

Інженерний навчально-науковий інститут
Запорізького національного університету
 (повне найменування вищого навчального закладу)

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

Кафедра металургійного обладнання

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування

Спеціалізація _____

Освітньо-професійна програма 133.00.12 Металургійне обладнання

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри А.О.Власов

 “ _____ ” 2023 року

ЗАВДАННЯ ДО ВИПУСКНОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ МАГІСТРА

Харина Дмитро Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Удосконалення конструкції механізмів нахилу електродугової печі

керівник роботи к.т.н., доцент Шевченко І.А.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 09.10.2023 року № 1581-с







2. Термін подання студентом роботи 10.12.23

3. Вихідні дані до роботи: Технологічні вимоги до процесу випуску (нахилу печі) розплавленого металу з електродугових печей; ефективність процесу роботи механізму нахилу електродугових печей в процесі випуску (нахилу печі) розплавленого металу з електродугових печей чорної та кольорової металургії; технічні характеристики механізмів нахилу електродугових та інших електричних печей. Інші вихідні дані вибираються магістрантом самостійно на підставі аналізу джерел інформації за темою дослідження.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Огляд та аналіз науково-технічних рішень конструкції механізмів нахилу електродугової печі; 2. Розрахункова частина стосовно механізмів нахилу електродугової печі; 3. Дослідницька частина механізмів нахилу електродугової печі; 4. Охорона праці в галузі та техногенна безпека при роботі на електродугових печах.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових складових). Графічний матеріал має бути кількістю не більш 8 одиниць плакатів. Н розкривається суть магістерської роботи.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Шевченко І.А.		
2	Шевченко І.А.		
3	Шевченко І.А.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1	Узгодження і затвердження теми та змісту роботи	01.09-17.09.2023	
2	Збирання матеріалу, опрацювання літературних джерел та нормативних документів	17.09-30.09.2023	
3	Виконання вступу роботи	01.10-05.10.2023	
4	Виконання основної частини роботи та проведення експериментальних досліджень	06.10-19.11.2023	
5	Підготовка висновків	20.11-24.11.2023	
6	Оформлення магістерської роботи	25.11-05.12.2023	
7	Рецензування магістерської роботи	01.12-07.12.2023	
8	Попередній захист роботи	Згідно графіку	
9	Захист роботи у ДЕК	Згідно графіку	

Студент

Керівник роботи

(підпис)

(підпис)

Харина Д.О.
(прізвище та ініціали)

Шевченко І.А.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Харина Д.О. Удосконалення конструкції механізмів нахилу електродугової печі.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 133 – Галузеве машинобудування, науковий керівник Т.О. Васильченко. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні запорізького національного університету, кафедра «Металургійне обладнання», 2023.

В роботі проведено аналіз стану питання по темі дослідження конструкції механізмів нахилу електродугової печі для виявлення впливу конструктивних і технологічних параметрів на продуктивність і енергоємність процесу, для удосконалення й збільшення ресурсу обладнання.

Ключові слова: ПІЧ, ПРИВОД, НАХИЛ, КОНСТРУКЦІЯ, МЕХАНІЗМ, ГІДРОЦИЛІНДР, РЕЙКА, КАНАТ.

ABSTRACT

Kharyna D.O. Improvement of the Design of the Tilt Mechanisms of the Electric Arc Furnace.

Qualifying final work for obtaining a master's degree in higher education in specialty 133 - Industrial mechanical engineering, scientific adviser T.O. Vasylychenko. Engineering Educational and Scientific Institute named after Yu.M. Potebnya of Zaporizhzhya National University, Department of Metallurgical Equipment, 2023.

In the work, an analysis of the state of the issue on the topic of research into the design of the tilting mechanisms of the electric arc furnace is carried out in order to identify the influence of structural and technological parameters on the productivity and energy intensity of the process, to improve and increase the resource of the equipment.

Key words: FURNACE, DRIVE, TILT, STRUCTURE, MECHANISM, HYDRAULIC CYLINDER, RAIL, ROPE.

ЗМІСТ

	с.
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
1. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ КОНСТРУКЦІЇ МЕХАНІЗМІВ НАХИЛУ ЕЛЕКТРОДУГОВОЇ ПЕЧІ.....	12
1.1 Історія конструкції механізмів електродугових печей.....	12
1.2 Розвиток електрометалургії.....	12
1.3 Класифікація дугових печей.....	14
1.4 Типи електродугових печей прямої дії.....	22
1.5 Конструкція електродугових печей.....	27
1.6 Огляд світових досягнень що до покращень конструкцій і елементів механізмів нахилу електродугових печей.....	31
2. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА.....	37
2.1 Розрахунок зусилля, що виникає у штанзі механізму нахилу електродугової печі.....	37
2.2 Розрахунок гідравлічного циліндра електродугової печі.....	48
2.3 Перевірочний розрахунок штанги гідроциліндра.....	52
2.4 Перевірочний розрахунок гідроциліндру на міцність.....	53
3. ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА.....	56
3.1 Дослідження роботи гідроприводу привода механізму нахилу електросталеплавильної печі.....	57
3.1.1 Дослідження стабільності руху гідроциліндрів механізму нахилу електросталеплавильної печі	59
3.1.2 Дослідження стійкості роботи гідроприводу.....	63
3.2 Побудова твердо тільних елементів та моделі із файлами типу «Solid»	68

4. ОХОРОНА ПРАЦІ В ГАЛУЗІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА	78
4.1 Основні шкідливі і небезпечні виробничі чинники у сталеплавильному виробництві.....	78
4.2 Техніка безпеки при експлуатації електродугових печей.....	80
4.3 Гази та пил.....	82
4.4 Характеристика газоочисних пристроїв.....	83
4.5 Очищення газів електросталеплавильних печей.....	85
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	88
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	90
ПЕРЕЛІК ВИКОНАНИХ СЛАЙДІВ.....	71
ДОДАТКИ.....	94

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

Q	- сили ваги елементів і механізмів печі
E	- модуль пружності матеріалу
X	- координати центрів ваги елементів і механізмів печі у горизонті
G_{II}	- сила ваги всієї електродугової печі
$G_{Корп}$	- сили ваги корпусу печі
$G_{Скл}$	- сили ваги склепіння
$G_{Корп}$	- довжина ротора
e, f	- координати центра ваги печі
α	- кут нахилу радіуса-вектору до осі електродугової печі для початкового положення печі
M	- перекидний момент при нахилу печі
n	- відстань між центрами O_1 та O_2 , згідно технічної документації на піч
φ	- кут нахилу печі в сторону робочого вікна
R_1	- радіус ванни печі
h_M	- висота металу в печі
k	- плече деформації
c	- ширина площі опору сегментів з фундаментними балками
p	- навантаження, що доводиться на одиницю довжини двох опорних сегментів
R	- радіус сегментів
b	- сумарна ширина двох опорних сегментів
m	- плече дії сили
h	- відстані від крапки прикладення сили штанги до центра радіуса опорних сегментів

ВСТУП

Актуальність теми. Дослідження електродугових печей зумовлена необхідністю визначення проблем та особливостей з наслідками у металургійній промисловості України в контексті сучасних технікотехнологічних трансформацій, які відбуваються під впливом постійного вдосконалення рішень і технологій.

Металургійний комплекс є основним видом промислової діяльності України, тому розвиток технічного вдосконалення на металургійних підприємствах сприятиме їх розвитку на інтенсивній основі, сприятиме досягненню ефекту й у таких галузях, як: будівництві, машинобудуванні, дорожньо-транспортного комплексу. Завдяку цьому будуть створюватися нові робочі місця і формуватися передуми для економічного зростання нашої країни.

Саме тому, дослідження проблем пов'язаних з розвитком обладнання електрометалургійних підприємств металургійної галузі України заслуговує уваги з боку дослідників та науковців та магістрантів.

Безперервність та безвідмовність робіт, що не викликають вимушені простої цеху чи печі при зупинці будь-якої ділянки – це один з найголовніших факторів роботи печного обладнання, а також – зменшене навантаження на нього та раціональне розташування. Якщо виходить механізм нахилу, то на цей час нормальну роботу на інших справних елементах печі продовжувати не можливо, та у такому випадку необхідно або припинити роботу або значно обмежити виробництво ливарних виробів для усунення наслідків зупинки.

Мета роботи – аналіз умов роботи та удосконалення конструкції та режиму роботи механізму нахилу електродугової печі.

Задачі дослідження:

1. Дослідити розвиток електрометалургії та її вплив на сучасне виробництво металів та сплавів.

2. Провести аналіз класифікація дугових печей для того, щоб мати уявлення на скільки актуальні механізми, що застосовуються в печах одних типів до печей інших.
3. На основі аналізу більш ґрунтовно провезти аналіз та дослідження електродугових печей прямої дії, а саме – механізмів нахилу.
4. Встановити аналітичні залежності процесу нахилу електродугової печі на технічний стан, що впливає на ресурс обладнання та якість готової продукції.
5. Встановити шкідливі і небезпечні виробничі чинники у сталеплавильному виробництві.

Предмет дослідження: закономірності навантаження вузлів та деталей механізмів нахилу електродугової печі.

Об'єкт дослідження: електродугова піч, а саме – механізм нахилу.

Методи дослідження. При виконанні роботи використано стандартні методики із застосуванням математичного та статистичного моделювання з використанням сертифікованих програмних комплексів й приладів з сучасною обчислювальною технікою та програм для обробки результатів експериментів.

Наукова новизна одержаних результатів. В результаті виконання магістерської роботи вперше:

- 1) наведено порівняння різних приводів механізмів нахилу електросталеплавильної печі;
- 2) розглянуто навантаження на різні типи приводів нахилу електросталеплавильної печі при їх розташуванні під різними кутами відносно осі обертання-нахилу печі.

Практичне значення одержаних результатів. Результати проведених дослідження дозволяють використовувати їх методику для поліпшення конструктивних й технологічних параметрів механізму нахилу електродугових печей або при проектуванні нових.

Особистий внесок дослідника. Інформаційною базою дослідження були: нормативно-законодавчі документи; дані, опубліковані у роботах дослідників;

аналітичні матеріали науково-дослідних організацій України та інших країн; інформація, розміщена на офіційних сайтах науково-освітніх організацій, що займаються проблемами експлуатації електродугових печей.

Апробація роботи результатів роботи. Матеріали основних положень магістерської роботи доповідались на IX Всеукраїнської студентської науково-практичної конференції онлайн конференції “SIGNIFICANT ACHIEVEMENTS IN SCIENCE AND TECHNOLOGY” / ВИЗНАЧНІ ДОСЯГНЕННЯ У НАУЦІ ТА ТЕХНІЦІ (15 листопада 2023 р., м. Київ) (Додаток Б), а також матеріали основних положень магістерської роботи доповідались на XVI університетській науковопрактичній конференції студентів, аспірантів, докторантів та молодих вчених «Молода наука-2023» (17-22 квітня 2023 р., м. Запоріжжя) (Додаток В).

Відомості про публікації. За матеріалами магістерської роботи опубліковано 2 тези:

1. Kharyna D. Improving the design of electric arc furnace mechanisms. Визначні досягнення в науці і техніці («Significant achievements in science and technology») : Матеріали IX Всеукраїнської студентської науковопрактичної онлайн конференції, Київ, 15 November 2023. Київ, 2023. Р. 46–47. [19]
2. Харина Д. АНАЛІЗ ПЕРЕВАГ ВИКОРИСТАННЯ ГІДРАВЛІЧНОГО ПРИВОДУ НАХИЛУ ЕЛЕКТРОДУГОВОЇ ПЕЧІ. ЗБІРНИК наукових праць студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених «МОЛОДА НАУКА-2023»: конф. студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчен., м. Запоріжжя, 17 квіт. 2023 р. Запоріжжя, 2023. С. 368–370. [16]

Структура та обсяг магістерської роботи. Магістерська робота складається зі вступу, чотирьох розділів, загальні висновки та рекомендації, список використаних джерел, перелік виконаних креслень і додатків. Робота викладена на 107 сторінках машинописного тексту, містить 2 таблиць, 48 рисунка, 32 формула, список посилань з 21 найменувань і 3 додатки.

1. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ КОНСТРУКЦІЇ МЕХАНІЗМІВ НАХИЛУ ЕЛЕКТРОДУГОВОЇ ПЕЧІ

1.1 Історія конструкції механізмів електродугових печей

Електродугова піч – це машина, яка необхідна для виробництва сталі. Причини розвитку виробництва сталі в дугових електродугових печах: велика потреба у високоякісній сталі та необхідність отримання цієї сталі з руди. [19]

Конструкції електродугових печей постійно змінюються з трьох причин: зміни в технології виробництва сталі, вдосконалення технічного прогресу та зміни розмірів електродугових печей. Конструкція дугової електродугової печі складається з: сталевих корпусу; Всередині сталевих корпусу знаходиться теплоізоляція з двох видів вогнетривкої цегли: основної – магнезитової та допоміжної – динасової. Нижня частина корпусу обмежена вогнетривким перекриттям, а верхня частина корпусу обмежена склепінням з отворами для електродів. У стінках корпусу розташовані: вікно для випуску шлаку і вікно з жолобом для випуску сталі. Навколо корпусу розташовані механізми: механізм для переміщення печі, механізм для переміщення електродів, механізм для підйому і повороту дуги і механізм нахилу [19, 21].

Найважливішим механізмом дугової електродугової печі є перекидний механізм. Він потрібен для зливу металу і шлаку. Механізм нахилу повинен плавно і точно нахилити електродугову піч на різних швидкостях і витримувати вагу печі та металу. Для зливу металу піч нахилиють від 40 до 45 градусів вперед, а для завантаження шлаку – від 10 до 15 градусів в інший бік [19, 18].

1.2 Розвиток електрометалургії

Потреба, а навіть необхідність у високоякісних сталях та сплавах розвивають рівень техніки, за рахунок виникнення нових галузей

промисловості. Високі вимоги до сталей та сплавів пред'являють такі напрямлення галузей промисловості:

- 1) авіаційна техніка;
- 2) ракетна техніка;
- 3) точне приладобудування;
- 4) машинобудування
- 5) радіотехнічна галузь
- 6) хімічна галузь.

Високоякісні сталі та сплави, це ось такі: інструментальні, нержавіючі, жароміцні та жаротривкі, конструкційні, а також сплави з особливими властивостями, що відповідають наступним вимогам:

- 1) низький вміст сірки – менше 0,05 %;
- 2) фосфор – менше 0,03-0,04 %;
- 3) кисню та інших шкідливих домішок – менше 0,03-0,04 %.

Зазвичай ці сталі та сплави містять різні легуючі елементи, такі як: хром, вольфрам, нікель, титан, молібден, ванадій та ін. Вони надають сталі та сплаву особливі й різноманітні фізичні та механічні властивості та їх зазвичай виплавляють переважно в електричних печах [18].

Для виробництва таких сплавів та сталей використовуються такі електричні печі, хоча основна кількість, дугові:

- 1) дугові;
- 2) індукційні печі;
- 3) печі опору;
- 4) установки електрошлакового переплаву;
- 5) вакуумні;
- 6) індукційні;
- 7) вакуумні-дугові;
- 8) плазмові-дугові;
- 9) електронно-променеві печі.

Виплавка сталі в електропечах у минулий час, а саме 50 років тому вже становила 10-14 % від загального виробництва сталі, а на теперішній час й тому більше. Проте із збільшенням виплавки легованих сталей розширюється виплавка в електродугових печах сталі вуглецевих рядових марок, через що у деяких країнах проявляється тенденція до заміни мартенівського виробництва на печі електросталсплавні великої ємності [24. 27].

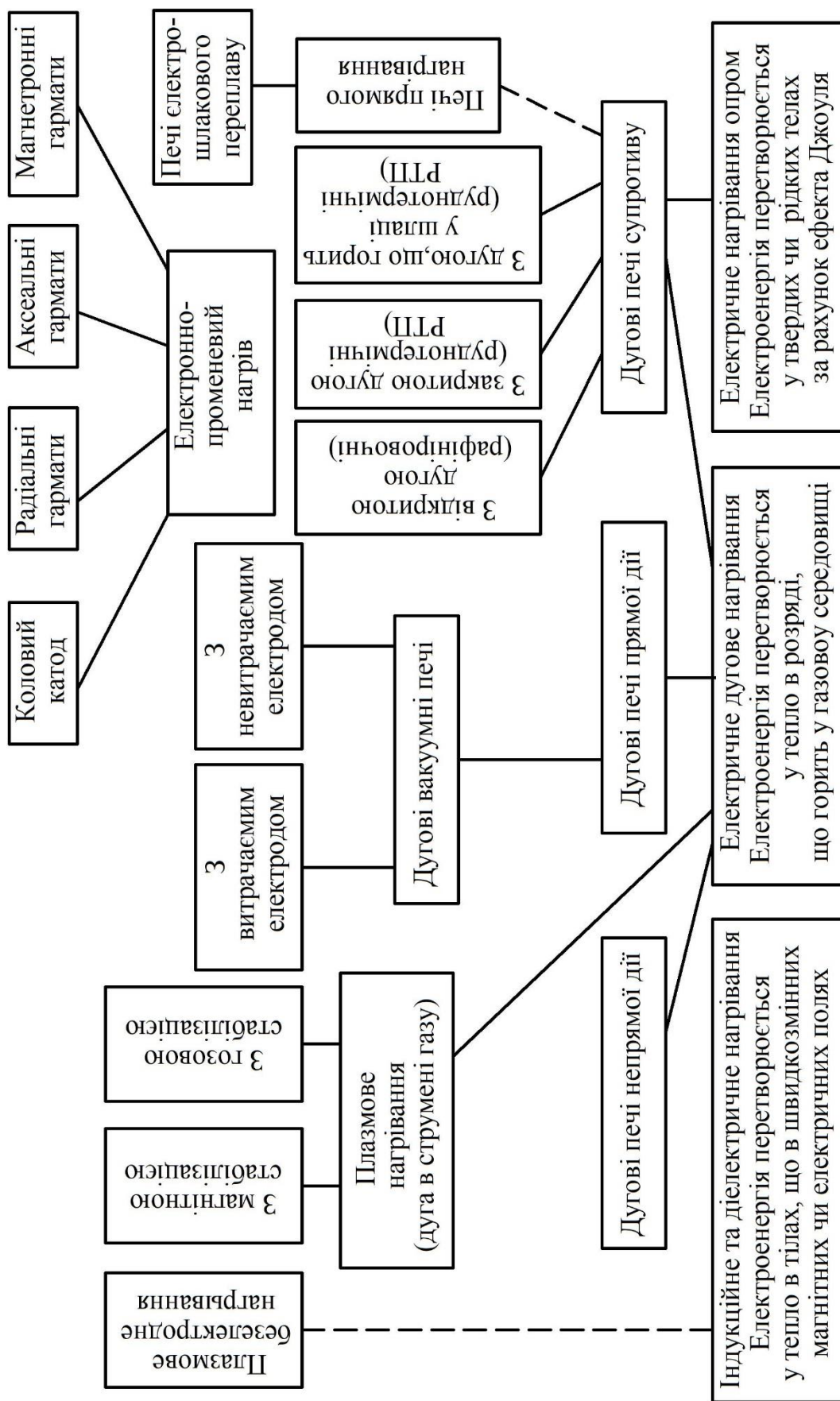
1.3 Класифікація дугових печей

Перетворення електричної енергії на теплову, у дуговій печі, відбувається в основному в електричному розряді, який протікає в газовому або паровому середовищі. У такому розряді зосереджується в порівняно невеликих обсягах дуже великі потужності і утворюються дуже високі температури, в камері печі виникають різкі температурні перепади, через що в ній неможливо отримати рівномірний розподіл температури і досягти рівномірного нагрівання різних матеріалів. Для плавки металів дугова піч дуже зручна, так як висока концентрація енергії дозволяє швидко проводити розплавлення, а так само вони зручні для проведення високотемпературних хімічних реакцій в рідкій або газовій фазі і підігріву газу [21].

Основна класифікація дугових електричних пічних установок надано на рисунку (Рисунок 1.1). Опишемо їх більш детально, кожен з класів окремо, але спочатку перерахуємо їх:

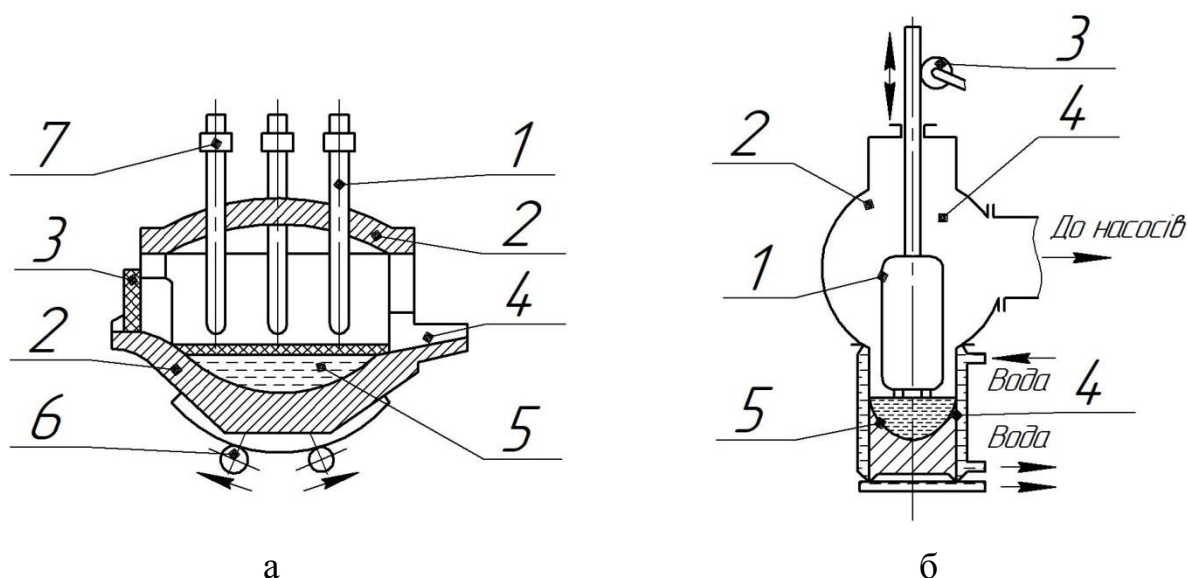
- 1) електродугові печі прямої дії (Рисунок 1.2,а);
- 2) вакуумні дугові печі (ВДП) (Рисунок 1.2,б);
- 3) електродугові печі непрямої дії (Рисунок 1.3,а):
 - а) дугові плазмові установки (Рисунок 1.3,б);
 - б) дугові нагрівачі газів (Рисунок 1.3,в);
- 4) Дугові печі опору (Рисунок 1.4,а):
 - а) печі рудовідновлення (РВП);
 - б) та рудоплавильні печі (РПП);

Рису



нок 1.1 – Основна класифікація дугових електричних пічних установок

- в) печі прямого нагріву (Рисунок 1.4,б)
 г) установки шлакового переплаву (ЕШП) (Рисунок 1.2,в);
 5) електронно-променеві установки (Рисунок 1.5,а,б).



1 – електрод; 2 – футерування; 3 – робочі дверцята; 4 – льотка для випуску рідкої сталі; 5 – рідка ванна; 6 – механізм нахилу;
 7 – електродотримачі

а – електродугові печі прямої дії;

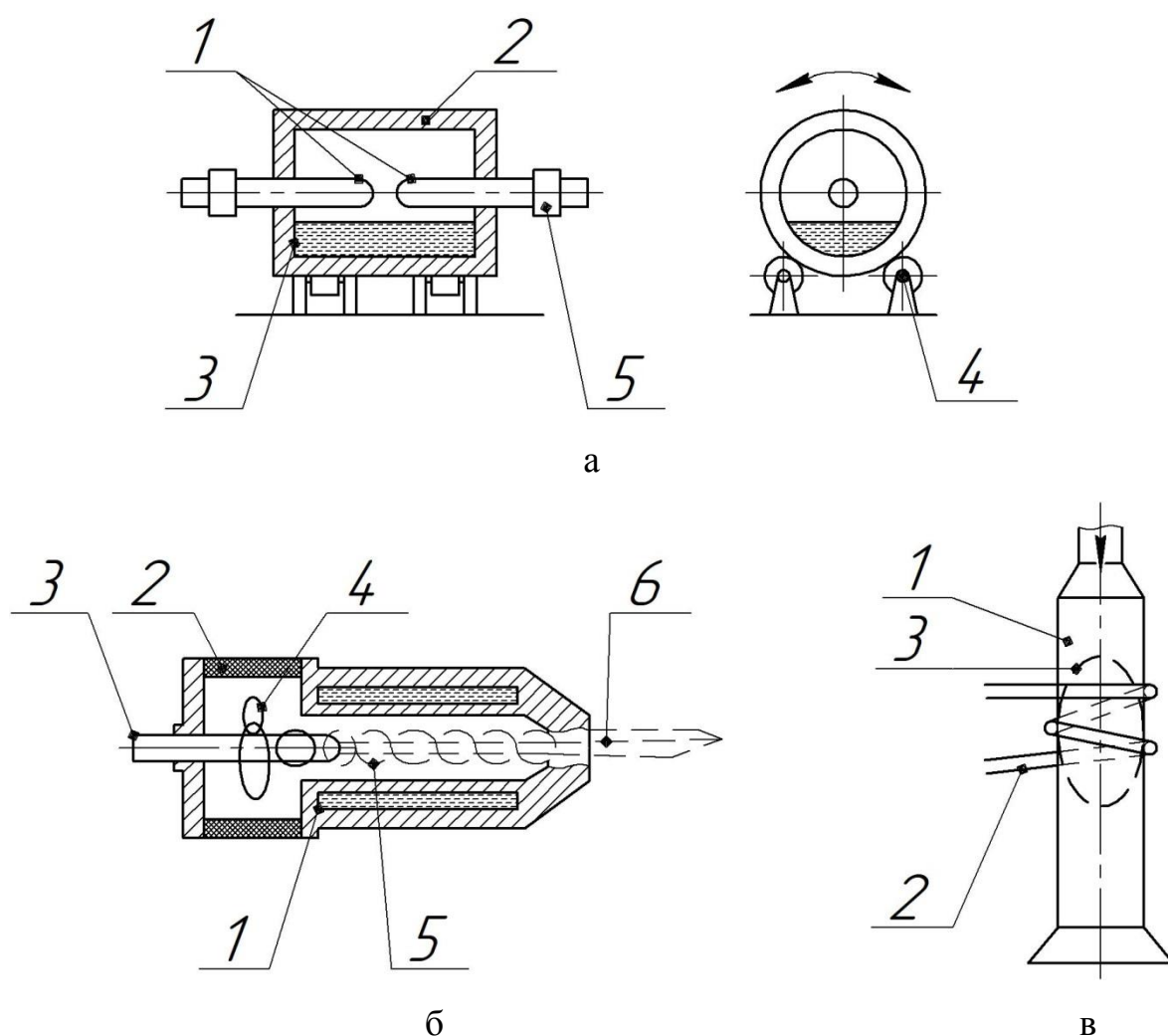
1 – електрод, що розплавляється; 2 – вакуумна камера; 3 – механізм переміщення електрода; 4 – кристалізатор; 5 – рідка ванна

б – вакуумні дугові печі (ВДП)

Рисунок 1.2 – Дугові електричні пічні установки

На рисунку (Рисунок 1.2,а) представлено електродугові печі прямої дії, яких дуга горить між електродами і металом, що розплавляється та й тим самим нагріває метал. Електродугові печі прямої дії – це в багатьох випадках, великі та потужні трифазні печі, призначені для плавлення металів, в основному це

сталеплавильні печі (ДСП). Дуга електрична знаходиться біля поверхні металу, через що випаровування металу велике. Електроди підвішені вертикально та механічні навантаження на них викликають здебільшого розтягування, та при нахилі печі вигин їх. Електродугові печі працюють в основному на трифазному струмі, через що вони потужні й продуктивніші за однофазні. Завдяки технологічним особливостям, метал виплавляється в них у вигляді злитків майже всіх спеціальних високолегованих сталей.



