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 нахилу електросталеплавильної печі ДСП 50

Виконав: студент групи 6.1332-з

Майстро С. І.
(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

Майстро Сергія Ігоровича
(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Удосконалення механізму нахилу електросталеплавильної печі ДСП 50
керівник кваліфікаційної роботи проф. кафедри, канд. техн. наук. Шейко С.П. затверджені наказом вищого навчального закладу від “23“ грудня 2025 року № 1831-с.
2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи 19 травня 2026 року.
3. Вихідні дані кваліфікаційної роботи техніко-економічні показники роботи цеху сталеплавильного цеху
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 піч ДСП-50 – 2А1; 2. Люлька електродугової печі ДСП-50 – 1А1; 3. Механізм нахилу печі ДСП-50 – 1А1; 4. Кронштейн – 1А1; 5. Монтаж механізму нахилу – 1А1; 6. Схема очищення газів, які відводять від печі – 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	09.02.2026 – 15.02.2026	
2	Групування та аналіз зібраного матеріалу. Уточнення завдань проєктування	16.02.2026 – 22.02.2026	
3	Виконання теоретичної частини проєкту	13.04.2026 – 19.04.2026	
4	Виконання графічної частини проєкту	20.04.2026 – 26.04.2026	
5	Написання та оформлення пояснювальної записки	27.04.2026 – 03.05.2026	
6	Перевірка проєкту консультантами	11.05.2026 – 17.05.2026	
7	Попередній захист проєкту	19.05.2026	
8	Переплітання пояснювальної записки	Згідно з графіком	
9	Захист проєкту	Згідно з графіком	

Здобувач _____ Майстро С. І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

АНОТАЦІЯ

Майстро С. І. Удосконалення механізму нахилу електросталеплавильної печі ДСП 50

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 конструкції електродугової сталеплавильної печі типу ДСП-50. Запропоновано конструктивне удосконалення механізму нахилу печі. Виконані необхідні для впровадження модернізації розрахунки. Приділено увагу питанням техногенної безпеки та екології в сталеливарному виробництві.

Ключові слова: сталеплавильна піч, дуга, механізм нахилу, гідроциліндр, фундамент, газоочищення

ABSTRACT

Maistro S. I. Improvement of the Tilting Mechanism of the DSP 50 Electric Steelmaking 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 steelmaking furnace of the DSP-50 type are analyzed. A constructive improvement of the furnace tilting mechanism is proposed. The calculations necessary for the implementation of the modernization are performed. Attention is paid to the issues of technogenic safety and ecology in steelmaking.

Keywords: steelmaking furnace, arc, tilting mechanism, hydraulic cylinder, foundation, gas purification

ЗМІСТ

ВСТУП 7
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА 8
1.1 Система вантажопотоків типового сталеплавильного цеху з електродуговими печами 8
1.2 Опис та коротка технічна характеристика механічного встаткування електросталеплавильного цеху №2 ПрАТ «Дніпроспецсталь» 12
1.3 Устрій та коротка характеристика основних елементів електродугової печі 18
1.4 Пропозиції щодо конструктивного удосконалення механізму нахилу електродугової печі ДСП-50 29
2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА 32
2.1 Визначення моменту від ваги конструктивних елементів печі 32
2.2 Визначення моменту від ваги металу в печі 36
2.3 Визначення моменту від тертя в опорних сегментах печі 37
2.4 Визначення навантажень на штоці гідроциліндру 39
2.5 Визначення потужності та вибір гідравлічного насосу приводу 42
3 ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ЧАСТИНА 45
3.1 Монтаж сталеплавильного устаткування з гідравлічним приводом 45
3.2 Технічне обслуговування 49
3.3 Система змащування та мастильні матеріали 51
3.4 Розрахунок болтів кріплення монтажного кронштейну 53
3.5 Розрахунок площі основи кронштейна 55
3.6 Розрахунок фундаменту для монтажу електродугової печі ДСП-50 56
3.7 Розрахунок анкерних болтів для закріплення механізму нахилу електродугової печі до фундаменту 60
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА 66
4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів виробничої дільниці електродугової печі ДСП-50 66

4.2 Визначення можливих шляхів захисту від шкідливих факторів виробничого процесу 69
4.3 Розробка засобів захисту навколишнього середовища від шкідливого впливу сталеплавильного виробництва 71
Висновки 80
Список використаної літератури 81
ДОДАТКИ 86

ВСТУП

Сучасний розвиток металургійної промисловості характеризується постійним зростанням вимог до ефективності виробництва, енергоощадності обладнання та екологічної безпеки технологічних процесів. Особливе місце в структурі сталеплавильного виробництва займають дугові електросталеплавильні печі, які забезпечують гнучкість технології, високу продуктивність і можливість переробки різноманітної сировини.

Одним із ключових вузлів електросталеплавильної печі типу ДСП-50 є механізм її нахилу, що використовується для зливу рідкої сталі та шлаку. Надійність і ефективність роботи цього механізму безпосередньо впливають на безперервність технологічного процесу, рівень енергоспоживання, безпеку обслуговуючого персоналу та довговічність обладнання. В умовах інтенсивної експлуатації механізм нахилу зазнає значних динамічних навантажень, що може призводити до підвищеного зносу елементів, виникнення зазорів у з’єднаннях і, як наслідок, до зниження точності та надійності роботи.

Актуальність теми полягає в необхідності вдосконалення конструкції механізму нахилу електросталеплавильної печі з метою підвищення його експлуатаційних характеристик, зменшення динамічних навантажень і підвищення ресурсу роботи. Особливу увагу приділено аналізу існуючих конструктивних рішень, виявленню їх недоліків і пошуку шляхів їх усунення.

Метою даної роботи є удосконалення механізму нахилу електросталеплавильної печі ДСП-50 шляхом оптимізації його конструктивних параметрів та підвищення ефективності роботи.

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи містить 93 сторінки, на яких 23 рисунки, 7 таблиць, 7 додатків. Бібліографічний список має 43 найменування літературних джерел.

Об'єкт проєктування – вузли дугової електросталеплавильної печі ДСП-50.

Мета роботи – усунення конструктивних недоліків механізму нахилу електросталеплавильної печі ДСП-50.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Система вантажопотоків типового сталеплавильного цеху з електродуговими печами

Технологічний процес типового цеху виплавки сталі основними виробничими агрегатами якого є дугові електропечі (рисунок 1.1) передбачає виокремлення кількох взаємопов'язаних технологічних ліній, що забезпечують безперервність виробничого процесу. До них належать лінії транспортування та завантаження металобрухту, подачі й введення сипучих шлакоутворюючих матеріалів і феросплавів, системи видалення шлаків, а також ділянки розливання та подальшого транспортування сталі [1]. Така структура вантажопотоків формує замкнений цикл руху матеріалів, спрямований на підвищення ефективності плавильного процесу та зниження втрат часу [2].

Металевий брухт із шихтового відділення магнітних матеріалів або копрового цеху транспортується залізничним транспортом у проліт I (шихтовий) головної будівлі електросталеплавильного цеху, де здійснюється його розвантаження у ямні бункери 1. Далі за допомогою магнітних кранів 2 відбувається завантаження саморозвантажних бадей 3, що дозволяє механізувати процес і підвищити його продуктивність. Після операції зважування баддя, встановлена на візку 4, переміщується до грубного прольоту II, де її розміщують на платформі для подальшого завантаження в електропіч 21. Безпосереднє завантаження брухту здійснюється завалочним краном 20 при викоченому поді печі, що забезпечує безпечні та технологічно обґрунтовані умови виконання операції [3].

Шлакоутворювальні матеріали, які надходять у цех, спочатку розвантажуються в прийомні переносні бункери 5. Для забезпечення необхідних фізико-хімічних властивостей вони проходять стадію сушіння в барабанному сушилі 6, далі відбувається їхнє переміщення до проміжних бункерів 7, які як правило, є переносними. Звідти матеріал завантажують у мульду 17 і за

допомогою кранової завалочної машини 18 подають безпосередньо в піч, що дозволяє точно дозувати склад шихти та підтримувати оптимальні умови шлакоутворення.

Кокс та відходи електродів у формі великошматкового технологічного бою із бункера 10 з метою їхнього подальшого подрібнення та класифікації на фракції подаються на бігуни 9. Далі відбувається завантаження матеріалу до мульд 8 на балконі робочого майданчика, куди вони встановлюються магнітним краном 2. Після проведення операції зважування на вагах 16, що розміщені на платформі, підготовлена добавка подається в електропіч за допомогою кранової завалочної машини. Така організаційна схема дозволяє забезпечити необхідний контроль при введенні у плавку вуглецевмісної лігатури.

Феросплави з бункерів 11 направляються на попереднє дроблення в щокову дробарку 12, що дозволяє отримати необхідний гранулометричний склад. Подрібнений матеріал завантажують у мульди 13, після чого виконується їхнє зважування вагами 14 і подавання у піч 15 для попереднього нагрівання. Усі зазначені операції обслуговуються мульдомагнітним краном 2, що виконує функції універсального транспортного засобу в межах цеху. Нагріті феросплави в електропіч завантажуються за допомогою кранової завалочної машини, що сприяє зменшенню теплових втрат і підвищенню ефективності плавлення [4].

У розливному прольоті III реалізується заключна стадія металургійного процесу – розливання сталі. Сталерозливний ківш (поз. 23) необхідний для випуску металу з печі. Далі згідно технологічної схеми розливним краном 22 його транспортують або на установку напівбезперервного розливання сталі 24, або здійснюють розливання у виливниці 26. У випадку застосування напівбезперервного розливання отримані заготовки (штанги) направляються до цеху порошкової металургії для подальшої переробки. Зливки, отримані шляхом розливання у виливниці 26, транспортуються сталевозними візками у відділення роздягання зливків (стріперне відділення), де після повного затвердіння металу здійснюється їх відокремлення від форм за допомогою стриперних кранів.

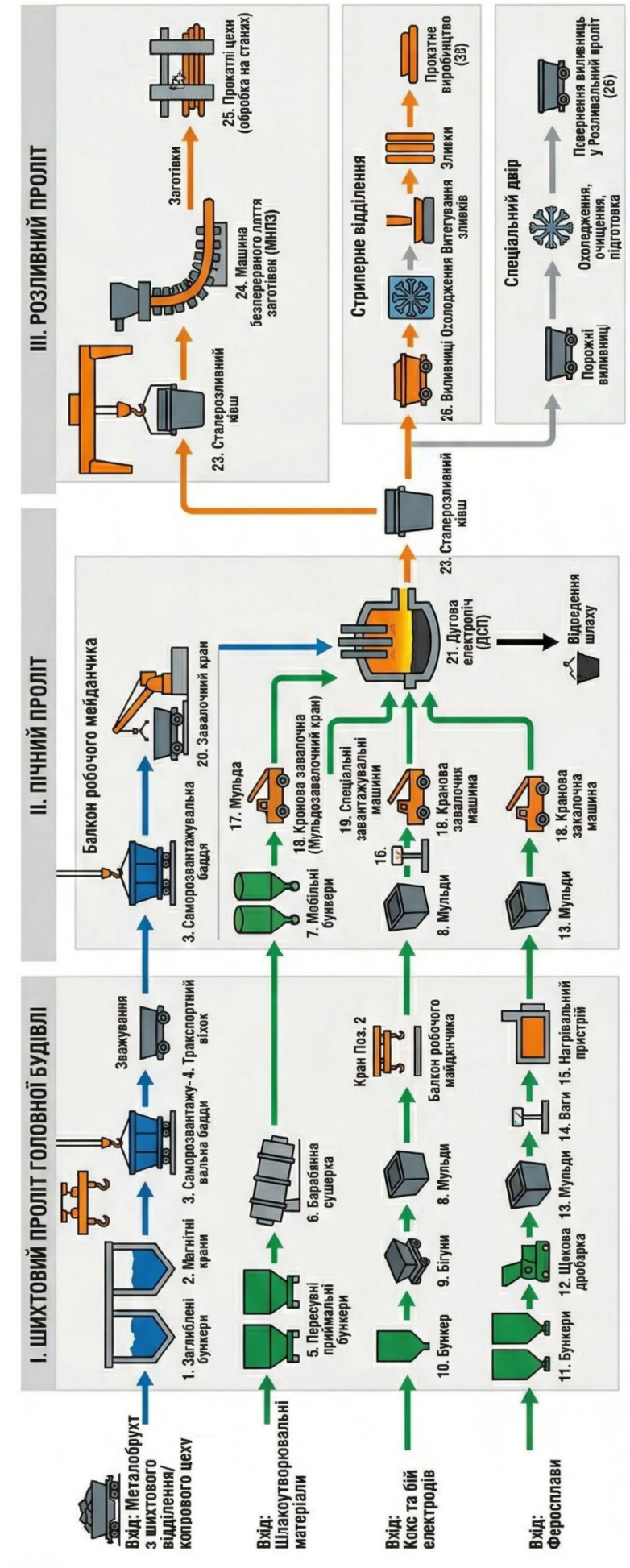


Рисунок 1.1 – Система вантажопотоків типового сталеплавильного цеху з електродуговими печами

Після відокремлення зливків від виливниць останні спрямовуються у прокатний цех для подальшої пластичної деформації та виготовлення готової продукції. Виливниці, у свою чергу, транспортуються у спеціальний двір виливниць, де проходять цикл підготовки: охолодження, очищення від залишків металу та шлаку, а також нанесення захисного мастила. Після цього підготовлені виливниці знову повертаються у розливний проліт для приймання наступної плавки сталі, що забезпечує циклічність і безперервність виробничого процесу.

На сьогодні ПрАТ «Дніпроспецсталь» – це багатопрофільний металургійний комплекс із розвиненою виробничою інфраструктурою. До складу підприємства входять п’ять сталеплавильних цехів, ковальсько-пресовий цех, прокатний цех, ремонтно-механічний цех, цех ремонту металургійного устаткування, а також значна кількість допоміжних підрозділів, що забезпечують безперебійну роботу основного виробництва. Така організаційно-технологічна структура дозволяє підприємству виготовляти широкий сортамент металопродукції – 800 марок сталі у понад 1200 типорозмірах профілів [5], що свідчить про високий рівень гнучкості виробництва та орієнтацію на різні галузі промисловості.

Сталеплавильні цехи підприємства оснащені сучасними дуговими електропечами місткістю від 25 до 50 тонн, які забезпечують ефективне плавлення металобрухту та легувальних матеріалів із можливістю точного регулювання температурного та хімічного режимів.

З метою підвищення якості металу та покращення його експлуатаційних характеристик застосовуються спеціальні методи вторинної металургії, зокрема електрошлаковий переплав і вакуумно-дуговий переплав. Використання цих технологій дозволяє отримувати сталь із підвищеною чистотою, однорідною структурою та покращеними механічними властивостями. Маса зливків, отриманих у сталеплавильному виробництві, зазвичай становить від 3,2 до 6,3 тонн, що оптимально відповідає подальшим операціям обробки.

Завдяки технологічним особливостям електрошлакового переплаву отримують високоякісні сталі спеціального призначення, на кшталт

підшипникових, конструкційних, корозійностійких та ін. Ця технологія забезпечує ефективне рафінування металу від неметалевих включень і газів, що суттєво підвищує довговічність та надійність готових виробів. При цьому маса злитків, отриманих таким способом, варіюється в широкому діапазоні – від 1,2 до 20 тонн, що дозволяє адаптувати виробництво під конкретні вимоги замовника.

Виплавка нержавіючих корозійностійких сталей із низьким вмістом вуглецю здійснюється із застосуванням комбінованого агрегату типу дугова піч-конвертер. Така технологічна схема дає змогу ефективно знижувати вміст вуглецю та інших домішок, забезпечуючи отримання металу з високими антикорозійними властивостями, що є особливо важливим для хімічної, енергетичної та харчової промисловості.

Прокатний цех підприємства оснащений чотирма основними прокатними станами – 750, 450, 360 і 280, які дозволяють виробляти широкий спектр сортового прокату різного призначення. Додатково застосовуються волочильні стани, що забезпечують виготовлення продукції з підвищеною точністю розмірів і покращеною якістю поверхні. Така комбінація обладнання дозволяє реалізувати повний цикл механічної обробки металу.

На стадію переділу – прокатку, кування – зливки надходять як у прокатний, так і в ковальсько-пресовий цехи. При цьому транспортування може здійснюватися як у гарячому стані безпосередньо після розливання, що дозволяє зменшити енерговитрати на повторний нагрів, так і в холодному стані після охолодження та зберігання. Вибір режиму подачі визначається технологічними вимогами до конкретного виду продукції та організацією виробничого процесу.

1.2 Опис та коротка технічна характеристика механічного встаткування електросталеплавильного цеху №2 ПрАТ «Дніпроспецсталь»

Ключовим технологічним устаткуванням сталеплавильного цеху є дугові сталеплавильні печі місткістю 50 т (рис. 1.2), які розміщені у просторі між

робочим майданчиком і розливним прольотом (рис. 1.3). Таке компонування забезпечує раціональну організацію виробничого процесу та мінімізує транспортні переміщення розплаву.

Робочий майданчик оснащений п’ятьма електромостовими кранами, з номінальною вантажопідйомністю головного підйому 50 т та допоміжного – 7 т, що дозволяє ефективно виконувати як основні, так і допоміжні вантажно-розвантажувальні операції. Окрім цього, тут змонтовано завалочну кранову машину вантажопідйомністю 3,6/5 т, призначену для механізованої подачі шихтових матеріалів у піч.

Шихтовий проліт обладнано трьома мульдомагнітними кранами, які використовуються для завантаження шихтових кошиків матеріалами з бункерів. Після формування завантажувальна баддя встановлюється на транспортний візок з електромеханічним приводом вантажопідйомністю 35 т. Цей візок забезпечує транспортування бадді з шихтового відділення на робочий майданчик, де за допомогою мостових кранів здійснюється безпосереднє завантаження електропечей.

У розливному прольоті експлуатуються три електромостові розливні крани з вантажопідйомністю головного підйому 75 т і допоміжного – 20 т. Вони призначені для виконання операцій розливання сталі зі сталерозливних ковшів у виливниці, розташовані на залізничних платформах, що забезпечує подальше транспортування продукції.

Безпосередньо за розливним прольотом розміщена установка напівбезперервного розливання сталі, де розплав, отриманий у печі, формується у заготовки максимальною довжиною 9 м. Надалі ці заготовки спрямовуються або до прокатного цеху для отримання готового прокату, або до цеху порошкової металургії для виробництва високоякісних матеріалів. Подача сталерозливного ковша до цієї установки здійснюється за допомогою транспортного візка вантажопідйомністю 50 т. Поряд із розливним прольотом розташована слюсарна дільниця, оснащена металорізальними верстатами, на яких виготовляють запасні частини та виконують ремонт елементів технологічного обладнання, що сприяє

зменшенню незапланованих простоїв та безперервності виробництва.

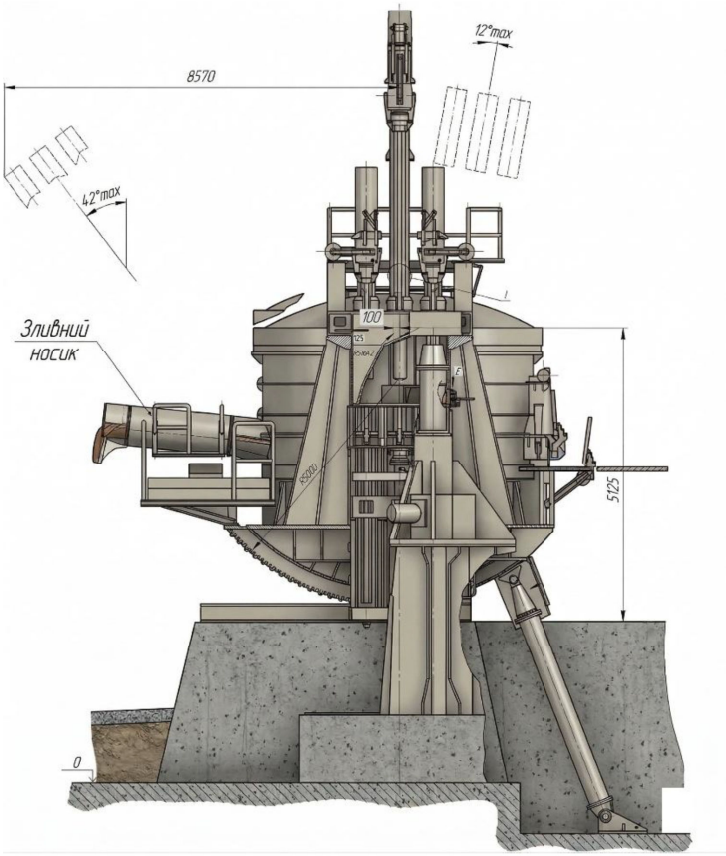


Рисунок 1.2 – Ілюстративна модель електродугової печі ємністю 50 т

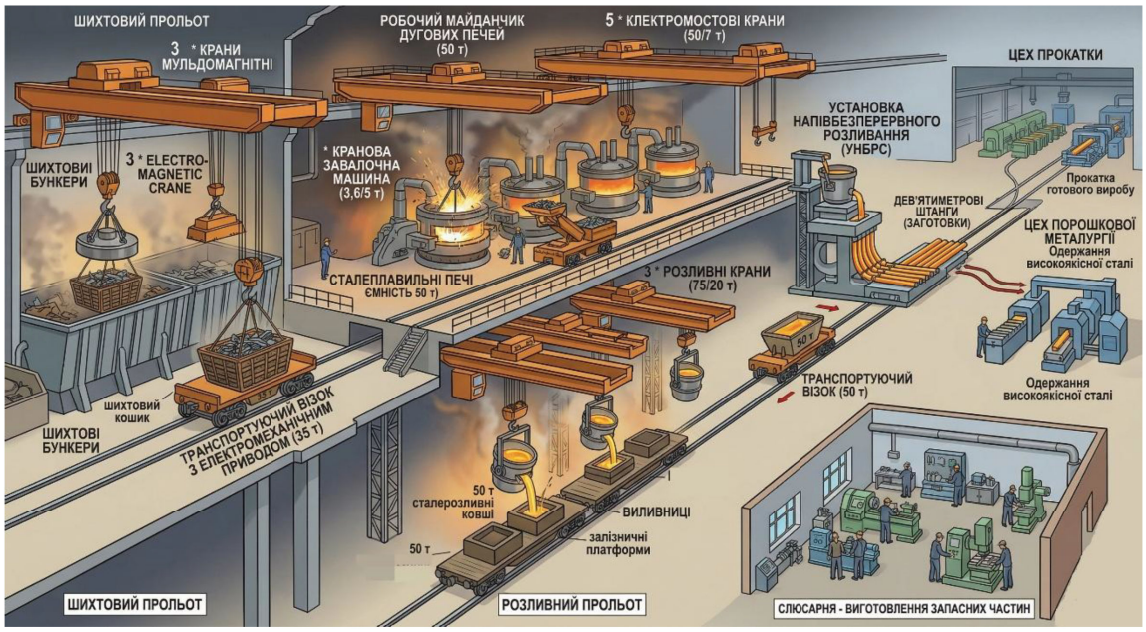


Рисунок 1.3 – Технологічний ланцюг електросталеплавильного цеху №2

Коротка характеристика основного та допоміжного обладання наведена в таблиці 1.1

Таблиця 1.1 – Коротка технічна характеристика основного та допоміжного устаткування цеху

