

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»

Навчально-науковий інститут електроенергетики  
(інститут)

Електротехнічний факультет  
(факультет)

Кафедра кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем  
(повна назва)

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
**кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра**

студента Гулай Ярослав Олександрович

(П.І.Б.)

академічної групи 151-19-1

(шифр)

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(код і назва спеціальності)

**за освітньо-професійною програмою** 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(офіційна назва)

**на тему** Автоматизація процесу керування дугової сталеплавильної печі

(назва за наказом ректора)

Консультанти	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинг.	інституційною	
Керівник кваліфікаційної роботи	ас. Бойко О.О.			
Провідний консультант	ас. Бойко О.О.			
Розробка апаратного забезпечення системи керування	доц. Соснін К.В.			
Визначення моделі об'єкта керування	ст.викл. Бойко О.О.			
Економічна частина	ст. викл. Яремчук І.О.			
Охорона праці	проф. Чеберячко Ю.І.			
Рецензент				
Нормоконтролер	ас. Воскобойник Є.К.			

Дніпро  
2023

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**  
завідувач кафедри  
кіберфізичних та інформаційно-  
вимірювальних систем  
(повна назва)

Бублік А.В.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 року

**ЗАВДАННЯ**  
**на кваліфікаційну роботу**  
**ступеня бакалавр**

студенту Гулай Я.О. академічної групи 151-19-1  
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

за освітньо-професійною програмою 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
(офіційна назва)

на тему Автоматизація процесу керування дугової сталеплавильної печі  
затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» № 328-с від 08.05.2023 р.

Розділ	Зміст	Термін виконання
Стан питання та постановка завдання	Вступ. Опис технологічного процесу для об'єкта автоматизації. Огляд існуючих систем автоматизації. Стан питання. Вибір напрямку створення автоматизованої системи.	01.05.2023
Розробка апаратного забезпечення системи керування	Обрання датчиків, виконавчих пристроїв та пристрою керування, розробка структурних схем, функціональної схеми автоматизації та принципової схеми електричної.	10.05.2023
Визначення моделі об'єкта керування	Виконання експерименту. Обробка результатів експерименту. Створення моделі об'єкта керування. Перевірка отриманої моделі на адекватність.	15.05.2023
Економічна частина	Економічне обґрунтування доцільності витрат на створення системи керування.	25.05.2023
Охорона праці	Розробка організаційно-технічних заходів, щодо реалізації правил безпеки при експлуатації системи.	31.05.2023

**Завдання видано**

\_\_\_\_\_ (підпис керівника)

ас. Бойко О.О.  
(прізвище, ініціали)

**Дата видачі**

01.05.2023

**Дата подання до екзаменаційної комісії**

10.06.2023

**Прийнято до виконання**

\_\_\_\_\_ (підпис студента)

Гулай Я.О.  
(прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 99 стор., 46 рис., 21 табл., 2 дод.

Об'єкт розробки – система автоматичного керування переміщенням електродів дугової сталеплавильної печі Danieli AF3T195-P210.

Об'єкт дослідження - система переміщенням електродів дугової сталеплавильної печі Danieli AF3T195-P210 з технологічного електросталеплавильного комплексу заводу «Інтерпайп Сталь» м. Дніпро.

Предмет дослідження – система переміщенням електродів дугової сталеплавильної печі Danieli AF3T195-P210.

Мета роботи - розробка моделі об'єкта керування для регульованого струму електродів в залежності від ступеню занурення їх у шихту печі, при цьому інші вхідні і вихідні параметри об'єкта керування мають бути не змінними і знаходитись у номінальному стані.

Виходячи з отриманих результатів можливо зробити висновок, що розроблена модель відповідає об'єкту керування, та може бути використана для подальшої розробки системи керування. Подальше вдосконалення моделі можливе у рамках більш детального аналізу впливів збурення, та модифікації програмного коду з метою підвищення швидкодії. Отримана модель може бути використана для розробки програмного забезпечення підсистеми керування.