1 – електроди; 2 – футерування; 3 – рідкий метал; 4 – механізм нахилу;

5 – електродотримач

а – дугова піч непрямої дії для плавлення кольорових металів

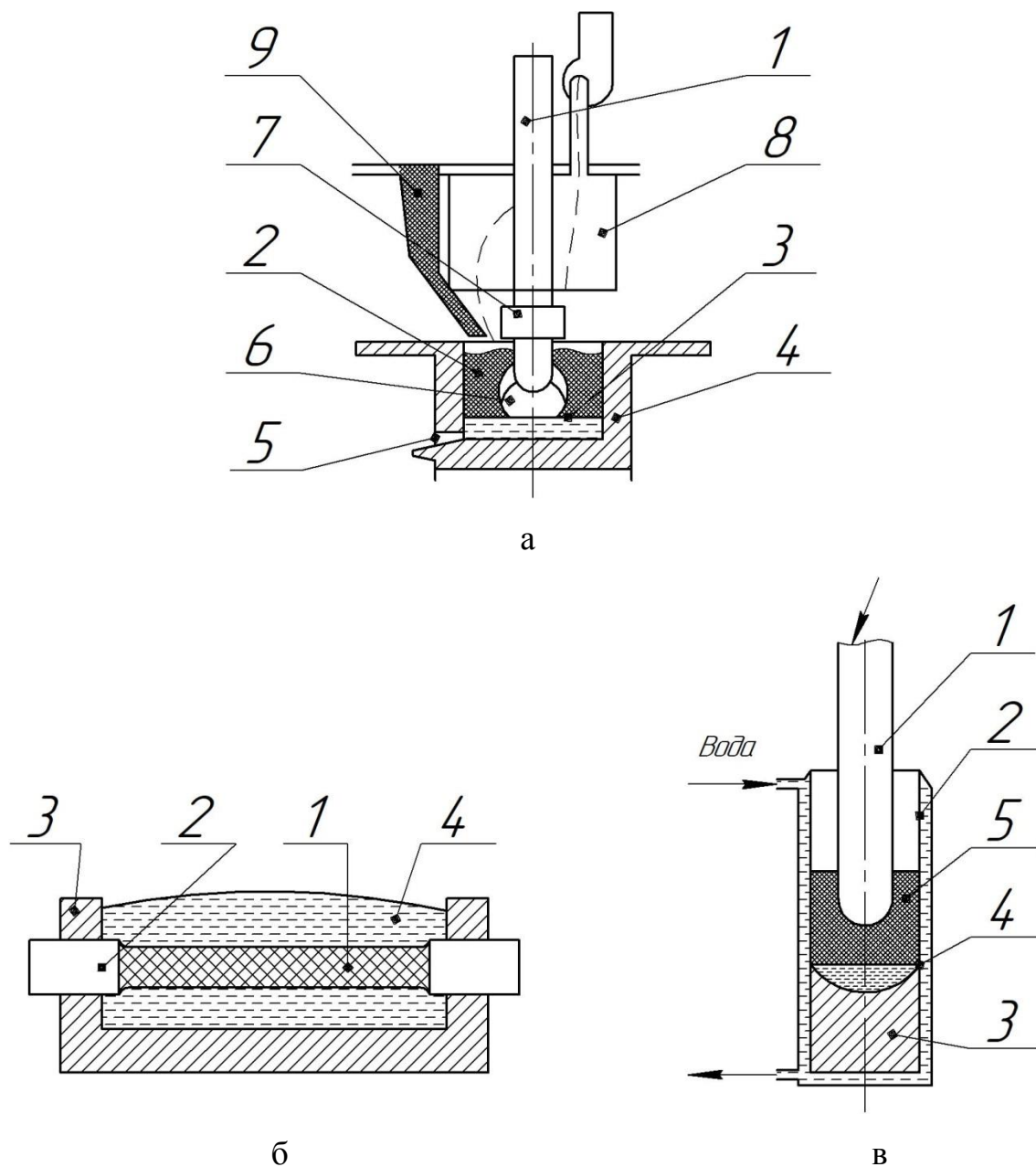
1 – охолоджується водою корпус; 2 – ізоляційна вставка; 3 – катод;

4 – впуск газу; 5 – дуга; 6 – струмінь плазми

б – дуговий плазмотрон

1 – кварцова труба; 2 – індуктор; 3 – зона розряду
в – високочастотний безелектродний плазмовий розряд

Рисунок 1.3 – Дюгові електричні пічні установки



1 – Електрод; 2 – шихта в печі; 3 – розплав; 4 – футерування печі;

5 – лютка; 6 – газова порожнина, в якій горить дуга;

7 – електродотримач; 8 – витяжний ковпак; 9 – загрузка

а – дюгова піч опору

1 – керн; 2 – електроди; 3 – футерування піч; 4 – гарнісаж

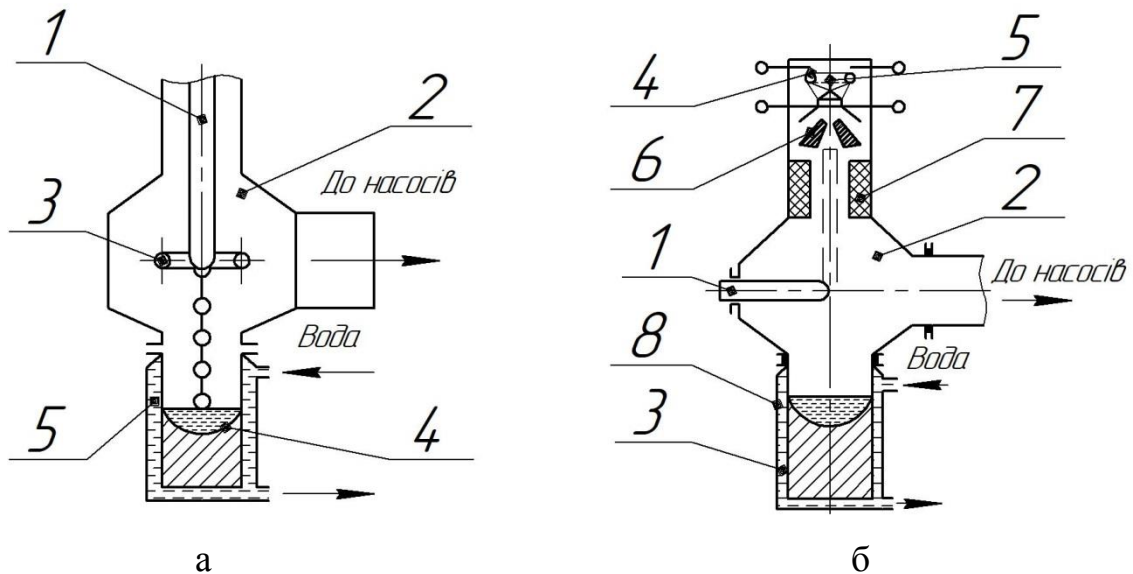
б – піч для отримання карборунду

1 – витратний електрод; 2 – кристалізатор; 3 – злиток;

4 – рідка металева ванна; 5 – шлакова ванна

б – піч електрошлакового переплава

Рисунок 1.4 – Дугові електричні пічні установки



1 – електрод-анод, що розплавляється; 2 – вакуумна камера;

3 – вольфрамовий катод; 4 – рідка ванна; 5 – кристалізатор

а - електронно-променева установка з кільцевим катодом

1 – заготівля, що розплавляється; 2 – вакуумна камера; 3 – кристалізатор;

4 – допоміжний катод; 5 – основний катод-анод;

7 – фокусуєчий промінь електромагнітна лінза; 8 - рідка ванна

б – електронно-променева установка з аксіальною гарматою

Рисунок 1.5 – Дугові електричні пічні установки

На рисунку (Рисунок 1.2,б) представлено вакуумні дугові печі (ВДП), вони також є дуговими печами прямої дії, в яких них дуга постійного струму горить у парах металу, що переплавляється, при низькому тиску між електродом і рідкою ванною металу що розплавився. Пічна камера не має футерування, а стінки її охолоджуються водою. Електрод виготовлено з металу, вертикальної форми, у якого можна допустити великі щільності струму та проводити в печі найбільш температурні процеси, таких необхідних, як для

плавки тугоплавких металів: вольфраму, молібдену, танталу. Ще у ВДП проводять вторинний переплав сталі для покращення якості їх сталі.

На рисунку (Рисунок 1.3,а) представлено електродугові печі непрямої дії, це коли електрична дуга горить між електродами, а металу, що розплавляється, тепло від горіння дуги передається тепловим випромінюванням. Дуга знаходиться на деякій відстані від поверхні металу, тому час та випаровування металу менше ніж у дугових печах прямої дії. В таких печах можна плавити метали та сплави з низькою температурою випаровування, такі як: кольорові метали, сплави що містять цинк, латуні. Графітовані електроди в таких печах розташовані горизонтально або під нахилом та не екранують футерування від випромінювання електричної дуги, тому більше половини тепла, що випромінюється електричною дугою спочатку потрапляє на стінки печі, а потім відбившись від стінок – досягає металу, що розплавляється. В таких печах неможливо проводити процеси, що вимагають більших потужностей та високих температур. Механічно електроди працюють на вигин, через що обмежується їх довжина та діаметр. Це, свою чергу впливає на розміри печі та робочий струм з максимальною потужністю, тому дугові печі непрямої дії невеликі та робляться зазвичай однофазні, з температурою плавлення не вище 1300-1400 °С, та використовують їх здебільше для плавлення кольорових металів, таких як: мідь, бронзи, латуні та інші кольорові метали, а також інколи чавун для фасонного лиття в малих ливарних цехах.

Ще до дугових печей непрямої дії можна відносяться дугові плазмові установки та дугові нагрівачі газів, у яких дуга горить між електродами потоку газу, чим нагріває його (Рисунок 1.3,б). Можливість використання цього може бути використаний для випробувальних цілей, а також для проведення хімічних чи металургійних процесів, так у другому випадку одним з електродів може бути сам метал, що розплавляється, и тим самим буде вже дугова піч прямої дії. Генератори плазми виконують з наступними електродами які охолоджуються водою:

- 1) стрижневими;

- 2) трубчастими;
- 3) кільцевими.

Такі печі працюють при різних тисках газу в дуговій камері до грубого вакууму – це коли вихлоп у вакуумну камеру, та характерним є стиск дуги по осі газового струменя.

На рисунку (Рисунок 1.4,а) представлено дугові печі опору – це коли електрична дуга горить в газовій порожнині всередині шихти, що розплавляється, яка включеної послідовно або паралельно з дугою, а тепло, що виділяється в ній може бути великим. У таких печах вогнище високої температури знаходиться всередині шихти, тому печі придатні для розплавлення матеріалів з високою температурою випаровування. Футерування печі захищене від випромінювання дуг шаром шихти, що не прореагувала, усередині якої і горять дуги, саме тому в них можна проводити процеси з високою робочою температурою, яка характерна для відновлювальних руднотермічних процесів. Печі цього типу зазвичай статичні, тобто, не нахиляються та відповідно випуск через лютку відбувається без нахилу, тому електроди в них вертикально встановлені та виконані з менш міцного матеріалу у порівнянні з великих розмірів, тому це дозволяє працювати при дуже великому струмі та на великій потужності. До цих печей примикають печі прямого нагріву, в яких дуга відсутня, для обробки деяких шлаків і отримання абразиву (Рисунок 1.4,б), а також установки шлакового переплаву (ЕШП), у яких установках (Рисунок 1.4,в) здійснюють з метою рафінування переплаву електродів зі спеціальних сталей отриманих в інших печах, наприклад ДСП. Загальна характеристика цих печей це те, що дугові печі опору – це потужні печі рудовідновлення (РВП) та рудоплавильні печі (РПП), у яких плавлять матеріали з високим питомим опором, тому їх основне використання – це для отримання таких матеріалів як:

- 1) феросплави;
- 2) карбід кальцію;
- 3) чавун;

- 4) нікелевий штейн;
- 5) абразиви;
- б) фосфор.

На рисунку (Рисунок 1.5,а) представлені електронно-променеві установки, у яких утворений у глибокому вакуумі потужний пучок електронів, прискорених в електричному полі бомбардує матеріал, що нагрівається і розігріває його або розплавляє. Джерелом електронного пучка можуть бути кільцевий катод (Рисунок 1.5,а), радіальні чи аксіальні гармати (Рисунок 1.5,б). Ці установки застосовуються для виплавляння злитків, лиття і спікання, зонного очищення і різних видів термообробки активних жароміцних матеріалів і напівпровідників. На відміну від печей ДСП та РВП з РПП, де метал виплавляється з шихти або руди, у таких печах, як ВДП та печі ЕШП з електронно-променевими, вихідною сировиною є електрод, який вже було отримано в результаті плавлення металу в іншій печі та вдруге переплавляється з метою більш повного очищення металу. Такі печі зазвичай називають переплавними та виділяють із дугових печей у установки спеціального нагріву, а саме відносять й плазово-дугові установки.

1.4 Типи електродугових печей прямої дії

Розглянемо більш детально електродугові печі типу ДСП та ДСВ.

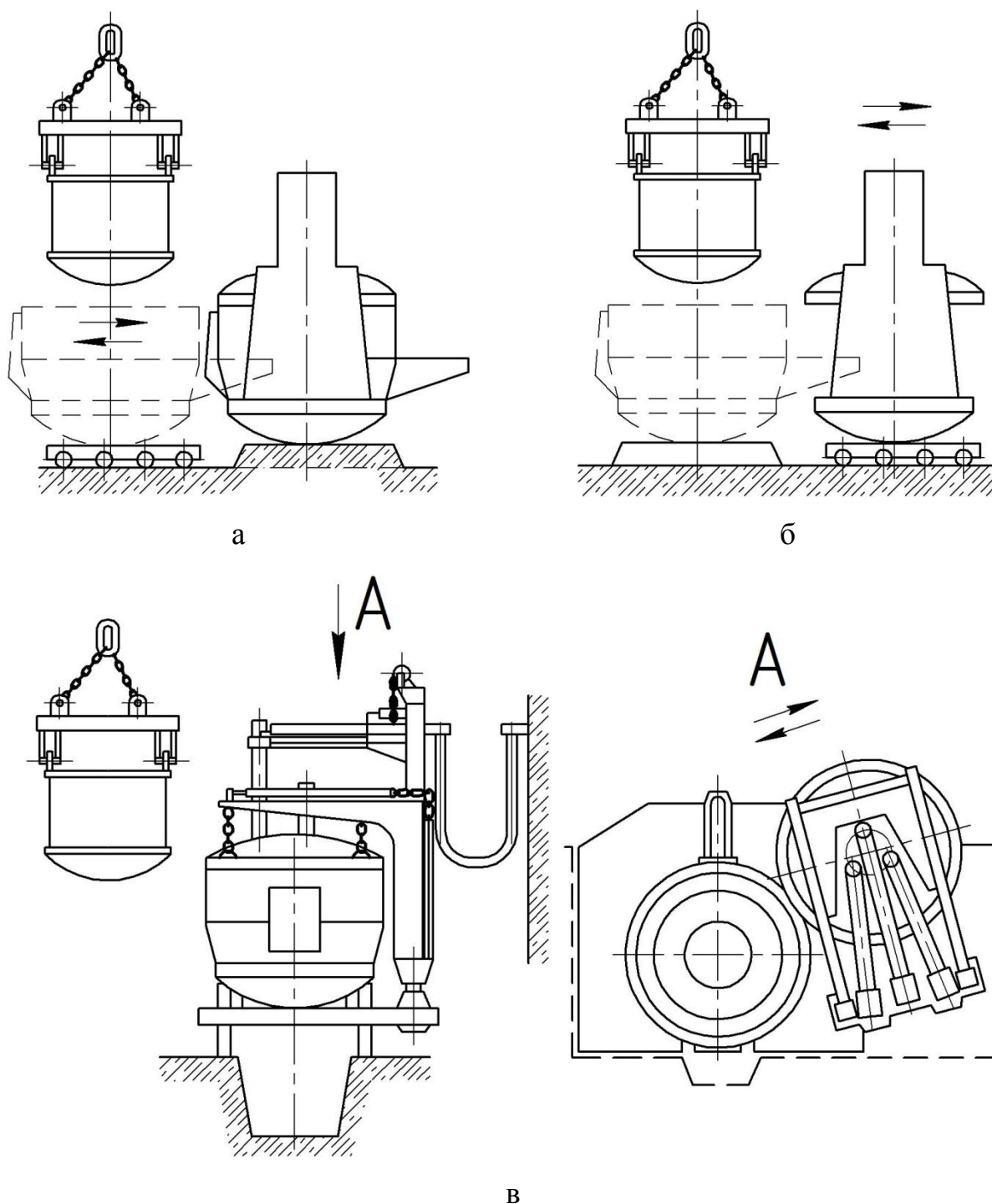
По перше вони розділяються по способу завантаження сировини:

- 1) повністю автоматизоване, за допомоги конвеєрної загрузки;
- 2) механізований спосіб.

В залежності від схеми відносного розміщення корпусу печі та склепіння, розрізняють наступні основні типи електродугових печей:

- 1) з корпусом, що викачується, а портал з піднятим склепінням та електродами залишається на місці (Рисунок 1.6,а);
- 2) з порталом, що викачується (Рисунок 1.6,б);

3) з склепінням, який з електродами піднімається і відводиться в сторону на полу порталі (Рисунок 1.6,в).



а – з корпусом, що викачується; б – з порталом, що викачується;
 в – з склепінням, який з електродами піднімається і відводиться в сторону
 Рисунок 1.6 – Електродугові печі типу по способу завантаження

Електродугові печі, в основному, побудовані з механізованим завантаженням шихти та завантаженням згори ємністю за 1-2 ходи, через що підвищується продуктивність печі і зменшується витрата електроенергії та зменшується кількість обладнання у простої. Електродугові печі завантажують металевий матеріал зверху саморозвантажувальними корзинами при відведенні в сторону склепіння.

До електродугових печей з верхнім завантаженням можна віднести наступні достоїнства:

- 1) можливість заповнити шихту майже всього робочого простору печі;
- 2) застосування крупного габаритного лома;
- 3) раціональне розміщення лома в печі;
- 4) скорочення паузи між випуском і наступним початком плавки.

Електродугові печі, відповідно до зазначеного попередньо, виконуються з верхньою загрузкою з корпусом, що викачується – це ДСВ, з склепінням, що обертається – це печі ДСП.

Електродугова піч з корпусом, що викачується, вимагають великих площ та більшу кількість механізмів для обслуговування, через що підвищується металоємність, а також, відповідно, й маса печі з вартість.

В останній час випускають електродугові печі, з склепінням, що обертається. Це можна пояснити тим, що опорно-поворотна частина з половиною порталом і механізмом повороту досить компактні та прості по конструкції і не створюють труднощів при завантаженні печі.

Недолік електродугових печей з поворотним склепінням – це розташування напівпорталу та механізм його повороту на люльці, що призводить до збільшення маси тої частини, що нахилиється та й вимагає посилення конструкції люльки.

Після закінчення процесу плавки електродугові печі нахилиють у напрямку зливного носка на кут $40-45^\circ$, для сливу металу в ківш, а потім на кут $10-15^\circ$ у напрямку робочого вікна – для скачування шлаку. Саме механізми нахилу електродугових печей і феросплавних печей поділяються на:

- 1) секторний;
- 2) роликовий ;
- 3) цапфовий.

Електродугові печі із секторним механізмом нахилу опирається від двох до чотирьох гладких або зубчатих секторів, які перекочуються по плоскій опорі, а при цьому зливний носок, опускаючись, переміщується вперед.

Електродугова піч з роликовим механізмом нахилу опирається на систему роликів, в яких є нерухомі або рухомі осі, що об'єднані у спеціальні сепаратори. При нахилі електродугова піч повертається відносно нерухомої осі, яка розташована недалеко від центру мас печі, а зливний носок опускається і переміщується назад.

Електродугова піч з цапфовим механізмом нахилу опирається на дві цапфи, що розташовані у зливного носка, та в цьому випадку нерухома вісь розташована на значній відстані від центру мас печі і зливного носка і переміщується незначно.

З представлених вище, найбільш широкое поширення отримав секторний механізм нахилу, на другому місці по поширенні – роликовий механізм, так як у великих печей видно значне відхилення зливного носка назад робить злив металу в ківш важчим, ну а цапфовий механізм, в якому є найбільші зусилля нахилу, застосовують зрідка й тільки в тому випадку, коли потрібно забезпечити мінімальне переміщення струменю металу при розливі.

По виду приводу основних та допоміжних механізмів відрізняють два типи електродугових печей:

- 1) з гідравлічним приводом;
- 2) з електромеханічним приводом.

В основному встановлюють електродугові печі з склепінням, що обертається серії ДСП, це означає – дугові сталеплавильні печі, з будь-якої ємністю.

Електродугові печі середньої змістовності, такі як ДСП-12, ДСП-25 і ДСП-50, де цифрами позначають вагу метал, що знаходиться усередині під час

плавки, виконуються з гідравлічними приводами основних механізмів, а електродугові печі великі, такі як: ДСП-100, ДСП-200 виготовляються з електричними приводами всіх механізмів.

Виходячи з інформації вище, гідравлічні приводи набули широкого поширення на печах місткістю до 50 т, а їх переваги - це плавність роботи та зручність ремонту. Застосування гідроприводу для великих же електродугових печей ускладнюється труднощами з виготовлення гідроциліндрів великої довжини. Та незалежно від конструкції, до механізму нахилу пред'являються високі вимоги довговічності й надійності роботи, що забезпечують легкий і плавний нахил електродугових печі на необхідний кут з необхідною швидкістю, при цьому щоб повністю виключення прокидання печі при наливі.

Невступним розділенням є розділення по місцю розташування приводу механізму нахилу:

- 1) бокові;
- 2) нижні.

Боковий типу застосовуються на електродуговій печі невеликої вміщення, привод монтується на стаціонарній стойці збоку печі, що досить зручно для експлуатації, так як привід завжди доступний для огляду та ремонту і не може бути пошкоджений при виливі металу через кожух печі або подібній аварії. Проте й мінуси його застосування, а саме – одностороннє застосування перекидаючого моменту викликає великі зусилля та деформації, через що його механізм нахилу бокового типу на електродуговій печі середньої та великої змістовності застосовувати не рекомендується.

Через недоліки бокового приводу на електродугових печах середньої та великої змістовності застосовують механізм нахилу нижнього типу, у якому приводи монтують на фундаменті під піччю зі сторони робочого вікна, завдяки чому вони забезпечують хорошу стійкість електродугової печі. Проте мінусом приводу нижнього типу є те, що захист приводу від шлаку і металу у випадку разі аварії днини менш надійний.

Ще одним поділом електродугових печей це розділення на:

- 1) обертові;
- 2) необертові, тобто звичайні.

Обертові конструюють для прискорення плавлення та підвищення продуктивності, застосовують на великих електродугових печах, а саме – ванну повертають на 40° в одному напрямку та в іншому напрямку навколо вертикальної осі зі швидкістю приблизно один градус у секунду, це призводить до того, що під електродами проплавляються вдвічі більше стволів – дев'ять стволів, що прискорює плавку і зменшує небезпеку прожигання днини.

1.5 Конструкція електродугових печей

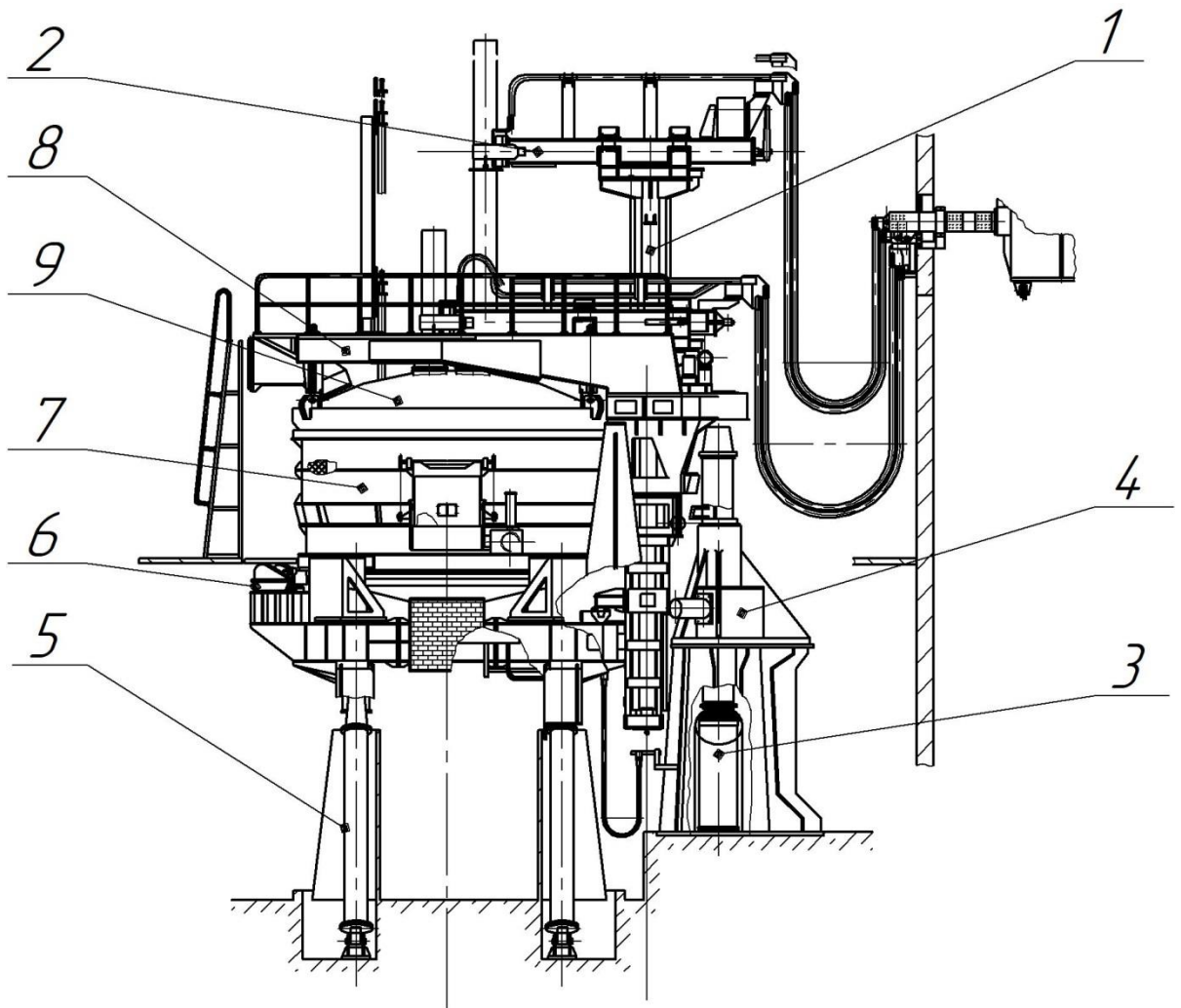
Електродугова піч типу ДСП та ДСВ крім основних механізмів має ще допоміжні механізми для відкривання заслінок робочих вікон та інші але (Рисунок 1.7) складається та обслуговується наступними основними механізмами:

- 1) механізм переміщення електродів (Рисунок 1.8);
- 2) механізм затиску електродів (Рисунок 1.8);
- 3) механізм підйому склепіння (Рисунок 1.9,а);
- 4) механізм повороту порталу (Рисунок 1.9,б);
- 5) механізм нахилу печі (Рисунок 1.10);
- 6) механізм повороту печі (Рисунок 1.11).

Електродугова піч забезпечена, в більшості, трьома однотипними електродотримачами та механізмами переміщення електродів, що зображено на рисунку (Рисунок 1.8), які об'єднані в один загальний блок, розташований на відкотній або поворотній платформі. Вертикальні переміщення електродотримача з електродом у печі здійснюються гідравлічним приводом чи електромеханічним.

Механізм затиску електрода (Рисунок 1.8) складається з хому, важеля, пружин та пневматичного циліндра. Зусилля затискання електрода створюється

пружинами через важіль. Пневматичний циліндр – для звільнення електрода під час заміни чи для його зсуву.

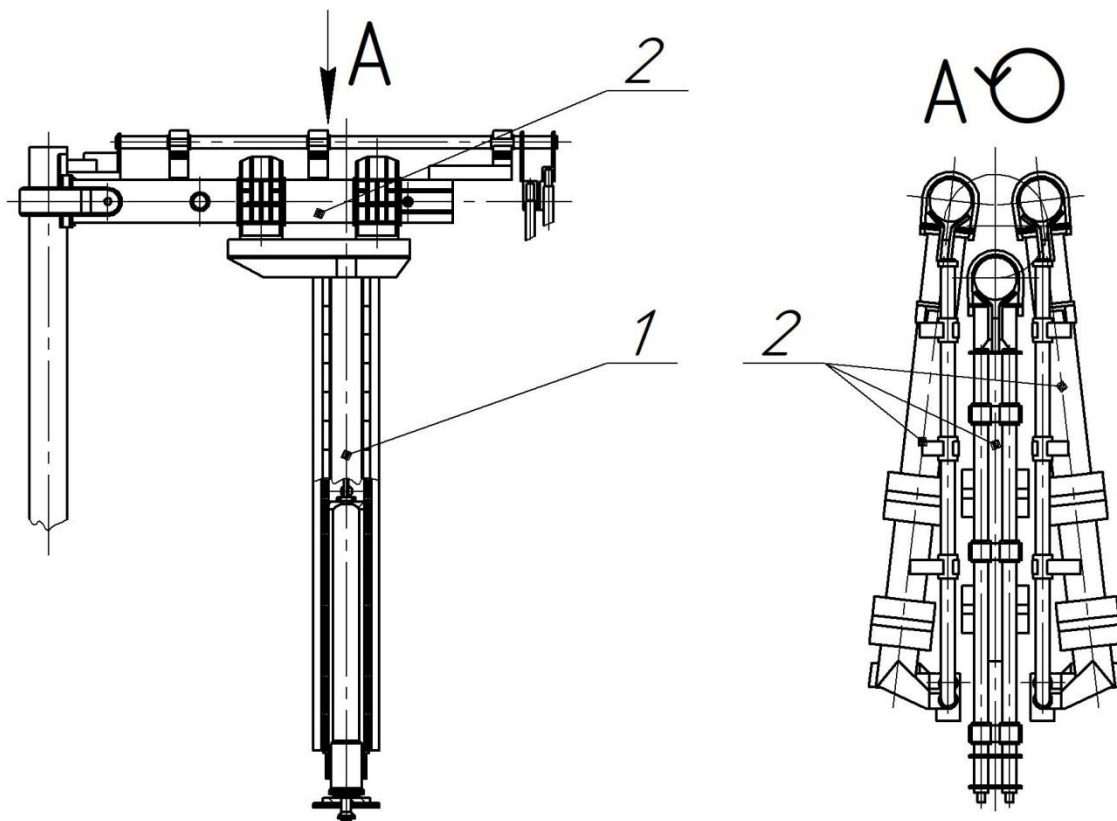


1 – механізм переміщення електродів; 2 – затискач електродів; 3 – механізм підйому склепіння; 4 – механізм повороту порталу; 5 – механізм нахилу корпусу; 6 – механізм повороту печі; 7 – корпус;
8 – напівпортал (портал); 9 - склепіння

Рисунок 1.7 – Електродугова сталеплавильна піч

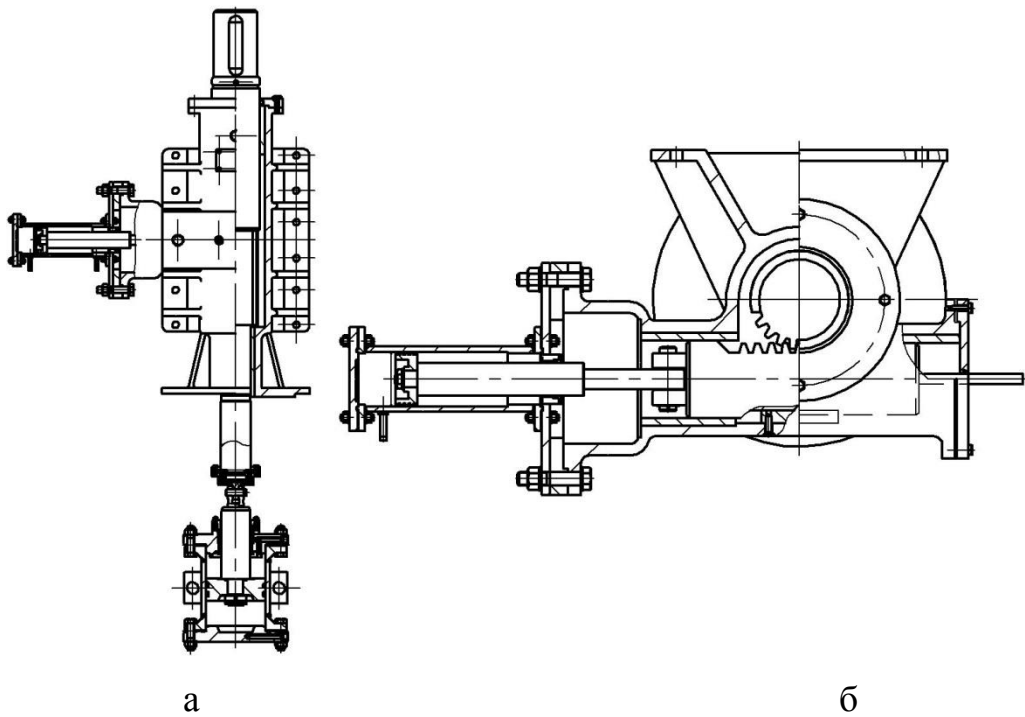
Підйом з опусканням склепіння та поворот (Рисунок 1.7) відбувається механізмом який розташований на напівпорталі (порталі) (Рисунок 1.9,а,б). Гідравлічний привод дозволяє спростити конструкцію цього механізму.