Устаткування	Призначення встаткування й продуктивність	Вид приводу	Споживана потужність	Режим роботи	Коефіцієнт технічного використання
1	2	3	4	5	6
Мульдомагнітний кран	Завантаження й подача мульд Q=10/5т	Електромеханічний	40 кВт	ПВ=40%	0,6
Магнітногрейферний кран	Завантаження бадей Q=15/5т	Електромеханічний	50 кВт	ПВ=60%	0,9
Магнітногрейферний кран	Завантаження бадей Q=15/5т	Електромеханічний	50 кВт	ПВ=60%	0,8
Пристрій для транспортування бадей	Транспортування бадей із шихтового на робочий проліт Q=30т	Електромеханічний	20 кВт	ПВ=40%	0,75
Дробарка щокова	Дроблення феросплавів продуктивність 1,5 т/год	Електромеханічний	75 кВт	ПВ=60%	0,4
Мостовий кран	Для завалки печей Q=40/10т	Електромеханічний	70 кВт	ПВ=60%	0,8
Кранова завалочна машина	Для завантаження легуючих елементів Q=3,6/5 т	Електромеханічний	90 кВт	ПВ=60%	0,85
Мостовий кран	Для завалки печей Q=40/25 т	Електромеханічний	50 кВт	ПВ=60%	0,8
Мостовий кран	Для завалки печей Q=40/20т	Електромеханічний	45 кВт	ПВ=60%	0,8

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5	6
Мостовий кран	Для завалки печей Q=40/20/5т	Електромеханічний	60 кВт	ПВ=60%	0,6
ДСП-50	Плавлення сталі m=50т	Електромеханічний гідравличний	20000 кВт	ПВ=100%	0,95
ДСП-50	Плавлення сталі m=50т	Електромеханічний гідравлічний	20000 кВ	ПВ=100%	0,95
ДСП-50	Плавлення сталі m=50т	Електромеханічний гідравлічний	20000 кВт	ПВ=100%	0,95
Піч для феросплавів	Для нагрівання феросплавів			ПВ=40%	0,95
Візок шлаковозний	Перевезення ковшів зі шлаками	Електромеханічний	15 кВт	ПВ=60%	0,7
Мостовий розливний кран	Для розливання сталі у виливниці Q=75/10 т	Електромеханічний	250 кВт	ПВ=60%	0,8
Мостовий розливний кран	Для розливання сталі у виливниці Q=100/20 т	Електромеханічний	300 кВт	ПВ=60%	0,8
Мостовий розливний кран	Для розливання сталі у виливниці Q=75/20 т	Електромеханічний	237 кВт	ПВ=60%	0,8
Консольний кран	Для ремонтних робіт Q=5 т	Електромеханічний	18 кВт	ПВ=60%	0,4

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5	6
Консольний кран	Для ремонтних робіт Q=7 т	Електромеханічний	25 кВт	ПВ=60%	0,4
Консольний кран	Для ремонтних робіт Q=3 т	Електромеханічний	10 кВт	ПВ=60%	0,4
Піч для сушіння стопорів	Для сушіння стопорів			ПВ=100%	0,8
Установка напівбезперервного розливання сталі	Для розливання сталі в штанги		900кВт	ПВ=100%	0,5
Мостовий кран	Для завантаження транспортування штанг на ділянці УНБРС Q=20/5 т	Електромеханічний	44 кВт	ПВ=60%	0,5
Кран-балка	Для підготовки порошків Q=3 т	Електромеханічний	15 кВт	ПВ=40%	0,7
Мостовий кран	Для підготовкий транспортування ковшів Q=30/10 т	Електромеханічний	55 кВт	ПВ=40%	0,4
Консольний кран	Для допоміжних робіт Q=5 т	Електромеханічний	15 кВт	ПВ=40%	0,5
Транспортний візок	Для транспортування ковша з металом на ділянку УНБРС Q=50 т	Електромеханічний	37 кВт	ПВ=40%	0,55

1.3 Устрій та коротка характеристика основних елементів електродугової печі

З точки зору конструктивного компонування сучасна дугова сталеплавильна піч (ДСП) (рис. 1.2) це досить об'ємний та складний у технологічному компонуванні агрегат, що включає велику кількість взаємопов'язаних вузлів і механізмів. До основних конструктивних елементів належать: корпус печі разом зі склепінням; системи ущільнення електродних отворів (економайзери); водоохолоджувані панелі; механізм нахилу печі, призначений для випуску металу та видалення шлаку; механізм підйому й відведення склепіння, що забезпечує завантаження шихтових матеріалів; приводи переміщення електродів; а також коротка мережа (вторинний струмопідвід), яка передає електричний струм від вторинних виводів трансформатора до робочих кінців електродів [6]. Устрій електродугових печей більш детально розглядається роботами [7-11], виконай огляд основних вузів, згідно наведеної літератури

Основна складова частина корпусу печі – кожух, який розташовано вище рівня порога робочого вікна (рис. 1.4).

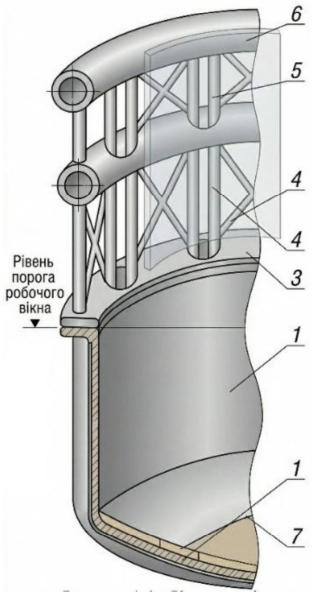


Рисунок 1.4 – Кожух печі: 1 – нижня частина кожуха; 3 – фланець; 4 – вертикальні труби; 5, 6 – кільцеві труби; 7 – кладка низу стін

Конструктивно кожух виконується у вигляді циліндричної оболонки зі сферичним днищем, що характерно для водоохолоджуваних печей. Він має двокомпонентну будову. Нижня частина, виготовлена зі сталевих листів, виконує функцію опори для футерівки подини. Верхня частина, яка знаходиться вище порога робочого вікна, слугує несучою основою для водоохолоджуваних стінових панелей. Вона реалізується у вигляді просторового гратчастого каркаса, сформованого системою горизонтальних і вертикальних труб, на які безпосередньо спираються панелі охолодження [7].

У внутрішньому об’ємі ґратчастого каркаса стін по всьому периметру змонтовано 16 водоохолоджуваних панелей (рис. 1.5), кожна з яких обладнана автономними лініями підведення та відведення охолоджувальної води.

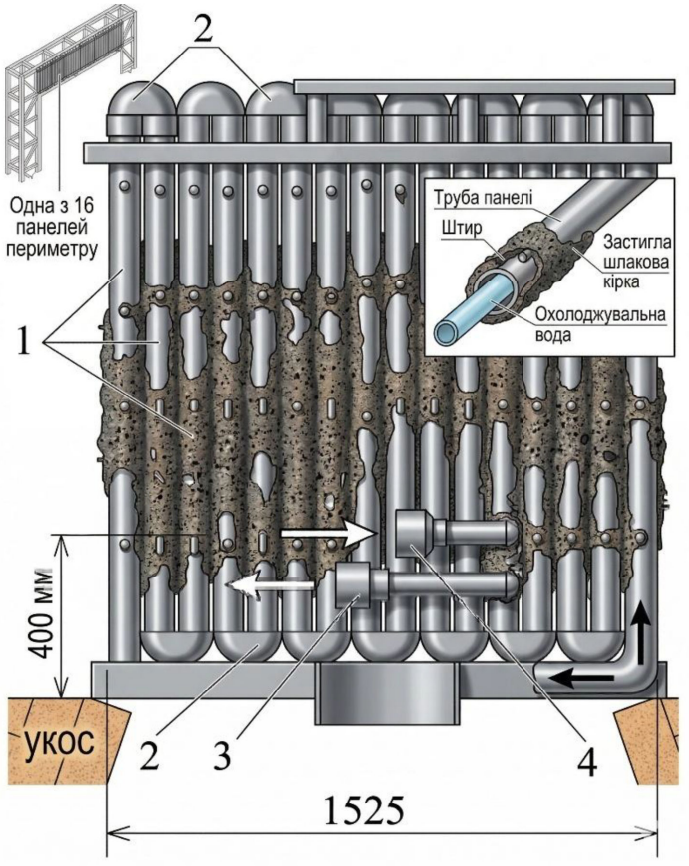


Рисунок 1.5 – Водоохолоджувана стінова панель фірми " Krupp ": 1 – ряд паралельних труб; 2 – перехідники; 3 і 4 – патрубки для відведення та підведення охолоджувальної води

З метою виключення безпосереднього контакту розплавленого металу зі стіновими елементами панелі розташовують на відмітці приблизно 400 мм вище укосів. Конструкцією панелей передбачено наявність спеціальних штирів: під час технологічного процесу, відбувається спінення шлаку, завдяки якому бризки шлаку осідають на цих елементах і кристалізуються, формуючи захисний шлаковий шар, який істотно знижує теплове навантаження на поверхню панелей.

Застосування стінових водоохолоджуваних панелей сприяє збільшенню корисного об'єму робочого простору печі на 10–30 % порівняно з традиційною футерівкою. Це, у свою чергу, дозволяє скоротити кількість підвалок шихтових матеріалів або зменшити вимоги до щільності металобрухту.

Для виготовлення трубчастих панелей зазвичай використовують сталеві труби діаметром 76–90 мм із товщиною стінки 14–16 мм. У деяких конструктивних рішеннях, зокрема реалізованих компанією «Krupp» [12], горизонтально орієнтовані труби з'єднуються між собою за допомогою штампованих перехідних елементів, що підвищує технологічність і надійність конструкції.

Використання водоохолоджуваних панелей позитивно впливає на умови експлуатації футерівки нижньої частини стін, підвищуючи її довговічність (ресурс може досягати близько 500 плавок завдяки інтенсивному тепловідводу). Варто враховувати, що при такій організації устрою печі дещо збільшуються експлуатаційні витрати, зокрема споживання електроенергії підвищується приблизно на 2 % та суттєво зростає витрата води на охолодження.

Найбільш ефективним конструктивним рішенням у сучасних дугових сталеплавильних печах є комбіноване склепіння. Його виконують за принципом поєднання двох матеріалів: зовнішня (периферійна) зона формується з водоохолоджуваних панелей, тоді як центральна частина, через яку проходять електроди, виготовляється з вогнетривких матеріалів. Таке компонування дозволяє уникнути ризику виникнення короткого замикання між електродами та металевими елементами охолоджуваної конструкції (рис. 1.6).

Центральну ділянку склепіння, що зазнає найбільш інтенсивного

теплового та електричного впливу, футерують магнезитохромітовою цеглою, яка характеризується високою термостійкістю та зносостійкістю. Як правило, водоохолоджувана периферійна частина займає приблизно 80 % площі склепіння, тоді як на центральну вогнетривку зону припадає близько 20 %.

Експлуатаційна довговічність елементів комбінованого склепіння істотно відрізняється: ресурс водоохолоджуваної частини становить орієнтовно 1500–4500 плавок, тоді як центральна футерована зона витримує близько 200 плавок і потребує періодичної заміни.

Застосування водоохолоджуваних склепінь має низку важливих переваг. Зокрема, вони забезпечують можливість стабільної роботи печі на довгих і потужних електричних дугах, а також сприяють більш ефективному використанню потужності пічного трансформатора, що підвищує загальну енергетичну ефективність процесу плавки.

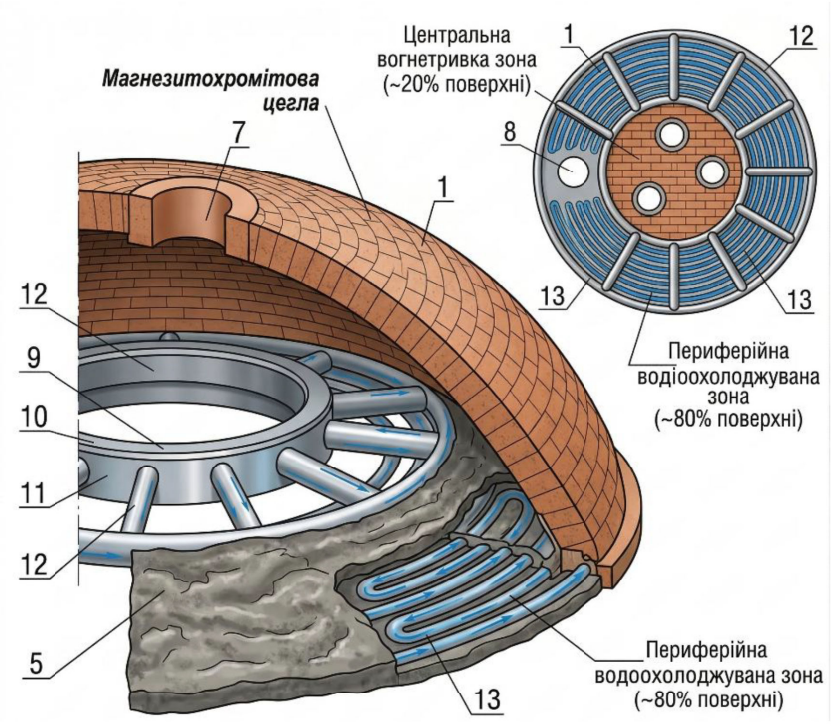


Рисунок 1.6 – Трубчасте куполоподібне склепіння: 1 – центральна частина склепіння; 4 – вигнуті труби; 5 – гарнісаж; 7 – отвір для електродів; 8 – отвір для відведення пічних газів; 10, 12 – нижнє та верхнє трубчасті кільця відповідно; 13 – водоохолоджувані панелі

З метою зменшення інтенсивності окиснення електродів, зниження температури їх частини, що виступає над склепінням, а також обмеження підсосу повітря в робочий простір печі й скорочення тепловтрат із відхідними газами, електродні отвори оснащують спеціальними ущільнювальними пристроями – економайзерами (рис. 1.7).

Конструктивно економайзер – це металевий корпус коробчастого типу, до якого підключають стиснене повітря за тангенціальною схемою. Такий спосіб подачі забезпечує формування закрученого повітряного потоку, що створює ефективний бар'єр на шляху проникнення повітря всередину печі та одночасно сприяє зниженню теплових втрат.

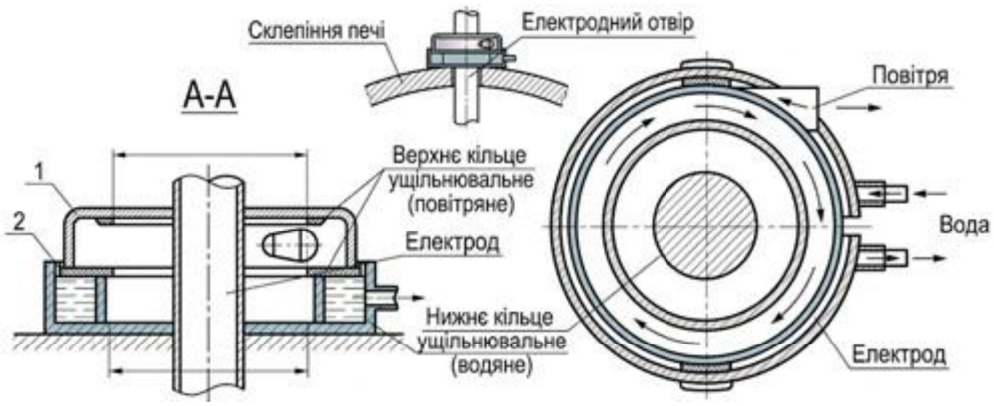


Рисунок 1.7 – Економайзер: 1 – кільце ущільнювальне верхнє; 2 – кільце ущільнювальне нижнє.

Механізм нахилу призначений для забезпечення повороту печі в необхідних технологічних напрямках: у бік сталевипускного отвору – приблизно на 12° для випуску рідкого металу, а також у бік робочого майданчика – на 10÷12° для видалення шлаку.

Опорною конструкцією, яка сприймає масу корпусу печі та передає її на фундамент, а також забезпечує можливість нахилу, є люлька (3). Вона має вигляд жорсткої горизонтальної плити коробчастого типу, оснащеної двома опорними сегментами, що взаємодіють з опорними елементами основи. У сучасних

конструкціях печей застосовують переважно гідравлічні системи нахилу. Їх робота базується на подачі робочої рідини під тиском у гідроциліндри (1), внаслідок чого відбувається переміщення штоків (2) – їх висування або втягування. Саме ці переміщення забезпечують контрольований нахил печі в заданому напрямку (рис. 1.8).

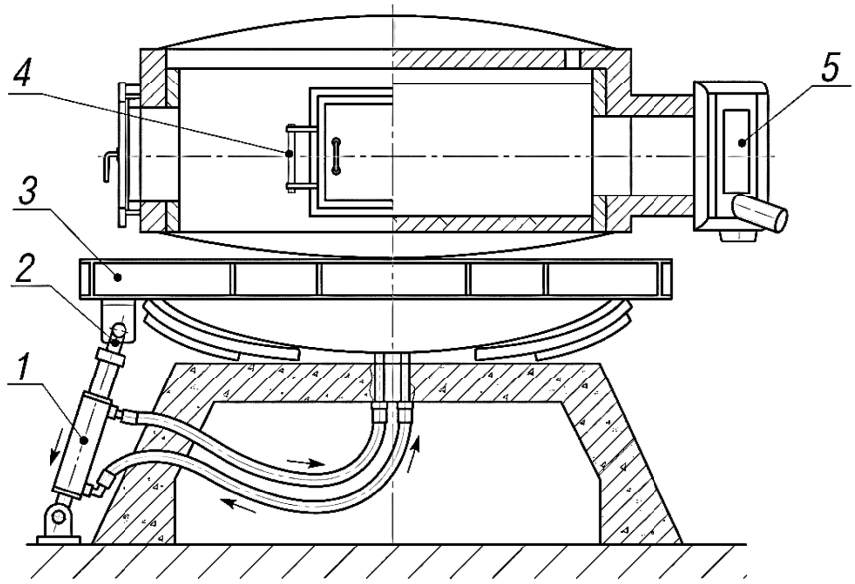


Рисунок 1.8 – Механізм нахилу печі: 1 – гідроциліндри; 2 – шток; 3 – колиска; 4 – робоче вікно; 5 – еркер.

Механізм підйому склепіння (рис. 1.9) призначений для його вертикального переміщення на висоту 150–200 мм, що необхідно для виконання технологічних операцій, зокрема завантаження шихти. Принцип роботи полягає в тому, що шток гідроциліндра передає зусилля на опорно-поворотний вал, який взаємодіє з напівпорталом, завдяки такій взаємодії напівпортал піднімається на задану висоту, автоматично підіймаючи і склепіння.

Зворотний рух – опускання склепіння – здійснюється під дією власної ваги конструкції після зняття тиску в гідросистемі. При цьому швидкість підйому досягає приблизно 5 м/хв, тоді як швидкість опускання є меншою і становить близько 1–2 м/хв, що забезпечує більш плавне та безпечне повернення у вихідне положення.

Поворот (відворот) склепіння виконується за допомогою гідравлічного приводу. Після підйому склепіння здійснюється його обертання навколо опорно-поворотного вала за рахунок дії гідроциліндра, розташованого в горизонтальній площині. Конструктивно механізм повороту включає один плунжерний гідроциліндр двосторонньої дії, що забезпечує керований рух склепіння в обох напрямках.

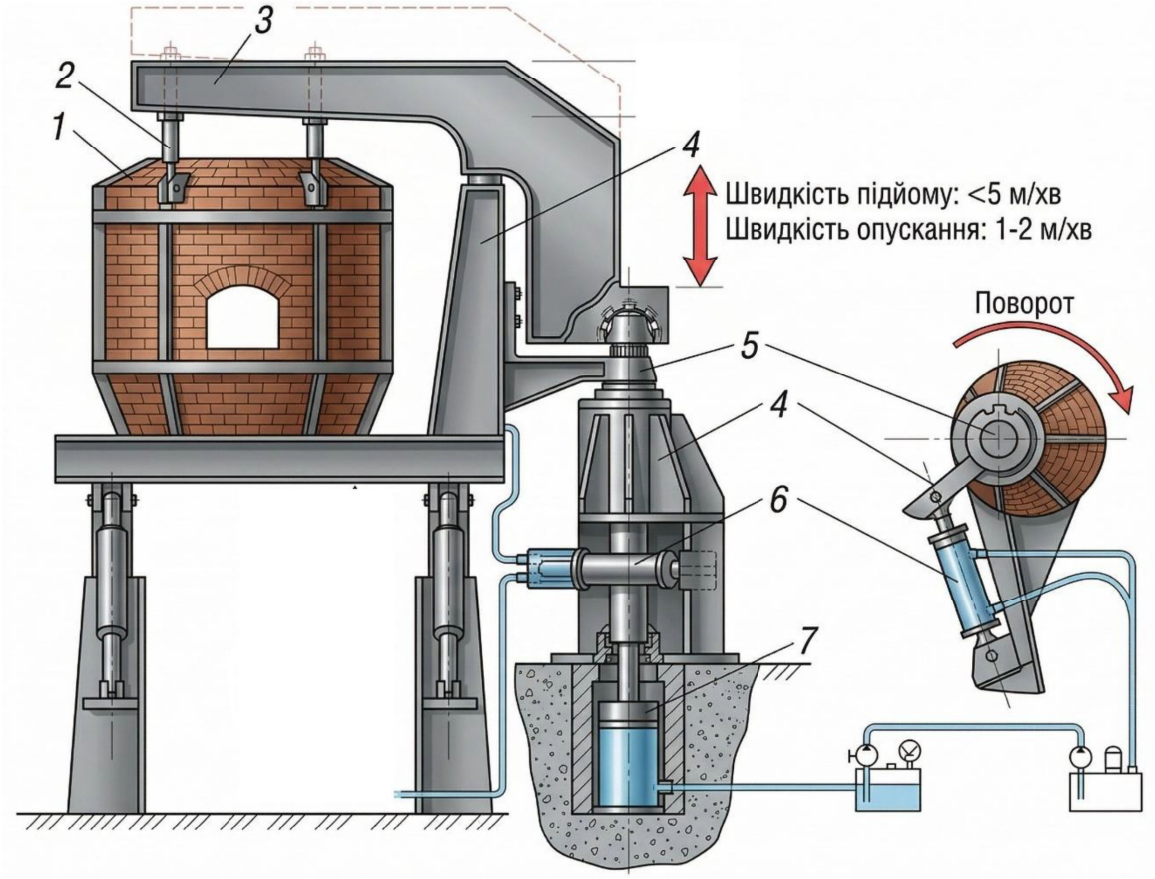


Рисунок 1.9 – Механізм підйому та повороту склепіння з гідравлічним приводом (ілюстративна модель): 1 - склепіння; 2 – підвіска; 3 – напівпортал;4 – тумба; 5 – опорно-поворотний вал; 6 – гідроциліндр повороту;7 – гідроциліндр підйому

Електродотримач виконує функцію затискного пристрою, який забезпечує надійне кріплення електродів і одночасно слугує елементом підведення електричного струму до них. З метою запобігання прослизанню

електрода конструкція має гарантувати достатньо щільний і стабільний затиск. Крім того, електродотримач повинен характеризуватися високою жорсткістю, щоб витримувати значні навантаження (маса електрода може досягати 2–3 т) без помітних деформацій і мінімізувати виникнення вібрацій у процесі роботи.

