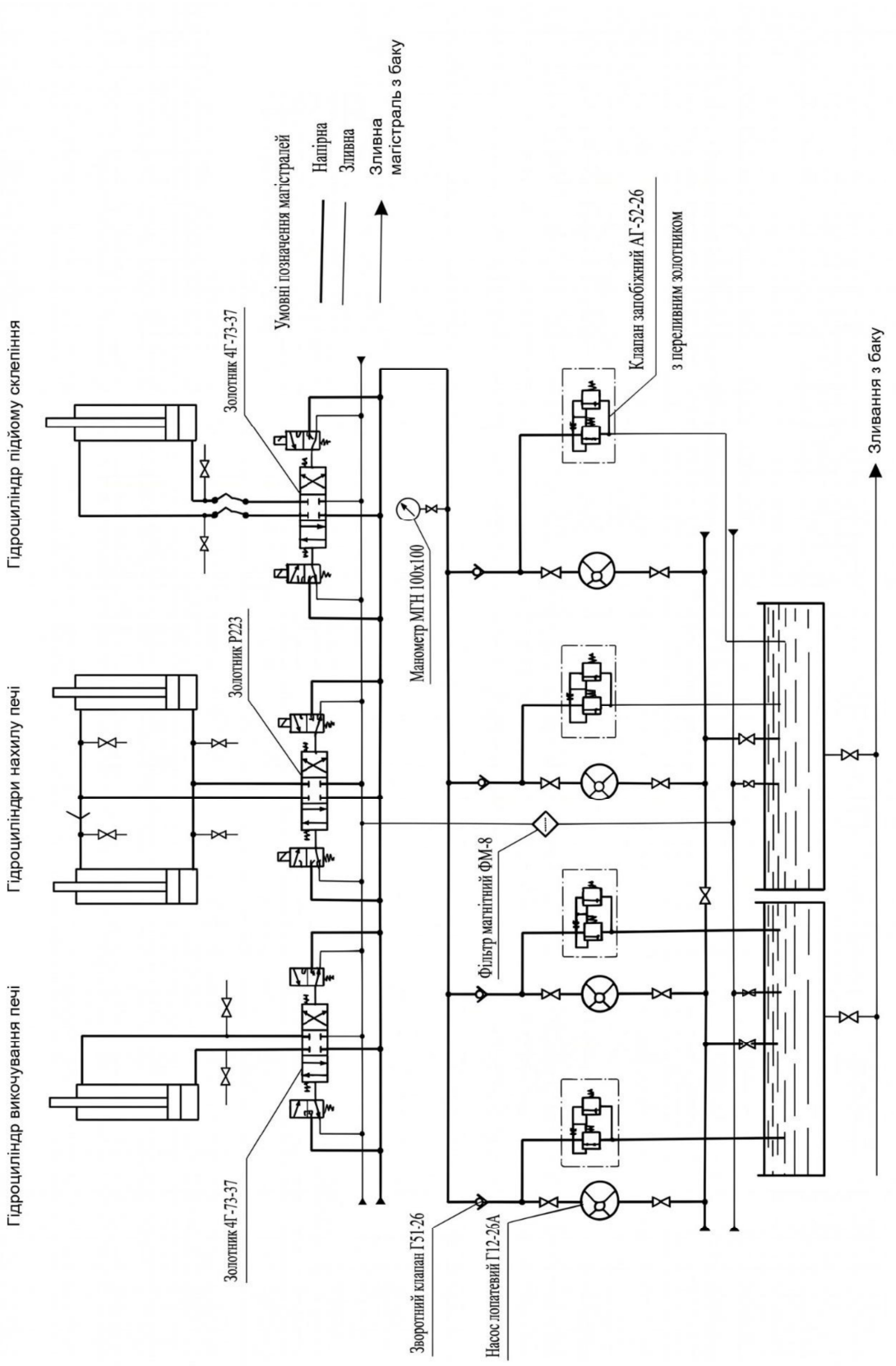


Рисунок 2.1 – Схема живлення гідравлічних приводів виконавчих органів електродугової печі ДСВ-25

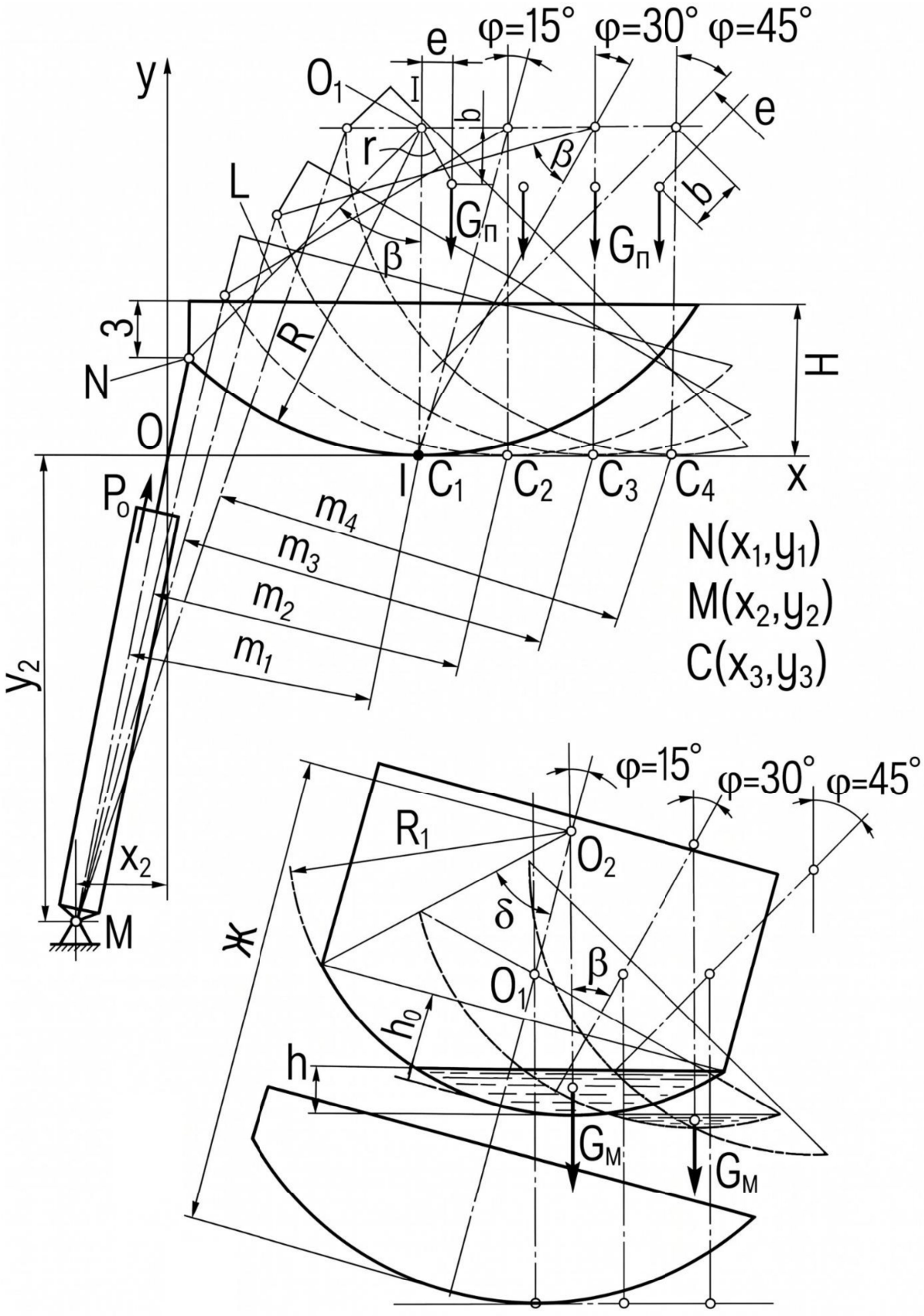


Рисунок 2.2 – Схема до визначення перекидних моментів при роботі електродугової печі типу ДСВ-25

Величину моменту при нахилі печі у бік зливального носка в діапазоні кутів від 0° до 45° визначають за відповідною розрахунковою залежністю:

$$M_П=G_П \cdot r \cdot \sin(\alpha-\varphi), \qquad (2.2)$$

У випадку нахилу порожньої печі у вихідне положення (45^0 – 0^0) перекидний момент визначається як:

$$M_П=-G_П \cdot r \cdot \sin(\alpha-\varphi), \qquad (2.2)$$

Перед обчисленням моментів визначаємо радіус-вектор

$$r=\sqrt{b^2+e^2}, \qquad (2.3)$$

де b й e – координати центра ваги печі, згідно заводської документації b=0,4 м, e=0,1 м.

$$r=\sqrt{0,4^2+0,1^2}=0,418 \text{ м}$$

Кут нахилу радіуса-вектора до осі печі I-I для початкового положення печі:

$$\alpha=\arcsin(e/r)=\arcsin\left(0,1/0,418\right)=\arcsin 0,287, \quad \alpha=16^0 36'.$$

Моменти для положень 0^0 , -12^0

$$M_{П_0}=2200 \cdot 0,418 \cdot \sin\left(16°36'+0\right)=220 \text{ кНм};$$

$$M_{П_{12}}=2200 \cdot 0,418 \cdot \sin\left(16°36'+12\right)=325,6 \text{ кНм};$$

для положень -12^0 , 0^0:

$$M'_{П_{-12}}=-2200\cdot 0{,}418\cdot \sin\left(16°36'+12\right)=-325{,}6 \text{ кНм}$$

$$M'_{П_0}=-2200\cdot 0{,}418\cdot \sin\left(16°36'+0\right)=-220 \text{ кНм}$$

для положень 15^0 - 45^0:

$$M_{П_{15}} =2200\cdot 0{,}418\cdot \sin\left(15-16°36'\right)=-15 \text{ кНм};$$

$$M_{П_{30}} =2200\cdot 0{,}418\cdot \sin\left(30-16°36'\right)=249 \text{ кНм};$$

$$M_{П_{45}} =2200\cdot 0{,}418\cdot \sin\left(45-16°36'\right)=466 \text{ кНм};$$

для положень 45^0 - 0^0:

$$M'_{П_{45}}=2200\cdot 0{,}418\cdot \sin\left(16°36'-45\right)=-466 \text{ кНм}$$

$$M'_{П_{30}}=2200\cdot 0{,}418\cdot \sin\left(16°36'+30\right)=-249 \text{ кНм}$$

$$M'_{П_{15}}=2200\cdot 0{,}418\cdot \sin\left(16°36'+15\right)=-15 \text{ кНм}$$

$$M'_{П_0}=2200\cdot 0{,}418\cdot \sin\left(16°36'-0\right)=-259 \text{ кНм}$$

За результатами розрахунків будуємо графік залежності перекидного моменту від кута нахилу печі $M_П=f(\varphi)$ (рисунок 2.3)

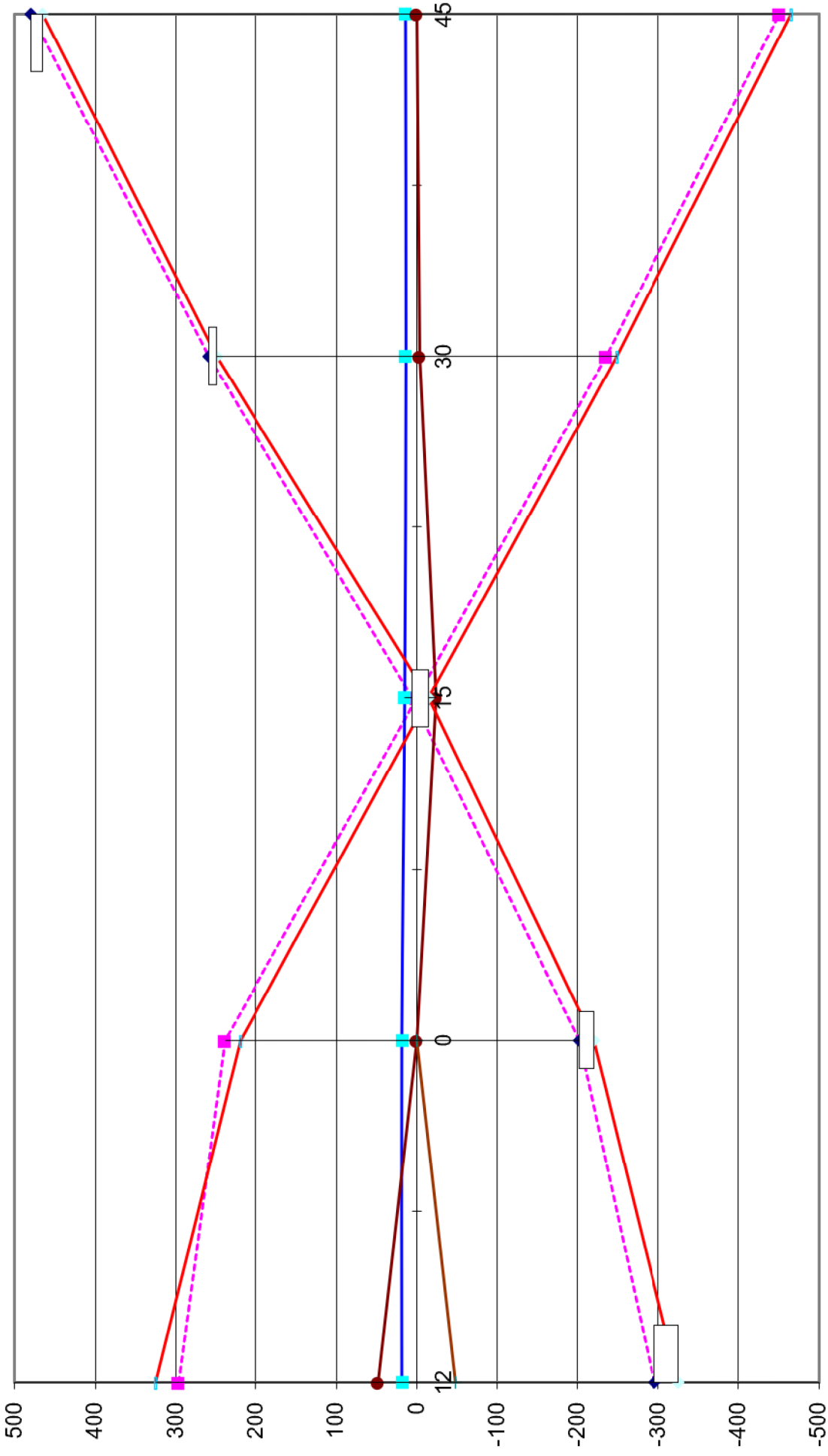


Рисунок 2.3 – Узагальнений графік залежностей $M_П=f(\varphi)$, $M_М=f(\varphi)$; $M_k=f(\varphi)$

Перекидний момент, що створюється вагою металу має має тригонометричний характер. Це пояснюється тим, що під час зміни кута нахилу змінюється величина плеча дії сили тяжіння металу відносно осі обертання печі. У результаті змінюється і значення моменту, який виникає під дією ваги металевої ванни [19]:

$$M_M=\pm G_M \cdot n \cdot \sin\varphi, \qquad (2.4)$$

де n=Ж-R – відстань між центрами O_1 і O_2 (рис.2.2);

$n \cdot \sin\varphi$ – плече сили ваги металу.