Нахил печі (Рисунок 1.10) з одночасним поступальним рухом відбувається в результаті обкатування опор по балках, які розташовані на фундаменті. Нахил печі відбувається за допомоги гідравлічного чи електромеханічного приводу.



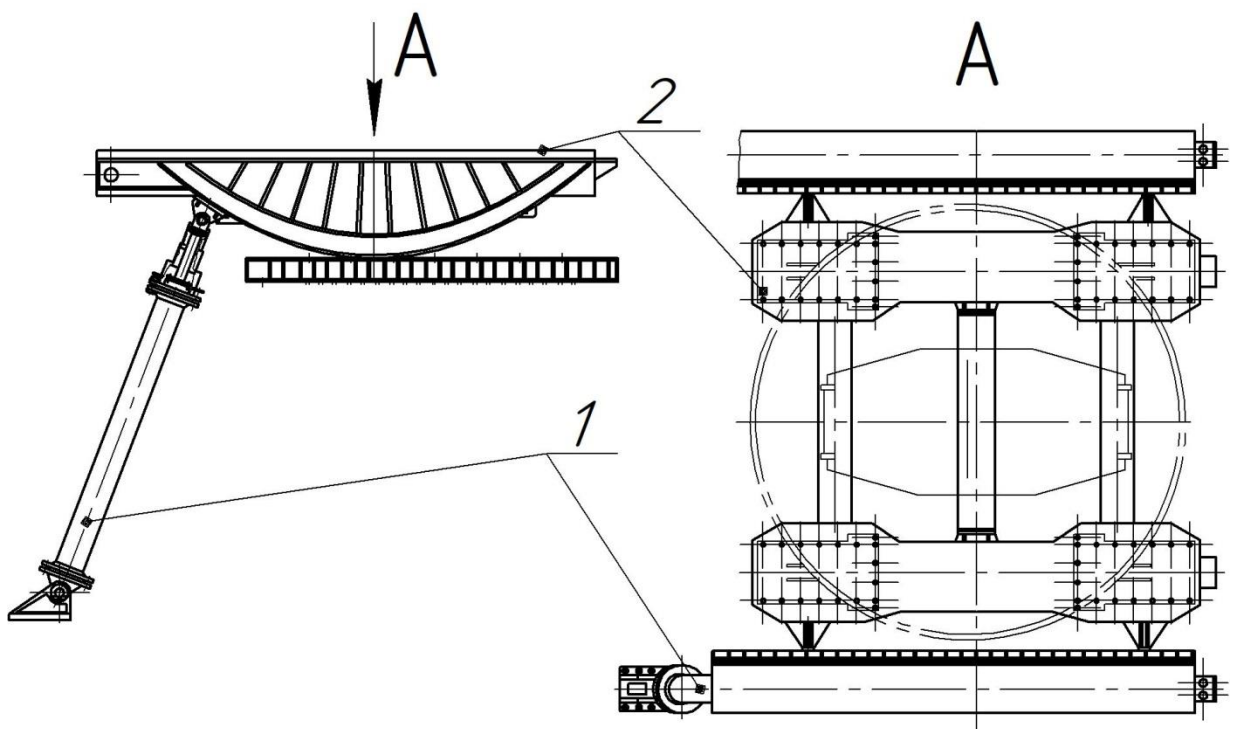
1 – механізм переміщення електродів; 2 – затискач електродів

Рисунок 1.8 – Механізм переміщення й затискач електродів



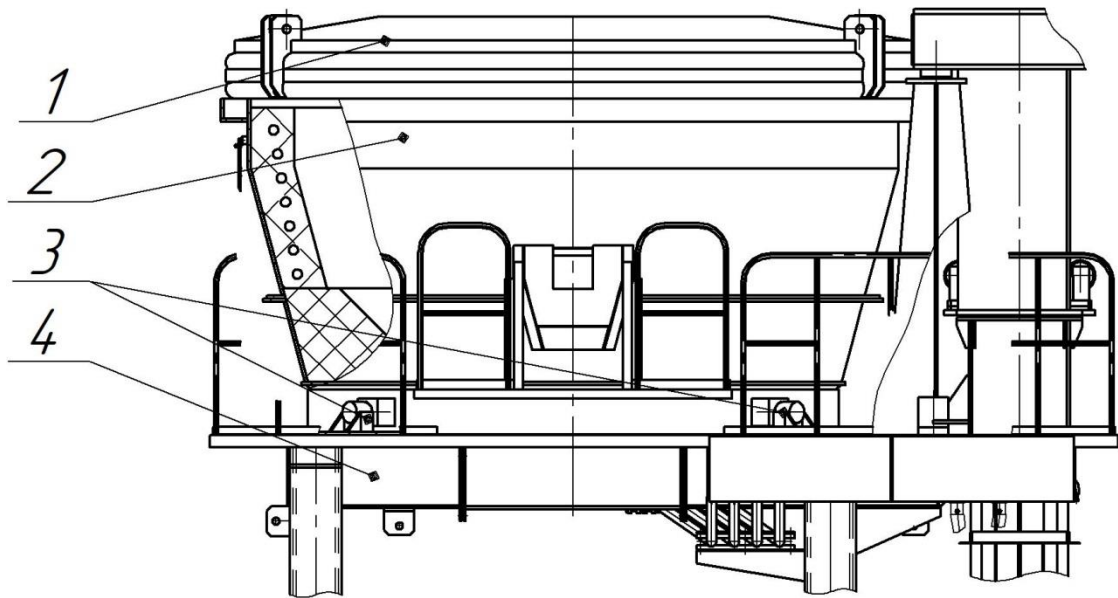
1 – механізм підйому склепіння; 2 – механізм повороту порталу

Рисунок 1.9 – Механізм підйому й повороту



1 – привод механізму нахилу; 2 – рама (платформа))

Рисунок 1.10 – Механізм нахилу



1 – склепіння; 2 – піч; 3 – приводи механізму повороту печі; 4 - рама

Рисунок 1.11 – Механізм повороту печі

Поворот печі можливий тільки при верхньому положенні електродів та піднятому склепінні, конструктивне виконання механізму повороту печі показано на рисунку (Рисунок 1.10).

1.6 Огляд світових досягнень що до покращень конструкцій і елементів механізмів нахилу електродугових печей

Пропонуються та використовуються на металургійних підприємствах та проектно-конструкторських виробництвах різні типи приводів та механізмів нахилу електродугових печей, а саме – нахилу корпусу печі, в якій й проходив процес виплавлення, для таких технологічних процесі як злив готової продукції (металу) та шлаку.

Так, ще раз висвітлимо види приводів механізмів нахилу електродугових печей, та як їх можна поділити:

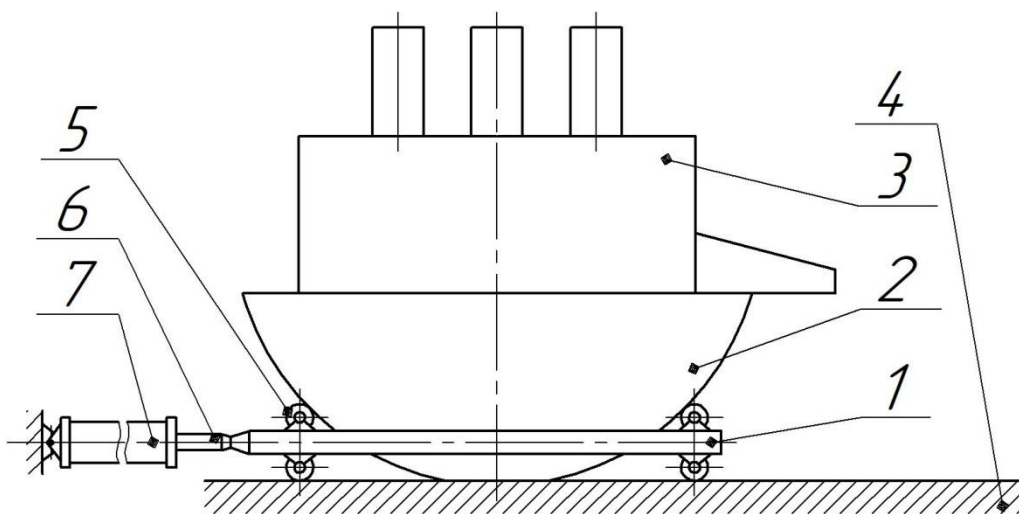
- 1) гідравлічний;
- 2) електромеханічний:
 - а) тросовий;

- б) черв'ячний;
- в) рейковий.

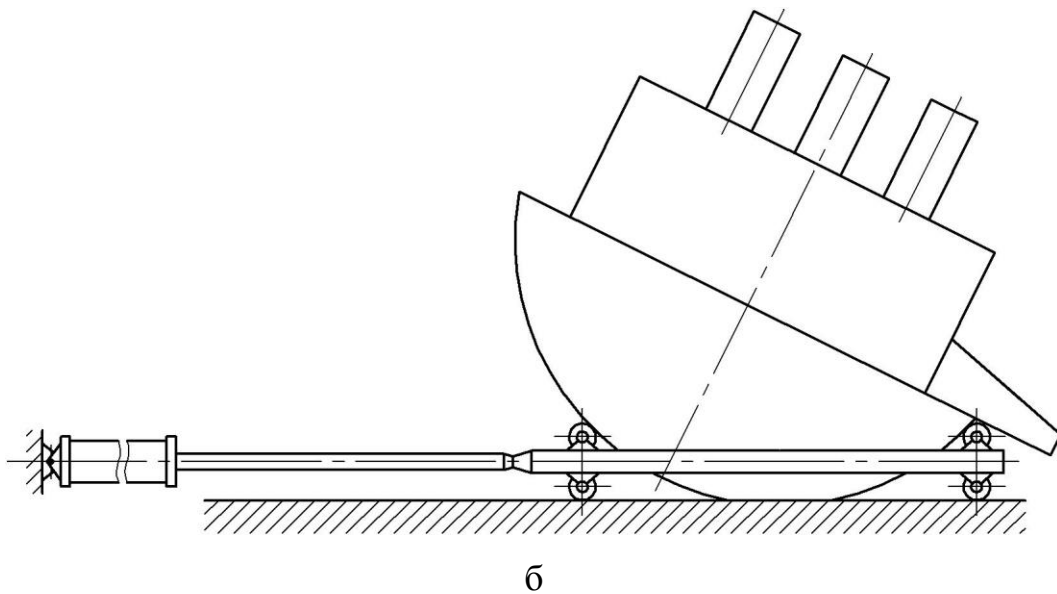
У більшості, нахил печі відбувається з її зсувом.

Розглянемо один з видів приводів зображеного на рисунку (Рисунок 1.12,а,б), а саме – гідравлічний. Цей механізм відноситься безпосередньо до влаштування механізмів нахилу електродугових печей та його мета – підвищення ефективності роботи механізму нахилу та зниження експлуатаційних витрат за рахунок покращення експлуатаційних характеристик. Так, для забезпечення рівномірного нахилу електродугової печі, її гідроциліндри 7 встановлені у горизонті і з'єднані з платформою 1 на коліщатах. Ця платформа охоплює сектора люльки 2. Штоки 6 гідроциліндрів 7, переміщуючись вправо при нахилі у напрямку зливного носка, чим передають зусилля через платформи 1 на пару коліщат 5, які розташовані ближче до гідроциліндрів 7, а друга пара роликів 5, що закріплено на платформі 1 з протилежного боку – утримує піч 3 від мимовільного нахилу.

На рисунку (Рисунок 1.12,а) зображено загальний вигляд електродугової печі із механізмом нахилу, а на рисунку (Рисунок 1.12,б) зображено електродугову піч в нахиленому положенні у напрямку до зливного носка 7.



а



а – загальний вигляд; б – в нахиленому положенні

Рисунок 1.12 – Електродугова піч із гідравлічним механізмом нахилу

Використання цього механізму нахилу електродугової печі дає можливість підвищити ефективність роботи за рахунок скорочення довжини гідроциліндра рівномірного нахилу печі за рахунок горизонтального розташування гідроциліндрів, а не як зазвичай робиться – у похилому положенні. Також він дозволяє знизити витрати на експлуатацію та ремонт за рахунок відмови від пристрою прямиків під класичне положення гідроциліндрів.

Ще один механізм нахилу електродугової печі відноситься до електромеханічного та виконаний у вигляді тросового механізму, де один кінець закріплений на поперечній балці нерухомого порталу, інший – на барабані лебідки.

На рисунку (Рисунок 1.13) зображено схему загального виду електросталеплавильної печі з тросовим механізмом нахилу. Цей механізм складається з наступних елементів: з каната 1, один кінець якого закріплений на поперечній балці фіксованого порталу 2 з іншої сторони, інший кінець троса закріплений на барабані лебідки 3. Трос заведено через систему обвідних блоків, тобто представляє собою систему поліспасть, закріплений на поперечній

балці фіксованого порталу і кінцях поздовжніх балок рами 4, на яких встановлена піч 5. Встановлені механізми по одному на кожній з балок рами і працює це наступним чином:

- а) нахил електропечі здійснюється під якимось кутом у бік зливного носку та у бік робочого вікна для вивантаження шлаку;
- б) нахил здійснюється за допомоги двох лебідок системами поліспаст;
- в) при включенні намотування тросів на барабан піч нахиляється у сторону зливного носка;
- г) при включенні лебідки на розмотування каната – піч нахиляється у бік робочого вікна.

У порівнянні з іншими механізмами нахилу електродугових печей цей механізм є самим простим й дешевшим та не потребує великих матеріальних витрат.

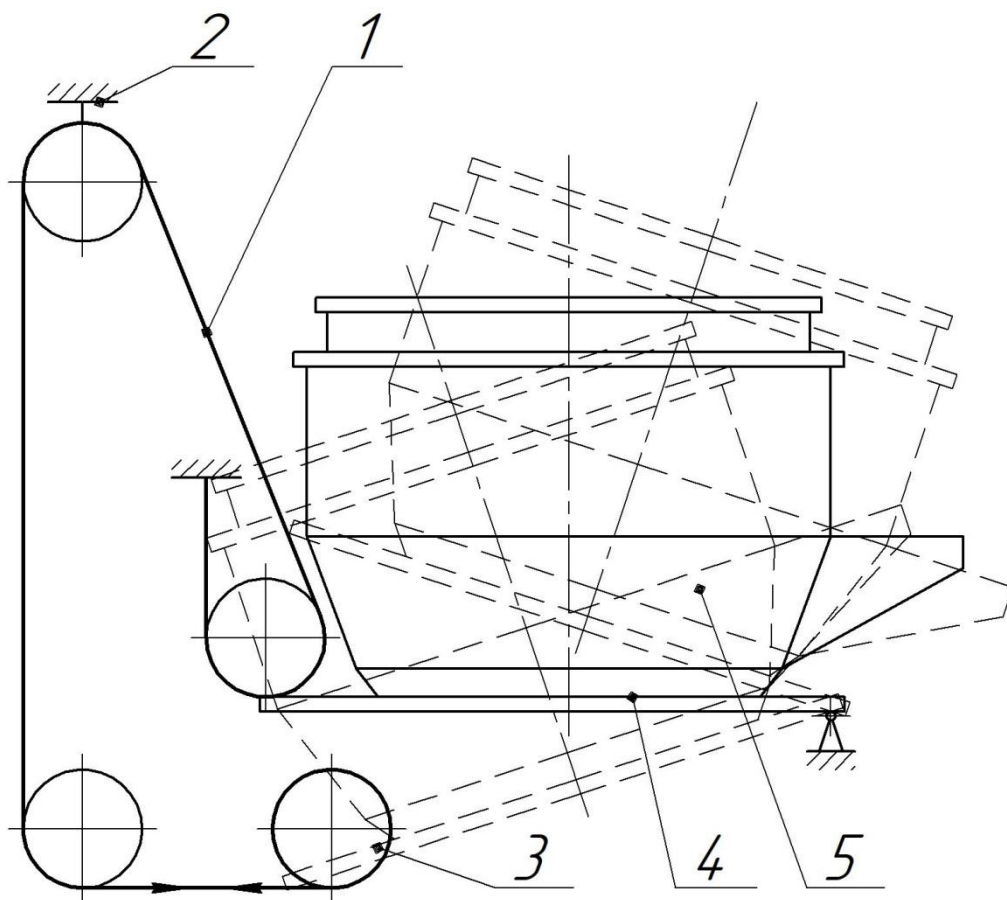


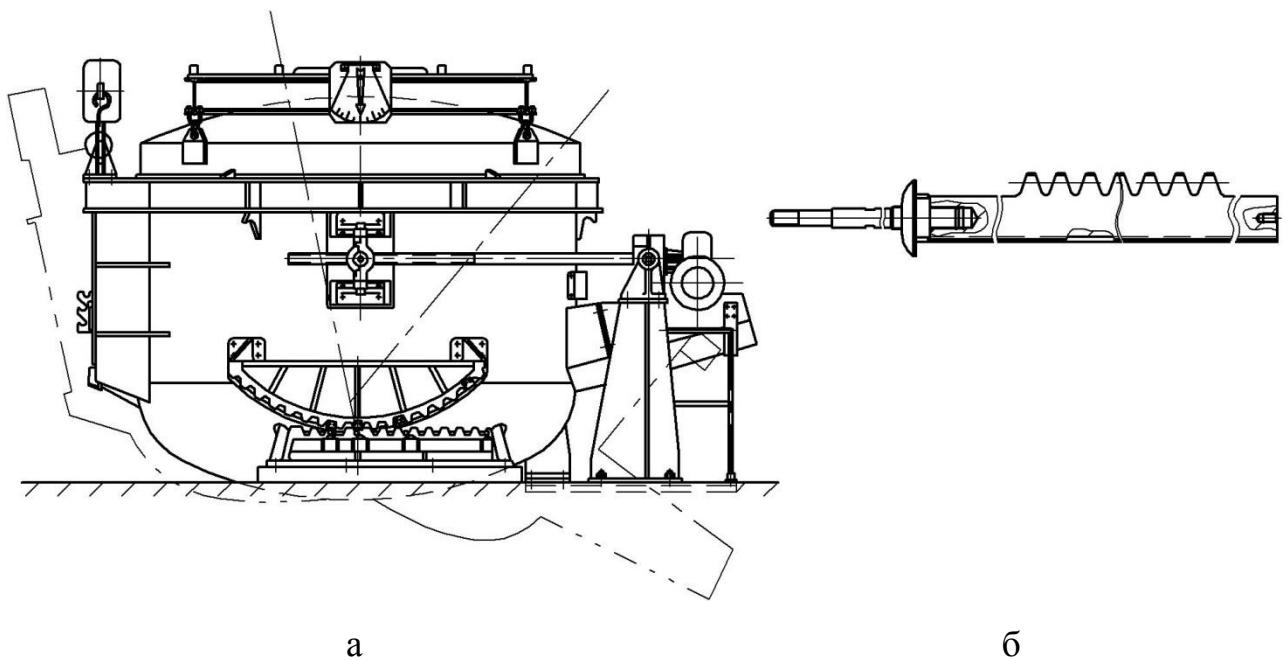
Рисунок 1.13 – Електродугова піч із тросовим механізмом нахилу

Ще одні з приводів механізму нахилу електродугових печей є електромеханічний привод з черв'ячною передачею (Рисунок 1.14,а) чи рейковою (Рисунок 1.14,б) передачею.

Для дослідження **напружено-деформованого стану механізму нахилу електродугової печі українськими науковцями запропоновано та отримано патент на корисну модель UA40385U «Механічна модель для виміру напружено-деформованого стану механізму нахилу електродугової плавильної печі» [7].**

Суть технічного рішення цієї корисної моделі пояснюється кресленнями, що представлено у додатку (Додаток Б), де на рисунку (Рисунках Б.1.15) зображено загальний вид механічної моделі для виміру напружено-деформованого стану механізму нахилу електродугової плавильної печі, а на рисунку (Рисунках Б.1.156) зображено вид по напрямку погляду. А на рисунку (Рисунок Б.1.15), ну й на Фіг.1, на рисунку (Рисунках Б.1.17) – вид по напрямку погляду Б на рисунку Б.1.16.

Детальний опис патенту наводиться нижче.



а – черв'ячний; б – рейковий

Рисунок 1.14 – Електродугової печі із електромеханічним механізмом нахилу

Корисна модель належить до стендів (механічних моделей) для випробування або виміру напружено-деформованого стану конструкцій, переважно механізмів нахилу електродугової плавильної печі. [7]

Механічна модель для виміру напружено деформованого стану механізму нахилу електродугової плавильної печі, яка містить основу, виконану з вертикальних стійок, жорстко скріплених між собою поперечними балками, й імітатор навантаження, що складається із кронштейна, рухливо встановленого відносно поздовжньої осі основи й механізму навантаження, яка відрізняється тим, що вона додатково обладнана платформою, яка виконана з горизонтально розташованих балок, жорстко з'єднаних між собою кінцями у вигляді багатокутника, на двох паралельних боках якого жорстко закріплені опорні зубчасті сектори механізму нахилу електродугової плавильної печі, що встановлені з можливістю взаємодії з рейками механізму нахилу електродугової плавильної печі, жорстко закріплені на основі, при цьому платформа розташована над основою й одним боком скріплена з вертикально встановленим домкратом, обладнаним з двох боків шарнірами, а імітатор навантаження виконаний у вигляді П-подібного кронштейна, що містить дві вертикальні стійки, жорстко скріплені між собою поперечкою, й механізму навантаження, який являє собою гвинтовий притискач, рухливо встановлений по вертикальній осі в поперечці П-подібного кронштейна з можливістю взаємодії з упорною балкою, що закріплена кінцями на платформі, причому вільні кінці вертикальних стійок П-подібного кронштейна обладнані опорними башмаками, рухливо встановленими в напрямних, жорстко закріплених на поперечних балках основи. [7]

Застосування пропонованого технічного рішення дозволить визначити величину напружено деформованого стану в будь-якій точці конструкції механізму повороту електродугової плавильної печі при різному ступені завантаження електродугової плавильної печі. Це зробить можливим вибір

найбільше оптимального варіанта конструкції при проектуванні механізму нахилу електродугової плавильної печі. [7]

2. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунок зусилля, що виникає у штанзі механізму нахилу електродугової печі

Механізм нахилу електродугової печі потрібен для нахилу печі у бік зливного жолоба на кут приблизно від 40° до 45° для зливу сталі в ківш і на кут приблизно від 10° до 15° у бік робочого вікна для скачування шлаку.

В якості моделі розглянемо й приймемо механізм нахилу з гідравлічним та/або механічним (рейковим) приводом дугової електродугової печі місткістю 1,5 т.

Згідно загальним рекомендаціям [3, 6], необхідно провести розрахунок механізму нахилу печі для таких кутів нахилу для визначення найважчого режиму роботи електродугової печі:

- а) 0° - 15° , 15° - 30° , 30° - 45° – в бік зливного носка при зливанні металу;
- б) на кут 0° - 15° – в бік робочого вікна при скачуванні шлаку.

Інші вхідні дані приводяться у таблиці (Таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 – технічні параметри дії швидкості дії та лінійно-габаритних печі ДСП 1,5 тони місткістю

№	Найменування параметру	Позначення	Параметр	Розмірність
1.	Координати центра ваги печі по горизонту	e	0,2	м
2.	Координати центра ваги печі по вертикалі	f	0,25	м
3.	Кут нахилу печі при зливанні металу	φ	40^0	град.
4.	Повне навантаження від маси печі (без металу)	G_{II}	233	кН
5.	Навантаження від маси металу в печі при зливанні, при нахилі печі при нахилі печі $\varphi = 40^0$	G_M	16	кН
6.	Радіус опорних сегментів	R	1,1	м
7.	Радіус ванни печі	R_I	1,28	м
8.	Відстані від місця прикладення сили штанги механізму нахилу до радіуса опорних сегментів	h	0,2	м
9.	Сумарна ширина двох опорних сегментів	b	0,34	м
10.	Шлях переміщення крапки кріплення механізму нахилу у горизонтальній площині	L	1,5	м
11.	час нахилу печі	t	120	с
12.	Лінійна швидкість переміщення штанги	$v_{ш}$	0,005	м/с
13.	Відстань між центрами O_1 та O_2 , згідно креслень та технічної документації на піч	n	0,45	м

Основою розрахунку механізму нахилу електродугової печі є точне визначення загальних координат центра ваги електродугової печі, а для визначення координат центра ваги X_0 , Y_0 , Z_0 , що до трьох координатних осей, необхідно силу ваги окремих частин електродугової печі.

На підставі креслень і сил ваги Q_i окремих деталей і механізмів визначаються координати їхніх центрів ваги X_1, Y_1, Z_1 , а потім знаходяться координати X_0, Y_0, Z_0 для всієї печі:

$$\begin{cases} X_0 = \frac{Q_1 X_1 + Q_2 X_2 + Q_3 X_3}{G_{II}}, \\ Y_0 = \frac{Q_1 Y_1 + Q_2 Y_2 + Q_3 Y_3}{G_{II}}, \\ Z_0 = \frac{Q_1 Z_1 + Q_2 Z_2 + Q_3 Z_3}{G_{II}}, \end{cases} \quad (2.1)$$

де Q_1, Q_2, Q_3 – сили ваги елементів і механізмів печі;

X_1, X_2, X_3 – координати центрів ваги елементів і механізмів печі у горизонті по осі X ;

Y_1, Y_2, Y_3 – координати центрів ваги елементів і механізмів печі по вертикалі по осі Y ;

Z_1, Z_2, Z_3 – координати центрів ваги елементів і механізмів печі по у горизонті по осі Z ;

G_{II} – сила ваги всієї електродугової печі.

$$G_{II} = G_{Корп} + G_{Скл} + G_{ОС}, \quad (2.2)$$

де $G_{Корп}$ – сили ваги корпусу печі;

$G_{Скл}$ – сили ваги склепіння;

$G_{ОС}$ – сили ваги опорних сигментів;

Треба зв'язати координати центра ваги печі з віссю обертання печі через радіус-вектор, а саме:

$$\begin{cases} r_0, x_0 = e \cdot \sin \alpha, \\ y_0 = f \cdot \cos \alpha. \end{cases} \quad (2.3)$$

Якщо відомі загальні координати центра ваги e и f для початкового положення печі, то величина радіуса-вектора дорівнює:

$$r_0 = \sqrt{e^2 + f^2}, \quad (2.4)$$

де e, f – координати центра ваги печі;

Підставивши у вираз (Формула 2.4), ми отримаємо:

$$r_0 = \sqrt{0,2^2 + 0,25^2} = 0,32 \text{ м.}$$

Кут α нахилу радіуса-вектору до осі електродугової печі для початкового положення печі, коли вона знаходиться під кутом 0° відповідає наступному:

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{e}{r_0}\right) = \arcsin\left(\frac{0,2}{0,32}\right) = 38^\circ. \quad (2.4)$$

Необхідно провести розрахунок для визначення сили P_0 для положень печі при кутах нахилу 12° , при скачуванні шлаку, це коли нахил печі на кут 12° в сторону робочого вікна; $15^\circ, 30^\circ, 40^\circ$.

В такому разі повний розрахунковий перекидний момент при нахилу печі буде відповідати такому виразу:

$$M_{\text{ПЕР}} = M_{\text{П}} + M_{\text{К}} + M_{\text{М}}, \quad (2.5)$$

де $M_{\text{П}}$ – момент від ваги печі;

$M_{\text{К}}$ – момент від сил тертя кочення в опорно-поворотній частині;

M_M – момент від металу в печі.