У конструкції з пружинно-пневматичним затиском фіксація електрода здійснюється між щоками корпусу електродотримача (2) та затискною колодкою (3). Необхідне зусилля притискання створюється за допомогою штока (6) і потужних пружин (7), які розміщені всередині рукава стійки (5). Така схема забезпечує надійне утримання електрода під час експлуатації. Розтискання та звільнення електрода виконуються дистанційно: пневмоциліндр (8) стискає пружини, зменшуючи зусилля затиску і дозволяючи переміщення або заміну електрода (рис. 1.10).

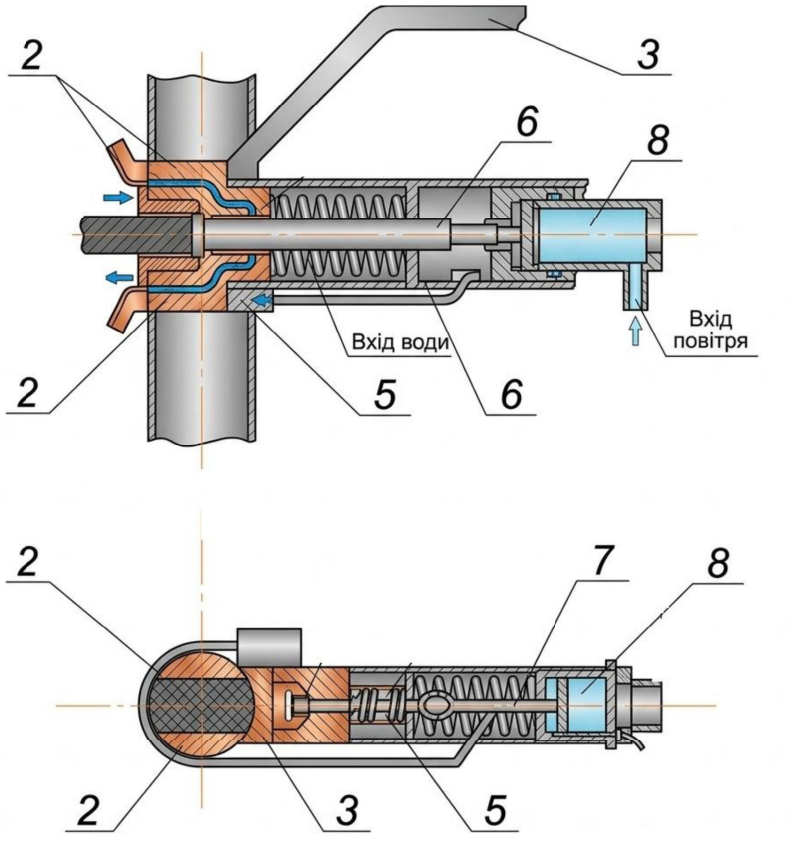


Рисунок 1.10 – Механізм затискання електрода: 1 – хомут; 2 – щока; 3 – струмопідведення; 4 – рукав; 5 – затискна пружина; 6 – пневмоциліндр; 7 – шток.

Механізм переміщення електродів призначений для індивідуального регулювання положення кожного електрода у вертикальному напрямку як під час пуску та зупинки печі, так і в процесі її роботи. При цьому система повинна забезпечувати поєднання плавності й точності руху з достатньо високою швидкодією, що є необхідним для стабілізації електричного режиму плавки.

Переміщення електродів здійснюється вздовж напрямних стійок, які виконані у вигляді порожнистих колон круглого перерізу, закріплених збоку печі. У печах великої місткості застосовують більш складні конструктивні рішення – телескопічні стійки. Їхнє переміщення у вертикальній шахті відбувається завдяки роликовим опорам. При цьому вертикальна шахта жорстко пов’язана з корпусом печі, що підвищує стійкість системи та забезпечує надійне і точне позиціонування електродів (рис. 1.11).

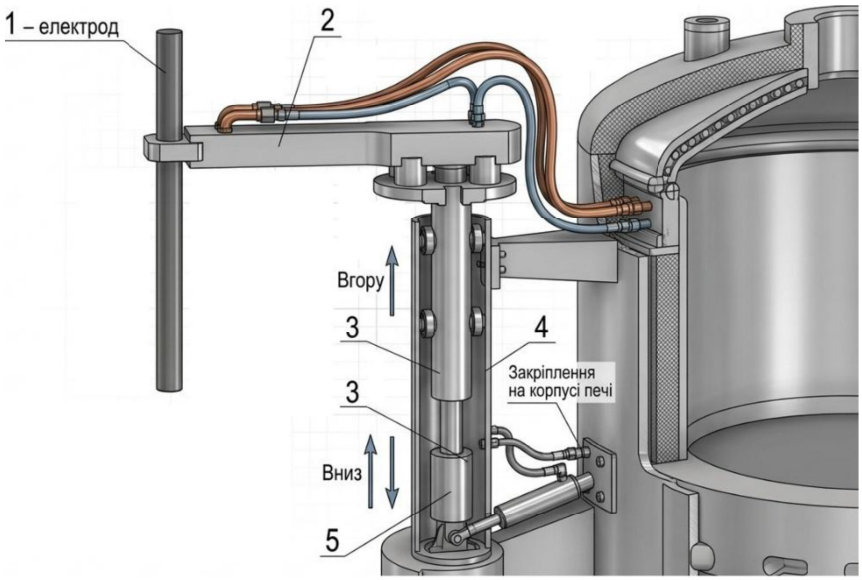


Рисунок 1.11 – Механізм пер еміщення електродів із телескопічними стійками (ілюстративна модель): 1 – електрод; 2 – рукав електродотримача; 3 – телескопічна стійка (рухлива); 4 – нерухома стійка; 5 – гідроциліндр.

Футерування електродугових печей (рис. 1.12) виконують із вогнетривких матеріалів основного типу, що дозволяє працювати при одночасному впливу високих температур і агресивного середовища. Окремі

елементи футерівки – подина, стіни та склепіння – експлуатуються в різних теплових і механічних режимах, що зумовлює відмінності в їх довговічності та зносостійкості.

Найбільш складні умови характерні для склепіння та стін печі. Вони піддаються інтенсивному тепловому навантаженню внаслідок дії променистої енергії електричних дуг, а також хімічному впливу високотемпературних газів, що містять оксиди заліза та частинки вапняного пилу. Додатково ці елементи зазнають різких температурних коливань, особливо під час завантаження шихтових матеріалів, а також значних механічних напружень.

Різноманітність експлуатаційних факторів визначає конструктивні особливості окремих зон футерівки, технологію їх виготовлення та вибір конкретних типів вогнетривких матеріалів, які повинні забезпечувати необхідний рівень термостійкості, хімічної інертності та механічної міцності.

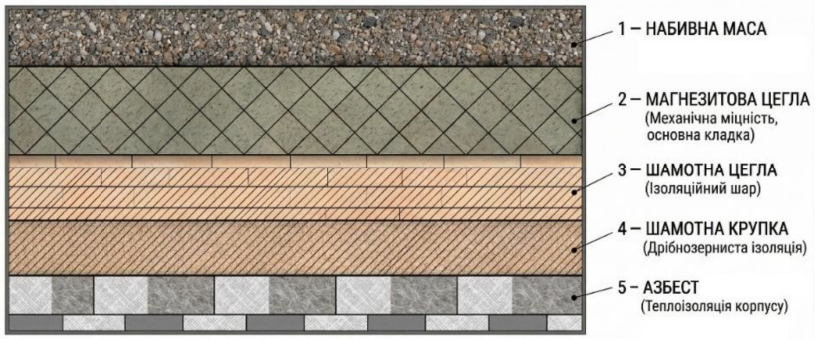


Рисунок 1.12 – Ілюстрація футерування печі типу ДСП-50: 1 – набивка, 2 – магнезит, 3 – шамот, 4 – шамотна крупка, 5 – азбест.

За умови еркерного випуску в електродуговій печі з боку, протилежного робочому вікну, наявний спеціальний виступ – еркер, у якому під час плавки акумулюються розплавлений метал і шлак (рис. 1.13). У донній частині еркера розташовано сталевипускний отвір. Його висотне положення підібране таким чином, що випуск металу відбувається вже при нахиленні печі на кут близько 10÷12°.

Процес еркерного випуску здійснюється у визначеній послідовності. Спочатку під випускний отвір встановлюють ківш, після чого відкривають запірний механізм і розпочинають злив металу. У процесі випуску піч незначно нахиляють у напрямку ковша для підтримання стабільного рівня металу над отвором. При досягненні граничного кута нахилу (близько 12°) система автоматично блокує подальше переміщення.

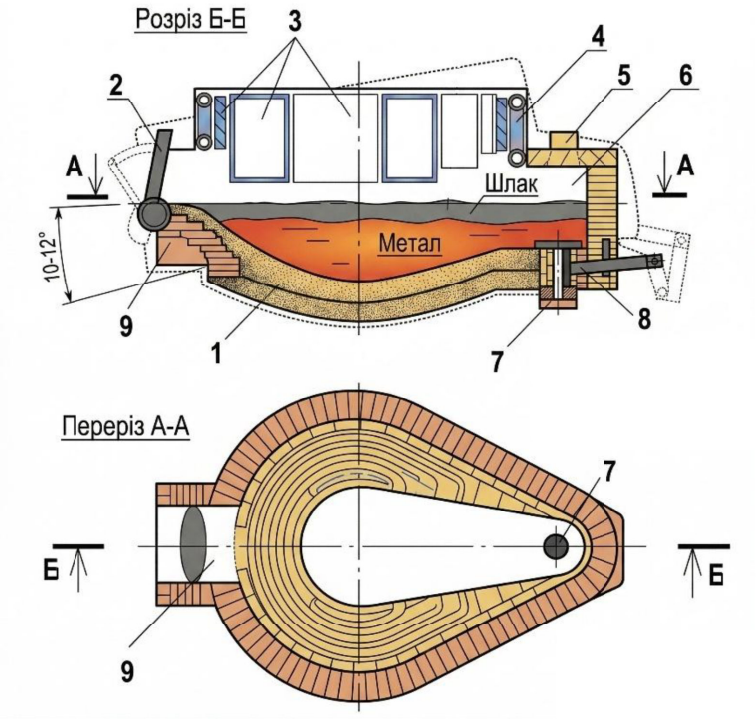


Рисунок 1.13 – Піч з еркерним випуском: 1 – подина; 2 – заслінка; 3 – стінова водоохолоджувана панель; 4 – трубчастий каркас стін; 5 – склепіння еркера; 6 – еркер; 7 – сталевипускний отвір; 8 – запірна пластина; 9 – робоче вікно

Випускний отвір еркера попередньо заповнюють вогнетривкою зернистою масою, яка в зоні високих температур частково спікається. Під час нахилу печі створюваного залишкового тиску достатньо для руйнування цього спеченого шару і відкриття каналу для витікання металу.

Герметизація отвору забезпечується за допомогою графітової плити, що притискається спеціальним важільним механізмом. Для початку випуску важіль

відводять убік або вниз, унаслідок чого вогнетривкий наповнювач висипається, і метал починає витікати в ківш практично без потрапляння шлаку. Після заповнення ковша необхідною кількістю сталі піч повертають у вихідне положення, при цьому випускний отвір залишається відкритим.

Очищення отвору здійснюється зверху шляхом продування струменем кисню. Застиглі залишки металу, що можуть утворитися в каналі, видаляють знизу через спеціальний обслуговуючий майданчик, змонтований під піччю. Після завершення очищення отвір знову закривають, а зверху засипають вогнетривку суміш на основі MgO, SiO_2 з додаванням близько 10 % Fe_2O_3. Уся операція технічного обслуговування випускного вузла триває, як правило, не більше трьох хвилин.

1.4 Пропозиції щодо конструктивного удосконалення механізму нахилу електродугової печі ДСП-50

У практиці металургійного виробництва для нахилу електродугових печей великої ємності застосовуються як гідравлічні, так і електромеханічні механізми. Кожен із цих типів приводів має свої конструктивні особливості, технічні можливості та експлуатаційні характеристики, що визначають доцільність їх використання.

Гідравлічні механізми забезпечують створення значних зусиль при компактних габаритах виконавчих органів. Це особливо важливо для печей великої ємності, до яких відносить електродугова піч ДСП-50, в яких маса вузлів конструкції разом з рідким металом може досягати декількох сотень тонн. Гідроциліндри здатні працювати з великими навантаженнями без суттєвого ускладнення конструкції. При цьому електромеханічні механізми (на базі електродвигунів, редукторів, зубчастих передач або гвинтових пар) для досягнення аналогічних зусиль потребують більш масивних і складних силових передач. Це призводить до збільшення габаритів, маси та інерційності системи.

Гідравлічні системи забезпечують високу плавність руху та можливість

безступінчастого регулювання швидкості нахилу. Це дозволяє точно контролювати процес випуску металу та шлаку. Електромеханічні механізми, особливо при використанні сучасних частотно-регульованих приводів, також можуть забезпечувати достатню точність позиціонування. Проте їх плавність руху часто поступається гідравлічним системам через наявність люфтів у передачах та більшу жорсткість кінематичного ланцюга.

Гідравлічні приводи мають природну здатність до демпфування ударних і змінних навантажень завдяки стисливості робочої рідини. Це знижує пікові напруження в елементах конструкції та підвищує довговічність механізму. Електромеханічні системи більш чутливі до ударних навантажень, що може призводити до підвищеного зношування зубчастих передач, підшипників і муфт. Для компенсації цього часто необхідно застосовувати додаткові демпфуючі елементи.

Електромеханічні механізми зазвичай мають вищий коефіцієнт корисної дії, оскільки відсутні подвійні перетворення енергії (механічна → гідравлічна → механічна). За умови довгострокової роботи вони є більш енергоощадливими та не мають втрат, пов'язаних із витоками рідини. Гідравлічні системи характеризуються більшими енергетичними втратами, особливо при тривалому утриманні навантаження або роботі в режимах часткових навантажень.

В умовах високих температур, пилу та агресивного середовища сталеплавильного виробництва гідравлічні системи потребують додаткового захисту, але водночас зберігають стабільність роботи при перевантаженнях. Електромеханічні механізми можуть бути більш вразливими до температурних деформацій і забруднення, особливо в зоні зубчастих передач.

Вибір типу механізму нахилу визначається сукупністю технічних, економічних і експлуатаційних факторів. Не зважаючи на ряд суттєвих переваг електромеханічних приводів нахилу печі для організації технологічного процесу виплавки сталі у сучасних електродугових печей великої ємності перевага, як правило, надається гідравлічним системам, завдяки їхній перевазі щодо передачі одиночної потужності, плавності та надійності роботи в складних умовах

металургійного виробництва.

Проєктна документація на електродугову піч ДСП-50 передбачала наявність пристрою, так званого сифонного зливу металу з печі після закінчення плавки. У силу ряду організаційних і технічних причин замість проєктного пристрою сифонного зливу на печі був установлений зливальний носок для зливу металу конструкції, не призначеної для печей даної серії.

Маса зливального носка звичайної конструкції значно менше маси пристрою сифонного зливу, що привело до зміни центру ваги печі, і як наслідок, до значного росту значень тиску в гідросистемі механізму нахилу печі при її знаходженні в нейтральнім положенні.

З метою зменшення значень тиску в гідросистемі механізму нахилу 1 в дипломному проєкті пропонується його модернізація, яка полягає в установці додаткових опор 2 для платформи, що нахиляється (рис. 1.14).

При нахилі печі убік для скачування шлаків додаткові опори відводяться в бік завдяки гідроприводу 3.

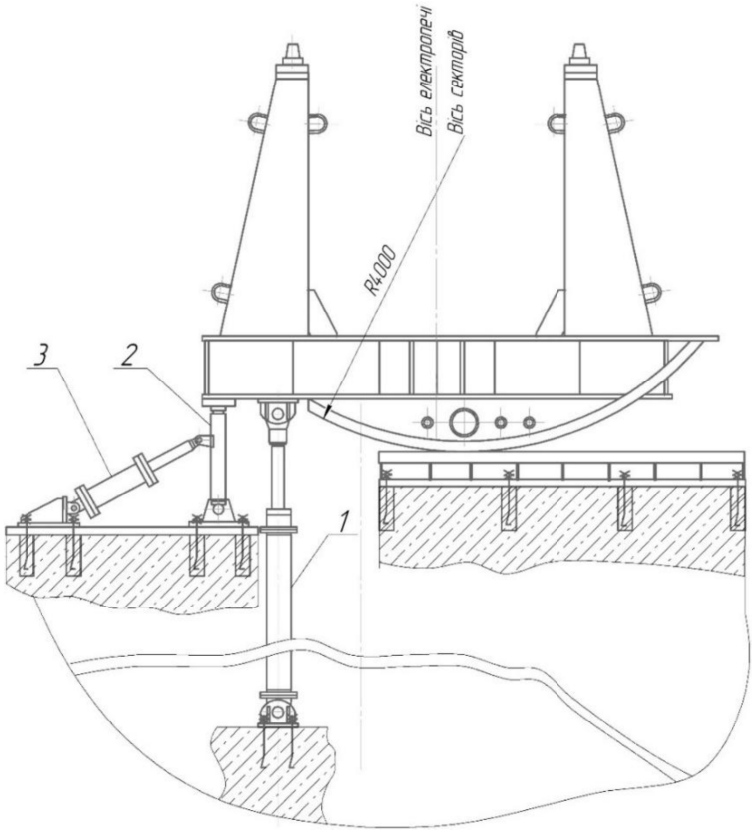


Рисунок 1.14 – Модернізація механізму нахилу печі ДСП-50 (позиції наведено в тексті)

2 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Визначення моменту від ваги конструктивних елементів печі

Коректний розрахунок механізму нахилу печі базується на достовірному визначенні просторового положення її центра мас [13]. Для цього необхідно встановити координати центра ваги x_0, y_0, z_0 відносно вибраної системи координат. Вихідними даними слугують значення вагових навантажень окремих елементів печі, які приймаються згідно зі специфікаційною документацією та розрахунковою схемою (рис. 2.1).

На основі робочих креслень та відомих сил ваги q_i окремих вузлів і деталей визначаються координати їхніх індивідуальних центрів мас x_i. Після цього шляхом узагальнення отриманих даних розраховується координата x_0 центра ваги всієї печі як інтегральна характеристика її масового розподілу:

$$X_0 = \frac{q_1 \cdot X_1 + q_2 \cdot X_2 + q_3 \cdot X_3 + ... + q_N \cdot X_N}{G_П} \qquad (2.1)$$

де q_1-q_i – розподілене навантаження окремих деталей і механізмів печі;

x_1-x_i – визначені координати центрів ваги окремих конструктивних елементів печі;

$G_П$ – вагове навантаження безпосередньо печі.

Аналогічно визначаються й $в_0$ й z_0.

У багатьох випадках доцільно задавати положення центра мас печі відносно осі її обертання, використовуючи радіус-вектор (r_0). При цьому координати можуть бути виражені через тригонометричні залежності ($x_0 = e \sin\alpha$) та $y_0 = f \cos\alpha$), що дозволяє врахувати кутове положення печі під час її нахилу.

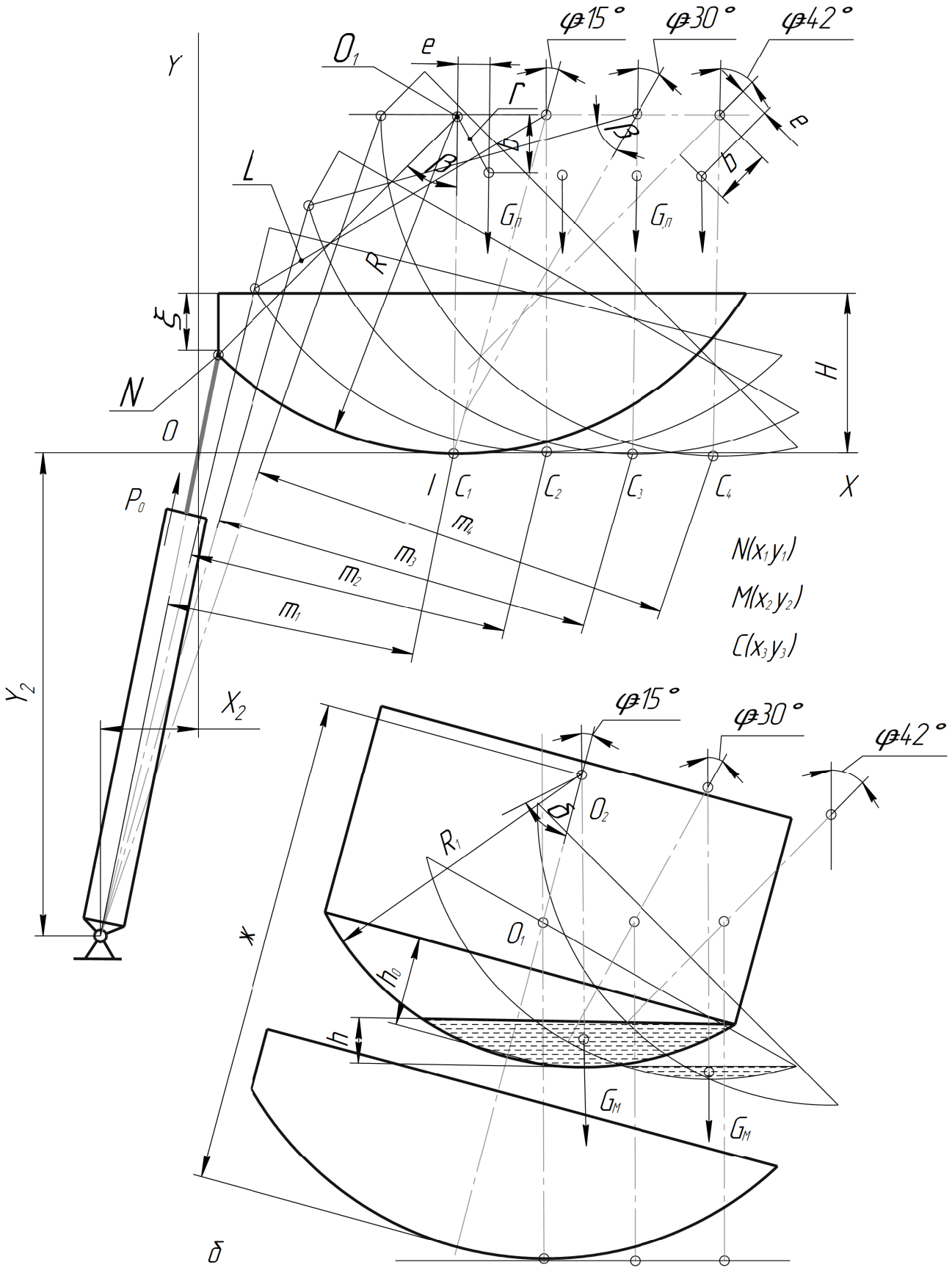


Рисунок 2.1 – Схема до визначення моменту від ваги конструктивних елементів печі ДСП-50

Якщо для початкового (нульового) положення печі відомі узагальнені координати центра ваги (e) і (f), то модуль радіус-вектора (r_0) (у метрах) визначається на їх основі як геометрична характеристика, що описує віддалення центра мас від осі обертання:

$$r_0 = \sqrt{e^2 + f^2}, \tag{2.2}$$

де e, f – координати, що визначають центр ваги печі.