Знак «+» враховують виключно при нахилі печі з положення –12° після виконання операції зливання шлаку. В усіх інших випадках у розрахунках застосовують знак «–», оскільки маса рідкого металу створює стримувальний момент, який перешкоджає самочинному перекиданню печі.

Перед тим як визначимо вагу металу G_M, необхідно встановити для розглянутих положень печі (0^0,-12^0,0^0,15^0,30^0,45^0) висоту металу h в кожен момент по формулі

$$h=R_1 \cdot [1-(\delta-\varphi)], \qquad (2.5)$$

$h_0=2 \cdot [1-\cos(46-0)]=0.610$ м,

$h_{12}=h_0$,

$h_{15}=2 \cdot [1-\cos(46-15)]=0.285$ м,

$h_{30}=2 \cdot [1-\cos(46-30)]=0.077$ м,

$h_{45}=0$.

Визначаємо вагу рідкого металу [20]:

$$G_M=\pi \cdot R_1^2 \cdot h^2 \left[1-\frac{h}{3 \cdot R_1}\right] \cdot \gamma, \qquad (2.6)$$

$$G_{M0} = 3{,}14 \cdot 2^2 \cdot 0{,}61^2 \cdot \left[1 - \frac{0{,}61}{3 \cdot 2}\right] \cdot 70 = 280 \text{ кН},$$

$$G_{M15} = 3{,}14 \cdot 2^2 \cdot 0{,}285^2 \cdot \left[1 - \frac{0{,}285}{3 \cdot 2}\right] \cdot 70 = 68 \text{ кН},$$

$$G_{M30} = 3{,}14 \cdot 2^2 \cdot 0{,}077^2 \cdot \left[1 - \frac{0{,}077}{3 \cdot 2}\right] \cdot 70 = 5.14 \text{ кН},$$

$$G_{M45} = 0,$$

$$G_{M12} = G_{M0}.$$

Тоді моменти від ваги металу складуть:

$$M_{M0} = 0,$$

$$M_{M15} = -280 \cdot (4{,}8 - 3{,}4) \cdot \sin 12^0 = -48 \text{ кНм},$$

$$M'_{M15} = 48 \text{ кНм},$$

$$M_{M15} = -68 \cdot (4{,}8 - 3{,}4) \cdot \sin 15^0 = -24{,}6 \text{ кНм},$$

$$M_{M30} = -3{,}57 \text{ кНм},$$

$$M_{M45} = 0.$$

За результатами розрахунків будуємо графік залежності моменту від ваги рідкого металу від кута нахилу печі $M_M=f(\varphi)$ (рисунок 2.3)

Моменти від сил тертя катання в опорних сегментах [19]

$$M_k=(G_П+G_П)\cdot k, \qquad (2.6)$$

Визначаємо коефіцієнт тертя катання k для розглянутих положень печі:

$$k = \frac{2{,}16}{4} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot R \cdot (G_П + G_М)}{(E \cdot L)}},$$

де R – радіус сегментів, R=3,4 м;

E – модуль пружності, E=2,1·10^5 МПа;

L – сумарна довжина двох опорних сегментів, L=0,5 м.

$$k_0 = k'_0 = k_{012} = k'_{012} = \frac{2{,}16}{4} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 3{,}4 \cdot (2200 + 280)}{2 \cdot 10000 \cdot 0{,}5}} = 0{,}00739\ м,$$

$$k_{15} = \frac{2{,}16}{4} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 3{,}4 \cdot (2200 + 68)}{2 \cdot 10000 \cdot 0{,}5}} = 0{,}0067\ м,$$

$$k_{30} = \frac{2{,}16}{4} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 3{,}4 \cdot (2200 + 5{,}14)}{2 \cdot 10000 \cdot 0{,}5}} = 0{,}00625\ м,$$

$$k_{45} = k'_{45} = k'_{30} = k'_{15} = k''_0 = \frac{2{,}16}{4} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 3{,}4 \cdot (2200 + 0)}{2 \cdot 10000 \cdot 0{,}5}} = 0{,}0065\ м,$$

Таким чином для порожньої печі k=0,0065 м, тоді:

$$M_{k0} = M_{k12} = M'_{k12} = M'_{k0} = (2200 + 280) \cdot 0.00739 = 18{,}3\ \text{кНм},$$

$$M_{k15} = (2200 + 68) \cdot 0.0067 = 15{,}2\ \text{кНм},$$

$$M_{k30} = (2200 + 5{,}14) \cdot 0.00625 = 13{,}78\ \text{кНм},$$

$$M_{k45} = M'_{k45} = M'_{k30} = M'_{k15} = M''_{k0} = 2200 \cdot 0.0065 = 14{,}3\ \text{кНм}.$$

Сумарні перекидні моменти:

$$M_{O0} = M_{П0} + M_{k0} = 220 + 18{,}3 = 238{,}3 \quad \text{кНм},$$

$$M_{O12} = M_{П12} + M_{k12} - M_{M12} = 325{,}6 + 18{,}3 - 48 = 295{,}9 \ \text{кНм},$$

$$M'_{O12} = -M_{П12} + M'_{k12} + M_{M12} = -325{,}6 + 18{,}3 + 48 = -295{,}9 \ \text{кНм},$$

$$M'_{O0} = -M_{П0} + M_{k0} = -220 + 18{,}43 = 201{,}7 \ \text{кНм},$$

$$M_{O15} = M_{П15} + M_{k15} - M_{M15} = 15 + 15{,}2 - 24{,}6 = 5{,}6 \ \text{кНм},$$

$$M_{O30} = M_{П30} + M_{k30} - M_{M30} = 249 + 13{,}78 - 3{,}57 = 259{,}21 \ \text{кНм},$$

$$M_{O45} = M_{П45} + M_{k45} = 466 + 14{,}3 = 480{,}3 \ \text{кНм},$$

$$M'_{O45} = -M'_{П45} + M_{k45} = -466 + 14{,}3 = -451{,}7 \ \text{кНм},$$

$$M'_{O45} = -M'_{П30} + M'_{k30} = -249 + 13{,}78 = -235{,}22 \ \text{кНм},$$

$$M'_{O15} = -M'_{П15} + M'_{k15} = -15 + 15{,}2 = 0{,}2 \ \text{кНм},$$

$$M''_{O0} = M_{П0} + M''_{k0} = 220 + 14{,}3 = 234{,}3 \ \text{кНм}.$$

За визначеними даними будуємо узагальнений графік залежностей $M_П=f(\varphi)$, $M_M=f(\varphi)$; $M_k=f(\varphi)$ (рисунок 2.3).

Для визначення зусилля в штоках гідроциліндра необхідно встановити плечі m_i сил P_{Oi}, тому спочатку обчислюємо для кожного випадку необхідні величини: x_1, y_1, x_3, A, C', а із креслень знаходимо значення кута $\beta=40^\circ$ (або $\beta=0{,}767$ рад).

При $\varphi=0^\circ$

$$x_1 = R\cdot(\beta+\varphi) - L\cdot\sin(\beta+\varphi) = 3{,}4\cdot\sin(0{,}767+0) -$$
$$-3{,}4\cdot\sin(42^o+0) = 0{,}33м,$$

$$y_1 = R - L\cdot\cos(\beta+\varphi) = 3{,}4 - 3{,}4\cdot\cos(42^o+0) = 0{,}873 \ \text{м},$$

$$x_2 = -0{,}64 \ \text{м},$$

$$y_2 = -4{,}2 \text{ м},$$

$$A = \frac{(y_2 - y_1)}{x_2 - x_1} = \frac{-4{,}2 - 0{,}873}{-0{,}64 - 0{,}33} = 5{,}23,$$

$$C' = y_1 - A \cdot x_1 = 0{,}873 - 5{,}23 \cdot 0{,}33 = 0{,}849,$$

Визначаємо плече m, сили яка діє на шток гідроциліндра

$$m = \frac{A \cdot x_3 + B \cdot y_3 + C'}{\sqrt{A^2 + B^2}}, \qquad (2.7)$$

$$m_1 = \frac{5{,}23 \cdot 2{,}5 - (-1 - 0) - 0{,}84929}{\sqrt{5{,}23^2 + (-1)^2}} = 2{,}48 \text{ м},$$

при $\varphi = 15^0$

$$x_1 = R \cdot (\beta + \varphi) - L \cdot \sin(\beta + \varphi) = 3{,}4 \cdot \sin(0{,}767 + 15) -$$
$$- 3{,}4 \cdot \sin(42^o + 15) = 0{,}518 м,$$

$$y_1 = R - L \cdot \cos(\beta + \varphi) = 3{,}4 - 3{,}4 \cdot \cos(42^o + 15) = 1{,}318 \text{ м},$$

$$x_2 = -0{,}64 \text{ м},$$

$$y_2 = -4{,}2 \text{ м},$$

$$x_3 = R \cdot (\beta + \varphi) = 3{,}4 \cdot (0{,}767 + 0{,}144) = 3{,}174 \text{ м},$$

$$y_3 = 0,$$

$$A = \frac{(y_2 - y_1)}{x_2 - x_1} = \frac{-4{,}2 - 1{,}318}{-0{,}64 - 0{,}518} = 4{,}945\,,$$

$$C' = y_1 - A \cdot x_1 = 1{,}318 - 4{,}945 \cdot 0{,}518 = -1{,}419,$$

$$m_2 = \frac{4{,}945 \cdot 3{,}174 - (-1-0) - 1{,}419}{\sqrt{4{,}945^2 + (-1)^2}} = 2{,}913 \text{ м.}$$

при $\varphi=30^0$

$$x_1 = R \cdot (\beta + \varphi) - L \cdot \sin(\beta + \varphi) = 3{,}4 \cdot \sin(0{,}767 + 30) -$$
$$- 3{,}4 \cdot \sin(42^o + 30) = 1{,}08 м,$$

$$y_1 = R - L \cdot \cos(\beta + \varphi) = 3{,}4 - 3{,}4 \cdot \cos(42^o + 30) = 2{,}107 \text{ м},$$

$$x_2 = -0{,}64 \text{ м},$$

$$y_2 = -4{,}2 \text{ м},$$

$$x_3 = R \cdot (\beta + \varphi) = 3{,}4 \cdot (0{,}767 + 0{,}371) = 3{,}87 \text{ м},$$

$$y_3 = 0\,,$$

$$A = \frac{(y_2 - y_1)}{x_2 - x_1} = \frac{-4{,}2 - 2{,}107}{-0{,}64 - 1{,}08} = 3{,}986\,,$$

$$C' = y_1 - A \cdot x_1 = 2{,}107 - 3{,}986 \cdot 1{,}08 = -1{,}647,$$

$$m_3 = \frac{3{,}986 \cdot 3{,}87 - (-1-0) - 1{,}647}{\sqrt{3{,}986^2 + (-1)^2}} = 3{,}41 \text{ м.}$$

Визначаємо так само плече m'_1 при нахилі печі убік робочого вікна на кут 12^0. У цьому випадку координати x_1 й y_1 визначаються по формулах:

$$x_1 = R \cdot (\beta + \varphi) - L \cdot \sin(\beta + \varphi) = 3{,}4 \cdot (0{,}121 - 0) - 3{,}4 \times$$
$$\times \sin(12^0) = 0{,}098 м,$$

$$y_1 = R - L \cdot \cos(\beta - \varphi) = 3{,}4 - 3{,}4 \cdot \left(12^0\right) = 0{,}58 \text{ м},$$

$$x_2 = -0{,}64 \text{ м},$$

$$y_2 = -4{,}2 \text{ м},$$

$$x_3 = R \cdot (\beta + \varphi) = 3{,}4 \cdot (0{,}767 - 0{,}256) = 1{,}736 \text{ м},$$

$$y_3 = 0,$$

$$A = \frac{(y_2 - y_1)}{x_2 - x_1} = \frac{-4{,}2 - 0{,}58}{-0{,}64 - 0{,}098} = 5{,}97,$$

$$C' = y_1 - A \cdot x_1 = 0{,}58 - 5{,}97 \cdot 0{,}098 = -0{,}198,$$

$$m_1' = \frac{5{,}97 \cdot 1{,}736 - (-1 - 0) - 0{,}198}{\sqrt{5{,}97^2 + (-1)^2}} = 1{,}796 \text{ м}.$$

Тоді зусилля P_0 для відповідних положень печі будуть:

$$P_{O_0} = \frac{M_0}{m} = \frac{223{,}3}{2{,}48} = 90 \text{ кН},$$

$$P_{O_{12}} = \frac{259{,}9}{1{,}796} = 144{,}7 \text{ кН},$$

$$P'_{O_{12}} = -\frac{259{,}9}{1{,}796} = -144{,}7 \text{ кН},$$

$$P'_{O_0} = \frac{201{,}7}{2{,}48} = 81{,}3 \text{ кН},$$

$$P_{O_{15}} = \frac{5{,}6}{2{,}913} = 1{,}92 \text{ кН},$$

$$P_{O_{30}} = \frac{259{,}21}{3{,}41} = 76 \text{ кН},$$

$$P_{O45} = \frac{480,3}{3,61} = 133 \quad \text{кН},$$

$$P'_{O45} = -\frac{451,7}{3,61} = -125,12 \quad \text{кН},$$

$$P'_{O30} = -\frac{235,22}{3,41} = -69 \quad \text{кН},$$

$$P'_{O15} = \frac{0,2}{2,913} = 0,07 \quad \text{кН},$$

$$P''_{O0} = \frac{234,3}{2,48} = 94,4 \quad \text{кН}.$$

За отриманим даними будуємо графік залежності $P_0=f(\varphi)$ (мал. 3). Аналіз графіків вказує на те, що максимальне зусилля має місце при нахилі печі на кут 12^0 убік робочого вікна при скачуванні шлаків, тобто $P_{012}=144,7$ кН

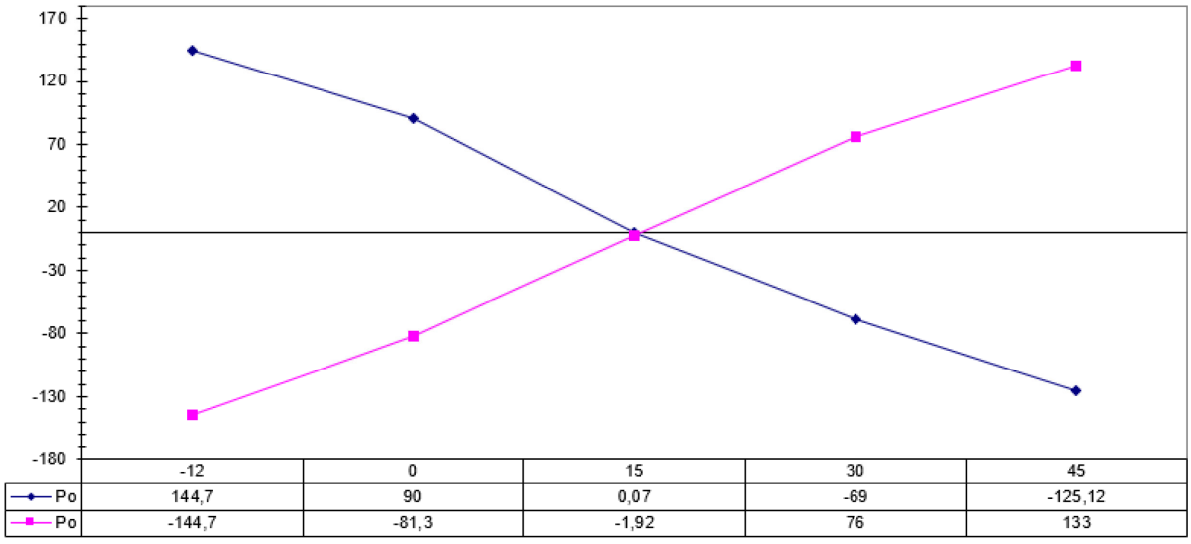


Рисунок 2.4 – Графік залежності $P_0=f(\varphi)$

Визначаємо розрахункове зусилля:

$$P_{O_p} = P_{O_{12}} \cdot k_1 \cdot k_1, \qquad (2.8)$$

де k_1 – коефіцієнт, що враховує перерозподіл навантаження між гідроциліндрами, k_1=1,2;

k_2 – коефіцієнт запасу зусилля, який має складати не менше 20 %.

$$P_{O_p}=144,7\cdot1,2\cdot1,2=208,37,$$

приймаємо P_{O_p}=210 кН

Варто врахувати ті обставини, що мастило під тиском надходить у штокові порожнини обох циліндрів. Тому штокова площа одного гідроциліндра для даного випадку буде основною при наступному визначенні діаметра циліндра D.