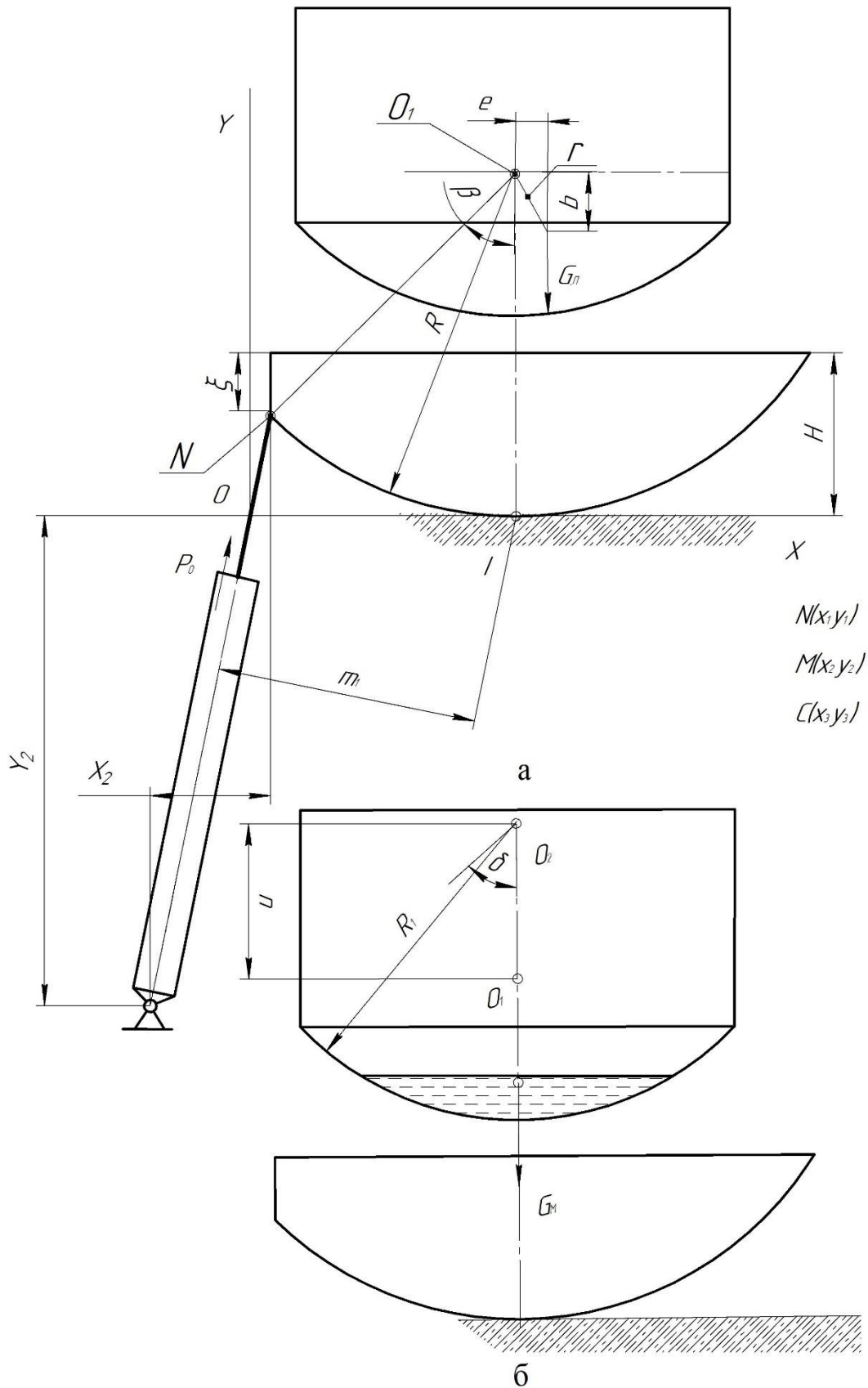
Знаки « + » або « - » вибирають залежно від напрямку нахилу печі:

- а) „-” – при скачуванні шлаку, тобто коли піч нахиляється у сторону робочого вікна;
- б) „+” – при зливанні металу, тобто коли піч нахиляється в сторону носка печі.

В такому разі вираз (Формула 2.5) прийме вигляд, а саме – при скачуванні шлаку, повороті в сторону робочого вікна:

$$M_0 = M_{II} + M_K - M_M. \quad (2.6)$$

Перекидаючий момент, який створюється масою печі для заданого кута нахилу φ відповідно знаходиться з виразу:



а – піч без ваги металу; б – метал без ваги печі

Рисунок 2.1 – Схема до розрахунку механізму нахилу електропечі у нульовому положенні

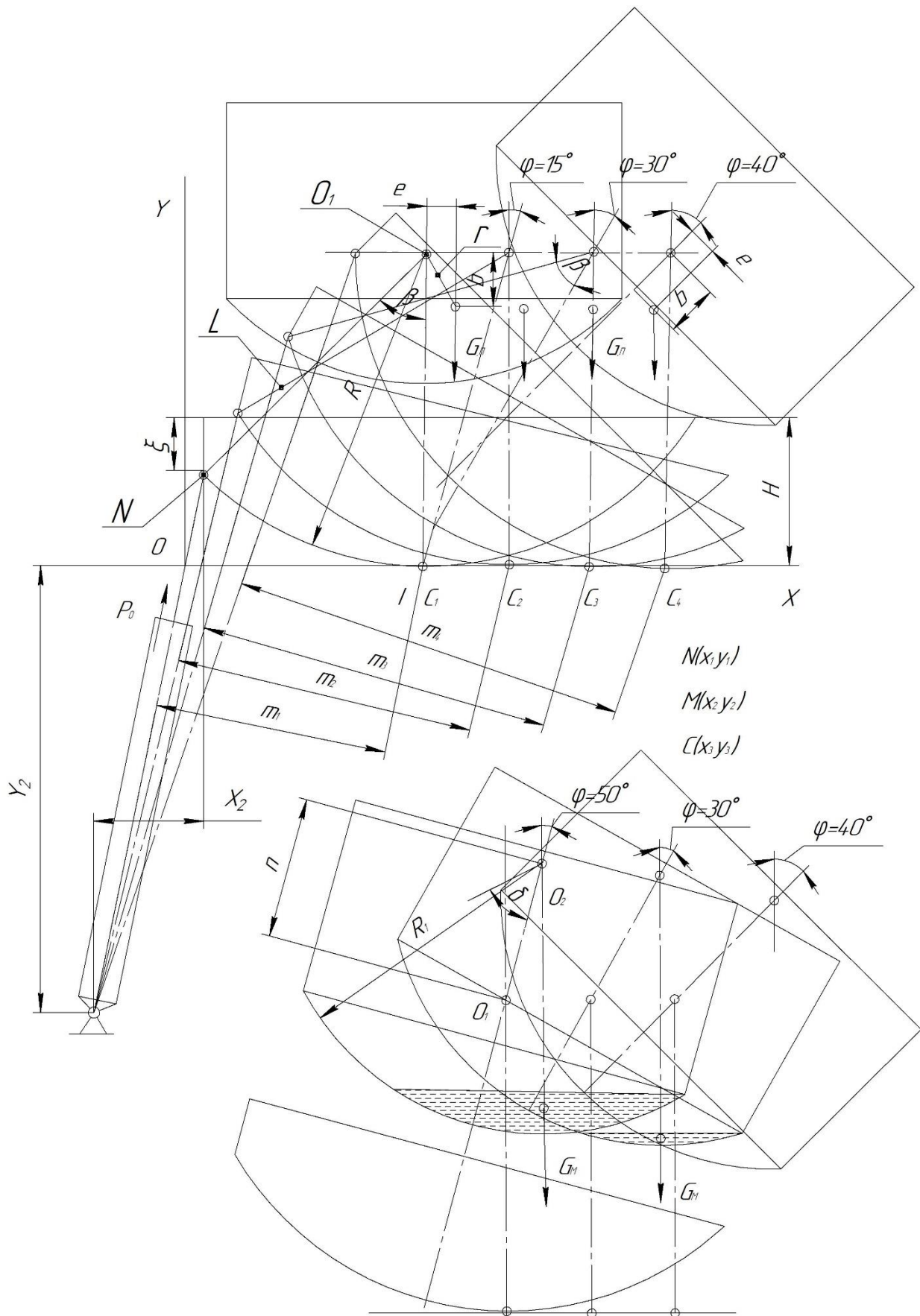


Рисунок 2.2 – Схема до розрахунку механізму нахилу електропечі у різних положеннях

$$M_{II} = G_{II} \cdot a, \quad (2.7)$$

де G_{II} – навантаження маси печі без рідкого металу;

a – плече G_{II} сили при нахилі печі у бік робочого вікна для скачування шлаку на кут 12^0 .

Плече сили G_{II} при нахилу печі на кут $\varphi = 12^0$ при скачуванні шлаку, при нахилі у бік робочого вікна:

$$a = r_0 \cdot \sin(\alpha \pm \varphi) = 0,32 \cdot \sin(38^0 \pm 12^0) = 0,14 \text{ м.} \quad (2.8)$$

Перекидаючий момент, що створюються масою печі для заданого кута нахилу φ ми знайдемо з виразу (Формула 2.7):

$$M_{II} = 233 \cdot 0,14 = 32,6 \text{ кНм.}$$

Момент від ваги металу в печі:

$$M_M = G_M n \cdot \sin \varphi, \quad (2.9)$$

де G_M – вага металу в печі;

n – відстань між центрами O_1 та O_2 , згідно технічної документації на піч;

φ – кут нахилу печі в сторону робочого вікна.

$$G_M = \pi R_1^2 h_M^2 \left(1 - \frac{h_M^2}{3R_1^2} \right), \quad (2.10)$$

де R_1 – радіус ванни печі;

h_M – висота металу в печі;

$$h_M = R_1 (1 - \cos[\delta - \varphi]), \quad (2.11)$$

де $\delta = 46^\circ$ – радіус ванни печі.

$$\begin{cases} h_M = 1,28 (1 - \cos[46^\circ - 12^\circ]) = 0,218 \text{ м}, \\ G_M = 3,14 \cdot 1,28^2 \cdot 0,218^2 \left(1 - \left[\frac{0,218}{3 \cdot 1,28} \right] \right) = 16,0 \text{ кН}, \\ M_M = 16,0 \cdot 0,45 \cdot \sin 12^\circ = 1,49 \text{ кН}. \end{cases}$$

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

$$M_K = (G_H + G_M) k, \quad (2.12)$$

де k - плече деформації, м.

Плече деформації можна визначити в такий спосіб:

$$k = \frac{c}{4}, \quad (2.13)$$

де c – ширина площі опору сегментів з фундаментними балками, м.

По формулі Герца:

$$c = 2,16 \sqrt{\frac{2pR}{E}}, \quad (2.14)$$

де p – навантаження, що доводиться на одиницю довжини двох опорних сегментів, Н/м;

R – радіус сегментів;

$E = 2,0 \cdot 10^{11}$ Па – модуль пружності для сталі.

Погонне навантаження можна підрахувати:

$$p = (G_{II} + G_M) / b, \quad (2.15)$$

де b – сумарна ширина двох опорних сегментів.

Тоді:

$$p = (233 + 16) / 0,34 = 732,0 \text{ кН/м};$$

$$c = 2,16 \sqrt{2 \cdot 732,0 \cdot 10^3 \cdot 0,9 / (2,0 \cdot 10^{11})} = 0,0078 \text{ м};$$

$$k = 0,0078 / 4 = 0,002 \text{ м}.$$

Підставивши отримані величини у вираз (Формула 2.12), отримаємо:

$$M_K = (233 + 16)0,002 = 0,5 \text{ кНм}.$$

Повний розрахунковий перекидний момент тоді буде дорівнює:

$$M_0 = 32,6 + 0,5 - 1,49 = 31,61 \text{ кНм}.$$

Розрахункове зусилля, що діє на шток гідроциліндра механізму нахилу печі можна визначити з вираження:

$$P_0 = M_0 / m, \quad (2.16)$$

де m – плече дії сили.

Плече сили можна визначити за допомогою геометричних перетворень.

Згідно з рисунком (Рисунок 2.2) плече m дії сили це відрізок OC , де крапка O – місце прикладення сили PO (штанги).

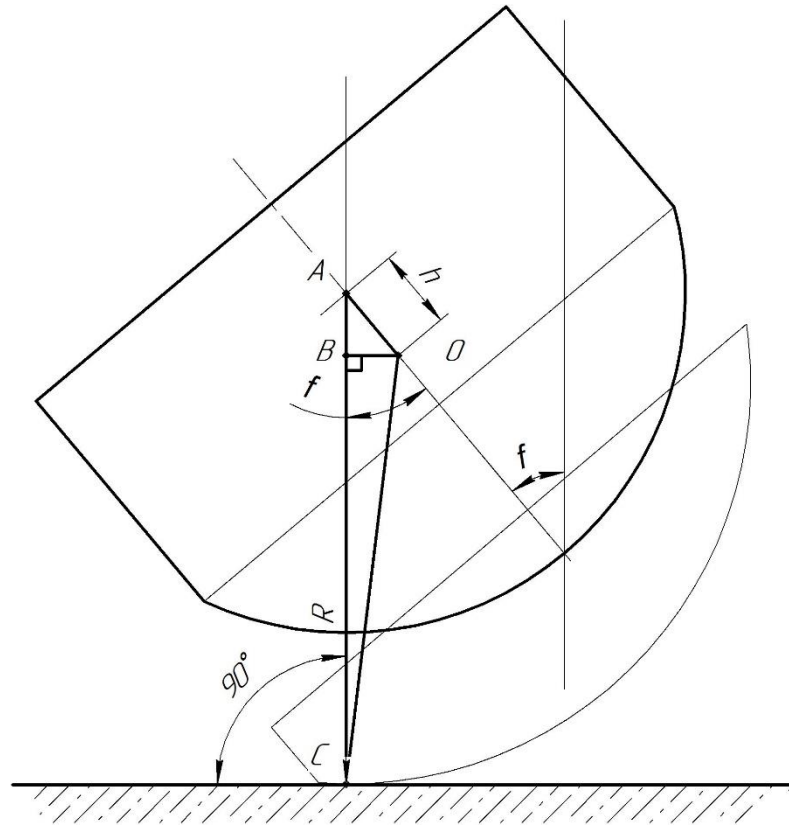


Рисунок 2.3 – Схема до визначення дії плеча m дії сили

Визначимо це його плече, взявши за основу розгляд декількох прямокутних трикутників:

$$\begin{aligned} \angle BAO &= \varphi, \\ \begin{cases} AB = AO \cdot \cos \varphi = h \cdot \cos \varphi, \\ BC = AC - AB = R - h \cos \varphi, \\ BO = AO \cdot \sin \alpha = h \cdot \sin \varphi. \end{cases} & \quad (2.17) \end{aligned}$$

За теоремою Піфагора з виразу (Формула 2.17):

$$CO = \sqrt{DC^2 + BO^2} = \sqrt{(R - h \cdot \cos \varphi)^2 - (h \cdot \sin \varphi)^2} = \sqrt{R^2 - 2Rh \cdot \cos \varphi + h^2 \cdot \sin^2 \varphi} = \sqrt{R^2 + h^2 - 2Rh \cdot \cos \varphi}, \quad (2.18)$$

де h – відстані від точки прикладення сили штанги до центра радіуса опорних сегментів.

Таким чином зазначене значення плеча буде змінюватись залежно від кута нахилу:

$$m = CO = \sqrt{R^2 + h^2 - 2Rh \cdot \cos \varphi}. \quad (2.19)$$

Підставивши відомі значення в формулу (Формула 2.19) отримаємо:

$$m = CO = \sqrt{1,1^2 + 0,2^2 - 2 \cdot 1,1 \cdot 0,2 \cdot \cos 12^\circ} = 0,82 \text{ м.}$$

Розрахункове зусилля, що діє на шток гідроциліндра механізму нахилу печі згідно виразу (Формула 2.16):

$$P_0 = \frac{31,61}{0,82} = 38,56 \text{ кН.}$$

Розрахунок для інших положень печі треба проводити за вище наведеною методикою, та приведемо в вигляді таблиці (Таблиця 2.2).

За результатами розрахунків, що приведено у таблиці, бачимо, що найбільше навантаження на шток відбувається при нахилу печі на кут 40° в сторону зливного носка при зливанні металу.

Таким чином максимальне розрахункове зусилля дорівнює:

$$P_0 = 80,46 \text{ кН.}$$

Таблиця 2.2 – Результати розрахунків для положень печі

№	Параметр		Кут нахилу			
			12 ⁰	15 ⁰	30 ⁰	40 ⁰
1	φ	град.	12 ⁰	15 ⁰	30 ⁰	40 ⁰
2	a	м	0,14	0,25	0,296	0,313
3	t	м	0,8196	0,8249	0,8689	0,9129
4	P_0	кН	38,56	74,31	80,3	80,46
5	G_{II}	кН	233,0	233,0	233,0	233,0
6	G_M	кН	16,0	11,36	0,89	0,0017
7	M_{II}	кНм	32,6	59,5	69,3	73,0
8	M_M	кНм	1,49	1,32	0,2	0,005
9	M_K	кНм	0,5	0,48	0,46	0,45

2.2 Розрахунок гідравлічного циліндра електродугової печі

Необхідна сила, яка діє на площу поршня циліндра дорівнює:

$$F = P_0 k, \quad (2.20)$$

де P_0 – розрахункове зусилля, що діє на шток гідроциліндра механізму нахилу електродугової печі;

$k = 1,1 - 1,3 \approx 1,3$ – коефіцієнт безпеки.

Підставивши у вираження (Формула 2.20) ми отримаємо наступне:

$$F = 80,46 \cdot 1,3 = 104,6 \text{ кН.}$$

Корисна площа поперечного перерізу поршня визначається за формулою:

$$S = \frac{F}{P_p}, \quad (2.21)$$

де F – зусилля на поршні електродугової печі;

$P_p = 5,5$ МПа – робочий тиск.

У виразі (Формула 2.21) корисна площа поперечного перерізу поршня ще відповідає виразу:

$$S = \pi D^2 / 4, \quad (2.22)$$

Необхідний діаметр поршня визначається за наступною формулою з виразу (Формула 2.22):

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot P_p \cdot \eta_{\text{ц}}}}, \quad (2.23)$$

де $\eta_{\text{ц}} = 0,9$ – ККД гідроциліндра механізму нахилу електродугової печі.

Підставивши у вираз (Формула 2.23) значення, отримаємо:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 104,6}{3,14 \cdot 10^3 \cdot 5,5 \cdot 0,9}} = 0,164 \text{ м.}$$

Приймаємо стандартний діаметр поршня гідроциліндра $D = 160$ мм згідно з ДСТУ 6540-68.

Діаметр штока визначається з наступної умови:

$$d_{\text{ш}} = 0,7 \cdot D = 0,7 \cdot 160 = 112 \text{ мм.} \quad (2.24)$$

Приймаємо з умови ДСТУ 6540-68: $d_{\text{ш}} = 110$ мм.

З урахуванням того, що площа штоку не є корисною при роботі системи, то необхідно скорегувати розрахунки, а саме:

$$S_H = S_{II} + S_{III} = \frac{\pi}{4}(D^2 + d_{III}^2), \quad (2.25)$$

де S_{II} – площа поршня гідроциліндра нахилу електродугової печі;

S_{III} – площа штока гідроциліндра нахилу електродугової печі.

Підставивши у вираз (Формула 2.25) значення, отримаємо:

$$S_H = \frac{3,14}{4}(0,16^2 + 0,11^2) = 0,02956 \text{ м}^2.$$

Тоді необхідний розрахунковий діаметр поршня нахилу електродугової печі з виразу (Формула 2.23) буде:

$$D_{II} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,02959}{3,14}} = 0,194 \text{ м.}$$

Остаточно приймаємо стандартний діаметр поршня для механізму нахилу електродугової печі: $D_{II} = 200$ мм по ДСТУ 6540 – 68.

Витрата робочої рідини на роботу:

$$Q = V \cdot S = V \frac{\pi D^2}{4}, \quad (2.26)$$

де V – лінійна швидкість переміщення поршня;

S – корисна площа поперечного перерізу поршня.

Визначаємо необхідну витрату робочої рідини з виразу (Формула 2.26), при лінійній швидкості переміщення поршня $v = 0,005$ м/с витрата буде:

$$Q = 0,005 \frac{3,14 \cdot 0,2^2}{4} = 0,000157 \text{ м}^3/\text{с}.$$

При переводі в іншу одиницю виміру:

$$Q = 0,000157 \frac{1000}{1/60} = 9,42 \text{ л/хв.}$$

Зовнішній радіус циліндра:

$$R_k = R_o \sqrt{\frac{\sigma_p + 0,4 P_y}{\sigma_p - 1,3 P_y}}, \quad (2.27)$$

де R_o – внутрішній радіус циліндра,;

$\sigma_p = 70$ МПа – напруга розтягання для сталі;

P_y – розрахунковий тиск;

P_k – зовнішній радіус циліндра.

$$R_o = d/2 = 0,11/2 = 0,05 \text{ м}, \quad (2.28)$$

$$P_y = 1,2P = 1,2 \cdot 6,3 = 7,56 \text{ МПа}, \quad (2.29)$$

Зовнішній радіус циліндра з виразу буде (Формула 2.27):

$$R_k = 100 \sqrt{\frac{70 + 0,4 \cdot 7,56}{70 - 1,3 \cdot 7,56}} = 110 \text{ мм.}$$

Приймаємо: $R_k = 110$ мм, $D_H = 220$ мм.

Товщина стінки циліндра:

$$t_C = R_k - R_0 = 110 - 100 = 10 \text{ мм.} \quad (2.30)$$

Товщина плоского денця гідроциліндра:

$$t_D = 0,405 D_H \sqrt{\frac{P_y}{\sigma_p}} \text{ мм.} \quad (2.31)$$

Підставивши у вираз (Формула 2.31) отримаємо:

$$t_D = 0,405 \cdot 200 \sqrt{\frac{4,56}{70}} = 26,6 \text{ мм.}$$

Приймаємо товщину плоского денця гідроциліндра: $t_D = 28 \text{ мм.}$

2.3 Перевірочний розрахунок штанги гідроциліндра

$$F_k = k \frac{\pi^2 E \cdot I}{L^2} \geq F_\phi, \quad (2.32)$$

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

$E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ – модуль пружності матеріалу штока;

I – момент інерції перетину штока;

$L = 1,5 \text{ м}$ – довжина стикової ділянки.

$$I = \frac{\pi D^4}{64} = 0,05 D^4 \quad (2.33)$$

$$F_{KP} = 1 \frac{3,14^2 (2 \cdot 10^5) 0,05 \cdot 0,14^2}{1,5^2} = 1,7 \text{ МН.}$$

$$F_{KP} = 1,7 \geq F_{\phi} = 0,08046.$$

Умова виконана.

2.4 Перевірочний розрахунок гідроциліндру на міцність

Тут напруга розтягання на внутрішній поверхні стінки гідроциліндра обчислюється:

$$\sigma_P = 10^{-2} \frac{0,4r^2 + 1,2R_0^2}{R_0^2 - r^2} \rho_Y \leq [\sigma_P], \quad (2.32)$$

де $R_0 = 110$ мм – зовнішній радіус гідроциліндра;

$r = 100$ мм – внутрішній радіус гідроциліндра;

$\rho_Y = 7,56$ МПа – умовний тиск рідини;

$[\sigma_P] = 120$ МПа – допустиме напруження, на розтягання.

Підставивши значення у вираз (Формула 2.31) отримаємо:

$$\sigma_P = 10^{-2} \frac{0,4 \cdot 0,1^2 + 1,2 \cdot 0,11^2}{0,11^2 - 0,1^2} 7,56 = 0,7 \leq 120 \text{ МПа.}$$

Отримане значення доводить, що міцність гідроциліндра забезпечена. На рисунку (Рисунок 2.4) надана схема розрахунку циліндра на міцність.

За даними, які були отримані розрахунками, побудуємо два графіки залежностей:

а) зусилля на штоку гідроциліндра для різних положень кута φ ;

б) перекидаючого моменту на штоку гідроциліндра для різних положень кута φ .

Таблиця 2.3 – Зусилля на штоку гідроциліндра й перекидаючий момент при різних положень кута нахилу φ

№	Величина	Положення кута φ					
		-12°	0°	10°	20°	30°	40°
1	$P_o(P)$, кН	-90	70	7,7	43	75	104
2	$M_o(P)$, кНм	-309	365	50	333	657	1023

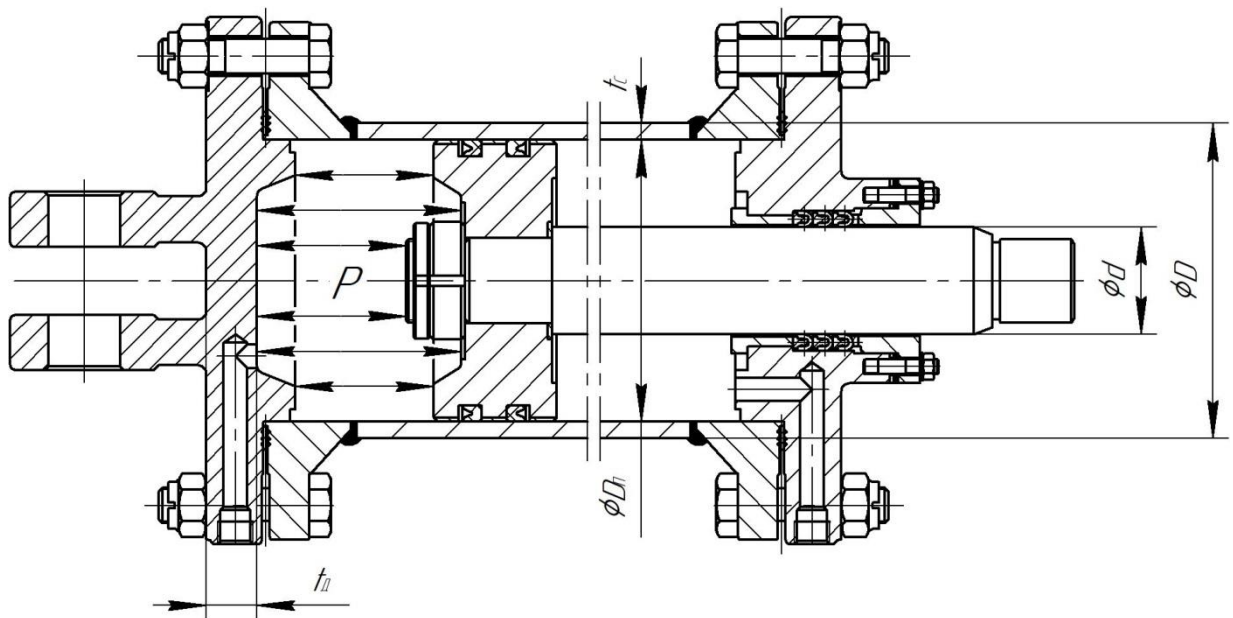


Рисунок 2.4 – Схема розрахунку циліндра на міцність

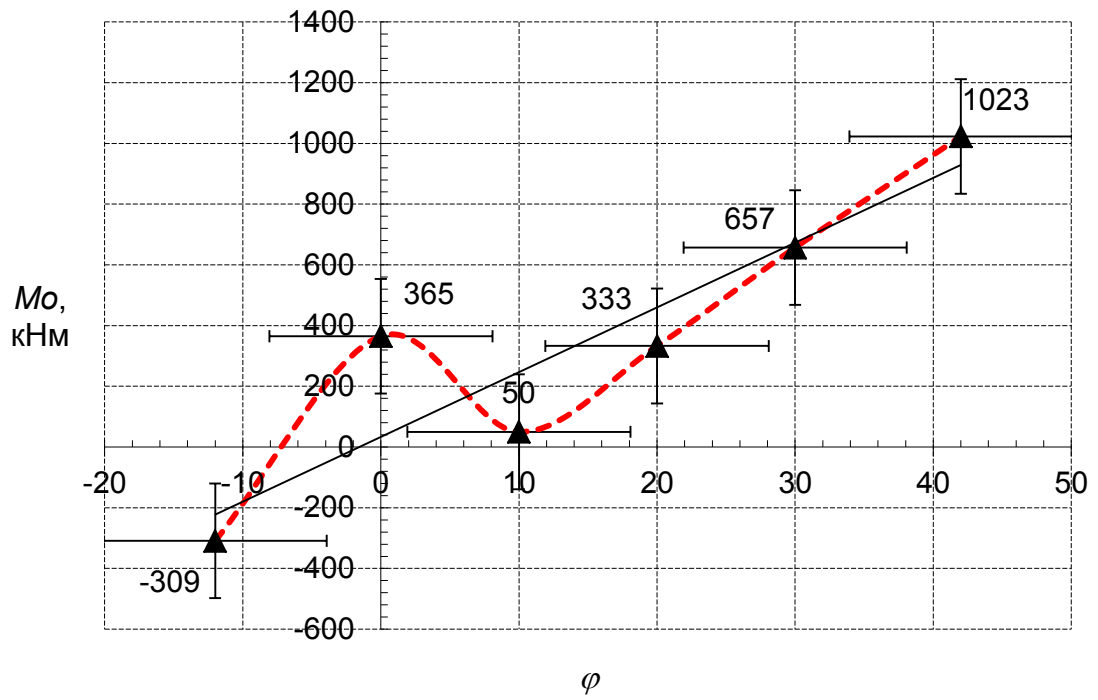


Рисунок 2.5 – Графік залежності перекидаючого моменту M_O від кута повороту печі φ

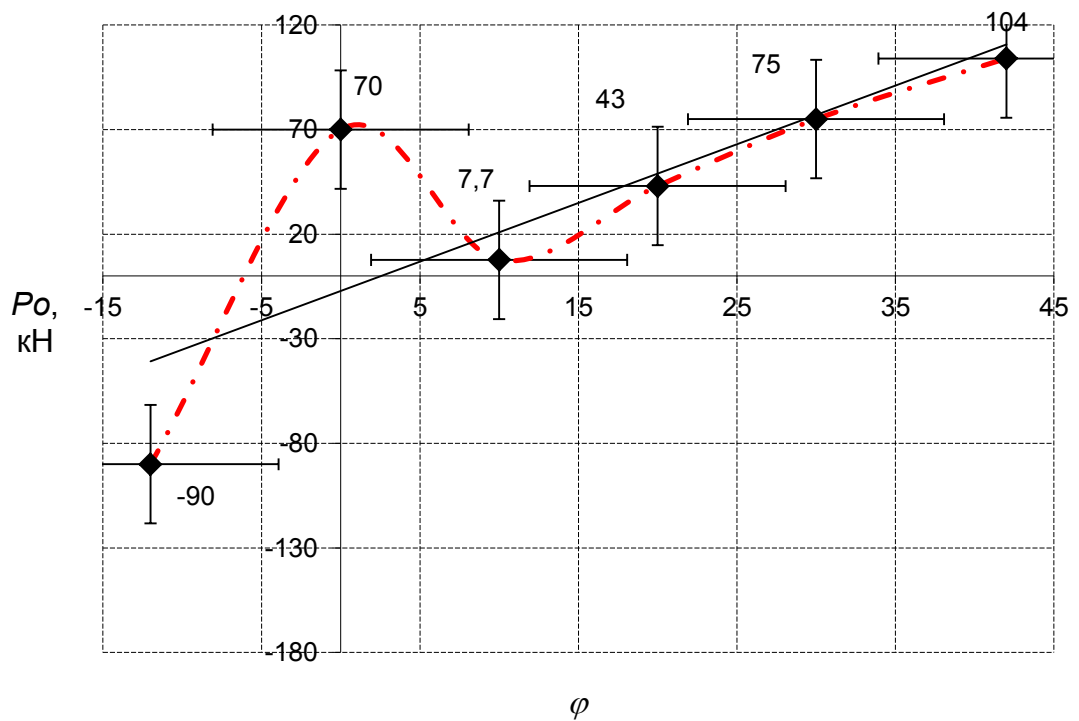


Рисунок 2.6 - Графік залежності зусилля на штоку P_O від кута повороту φ

3. ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА

Механізми нахилу дугових сталеплавильних печей діляться на секторний, роликовий і цапфовий [2].