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

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{e}{r_0}\right), \tag{2.3}$$

Кут нахилу радіуса-вектора до вертикалі при повороті печі на кут α буде α±φ. Знаки «плюс» або «мінус» вибирають залежно від напрямку обертання (нахилу) печі.

Плече сили $G_П$ дорівнює:

$$a = r_0 \sin(\alpha \pm \varphi), \tag{2.4}$$

Вихідними даними для розрахунку є наступні величини:

$G_Л$=230 кН; $G_{ПЛ}$=780 кН; $G_К$=825 кН; $G_{СК}$=95 кН;
$G_С$=70 кН; $G_П$=2000 кН; $G_М$=500 кН.
X_4=0 м; Y_4=-2,5 м;
X_5=0,45 м; Y_5=-1,5 м;
X_6=0 м; Y_6=-0,53 м;
X_7=0 м; Y_5=-1,47 м;
X_8=0 м; Y_8=-1,87 м;

Якщо за початкову точку системи координат обрати центр опорних сегментів (O_1) із радіусом (R), то положення сумарного центра мас печі визначається на основі залежності (2.3), яка в цьому випадку набуває відповідного вигляду [15, 16]:

$$e=\frac{G_Л\cdot X_4+G_{ПЛ}\cdot X_5+G_К\cdot X_6+G_{СК}\cdot X_7+G_С\cdot X_8}{G_Л+G_{ПЛ}+G_К+G_{СК}+G_С}, \qquad (2.5)$$

$$f=\frac{G_Л\cdot y_4+G_{ПЛ}\cdot y_5+G_К\cdot y_6+G_{СК}\cdot y_7+G_С\cdot y_8}{G_Л+G_{ПЛ}+G_К+G_{СК}+G_С}, \qquad (2.6)$$

де $G_Л$ – вага всіх елементів колиски;

$G_{ПЛ}$ – вага всіх елементів порталу;

$G_К$ – загальна вага корпусу печі;

$G_{СК}$ – вага підсклепінного кільця;

$G_С$ – вага безпосередньо склепіння;

$x_4,в_4$; $x_5,в_5$; $x_6,в_6$; $x_7,в_7$; $x_8,в_8$ – відповідні координати центрів ваги колиски, порталу, корпусу, підсклепіного кільця, склепіння.

За умови вирішення (2.5) й (2.6) з заданими початковими даними, одержимо:

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

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

Перекидаючий момент, від ваги печі для заданого кута нахилу φ:

$$M_П=G_П\cdot r_0\cdot \sin(\alpha\pm\phi), \qquad (2.7)$$

де $G_п$ – повне навантаження від маси печі;

r_o – радіус-вектор центра ваги печі;

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

φ – кут нахилу печі, $φ = 0^0$.

Величини r_o й α можна визначити з виражень 2.2 й 2.3:

$$r_0 = \sqrt{(0{,}175)^2 + (-0{,}956)^2} = 0{,}972 \text{ м}$$

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

Підставивши значення в 2.7 при $φ = 0^0$ при нахилі печі убік зливального носка ($φ = 0^0 \ldots 42^0$), одержимо:

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

Таким чином можна переходити дот наступного етапу розрахунків.

2.2 Визначення моменту від ваги металу в печі

Перекидаючий момент, від ваги металу для заданого кута нахилу φ:

$$M_M = \pm G_M \cdot n \cdot \sin\phi, \qquad (2.8)$$

де G_M – вага металу;

n – відстань між O_1 і O_2, n=4,2 м;

φ – кут нахилу печі.

Знак «+» враховують лише у випадку нахилу печі з положення -12° після видалення шлаку. В усіх інших режимах використовують знак «–», оскільки наявність розплавленого металу перешкоджає виникненню самовільного перекидання печі [17].

Вагу металу в печі можна визначити наступним чином:

$$G_{\text{і}} = \pi \cdot R_1^3[1-\cos\cdot(\delta-\varphi)]^2 \cdot \left[1-\frac{1-\cos\cdot(\delta-\varphi)}{3}\right]\cdot\rho, \qquad (2.9)$$

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

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

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

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

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

Таким чином можна переходити дот наступного етапу розрахунків.

2.3 Визначення моменту від тертя в опорних сегментах печі

Під час нахилу печі в опорно-поворотному вузлі виникає момент, зумовлений силами тертя кочення, які з’являються внаслідок пружної деформації (стиснення) опорних сегментів.

$$M_K = (G_П + G_M)\cdot к, \qquad (2.10)$$

де k – деформаційне плече, яке визначається як:

$$к=\frac{с}{4}, \tag{2.11}$$

де с –площі опорних сегментів в поперечному перетині з фундаментними балками, визначається за формулою Герца:

$$с=2,16\cdot\sqrt{\frac{2\cdot р\cdot R}{E}}, \tag{2.12}$$

де р – розподілене по довжині двох опорних сегментів навантаження, Н/м;

R – радіус сегментів, R =3,9 м;

E – модуль пружності для сталі, E =$2\cdot10^{11}$ Па.

Визначити розподілене навантаження можна як:

$$р=\frac{G_П+G_М}{в}, \tag{2.13}$$

де в – сумарна довжина поперечного перетину обох опорних сегментів, в=1,3 м.

Тоді:

$$р=\frac{G_П}{в}=\frac{2000+486}{1,3}=1912\,\frac{кН}{м}$$

$$с=2,16\cdot\sqrt{\frac{2\cdot1912\cdot10^3\cdot3,9}{2\cdot10^{11}}}=0,018\text{ м}$$

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

Підставивши отримані значення у вираження 2.10, одержимо:

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

Таким чином при наявності отриманих даних можна визначити загальний перекидний момент, що виникає при зливанні сталі:

$$M_{ОП(Р)}=M_П+M_К, \qquad (2.14)$$

$M_П=354$ кНм

$M_К=11,1$ кНм

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

Отриманні значення перекидного моменту дозволяють визначити силові характеристики гідравлічного механізму нахилу печі.

2.4 Визначення навантажень на штоці гідроциліндру

Розрахункове зусилля, що передається на шток гідроциліндра механізму нахилу печі, визначається за відповідною аналітичною залежністю, яка враховує дію зовнішніх навантажень та геометричні параметри системи:

$$P_{О(Р)}=\frac{M_{ОП(Р)}}{2\cdot m}, \qquad (2.15)$$

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

m – плече прикладання технологічного навантаження.

Плече m можна визначити в такий спосіб. Початок координат $О_Б$ розташуємо на відстані, що дорівнює R від точки С у початковому положенні колиски. Вісь х приймаємо спрямованою уздовж опорної поверхні

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

$$X_1 = R \cdot (\beta + \varphi) - 1 \cdot \sin(\beta + \varphi), \quad (2.16)$$

$$y_1 = R - l \cdot \cos(\beta + \varphi), \quad (2.17)$$

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

l – відстань від точки закріплення гідроциліндрів до центрів сегментів, l=4,1 м.

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

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

X_2=-1,7 м

$У_2$=-5 м

Поточні координати миттєвого центру обертання рівні:

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

Плече m визначають на основі співвідношень аналітичної геометрії як довжину перпендикуляра, опущеного з заданої точки до відповідної прямої, що характеризує лінію дії сили.

$$m = \frac{A \cdot (X_3 - X_1) + y_1}{\sqrt{A^2 + 1}}, \quad (2.18)$$

де А – параметричний коефіцієнт:

$$A = \frac{y_2 - y_1}{X_2 - X_1}, \qquad (2.19)$$

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

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

Розрахунковс зусилля, що діють на шток гідроциліндра мсханізму нахилу печі знаходимо з вираження 2.15:

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

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

Таблиця 2.1 Перекидаючий момент і зусилля на штоку гидроцилиндрадля різних положень кута φ

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

На основі отриманих числових значень виконуємо побудову графічних залежностей перекидаючого моменту та зусилля, що діє на шток гідроциліндра, від кута нахилу механізму для різних його положень (рис. 2.2, 2.3).

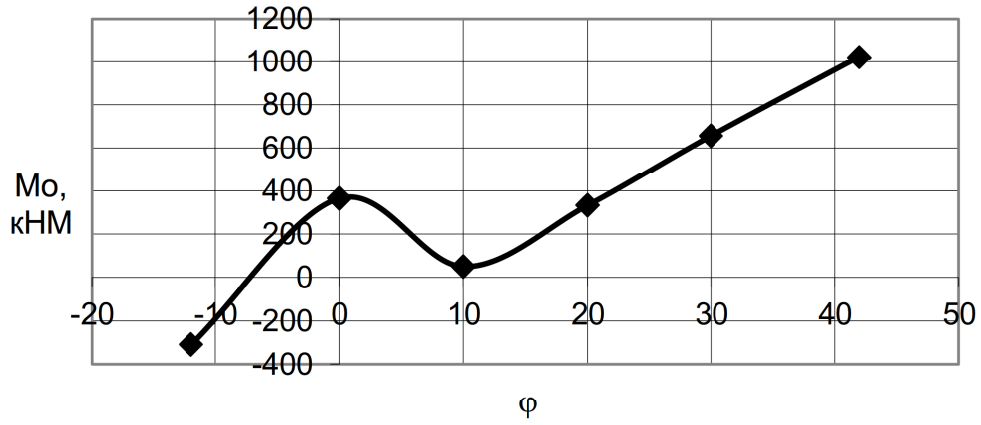


Рисунок 2.2 – Графік функції $M_O=f(\varphi)$

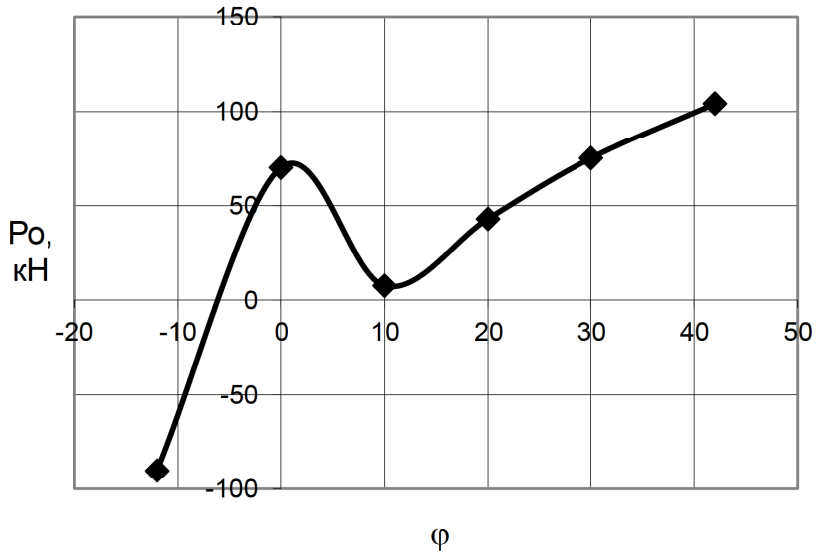


Рисунок 2.3 – Графік функції $P_O=f(\varphi)$

2.5 Визначення потужності та вибір гідравлічного насосу приводу

Для підтримки системи в працездатному стані приймаємо робочий тиск (P_p) у системі із урахуванням втрат тиску рівним 6,3 МПа.

Потужність двигуна насосу обчислюємо по номінальним параметрам насосу:

$$N = \frac{p \cdot Q}{1000 \cdot \eta_0}, \qquad (2.20)$$

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

Q – витрати, Q =0,00148 м^3/с;

p – тиск, p=10 МПа.

$$N = \frac{6{,}3 \cdot 10^{6} \cdot 1{,}48 \cdot 10^{-3}}{1000 \cdot 0{,}85} = 13{,}3 \text{ кВт.}$$

Вибираємо електродвигун типу 4А160М6В3, асинхронний з короткозамкненим ротором, з потужністю N=15 кВт і частотою обертання n=970 об/хв [18].

Обсяг баку з урахуванням мінімального часу подачі насосом в три хвилини [19]:

$$V_б = 3 \cdot 60 \cdot 1{,}986 \cdot 10^{-3} = 0{,}36 \text{ м}^3.$$

Визначаємо необхідність охолодження робочої рідини

$$S_p = \frac{3{,}6 \cdot \Delta p \cdot Q_{ж}}{(T_{ж} - T_0) \cdot K_{\delta}} \le S_{ф}, \qquad (2.21)$$

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

$Q_ж$ – втрати рідини в гідросистемі;

$T_ж$, T_0 – температури робочої рідини й навколишнього середовища, $T_ж$=60^{0}С, T_0=20^{0}С;

$К_δ$ – коефіцієнт теплопередачі від бака в повітря (приймаємо $К_δ$=63кДж).

$$S_p = \frac{3{,}6 \cdot 6 \cdot 10^{5} \cdot 1{,}986 \cdot 10^{-3}}{(60 - 20) \cdot 60} = 1{,}7 м^2 < S_ф = 2{,}5 \text{ м}^2.$$

При такому режимі роботи маслостанції необхідності у використанні охолоджувача немає.

Визначаємо товщину стінки циліндрів (p=1,48·6,3=9,3 МПа) [20]:

$$\delta = \frac{p \cdot D}{2{,}3 \cdot [\sigma] - p} = \frac{9{,}3 \cdot 0{,}3}{2{,}3 \cdot 90 - 9{,}3} = 2{,}37 \cdot 10^{-2} \text{ м.}$$

Остаточно приймаємо товщину стінки циліндрів δ =25 мм.

Перевірка гідроциліндра механізму нахилу печі на повздовжній вигин та міцність [21]:

$$F_k = k \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2} \geq F_\phi, \qquad (2.22)$$

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

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

I - момент інерції перетину штока;

L – довжина стисливої ділянки, L=5 м

$$F_{kp} = 1 \cdot \frac{3{,}14^2 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 0{,}05 \cdot 0{,}125^4}{5^2} = 1{,}01 \text{ МН.}$$

$$F_{кр} > F_ф$$

Таким чином, параметри штока задовольняють прийнятим умовам.

Міцність штоку гідроциліндра визначається з умови [21]:

$$\sigma_p = 10^{-2} \cdot \frac{0{,}4 \cdot r + 1{,}3 \cdot R}{R^2 - r^2} \cdot p_y \leq [\sigma_p], \qquad (2.23)$$

де R – зовнішній радіус гідроциліндра, R=426 мм;

r – внутрішній радіус гідроциліндра, r=380мм;

$$\sigma_р = 10^{-2} \cdot \frac{0{,}4 \cdot 0{,}380^2 + 1{,}3 \cdot 0{,}426^2}{0{,}426^2 - 0{,}380^2} \cdot 9{,}3 = 7{,}3 \text{ МПа} < 120 \text{ МПа}$$

Що доводить, міцність гідроциліндра забсзпсчсна.

3 ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ЧАСТИНА

3.1 Монтаж сталеплавильного устаткування з гідравлічним приводом

Укрупнювальне збирання блоків печі слід проводити на стендах мостовим завантажувальним краном згідно монтажно-маркувальної схеми підприємства-виробника на робочій площадці. При цьому конструкції робочого майданчика необхідно перевірити на вплив монтажних навантажень [22].

Люльку печі збирають на шпальних викладках і встановлюють на ній опори (фіксатори) кожуха [23]. Допустимі відхилення при зборці люльки наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Допустимі відхилення при зборці люльки ДСП-50

Тип відхилення	Межі допустимого відхиленння, мм
Від горизонтальної робочої поверхні люльки у взаємно перпендикулярних напрямках із приведенням до одного погонного метра її довжини.	0,3
Відстань між секторами	±3
Паралельність секторів на кожен метр погонний	0,5
Перпендикулярність секторів відносно поверхні люльки на 1 м	0,5

З елементів заводської поставки кожух печі укрупнюють на спеціальному стенді в блок, що складається з кожуха і коробки піщаного затвору. Допускається відхилення овальності при зборці кожуха – 20 мм. Кожух зварюють у відповідності до технологічної інструкції по місці складання.

Шахту печі збирають у блок з секцій (верхніх та нижніх) спільно з направляючими роликами та металоконструкцій майданчиків і сходів.

Портал печі збирають у блок, що складається з консолей, що зв'язують майданчиків, водоохолоджуваних коробок і обв'язувальних трубопроводів. Після збірки блоку виробляють гідравлічне випробування систем водоохолодження у відповідності з технічними вимогами підприємства-виробника.

Водоохолоджуване трубчасте склепіння збирають в укрупнений блок, що складається з каркасу і панелей склепіння. Систему водоохолодження склепіння піддають гідравлічному випробуванню відповідно до технічних вимог креслень підприємства-виробника [23, 24].

При монтажі укрупнених блоків і окремих вузлів печі послідовно встановлюють (рисунок 3.1):

– дві фундаментні балки;
– люльку механізму нахилу і гідроциліндри;
– статор електромагнітного перемішування металу;
– фундаментні тумби під системи підйому та повороту склепіння;
– кожух печі;
– водоохолоджуване склепіння і центральну купольну частину склепіння;
– механізм підйому та повороту склепіння;
– систему переміщення електродів.

Системи змащення, гідравліки, пневматики та водоохолодження монтують паралельно з основними вузлами печі у відповідності з робочими кресленнями і вимог інструкції підприємства-виготовлювача.

Допустимі відхилення від проєктного положення при монтажних роботах зі встановлення фундаментних балок наведені в таблиці 3.2

Таблиця 3.2 – Допустимі відхилення від проєктного положення при монтажних роботах зі встановлення фундаментних балок ДСП-50

Тип відхилення	Межі допустимого відхиленння, мм
Від суміщення балки щодо розбивальної осі	±5
Відстань між балками	±3
Висотної позначки робочої поверхні балок	+5
Різниці рівнів робочих поверхонь балок (на 1 м)	0,2
Від паралельності балок між собою (на 1 м)	0,5
Від горизонтальності робочих поверхонь балок (на 1 м)	0,5

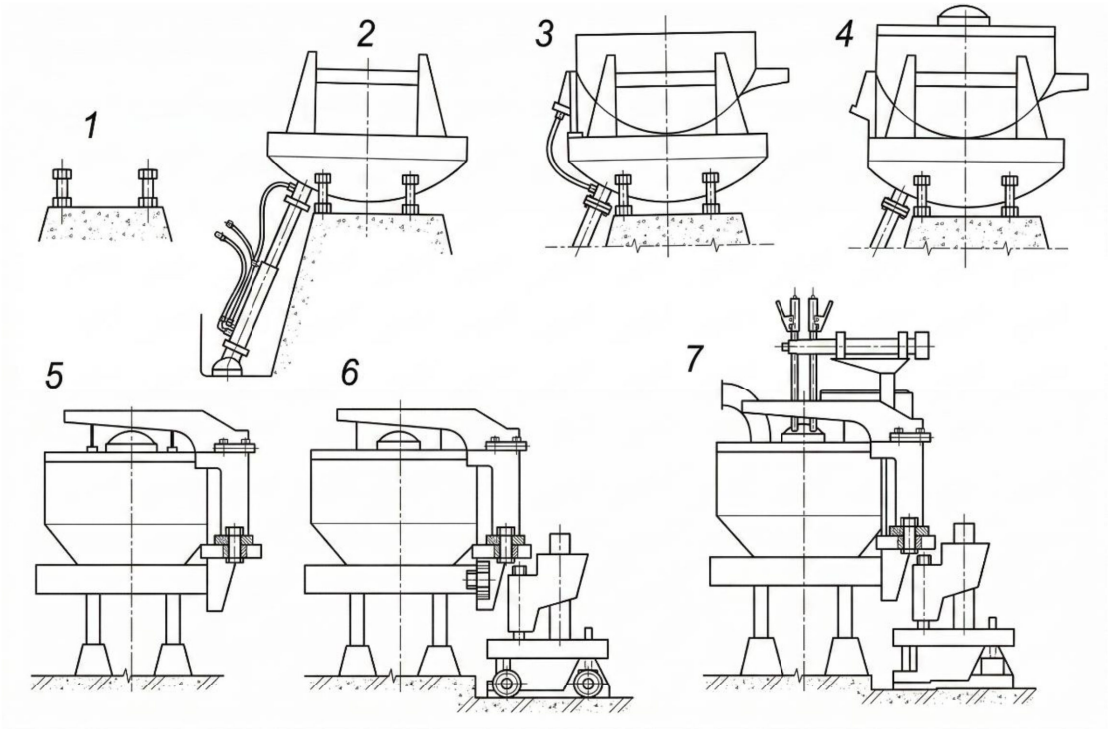


Рисунок 3.1 – Операційно-послідовна схема монтажу електросталеплавильної печі з гідравлічним приводом: 1 – фундаментні балки; 2 – люлька і гідроциліндр; 3 – кожух; 4 – водо охолоджуване склепіння; 5 – вузол консолі-порталу шахти; 6 – механізм підйому і поворот склепіння; 7 – система електродотримачів

Укрупнений блок люльки встановлюють на фундаментні балки і перевіряють збіг шипів з отворами в балках нахилом люльки в обидві сторони.

Потім люльку встановлюють горизонтально і закріплюють клинами. Допускається відхилення від горизонтальності не більше 0,2 мм на 1 м.

При монтажі гідроциліндрів механізму нахилу вивіряють співвісність гідроциліндрів і секторів люльки. Наступний етап – підливка фундаментних балок і кронштейнів гідроциліндрів.