З одного боку $S_ш=\frac{\pi\cdot D^2}{4}-\frac{\pi\cdot d^2}{4}$, з іншого боку можливе використання наступного вирозу для визначення площі поперечного перерізу штокової порожнини

$$S_ш=\frac{P_{O_p}}{2\cdot p_p\cdot\eta_ц}, \tag{2.9}$$

де p_p – робочий тиск, p_p=5,5 МПа;

$\eta_ц$ – ККД циліндра, $\eta_ц$=0,85.

Тоді:

$$D=\sqrt{\frac{P_{O_p}}{2\cdot5,887\cdot10^{-1}\cdot p_p\cdot\eta_ц}}=\sqrt{\frac{210\cdot10^3}{2\cdot5,887\cdot10^{-1}\cdot5,5\cdot10^6\cdot0,85}}=0,256м,$$

Остаточно приймаємо D=300 мм (D=0,3 м).

Необхідну подачу насоса визначаємо за значеннями поршневої порожнини циліндрів, що буде:

$$S_П = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3{,}14 \cdot 0{,}3^2}{4} = 0{,}07 \text{ м}^2,$$

Тоді:

$$Q_н = 2 \cdot S_П \cdot V = 2 \cdot 0{,}07 \cdot 2 \cdot 10^{-2} = 0{,}0028 \text{ м}^3/\text{с}.$$

За значеннями $p_р$ й $Q_н$ вибираємо пластинчастий насос Г12-16А з такими параметрами: $p_н$=6,3 МПа, $Q_н$=200 л/хв, η=0,85, а вже за цим даними необхідні апаратури:

- фільтр Г41-43 (із пропускною здатністю Q=70 л/хв), і із втратами тиску 0,2 МПа, умовний прохід $D_у$=32 мм;
- зворотний клапан Г71-26, втрати тиску 0,0018 м^3/з, з умовним проходом $D_у$=32 мм;

Перетини трубопроводів у лініях вибираємо по величині $Q = 2{,}168 \cdot 10^{-3}$ м^3/с. У цьому випадку приймаємо $V_{зл}$=2 м/с, тоді перетин цих трубопроводів буде:

$$S_Т = \frac{Q}{V_{зл}} = \frac{2{,}168 \cdot 10^{-3}}{2} = 1{,}034 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

$$d_Т = \sqrt{\frac{4S_Т}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1{,}034 \cdot 10^{-3}}{3{,}14}} = 3{,}578 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

Остаточно приймаємо $d_т$=36 мм. По цій величині вибираємо труби діаметром 42 мм [21].

Через те, що дросельний клапан установлений у зливальній магістралі (рисунок 2.5), він визначає величину втрат в обох ємностях гідроциліндрів. Для нашого випадку приймаємо величину втрат на дроселі Q=1,667·10^{-3} м^3/с. Тоді втрати в лінії СЖ будуть:

$$Q=1{,}667\cdot10^{-3}\ м^3/с,$$

а в лінії ВА:

$$Q_{BA}=Q_{сж}\cdot\frac{S_ш}{S_П}=1{,}667\cdot10^{-3}\cdot\frac{0{,}053}{0{,}07}=1{,}26\cdot10^{-3}\ \ м^3/с.$$

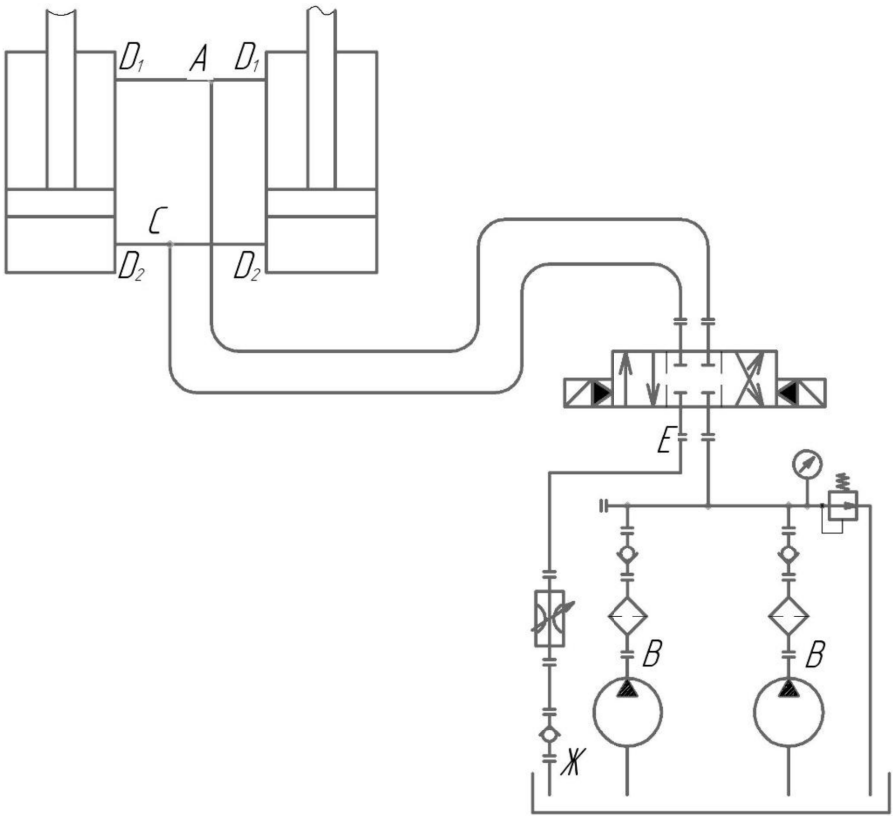


Рисунок 2.5 – Спрощена гідросхема нахилу електродугової печі

Визначаємо число Рейнольдса для різних ділянок трубопроводів по формулі:

$$R_e = \frac{Q}{(0{,}785 \cdot d \cdot \nu)}, \qquad (2.10)$$

де $V_{ср}$ – середня швидкість потоку м/с;

ν – кінематична в'язкість, $м^2/з$, $\nu=3\cdot10^{-5}$ МПа;

d – внутрішній діаметр трубопроводу, d=36мм;

Q – втрати масла, $м^3/с$.

Ділянка ВА

$$R_e = \frac{1{,}48 \cdot 10^{-3}}{0{,}785 \cdot 3{,}6 \cdot 10^{-2} \cdot 3 \cdot 10^{-5}} = 1972 \ ,$$

$R_e<R_{кр}$ (режим руху рідини ламінарний).

Ділянка AD_1

$$R_e = \frac{1{,}48 \cdot 10^{-3}}{0{,}785 \cdot 3{,}6 \cdot 10^{-2} \cdot 3 \cdot 10^{-5}} = 872 \ ,$$

$R_e<R_{кр}$ (режим руху рідини ламінарний).

Ділянка $СД_2$

$$R_e = \frac{2{,}168 \cdot 10^{-3}}{0{,}785 \cdot 3{,}6 \cdot 10^{-2} \cdot 3 \cdot 10^{-5}} = 2{,}456 \ ,$$

$R_e>R_{кр}$ (режим руху рідини турбулентний).

Перед визначенням втрат тиску в трубопроводах, спочатку визначимо коефіцієнт (для ламінарного режиму руху:

$$\lambda = \frac{75}{R_e},$$

і турбулентного режиму руху:

$$\lambda = (100 \cdot R_e)^{-0,25},$$

ділянка ВА $\lambda = \frac{75}{1772} = 4,2 \cdot 10^{-2},$

ділянка CD_1 $\lambda = \frac{75}{872} = 8,6 \cdot 10^{-2},$

ділянка CD_2 $\lambda = \frac{75}{1278,6} = 5,8 \cdot 10^{-2},$

ділянка СЕ і ЕЖ $\lambda = (100 \cdot 2556)^{-0,25}.$

Визначаємо втрати тиску в трубопроводах по формулі:

$$\Delta p = \frac{\lambda \cdot 8 \cdot Q^2 \cdot p \cdot l}{\pi^2 \cdot d^5}, \qquad (2.11)$$

де λ – коефіцієнт опору;

l - довжина трубопроводу.

Ділянка ВА (*l*=15м)

$$\Delta p = \frac{4,2 \cdot 10^{-2} \cdot 8 \cdot \left(1,48 \cdot 10^{-3}\right)^2 \cdot 900 \cdot 15}{3,14^2 \cdot \left(3,6 \cdot 10^{-3}\right)^5} = 16665 \text{ Па},$$

ділянка D_1D_1 (*l*=5 м)

$$\Delta p = \frac{8,6 \cdot 10^{-2} \cdot 8 \cdot \left(6,25 \cdot 10^{-4}\right)^2 \cdot 900 \cdot 5}{3,14^2 \cdot \left(3,6 \cdot 10^{-2}\right)^5} = 2028 \text{ Па},$$

ділянка D_2D_2 (l=5 м)

$$\Delta p = \frac{5{,}8 \cdot 10^{-2} \cdot 8 \cdot \left(8{,}335 \cdot 10^{-4}\right)^2 \cdot 900 \cdot 5}{3{,}14^2 \cdot \left(3{,}6 \cdot 10^{-2}\right)^5} = 2430 \quad \text{Па},$$

ділянка СЕЖ (l=15 м)

$$\Delta p = \frac{8{,}74 \cdot 10^{-2} \cdot 8 \cdot \left(2{,}168 \cdot 10^{-3}\right)^2 \cdot 900 \cdot 15}{3{,}14^2 \cdot \left(3{,}6 \cdot 10^{-2}\right)^5} = 25023 \quad \text{Па}.$$

Тоді втрати напору в трубопроводах складуть:

у нагнітальній магістралі

$$\Delta p_{TH} = 16665 + 2028 = 18693 \quad \text{Па},$$

у зливальній магістралі

$$\Delta p_{TC} = 25023 + 2430 = 27453 \quad \text{Па}.$$

Відповідно зі спрощеною гідросхемою (рисунок 2.5) і рекомендаціями [22] визначаємо коефіцієнт опору :

ξ_3=2,5; ξ_4=2,5; $\xi_{11л}$=2; $\xi_{11т}$=1; ξ_{12}=0,12; ξ_{13}=1,25; ξ'_{13}=1,75; ξ_{14}=0,2; ξ_{15}=1,4; ξ_{16}=1,4.

Визначаємо втрати тиску в місцях опору (при цьому для спрощення розрахунку завдання діаметра умовних проходів штуцерів 12 приймаємо такими ж як діаметри трубопроводів):

ділянка ВА

$$\Delta p_M = \frac{8 \cdot Q_{BA}^2 \cdot \rho}{\pi^2 \cdot d_T^2} \cdot (\xi_4 + 5 \cdot \xi_{12} + \xi_{13} + 6 \cdot \xi_{14} + \xi_{15} + \xi_{16}) + \Delta p_5 +$$

$$+ \frac{8 \cdot Q_{BA}^2}{\pi^2 \cdot d_p^4} \cdot \xi = \frac{8 \cdot \left(1{,}48 \cdot 10^{-3}\right)^2 \cdot 900}{3{,}1415^2 \cdot \left(3{,}6 \cdot 10^{-2}\right)^4} \cdot (2{,}5 + 5 \cdot 0{,}12 + 1{,}25 + 6 \cdot 0{,}2 + 1{,}4 + 1{,}4) +$$

$$+ 2 \cdot 10^5 + \frac{8 \cdot \left(1{,}48 \cdot 10^{-2}\right)^2 \cdot 900}{3{,}14^2 \cdot \left(2 \cdot 10^{-2}\right)^4} = 217931\,H,$$

де d_p – діаметр каналів розподільника.

ділянка D_1D_1

$$\Delta p_M = 2 \cdot \frac{8 \cdot Q_{D1D1}^2 \cdot \rho}{\pi^2 \cdot d_T^4} \cdot (\xi_{11} + \xi_{12}) = 2 \cdot \frac{8 \cdot \left(6{,}25 \cdot 10^{-5}\right) \cdot 900}{3{,}14^2 \cdot \left(3{,}6 \cdot 10^{-2}\right)^4} \times$$

$$\times (2 + 0{,}12) = 1150{,}982\,H,$$

ділянка D_2D_2

$$\Delta p_M = 2 \cdot \frac{8 \cdot Q_{Д2Д2}^2 \cdot \rho}{\pi^2 \cdot d_T^4} \cdot (\xi_{11} + \xi_{12}) = 2 \cdot \frac{8 \cdot \left(8{,}335 \cdot 10^{-4}\right)^2 \cdot 900}{3{,}14^2 \cdot \left(3{,}6 \cdot 10^{-2}\right)^4} \times$$

$$\times (2 + 0{,}12) = 1280\,H,$$

ділянка С-Ж

$$\Delta p_M = \frac{8 \cdot Q_{СЖ}^2 \cdot \rho}{\pi^2 \cdot d_T^4} \cdot (\xi_4 + 6 \cdot \xi_{12} + \xi_{13'} + 8 \cdot \xi_{14}) + \frac{8 \cdot Q_{СЖ}^2 \cdot \rho}{\pi^2 \cdot d_p^4} \cdot \xi_3 +$$

$$+\Delta p_7 = \frac{8 \cdot \left(1{,}667 \cdot 10^{-3}\right)^2 \cdot 900}{3{,}14^2 \cdot \left(3{,}6 \cdot 10^{-2}\right)^4} \cdot (2{,}5 + 6 \cdot 0{,}12 + 1{,}75 + 8 \cdot 0{,}2) +$$

$$+ \frac{8 \cdot \left(1{,}667 \cdot 10^{-3}\right)^2 \cdot 900}{3{,}14^2 \cdot \left(2 \cdot 10^{-2}\right)^4} \cdot 2{,}5 + 2 \cdot 10^5 = 236721\ Па.$$

Тоді втрати тиску в місцевих опорах:

у нагнітальній магістралі

$$\Delta p_{МН}=217931+1150{,}982=219082 \text{ Па}$$

у зливальній магістралі

$$\Delta p_{МС}=236721+1280=238001 \text{ Па}$$

Сумарні втрати тиску в гідросистемі:

$$\Delta p_{МС}=\Delta p_{ТН}+\Delta p_{МН}+\Delta p_{ТС}+\Delta p_{МС}=219082+238001+18693+27453=503229 \text{ Па}$$

Для підтримки системи в працездатному стані приймаємо Δp=0,6 МПа.