Піч із секторним механізмом нахилу опирається на два (у деяких випадках на чотири) гладких або зубчастих сектори, що перекочуються по плоских опорах. При цьому зливальний носок, опускаючись, переміщається вперед.

Піч з роликовим механізмом нахилу опирається на систему роликів (з нерухомими або з рухливими осями), об'єднаних у спеціальні сепаратори. При нахилі піч повертається щодо нерухомої осі, розташованої недалеко від центра ваги печі, а зливальний носок опускається й переміщається назад.

Печі із цапфовим механізмом нахилу опирається на дві цапфи, розташовані в зливального носка. У цьому випадку нерухома вісь розташована на значній відстані від центра ваги печі й зливальний носок переміщається незначно.

Найбільш широке поширення одержав секторний механізм нахилу. Роликовий механізм застосовують рідше, тому що у великих печей через значне відхилення зливального носка назад утрудняється злив металу в ківш. Цапфовий механізм нахилу, у якому створюються великі зусилля нахилу, застосовують рідко й тільки в тому випадку, коли потрібно забезпечити мінімальні переміщення струменя металу при розливанні.

Незалежно від конструкції до механізму нахилу пред'являються високі вимоги довговічності й надійності роботи, забезпечення легкого й плавного нахилу печі на необхідний кут з необхідною швидкістю й виключення перекидання печі при нахилі [1].

До механізмів металургійних машин, що працюють в складних технологічних лініях, пред'являються особливі вимоги. Вони повинні бути прості і надійні в роботі, допускати легке регулювання і швидко заміну деталей або блоків при ремонтах [4].

Крім того, механізми повинні відповідати умовам точності відтворення заданих переміщень. Такі вимоги є цілком природними, так як зупинка будь-якої однієї машини тягне за собою або зупинку всієї лінії в цілому, або порушення нормального потоку заготовок [5].

Щонайкраще всім цим вимогам відповідає гідропривод, що пояснюється наступними його перевагами порівняно з електромеханічним приводом [14]:

- плавне безступінчасте регулювання швидкості руху робочих органів машин;
- більша перевантажувальна здатність;
- менша маса й розміри, що доводяться на одиницю переданої потужності;
- мала інерційність привода, що особливо важливо для машин, що працюють у повторно-короткочасному режимі, тому що робота, спричинена приводом або гальмом у періоди пуску й гальмування, суттєво залежить від моменту інерції обертових частин або маси поступально рухомих частин привода;
- порівняльна простота здійснення автоматизації керування й захисту; висока надійність і довговічність. [16]

Таким чином вибір гідроприводу в якості виконавчого механізму для нахилу електродугової печі обумовлений простотою виготовлення, відносною дешевизною, надійністю та простотою експлуатації.

Але застосування механічних приводів має сенс на печах малої змістовності та нічим не поступається гідравлічним, а по недбайливості та простоті виконання навіть перевершують його.

3.1 Дослідження роботи гідроприводу привода механізму нахилу електросталеплавильної печі

Гідропривід у механізмі печі є одним з важливіших, оскільки забезпечують ефективне виконання робочих процесів з високими показниками

енергоефективності, бо при його роботі потрібна висока точність та висока чутливість. Проте гідроциліндри з гідроприводами є ще й чутливими до навантаження, а тим паче під час того, коли процеси відбуваються при постійним перепаду тиску на дроселюючих елементах блока керування.

Майже найкращім, через свою простоту та ефективність є схема гідроприводу чутливого до навантаження, яка побудована на основі застосування переливного клапана у гідророзподільнику [21].

Також головною частиною ефективності роботи гідроприводу є стійкість його роботи, яка залежить від стійкості протікання перехідних робочих процесів в усіх трубопроводах та елементах гідроприводу, що забезпечується його конструктивними особливостями, та крім цього, ще одною важливою характеристикою – це забезпечення стійкості робочих процесів при різних режимах його роботи. Під час роботи гідроприводу у режимі розвантаження можуть виникнути втрати потужності через те що робота переливного клапан відбувається із надто високою величиною зрівноважувального перепаду тиску [21].

Також у процесі тривалої роботи рідина у системі нагрівається, через це й відбуваються механічні та гідравлічні втрати у насосі та гідросистемі. Особливо це істотно видно на електродугових печах, де зі зростанням температури знижується в'язкість і підвищуються качки рідини у вузлах гідроприводу, а отже – і витрата через елементи, що дроселюють [9].

Завдяки результатам теоретичних та експериментальних досліджень проведених вченими [9], з'ясовано, що дроселя і швидкість переміщення робочого органу при роботі під навантаженням може додатково знижуватися або підвищуватися, в залежності від:

- а) схеми та конструкції вузлів гідроприводу;
- б) точності виготовлення золотникових пар гідравлічних апаратів;
- в) герметичності та температурної характеристики.

Тому розглянемо дві гідравлічні схеми, які дозволяють покращити роботу гідросистеми електродугової печі. Вони представлені у додатках (Додаток Рисунок Д.3.1) та (Додаток Рисунок Є.3.2).

На рисунку (Рисунок 3.1) надано схема гідроприводу дугової електросталеплавильної печі місткістю 1,5 тони та якщо порівняти її зі схемою «Схема гідроприводу чутливого до навантаження на базі мультирежимного гідророзподільника» [21], то ми побачимо, що вони дуже схоже. Через це теоретичні досліді гідроприводу механізму нахилу дугової електросталеплавильної печі ми будемо спираючись на роботу по дослідженню стійкості роботи гідроприводу, чутливого до навантаження, на базі мультирежимного гідророзподільника [21].

3.1.1 Дослідження стабільності руху гідроциліндрів механізму нахилу електросталеплавильної печі

Проведемо аналіз, з якими елементами гідроприводу контактує рідина та йде її нагрівання, окрім зовнішніх факторів, таких як близьке розташування розпечених елементів корпусу печі та рідкої сталі.

При спрацюванні гідропривода механізму нахилу електросталеплавильної печі, а саме, коли починається та ведеться його довга робота по нахилу печі з рідким металом усереднені, то тоді, у результаті цього, збільшується кількість виливів рідини через ущільнювачі поршня гідроциліндрів щілини іншої гідравлічної апаратури.

Фактична витрата рідини, що надходить до двох гідроциліндрів та відповідає за нахил печі з заданою швидкістю дорівнює:

$$Q_{IP} = Q_D + \Delta Q_{II} + \Delta Q_K + \Delta Q_{P1} + \Delta Q_{P2} + \Delta Q_{KL}, \quad (3.1)$$

де Q_D – номінальна витрата рідини через щілину дроселя регулятора витрати;

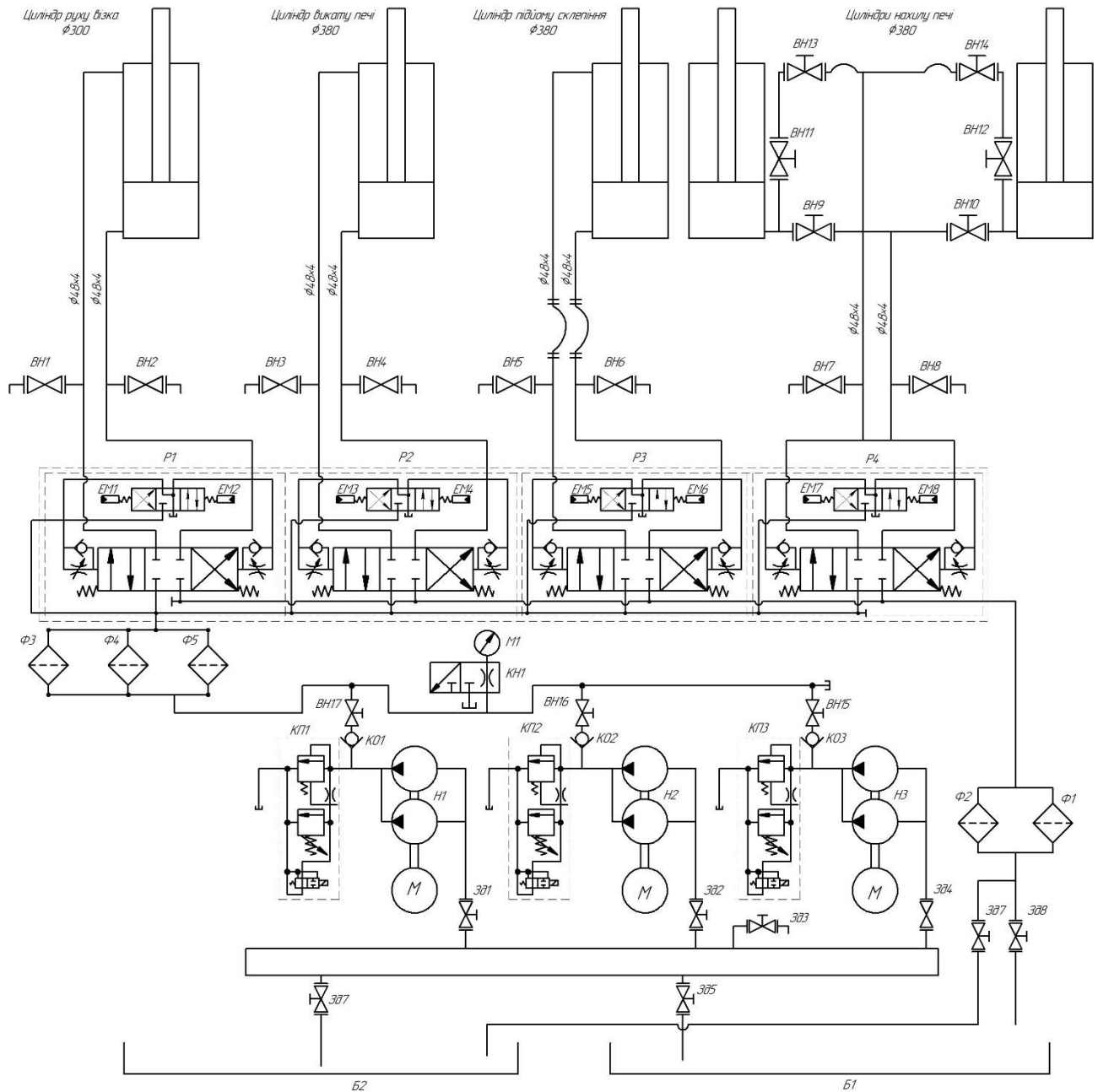


Рисунок 3.1 – Схема гідроприводу дугової електросталеплавильної печі місткістю 1,5 тони

ΔQ_{Π} – перетікання рідини через ущільнення поршня зі штокової порожнини в поршневу;

ΔQ_K – витікання рідини через кільце-вий зазор грибка продуктивного клапана регулятора витрати;

ΔQ_{P1} – витоки через зазори реверсивного розподільника;

ΔQ_{P_2} – витоки через зазори в перекриттях розподільниках та перемикаючого робочої подачі.

ΔQ_{KL} – витоки через зазор в перекритті гідравлічного клапана для швидкого перемикання.

Реальні витоки рідини для обладнання:

$$\Delta Q = \Delta Q_{НОМ} \left(\frac{\Delta p}{P_{НОМ}} \right), \quad (3.2)$$

де $\Delta Q_{НОМ}$ – номінальний перепад тиску;

Δp – витрата рідини через механізм.

Витоки рідини через щілини:

$$\Delta Q = \frac{\pi d \cdot \Delta p \cdot \delta^3}{12 \cdot \mu \cdot l}, \quad (3.3)$$

де d – діаметр золотника;

δ – зазор по діаметру між золотником та корпусом;

Δp – перепад тиску;

μ – динаметрична в'язкість рідини;

l – довжина перекриття золотника.

Витоки рідини через щілини з умови ексцентричного розташування золотників:

$$\Delta Q = \frac{\pi d \cdot \Delta p \cdot \delta^3}{12 \cdot \mu \cdot l} (1 + 1,5\varepsilon^2), \quad (3.4)$$

де ε – відносний ексцентриситет щілини.

$$\varepsilon = \frac{e}{\delta}, \quad (3.5)$$

Витоки рідини через щілини з умови ексцентричного розташування золотників та якщо відносний ексцентриситет дорівнює 1, то розрахунок ведеться також як й по формулі (Формула 3.3).

Відхилення оцінювання швидкості подавання штанги гідроциліндра розраховується:

$$\Delta s = \frac{s - s_0}{s_0} \cdot 100\%, \quad (3.6)$$

де s – теперішній показчик швидкості подавання;

s_0 – на перше, що була встановлена швидкість подавання.

Витрати рідини через зазори між золотником та корпусом підраховується:

$$Q = r(p - p_1), \quad (3.7)$$

де p – тиск до щілини у гідроапаратурі;

p_1 – тиск після щілини у гідроапаратурі.

Середнє значення коефіцієнту витоків:

$$Q = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{p_i} Q_i, \quad (3.8)$$

де Q_i – кількість витоків у системі;

p_i – різний тиск у системі під час витоків.

При виробництві на забрудненій рідині відбувається заклинення діаметрального зазору між золотником і корпусом клапана-регулятора витрати

– частинками забруднень. Через це редукційний клапан перестає працювати повноцінно та й регулятор витрати працює як дросель, при цьому знижується стабільність подачі штанги, через зміну потоку рідини, а також внаслідок більш інтенсивного забруднення щілини дроселю. Це можна побачити на результатах досліджень роботи гідроприводу механізму нахилу печі при висуненні штанги на графіку (Рисунок 3.2), а саме – це коли подача менше ніж за 1 хв безперервно знижується і через 7 хв відхилення подачі може досягати 3 % від встановленого початкового значення.

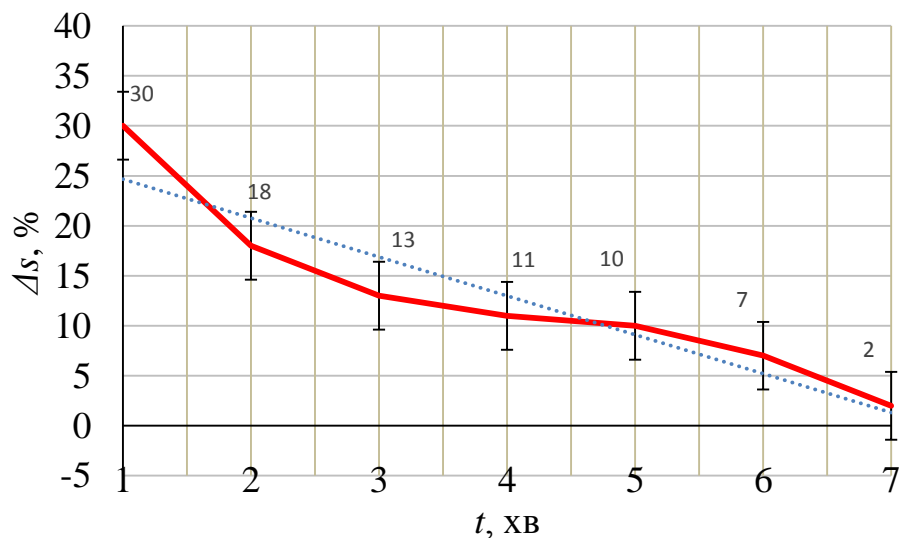


Рисунок 3.2 – Нестабільність величини переміщення штанги

Проведене дослідження дозволило оцінити можливість нестабільної подачі рідини як відносно часу так і відносно зміни температури рідини.

3.1.2 Дослідження стійкості роботи гідроприводу

Коли працює гідропривід в режимі регулювання витрати, то гідродвигуна розподільний золотник робочої секції зміщується на малу відстань, через що робоча рідина від гідронасоса розподіляється на два потоки:

- 1) надходить до поршневої камери гідроциліндра через робочу секцію;

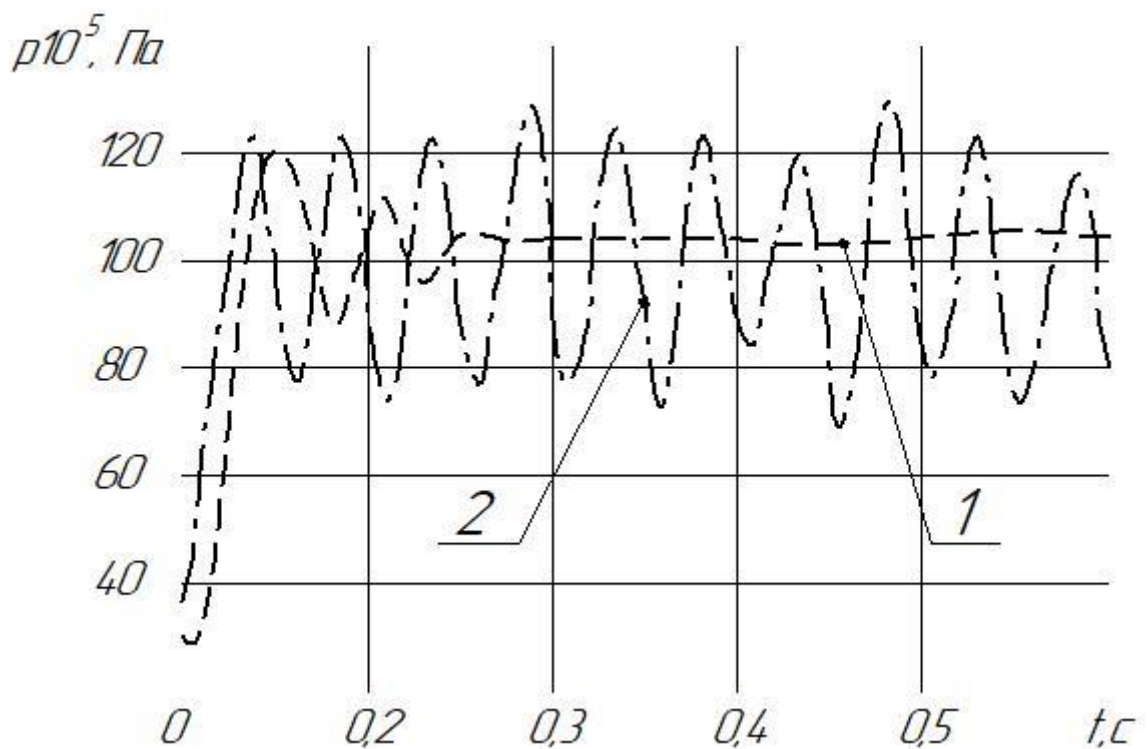
2) надходить до запобіжно-переливної секції.

В цьому режимі буде постійне значення величини зрівноважувального перепаду тиску:

$$\Delta p = p_H - p_T = \frac{(c \cdot H)}{f_x}, \quad (3.9)$$

У виразі (Формула 3.9) перепад тиску Δp складає 0,7–0,8 МПа. З графіка (Рисунок 3.3) видно перехідні процеси [21]:

- а) стійкий процес – лінія 1, де видно, що він затухаючий коливальний;
- б) нестійкий процес – лінія 2, де видно, що він автоколивальний.



1 – стійка крива; 2 – не стійка крива

Рисунок 3.3 – Графік перехідних процесів

З графіку (Рисунок 3.4) виходить, що при підвищенні температури рідини від 20°C до 80°C – навантаження становить $P_{Ц} \leq 200 \cdot 10^5$ Па, а найменшим

запасом стійкості є точка на графіку з параметрами $P_{Ц} = 200 \cdot 10^5$ Па і $Q_{Ц} = 1,3 \cdot 10^{-3}$ м³/с [21].

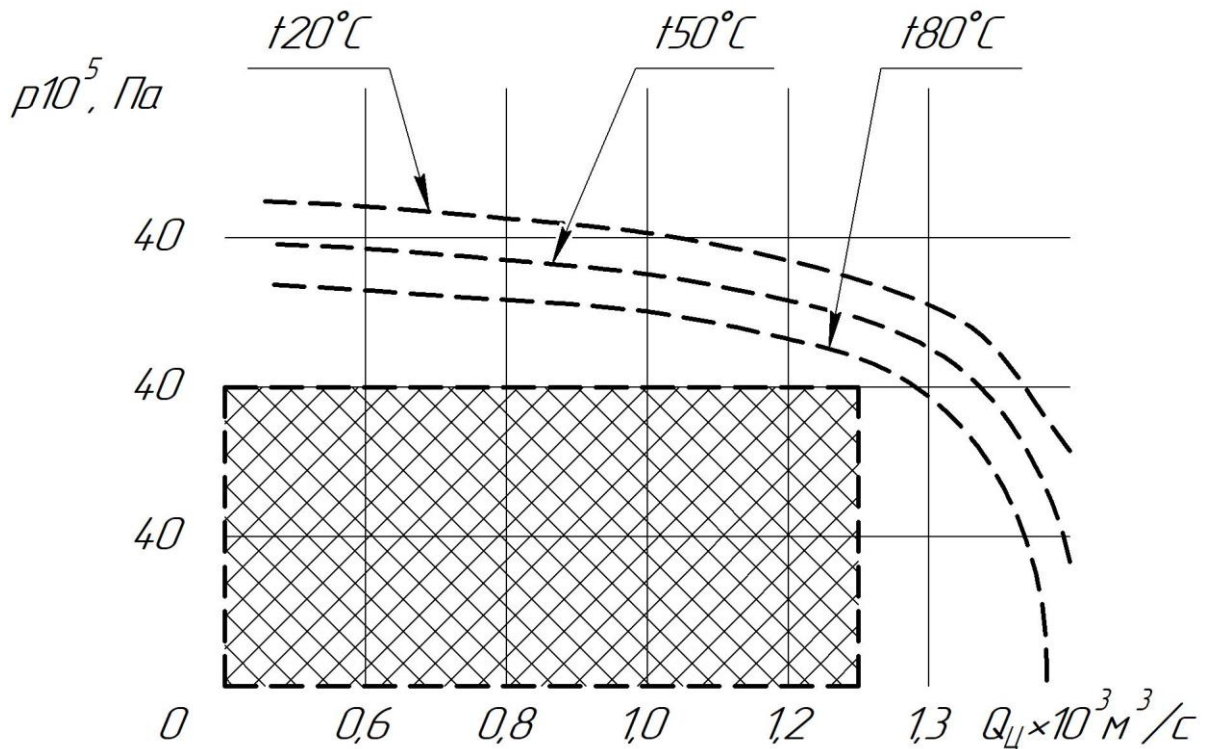


Рисунок 3.4 – Стійкість гідроприводу при зміні навантаження

З графіку (Рисунок 3.5) – при зменшенні жорсткості пружини гідрозамка с ЗМ, то збільшується область стійкості гідроприводу та дозволяє зменшити діаметр гідрозамка $d_{ЗМ}$, та забезпечується стійкість гідроприводу при підключенні більших гідроциліндрів [21].

З графіку на рисунку (Рисунок 3.6) по стійкості гідроприводу при зміні параметрів переливного клапана видно, що стійкість гідроприводу збільшується при збільшенні жорсткості пружини с переливного клапана, а саме [21]:

- а) діаметра золотника переливного клапана;
- б) діаметра хвостовика переливного клапана;
- в) жорсткості пружини, що регулює положення золотника переливного клапана.

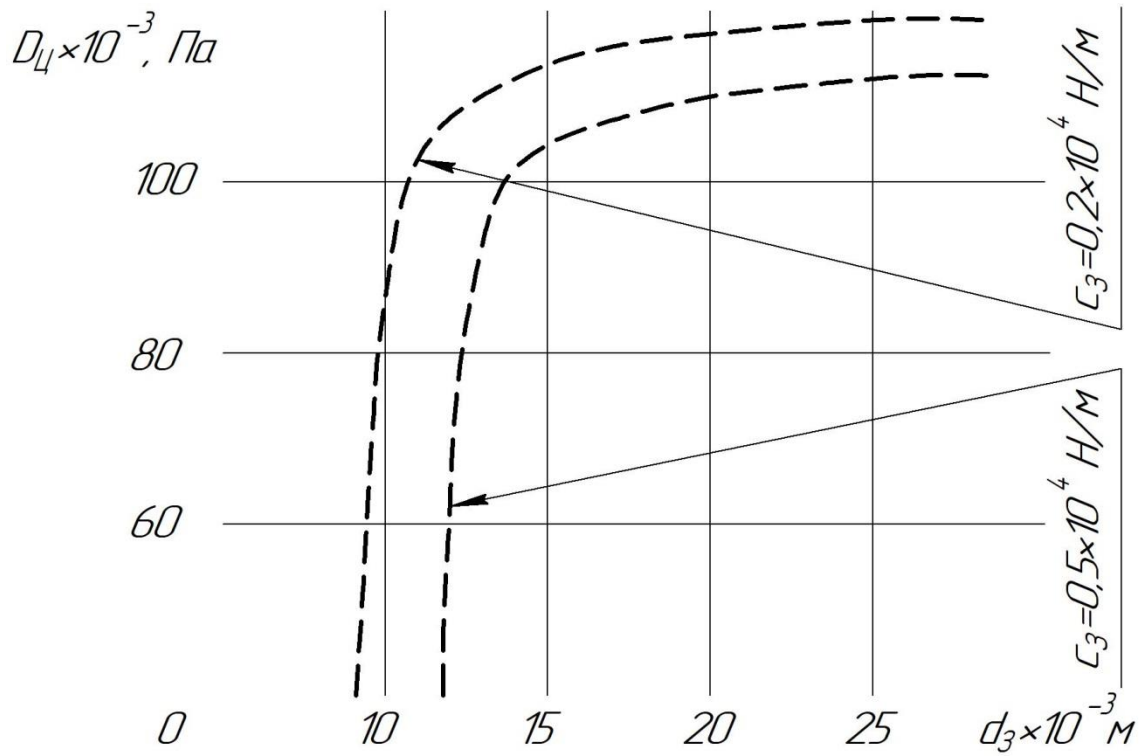


Рисунок 3.5 – Стійкість гідроприводу при зміні діаметру гідроциліндра

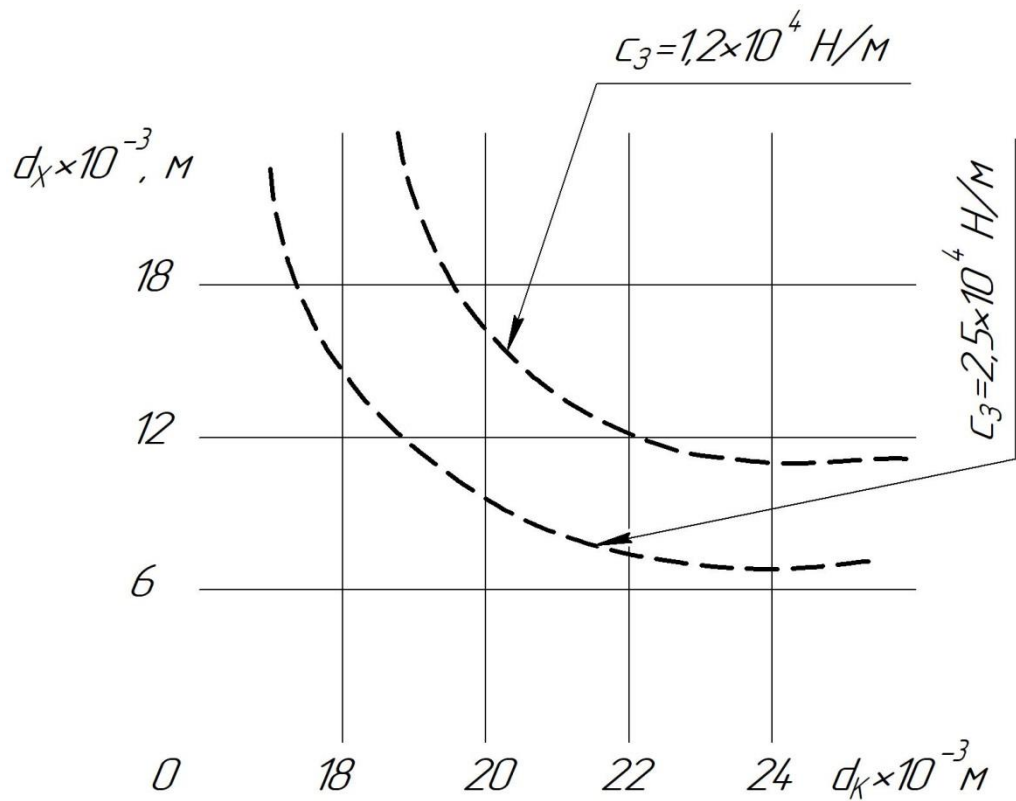


Рисунок 3.6 – Стійкість гідроприводу при зміні параметрів переливного клапана розподільника

З графіка на (Рисунок 3.7) видно, що стійкості гідроприводу збільшується при більшим куті нахилу кромки золотника переливного клапана [28].