Кожух печі виставляють на люльці механізму нахилу зі зміщенням поперечних осей у бік робочого вікна згідно з кресленнями підприємства-виробника, після чого монтують робоче вікно, зливний жолоб, площадки для обслуговування піщаного затвора і робочі площадки на люльці.

Установку центральної купольної частини склепіння на водоохолоджуваний звід роблять так, щоб осі електродних отворів відповідали розпаду електродів відносно осі кожуха.

Послідовність монтажу механізму підйому та повороту склепіння:

– зібраний вузол консолі, порталу і шахти встановлюють на опорні тумби люльки і вивіряють горизонтальність верхніх площин консолі;
– встановлюють на фундамент підстава механізму підйому та повороту склепіння, потім балансири і поворотну вісь;
– монтують на підставі поворотну платформу, з'єднавши її з балансирами і поворотною віссю.
– після установки гідроциліндрів підйому склепіння і упору каретки на стійках поворотної платформи монтують каретку.

Після з'єднання стійок перемичкою виробляють опробування механізму підйому та повороту склепіння. При цьому повинен забезпечуватися вільний вхід штовхача каретки в конічне гніздо шахти до упору в підставу з одностороннім зазором між конічними поверхнями штовхача і гнізда з боку кожуха печі, а також має забезпечуватися прилягання плоских упорів каретки і шахти згідно технічної документації підприємства-виробника.

Допустимі відхилення при монтажних роботах зі встановлення механізму підйому та повороту склепіння наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Допустимі відхилення при монтажних роботах зі встановлення механізму підйому та повороту склепіння

Тип відхилення	Межі допустимого відхиленння, мм
Від горизонтальності верхньої площини платформи (на 1 м)	0,2
Від вертикальності поворотної осі (на 1 м)	0,1
Від горизонтальності дугоподібної опорної рейки основи (на 1 м)	0,2

Послідовність монтажу системи переміщення електродів:

– перевіряють фіксацію плунжерів від випадання з циліндрів при транспортуванні, опускають в стовбури шахти стійки і з'єднують з циліндрами переміщення електродів;
– монтують на стійках електродотримачі, контролюючи положення їх головок по отворах в центральній керамічної частини склепіння.

Після виконання футеровки електропечі встановлюють електродні ущільнення, газовідсмоктувача, пристрій для введення кисню в піч і газокисневі пальники.

3.2 Технічне обслуговування

Металоконструкції та механізми печі, а також розташовані поряд та прилеглі до неї площадки, споруди та устаткування повинні буди чистими, вільними від сторонніх предметів, технологічних відходів, сміття, шлаку. Особливу увагу звертати на чистоту порога робочого вікна, контактуючих поверхонь фундаментних балок та люльки печі, механізму підйому стійок електродотримача [25].

Поверхня металічного майданчика для обслуговування випускного отвору печі повинна бути футерована цеглою та не мати вибоїн та ям. Подача кисню до кисневої фурми припиняється при виведенні (підйомі) її з робочого простору печі.

Киснева фурма вимикається від системи подачі кисню, (при необхідності та від системи водоохолодження) та виводиться з робочого простору печі в крайнє (неробоче) положення в випадках:

– прогорання;
– підвищення температури охолоджувальної води вище допустимого;
– падіння подачі кисню або від ходячої води нижче встановлених меж.

Нахил робочого простору печі допускається виключно за умови опущеного склепіння, що забезпечує безпечну та коректну роботу механізму.

Ось глибоко перероблений варіант із більш систематизованим і формалізованим технічним викладом:

З метою запобігання можливому короткому замиканню кабелів «короткої» мережі передбачено автоматичне знеструмлення електродів печі при нахилі робочого простору в бік розливного прольоту на кут понад 15°. У процесі виконання ремонтних і технологічних операцій – зокрема під час заміни, перепуску або нарощування електродів, а також видалення їхніх уламків із робочого простору – відключення електродів здійснюється шляхом вилучення ключа-бірки зі щита керування.

Конструктивно та схемно виключається можливість одночасного підйому склепіння та електродів. Крім того, автоматичне відключення електродів (із вимкненням високовольтного вимикача) відбувається у разі перевищення допустимих температур днища печі, а також охолоджувальної води робочого вікна і склепіння. Система міжблокувань передбачає також, що підйом склепіння неможливий за наявності напруги на електродах, а опускання кисневої фурми – при піднятому склепінні. Контроль за станом, шляхом реєстрації визначених несправностей та їхнього усунення як під час прийняття зміни, так і протягом зміни повинні фіксуватися в журналі прийому передачі зміни [26].

3.3 Система змащування та мастильні матеріали

Експлуатаційна надійність і ресурс роботи устаткування сталеплавильних цехів значною мірою визначаються характеристиками застосовуваних мастильних матеріалів, а також обраними способами й режимами змащування та рівнем контролю їх якості в процесі експлуатації [27].

Раціональне функціонування вузлів і агрегатів забезпечується дотриманням вимог експлуатаційної документації, зокрема інструкцій з технічної експлуатації, нормативних рекомендацій щодо використання мастильних матеріалів, а також положень з охорони праці та пожежної безпеки.

Результати багаторічного аналізу відмов і аварій технологічного устаткування свідчать, що порушення умов змащування, у тому числі застосування невідповідних мастильних матеріалів або недотримання регламентованих режимів, є однією з вагомих причин виходу обладнання з ладу, що, у свою чергу, призводить до значних виробничих втрат і тривалих простоїв агрегатів. Карту змащування печі наведено в таблиці 3.4

Таблиця 3.4 – Карта змащування основних технологічних вузлів електросталеплавильної печі

Механізм та вузол тертя	Система змащування	Мастильні матеріали		Режим змащування (через)
		Основний	Замінник	
1	2	3	4	5
Механізм нахилу печі				
Зубчасті муфти	Закладн.	ОЗП-1	Бітумн. мастило	6 міс
Зубчасті зачеплення редуктора	Картерн.	И-50А	І40А	
Відкрита зубчаста передача	Закладн.	ОЗП-1	Бітумн. мастило	6 міс

Продовження таблиці 3.4

1	2	3	4	5
Шарнірні з’єднання	Вручну	ОЗП-1	Бітумн. мастило	1 міс
Механізм повороту ванни				
Зубчасті муфти	Закладн.	ОЗП-1	Бітумн. мастило	6 міс
Зубчасті зачеплення редуктора	Картерн.	И-50А	И40А	
Опорні катки	Закладн.	Циатим 201	ЛС-1П	24 міс
Механізм підйому склепіння				
Зубчасті муфти	Закладн.	ОЗП-1	Бітумн. мастило	6 міс
1	2	3	4	5
Черв’ячний редуктор	Картерн.	ТАП-15В	Нигрол	
Опорні ролики	Закладн.	Циатим 201	ЛС-1П	24 міс
Механізм переміщення електроду				
Зубчасті муфти	Закладн.	ОЗП-1	Бітумн. мастило	6 міс
Черв’ячний редуктор	Картерн.	ТАП-15В	Нигрол	
Механізм підйому заслонки				
Зубчасті муфти	Закладн.	ОЗП-1	Бітумн. мастило	6 міс
Черв’ячний редуктор	Картерн.	ТАП-15В	Нигрол	
Підшипники блоків	Закладн.	Циатим 201	ЛС-1П	24 міс

3.4 Розрахунок болтів кріплення монтажного кронштейну

Для розрахунку монтажних кронштейнів скористаємося наступними початковими даними:

– прикладене навантаження P=1134000 Н

– відстань від основи кронштейна до центру проушини h=0,375 м

– довжина основи кронштейна A=0,8 м

– ширина основи кронштейна B=0,57 м

– розрахункова схема рисунок 3.2

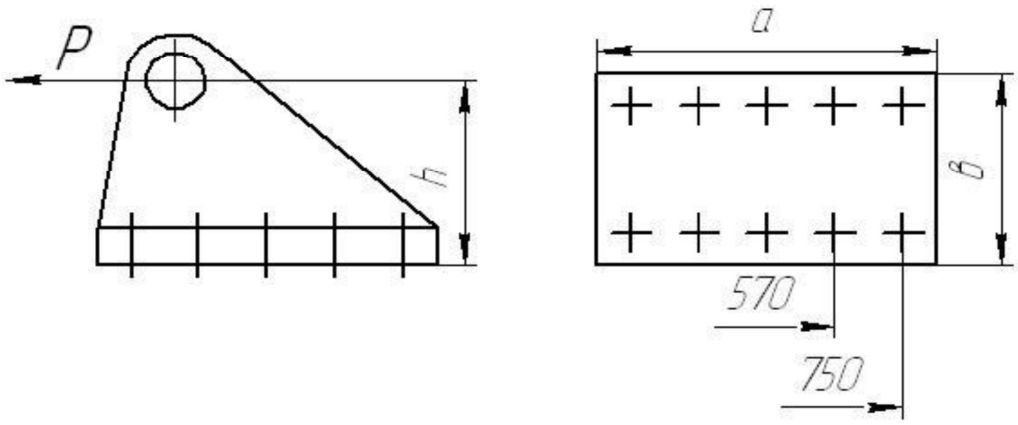


Рисунок 3.2 – Схема до розрахунку кронштейна

Визначаємо перекидний момент за формулою:

$$M_{опр}=P\cdot h=1134000\cdot 0,375=425250\ Н\cdot м \qquad (3.1)$$

Відновлюючий момент визначається за формулою:

$$M_{від}=1,4\cdot M_{опр}=1,4\cdot 425250=595350\ Н\cdot м=59575\ кг\cdot м, \qquad (3.2)$$

Також відновлюючий момент можна знайти з:

$$M_{від}=Q_б \cdot n_р \cdot 0,8, \quad (3.3)$$

де $Q_б$ – зусилля затягування болта, Н;

$n_р$ – кількість рядів болтів.

Звідси

$$Q_б=\frac{M_{від}}{0,8 \cdot n_р}=\frac{59575}{2 \cdot 0,8}=37234,4 \text{ кг} \quad (3.4)$$

Розрахуємо діаметр болта за формулою:

$$d_б=\sqrt{\frac{5,2 \cdot Q_б}{\pi \cdot [\sigma]}}=\sqrt{\frac{5,2 \cdot 37234,4}{3,14 \cdot 18}}=58,5 \text{ м} \quad (3.5)$$

Так як знайдений діаметр не відповідає необхідним умовам міцності, виникає потреба подальшого розрахунку. За умови, що на відновлення працюють два ряди болтів.

$$M_{від}=Q_б \cdot n_{ряду} \cdot 0,75+Q_б \cdot n_{ряду} \cdot 0,57=Q_б\left(n_{ряду} \cdot 0,75+n_{ряду} \cdot 0,57\right)=$$
$$=Q_б(1,5+1,14)=2,64Q_б, \quad (3.6)$$

Тоді

$$Q_б=\frac{M_{від}}{2,64}=\frac{59575}{2,64}=22566 \text{ кг} \quad (3.7)$$

Підберемо діаметр болтів

$$d_1=\sqrt{\frac{5,2\cdot 22566}{3,14\cdot 18}}=45,5 \text{ мм}$$

Приймаємо болт М-48.

Перевірка болта на міцність

$$Q_б\cdot n_б\cdot f<F, \qquad (3.8)$$

$$22566\cdot 10\cdot 0,6=135396>113400$$

Коефіцієнт нерозкриття стику:

$$\upsilon=\frac{135396}{113400}=1,2$$

Таким чином нерозкриття стику забезпечено

3.5 Розрахунок площі основи кронштейна

Марка бетону. що використовується для фундаменту Б200.

$$\frac{P}{A_p\cdot K}\leq[\sigma] \qquad (3.10)$$

де Р – вертикальна складова сили, кг;

А – площа основи кронштейну;

$[\sigma]$ – середня міцність бетону, кг/см^2;

Тоді

$$A_р=\frac{P}{K\cdot[\sigma]}=\frac{1215}{0.5\cdot200}=12{,}15\text{ см}^2 \quad (3.11)$$

Фактична площа контакту кронштейна:

$$A_ф=a\cdot b=80\cdot57=4560\text{ см}^2 \quad (3.12)$$

Запас міцності складає:

$$\frac{A_ф}{A_р}=\frac{4560}{12.15}=375{,}3.$$

Таким чином обрані кронштейни забезпечать надійний монтаж печі до фундаменту

3.6 Розрахунок фундаменту для монтажу електродугової печі ДСП-50

Відповідно до рекомендацій [25, 28] для довготривалої експлуатації фундаменту на 1 тону ваги встановлюваного устаткування необхідно від трьох до п’яти метрів кубічних бетону. Таким чином, при вазі устаткування електродугової печі $G_{об}$=250 т, обсяг фундаменту складе $V_Ф$=3·250=7500 м^3, при щільності бетону γ=2,1 т/м^3 загальна вага фундаменту складе $G_ф$=1575000 кг

Згідно розрахункової схеми (рис.3.3), загальні габарити печі в плані складають: a=8600 мм, b=6300 мм

$$a'=a+2n_1, \quad (3.11)$$

$$a''=a'+2n_2, \quad (3.12)$$

$$b'=b+2n_1, \quad (3.13)$$

$$b''= b'+2n_2, \qquad (3.14)$$

де n_1 = 1200 мм – величина збільшення розміру фундаменту;

n_2=1400 мм - величина збільшення розміру фундаменту;

a', a'', b', b'' – розміри фундаменту, мм.

Підставивши значення у вираження 3.11-3.14, одержимо:

$$a'=8600+2\cdot1200=11000 \text{ мм},$$

$$a''=11000+2\cdot1400=13800 \text{ мм},$$

$$b'=6300+2\cdot1200=8700 \text{ мм},$$

$$b''=8700+2\cdot1400=11500 \text{ мм}.$$

Визначимо тиск на ґрунт створюваний технологгічним встаткуванням:

$$\rho=\frac{G_{ОБ}+G_ф+G_M}{a''\cdot b''}+\frac{M_{КР}}{W}\le[\rho], \qquad (3.15)$$

де $G_{ОБ}$ =250000 кг – вага устаткування;

$G_ф$ =2100000 кг – орієнтовна маса фундаменту за визначеним обсягом;

G_M =40000 кг – маса металу у печі;

a'', b'' – розміри фундаменту, 1380, 1150 см відповідно;

$M_{КР}$ = 1023 кН м =10428138 кг см – максимальний перекидаючий момент, що діє на піч,

W – момент, що характеризує опір фундаменту провороту в ґрунті

$$W=\frac{(b'')^2\cdot a''}{6}=\frac{(1380)^2\cdot1150}{6}=365010000 \text{ см}^3$$

[ρ]=2 кг/см^2 – допустимий тиск на ґрунт в межах Запорізької області

Підставивши значення у вираження 3.15, одержимо:

$$\rho=\frac{250000+1575000+40000}{1380\cdot1150}+\frac{10428138}{365010000}=1{,}203\ \text{кг/см}^2<[\rho]=2\ \text{кг/см}^2$$

Висота фундаменту:

$$V_ф = a''\cdot b''\cdot H_ф\cdot\frac{1}{5}+a'\cdot b'\cdot H_ф\cdot\frac{4}{5}, \qquad (3.16)$$

де a', a", b', b" – розміри, що визначаютьгабарити фундаменту, м

$$V_ф=13{,}8\cdot11{,}5\cdot H_ф\cdot\frac{1}{5}+11\cdot8{,}7\cdot H_ф\cdot\frac{4}{5}=108{,}3H_ф$$

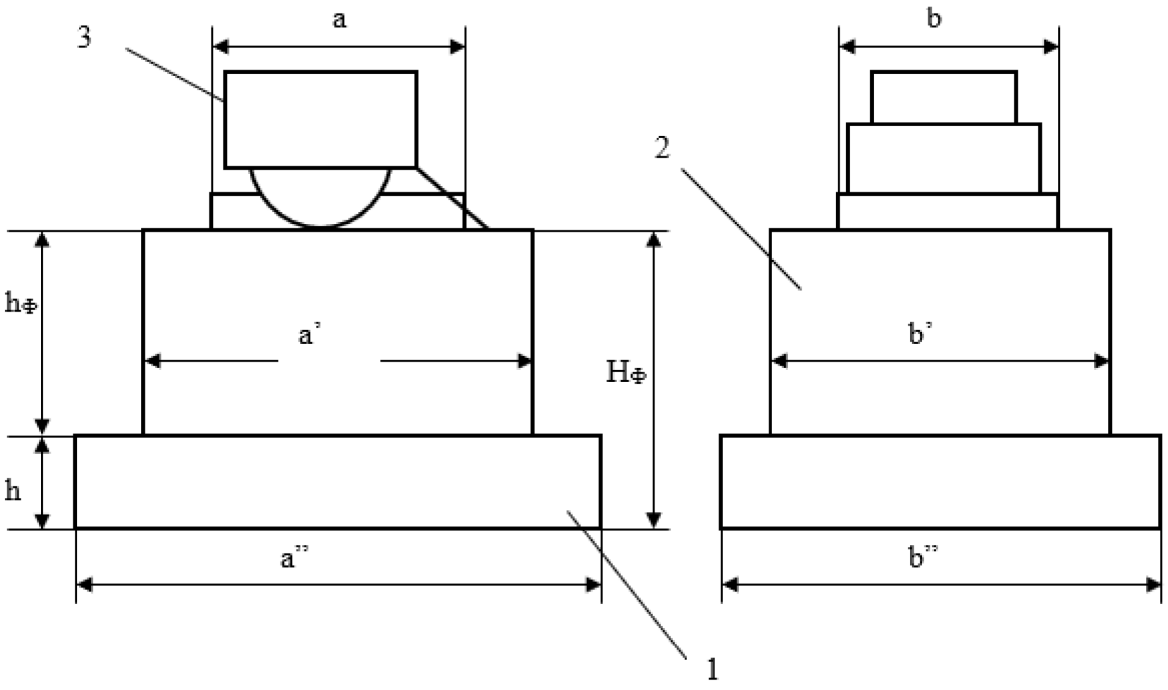


Рисунок 3.2 – Схема фундаменту під встановлення електродугової сталеплавильної печі: 1 – підошва фундаменту; 2 – бехпосередньо основна частина фундаменту; 3 – технологічне устаткування

Перетворивши вираз (3.16), отримаємо висоту фундаменту

$$H_ф = \frac{750}{108,3} = 6,925 \text{ м}$$

Приймаємо $H_Ф$=6,900

Висота підошви фундаменту:

$$h_п = \frac{1}{5} \cdot H_ф \qquad (3.17)$$

$$h_п = \frac{6,900}{5} = 1380 \text{ м}$$

приймаємо $h_П$=1400 мм

Висота властиво фундаменту:

$$h_ф = H_ф - h_п, \qquad (3.18)$$

$$h_ф = 6,900\text{-}1,400 = 5,500 \text{ м}.$$

За отриманими результатами, можна зробити висновок, що для встановлення фундаменту під обладнання буде потрібно 222 м^3 бетону марки Б-50 й 528 м^3 бетону марки Б-200, та враховуючи, що фундамент має складний рельєф, то можливе додаткове використання бетону марки Б100, для створення необхідних геометричних параметрів фундаменту можливе коригування його розмірів.

3.7 Розрахунок анкерних болтів для закріплення механізму нахилу електродугової печі до фундаменту

Розрахунок анкерних болтів кріплення механізму нахилу печі виконується для найбільш навантажених режимів роботи, а саме при максимальних кутах нахилу агрегату: φ=42˚ – у бік зливного носка та φ=12˚ – у бік робочого вікна.

Анкерні болти вибираються з умови [29, 30]:

$$К_у=\frac{М_{Відн}}{М_{Пер}}\geq 1,4 \qquad (3.19)$$

тоді

$$М_{Відн}=1,4\cdot М_{Пер}$$

де $К_у$ – коефіцієнт стійкості;

$М_{Пер}$ – перекидаючий момент;

$М_{Відн}$ – момент, що відновлює.

Розрахунок анкерних болтів при нахилі печі на кут $\varphi=42^0$, убік зливального носка.

Згідно схемі навантажень (рисунок 3.3) перекидаючий момент і момент що відновлює:

$$М_{Пер}=F_X\cdot h, \qquad (3.20)$$

$$F_X = P_{OX} + G_X = P_O \cdot \sin\alpha + G \cdot tg\alpha ,$$

де P_O – осьове зусилля на штоку гідроциліндра, P_O =104 кН;

α – кут нахилу осьової сили до вертикалі, $\alpha=21^0$;

G – сила ваги частини гідроциліндра, G=14,2 кН;

h – відстань від фундаменту до крапки кріплення шарніра, h=0,375 м.

Підставивши значення у вираження 3.21, одержимо:

$$M_{Пер}=(104\cdot \sin 21^0+14,2\cdot tg21^0)\cdot 0,375=16 \text{ кНм}$$

$N \cdot f > F_X$ – умова притиску опорної частини механізму нахилу печі

$$N = (F_y + Q_O) \cdot f > F_X$$

$$F_y \cdot f + Q_O \cdot f > F_X$$

$$Q_O = \frac{(F_X - F_y \cdot f) \cdot \nu}{f}, \qquad (3.21)$$

де f=0,25 – коефіцієнт тертя між бетоном і сталлю;

ν=1,5 – коефіцієнт нерозкриття стику [31];

$$F_X = P_O \cdot \sin \alpha = 104 \cdot \sin 21^0 = 37 \text{ кН}$$

$$F_y=P_O\cdot \cos \alpha=104\cdot \cos 21^0=97 \text{ кН}$$

$$Q_O = \frac{(37 - 97 \cdot 0,25) \cdot 1,5}{0,25} = 76,5 \text{ кН}$$

$$M_{Відн}=F_У\cdot b+Q_Б\cdot a_Б\cdot n_Р, \qquad (3.22)$$

$$F_У=(P_{ОУ}+G)\cdot b+Q_Б\cdot a_Б\cdot n_{РЯД}=(P_O\cdot \cos \alpha+G)\cdot b+Q_Б\cdot a_Б\cdot n_{РЯД}$$

де b=0,615 м;

$a_б$=0,7 м;

$n_р$ =2 – число, що визначає кількість болтів (анкерних) з одного боку опори.

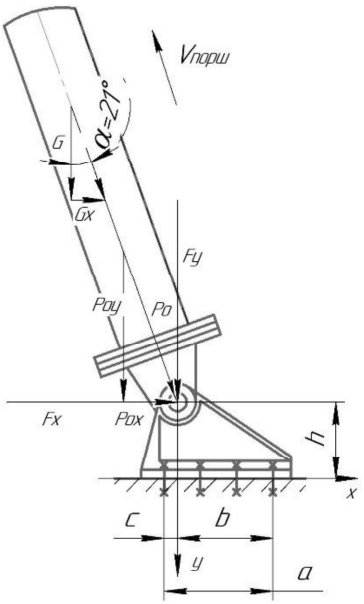


Рисунок 3.3 – Схема навантажень до розрахунку при максимальних кутах нахилу агрегату у бік зливного носка

Звідки:

$$Q_Б = \frac{1{,}4 \cdot M_{ОПР} - (P_O \cdot \cos\alpha + G) \cdot b}{a_Б \cdot n_Р} \qquad (3.23)$$

Підставивши значення у вираження 3.13, одержимо:

$$Q_Б = \frac{1{,}4 \cdot 16 - (104 \cdot \cos 2\,1^0 + 14{,}2) \cdot 0{,}615}{0{,}7 \cdot 2} = -33 \text{ кН}$$

З виконаного розрахунку встановлено, що величина $Q_Б$ набуває від'ємного значення, що свідчить про відсутність відривного зусилля. Це означає, що перекидаючий момент є меншим за відновлювальний, унаслідок чого

забезпечується стійкість устаткування без необхідності його анкерного закріплення.