Тоді робочий тиск із урахуванням втрат тиску складе:

$$P_р=6{,}3-0{,}6=5{,}7 \text{ МПа}$$

Отримана величина $P_р$ незначно (<5 %) відрізняється від прийнятого значення ($P_р$=5,5 МПа). Тому уточнений розрахунок виконувати немає потреби.

Потужність двигуна насоса обчислюємо по номінальних параметрах насоса:

$$N=\frac{p\cdot Q}{1000\cdot\eta_0}, \qquad (2.12)$$

де η_0 – сумарний ККД насоса, η_0=0,85.

$$N=\frac{6,3\cdot10^{6}\cdot1,48\cdot10^{-3}}{1000\cdot0,85}=13,3 \text{ кВт}.$$

Вибираємо електродвигун типу AIP160M6, асинхронний з короткозамкненим ротором, з потужністю N=15 кDт і частотою обертання n=1000 хв$^{-1}$ [23].

Обсяг бака з урахуванням трихвилинної подачі насоса

$$V_б=3\cdot60\cdot1,986\cdot10^{-3}=0,36 \text{ м}^3$$

Визначаємо необхідність охолодження робочої рідини

$$S_p=\frac{3,6\cdot\Delta p\cdot Q}{(T-T_0)\cdot k_\delta}\leq S_ф, \qquad (2.13)$$

де Δp – втрати тиску в гідросистемі, Δp=0,6 МПа;

Q – втрати рідини в гідросистемі;

T, T_0 – температури робочої рідини й навколишнього середовища, $T=60^0$C, $T_0=20^0$C;

k_δ – коефіцієнт теплопередачі від бака в повітря, приймаємо k_δ=63кДж.

$$S_p=\frac{3,6\cdot6\cdot10^{5}\cdot1,986\cdot10^{-3}}{(60-20)\cdot60}=1,7 \text{ м}^2\leq S_ф=2,5 \text{ м}^2,$$

При такому режимі роботи маслостанции необхідності у використанні охолоджувача немає.

2.2 Перевірка конструкції гідроциліндра на міцність

Визначаємо товщину стінки циліндрів (p=1,48·6,3=9,3 МПа)

$$\delta=\frac{p\cdot D}{2,3\cdot[\sigma]-p}=\frac{9,3\cdot 0,3}{2,3\cdot 90-9,3}=1,18\cdot 10^{-2}\text{ м}$$

Остаточно приймаємо товщіну стінки гідроциліндра δ=12 мм.

Перевіряємо шток гідроциліндра на поздовжній вигин

$$F_k=k\frac{\pi^2\cdot E\cdot I}{L^2}\geq F_ф, \qquad (2.14)$$

де k – коефіцієнт, що враховує характер закріплення кінців штока й гідроциліндра, k=1 – при шарнірному закріпленні обох кінців [24];

E – модуль пружності матеріалу штока, E=2·10^5 МПа;

I – момент інерції перетину штока;

L – довжина стисливої ділянки, L=5 м.

$$F_k=1\frac{3.14^2\cdot 2\cdot 10^5\cdot 0,05\cdot 0,125^4}{5^2}=0,96\text{ МН}\geq F_ф=110\text{ кН}$$

Таким чином, параметри штока задовольняють прийнятим умовам.

2.3 Розрахунок приводу механізму переміщення заслінки робочого вікна

З огляду на те, що привод дубльований та має сисметричне виконання достатньо виконати розрахунок для однієї половини, яка складається з

електродвигуна та червячно-цілиндричного редуктора. Вихідні дані для розрахунку:

– окружна сила F_t=6,0 кН

– діаметр ланцюгового барабана D=350 мм

– швидкість обертання барабана $v=2\cdot10^{-2}$ м/с.

Потужність на валу ланцюгового барабана

$$P_B=F_t\cdot V=6\cdot0,2=1,2 \text{ кВт}$$

Частота обертання вала

$$n_B=\frac{60\cdot10^3\cdot V}{\pi\cdot D}=\frac{60\cdot10^3\cdot0,2}{3,14\cdot350}=10,91 \text{ кВт}$$

Коефіцієнт корисної дії

$$\eta=\eta_1\cdot\eta_2\cdot\eta_3\cdot\eta_4\cdot\eta_5=0,99\cdot0,87\cdot0,98=0,903$$

де $\eta_1,\eta_2,\eta_3,\eta_4,\eta_5$ – відповідно ККД муфти, першого й другого щабля редуктора, приймаємо [25]: $\eta_1=0,99,\eta_2=0,87,\eta_3=0,98$

Розрахункова потужність електродвигуна

$$P'=\frac{p_B}{\eta}=\frac{1,2}{0,903}=1,32 \text{ кВт}$$

Можлива частота обертання електродвигуна

$$n'_д=n_B\cdot U_3\left(U_{0_{MIN}}...U_{0_{MAX}}\right)=10,91\cdot5\cdot(16...400)=387...2183 \text{ хв}^{-1}$$

де $U_{0MIN}...U_{0MAX}$– рекомендуємий діапазон передаточних чисел редуктора приймаємо [26]: , $U_{0MIN}...U_{0MAX}$=16...400.

Вибираємо [27] електродвигун 4А160М4У3 з наступними технічними характеристиками: потужність $P_д = 2$ кВт, частота обертання $n_д = 980$ хв$^{-1}$, кратність пускового моменту $\lambda = \frac{T_{МАКС}}{T_{НОМ}} = 1{,}4$, діаметр вала $d = 48$ мм.

3 ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ЧАСТИНА

3.1 Аналіз та обгрунтування організації ремонтного господарства підприємства

Успішна виробничо-господарська діяльність підприємства перебуває в безпосередній залежності від рівня використання основних фондів й у першу чергу основного технологічного встаткування. Весь комплекс робіт, пов'язаних з належним і своєчасним обслуговуванням і проведенням ремонтів устаткування забезпечує ремонтне господарство підприємства [28]. Структура керування ремонтним господарством заводу визначається масштабом й існуючими методами організації ремонтів. Структура керування служби головного механіка представлена на рисунку 5.1.

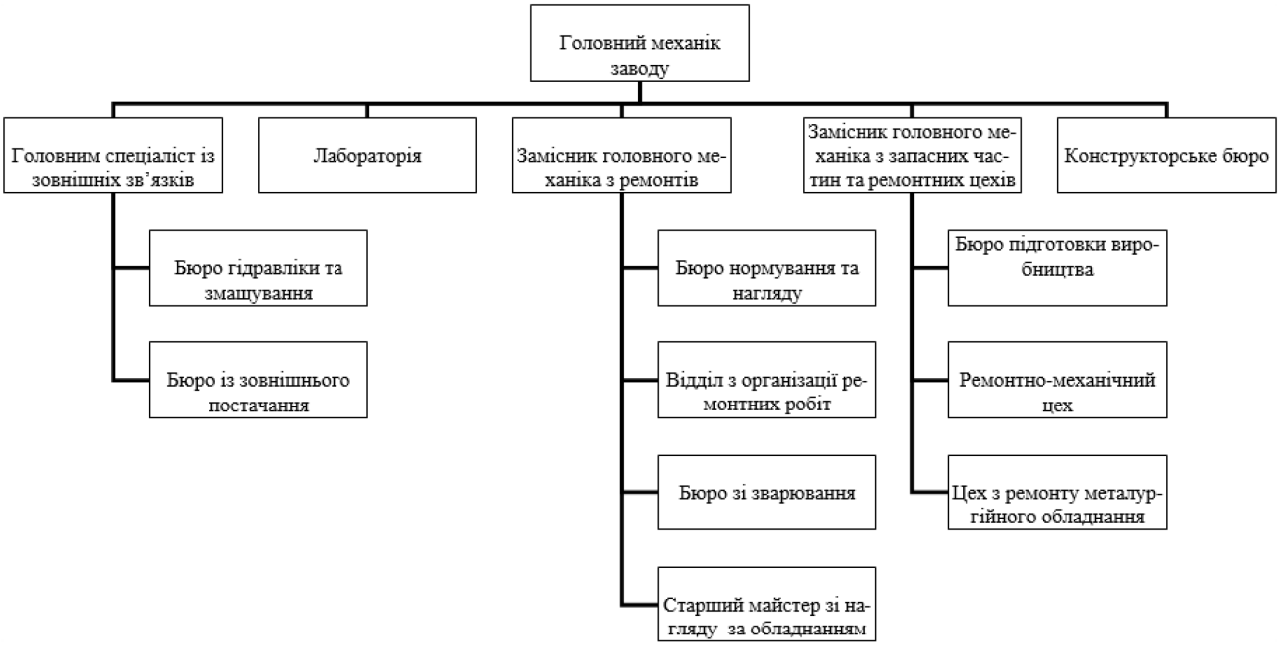


Рисунок 3.1 – Структурно-логічна схема керування ремонтним господарством підприємства

Ремонтне забезпечення підприємства потребує наявності розвиненої та

технічно оснащеної виробничої бази. У зв'язку з цим структура ремонтного господарства охоплює комплекс спеціалізованих цехів і служб, які виконують не лише роботи з технічного обслуговування та відновлення обладнання, але й займаються виготовленням змінних вузлів, спеціальних металоконструкцій, запасних частин, а також розробкою і виробництвом нестандартного устаткування [29].

На заводі "Дніпроспецсталь" до складу ремонтного господарства входять: цех ремонту металургійного обладнання (ЦРМО) та ремонтно-механічний цех (РМЦ). На чолі ремонтного господарства заводу керівник управління – головний механік. У розпорядженні головного механіка заводу перебувають такі цехи, як ремонтно-механічний (РМЦ), ремонту металургійного обладнання (ЦРМО). Основними ділянками РМЦ є: токарський, фрезерний і свердлильний.

Відділ головного механіка здійснює технічне керівництво роботою помічників начальників цехів по встаткуванню. Відділ головного механіка бере участь у розробці технічних проектів і проведенні технічного вдосконалення обладнання з метою збільшення його продуктивності й впровадження нової техніки.

Цехи головного механіка комбінату виконують основну частину ремонтно-механічних робіт на підприємстві. Оскільки всі види технічного обслуговування й ремонту устаткування не можуть бути виконані в централізованому порядку, за основу прийнята змішана форма організації ремонтного господарства [30]. Ремонтний персонал виробничих цехів виконує міжремонтне технічне обслуговування й підготовку до ремонтів, поточні ремонти встаткування безпосередньо на ділянках.

Ключовими обов'язками змінного майстра та майстрів, відповідальних за напольне обладнання, є забезпечення надійної та безперебійної роботи основних агрегатів у міжремонтний період, а також організація і виконання ремонту допоміжного устаткування. До їхніх функцій належить проведення повного комплексу організаційно-технічних заходів з підготовки ремонтів, своєчасне оформлення та передача дефектних відомостей і супровідної ремонтної

документації, а також формування та подання заявок на виготовлення необхідних запасних частин. Крім цього, вони зобов'язані проводити планові огляди встаткування з періодичністю, передбаченої планом технічної експлуатації встаткування. Від чіткого й своєчасного виконання функцій майстрів цеху багато в чому залежить робота основного й допоміжного устаткування з усіма втратами, що випливають.

Завдання забезпечення виробництва запасними частинами й ремонту технологічного встаткування на заводі виконують ремонтно-механічні цехи. Токарська й фрезерна ділянки, що є основними в ремонтно-механічному цеху, виготовляють близько 70% необхідної кількості запасних частин.

На підприємстві функціонують спеціалізовані ремонтні цехи, у складі яких зосереджено повний комплекс підрозділів, що забезпечують високоякісне та сучасне виконання поточних ремонтів (ПР) обладнання основних виробничих цехів. У цих підрозділах працюють слюсарі-ремонтники, монтажники та інші фахівці, які здійснюють централізований ремонт механічного устаткування.

Ремонтні бригади, закріплені за певними виробничими дільницями, виконують не лише відновлення обладнання, а й його регулярне міжремонтне обслуговування. Такий підхід сприяє підвищенню якості виконуваних робіт, покращенню технічного стану устаткування та водночас дозволяє оптимізувати чисельність ремонтного персоналу.

Показники, що характеризують ремонтне виробництво за рівнем централізації ремонтів і технічного обслуговування основних виробничих фондів, є [31]:

- рівень внутрішньозаводської централізації ремонтних робіт, %:

$$Р_{вз.ц}=\frac{О_{ц.с.}}{О_{х}}\times 100\ \%=\frac{35850000}{65850000}\times 100\ \%=54\ \%, \qquad (3.1)$$

де $О_{ц.с.}$ – об'єм ремонтних робіт, що виконуються централізованими службами заводу, грн.;

$О_х$ – об'єм ремонтних робіт, виконуваних на підприємстві господарським способом, грн.;

- рівень міжзаводської централізації ремонтних робіт складе:

$$Р_{м.ц}=\frac{О_п}{О_о}\times 100\ \%=\frac{42750000}{237100000}\times 100\ \%=18\ \%, \qquad (3.2)$$

де $О_п$ – об'єм ремонтних робіт, виконуваних підрядними організаціями, грн.;

$О_о$ – загальний обсяг робіт з ремонту встаткування, виконуваних на підприємстві, грн.;

- загальний ступінь централізації ремонтних робіт і технічного обслуговування визначається з вираження:

$$Р_{м.ц}=\frac{О_п+О_{ц.с.}}{О_о}\times 100\ \%=\frac{42750000+35850000}{237100000}\times 100\ \%=33{,}1\ \%. \qquad (3.3)$$

Таким чином можна зробити висновок, що ремонтне виробництво за рівнем централізації ремонтів і технічного обслуговування основних виробничих фондів, є збалансованим та відповідає потребам діючого виробництва.

У чорній металургії розрізняють три форми організаційної структури ремонтного господарства [30]: децентралізовану, централізовану й змішану. При цьому централізована форма передбачає два різновиди - централізована внутрішньозаводська та при використанні сторонніх організацій.

Останнім часом все більше застосування знаходить найбільш прогресивна форма організації ремонтів – централізована, що дозволяє краще використовувати верстатний парк, здійснити спеціалізацію ремонтів, зосередити ремонтний персонал і матеріальні ресурси на найважливіших агрегатах.

Зовсім недавно на підприємстві ВАТ «Днепроспецсталь» перейшли від

змішаної форми на централізовану.

Внутрішньозаводська централізована форма передбачає ремонт устаткування й виготовлення запасних частин у централізованому порядку за загальнозаводським планом одним або декількома ремонтними цехами, що перебувають у веденні головного механіка.

При міжзаводській (галузевій) централізації ремонтне обслуговування здійснюється спеціалізованими ремонтними організаціями.