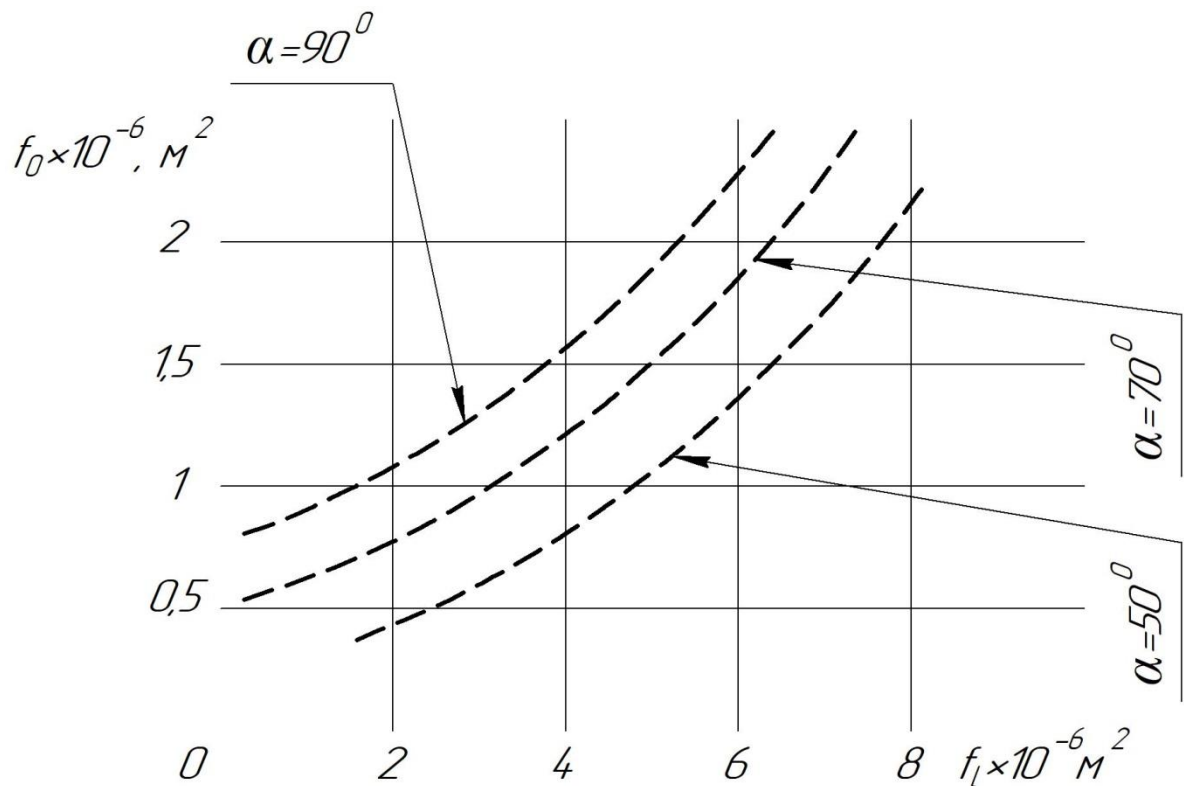


Рисунок 3.7 – Стійкість гідроприводу при зміні параметрів переливного клапана розподільника

Після дослідження стійкості гідросистеми електродугової печі, до складу якої входить не тільки привод нахилу печі але й ще трьох елементів печі, то було зазначено, що при роботі гідроприводу в умовах великого навантаження $P_{Ц}$, які характерні при випуску сталі з печі, коли працює механізм нахилу печі як у бік робочого вікна, для скачування шлаку, так і в бік зливного носка, для зливу сталі та при температурі рідини порядку $t = 80^\circ\text{C}$ спостерігається можливість втрати стійкості гідроприводу. Це може сигналізувати й сигналізує про те, що необхідно провести теоретичне обслуговування для поліпшення технічних характеристик гідроприводу при вказаних умовах.

Стійкість гідроприводу забезпечується конструктивними параметрами:

- а) діаметр гідроциліндра $D_{Ц}$;

- б) діаметр контактної поверхні гідрозамка d_3 ;
- в) жорсткість пружини гідрозамка c_3 ;
- г) діаметр золотника переливного клапана d_K ;
- д) діаметр хвостовика золотника переливного клапана d_X ;
- е) жорсткість пружини золотника переливного клапана c ;
- ж) кут нахилу кромки золотника переливного клапана α ;
- з) площа радіальних отворів хвостовика переливного клапана f_I ;
- и) площа допоміжного дроселя переливного клапана f_0 .

3.2 Побудова твердо-тільних елементів та моделі із файлами типу «Solid»

Твердо-тільне моделювання елементів потрібно для того, щоб зменшити рутинне навантаження по розрахункам на міцність елементів обладнання. Та необхідно для того, щоб або візуальне наочно побачити модель майбутнього обладнання, що видно як виглядає електродугова сталеплавильна піч або попередньо на цій моделі провести дослідження на те – як це обладнання буде працювати при деяких умовах, що частково представлено на рисунках (Рисунок 3.8) і (Рисунок 3.9).

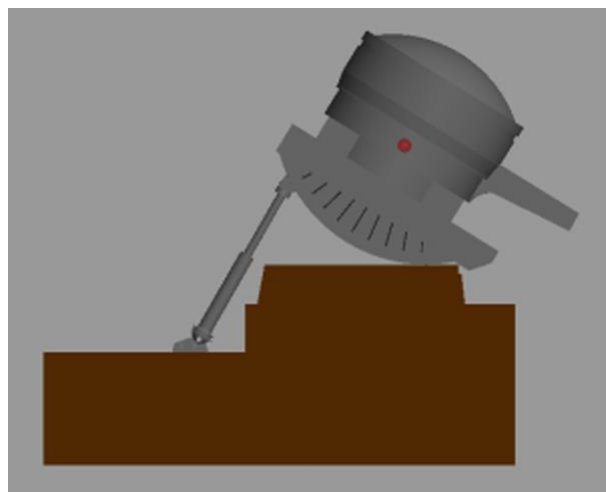


Рисунок 3.8 – Модель електросталеплавильної печі у положенні максимального нахилу у сторону зливного носка 40°

Для побудови твердо-тільних елементів використовуємо графіку моделювання печі у зборі (Рисунок 3.8), виключивши або спростивши деякі несуттєві елементи, але зберігши масу всієї конструкції.

Також побудуємо твердо-тільний елемент гідроприводу, а саме частину гідроциліндра – штангу, та проведемо перевірки її на міцність та інші, що буде відображатися в автоматичному звіті (Рисунок 3.14а,б,г,д,є,ж,к).

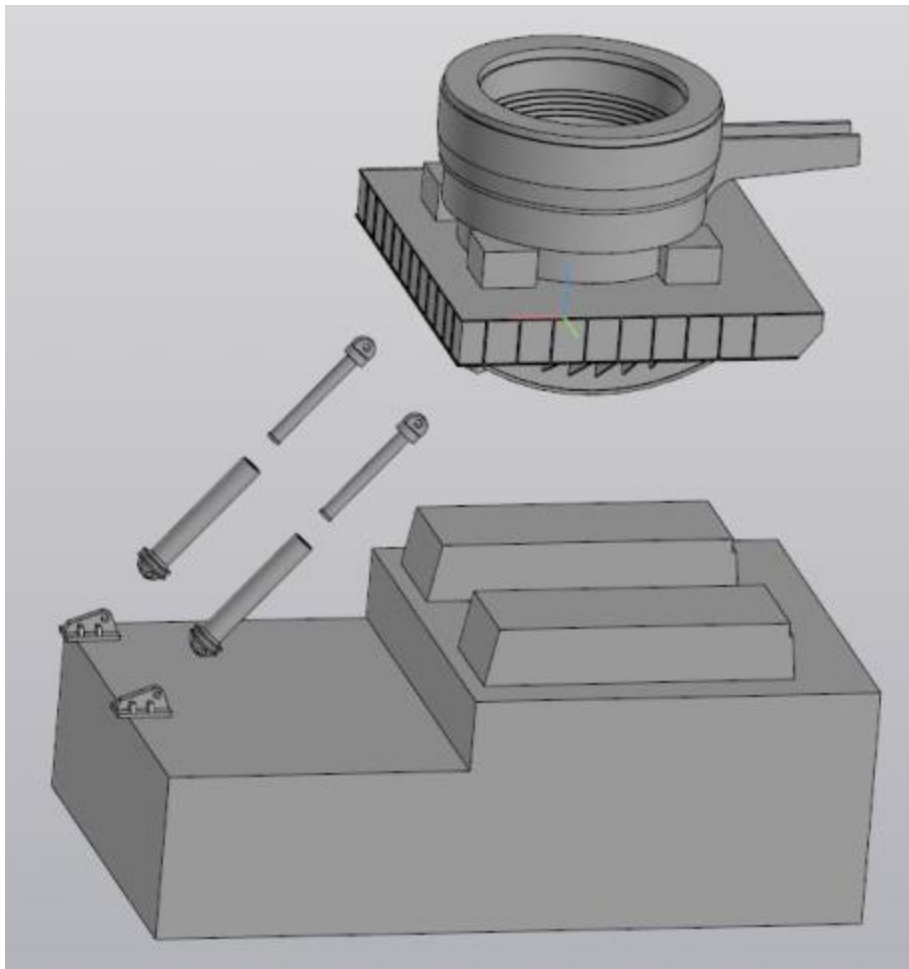


Рисунок 3.9 – Модель складальної одиниці по основним елементам механізму нахилу електросталеплавильної печі

Отримані графічні осцилограми на цьому моделюванні дозволяють зробити поверхневі висновки, а саме: як видно, графіки схожі за сукупністю характеристик, проте їх значення кардинально відрізняються. Тиск змінився абсолютно лінійно порівняно з попередніми значеннями. Витрата в середньому

збільшилася приблизно в 2 рази, що сходиться з кратністю зміни витрати насоса. Зусилля на штоку змінилося у бік, а коливання його значень на старті злегка стабілізувалося.

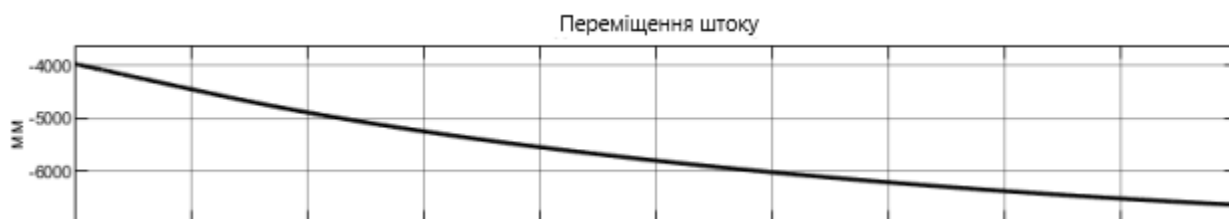


Рисунок 3.10 – Осцилограма переміщення штоку



Рисунок 3.11 – Осцилограма зусилля на штоці



Рисунок 3.12 – Осцилограма витрат рідини



Рисунок 3.13 – Осцилограма переміщення

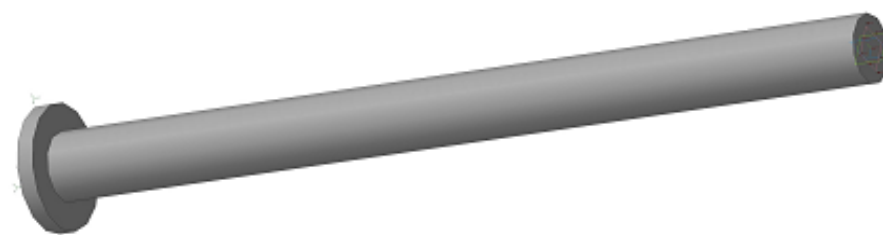
Найнаочніше зміна відбувається на графіку переміщення штока.

Виділимо цей графік та вимірємо загальне зміщення штока за весь період часу. Переміщення збільшилося більше, ніж у 2 рази – з 2650 мм до 5827 мм. Ця зміна пов'язана переважно зі збільшенням витрати робочої рідини. Докладніший графік переміщення штока представлений на малюнку 48

Система APM FEM

Дата звіту	08.12.2023;
Путь до файлу	C:\Users\ \Штанга.m3d

Модель



2) Інформація о матеріалах

3) Інформація о навантаженнях

Найменування	Обрані об'єкти	Параметри навантаження
Тиск: Тиск:1	Грані: 1	Величина: 104000 Н

5) Інформація о закріпленнях

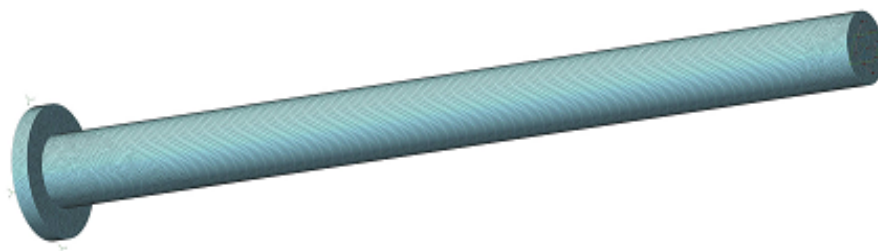
Найменування	Обрані об'єкти	X [мм]	Y [мм]	Z [мм]	Rot. X [град]	Rot. Y [град]	Rot. Z [град]
Закріплення: Закріплення: 1	Грані: 1	Забор.	Забор.	Забор.	-	-	-

5) Кінцево-елементарна сітка

Параметри й результати розбиття

Найменування	Значення
Максимальна довжина сторони елемента (мм)	5
Максимальний коефіцієнт стиснення на поверхні	1
Коефіцієнт разряження в об'ємі	1.5
Кількість кінцевих елементів	148858
Кількість візлів	40088

Рисунок 3.11а – моделювання твердо тільних – штанга гідроциліндру механізму нахилу електродугової печі



6) Результати

Інерційні характеристики моделі

Найменування	Значення
Маса моделі [кг]	117.936366
Центр тяжіння моделі [м]	(-0.794434 ; -0 ; 0)
Моменти інерції моделі відносно центра ваги [кг*м ²]	(98.884076 ; 0.102189 ; 0.102261)
Реактивний момент відносно центра ваги [Н*м]	(0 ; -0.047491 ; -0.016654)
Сумарна реакція опор [Н]	(104141.272074 ; -0 ; -0)
Абсолютне значення реакції [Н]	104141.272074
Абсолютне значення моменту [Н*м]	0.050327

Результати статичного розрахунку

Найменування	Тип	Мінімальне значення	Максимальне значення
Еквівалентне напруження по Мізесу	SVM [МПа]	0.269077	15.036901

Рисунок 3.11б – моделювання твердо тільних – штанга гідроциліндру механізму нахилу електродугової печі

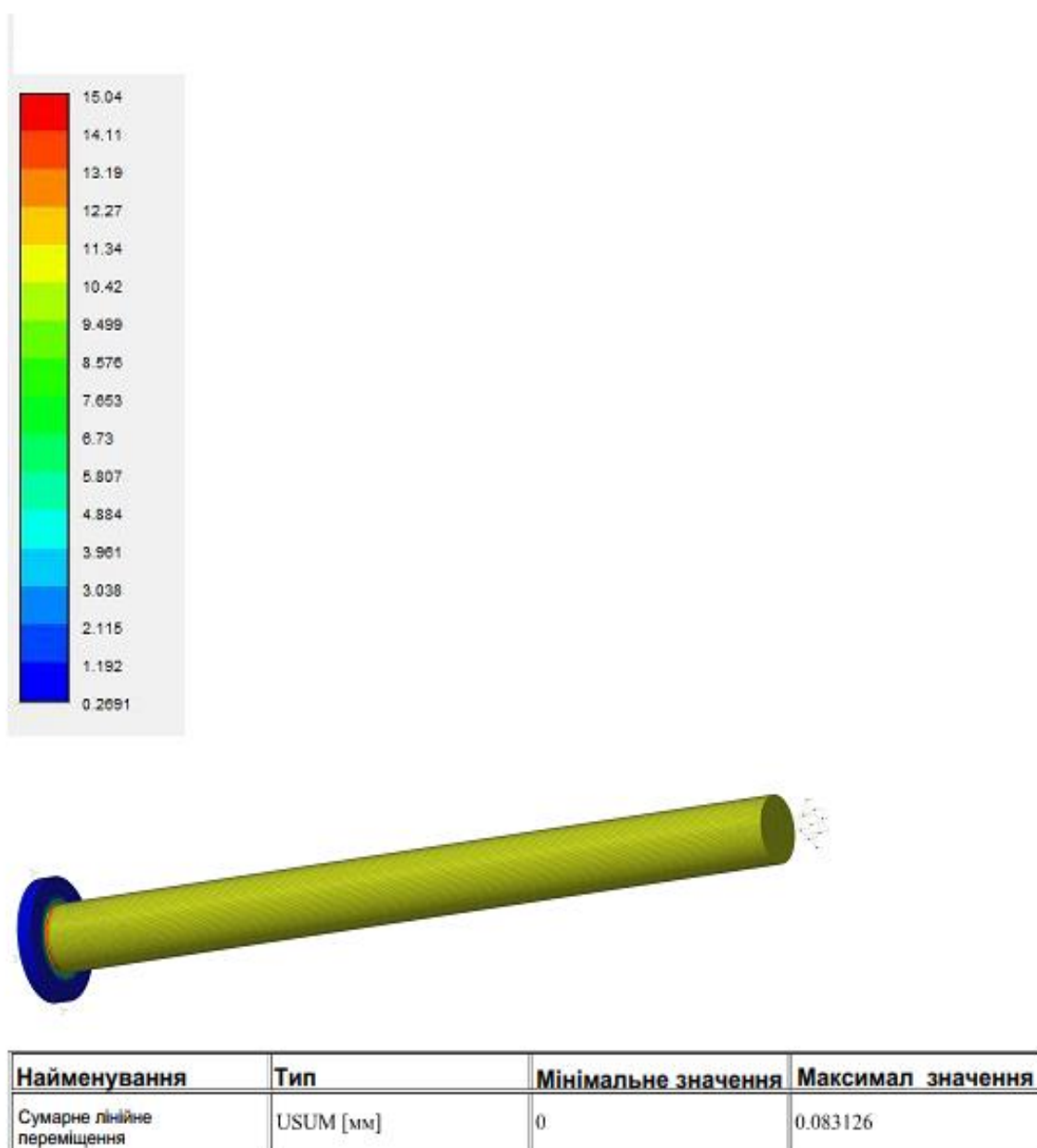


Рисунок 3.11б – моделювання твердо тільних – штанга гідроциліндру механізму нахилу електродугової печі

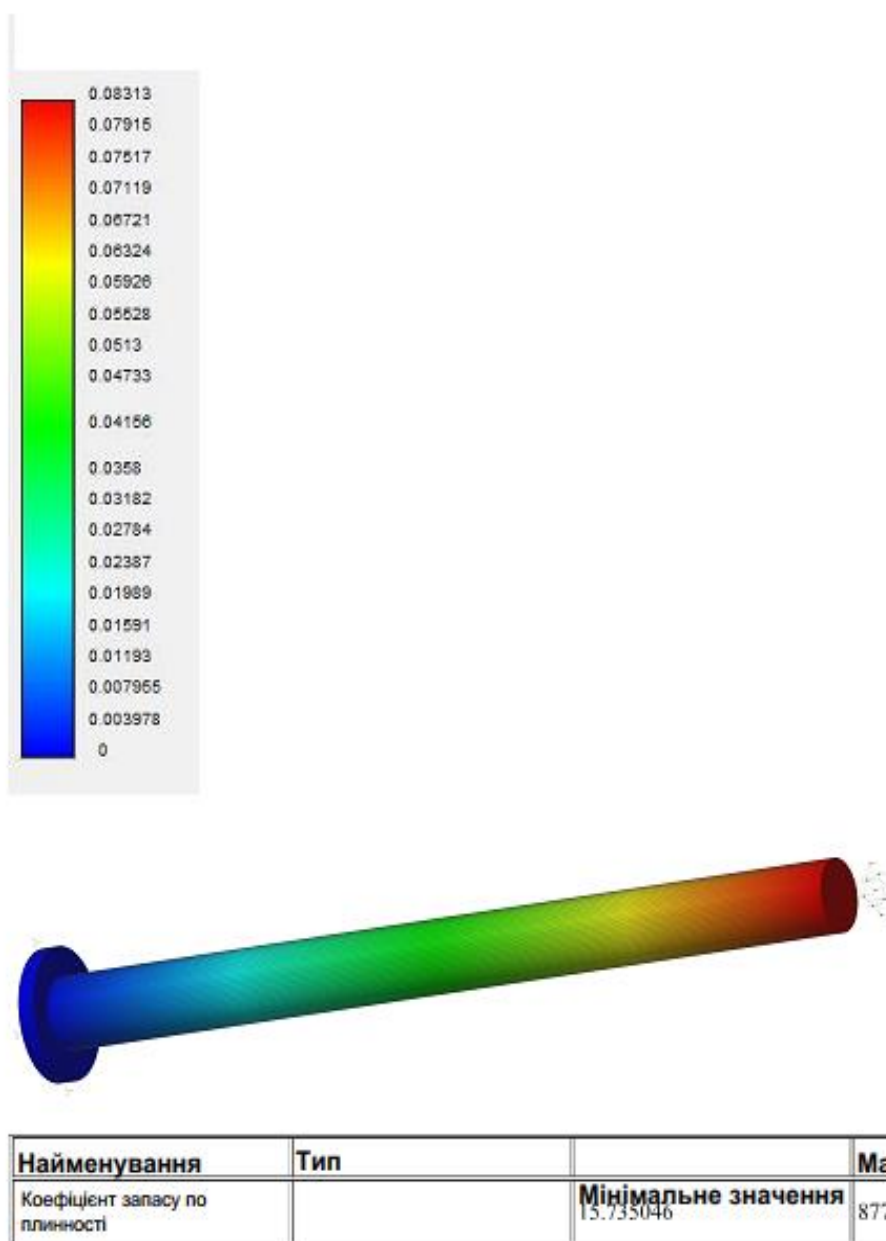
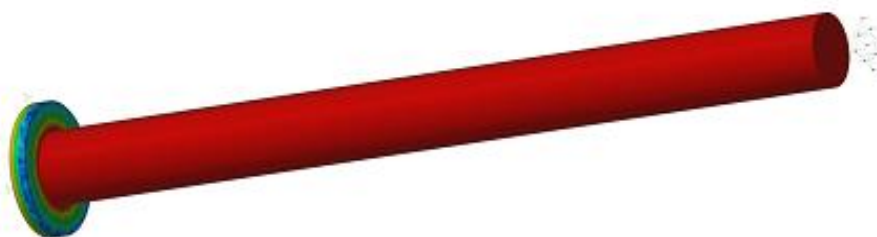
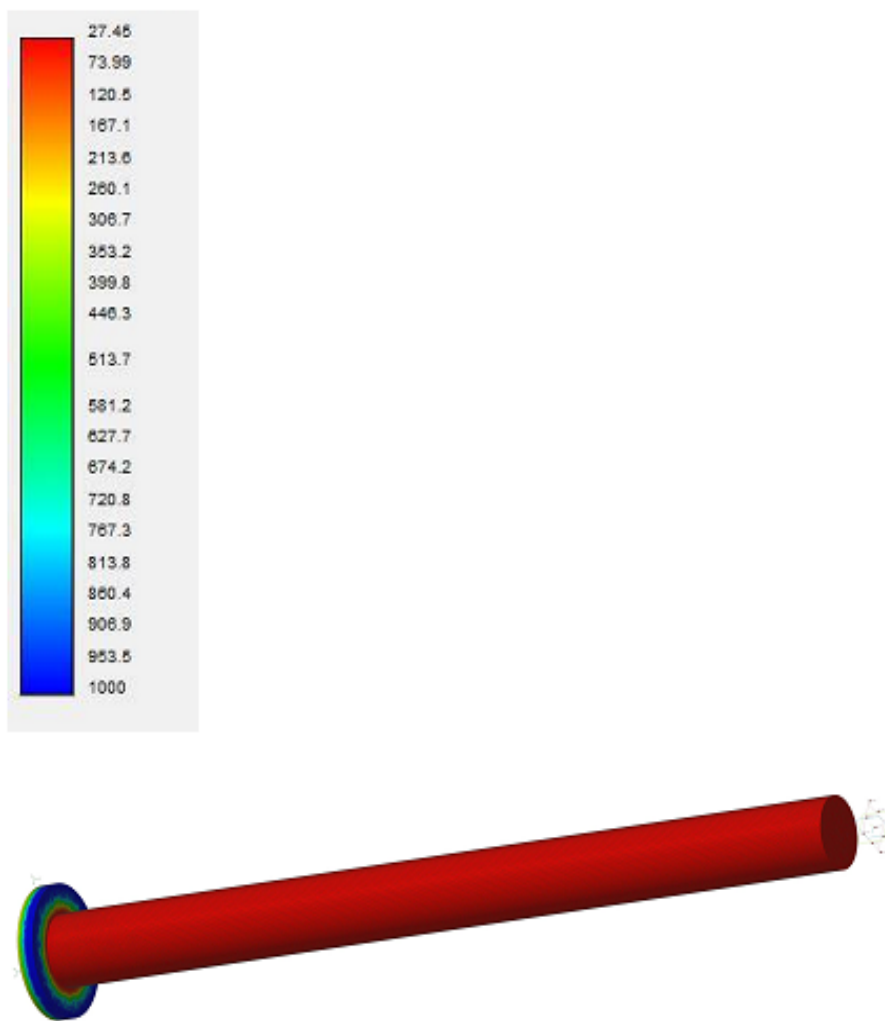


Рисунок 3.11в – моделювання твердо тільних – штанга гідроциліндру механізму нахилу електродугової печі



Найменування	Тип	Мінімальне значення	Максимал значення
Коефіцієнт запасу по міцності		24,452633	1000

Рисунок 3.11г – моделювання твердо тільних – штанга гідроциліндру механізму нахилу електродугової печі



Результати розрахунку власних коливань

№	Частота [рад/сек]	Частота [Гц]
1	213.718226	34.014312
2	213.895687	34.042556
3	1355.267852	215.697578
4	1356.584322	215.907101
5	3364.979214	535.553075

Рисунок 3.11д – моделювання твердо тільних – штанга гідроциліндру механізму нахилу електродугової печі

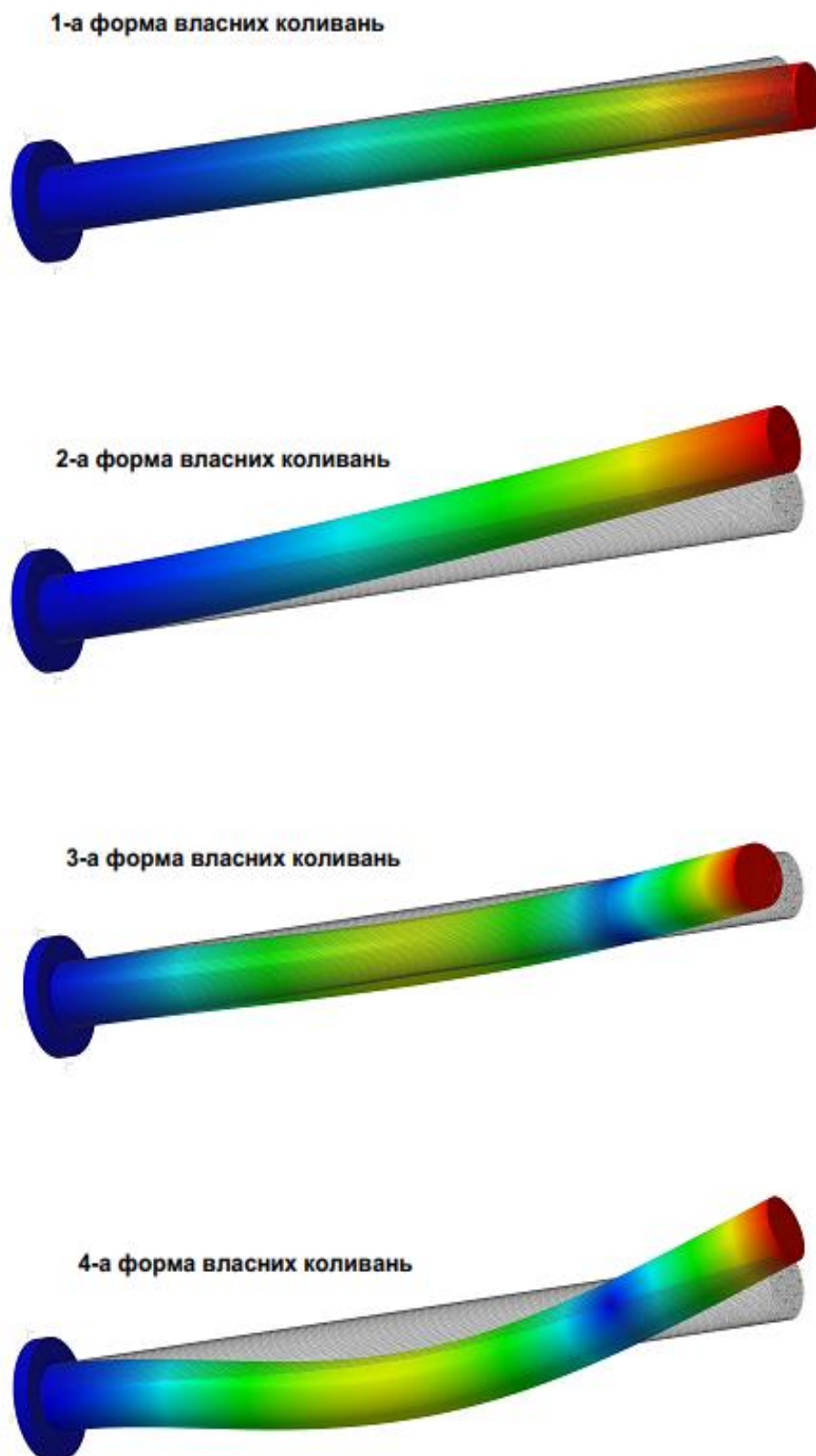


Рисунок 3.11є – моделювання твердо тільних – штанга гідроциліндру механізму нахилу електродугової печі

4. ОХОРОНА ПРАЦІ В ГАЛУЗІ ТА ТЕХН БЕЗПЕКА [17]

4.1 Основні шкідливі і небезпечні виробничі чинники у сталеплавильному виробництві

До основних шкідливих і небезпечних виробничих чинників у сталеплавильному виробництві належать:

- а) підвищені надлишки тепла;
- б) високий вміст пилу;
- в) високий вміст шкідливих отруйних газів;
- г) велика кількість рухомих механізмів;
- д) електроустаткування;
- е) шум;
- ж) вібрація.