Розрахунок анкерних болтів при нахилі печі на кут $\varphi=12^0$, убік робочого вікна (розрахункова схема рисунок 3.4).

Момент, що перекидає, дорівнює:

$$M_{ОПР}=F_X \cdot h,$$

$$F_X = -P_{ox} + G_X = -P_O \cdot \sin\alpha + G \cdot tg\alpha,$$

де P_O – осьове зусилля на штоку гідроциліндра, P_O =90 кН;

α – кут нахилу осьової сили до вертикалі, α =20,5^0;

G – сила ваги нерухомо-обертової частини гідроциліндра, G=14,2 кН;

h – відстань від фундаменту до крапки кріплення шарніра, h=0,375 м.

Підставивши значення у вираження 3.20, одержимо:

$$M_{Пер}=(-90 \cdot \sin 2\,0{,}5^0+14{,}2 \cdot tg20{,}5^0) \cdot 0{,}375=-9{,}8 \quad кНм$$

$N \cdot f > F_X$ – умова притиску опорної частини механізму нахилу печі

$$N = (F_y - Q_O) \cdot f > F_X \quad F_y \cdot f - Q_O \cdot f > F_X$$

$$Q_O = \frac{(F_y \cdot f - F_X) \cdot \nu}{f}, \qquad (3.24)$$

де f=0,25 - коефіцієнт тертя між бетоном і сталлю;

ν =1,5 - коефіцієнт нерозкриття стику.

$$F_X=P_O \cdot \sin\alpha=90 \cdot \sin 2\,0{,}5^0=31{,}5 \text{ кН}$$

$$F_y = P_O \cdot \cos\alpha = 90 \cdot \cos 2\,0{,}5^0 = 84{,}3 \text{ кН}$$

$$Q_o = \frac{(84{,}3 \cdot 0{,}25 - 31{,}5) \cdot 1{,}5}{0{,}25} = -62{,}5 \text{ кН}$$

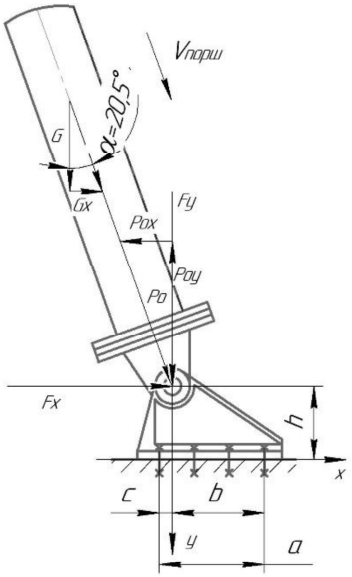


Рисунок 3.4 – Схема навантажень до розрахунку анкерних болтів при нахилі печі на кут $\varphi=12^0$, у бік робочого вікна

Знак «-» означає, що напрямок обертання перекидаючого моменту протилежний напрямку осі х, далі в розрахунку візьмемо тільки чисельне значення без обліку знака.

$$M_{Відн} = F_У \cdot c + Q_Б \cdot a_Б \cdot n_Р, \qquad (3.25)$$

$$F_У = (-P_{0У} + G) \cdot c + Q_Б \cdot a_Б \cdot n_Р = (-P_O \cdot \cos\alpha + G) \cdot c + Q_Б \cdot a_Б \cdot n_Р$$

де С=0,085 м;

$a_б$=0,7 м;

$n_р$ =2 – число, що визначає кількість болтів (анкерних) з одного боку опори.

Звідки:

$$Q_Б=\frac{1,4\cdot M_{Пер}-(-P_O\cdot \cos\alpha+G)\cdot c}{a_Б\cdot n_Р} \quad (3.26)$$

Підставивши значення у вираження 3.26, одержимо:

$$Q_Б=\frac{1,4\cdot 9,8-(-90\cdot \cos 2\,0,5^0+14,2)\cdot 0,085}{0,7\cdot 2}=19,7 \text{ кН}$$

Визначимо діаметри анкерних болтів:

$$d_1=\sqrt{\frac{4\cdot Q_Б}{\pi\cdot[\sigma]}} \quad (3.27)$$

де $Q_Б$=19,7 кН – зусилля затягування анкерного болта;

$[\sigma]$=120 Н/м^2 – допустиме розтягнення болта.

$$d_1=\sqrt{\frac{4\cdot 19700}{3,14\cdot 120}}=14,5 \text{ мм}$$

Розрахунковому значенню діаметра відповідає анкерний болт типорозміру М16. Проте, з урахуванням вимог підвищеної надійності та експлуатаційної стійкості, кріплення устаткування доцільно виконати із застосуванням анкерних болтів, підібраних відповідно до його габаритних і масових характєристик. У зв'язку з цим для фіксації приймаються анкерні болти типорозміру М42, розташовані у чотирьох рядах по два болти в кожному ряду.

Виходячи із цього перерахуємо зусилля затягування:

$$Q_Б=\frac{\pi\cdot d_1^2\cdot[\sigma]}{4}=\frac{3,14\cdot 39,54^2\cdot 120}{4}=147270 \text{ Н}\approx 147\text{кН}$$

Остаточно, для закріплення механізму нахилу електродугової печі до фундаменту приймаємо анкерний болт М42 у кількості 8 штук.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів виробничої дільниці електродугової печі ДСП-50

У сталеплавильному виробництві, як у масштабах усього цеху, так і в межах окремих металургійних дільниць, технологічні процеси мають змішаний характер – вони поєднують як безперервні, так і циклічні (періодичні) операції. Така специфіка організації виробництва зумовлює складний і багатофакторний вплив небезпечних і шкідливих виробничих чинників, які можуть проявлятися як постійно, так і епізодично, залежно від стадії технологічного процесу, режимів роботи обладнання та виробничих умов [32, 33].

До групи постійно діючих факторів належать ті, що супроводжують роботу персоналу протягом усього робочого часу. Передусім це інтенсивне теплове навантаження, зумовлене тепловим та інфрачервоним випромінюванням від металургійних агрегатів, рівень якого часто перевищує 350 Вт/м². Також суттєвий вплив мають підвищена загазованість повітря робочої зони, електромагнітні поля, що створюються електротехнічним обладнанням, а також вібраційні навантаження, які передаються через будівельні конструкції та технологічні платформи. Сукупна дія цих факторів (табл. 4.1) створює несприятливі умови праці та викликає потребу у розробці та використанні ефективних засобів колективного й індивідуального захисту [34].

Періодично діючі небезпечні та шкідливі чинники проявляються переважно під час виконання окремих технологічних операцій. До них належать процеси переміщення значних мас сировини, напівфабрикатів, готової продукції та виробничих відходів із застосуванням вантажопідйомних механізмів. Додаткові небезпечні фактори представляють рухомі та, особливо, обертові елементи машин і агрегатів, які функціонують у складних умовах – підвищеної запиленості, екстремальних температур та агресивного середовища. Крім того, під час експлуатації електрообладнання можливі підвищені значення напруги в

електричних колах, що створює ризик ураження електричним струмом.

Слід зазначити, що в умовах виробництва окремі фактори можуть змінювати свій характер дії – переходити з категорії постійних у періодичні й навпаки, залежно від режиму роботи обладнання або змін у технологічному процесі. Це ускладнює оцінювання виробничих ризиків і вимагає комплексного підходу до забезпечення безпеки праці.

Особливу групу становлять випадкові (аварійні) небезпечні фактори, які виникають унаслідок порушення нормального перебігу технологічного процесу або відмови обладнання. До них можна віднести раптові пошкодження газопроводів, обриви силових електричних мереж, потрапляння сторонніх предметів у робочі зони механізмів тощо. Хоча ймовірність їх виникнення є відносно невисокою, наслідки таких подій можуть бути надзвичайно серйозними, що обумовлює необхідність впровадження систем попередження аварій і оперативного реагування.

Можливими джерелами локальної вібрації у сталеплавильному цеху виступають, передусім, підлогові покриття та несучі конструкції будівель, які зазнають динамічних навантажень від роботи вантажопідйомних і транспортних машин, механізмів електропечей, ковальського обладнання та ударних агрегатів. Тривалий вплив вібрації може негативно позначатися як на технічному стані обладнання, так і на здоров’ї персоналу.

Електромагнітні поля в цеху формуються головним чином електрообладнанням великої потужності та трансформаторними підстанціями. У свою чергу, основними джерелами небезпеки ураження електричним струмом є машини та механізми з електроприводом, що живляться від промислової мережі напругою 380 В. Невиконання вимог щодо безпечних правил експлуатації або пошкодження ізоляції можуть призвести до аварійних ситуацій і травматизму.

Значний внесок у формування шкідливих умов праці робить теплове випромінювання від металургійних печей і машин безперервного або періодичного розливання металу. Відповідно до санітарних норм проєктування промислових підприємств, допустимий рівень явних тепловиділень для гарячих

цехів не повинен перевищувати 140 Вт/м². Проте в реальних умовах, особливо в безпосередній близькості до печей, цей показник може досягати 850 Вт/м² (табл. 4.1), що значно перевищує нормативні значення та створює серйозне теплове навантаження на організм працівників.

Таблиця 4.1 – Технологічна карта умов праці, професія обслуговуючий та ремонтний персонал

Фактори	Нормативне значення ГДК, ГДУ	Фактичне значення	III клас шкідливих і небезпечних умов, характер праці			Час дії фактору % у зміну
			1 ступінь	2 ступінь	3 ступінь	
I. Шкідливі хімічні речовини, мг/м³						
3-4 клас небезпеки						
Окис заліза, мг/м³	16,4	101,3	84,9			90
Вуглецю оксид, мг/м³	22,,1	35,01			12,91	100
II. Вібрація (загальна й локальна), дБ	6	7.5			5,4	78
III. Шум, дБ	70	80	15			88
IV. Мікроклімат у приміщенні						
- температура повітря, °С	26/15	45			19	100
- швидкість руху повітря, м/с	0,3/0,6	0,5	-	-	-	
- інфрачервоне випромінювання, Вт/м²	150	850			700	65
Нахил корпусу в просторі, обумовлений технологічним процесом, град.	перебування в похилому положенні понад					
	28,1	30				
Кількість факторів			2		4	

Узагальнюючи, слід підкреслити, що наявність небезпечних і шкідливих виробничих факторів першого та третього класів небезпеки визначає підвищений рівень професійного ризику для працівників, зокрема слюсарів

металургійного виробництва. У зв'язку з цим законодавством передбачено низку соціальних гарантій і компенсацій, зокрема право на пільгове пенсійне забезпечення за Списком №1, надання додаткової відпустки тривалістю до 18 календарних днів, а також забезпечення працівників спеціальним харчуванням, зокрема – молоком, або іншими рівноцінними харчовими продуктами для зниження шкідливого впливу виробничих факторів.

4.2 Визначення можливих шляхів захисту від шкідливих факторів виробничого процесу

З метою покращення умов праці у сталеплавильному цеху та зниження негативного впливу високих температур на організм працівників впроваджується комплекс технічних, організаційних і санітарно-гігієнічних заходів. Одним із ключових напрямів є обмеження дії теплового випромінювання, яке досягається шляхом теплоізоляції нагрітих поверхонь і робочих зон. Зокрема, теплоізоляційні матеріали застосовуються для кабін машиністів мостових кранів, постів керування. В деяких випадках використовуються і в інших зонах постійного перебування персоналу, що дозволяє істотно знизити інтенсивність теплового навантаження.

Важливу роль відіграють системи вентиляції – як природної, так і механічної. Вони забезпечують ефективне видалення надлишкового тепла, пилу та шкідливих газів із робочої зони, сприяючи нормалізації мікроклімату. Додатково для охолодження повітря застосовується водорозпилення, яке реалізується безпосередньо на робочих місцях і в припливних отворах. Такий підхід дозволяє не лише знизити температуру повітря, а й частково осадити пилові частинки.

Значна увага приділяється використанню засобів індивідуального захисту (ЗІЗ). Працівники забезпечуються спеціальним одягом, захисними щитками, окулярами та екранами для нівелювання впливу інфрачервоного випромінювання та захисту від механічних і термічних навантажень [35]. Для

виконання ремонтних і аварійних робіт застосовуються ізолюючі костюми, тоді як під час виконання стандартних технологічних операцій використовуються комплекти спецодягу та інші ЗІЗ відповідно до чинних нормативних вимог [36].

Організаційні заходи також мають суттєве значення. До них належить раціональне чергування періодів роботи та відпочинку, створення спеціальних кабін керування технологічними процесами з покращеними умовами мікроклімату, а також створення кімнат відпочинку для відновлення працездатності персоналу. З метою профілактики перегрівання організму впроваджується раціональний питний режим, що передбачає забезпечення працівників підсоленою газованою водою для компенсації втрат рідини та солей.

Для зменшення запиленості та загазованості повітряного середовища застосовуються вентиляційні системи різного типу, які забезпечують ефективний повітрообмін і підтримання допустимих концентрацій шкідливих речовин у робочій зоні.

Заради підвищення рівня безпечної експлуатації обладнання всі небезпечні елементи, зокрема відкриті обертові частини механізмів, струмоведучі частини електроустановок і джерела інтенсивного теплового випромінювання (наприклад, трубопроводи), оснащуються огороджувальними пристроями. Вони можуть бути як стаціонарними, так і рухомими, залежно від конструктивних особливостей обладнання та умов його обслуговування.

Для забезпечення безпечного транспортування вантажів використовуються спеціальні обмежувальні пристрої, зокрема тупикового типу, які запобігають виходу вантажопідйомних механізмів за межі робочих зон [37]. Аналогічні обмежувальні системи встановлюються поблизу джерел підвищеної небезпеки – металургійних печей, ковшів, місць випуску розплавленого металу, а також паралельно залізничним коліям і на вантажно-розвантажувальних майданчиках [38].

Окрему увагу приділено захисту органів дихання працівників. Для цього використовуються респіратори типу «Пелюстка», які ефективно затримують пилові частинки та аерозолі [39]. Для зниження негативного впливу вібрації

працівникам безоплатно видається спеціальне антивібраційне взуття, що зменшує передачу коливань на опорно-руховий апарат [40].

Під час виконання вантажно-розвантажувальних, монтажних, зварювальних та інших видів робіт обов'язковим є застосування захисних промислових касок, які забезпечують захист голови від механічних ушкоджень [41].

Таким чином, комплексне впровадження інженерно-технічних рішень, а також заходів організаційного характеру з комплексним впровадженням використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) дозволяє суттєво знизити рівень професійних ризиків у сталеплавильному виробництві та забезпечити безпечні умови праці для персоналу.

4.3 Розробка засобів захисту навколишнього середовища від шкідливого впливу сталеплавильного виробництва

В умовах електросталеплавильного виробництва процес утворення запилених газів супроводжується значними труднощами їх повного уловлювання. Унаслідок цього близько 40% пилогазових викидів не захоплюється системами аспірації та надходить безпосередньо в повітряний простір цеху, що суттєво погіршує санітарно-гігієнічні умови праці та підвищує рівень шкідливого впливу на персонал.

Для зниження концентрації пилу й шкідливих газів застосовують комбіновані системи газоочищення, які включають як мокрі, так і сухі методи [42]. Мокре очищення реалізується, зокрема, у трубах Вентурі, де за рахунок інтенсивного контакту газового потоку з рідиною відбувається ефективне уловлювання дрібнодисперсного пилу. Сухе очищення здійснюється в рукавних фільтрах, що забезпечують високий ступінь затримання твердих частинок за рахунок фільтрації через спеціальні тканинні матеріали.

Типова схема очищення газів передбачає відведення продуктів плавлення

як безпосередньо від електропечі, так і з об’єму цеху (рис. 4.1). Газ із робочого простору печі відводиться через водоохолоджуваний патрубок, розташований у її склепінні. Наявність повітряного зазору між патрубком і газовідвідним трубопроводом дозволяє регулювати інтенсивність відсмоктування газів, що є важливим для стабілізації режиму роботи системи. Регулювання здійснюється за допомогою спеціального механізму (муфти).

Подальшим етапом є допалювання оксиду вуглецю в спеціальній камері, що забезпечує зниження токсичності газів. Після цього газовий потік піддається охолодженню в окремому пристрої. Обидва процеси – допалювання та охолодження – відбуваються з використанням атмосферного повітря, подача якого регулюється клапанами, що дозволяє оптимізувати температурний режим і ефективність очищення.

Після етапу попереднього очищення газ транспортується по газопроводу до системи основного очищення, де кількість потоку додатково регулюється запірно-регулювальною арматурою. Одночасно з цим у покрівельній частині цеху встановлюється витяжна парасоля, призначена для уловлювання так званих неорганізованих викидів – газів і пилу, що не потрапили до основної системи аспірації. Ці викиди також направляються на очищення, зазвичай у рукавні фільтри.

Гази, що безпосередньо відводяться від електропечі, проходять через трубу Вентурі з регульованим перерізом горловини. У цій зоні відбувається інтенсивне перемішування потоку, що сприяє коагуляції дрібних пилових частинок у більші агломерати. Надалі укрупнений пил видаляється у кілька стадій: спочатку в інерційних пиловловлювачах і бризкоуловлювачах, а потім у відцентрових скруберах, де завершується процес очищення.

Очищений газ за допомогою димососа транспортується до димової труби та викидається в атмосферу з дотриманням встановлених екологічних норм. Ефективність роботи всієї системи значною мірою залежить від узгодженості роботи її окремих елементів і правильного регулювання параметрів газового потоку.

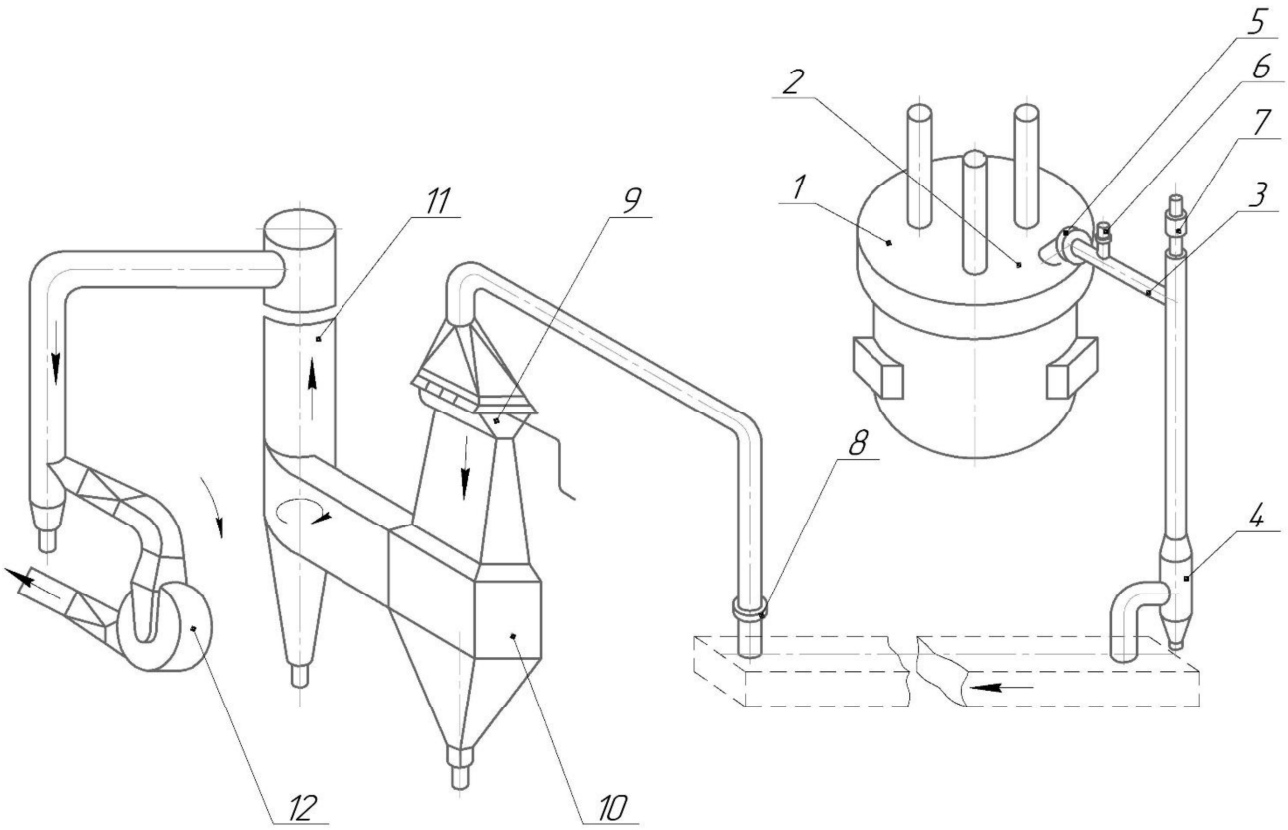


Рисунок 4.1 – Типова схема очищення газів які відводять від печі з використанням труб Вентурі: 1 – піч; 2 – патрубок; 3 – камера допалювання; 4 – охолоджуючий пристрій; 5 – муфта; 6, 8 – клапан; 7 – скидач; 9 – труба Вентурі; 10 – бризкоуловлювач; 11 – відцентровий скрубер; 12 – димосос

На сучасному етапі для підвищення ефективності очищення газів широко застосовуються тканинні (рукавні) фільтри, у яких використовуються спеціальні термостійкі фільтрувальні матеріали. Такі тканини, виготовлені з волокон лавсану, оксалону та інших синтетичних матеріалів, здатні витримувати температури в діапазоні 140÷250 °С, забезпечуючи при цьому високий ступінь уловлювання пилу та тривалий термін експлуатації.

Отже, впровадження багатоступеневих систем газоочищення, що поєднують різні фізико-хімічні методи, дозволяє істотно зменшити викиди пилу й шкідливих газів [43], покращити екологічні показники виробництва та умови праці у сталеплавильному цеху. З огляду на все вищесказанне виконає мо розрахунок скрубера Вентурі за наступними вихідними данними:

- об'ємна витрата вологих газів при нормальних умовах V_0=10000м^3/год;
- температура газів T_1=120˚С;
- розрідження газів перед трубою Вентурі $P_Г$=-1,2кПа;
- щільність газів при нормальних умовах ρ_o=1,26 кг/м^3;
- початкова концентрація пилу в газах Z_1=1,7 г/м^3;
- температура води вступник на зрошення $T_В$=20˚С;
- тиск води перед форсунками $P_В$=300 МПа;
- концентрація пилу на виході з апарата не повинна перевищувати Z_2=0.103 г/м^3;
- питома витрата води на зрошення $m_В$=99.8·10^{-6}кг/м^3=0,0998·10^{-6}м^3/м^3.