Фахівці цехів, що спеціалізуються на ремонтах виконують весь спектр робіт, пов'язаних із плановими попереджувальними й капітальними ремонтами. Цеховий же персонал стежить за технічним оглядом устаткування, заготовлює запасні частини й виконує ремонти агрегатів при передчасному виході його з ладу, не потребуючі залучення централізованих цехів.

Потреба в матеріалах на ремонтно-експлуатаційні й інші (дослідження й експериментальні) потреби визначаються на підставі визначення об'ємів, розрахованих у відповідності існуючими нормами. Крім того, необхідний аналіз витрат матеріалів на ці мети за попередній період.

3.2 Розробка річного графіка ППР сталеплавильного цеху

Комплекс заходів, спрямованих на підтримання обладнання у працездатному стані, охоплює систематичний нагляд, належний догляд, міжремонтне обслуговування та виконання ремонтів. Такий підхід формує цілісну систему технічної експлуатації, яка забезпечує стабільність виробничого процесу, підвищення надійності машин і агрегатів та, відповідно, зменшує ризик виникнення різного роду нештатних ситуацій, в т.ч. і аварійних.

Нагляд разом із міжремонтним обслуговуванням являють собою сукупність щоденних профілактичних дій, спрямованих на збереження справного технічного стану обладнання. До таких заходів належать регулярні візуальні огляди, своєчасне виявлення ознак зношування або пошкоджень, контроль параметрів роботи обладнання (температури, вібрації, шуму,

навантаження), перевірка стану кріплень, змащувальних систем і захисних пристроїв. Додатково виконуються операції з очищення, змащування, регулювання та підтягування окремих елементів. Зазначені роботи, здійснюються обслуговуючим персоналом, а також черговими ремонтниками [29, 32]. Така профілактика дозволяє значною мірою подовжити ресурс устаткування та знизити витрати на його відновлення.

Ремонтні роботи, у свою чергу, здебільшого пов'язані із заміною зношених або пошкоджених деталей на нові або відновлені. Залежно від необхідного обсягу виконання ремонтних впливів ремонти поділяються на поточні та капітальні [29, 32]. Поточний ремонт передбачає виконання відносно невеликих за обсягом робіт без повного розбирання обладнання і спрямований на усунення окремих несправностей. Капітальний ремонт, навпаки, характеризується значним обсягом робіт, включає розбирання агрегатів, заміну базових вузлів і відновлення технічних характеристик до рівня, близького до початкового.

Основою ефективного технічного обслуговування є система планово-попереджувальних ремонтів (ППР), яка включає комплекс організаційних і технічних заходів щодо контролю, утримання, обслуговування та своєчасного ремонту обладнання. Її головна мета – забезпечення безперебійної та безпечної роботи устаткування, підвищення його довговічності та запобігання аварійним відмовам. Підпорядковуючись такій системі всі ремонтні заходи мають попереджувальний характер, що практично виключає ймовірність раптового виходу обладнання з ладу [29, 32]. Крім того, ППР дозволяє раціонально планувати використання трудових і матеріальних ресурсів, знижувати простої обладнання та підвищувати загальну ефективність виробництва.

Проведення ремонтних заходів здійснюється відповідно до затвердженого плану-графіка, який регламентує їхню періодичність, тривалість та обсяг. Такі графіки розробляються з урахуванням умов експлуатації обладнання, його технічного стану та рекомендацій виробника. Річний графік ППР для основного обладнання виробничого цеху наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Місячний графік ППР обладнання сталеплавильного цеху №1 на травень 2026 року

Обладнання цеху	Графік планового – попереджувального ремонту обладнання цеху СПЦ-1 на травень 2026 року																															Виконувач ремонту
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
ЕП №1			-	-	Т8					-	-						-	-	Т8					-	-					-	ЦРМО
ЕП №2			-	-						-	-		Т8				-	-						-	-		Т8				-	ЦРМО
ЕП №4			-	-			Т8			-	-						-	-			Т8			-	-						-	ЦРМО
УНБРС			-	-						-	-						-	-				Т 16	Т 16	-	-						-	ЦРМО
ІП №7	Т8		-	-						-	-			Т8			-	-						-	-	Т8					-	ЦРМО
Кран №8			-	-			Т8			-	-						-	-						-	-						-	ЦРМО
-//- №9			-	-						-	-						-	-		Т8				-	-						-	ЦРМО
-//- №10			-	-						-	-			Т8			-	-						-	-						-	ЦРМО
-//- №11			-	-						-	-						-	-						-	-			Т8			-	ЦРМО
-//- №12			-	-						-	-		Т8				-	-						-	-						-	ЦРМО
-//- №14			-	-						-	-						-	-						-	-					Т8	-	ЦРМО
-//- №16			-	-		Т8				-	-						-	-						-	-						-	ЦРМО
-//- №18			-	-						-	-						-	-	Т8					-	-						-	ЦРМО
-//- №19			-	-					Т8	-	-						-	-						-	-						-	ЦРМО
-//- №20			-	-						-	-				Т8		-	-						-	-						-	ЦРМО
-//- №25		Т8	-	-						-	-						-	-						-	-						-	ЦРМО
-//- №26			-	-				Т8		-	-						-	-						-	-						-	ЦРМО
-//- №27			-	-						-	-						-	-			Т8			-	-						-	ЦРМО
-//-№294			-	-						-	-						-	-						-	-	Т8					-	ЦРМО
-//-№295			-	-						-	-						-	-						-	-		Т8				-	ЦРМО
-//-№325			-	-						-	-	Т8					-	-						-	-						-	ЦРМО

3.3 Складання мережевого графіка капітального ремонту електросталеплавильної печі ДСВ-25

Наявність повного комплекту технічної документації, необхідної для виконання ремонтних і монтажних робіт, є визначальною передумовою для своєчасного і якісного введення устаткування в експлуатацію після ремонту. Саме ця документація забезпечує узгодженість дій персоналу, раціональне використання ресурсів і мінімізацію простоїв агрегатів.

До складу основної технічної документації, що супроводжує процес ремонту і монтажу, входять:

- ремонтна відомість, яка містить перелік необхідних робіт і замін;
- відомість дефектів, що відображає фактичний технічний стан обладнання;
- перелік монтажних операцій;
- оперативний графік проведення ремонтів;
- план організації робіт, який визначає послідовність і умови їх виконання, а також типовий кошторис, що регламентує витрати матеріальних і трудових ресурсів.

Особливо важливим етапом підготовки є розроблення графіка капітального ремонту електропечі. При його складанні необхідно забезпечити чітку структуризацію та деталізацію всіх етапів робіт. Крім того, при плануванні процесу складання агрегату важливо визначити так звані базові деталі та вузли, від яких починається монтаж. Вони виконують роль опорних елементів, що забезпечують правильне взаємне розташування інших складових частин. Процес складання являє собою сукупність взаємопов’язаних операцій, спрямованих на поєднання, просторове координування та надійне закріплення попередньо оброблених деталей і вузлів у строго визначеній технологічній послідовності.

Фундаментом для організації складально-монтажних робіт є детально розроблений перелік операцій, який охоплює етапи складання, монтажу, регулювання та пуску агрегату. Такий перелік, як правило, подається у вигляді

таблиці (табл. 3.2) і використовується для подальшого планування та оптимізації робіт. Для підвищення ефективності управління ремонтним процесом застосовують методи мережевого планування і керування. Розрахунок параметрів мережевого графіка (таких як тривалість критичного шляху, резерви часу, ранні та пізні терміни виконання робіт) здійснюється за відповідними аналітичними залежностями. Це дозволяє виявити критичні операції, виконати оптимізацію необхідних ресурсів і забезпечити дотримання графіку ремонту з мінімальними витратами. Розрахунок параметрів мережевого графіка проводимо по формулам [33]:

Повний резерв часу:

$$R_{i-j}=T_j^n-T_i^P-t_{i-j}, \tag{3.4}$$

Приватний резерв часу

$$r_{i-j}=T_j^p-T_i^p-t_{i-j}, \tag{3.5}$$

Пізній термін здійснення події

$$T_i^n=\left(T_j^n-t_{i-j}\right)_{min} \tag{3.6}$$

де T_i^n – найпізніший термін здійснення і-ї події;

T_j^n – найпізніший термін здійснення *j*-ї події.

Ранній термін здійснення події

$$T_j^p=T_i^p+t_{i-j}, \tag{3.7}$$

де T_j^p – найбільш ранній термін здійснення *j*-ї події;

T_i^p – найбільш ранній термін здійснення *i*-ї події;

t_{i-j} – тривалість роботи між *i*-ю і *j*-ю подіями.

Таблиця 3.2 - Перелік робіт капітального ремонту електродугової печі

№ п/п	Зміст роботи	Код роботи		Норматив на кількість людей	Норма часу в годинах
		початок	кінець		
1	Демонтаж опускної площадки	0	1	5	4
2	Демонтаж ванни печі	1	2	15	8
3	Демонтаж рукавів електродотримачів	2	3	15	4
4	Демонтаж механізму підйому склепіння	3	4	10	8
5	Демонтаж механізму підйому електродів	3	5	10	8
6	Демонтаж механізму нахилу	5	6	7	8
7	Демонтаж механізму викочування	4	10	10	8
8	Установка фундаментних болтів	7	9	7	8
9	Ремонт механізмів опускної площадки	5	8	10	16
10	Ремонт рукавів електродотримачів	10	11	9	4
11	Ремонт механізму підйому електродів	11	12	9	8
12	Ремонт механізму нахилу	6	7	8	16
13	Ремонт механізму викочування	10	19	8	20
14	Ремонт механізму підйому склепіння	12	13	6	8
15	Ремонт і налагодження електроустаткування	13	18	6	20
16	Ремонт системи «водоохолодження»	13	16	4	20
17	Ремонт гідроприводу	13	14	8	12
18	Ремонт металоконструкції порталу й робочих площадок навколо печі	15	19	15	72
19	Монтаж механізму викочування	14	20	3	7
20	Монтаж механізму нахилу	20	21	3	36
21	Монтаж рукавів електродотримачів	18	22	3	24
22	Монтаж ванни печі	22	23	5	160
23	Монтаж механізму підйому електродів	23	24	10	80
24	Монтаж механізму підйому склепіння	24	25	10	160
25	Монтаж опускної площадки	25	26	5	80
26	Фарбування металоконструкцій печі	26	27	5	40
27	Регулювання механізмів і пуск печі	27	28	10	80

Мережеві графіки капітальних ремонтів є сучасним інструментом планування та управління складними ремонтними процесами, що включають велику кількість взаємопов'язаних операцій [34]. Їх застосування дозволяє перейти від простого календарного планування до більш гнучкої та аналітично обґрунтованої системи організації робіт.

Головна мета мережевих графіків полягає у забезпеченні ефективного планування, координації та контролю виконання капітальних ремонтів. Вони дозволяють:

- встановити логічну послідовність виконання всіх ремонтних і монтажних операцій;
- визначити взаємозв'язки між роботами та залежності між окремими етапами;
- розрахувати загальну тривалість ремонту та виявити критичний шлях – сукупність операцій, що визначають мінімально можливий строк завершення робіт;
- визначити часовий резерв для некритичних операцій та забезпечити гнучкість у використанні ресурсів;
- оптимізувати розподіл трудових, матеріальних і технічних ресурсів;

Таким чином, мережеві графіки виступають не лише засобом планування, але й інструментом управління та аналізу ефективності ремонтного процесу.

Застосування мережевих графіків у капітальних ремонтах має низку суттєвих переваг:

- забезпечують наочне відображення структури всього комплексу робіт і взаємозв'язків між ними;
- дозволяють точно визначити критичні операції, від яких залежить загальний термін ремонту;
- сприяють скороченню тривалості ремонту за рахунок оптимізації паралельного виконання робіт;

Мережевий графік капітального ремонту печі ДСВ-25 наведено на рисунку 3.2

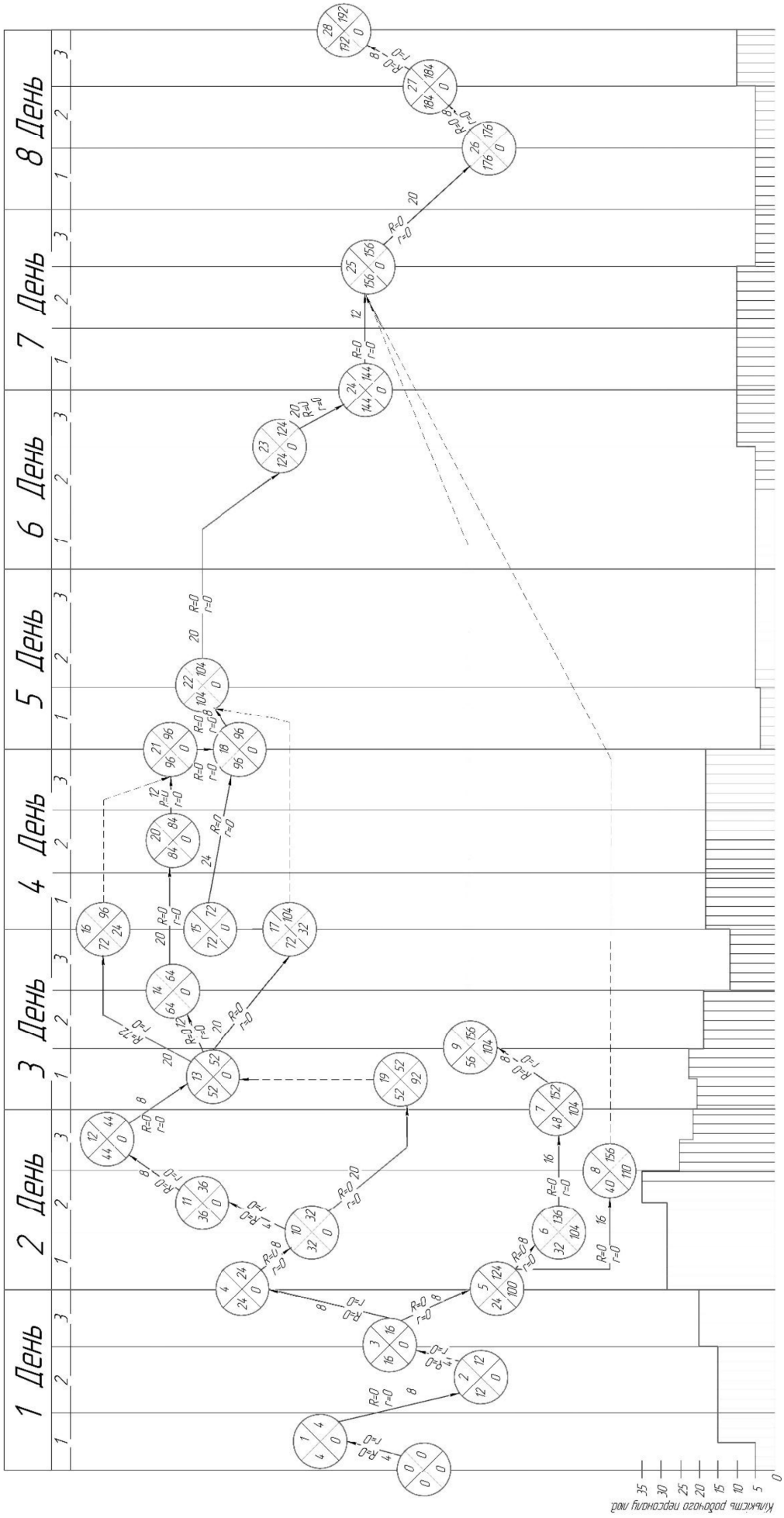


Рисунок 3.2 – Мережевий графік капітального ремонту електродугової печі ДСВ-25

3.4 Розрахунок річної трудомісткості поточних ремонтів устаткування цеху та складання штатного розпису обслуговуючого персоналу

На підприємствах металургійної галузі визначення річної трудомісткості поточних ремонтів (Тр) здійснюється на основі узагальнених нормативних показників, що встановлюють витрати праці на обслуговування однієї одиниці обладнання відповідного типу. Такі укрупнені нормативи, як правило, беруться з чинної нормативно-технічної документації або формуються на підставі аналізу фактичних даних, отриманих із виробничої звітності підприємства. Узагальнені результати розрахунків річної трудомісткості поточних ремонтів подано у таблиці 3.3.