Основними джерелами теплового (інфрачервоного) випромінювання у сталеплавильному виробництві є:

- а) дугові електропечі;
- б) печі нагріву феросплавів;
- в) ківші та виливниці, наповнені розжареним металом;
- г) поверхні міксера і ківші з розплавленим чавуном;
- д) нагріті поверхні технологічного устаткування та кладки печей.

За відсутності засобів індивідуального захисту, вплив теплового випромінювання може призвести до порушення водно-сольового обміну і зневоднення тканин, а також до теплового удару у людини, а контакт із нагрітими виробами та такі фактори як: іскри, бризки і викиди розплавлених матеріалів можуть стати причиною опіку.

За хімічним складом цей пил представлений оксидами: заліза, хрому, марганцю, магнію, двоокисом кремнію та містить домішки алюмінію, титану, вольфраму, ванадію, молібдену. Вплив на організм твердих та газоподібних

токсичних речовин може стати причиною хронічних і професійних захворювань.

Технологічний процес плавки є джерелом інтенсивних викидів у повітря з робочих зон виробничих ділянок цеху:

- а) окису вуглецю;
- б) оксидів азоту;
- в) двоокису сірки;
- г) ціанідів і сполучень селену.

Стосовно пилу, то дисперсний склад пилу сталеплавильних цехів залежить від наступних факторів:

- а) технологічного режиму плавки;
- б) її періоду;
- в) марки сталі, що виплавляється;
- г) умов утворення аерозолів;
- д) конденсації та пори року.

Шум – характерне наявністю у виробничому середовищі сталеплавильних цехів, джерелом якого є:

- а) дугова електросталеплавильна піч;
- б) робота електромостових кранів;
- в) процеси розвантаження і завантаження завалочної корзини;
- г) роботи система газоочищення.

Вплив шуму на організм залежить від спектральної характеристики і рівня звукового тиску. Рівень звукового тиску залежить від стадії роботи печі, а саме від:

- а) виплавки;
- б) дисперсності використовуваної шихти;
- в) газокисневого дуття;
- г) швидкості навантажувально-розвантажувальних робіт;
- д) кількості працюючих кранів тощо.

Виробничі операції в цехах при роботі електродугових сталеплавильних печей, а також машин і механізмів супроводжуються загальною вібрацією. Максимальні величини віброшвидкості спостерігаються:

- а) на майданчику біля сталевипускного жолоба;
- б) на пультах майстра з випуску сталі;
- в) при закладенні і обробленні сталевипускного отвору;
- г) підготовці жолоба до зливання металу;
- д) підготовці жолоба до формування після випуску плавки.

4.2 Техніка безпеки при експлуатації електродугових печей

Електродугові печі при неправильній установці або експлуатації можуть бути джерелом небезпеки для обслуговуючого персоналу та для навколишньої середовища. Навіть при правильній експлуатації вони залишаються бути небезпечними. Саме тому слід ретельно дотримуватись правил їх експлуатації, для того, щоб запобігти небезпеці. Своєчасним здійсненням необхідних технічних та організаційних заходів можна зменшити відсоток вірогідності ризику небезпечних ситуацій пов'язаних з експлуатацією та обслуговуванням цих агрегатів.

Електродугові печі є пристроями, що працюють іноді під дуже високою (ЕЛП) та тому в усіх випадках при експлуатації цих печей слід дотримуватись загальних правил роботи, що вимагаються з електричними установками, а також систематично перевіряти справність ліній постачання електроенергією. Особливо важливо ретельно слідкувати:

- а) за процесами на ділянках між трансформаторами та електропечами;
- б) за справністю електричної ізоляції;
- в) заземленням кожухів печей;
- г) наявністю огорож у неізольованих ділянках струмовідводів.
- д) де використовується струм високої напруги, необхідно стежити за справністю блокуючих пристроїв, що виключають доступ до частин печі.

Електродугові – це пристроями, що працюють при підвищених температурах, тому слід підтримувати у порядку захисні екрани, а також дотримуватись правил роботи з рідким металом та шлаками.

При експлуатації; футерування та теплової ізоляція електродугових печей повинні піддаватися систематичному огляду та ремонту, щоб забезпечити проектні техніко-економічні показники їх роботи та підтримувати встановлену температуру на поверхні, але ще для того, щоб виключити можливість аварій через знос вогнетривкої кладки. На електродугових печах повинна бути передбачена сигналізація проїдання ізоляції рідким металом і забезпечена ретельна перевірка справності цієї сигналізації.

В електродугових печах, у ході технологічного процесу, утворюються або вводяться гази, які у суміші з повітрям, створюють вибухонебезпечні суміші. Це стосується дугових феросплавних печей, в яких утворюється оксид вуглецю, а в деяких термічних печах вводиться атмосфера водню. Саме тому такі печі повинні працювати при невеликому але надмірному тиску для того, щоб виключити підсмоктування повітря з їх робочі камери.

Електродугові печі мають бути обладнані вибуховими клапанами, справність яких необхідно систематично перевіряти.

При експлуатації електродугових печей, що працюють з токсичними атмосферами – неминуче вибивання газу з робочих камер, у зв'язку з роботою під підвищеним тиском, тому у цих випадках повинна бути забезпечена ефективна вентиляція робочих майданчиків та приміщенні, де можуть бути люди, для уникання отруєння токсичними газами.

В конструкцію сучасних електродугових печей закладені елементи, правильне встановлення яких під час монтажу печі та підтримання у справному стані, при її подальшій експлуатації, забезпечують безпечні умови праці, тому треба періодично перевіряти справність конструкції та чітко дотримуватись технічних інструкцій з експлуатації, що є запорукою безпечної та високопродуктивної роботи.

4.3 Гази та пил

Більшість металургійних процесів у електросталеплавильному цеху характеризується утворенням значних кількостей газів та пилів, та як правило – ці два продукти видаляються з печей разом.

Металургійні гази, що відходять, можна класифікувати на:

- а) технологічні – що утворюються за рахунок протікання хімічних реакцій;
- б) топкові – що є продуктами спалювання палива.

Основними компонентами технологічних газів є:

- а) сірчистий ангідрид (SO_2);
- б) вуглекислий газ (CO_2);
- в) оксид вуглецю (CO);
- г) пари води (H_2O).

При плавці, переважно утворюються CO_2 , CO і H_2O та крім того, в газах обов'язково будуть присутні азот (N_2) і вільний кисень (O_2), що надходить з дмухом і за рахунок підсмоктування надлишку повітря. У більшості випадків гази, що відходять, залишають металургійний агрегат нагрітими до температур 800-1300 °C і більше. Тому необхідна комплексна переробка газів передбачає:

- а) використання цінних компонентів, наприклад SO_2 , для виробництва сірчаної кислоти, елементарної сірки або рідкого сірчастого ангідриду;
- б) використання фізичного тепла газів для одержання:
 - 1) пари;
 - 2) гарячої води;
 - 3) підігріву повітря, тощо;
- в) використання горючих складових (CO та H_2) як підсобне паливо;
- г) знешкодження газів з метою охорони навколишнього середовища.

Найбільшу цінність становлять гази автогенних процесів, що містять до 80 % і більше SO_2 , а пил, що утворюються в металургійних печах, умовно можна класифікувати на:

- 1) грубі;

2) тонкі.

Утворення грубих пилів пов'язане з впливом газового потоку на дрібні частинки шихти або продукту металургійної переробки. Розміри частинок пилу та її кількість визначаються швидкістю газового потоку й крупністю матеріалу, що переробляється. Грубий пил має форму уламків, так званих неправильних багатогранників й розміри частинок цих пилів становлять 3-10 мкм до кількох сотень мікрометрів. Хімічний склад грубого пилу зазвичай подібне до складу матеріалу, з якого вони утворилися та зазвичай грубі пили повертають в обіг або поєднують із продуктом даного процесу.

Тонкі пилу утворюються за рахунок сублімації легких компонентів, а пари, що виходять при цьому, відносяться газовим потоком і при подальшому охолодженні газів конденсуються з утворенням твердих частинок або рідких крапель. Розмір частинок тонких пилів в момент утворення приблизно становить десяті й соті частки мікрометра й надалі можливе утворення більших агрегатів за рахунок коагуляції дрібних частинок.

Усі пили, що утворюються в металургійних процесах, підлягають уловлюванню, при цьому є дві основні мети:

- а) використання цінних компонентів, що перейшли у пилу;
- б) запобігання забруднення навколишньої природи.

4.4 Характеристика газоочисних пристроїв

Є такий термін, як – Гранично допустимі концентрації (ГДК). ГДК шкідливих речовин в атмосфері промислових підприємств у вигляді аерозолів та токсичних газів регламентуються державними стандартами та засновані на санітарно-гігієнічних нормах. У шарі атмосфери, близького до горизонту населеного пункту має бути:

- а) пил нетоксичний не більше $0,5 \text{ мг/м}^3$;
- б) оксидів вуглецю 3 мг/м^3 ;
- в) сірчистого ангідриду $0,5 \text{ мг/м}^3$ та оксидів азоту $0,085 \text{ мг/м}^3$.

Розрахунок та вибір газоочисних пристроїв проводиться з умов дотримання норм ГДК. Ефективність газоочищення оцінюється показником ступеня очищення

$$\eta = 1 - z_3 / z_{II}, \quad (4.1)$$

де z_{II} – концентрація уловлюваної компоненти на початку очищення;

z_3 – концентрація уловлюваної компоненти при закінченні очищення.

Газоочисні апарати для очищення від газоподібних компонентів ґрунтуються на хімічних методах, а апарати для уловлювання аерозолів – на фізико-механічних.

Аерозолі розглядають трьох видів, з яких металургійних аерозолів в основному слід віднести перші два види:

- а) пил – малостійкі системи з твердими частинками 5-50 мкм і більше, де частинки дисертаційного походження, тобто утворені внаслідок механічного дроблення твердої речовини;
- б) дими – тривало стійкі системи з частинками розміром 5-0,1 мкм й менше, які утворилися в результаті сублімації та конденсації парів;
- в) тумани – з рідкими частинками широкого діапазону розмірів, що утворені в результаті розпилення рідини або конденсації парів.

У пиловловлення входить створення умови для укрупнення частинок за рахунок осадження їх в пиловловлюючому апараті. Схем пиловловлення застосовують два і більше ступенів очищення:

- 1) перший ступень – грубого очищення уловлюються великі фракції пилу;
- 2) другий – тонкий ступінь очищення вловлює дрібні фракції.

Методи очищення можна поділити на два по апаратам:

- 1) на механічні;
- 2) та електричні.

Багато пиловловлюючих машин, заснованих на механічних методах очищення, діляться ще на два види:

- 1) сухі;

2) мокрі.

У мокрих – використовується ефект змочування частинок в результаті зіткнення з краплями або введеною плівкою рідини. У сухих – використовують гравітаційно-інерційні та фільтраційні принципи, що найпоширеніше.

4.5 Очищення газів електросталеплавильних печей

Кількість і склад газів, що утворюються в процесі плавки в електродугових печах залежить від складу шихти і кількості інтенсифікатора, що подається – кисню. Так, відхідні гази дугових електропечей відводяться одним із трьох способів:

- 1) від четвертого отвору у склепінні;
- 2) через арку робочого вікна;
- 3) від парасольки розташованої над піччю.

Залежно від способу відведення, в газовідвідний канал печі відсмоктується різна кількість повітря, якого позначається на складі та концентрації пилу в газі, а усунути підсмоктування повністю неможливо, оскільки при підйомі та повороті склепіння та нахилі ванни, герметичність газового тракту порушується, зокрема, підсмоктування необхідний для допалювання СО. Питомий вихід газів при відсмоктуванні через четвертий отвір у зводі становить: 80-3 м³/т, а при відведенні під парасольку: 350-450 м³/т. У газах міститься, %: СО 15-25; СО₂ 5-11; Н₂ 05-35; О₂ 3,5-10, а середня концентрація пилу в газах становить приблизно: 15-30 г/м³, ну а питомий винос пилу: 6,5-9,5 кг/т сталі. Менші значення відповідають печам максимальної ємності – це понад 100 т, а більші значення – печам ємністю 5 т та трохи більше. Період максимального виділення пилу триває близько 30 хв. Основна маса пилу, це приблизно до 70 % об'єму, з розміром частинок до 3 мкм, складається на 60-80 % з оксидів заліза.

Склад пилу періодами плавки змінюється мало, тому приклад дисперсного складу при плавці хромистих та середньовуглецевих сплавів наведено у таблиці (Таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 – Дисперсний склад пилу по плавкам

Плавка	Кількість частинок, % (за масою) за фракціями, мкм			
	0-0,7	0,7-7	7-80	більш 80
Розплавлення	47,9	29,9	15,5	6,7
Продування	42,2	35,5	15,7	6,6
Доведення	44,5	30,6	13,5	11,4

Для пилу електросталеплавильних печей характерно високий питомий електроопір до 10^{11} Ом*см. Крім оксидів вуглецю у складі газів, що відходять з неї, містяться оксиди азоту змістовністю до 300 г/т сталі. У зв'язку з великою величиною відсмоктувачів по газовому тракту і під парасольку – доводиться збільшувати розміри газоочищення та потужність димососів та інше, тому одним із найважливіших завдань є завдання скорочення обсягу газів, які йдуть на очищення і саме тому для цього застосовуються спеціальні ущільнення електродних зазорів та робочих вікон.

У більшості випадків схема газоочищення дугових електропечей складається з ступеня попереднього охолодження газів і подальшого тонкого очищення представленого на рисунку.

Перспективною для печей ємністю від 150 до 250 т є схема з укриттям усієї печі у спеціальний кожух, де для зниження температури потік гарячого газу від простору під склепінням змішується з газом з-під кожуха, зображеного на рисунку (Рисунок 4.1). Потім газоповітряна суміш з температурою не вище 130 °С об'ємом від 500 до 550 тис. м³/год надходить на очищення в рукавні фільтри.

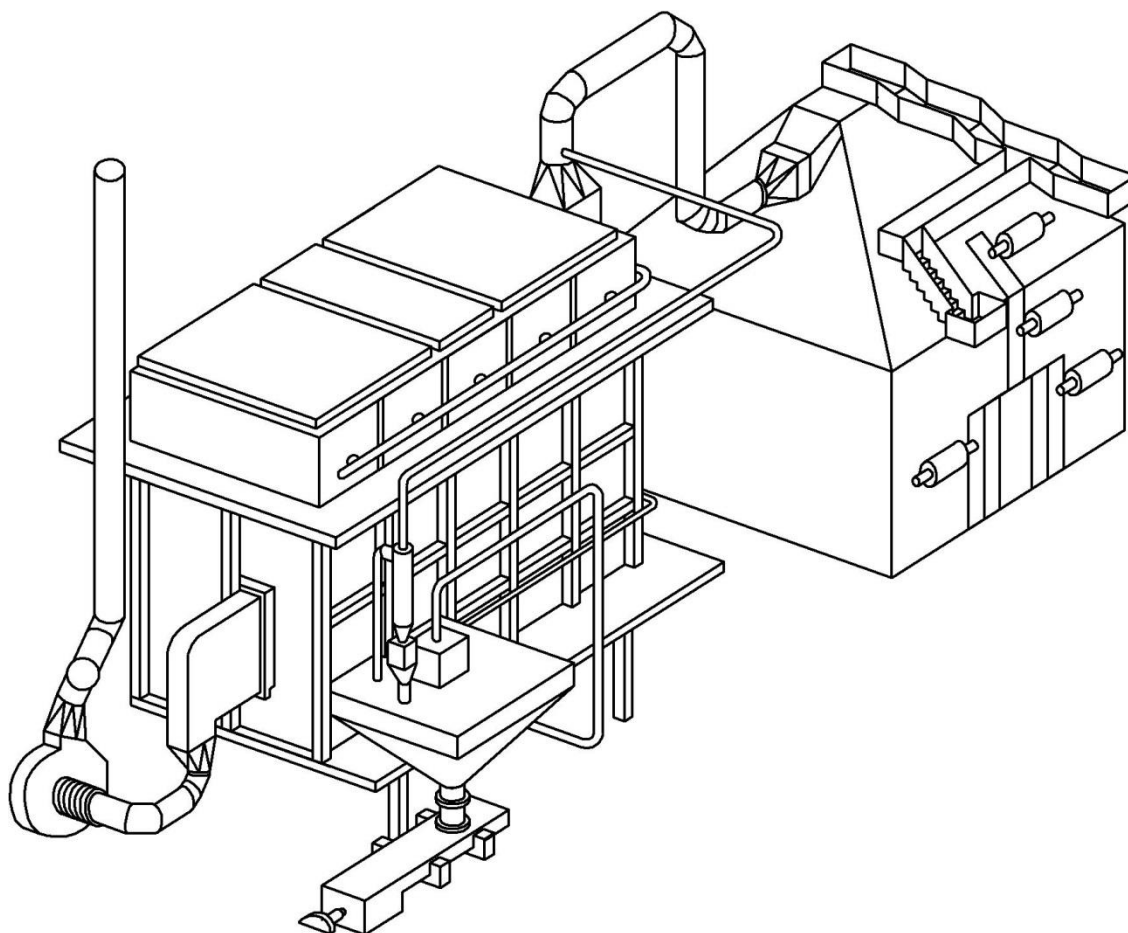


Рисунок 4.1 – Схема газоочищення електросталеплавильної печі

Досвід встановлення електрофільтра на 200 тонну піч показав доцільність їх застосування на печах такої ємності. Також добрий результат дає варіант із комбінованою схемою газоочищення, коли гази, що відводяться від четвертого отвору у склепінні печі після допалювання CO та охолодження в скрубєрі, подаються вентилятором на групу високо напірних труб Вентурі з відцентровим сепаратором-каплеуловлювачем.

Розведені гази неорганізованих викидів, що надходять під парасольку над піччю, очищаються окремо в тканинному рукавному фільтрі.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Ознайомлення з устаткуванням сталеплавильних майданчиків таких заводів як «Дніпроспецсталь», «Мотор Січ», «Запорізький завод феросплавів» показало та виявило, що одним з найвідповідальнішим вузлом на електросталеплавильних печах є механізм нахилу, функція котрого у тому, щоб нахилити піч у сторону робочого вікна, для скачування шлаку, а також в сторону зливного носка – для виливу розплавленого металу.
2. На підставі огляду цього обладнання та після пошуку інформації у технічній літературі та в світовому павутинні, стало зрозуміло, що приводом для механізму нахилу пічки можуть біти декілька типів приводів, це електромеханічний, та гідравлічний, а ще інші, які не дуже розповсюджені.
3. На оглянутих електросталеплавильних печах стоять гідравлічні приводи нахилу, вони на теперішній час відповідають усім вимогам сучасного металургійного виробництва стосовно швидкості роботи, потужності а інших параметрів.
4. Але не зважаючи на свою довершеність, навіть ці привода не лишені якихось не достатків.
5. Так, при тривалій навантаженій роботи у них спостерігається не стабільна робота гідроприводів, а саме втрата стійкості гідроприводу та погіршення швидкості реагування та точність управління.
6. Ці недоліки викликані двома факторами, це: забруднена рідина, що використовується в гідравлічних системах та нагрівання цієї ж рідини через інтенсивну роботу привода а ще через незадовільне навколишнє середовище на підприємстві, яке виражене підвищеною температурою.
7. Для поліпшення роботи гідроприводів пропонується встановити в існуючу гідравлічну схему мультизадачний гідравлічний розподілювач та замінити усю іншу гідравлічну запірну апаратуру на нову зі збільшеним

прохідним отвором, а також зменшити період по обслуговуванню за заміні рідини.

8. У роботі проведено розрахунки на міцність важливих навантажених елементів механізму нахилу як звичайним способом так і використавши систему автоматизованого проектування для твердотільного моделювання штока гідравлічного циліндра.
9. Результати роботи можуть бути рекомендовані для впровадження на підприємствам з подібним обладнанням.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гречаний О. М., Мозгов Д. М., Васильченко Т. Дослідження шляхів підвищення надійності механізму нахилу електродугової печі. Матеріали IV-ої Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології промислового комплексу: базові процесні інновації – 2018». 2018. № 4. С. 84-87.
2. Крячко Г. Ю. Методичні вказівки до самостійної роботи з дисципліни «Споруди та обладнання сталеплавильних цехів»: метод. вказівки. Кам'янське : ДДТУ, 2016. 51 с.
3. Жук А. Я., Желябіна Н. К. Основи розрахунків приводів машин : навч. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 1996. 145 с.
4. Жук А. Я., Желябіна Н. К. Основи наукових досліджень : навч. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2008. Т. 1 : Теоретичні дослідження. 195 с.
5. Жук А. Я., Малишев Г. П. Основи технічного діагностування : метод. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2007. 114 с.
6. Механічне устаткування цехів по виробництву металів та сплавів / А. Я. Жук та ін. Запоріжжя : ЗДІА, 1998. 210 с.
7. Механічна Модель Для Виміру Напружено-Деформованого Стану Механізму Нахилу Електродугової Плавильної Печі : пат. UA40385U Україна : G01M 7/00. № u200811601 ; заявл. 29.09.2008 ; опубл. 10.04.2009, Бюл. № 7. 4 с.
8. Напрями творчого проектування та його техніко – економічне обґрунтування : навч. посіб. / А. Я. Жук та ін. Київ : Видавничий дім: «Кондор», 2012. Т. 1 : Книга 1. 542 с.
9. Полищук Т. В., Ткачук Н. Н. КОМПЛЕКСНІ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МАКЕТА МЕХАНІЗМУ НАКЛОНУ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ МАШИНИ. Механіка та машинобудування. 2009. № 1. С. 26–33.
10. Полищук Т. В. РОЗРАХУНОКО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ КИНЕМАТИКИ, НАГРУДЖЕННЯ ТА КОНТАКТНОГО

ВЗАЄМОДІЯ ЕЛЕМЕНТІВ МЕХАНІЗМУ НАКЛОНУ ПЛАВИЛЬНОЇ ПЕЧІ. ОАО „Азовобщемаш”. 2008.

11. Поліщук Т. В. Оптимальне проектування механізму нахилу плавильної печі: моделі для аналізу напружено-деформованого стану. ОАО "Азовобщемаш". 2007. С. 129–134.
12. Ремонт металургійного обладнання / А. Я. Жук та ін. Київ : Вид. дім: «Кондор», 2017. 236 с.
13. Технічне обслуговування металургійного обладнання / А. Я. Жук та ін. Київ : Вид. дім: «Кондор», 2017. 288 с.
14. Тарасов В. К., Новокщона О. В. Гідравліка, гідро- та пневмопривод : навч.-метод. посіб. Запоріжжя : ЗДІА, 2010. 132 с.
15. Тихенко В. Н., Волков А. А. ДОСЛІДЖЕННЯ СТАБІЛЬНОСТІ РУХУ ГІДРОПРИВОДІВ ПОДАЧІ СТОЛА ОЗДОБЛЮВАЛЬНО-РОСТАЧНИХ ВЕРСТАТІВ. Праці Одеського політехнічного університету. 2011. № 2. С. 75–80.
16. Харина Д. АНАЛІЗ ПЕРЕВАГ ВИКОРИСТАННЯ ГІДРАВЛІЧНОГО ПРИВОДУ НАХИЛУ ЕЛЕКТРОДУГОВОЇ ПЕЧІ. ЗБІРНИК наукових праць студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених «МОЛОДА НАУКА-2023»: конф. студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчен., м. Запоріжжя, 17 квіт. 2023 р. Запоріжжя, 2023. С. 368–370.
17. Ященко І. О. Наказ № 779 від 03.11.2014 Про затвердження Правил охорони праці у. Аналітично-правова система ZakonOnline. URL: https://zakononline.com.ua/documents/show/353455___353520 (дата звернення: 10.11.2023).
18. Electric arc furnace. History of invention and production. DIAGRAM. Technical documentation for amateurs and professionals. URL: <https://en.diagram.com.ua/info/engineering-and-technology/engineering-and-technology002.shtml> (date of access: 10.11.2023).
19. Kharyna D. Improving the design of electric arc furnace mechanisms. Визначні досягнення в науці і техніці («Significant achievements

in science and technology»): Матеріали ІХ Всеукраїнської студентської науковопрактичної онлайн конференції, Київ, 15 November 2023. Київ, 2023. P. 46–47.

20. Karbowniczek M. Electric Arc Furnace Steelmaking. CRC Press, 2021. 304 p.
21. Research of stability of Load-sensing hydraulic drive operation, on the base of multimode directional control valve / O. Petrov та ін. Journal of Mechanical Engineering and Transport. 2021. Т. 12, № 2. С. 93–99. URL: <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2020-12-2-93-99> (дата звернення: 07.12.2023).

ПЕРЕЛІК ВИКОНАНИХ СЛАЙДІВ

№	Назва	Формат
1	Титульний аркуш	A4
2	Актуальність теми	A4
3	Мета роботи	A4
4	Основна класифікація дугових електричних пічних установок	A4
5	Типи дугових електричних пічних установок	A4
6	Устрій електродугової печі	A4
7	Механізм нахилу	A4
8	Розрахункова частина	A4
9	Розрахункова частина	A4
10	Дослідницька частина	A4
11	Дослідницька частина	A4
12	охорона праці в галузі та техногенна безпека	A4
13	загальні висновки та рекомендації	A4
14	Фінальний аркуш	A4

ДОДАТКИ

ДОДАТОК Б

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”

ФАКУЛЬТЕТ ЛІНГВІСТИКИ

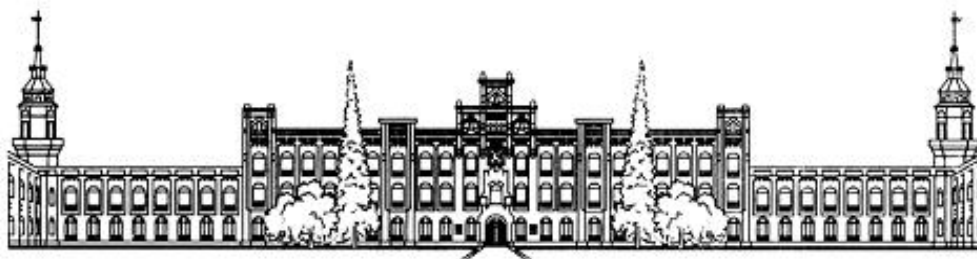
**‘SIGNIFICANT ACHIEVEMENTS IN
SCIENCE AND TECHNOLOGY’**

“ВИЗНАЧНІ ДОСЯГНЕННЯ В НАУЦІ І ТЕХНІЦІ”

**Матеріали
IX Всеукраїнської студентської науково-практичної
онлайн конференції**

15 листопада 2023 р.