Необхідна ефективність роботи апарата:

$$\eta = 1 - \frac{Z_2}{Z_1} \tag{4.1}$$

$$\eta = 1 - \frac{0.103}{1.7} = 0.94 = 94\%$$

Число одиниць переносу:

$$N_г = \ln \frac{1}{1-\eta} \tag{4.2}$$

$$N_г = \ln \frac{1}{1-0.94} = 2.8$$

Питома енергія, затрачувана на пиловловлення, визначається з рівняння:

$$N_г = BH_г^x \tag{4.3}$$

де В и х – константи, обумовлені дисперсним складом пилу;

$К_г$ – витрати енергії на мокре очищення газів від пилу, $К_г$=31622 кДж/1000 $м^3$ газів.

Підставивши числові значення в (4.3) одержимо:

$$N_r = 2.42 \cdot 10^{-5} K_r^{1.26}$$

Загальний гідравлічний опір скрубера Вентурі:

$$\Delta P_T = K_r - P_b \cdot m_b \qquad (4.4)$$

$$\Delta P_T = 31622 - 300000 \cdot 0.0998 \cdot 10^{-6} = 31621 Па$$

Щільність газів на виході в трубу Вентурі при робочих умовах:

$$\rho_1 = \rho_0 \frac{273(P_{бар} \pm P_Г)}{(273+T_1)101,3}, \qquad (4.5)$$

$$\rho_1 = 1,26 \frac{273(101,3-1,2)}{(273+120)101,3} = 0,87 кг/м^3$$

Об'ємна витрата газу, який надходить до скруберу Вентурі за робочих умов:

$$V_1 = V_0 \frac{\rho_0}{\rho_1} \qquad (4.6)$$

$$V_1 = \frac{10000 \cdot 1,26}{3600 \cdot 0,87} = 4,02 м^3/с$$

Масова витрата води на зрошення:

$$M_B=m_B \cdot V_1 \quad (4.7)$$

$$M_B=99.8 \cdot 10^{-6} \cdot 4,02=4,01 \cdot 10^4 \text{кг/с}$$

Температура газів на виході із труби Вентурі

$$T_2=(0,133-0,041m_B)T_1+35 \quad (4.8)$$

$$T_2 = (0.133 - 0.041 \cdot 99.8 \cdot 10^{-6}) \cdot 120 + 35 = 51^{\circ}\text{C}$$

Щільність газів на виході із труби Вентурі:

$$\rho_2=\rho_0 \frac{273(P_{бар} \pm Pr - \Delta P)}{(273+T_2) \cdot 101.3}, \quad (4.9)$$

$$\rho_2=1.26 \frac{273 \cdot (101.3-1.2 \cdot 31)}{(273+51) \cdot 101.3}=0.67 \text{кг/м}^3,$$

де ΔP_T м опір труби Вентурі, попередньо приймаємо рівним 31 кПа.

Об'ємна витрата газів на виході із труби Вентурі:

$$V_2 = V_0 \cdot \frac{\rho_0}{\rho_2} \quad (4.10)$$

$$V_2=\frac{10000 \cdot 1,26}{0,67 \cdot 3600}=5,22 \text{м}^3/\text{с}$$

Діаметр циклону-краплеуловлювача:

$$Д_У=1,13\sqrt{\frac{V_2}{W_У}}, \quad (4.11)$$

$$Д_У=1,13\sqrt{\frac{5,22}{2,5}}=1,63м;$$

де $W_у$ – швидкість газів у циклоні-краплеуловлювачі, приймаємо рівну 2,5м/с.

Висота циклону-краплеуловлювача:

$$H_У=2,5\cdot Д_У \quad (4.12)$$

$$H_У=2,5\cdot 1,63=4,08м$$

Гідравлічний опір циклону-краплеуловлювача:

$$\Delta P_У=\frac{\xi W_У^2 \rho_2}{2}, \quad (4.13)$$

$$\Delta P_У=\frac{32\cdot 2,5^2\cdot 0,67}{2}=67Па$$

Гідравлічний опір труби Вентурі:

$$\Delta P_Т=\Delta P-\Delta P_У \quad (4.14)$$

$$\Delta P_T=31621-67=31554\text{Па}$$

Коефіцієнт опору для нормалізованої труби Вентурі обумовлений уведенням зрошувальної рідини:

$$\xi_B=0.63\xi_C m_B^{-0.3} \qquad (4.15)$$

де ξ_C – коефіцієнт опору сухої труби Вентурі; приймаємо рівним 0,145.

Підставивши значення в (4.15) одержимо:

$$\xi_B = 0.63 \cdot 0.145 \cdot (0.0998 \cdot 10^{-6})^{-0.3} = 1.15$$

Необхідна швидкість у горловині труби Вентурі:

$$W_\Gamma=\sqrt{\frac{2\Delta P_T}{\xi_C\rho_2+\xi_B\rho_B m_B}}, \qquad (4.16)$$

$$W_\Gamma=\sqrt{\frac{2\cdot 31554}{0,145\cdot 0,67+1,15\cdot 0,0998\cdot 10^{-6}\cdot 1000}}=183\text{м/с}$$

Діаметр горловини труби Вентурі:

$$d_\Gamma=1,13\sqrt{\frac{V_2}{W_\Gamma}}, \qquad (4.17)$$

$$d_\Gamma=1,13\sqrt{\frac{5,22}{183}}=0,190\text{м}$$

Приймаємо $d_Г$=190 мм.

Отримані результати свідчать, що:

- забезпечується необхідний ступінь очищення газів до нормативних значень;
- підібрані параметри роботи скрубера є узгодженими та технічно обґрунтованими;
- енергетичні та гідравлічні витрати знаходяться в допустимих межах для даного типу обладнання.

Разом із застосуванням рукавних фільтрів і систем уловлювання неорганізованих викидів запропонована схема дозволяє:

- суттєво знизити концентрацію пилу та токсичних компонентів;
- покращити санітарно-гігієнічні умови праці;
- підвищити екологічну безпеку сталеплавильного виробництва.

Загалом, розрахунки підтверджують ефективність і доцільність використання комбінованої системи газоочищення, а також правильність вибору основних конструктивних і режимних параметрів скрубера Вентурі.

Висновки

1. Ознайомлення з технологічним процесом виробництва сталі ПрАТ “Дніпроспецсталь” показало, що найбільш оптимальним устаткуванням при виробництві високоякісної сталі є електродугові печі підвищенної ємності.
2. Керуючись виконаним аналізом технічної літератури, а також з огляду на виробничі можливості цеху встановлено, що для нахилу печі використаються різні механізми нахилу, які мають свої недоліки, які мають певний вплив на якість виплавлюваної сталі та тривалість плавки.
3. Завдяки впровадженню запропонованого комплексу модернізаційних дій можливе досягнення збільшення продуктивності агрегату за рахунок підвищення його надійності
4. У ході проведення роботи були розраховані: перекидаючий момент, зусилля на штоку гідроциліндра, розрахунок потужності приводу механізму нахилу печі, розрахунок потужності приводу механізму переміщення електродів.
5. Для забезпечення якісного монтажу вузлів сталеплавильної печі, варто виконувати комплекс дій запропонованих у третьому розділі.
6. З метою покращення екологічного стану виробничого середовища та зниження негативного впливу на навколишнє середовище доцільним є впровадження сучасного пилогазоочисного обладнання, розглянутого в розділі 4, зокрема багатоступеневих систем очищення газів, що поєднують мокрі та сухі методи, забезпечуючи підвищення ефективності уловлювання пилу й шкідливих газоподібних компонентів.
7. Запропонована модернізація є доцільною й рекомендується для використання на інших заводах металургійної промисловості, які використовують аналогічне устаткування

.

Список використаної літератури

1. Усачов В.П. Технологічні лінії та комплекси металургійних цехів. Частина 2 Технологічні основи компоновки ліній металургійних виробництв. К.: ІСДО, 1994. - 416 с.
2. Єгупов Ю. А. Організація виробництва на промисловому підприємстві : Навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. Київ : Центр навч. літ., 2006. 488 с.
3. Сталеплавильне виробництво: уавч. gосібник / В.І.Баптизманський, Б.М. Бойченко, О.Г. Величко та інші. К.:ІЗМН, 1996, 400 с.
4. Меджибожский М. Н., Харлашин П. С. Теоретичні основи сталеплавильних процесів: навч.посіб. К.: НМК ВО, 1993. 276 с.
5. *ПрАТ «ДНІПРОСПЕЦСТАЛЬ»— виробник спеціальних сталей та сплавів в Україні.* (б. д.). ДНІПРОСПЕЦСТАЛЬ. https://dniprospetsstal.com
6. Електросталеплавильні печі та установки спеціальної електрометалургії. *Конструкція електрометалургійних агрегатів - Головна сторінка.* URL: https://kema.at.ua/book1.html (дата звернення: 10.04.2026).
7. Karbowniczek M. Construction of Electric Arc Furnaces. *Electric Arc Furnace Steelmaking*. Boca Raton, 2021. P. 19–67. URL: https://doi.org/10.1201/9781003130949-3
8. Madias J. Electric Arc Furnace. *Ironmaking and Steelmaking Processes*. Cham, 2016. P. 267–281. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-319-39529-6_16
9. Electric Arc Furnace Steelmaking / ed. by T. Echterhof, V.-V. Visuri. MDPI, 2025. URL: https://doi.org/10.3390/books978-3-7258-6231-3 (date of access: 13.04.2026).
10. Крячко Г. Ю. Споруди та обладнання сталеплавильних цехів : метод. вказівки. Кам'янське : ДДТУ, 2016. 52 с.

11. Проектування і обладнання електросталеплавильних і феросплавних цехів / В. А. Гладких та ін. Дніпропетровськ : Системні технології, 2004. 692 с.
12. Thyssenkrupp. *thyssenkrupp*. URL: https://www.thyssenkrupp.com/en (date of access: 29.03.2026).
13. Таратута К. В., Власов А. О., Воденнікова О.С. Металургійне обладнання металургійних заводів. Обладнання для виробництва металів і сплавів: методичні рекомендації до лабораторних занять. Запоріжжя : Запорізький національний університет, 2024. 74 с.
14. Писаренко Г. С. Опір матеріалів : Підруч. для ст. машинобуд. спец. вищ. навч. закл. К., 1993. 655 с.
15. Таратута К. В., Гречаний О. М. Механічне обладнання металургійних заводів. Частина 2. Обладнання для виробництва металів і сплавів: метод. вказівки. Запоріжжя: ЗДІА, 2016. 44 с.
16. Корнілов О. А. Опір матеріалів.Підручник для студентів технічних ВНЗ. К.: Логос, 2002. 562 с.
17. Жук А. Я., Желябіна Н. К. Основи розрахунків приводів машин: навч. посіб. Запоріжжя: ЗДІА, 1996. 145 с.
18. Півняк Г.Г., Бешта О.С., Фількін М.П. Автоматизований електропривод у прокатному виробництві. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2008. 352 с.
19. Кулінченко В.Р. Гідравліка, гідравлічні машини і гідропривід. К.: Інкос, 2006. 616 с
20. Мандрус В.І., Лещий Н.П., Звягін В.М. Машинобудівна гідравліка. Задачі та приклади розрахунків. Львів: Світ, 1995. 264 с
21. Тарасов В.К., Новокщонова О.В. Гідравліка, гідро- та пневмопривод: навч.-метод. посіб. Запоріжжя: Видавництво ЗДІА, 2010. 132 с.
22. David F., Tudorache T., Firteanu V. Numerical evaluation of electromagnetic field effects in electric arc furnaces. *COMPEL - The international journal for computation and mathematics in electrical and*

electronic engineering. 2001. Vol. 20, no. 2. P. 619–635. URL: https://doi.org/10.1108/03321640110383979

23. Монтаж металургійного обладнання : навч. посіб. / А. Я. Жук та ін. Київ : Кондор, 2017. 374 с.
24. Ремонт металургійного обладнання : навч. посіб. / А. Я. Жук та ін. Київ : Кондор, 2017. 236 с.
25. Технічне обслуговування металургійного обладнання : навч. посіб. / А. Я. Жук та ін. Київ : Кондор, 2017. 288 с.
26. Коваленко І. В. Монтаж, експлуатація та ремонт обладнання хімічних виробництв: навч. посібник. К.: ,2011. 580 с ISBN 979-958-596-485-3
27. Малишев Г.П., Хімін В. М.Триботехніка та змащування обладнання. Використання трибоніки та триботехніки при створенні металургійного обладнання: метод. вказівки. Запоріжжя: ЗДІА, 2006. 49 с.
28. Седуш В.Я. Надійність, ремонт і монтаж металургійних машин : підручник. 4-е вид., перероб. і доп. Донецьк : ТОВ «Юго – Восток, Лтд», 2008. 379 с
29. Кріплення технологічного обладнання і металевих конструкцій до фундаментів та безпека праці: навч. посіб. / Шутенко Л.М. та ін. Харків: ХНАМГ, 2008. 285 с.
30. Анкерні болти: конструкція, розрахунок, проектування, технологія влаштування: навч. посіб. / Шутенко Л.М. та ін. Х.: ХНАМГ, 2010. 204 с. ISBN: 978-966-695-169-3
31. Золотов С.М., Пустовойтова О.М., Фірсов П.М. Проєктування та розрахунок сталеклейових з'єднань з бетоном: навч. посіб. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023. 187 с.
32. Охорона праці на гірничо-металургійному підприємстві: навч. посібник. Ч.І: Металургійний комплекс. / В.О.Шеремет та ін. Дніпропетровськ: Січ, 2002. 375 с.
33. Ткачук К. Н. Охорона праці та промислова безпека. Навч.посіб. / К. Н.

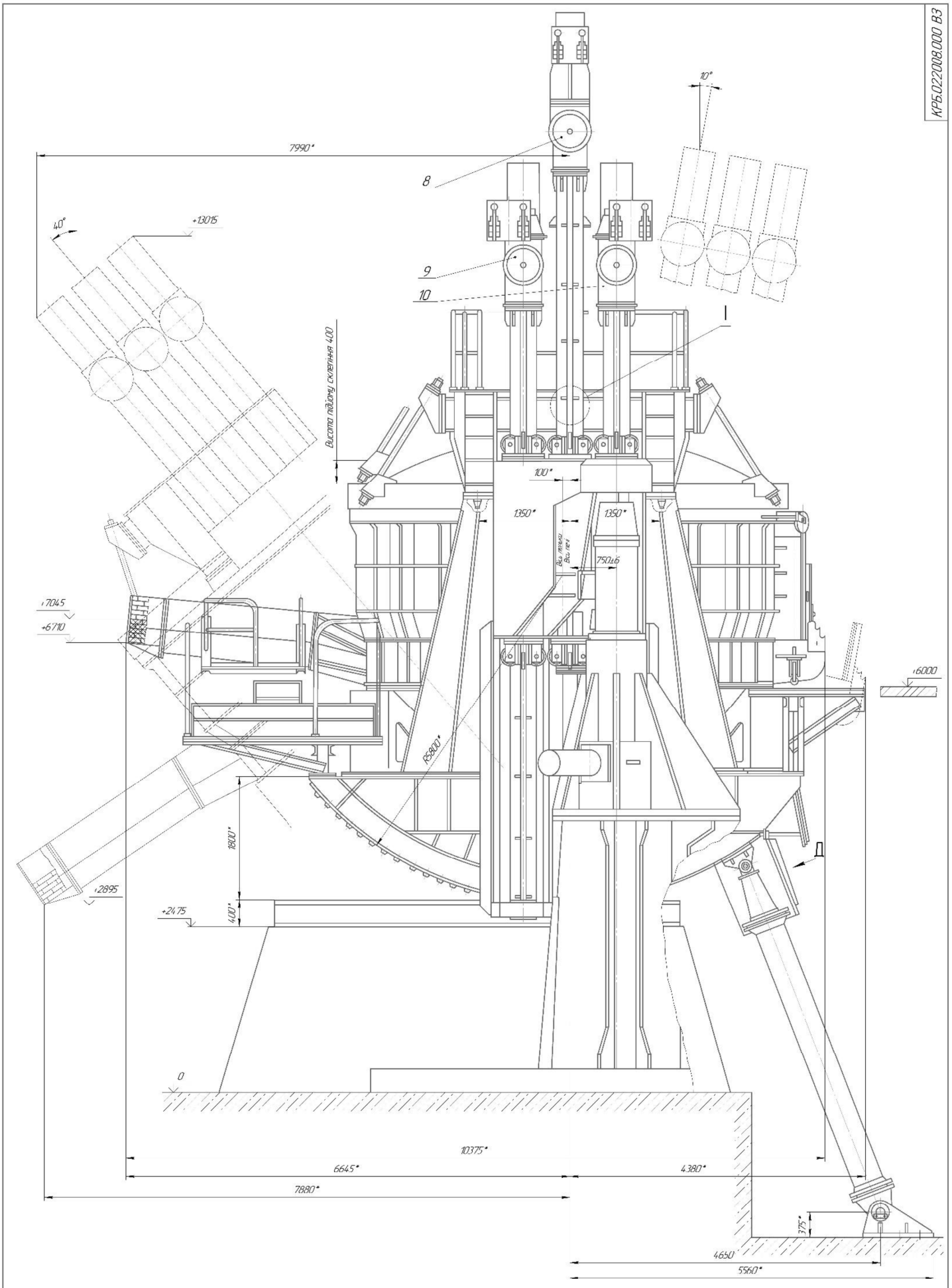
Ткачук. та ін. К: Основа, 2009. 360 с.

34. Наказ від 19.01.2015 № 21 Про затвердження Правил охорони праці під час вантажно-розвантажувальних робіт. *БУДСТАНДАРТ Online - нормативні документи будівельної галузі України*. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=61016 (дата звернення: 13.04.2026).
35. 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: 12.04.2026).
36. НПАОП 27.0-3.01-08. Норми безплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту працівникам металургійної промисловості. *БУДСТАНДАРТ Online - нормативні документи будівельної галузі України*. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=25712 (дата звернення: 12.04.2026)
37. Наказ від 19.01.2015 № 21 Про затвердження Правил охорони праці під час вантажно-розвантажувальних робіт. *БУДСТАНДАРТ Online - нормативні документи будівельної галузі України*. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=61016 (дата звернення: 13.04.2026).
38. Про затвердження Правил охорони праці під час вантажно-розвантажувальних робіт. *Офіційний вебпортал парламенту України*. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0124-15#Text (дата звернення: 13.04.2026).
39. ДСТУ EN 136:2003 Засоби індивідуального захисту органів дихання. Маски. Вимоги, випробовування, маркування (EN 136:1998, IDT). *БУДСТАНДАРТ Online - нормативні документи будівельної*

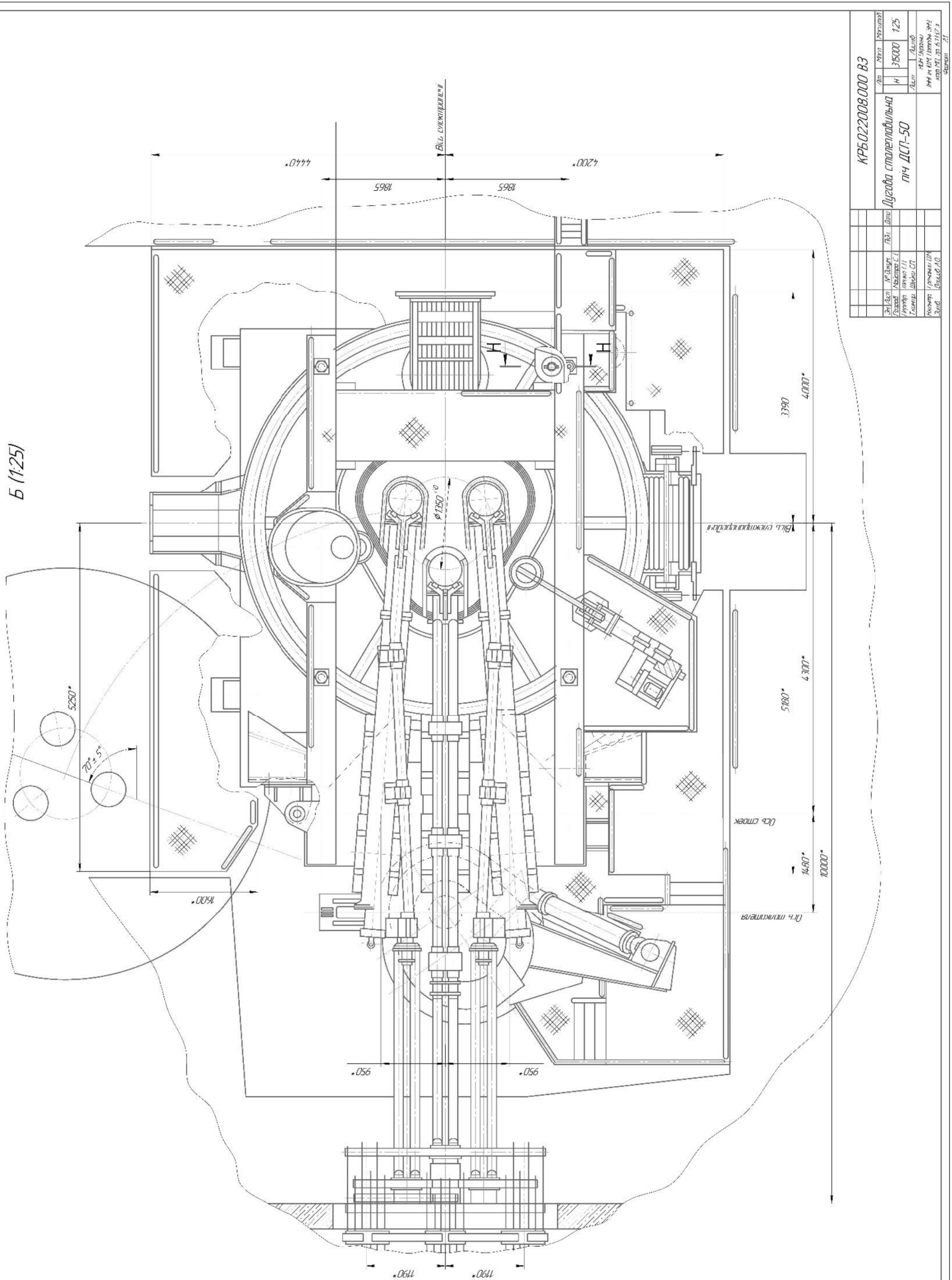
галузі України. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/document.html?id_doc=68381 (дата звернення: 12.04.2026).