Спираючись на значення річної трудомісткості для одиниці обладнання кожної групи, визначають сумарну річну трудомісткість поточних ремонтів для всього парку устаткування. Розрахунок виконують із використанням відповідної залежності:

$$То = Т_р \cdot К_п = 36576 \cdot 1{,}25 = 45720 \text{ люд.-год}, \qquad (3.8)$$

де $Т_р$=62832 – річна трудомісткість поточних ремонтів устаткування ділянки, із заводської звітної документації;

$К_п$ – коефіцієнт, що враховує об'єм підготовчих робіт і трудомісткість ремонту окремих механізмів і пристроїв загальцехового призначення, не врахованих у Тр.

У складі підготовчих робіт врахована: ревізія устаткування, ремонт окремих елементів металоконструкцій, позаплановий, у тому числі й аварійний ремонт устаткування й т.д. Рекомендується для агломераційних і плавильних цехів $К_п$ прийняти 1,25

Для визначення чисельності робітників механослужби також використовують загальну річну трудомісткість поточних ремонтів устаткування ділянки То.

Таблиця 3.3 – До визначення річної трудомісткості поточних ремонтів

№№ п/п	Устаткування	Кількість	Трудомісткість люд.-год.	Загальна трудомісткість люд.-год.
1	Електропечі	3	3456	10368
2	УПНРС	1	10368	10368
3	ІП-7	1	3456	3456
4	Ел. мост. крани	16	360	5760
5	Допоміж. облад.	36	----	6624
			Разом:	36576

Нормативна чисельність ремонтного персоналу визначається як [33, 34]:

$$Ч_{Р.П}=\frac{T_О\cdot(1-k_Ц)}{B_Е\cdot k_В}=\frac{45720\cdot(1-0,45)}{1608\cdot 1,1}=14,2\approx 15 \text{ люд} \qquad (3.9)$$

де $Ч_{Р.П}$ – штатна кількість ремонтного персоналу;

$k_Ц$ – коефіцієнт централізації поточних ремонтів (за даними базового підприємства $k_Ц$ – 0,3 – 0,45);

$B_Е$ – ефективний фонд робочого часу одного середньосписочного робочого ремонтника механослужби в плановому році (визначається на підставі балансу робочого часу);

$k_В$ – коефіцієнт, що враховує виконання виробничих норм ($k_В$ = 1 – 1,3).

Нормативна численність чергового персоналу:

$$Ч_{Д.П}=\frac{T_{М.О}(1-k_у)}{B_Е}=\frac{18288\cdot(1-0,3)}{1784}=7,17\approx 8 \text{ люд.} \qquad (3.10)$$

де $T_{М.О}$ – трудомісткість чергового обслуговування, люд.-год,($T_{М.О}$ = $T_О \cdot k$=45720·0,4=18288);

$k_У$ – коефіцієнт, що враховує участь експлуатаційного персоналу у міжремонтному обслуговуванні обладнання, за даними базового підприємства в межах 0,2–0,4;

$B_Е$ – ефективний фонд робочого часу чергового слюсаря у плановому році.

k = 0,4–0,5 – коефіцієнт визначено на основі трудомісткості міжремонтного технічного обслуговування

Загальна нормативна чисельність:

$$Ч_{об}=Ч_{рп.}+Ч_{дп} = 15 + 8 = 23 \text{ люд.} \quad (3.11)$$

Штатний розклад робітників механослужби електросталеплавильного цеху наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Штатний розклад механослужби цеху

№ п/п	Професія	Номер сітки	Розряд	Тариф. ставка в годину	Система опла–ти	Премія,%	Графік роботи	Трив. зміни	Трив. відпустки	Чисельність по штату
Ремонтний персонал										
1	Слюсар-ремонтник дений	001	6	100,49	ПП	35	1	8	39	5
2	Слюсар-ремонтник дений	001	5	89,20	ПП	35	1	8	39	4
3	Електрогазо-зварник дений	001	6	100,49	ПП	35	1	8	36	3
4	Електрогазозварник дений	001	5	89,20	ПП	35	1	8	36	3
Черговий персонал										
5	Слюсар-ремонтник	001	6	100,49	ПП	35	3	8	42	4
7	Електрогазозварник	001	6	100,49	ПП	35	3	8	36	4
Разом:										23

3.5 Розрахунок облаштування для виконання монтажних робіт під час капітального ремонту електродугової печі

Такелажні роботи – це комплекс операцій, пов’язаних із закріпленням елементів обладнання за допомогою гнучких підвісок (стропування), їх підніманням, переміщенням і встановленням у проектне положення. Для виконання таких робіт застосовують різноманітні вантажопідіймальні машини, механізми та допоміжні пристрої [35].

Однією з ключових і найбільш відповідальних операцій під час такелажних робіт, особливо при підніманні вантажів, є правильне стропування. Це є основою забезпечення безпечних умов праці та збереження обладнання. Особливої уваги потребують великогабаритні та важкі вузли, які необхідно ретельно балансувати. У місцях контакту стропів з елементами конструкції повинні передбачатися спеціальні захисні прокладки або заокруглення, що запобігають пошкодженню канатів і поверхонь обладнання [35].

Залежно від способу закріплення вантажу розрізняють два основних варіанти стропування [36]:

– обв’язування вантажу канатами, ланцюгами або стропами;
– закріплення стропів за спеціально передбачені елементи конструкції (цапфи, припливи, рим-болти, лафети та інші монтажні вузли).

Важливою умовою правильного стропування є точне визначення центра мас вантажу. Схема підвішування повинна забезпечувати розташування центра ваги вантажу на одній вертикалі з віссю гакової підвіски підйомного механізму, що гарантує стійке положення під час підйому [35].

Маса монтажних вузлів не повинна перевищувати допустиму вантажопідйомність наявних підіймальних засобів, а їх габарити мають відповідати розмірам монтажних прорізів. У разі роботи з особливо важким або великогабаритним обладнанням допускається одночасне використання кількох кранів [37].

До основних такелажних засобів належать сталеві та текстильні канати, ланцюги, різні типи стропів, траверси, захоплювальні пристрої, блоки, поліспасти, талі, лебідки та домкрати.

Стропи являють собою відрізки канатів або ланцюгів, замкнені в кільце або оснащені спеціальними кінцевими елементами, що забезпечують швидке, надійне й безпечне кріплення вантажу. Кількість гілок стропа визначається залежно від маси вантажу та характеристик канату [35].

Для підвищення ефективності та безпеки робіт широко застосовують напівавтоматичні стропи, які дозволяють виконувати розстропування без підйому робітника на висоту. Аналогічно використовують і напівавтоматичні захвати [35-37].

З’єднання кінців канатів або формування петель здійснюють за допомогою спеціальних затискачів різних конструкцій (рис. 3.3).

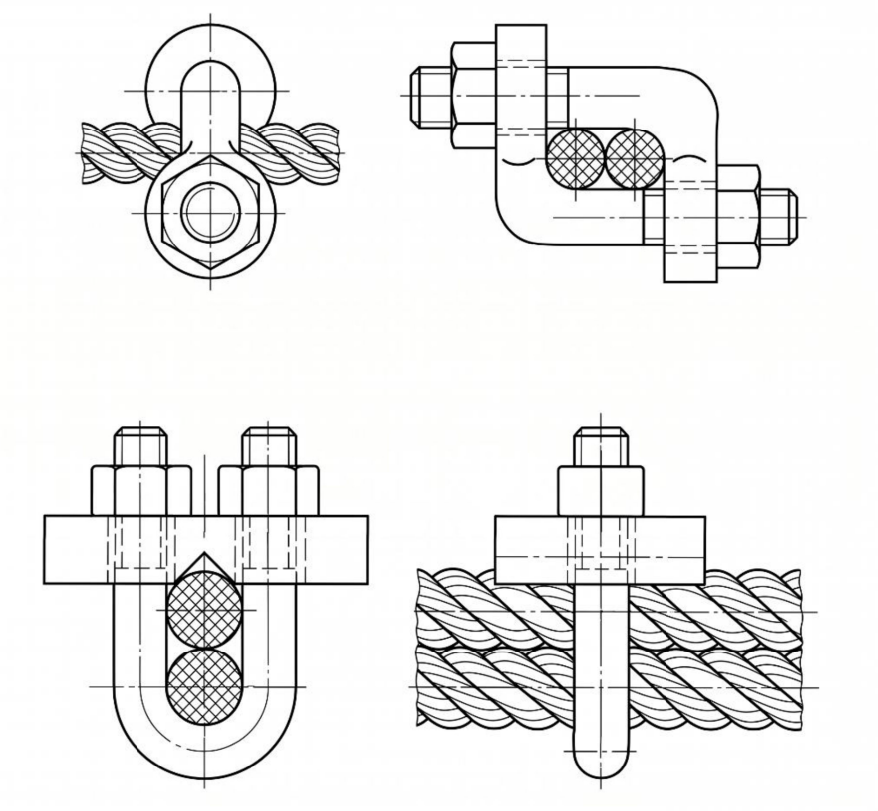


Рисунок 3.3 – Різні конструкції затискачів для кріплення сталевих канатів

Для забезпечення надійності конструкції стропа, кількість затискачів регламентується, та має бути три і більше, а відстань між ними зазвичай приймається не менше шести діаметрів канату. Затягування гайок повинно виконуватись рівномірно, із застосуванням динамометричних ключів, щоб забезпечити зменшення поперечного перерізу канату приблизно до 60% від початкового діаметра.

Кінці канатів, як правило, закріплюють із використанням коушів – спеціальних елементів, що запобігають зминанню, зношуванню та руйнуванню канату в місцях перегину. Коуші виготовляють штампуванням із листової сталі або литтям.

Затискачі встановлюють таким чином, щоб їх гайки розташовувалися з боку робочої гілки канату. Це забезпечує правильну геометрію навантаженої частини та підвищує надійність затискання вільного кінця.

Виконуємо розрахунок необхідних стропів для монтажу кінцевих балок і люльки під час проведення капітального ремонту. При підвішуванні елемента до гака за допомогою багатогілкового стропа максимальне розрахункове зусилля в кожній гілці визначається за відповідною розрахунковою залежністю [35]:

$$S=\frac{Q\cdot g}{m\cdot \sin\alpha}\cdot k_н=\frac{2670\cdot 9.81}{2\cdot \sin 45^\circ}\cdot 1=18521.036\text{Н} \qquad (3.12)$$

де Q = 2670 кг – маса балки;

m = 2 – число гілок стропа;

$\alpha = 45^\circ$ – кут нахилу гілок стропа до вертикалі;

$k_н = 1$ – коефіцієнт перівномірності навантаження на гілку стропа, при стропування на дві гілки;

Розривне зусилля в одній гілці стропа:

$$P_Р=S\cdot k=18521.036\cdot 6=111126.216\text{ Н} \qquad (3.13)$$

де k = 6 – коефіцієнт запасу міцності, що залежить від умови роботи канату.

Попередньо обираємо канат подвійного звивання типу ЛК-Р конструкції 6х19 (1+6+6/6)+1о.с. за ДСТ 2688-80 діаметром d = 15,0 мм, що має при маркувальній групі 1568 МПа розривне зусилля 114,5 кН [38].

Фактичний коефіцієнт запасу міцності канату

$$k_ф = \frac{114500}{18521.036} = 6.18 > k = 6 \qquad (3.14)$$

Мінімальну довжину стропа визначають виходячи з кута та відстанню між точками кріплення (рис. 3.4):

$$L \frac{AB}{2 \cdot \cos \alpha} \frac{3120}{2 \cdot 0,7071}_{min} \qquad (3.15)$$

де АВ = 3120 мм – відстань між точками кріплення.

Вибираємо строп довєиною 1103 мм.

При кріпленні кінця сталевого канату затискачами, число затискачів визначається з умови:

$$S \leq 2 \cdot F_{тр} \qquad (3.16)$$

Сила тертя між кінцями канатів

$$F_{тр} = N_i \cdot n \cdot f \qquad (3.17)$$

де f = 0,15…0,20 – коефіцієнт тертя канату по канатові;

Ni – нормальний тиск, що створюється одним затискачем, Н;

n – число затискачів.

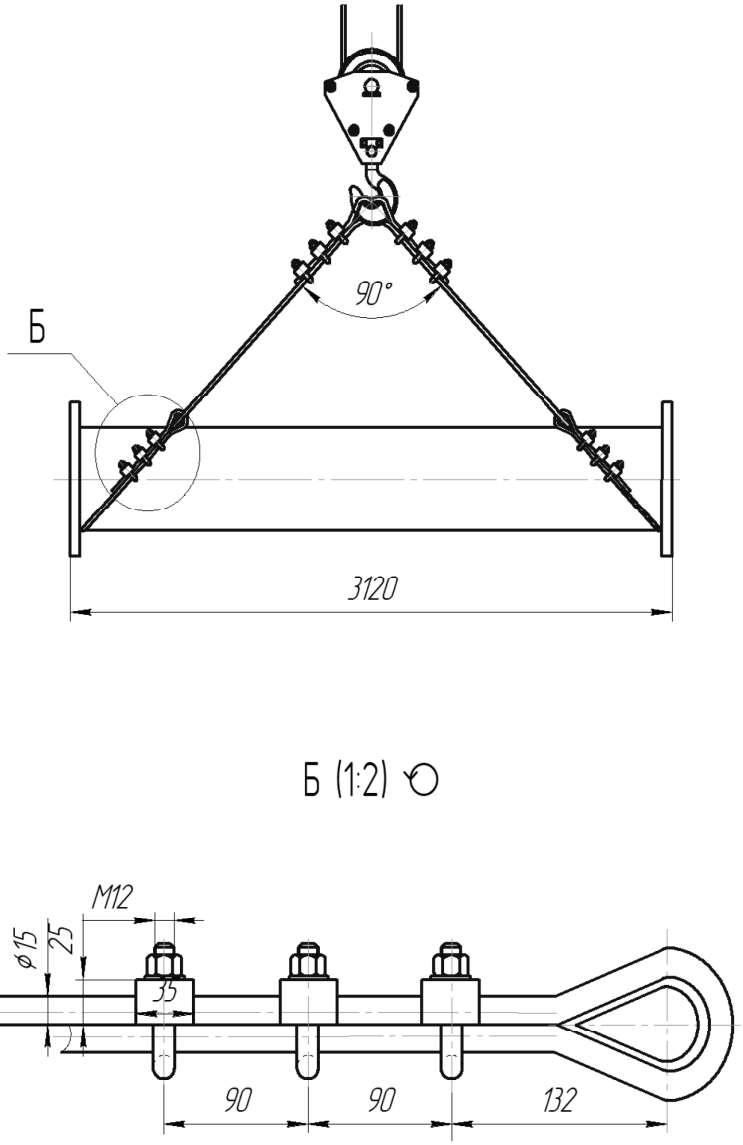


Рисунок 3.4 – Схема стропування кінцевих балок

Нормальний тиск, що створюється одним затискачем:

$$N_i=\frac{\pi\cdot d^2}{4}\cdot n_c\cdot[\sigma]=\frac{3{,}14\cdot 12^2}{4}\cdot 2\cdot 120=27129.6\text{H} \qquad (3.18)$$

де $n_c = 2$ – кількість стрижнів у затискачі;

$[\sigma_p]$ = 120 МПа – напруження на розтягнення, що допускається, для матеріалу скоби (Сталь 3);

d – діаметр стрижня затискача [35]:

$$d=(0,8...1,1)\cdot d_к=(0,8...1,1)\cdot 15.0=12...16.5 \quad мм \qquad (3.19)$$

З міркувань забезпечення необхідної надійності конструкції стропа приймаємо діаметр затискача рівний 12 мм, з нарізкою на кінцях різьблення М12.