м. Київ



Halych Anna	ENERGY SAVING TECHNOLOGIES	35
Hupalenko Mariia	THE DISASTER AT KAKHOVKA HEPP AS ONE OF THE RESULTS OF RUSSIA'S ARMED AGGRESSION AGAINST UKRAINE	37
Ihnatov Oleksii	INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN THE FIELD OF ELECTRICITY SUPPLY	39
Ilchenko Matvii	ROBOTIC INTEGRATION IN OUR LIVES	41
Isaev Vyacheslav	ENERGY SAVING TECHNOLOGIES	42
Kharchuk Karina	RENEWABLES	44
Kharyna Dmytro	IMPROVING THE DESIGN OF ELECTRIC ARC FURNACE MECHANISMS	46
Khniukalo Viktoriia	WATER RESOURCES OF UKRAINE: ENVIRONMENTAL CHALLENGES AND THE DISASTER OF THE KAKHOVKA HYDROELECTRIC PLANT	47
Khomuk Taras	ENERGY SAVING TECHNOLOGIES	49
Kolesnikov Oleksandr, Muzhikov Andriy	ENERGY SAVING TECHNOLOGIES	51
Kostenko Makstym	PROSPECTS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE	54
Kostiv Pavlo	TACKLING THE ISSUE OF WASTE CRISIS	57
Kot Kyrylo	ECOLOGICAL PROBLEMS OF WATER RESOURCES IN UKRAINE	60
Krivaya Julia, Pelts Viktoriia, Telenchak Diana	GLOBAL WARMING	63
Kulyk Anna, Sulyma Daria	TECHNOLOGICAL BREAKTHROUGHS OF PARAMOUNT IMPORTANCE NOWADAYS	65
Kuzmenko Daniil	THE CONTRIBUTION OF UKRAINIAN SCIENTISTS AND ENGINEERS TO SPACE RESEARCH	67
Leleko Sofiia	FROM TALKING STATUES TO PETS – THE INTEGRATION OF ROBOTS INTO OUR LIVES	69

in an even load schedule and, unlike solar and wind energy, do not require replacement capacities.

References:

Chukryna, V. (2016, September 14). *Biofuel*. Retrieved from <https://alternative-energy.com.ua/uk/vocabulary/%D0%B1%D1%96%D0%BE%D0%BF%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B2%D0%BE/>

Energy front. (2023, October 29). *Renewable energy sources*. Retrieved from <https://efront.in.ua/vidnovlyuvani-dzherela-energiyi-vde/>

Voitova, V. (2021, January 08). *Wind energy: advantages and disadvantages*. Retrieved from <https://vinnytsia.name/uk/articles/2108-energiya-vitru-perevagi-i-nedoliki>

IMPROVING THE DESIGN OF ELECTRIC ARC FURNACE MECHANISMS

Dmytro Kharyna

Engineering Educational and Scientific Institute named after Yu.M. Potebni of Zaporizhzhia National University

An electric arc furnace is a machine that is necessary for the production of steel. The reasons for the development of steel production in electric arc furnaces: the great need for high-quality steel and the need to obtain this steel from ore.

Electric arc furnace designs are constantly changing for three reasons: changes in steel production technology, improved technological progress, and changes in electric arc furnace sizes.

The design of the electric arc furnace consists of: a steel body; Inside the steel body there is thermal insulation made of two types of refractory bricks: the main one – magnesite and the auxiliary one – dinas. The bottom of the housing is limited by a fireproof floor, and the top of the housing is limited by a vault with holes for electrodes. In the walls of the housing there are: a window for releasing slag and a window with a chute for releasing steel. There are mechanisms around the body: a

mechanism for moving the furnace, a mechanism for moving the electrodes, a mechanism for lifting and turning the arch and a tilt mechanism.

The most important mechanism of an electric arc furnace is the tilting mechanism. It is needed for draining metal and slag. The tilting mechanism must tilt the electric arc furnace smoothly and accurately at different speeds and must support the weight of the furnace and metal. To drain metal, the furnace tilts from 40 to 45 degrees forward, and to download slag, the furnace tilts from 10 to 15 degrees to the other side (Musskiy, 2023).

References:

1. Karbowniczek, M. (2021). Electric arc furnace steelmaking. CRC Press.
2. Musskiy, S. (2023). Electric arc furnace. History of invention and production. Retrieved from <https://uk.diagram.com.ua/info/engineering-and-technology/engineering-and-technology002.shtml>.

WATER RESOURCES OF UKRAINE: ENVIRONMENTAL CHALLENGES AND THE DISASTER OF THE KAKHOVKA HYDROELECTRIC PLANT

Viktoriia Khniukalo

Educational and Research Institute of Nuclear and Heat Power Engineering, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Water resources in Ukraine play a key role in the country's economy and life. Unfortunately, however, these resources face numerous environmental challenges that affect the natural environment, social sphere and economy. One of the main problems is the construction and destruction of hydroelectric power plants, in particular the Kakhovka HPP.

The Kakhovka reservoir is one of the largest reservoirs in the Dnipro River cascade system. The idea to build the reservoir originated in Soviet times, in the 1930s, and was intended to create a powerful reservoir for irrigation of agricultural land and regulation of river waters in Ukraine. Construction of the reservoir began in 1950 and lasted several years (Lebid, 2023).

ДОДАТОК В

**«ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**



Науково-дослідна частина
Наукове товариство студентів, аспірантів і докторантів
Рада молодих вчених



ЗБІРНИК
наукових праць студентів,
аспірантів, докторантів і молодих вчених

«МОЛОДА НАУКА-2023»

Том V

*«Секції Інженерного навчально-наукового інституту ім. Ю.М. Потєбні
Запорізького національного університету»*

Запоріжжя
2023

Після проведення проектування та оптимізації параметрів, встановлено що найбільші напруження виникають у шийці валу-шестерні та у шпонковому з'єднанні. Зазначені параметри напружень менше допустимих значень. Запропоновано внести коригування у конструкцію мала.

Висновки. Аналіз отриманих результатів показує, що запропонована конструкція зубчастого-зачеплення та параметри валів, шестерен та зубчастих коліс відповідають допустимим значенням напружень, при цьому мінімальний коефіцієнт запасу міцності становить 4,48.

Література

1. Жук А.Я., Желябіна Н.К. Механічне устаткування цехів по виробництву металів та сплавів: Навчальний посібник./ Запоріжжя: Видавництво ЗДІА, 1998. – 210с.
2. Жук А.Я., Желябіна Н.К., Таратута К.В., Коваль М.В. Напрями творчого проектування та його техніко – економічне обґрунтування. Книга 1. Навчальний посібник. К.: Кондор-Видавництво, 2012р.- 574с.
3. Технічне обслуговування металургійного обладнання: Навчальний посібник./ Жук А.Я., Желябіна Н.К., Малишев Г.П., Таратута К.В.- К.: Видавничий дім: «Кондор», 2017р.- 288с.
4. Ремонт металургійного обладнання: Навчальний посібник./ Жук А.Я., Желябіна Н.К., Малишев Г.П., Таратута К.В.- К.: Видавничий дім: «Кондор», 2017р.- 236с.
5. Жук А.Я., Желябіна Н.К. Основи розрахунків приводів машин: Навчальний посібник./ Запоріжжя: Видавництво ЗДІА, 1996. – 145с.

Харина Дмитро

магістрант 1 курсу ІННІ ім. Ю.М. Потебні ЗНУ
Наук. кер.: Ph.D., ст. викл. Гречаний О.М.

АНАЛІЗ ПЕРЕВАГ ВИКОРИСТАННЯ ГІДРАВЛІЧНОГО ПРИВОДУ НАХИЛУ ЕЛЕКТРОДУГОВОЇ ПЕЧІ

Механізми нахилу дугових сталеплавильних печей діляться на секторний, роликівий і цапфовий [1].

Піч із секторним механізмом нахилу опирається на два (у деяких випадках на чотири) гладких або зубчастих сектори, що перекочуються по плоских опорах. При цьому зливальний носок, опускаючись, переміщається вперед.

Піч з роликівим механізмом нахилу опирається на систему роликів (з нерухомими або з рухливими осями), об'єднаних у спеціальні сепаратори. При нахилі піч повертається щодо нерухої осі, розташованої недалеко від центра ваги печі, а зливальний носок опускається й переміщається назад.

Печі із цапфовим механізмом нахилу опирається на дві цапфи, розташовані в зливального носка. У цьому випадку нерухома вісь розташована

на значній відстані від центра ваги печі й зливальний носок переміщається незначно.

Найбільш широке поширення одержав секторний механізм нахилу. Роликовий механізм застосовують рідше, тому що у великих печей через значне відхилення зливального носка назад утрудняється злив металу в ківш. Цапфовий механізм нахилу, у якому створюються великі зусилля нахилу, застосовують рідко й тільки в тому випадку, коли потрібно забезпечити мінімальні переміщення струменя металу при розливанні.

Незалежно від конструкції до механізму нахилу пред'являються високі вимоги довговічності й надійності роботи, забезпечення легкого й плавного нахилу печі на необхідний кут з необхідною швидкістю й виключення перекидання печі при нахилі [2].

До механізмів металургійних машин, що працюють в складних технологічних лініях, пред'являються особливі вимоги. Вони повинні бути прості і надійні в роботі, допускати легке регулювання і швидку заміну деталей або блоків при ремонтах [3].

Крім того, механізми повинні відповідати умовам точності відтворення заданих переміщень. Такі вимоги є цілком природними, так як зупинка будь-якої однієї машини тягне за собою або зупинку всієї лінії в цілому, або порушення нормального потоку заготовок [4].

Щонайкраще всім цим вимогам відповідає гідропривод, що пояснюється наступними його перевагами порівняно з електромеханічним приводом [5]:

- плавне безступінчасте регулювання швидкості руху робочих органів машин;
- більша перевантажувальна здатність;
- менша маса й розміри, що доводяться на одиницю переданої потужності;
- мала інерційність привода, що особливо важливо для машин, що працюють у повторно-короткочасному режимі, тому що робота, спричинена приводом або гальмом у періоди пуску й гальмування, суттєво залежить від моменту інерції обертових частин або маси поступально рухомих частин привода;
- порівняльна простота здійснення автоматизації керування й захисту; висока надійність і довговічність. [12]

Таким чином вибір гідроприводу в якості виконавчого механізму для нахилу електродугової печі обумовлений простотою виготовлення, відносною дешевизною, надійністю та простотою експлуатації.

Література

1. Крячко Г. Ю. Методичні вказівки до самостійної роботи з дисципліни «Споруди та обладнання сталеплавильних цехів». Кам'янське : ДДТУ, 2016. 51 с.
2. Гречаний О. М., Васильченко Т.О., Мозгов Д. М. Дослідження шляхів підвищення надійності механізму нахилу електродугової

	427
<i>ЕНЕРГОРЕСУРСІВ.....</i>	<i>352</i>

Шатц Ілля

<i>МАЛА ГІДРОЕНЕРГЕТИКА ЯК ПЕРСПЕКТИВНИЙ НАПРЯМОК РОЗВИТКУ АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ.....</i>	<i>353</i>
---	------------

СЕКЦІЯ «МЕТАЛУРГІЙНЕ ОБЛАДНАННЯ»

Баладін Віталій

<i>ОРГАНІЗАЦІЯ ТА ПЛАНУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТНИХ РОБІТ ЗАВАНТАЖУВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ ДОМЕННОЇ ПЕЧІ.....</i>	<i>355</i>
---	------------

Борисов Артем

<i>ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ ОСНОВНИХ ПРОЦЕСІВ, ЩО ПРОТІКАЮТЬ ПРИ ДРОБЛЕННІ МАТЕРІАЛІВ.....</i>	<i>357</i>
--	------------

Грекуляк Олексій

<i>ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПРИЙМАЛЬНОГО РОЛЬГАНГА ОБТИСКНОГО ПРОКАТНОГО СТАНА.....</i>	<i>358</i>
---	------------

Забашта Дмитро, Забашта Максим

<i>ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ПОДРІБНЕННЯ.....</i>	<i>360</i>
---	------------

Кулік Дмитро

<i>ОБґРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ КРИТЕРІЇВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА СТУПІНЬ ПОДРІБНЕННЯ.....</i>	<i>361</i>
---	------------

Мурашко Володимир, Кулік Дмитро

<i>ПЕРСПЕКТИВА ВИКОРИСТАННЯ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ КОНСТРУЮВАННІ МЕТАЛУРГІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ.....</i>	<i>363</i>
---	------------

Сальник Петро

<i>АНАЛІЗ РОБОТИ ОБЛАДНАННЯ ПОДАЧІ ЗЛИВКІВ ДО РОБОЧОЇ КЛІТИ ОБТИСКНОГО СТАНУ «СЛЯБІНГ 1150».....</i>	<i>365</i>
--	------------

Федченко Дмитро

<i>КОМП'ЮТЕРНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИВОДА СКІПОВОГО ПІДЙОМНИКА.....</i>	<i>366</i>
---	------------

Харина Дмитро

<i>АНАЛІЗ ПЕРЕВАГ ВИКОРИСТАННЯ ГІДРАВЛІЧНОГО ПРИВОДУ НАХИЛУ ЕЛЕКТРОДУГОВОЇ ПЕЧІ.....</i>	<i>368</i>
--	------------

Ходунов Андрій

<i>ДОСЛІДЖЕННЯ МОНОЛІТНИХ ВОЛОК З РІЗНОЮ ФОРМОЮ ПЕРЕРІЗУ РОБОЧОГО КАНАЛУ.....</i>	<i>370</i>
---	------------

СЕКЦІЯ «ІНФОРМАЦІЙНА ЕКОНОМІКА, ПІДПРИЄМНИЦТВО ТА ФІНАНСИ»

Бондаренко Кирил, Гавриленко Олексій

<i>РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ВИЯВЛЕННЯ НЕКОРЕКТНОЇ ТА ЗАСТАРІЛОЇ ІНФОРМАЦІЇ НА WEB-РЕСУРСАХ КАФЕДРИ ЗВО.....</i>	<i>372</i>
---	------------

ДОДАТОК Г

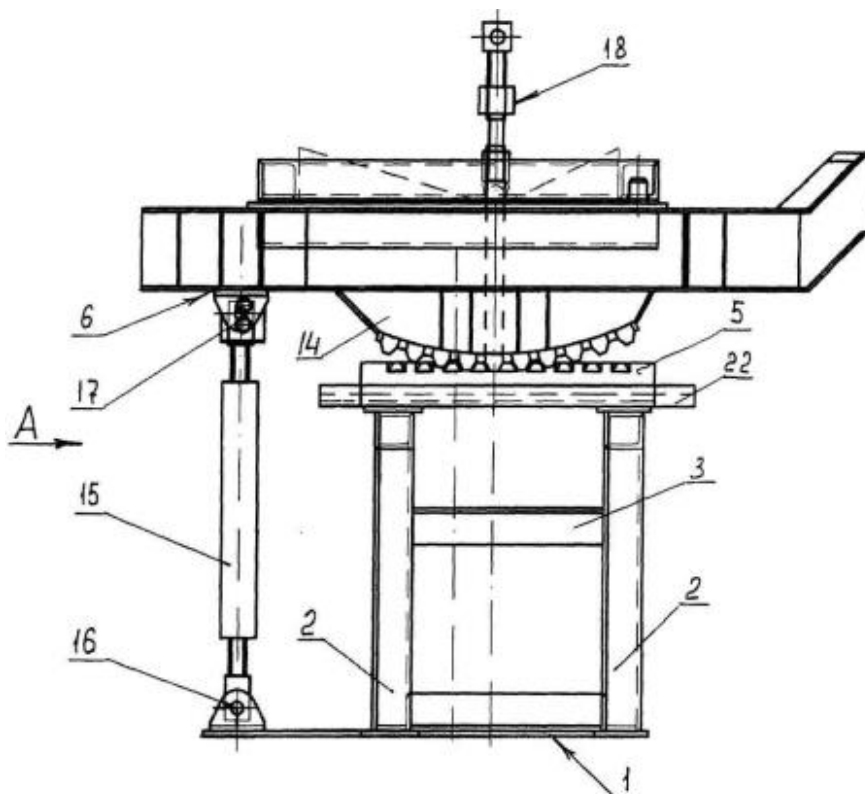


Рисунок Г.1.15 – Фігура 1

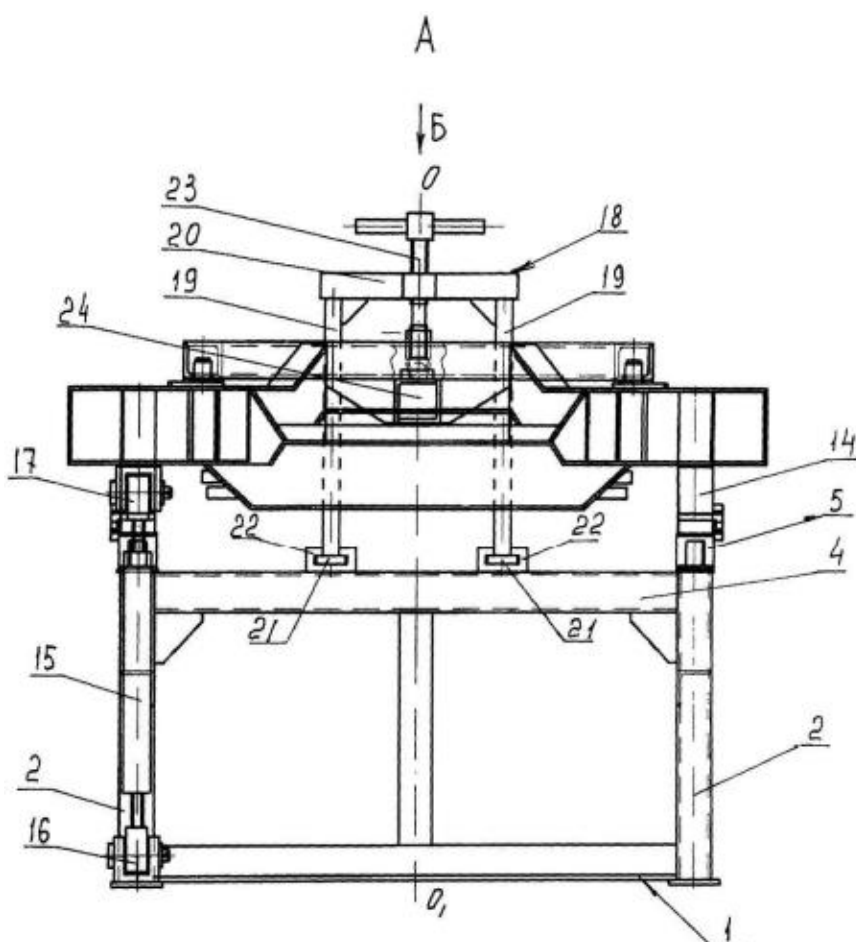


Рисунок Г.1.16 – Фігура 2

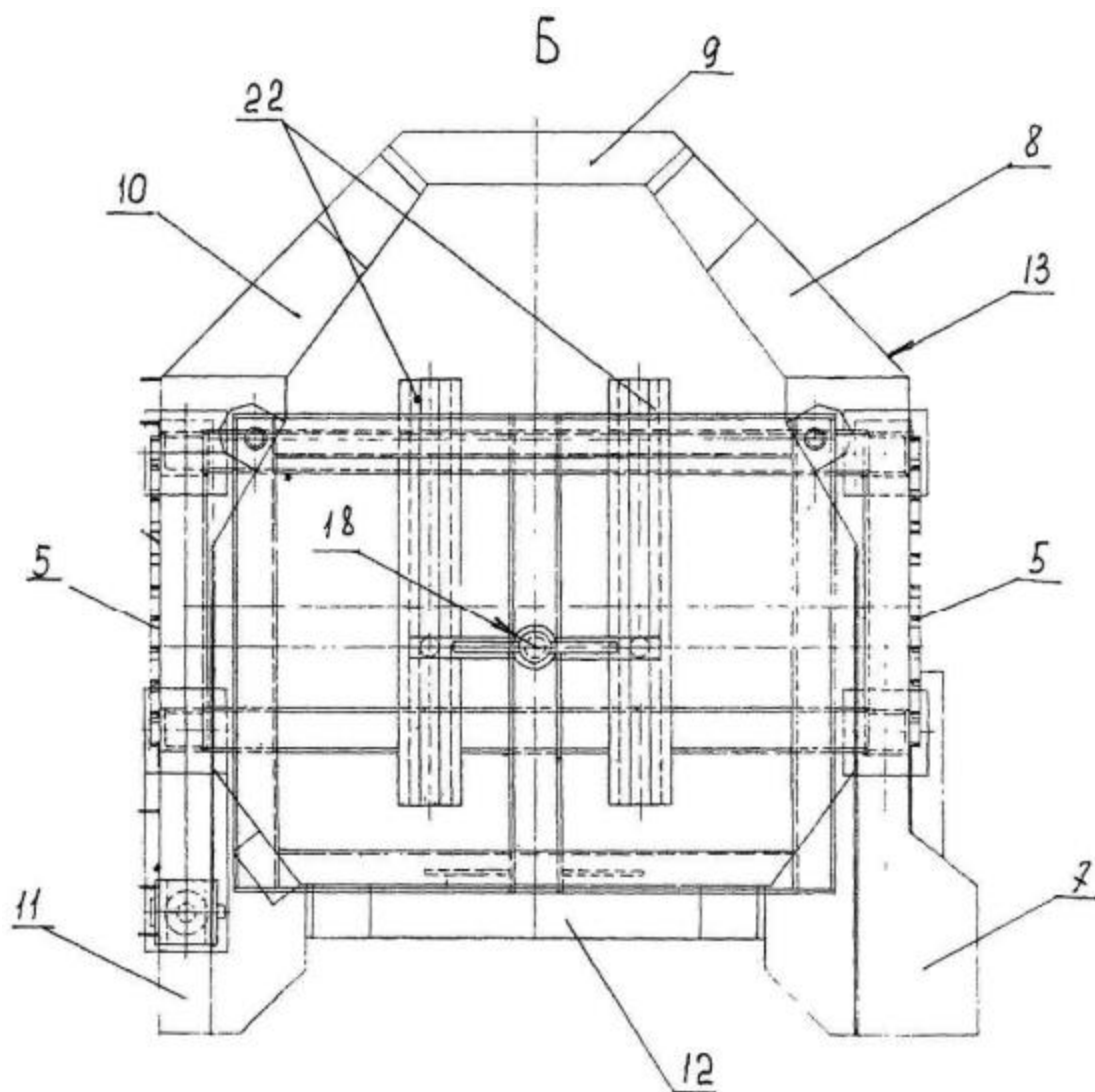


Рисунок Г.1.17 – Фігура 3

ДОДАТОК Д

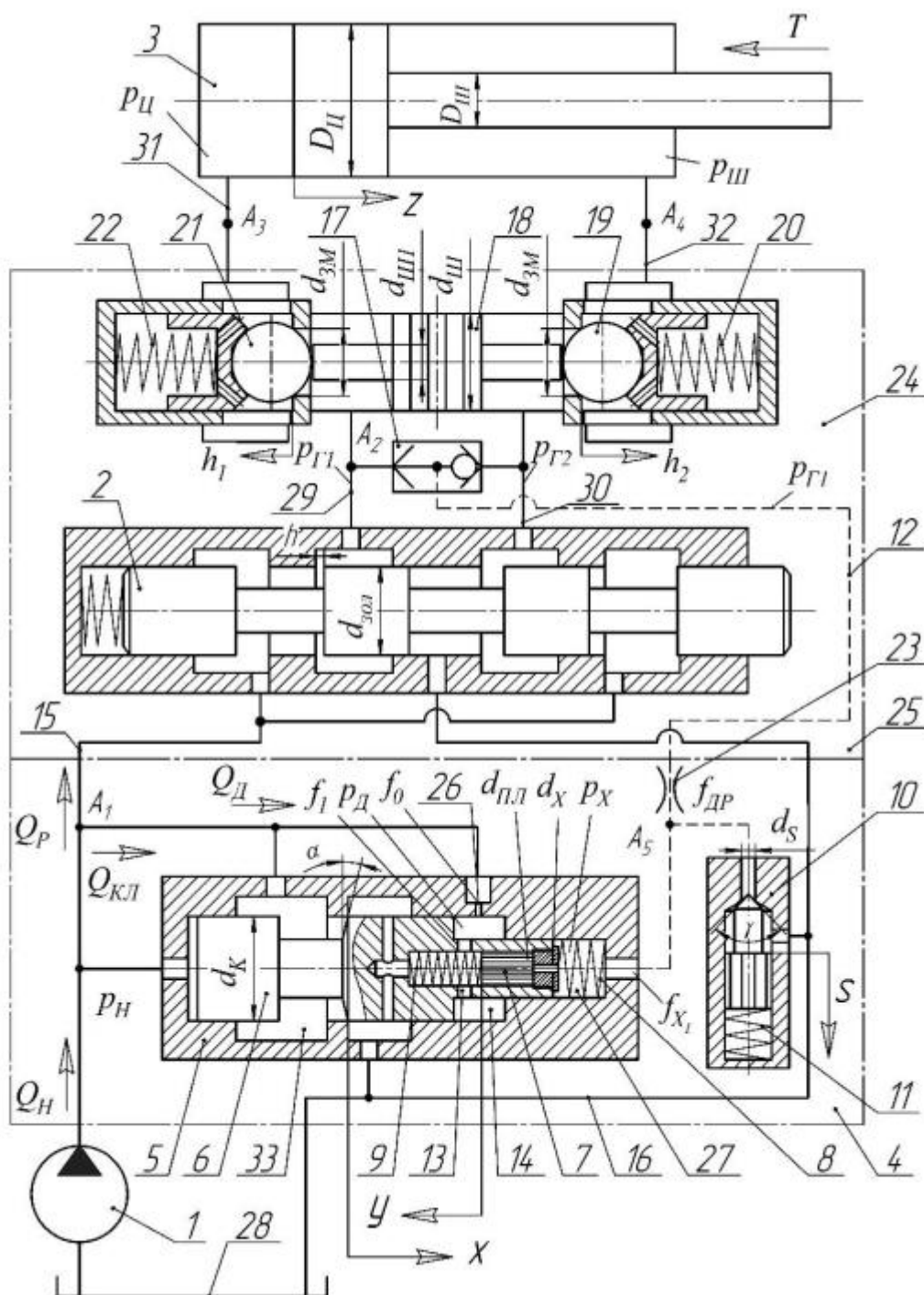


Рисунок Д.3.1 – схема гідроприводу чутливого до навантаження на базі мультирежимного гідрозподільника

ДОДАТОК Є

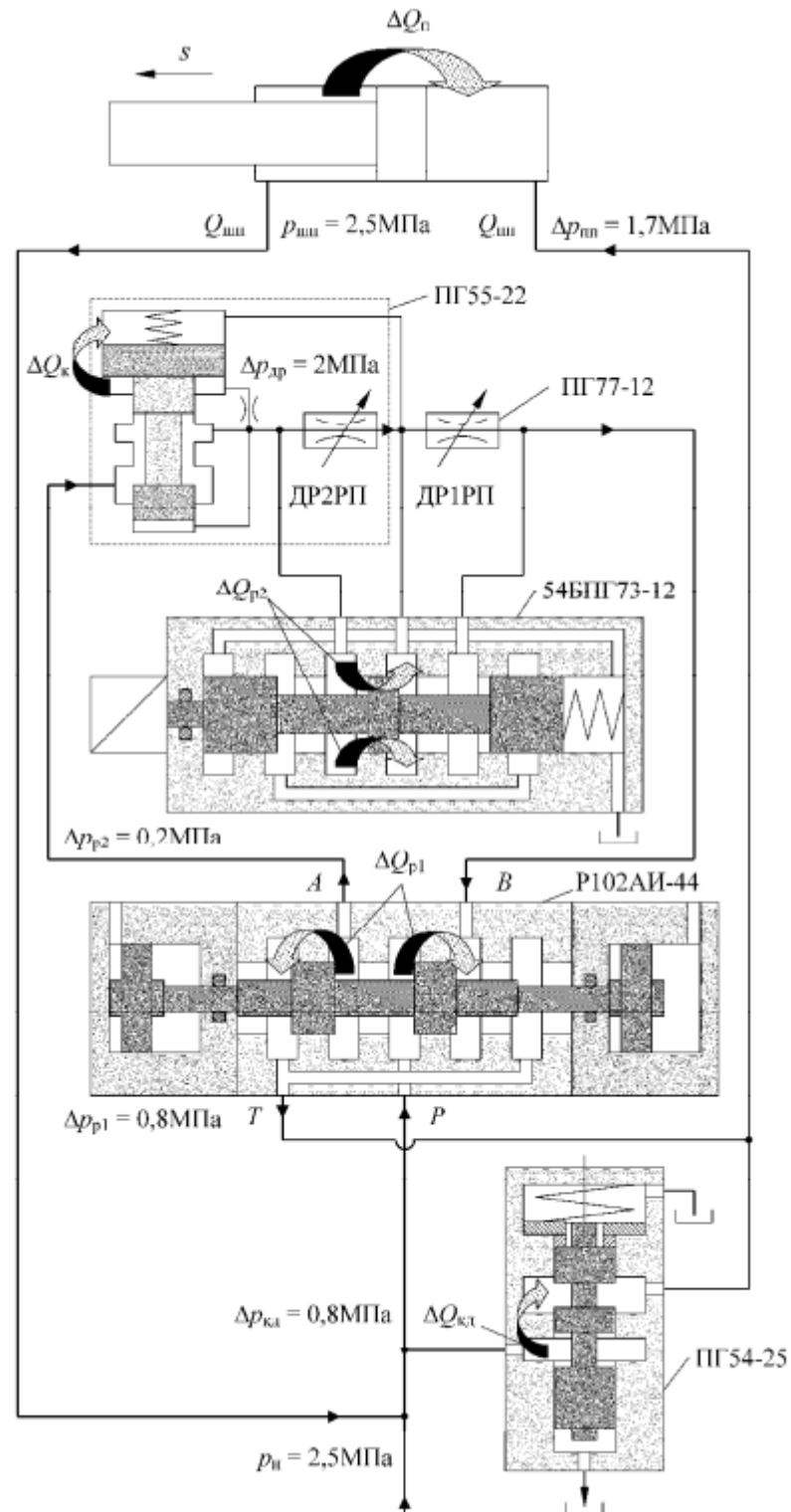


Рисунок Є.3.2 – схема гідроприводу чутливого до навантаження на базі мультирежимного гідророзподільника