40. 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: 12.04.2026).
41. ДСТУ EN 397:2017 Каски захисні промислові (EN 397:2012 + A1:2012, IDT). *БУДСТАНДАРТ Online - нормативні документи будівельної галузі України*. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=75611 (дата звернення: 12.04.2026).
42. Березуцький В. В., Бондаренко Т. С., Валенко Г. Г. Основи охорони праці: навч. посіб. 2-ге вид., перероб. і доп. Х.: Факт, 2007. 480 с.
43. Гуріна Г. І. Природоохоронні технології виробництва композиційних матеріалів: конспект лекцій. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. 97 с.

ДОДАТКИ

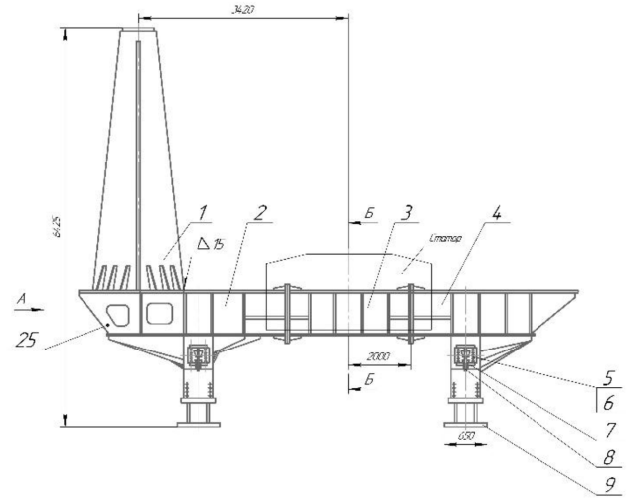


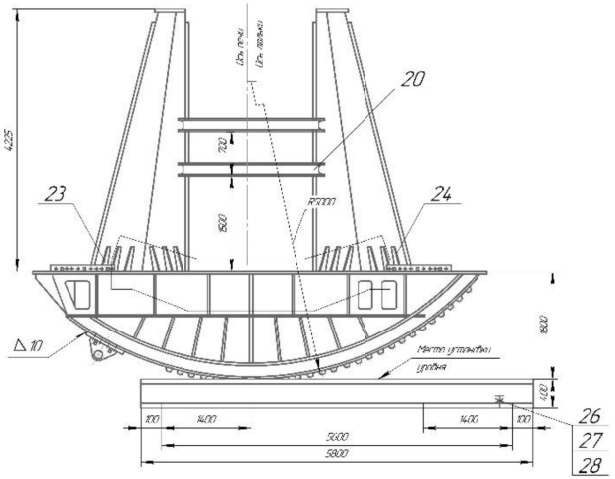
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	КРБ.022008.000 ВЗ		
Розроб.		Мацкуцу С.І.			Дугова сталеплавильна піч ДСП-50	Літ.	Маса	Масштаб
Перевір.		Шевчук С.П.				Н	315000	1:25
Н.контр.		Шевчук С.П.				Лист	Листів	
Н.контр.		Гречаний П.М.				МОН України		
Затв.		Гуляєв А.О.				ІФНТУНГ, кафедра МАІ, гр. 6.131.7.а		
						Формат А1		

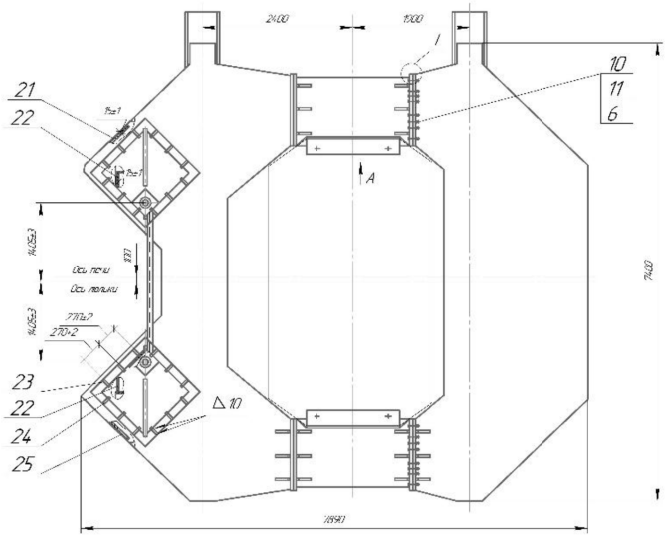


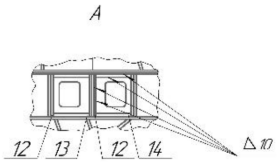
КРБ022008.000 ВЗ

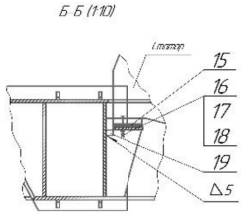
КРБ022008.000 ВЗ
Дуговая сталеплавильная печь ДСП-50
Лит. | Масса | Масштаб
1:25
Лист 1 | Листов 1
НИИ им. Ю.М. Гагарина, ЭМО
Каф. МЭС, ЭП, 6.511.2-3
Гр. ЭП-11

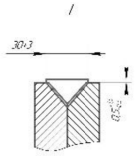






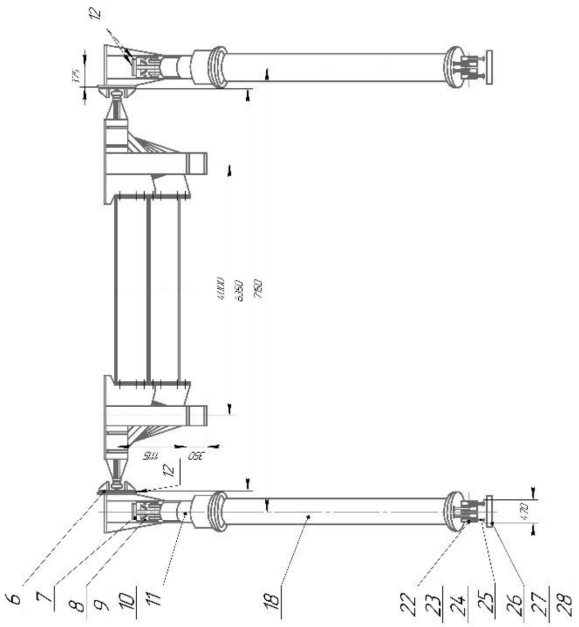


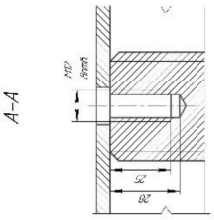


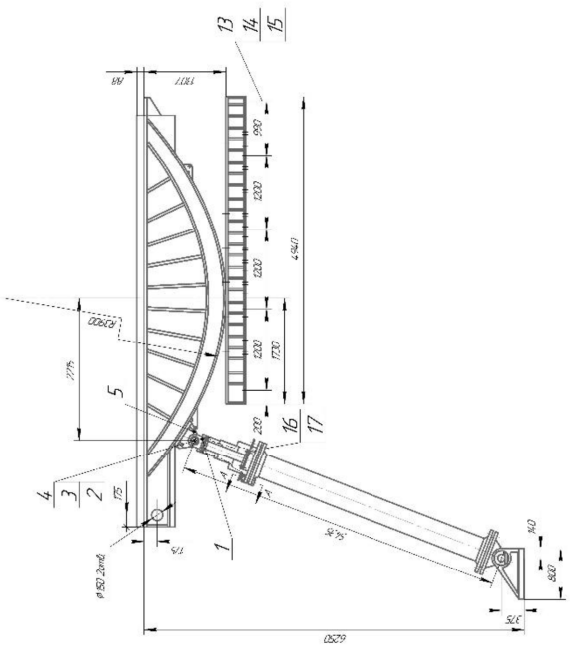


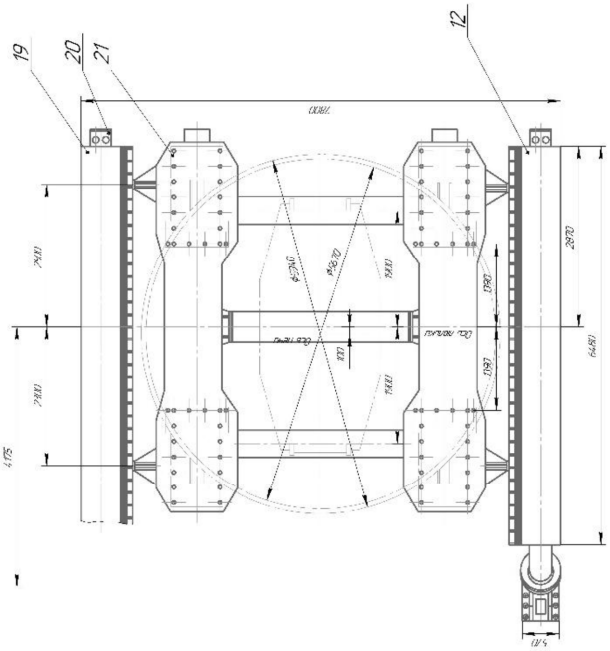
1. Зварювання ручне електродугове.
2. *Розміри для довідок.
3. Деталі кріплення поз. 5, 6, 10, 11, 16, 17, 18 встановлювати з додатковим захистом емалями або консервaційним змащуванням.
4. Покриття: Емаль ПФ–115 сіра, IV, 1.
5. Товщину деталі – поз.19 підігнати по місцю складання.
6. Поз. 26 умовно не показана. Встановлюється під болт поз.27.

						КРБ.022008.100 СК		
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підп.	Дата	Люлька електродугової печі ДСП-50	Літ.	Маса	Масштаб
Розроб.		Мойсеєнко С.І.					444.55	1:4.0
Перевір.		Шевченко С.П.				Аркуш 3	Аркушів 5	
Н.контр.		Шевченко С.П.				НТУ "Чернігівська політехніка"		
І.контр.		Гречаний О.М.				ІІІВ ім. ВІМ Полтавська ЗІЧ		
Затв.		Відяєв А.О.				кпр.МТ гр. (І.ІІІ)7.4		
						Формат А1		









КРБ.022008.200 СК

КРБ.022008.200 СК

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
Разраб.	Иванов				
Пров.	Петров				
Т.контр.					
Н.контр.					
Утв.					

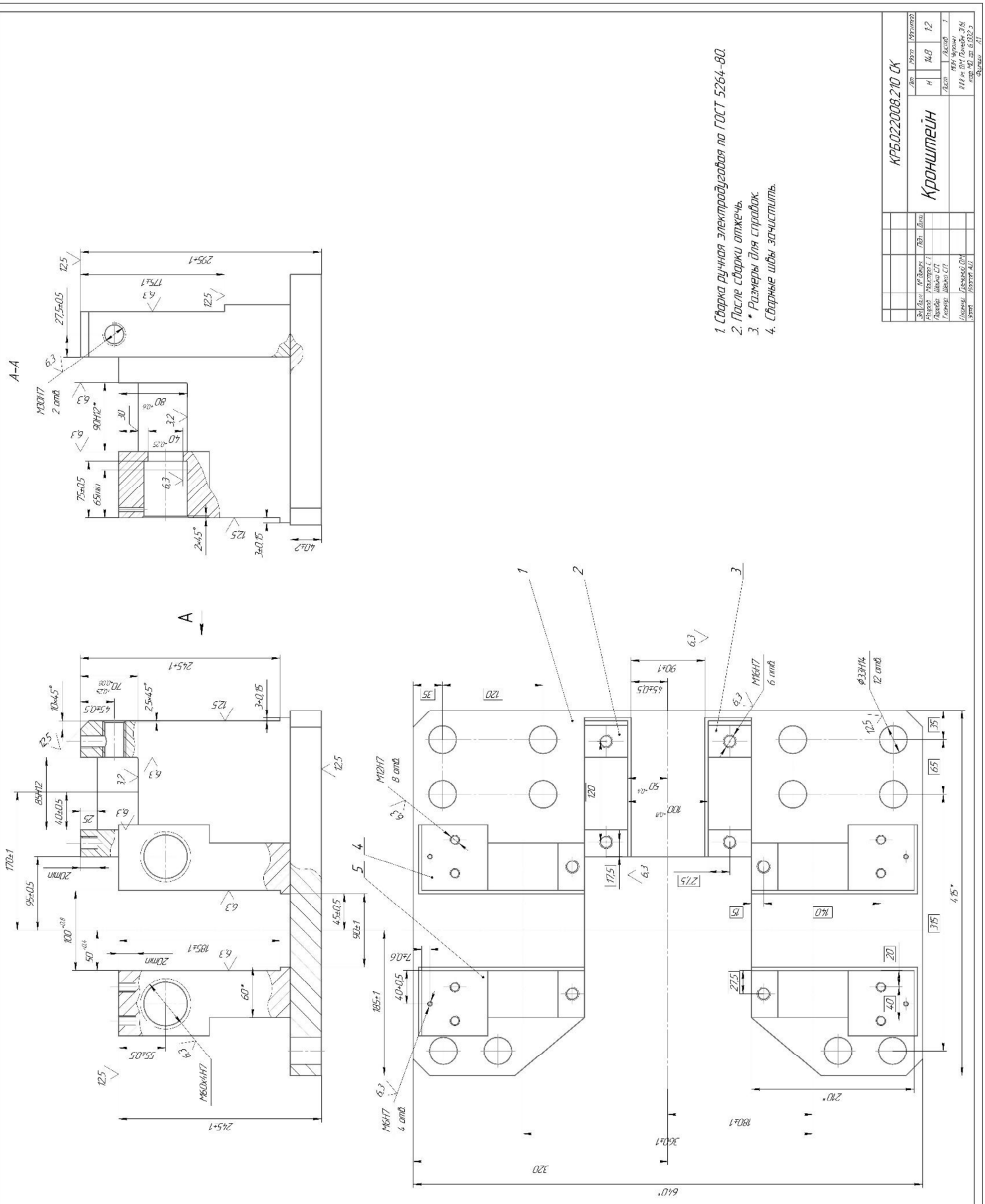
Механизм ножилу печи ДСП-50

Лит.	Масса	Масштаб
	4,2600	1:20

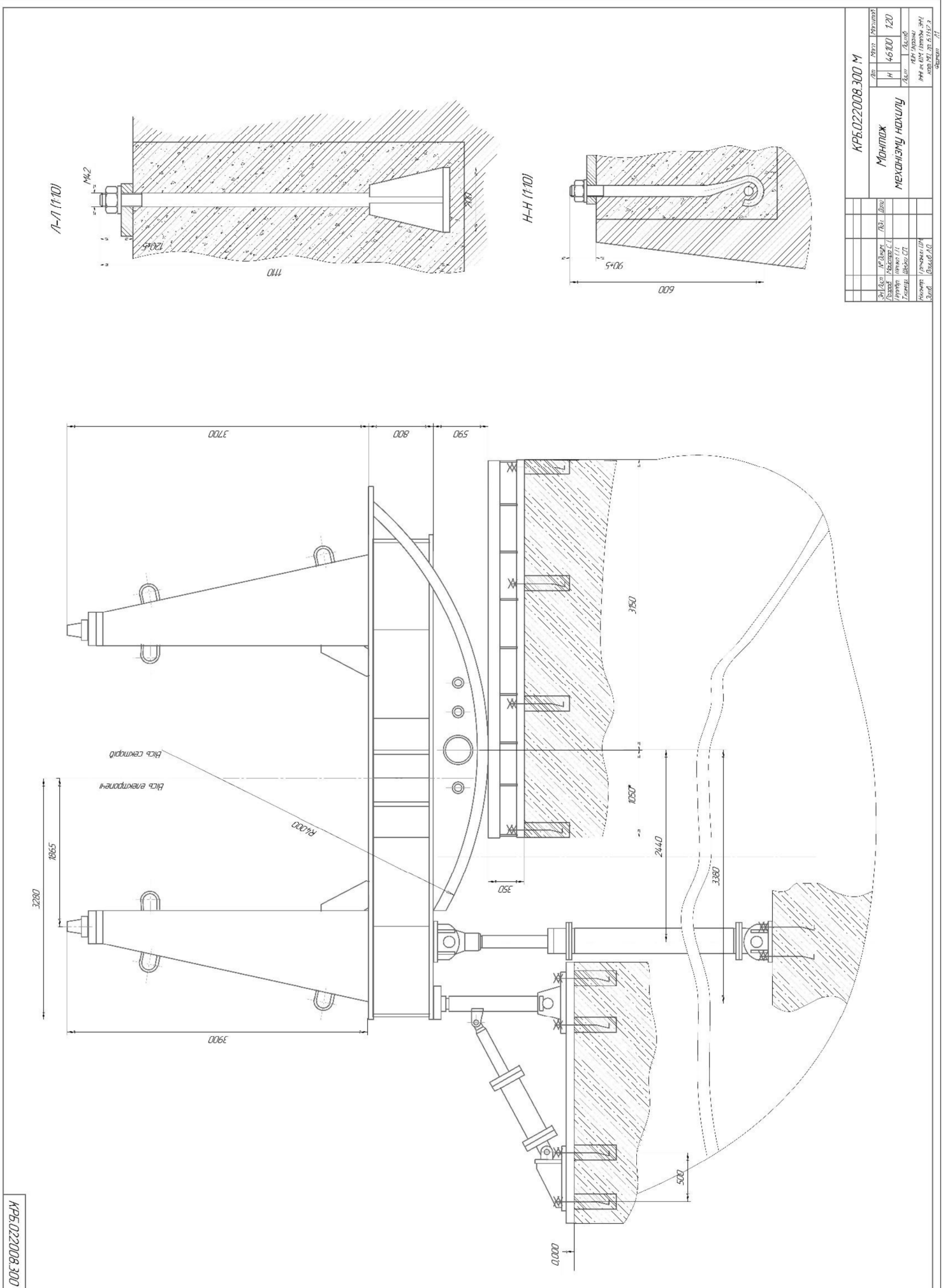
Лист	Листов
2	5

НГАУ, Энергомех. ф-т, каф. ЭМиЭС, гр. 6.131.2-з

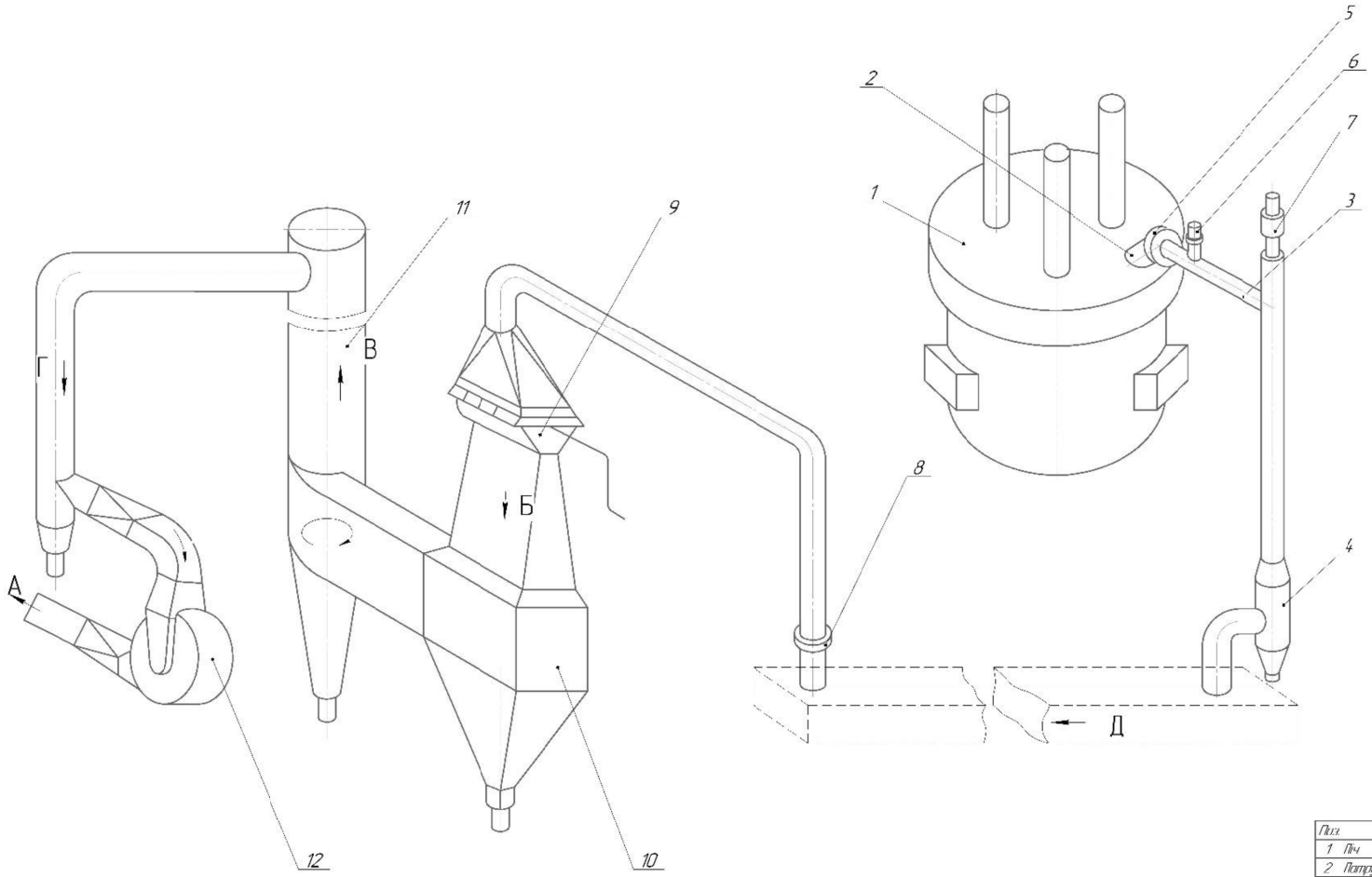
Формат А1



КР502200В.210 СК



КРБ.022008.300 М



Поз.	Найменування	Кіл.	Прим.
1	Піч	1	
2	Патрубок	1	
3	Камера допалювання	1	
4	Охолоджуючий пристрій	1	
5	Муфта	1	
6	Клинок	1	
7	Скобач	1	
8	Клапан	1	
9	Труба Вентурі	1	
10	Бризкоуловлювач	1	
11	Відцентровий скрубер	1	
12	Димосос	1	

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	КРБ.022008.400 ОП			
Розроб.		Майоров Є.І.			Схема очищення газів які відходять від печі	Літ.	Маса	Масштаб
Перевір.		Шейко О.П.				Н	123000	1:1
Н.контр.		Шейко І.І.				Аркуш	Аркушів	1
Н.контр.		Гостинний О.М.				ІПЕН ім. О.М. Патона НАН України каф. МЦ гр. Б-11-92 з		
Затв.		Власов А.О.				Формат А1		