Число затискачів:

$$n=\frac{S}{2\cdot N_i\cdot f}=\frac{18521.036}{2\cdot 27129.6\cdot 0,15}=2.27$$

З огляду на вимогу, щодо мінімальної кількості затискачів [35] приймаємо число затискачів $n=3$.

Крок розташування затискачів визначають як:

$$t=6\cdot d_к=6\cdot 15=90мм \quad ,$$

приймаємо t=90мм.

Розрахунок стропів для переміщення колиски під час її монтажу виконаємо за аналогічною методикою. Максимальне розрахункове зусилля:

$$S=\frac{Q\cdot g}{m\cdot \sin\alpha}\cdot k_н=\frac{7340\cdot 9.81}{4\cdot 0,7071}\cdot 1,4=71281.7Н$$

де Q = 7340 кг – маса колиски;

m = 4 – число гілок стропа;

$\alpha = 45°$ – кут нахилу галузей стропа до вертикалі;

$k_н = 1,4$– коефіцієнт нерівномірності навантаження на гілки стропа

Розривне зусилля в гілції стропа:

$$P_Р=S\cdot k=71281.7\cdot 6=427690.2Н$$

де k = 6 – коефіцієнт запасу міцності, що залежить від умови роботи канату.

Обираємо канат подвійного звивання типу ЛК-Р конструкції 6х19 (1+6+6/6)+1о.с. за ДСТ 2688-80 діаметром d = 30,5 мм, що має при маркувальній групі 1372 МПа розривне зусилля 458000 Н.

Фактичний коефіцієнт запасу міцності канату

$$k_{ф} = \frac{458000}{71281.7} = 6,42 > k = 6$$

Мінімальну довжину стропа:

$$L_{\min} = \frac{AC}{2 \cdot \cos\alpha} = \frac{6360}{2 \cdot 0,7071} = 2248.5\,мм$$

де АС = 6360 мм відстань між точками кріплення гілок стропа (рис. 3.5).

Обираємо строп довжиною 2250 мм.

Нормальний тиск створюване одним затискачем:

$$N_i = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot n_c \cdot [\sigma] = \frac{3,14 \cdot 24^2}{4} \cdot 2 \cdot 120 = 108518.4Н$$

де n_c = 2 – кількість стрижнів у затискачі;

$[\sigma_р]$ = 120 МПа – напруження на розтягнення, що допускається, для матеріалу скоби (Сталь 3);

d – діаметр стрижня затискача;

$$d = (0,8...1,1) \cdot d_к = (0,8...1,1) \cdot 30.5 = 24.4...33.55 \text{ мм}$$

З конструктивних міркувань обираємо затискач діаметром 24 мм, з

нарізкою на кінцях різьблення М24, при наступній кількості затискачів:

$$n = \frac{S}{2 \cdot N_i \cdot f} = \frac{71281.7}{2 \cdot 108518.4 \cdot 0{,}15} = 2.18$$

Приймаємо мінімальне число затискачів $n = 3$.

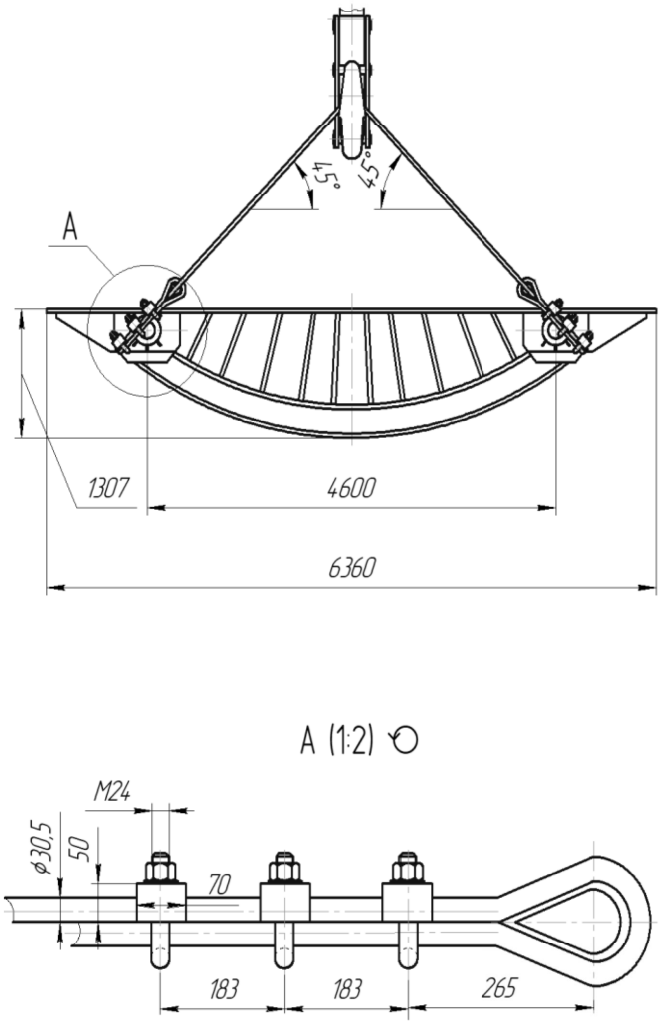


Рисунок 3.5 – Схема стропування колиски електродугової печі ДСВ-25

Крок розташування затискачів визначаємо як:

$$t=6 \cdot d_к=6 \cdot 30.5=183мм$$

Приймаємо t=183 мм, що відповідає безпечній експлуатації обраного стропа.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Визначення небезпечних та шкідливих факторів електросталеплавильного цеху

У електросталеплавильному цеху (ЕСПЦ) шкідливими і небезпечними чинниками є: рухомі машини і механізми, шум, вібрація, запиленість, загазованість, тепло надлишки, небезпека поразки електричним струмом.

Робота печей зв'язана з виділенням і вжитком коксового і природного газу. Виділення газу можливе через нещільність, тріщини, оглядові вікна, дахи.

Підвищену небезпеку представляють операції: випуск металу і шлаку; транспортування металу; розливання розплавленого металу і шлаку; обробка і транспортування розжареного металу.

Джерелом вібрації в цеху є підйомно-транспортне устаткування. Довге перебування робітника під дією вібрації викликає у нього вібраційну хворобу - неврит.

Тепло надлишки виникають під час роботи печі і інших джерел виділення тепла. Значне вагання параметрів мікроклімату приводить до порушення терморегуляції організму. Характеру роботи в ЕСПЦ відноситься до категорії важких робіт (оскільки витрати енергії більше 290,75 Вт, систематична фізична напруга, постійне пересування і перенесення тягаря понад 10 кг).

Аналіз небезпечних і шкідливих чинників приведений в карті умов праці на робочому місці сталеплавильника в таблиці 4.1. Згідно даних в таблиці 4.1. робоче місце має в наявності 3 чинника 1-ої міри, 3 чинники 2-ої міри, 3 чинники 3-ої міри, що дає змогу віднести робоче місце сталеплавильника до таких, які мають особливо шкідливі і небезпечні умови праці [39].

Шум у виробничому середовищі являє собою невпорядковану сукупність звукових коливань, що виникають під час функціонування електродугових печей, розливних кранів та іншого технологічного обладнання. Такий акустичний фон має інтенсивний і нестабільний характер, що суттєво впливає на умови праці персоналу.

Таблиця 4.1 - Карта умов праці на робочому місці сталеплавильника

№ п/п	Чинники виробничого середовища і трудового процесу	Нормативне значення (ГДК, ГДУ)	Фактичне значення	Шкідливі і небезпечні умови праці			Час дії чинника % за зміну
				1 ст.	2 ст.	3 ст.	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	**Шкідливі хімічні речовини, мг/м^3**						
	I Клас небезпеки						
	Ангідрид хромовий	0,01	0,012	1,2			89,1
	Марганцю оксид (аерозоль, конденсації)	0,05	0,42			8,4	89,1
	II Клас небезпеки						
	Фенол	0,3	1,32		4,4		89,1
	Сірководень	10,0	7,1				89,1
	Луги їдкі	0,5	0,64	1,27			89,1
	III Клас небезпеки						
	Азот діоксид	2,0	1,97				89,1
	Ангідрид сірчистий	10,0	6,2				89,1
	Вуглець оксиду	20,0	18,8				89,1
	Аміак	20,0	9,95				89,1
2	**Пил переважної фіброгеної дії, мг/м^3**						
	(вміст SiO_2 – 3,46%)	4,0	247,2			61,8	89,1
3	**Шум, дБА**	80,0	90		10		100
4	**Мікроклімат в приміщенні:**						
	Температура повітря, ^{0}C	15-26	37,8			11,8	89,1
	Швидкість руху повітря, м/с	0,2-0,6	0,35				89,1
	Інфрачервоне випромінювання, Вт/м^2	1401-2800	1417				39,2
	Відносна вологість повітря, %	55	33				89,1
5	**Робоча поза**						
	Нахили корпусу переміщення в просторі (переходи обумовлені технологічним процесом, км.)	Нахили корпусу >300					
		101	190	190			
		ПНП > 300					
		25-50	23,54				
	Статичне навантаження – величина навантаження за зміну (кг-змін)		273192		273192		

4.2 Заходи щодо усунення впливу шумового та вібраційного навантаження на працівників цеху шкідливих і небезпечних чинників

Тривале перебування в умовах підвищеного рівня шуму протягом робочої зміни спричиняє перевантаження слухового апарату, призводить до швидкої втоми та зниження працездатності. За умов систематичного впливу шумових факторів можливий розвиток стійких порушень слуху, аж до його часткової або повної втрати. Дослідження, проведені на печі ультрасучасної потужності (700 кВА/т), показали, що на відстані 5 м від кожуха печі на висоті 2 м під кутом 45° у бік завантажувального вікна під час запалення дуги в перших 5 хвилин рівень шуму досягає 115 дБ і під час плавлення середній рівень складає 110 дБ, що викликає значне перевищення допустимих норм [40].

На рис. 4.1 представлена карта розподілу шуму в будівлі електросталеплавильного цеху, що складається з 3-х прольотів шириною по 30 м. Рівень шуму майже в усіх точках вище 90 дБ, що представляє небезпеку для плавильного персоналу, а також для робітників інших прольотів (розподільного, розливного, ремонту ковшів), які не мають в своєму розпорядженні захисних екранів або приміщень.

Для захисту від шуму, операторів пульту управління розташовують в звукізолюючій кабіні, забезпеченій вікном з 2-х і 3-х склінням, герметичними дверима і спеціальною системою вентиляції.

Від дії прямого звуку операторів машин захищаються за допомогою екранів, які розташовуються між джерелом шуму і робочим містом. Ослаблення шуму залежить від герметичних розмірів екрану і довжин хвиль звуку.

Організаційно-технічні заходи щодо усунення вібрації в ЕСПЦ включають [41:

- проведення періодичних експлуатаційних перевірок вібрації в терміни, встановлені нормативно-технічною документацією, але не рідше за один раз в рік для загальної вібрації і не рідше два раз на рік для локальної вібрації;

- своєчасний плановий і попереджувальний ремонт машин з обов'язковим після ремонтним контролем їх вібраційних характеристик;
- введення заходів, що виключають контакт тих, що працюють з вібруючими поверхнями за межами робочого місця або зони (обгороджування, застережливі знаки, написи, забарвлення, сигналізація, блокування) [42];
- вживання засобів індивідуальною вібро захисту.

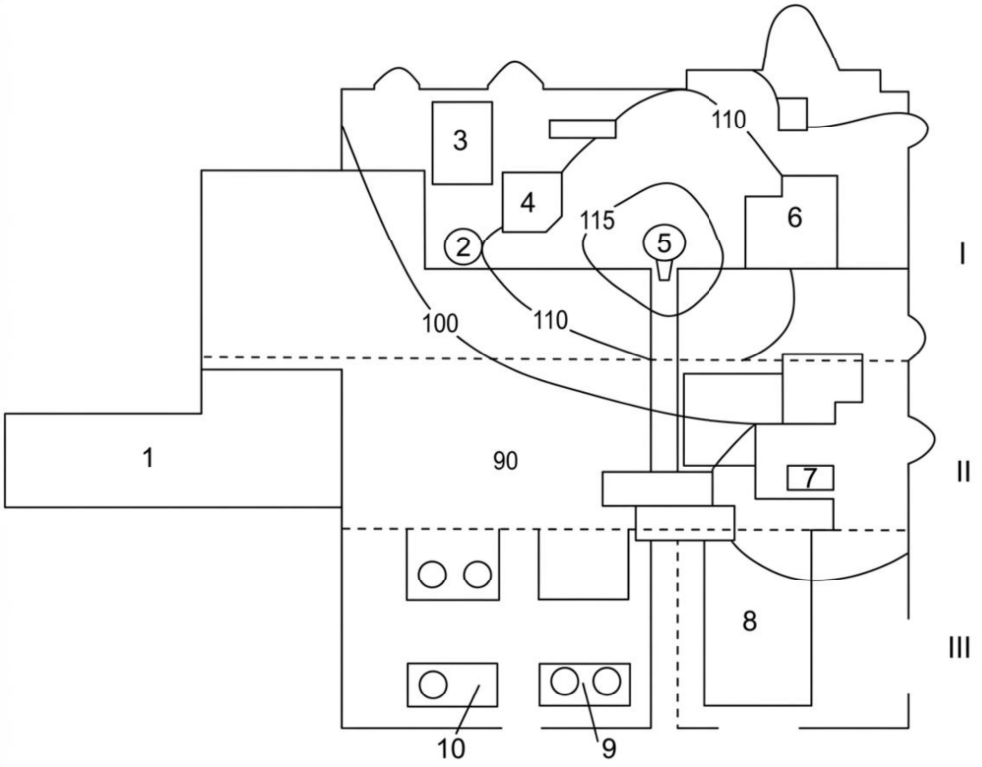


Рисунок 4.1 – Карта розподілу шуму в ЕСПЦ в період плавлення лому в ДСВ: I – пічний проліт; I I – розподільний проліт; III–розливний проліт; 1 – контора цеху; 2 – заслінки газодувки; 3 – завантажувальний бункер; 4 – пультова; 5 –ДСВ–50; 6 – трансформаторне відділення; 7 – вентиляційна; 8 – розливні площадки; 9 – відділення підготовки шиберних затворів; 10 – відділення підготовки ковшів; 115, 110, 100, 90 рівень шуму по зонах, дБ.

Для захисту робітників від тепла, раціонально встановлювати водяні екрани між робочим містом і містом проходження гарячого металу [43].

Розвантаження трубопроводів від температурних напружень здійснюється установкою температурних компенсаторів. Компенсатори застосовують лінзові, гнуті (П – образні, ліро видні і ін.) і сальникові [44, 45].

4.3 Розробка засобів покращення мікроклімату на робочому місці

Основними заходами щодо боротьби з пилом в ЕСПЦ є: введення раціональних технологічних процесів і удосконалення устаткування, вживання ефективної герметизації і аспірації усіх джерел пилу, зволоження пилу водою або парою; пристрій спеціальної пиловловлюючої вентиляції від місць з очищенням повітря перед викидом його в атмосферу через систему фільтрів, регулярне прибирання пилу з робочих місць спеціальними пилососами [46, 47]. Для зменшення пилу ефективним способом є гідро знепилювання, за допомогою форсунок. Воду, розпорошену стислим повітрям, подають в місця найбільш інтенсивного виділення пилу.

Розрахунок парасолі пиловловлюючої вентиляції повинен враховувати взаємодію підтікаючого, всмоктуючого факелу відсмоку та повітряних потоків в приміщенні. Висота установки парасолі h=3,465 м, еквівалентний діаметр джерела $Д_{екв}$ = 7,91 м^2. Визначаються гранично допустимі (максимально можливі) геометричні розміри відсмоктувального пристрою, виходячи з умов ефективного захоплення шкідливих виділень. Конфігурація всмоктувального отвору повинна відповідати формі джерела виділення у плані, що забезпечує рівномірне охоплення потоку та підвищує ефективність локальної вентиляції.

Визначаємо відносні розміри джерела:

$$Д=\frac{Д_{екв}}{h}=\frac{7.91}{3.465}=2.28 \text{ м}, \qquad (4.1)$$

Визначаємо необхідну швидкість всмоктування за формулою :

$$\omega=к\cdot V_m=0.7\cdot 0,54=0,378\frac{м}{с}, \qquad (4.2)$$

де к – коефіцієнт, величина якого визначається за графіком в залежності від конструктивного виконання всмоктуючого отвору;

V_m – осьова швидкість в конвективному струмені на рівні відсмоку, м/с.

Для джерела круглої форми:

$$V_m=0{,}0712\cdot Q_k^{\frac{1}{3}}\cdot\frac{h^{\frac{1}{3}}}{Д_{екв}^{\frac{2}{3}}}=0.0712\cdot 9588{,}6^{\frac{1}{3}}\cdot\frac{3{,}465^{\frac{1}{3}}}{7{,}91^{\frac{2}{3}}}=0{,}54\,\frac{м}{с}\ , \qquad (4.3)$$

Витрати повітря видаляємо боковим відсмоктувачем за формулою:

$$L_{відс}=3600\cdot F_{отс}\cdot\omega\cdot П\cdot У=3600\cdot 49.12\cdot 0.378\cdot 1.7\cdot 1.2=136358{,}69\,\frac{м^3}{год}, \qquad (4.4)$$

де П – коефіцієнт, що враховує конфігурацію відсмоктувача

$$F_{відс}=\frac{\pi Д_{екв}^2}{4}=\frac{3{,}14\cdot 7{,}91^2}{4}=49{,}12\ м^2, \qquad (4.5)$$

Визначимо кратність повітрообміну:

$$n=\frac{L_{відс}}{V_{цеху}}=\frac{136358{,}69}{234900}=0{,}58\ год^{-1}, \qquad (4.6)$$

Об’єм цеху:

$$V_{цеху}=А\cdot Б\cdot В=52{,}2\cdot 30\cdot 150=234900\ м^3, \qquad (4.7)$$

де А – ширина цеху, м;

Б – висота цеху, м;

В – довжина цеху, м.

Висновки

1. Аналіз технологічного процесу та технічного оснащення електросталеплавильного цеху ПрАТ «Дніпроспецсталь» засвідчив, що одним із ключових проблемних аспектів експлуатації електродугової печі є недостатня надійність приводу заслінки робочого вікна.
2. На основі проведеного огляду та опрацювання науково-технічних джерел встановлено, що двосторонній (дублюючий) привод заслінки для печі ДСВ-25 має певні переваги перед наявною конструкцією.
3. Запропоноване технічне рішення проблематики дозволяє підвищити коефіцієнт готовності обладнання та знизити ймовірність аварійних простоїв, пов’язаних із заклинюванням механізмів робочого вікна.
4. Розрахунки на міцність найбільш навантажених елементів електродугової печі типу ДСВ-25 свідчать про те, що запропонований механізм характеризується підвищеною надійністю та значним ресурсом експлуатації.
5. Для забезпечення необхідних показників виконання своєчасного капітального ремонту печі варто врахувати вимоги до організації підготовчих та ремонтних робіт, що визначені в розділі 3. Для забезпечення безпечних умов роботи основного та допоміжного персоналу цеху, необхідно враховувати рекомендації, які наведені в розділі 4.
6. З метою покращення екологічних умов у виробничому приміщенні доцільно передбачити встановлення витяжного парасолі над електродуговою піччю. Такий пристрій забезпечить уловлювання та відведення до 80% шкідливих викидів, запобігаючи їх поширенню в атмосфері цеху.
7. Результати роботи можуть бути використані підприємствах, де встановлені електродугові печі моделі ДСВ-25.

Список використаної літератури

1. ПрАТ «ДНІПРОСПЕЦСТАЛЬ»– виробник спеціальних сталей та сплавів в Україні. *ДНІПРОСПЕЦСТАЛЬ*. URL: https://dniprospetsstal.com/ (дата звернення: 25.04.2026).
2. Ніколаєв В. О., Бондаренко Ю. В. Сучасний стан прокатного виробництва : навч. посіб. Ч. 1 Запоріжжя : ЗДІА, 2017. 196 с.
3. Профільний сортамент – ДНІПРОСПЕЦСТАЛЬ. *ДНІПРОСПЕЦСТАЛЬ*. URL: https://dniprospetsstal.com/for_customers/profile–assortment/ (дата звернення: 25.04.2026).
4. Марочний сортамент – ДНІПРОСПЕЦСТАЛЬ. *ДНІПРОСПЕЦСТАЛЬ*. URL: https://dniprospetsstal.com/for_customers/vintage–assortment/ (дата звернення: 25.04.2026).
5. Крячко Г. Ю. Теоретичні основи процесів (за фахом). Розділ 1. Теоретичні основи металургійних процесів: конспект лекцій Кам'янське: ДДТУ, 2019. 68 с
6. Єременко А. П. з дисципліни Виробництво виливків з чорних металів. Частина «Виробництво виливків зі сталі»: конспект лекцій. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2015. 51 с.
7. Hrechukhyn A., Mianovska Y., Kamkina L. Features of the technology of melting and deoxidation of manganese steel. *International scientific and technical conference Information technologies in metallurgy and machine building*. 2025. P. 35–43. URL: https://doi.org/10.34185/1991–7848.itmm.2025.01.006
8. Гладких В. А., Гасик М. І., Овчарук А. М., Пройдак Ю. С. Проектування і обладнання електросталеплавильних і феросплавних цехів : підручник. Дніпропетровськ : Системні технології, 2004. 692 с.
9. Karbowniczek M. Steel Production Technique in Arc Furnaces. *Electric Arc Furnace Steelmaking*. Boca Raton, 2021. P. 165–216.

URL: https://doi.org/10.1201/9781003130949–9

10. Смірнов О. М., Зборщик О. М. Позапічне рафінування чавуну і сталі : навч. посіб. Донецьк : Ноулідж, 2013. 179 с.
11. Džupin M., Zubek P. Steel Ladle Slag. *AEE 2025*. Basel Switzerland, 2026. P. 44. URL: https://doi.org/10.3390/engproc2025116044
12. Dissolution of Microalloying Elements in a Ladle Metallurgy Furnace / O. Q. Duruiheme et al. *Metals*. 2023. Vol. 13, no. 2. P. 421. URL: https://doi.org/10.3390/met13020421
13. Coupled modelling of electric arc furnace and ladle furnace processes / G. Straffelini et al. *Ironmaking & Steelmaking*. 2010. Vol. 37, no. 3. P. 181–186. URL: https://doi.org/10.1179/030192309x12506804200988
14. Asakuma T. Recent Development of Consumable Vacuum Arc Remelting. *Tetsu–to–Hagane*. 1973. Vol. 59, no. 3. P. 508–531. URL: https://doi.org/10.2355/tetsutohagane1955.59.3_508
15. Campbell J. A Future for Vacuum Arc Remelting and Electroslag Remelting–A Critical Perspective. *Metals*. 2023. Vol. 13, no. 10. P. 1634. URL: https://doi.org/10.3390/met13101634
16. Сертифікати – ДНІПРОСПЕЦСТАЛЬ. *ДНІПРОСПЕЦСТАЛЬ*. URL: https://dniprospetsstal.com/for_customers/certificates/ (дата звернення: 26.04.2026).
17. Тарасов В.К., Новокщонова О.В. Гідравліка, гідро– та пневмопривод: навч.–метод. посіб. Запоріжжя: Видавництво ЗДІА, 2010. 132 с.
18. Жук А. Я., Желябіна Н. К. Основи розрахунків приводів машин: навч. посіб. Запоріжжя: ЗДІА, 1996. 145 с.
19. Бейгул О. О. Теоретичні основи розрахунків металургійних машин: метод. вказівки. Кам'янське: ДДТУ, 2016. 35 с.
20. Бейгул О. О. Теоретичні основи розрахунків металургійних машин та агрегатів: конспект лекцій. Кам'янське: ДДТУ, 2016. 160 с.
21. ДСТУ EN ISO 6708:2022 Компоненти трубопроводів. Визначення та обирання DN (номінального діаметра) (EN ISO 6708:1995, IDT; ISO

6708:1995, IDT). (б. д.). БУДСТАНДАРТ Online – нормативні документи будівельної галузі України. https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc–page.html?id_doc=97906

22. Кулінченко В.Р. Гідравліка, гідравлічні машини і гідропривід. К.: Інкос, 2006. 616 с
23. Електродвигун 15 кВт 1000 об/хв – AIP160M6, AIP 160 M6. *AIP Україна*. URL: https://xn—80aqy.com.ua/uk/katalog_elektrodvyguniv_air/air–160m6–15–kvt–1000–ob–hv/ (дата звернення: 29.04.2026).
24. Колосов Д.Л., Кіба В.Я. Опір матеріалів у прикладах та завданнях: навч. посібник. Дніпро: Національний технічний університет «Дніпровська Політехніка», 2021. 106 с.
25. Підйомно–транспортні машини. Розрахунки підіймальних і транспортувальних машин / В. С. Бондарєв та ін. К. : Вища шк., 2009. 734 с.
26. Мархель І. І. Деталі машин : навч. посіб. К. : Алерта, 2005. 368 с.
27. Півняк Г.Г., Бешта О.С., Фількін М.П. Автоматизований електропривод у прокатному виробництві. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2008. 352с.
28. Білоус О. І. Технологічні лінії та комплекси металургійних цехів: конспект лекцій. Кам'янське: ДДТУ, 2018. 52с.
29. Ремонт металургійного обладнання : навч. посіб. / А. Я. Жук та ін. Київ : Кондор, 2017. 236 с.
30. *Vukladach*. URL: https://vukladach.pp.ua/MyWeb/manual/galyzeve_mahunobydyvannja/Metalurhiya/Metalurhiya/rozdil%202/2_3.htm (дата звернення: 02.05.2026).
31. Желябіна Н. К., Таратута К. В. Основи планування ремонтів механічних машин: метод. вказівки. Запоріжжя: ЗДІА, 2013. 56 с.

32. Технічне обслуговування металургійного обладнання : навч. посіб. / А. Я. Жук та ін. Київ : Кондор, 2017. 288 с.
33. Таратута К. В. Організація та планування виробництва: метод. вказівки. Запоріжжя: ЗДІА, 2006. 33 с.
34. Таратута К. В., Шанько О. Ю. Сучасні засоби планування та організації ремонтів на металургійному підприємстві: метод. вказівки. Запоріжжя: ЗДІА, 2017. 67 с.
35. Монтаж металургійного обладнання : навч. посіб. / А. Я. Жук та ін. Київ : Кондор, 2017. 374 с.
36. Козуб Ю. Г., Маслійов С. В. Підйомно–транспортні машини : підручник. Старобільськ : ЛНУ ім. Тараса Шевченка, 2018. 277 с.
37. Малащенко В.О., Стрілець В.М., Новіцький Я.М.Деталі машин і підйомно–транспортне обладнання. Львів: Новий світ–2000, 2025, 347 с.
38. Погорєлов С. В., Ведмідь Ю. П. Підйомно–транспортні машини: лаб. практикум. Запоріжжя : ЗДІА, 2005. 48 с.
39. Методичні рекомендації для проведення атестації робочих місць за умовами праці. *БУДСТАНДАРТ Online – нормативні документи будівельної галузі України*. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc–page.html?id_doc=52872 (дата звернення: 05.05.2026).
40. ДСН 3.3.6.037–99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Чинний від 1999–12–01. Вид. офіц.
41. Вібрація | Охорона праці | Електронний підручник | Шацький лісовий фаховий коледж ім. В. В. Сулька. *Шацький лісовий коледж ім.В.В.Сулька | Вхід*. URL: https://shlks.lcloud.in.ua/lesson?thema_id=31|5|1|8 (дата звернення: 05.06.2026).
42. Охорона праці на гірничо–металургійному підприємстві: навч. посібник. Ч.І: Металургійний комплекс. / В.О.Шеремет та ін.

Дніпропетровськ: Січ, 2002. 375 с.

43. ДСТУ 2894-94 Пристрої екранувальні для захисту від інфрачервоного випромінювання. Параметри та загальні технічні вимоги. *БУДСТАНДАРТ Online - нормативні документи будівельної галузі України*. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/document.html?id_doc=92501 (дата звернення: 05.05.2026).
44. Ткачук К. Н. Охорона праці та промислова безпека. Навч.посіб. / К. Н. Ткачук. та ін. К: Основа, 2009. 360 с.
45. НПАОП 27.0–1.01–08 Правила охорони праці в металургійній промисловості.
46. 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.
47. Геврик Е. О. Охорона праці. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. К: Ельга, Ніка-центр, 2003. 280 с.

ДОДАТКИ