Розглянуто техніко-економічного обґрунтування ефективності результатів розробки і впровадження автоматичного керування переміщенням електродів дугової сталеплавильної печі Danieli AF3T195-P210.

Проведено аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників, розроблено інженерно-технічні заходи по охороні праці, розглянуті протипожежні заходи.

СТАЛЕПЛАВИЛЬНА ПІЧ, ШИХТА, ЕЛЕКТРОД, ПЕРЕМІЩЕННЯ, СТРУМ, СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, ДАТЧИК, ВИКОНАВЧИЙ ПРИСТРІЙ, ДОСЛІДНИЦЬКА СИСТЕМА, ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ

## ЗМІСТ

Вступ	7
1 Стан питання та постановка завдання	9
1.1 Історичні відомості	9
1.1.2 Конструкція сучасної ДСП	11
1.1.3 Електроживлення ДСП	13
1.1.4 Переваги і недоліки виплавки сталі у ДСП	15
1.2 Технологічна схема ДСП	16
1.2.1 Електросталеплавильний комплекс «Інтерпайп Сталь»	16
1.2.2 Технологічний процес виробництва сталі в дугових печах змінного струму	23
1.3 Об'єкт керування	25
1.3.1 Загальні відомості	25
1.3.2 Характеристика об'єкта керування	28
1.3.2.1 Сталеплавильна електропіч	28
1.3.2.2 Механізм переміщення електрода	28
1.3.3 Структура об'єкту керування	31
1.4 Формулювання задачі дослідження	31
1.5 Висновки за розділом	32
2 Розробка апаратного забезпечення системи керування	34
2.1 Розробка структурної схеми підсистеми керування	34
2.2 Вибір апаратного забезпечення підсистеми керування	35
2.2.1 Вибір датчиків	35
2.2.1.1 Датчикі струму	35
2.2.1.2 Датчик напруги	36
2.2.1.3 Перелік вхідний сигналів і вхідних модулів узгодження	37
2.2.2 Вибір виконавчих пристроїв	37
2.2.2.1 Частотний перетворювач	37
2.2.2.2 Перелік вихідний сигналів і вихідних модулів узгодження	38
2.2.3 Вибір пристроїв керування	39

	5
2.2.3.1 Контролер	39
2.2.3.2 Модуль аналогового вводу	40
2.2.3.2 Модуль аналогового виводу	41
2.2.3.4 Канал зв'язку	43
2.2.3.5 Перелік вхідний і вихідних сигналів, контролер та вхідні і вихідні модулі	43
2.2.4 Вибір джерел живлення	44
2.3 Розробка функціональної схеми автоматизації	46
2.4 Розробка схеми електричної принципової	48
2.5 Висновки за розділом	50
3 Визначення моделі об'єкта керування	51
3.1 Загальні відомості	51
3.2 Розробка структурної схеми інформаційних потоків дослідницької системи	53
3.3 Розробка методики дослідження об'єкта керування	55
3.4 Виконання експерименту	56
3.5 Обробка результатів експерименту	60
3.5.1 Підготовка даних	60
3.5.2 Структурна ідентифікація	62
3.5.3 Параметрична ідентифікація	65
3.5.4 Розробка моделі об'єкта керування в Simulink	68
3.5.5 Перевірка моделі на адекватність	70
3.6 Розробка схеми моделі частотного перетворювача	71
3.7 Остаточна комплексна модель об'єкту керування	72
3.8 Висновки за розділом	73
4 Економічна частина	75
4.1 Техніко-економічне обґрунтування впровадження системи керування	75
4.2 Розрахунок капітальних витрат при впровадженні системи керування	76
4.3 Розрахунок капітальних витрат на програмне забезпечення	77
4.3.1 Розрахунок часу на розробку програмного забезпечення	77
4.3.2 Розрахунок витрат на розробку програмного забезпечення	79
4.4 Розрахунок експлуатаційних витрат	80

	6
4.4.1 Амортизація основних фондів	81
4.4.2 Розрахунок фонду заробітної плати	81
4.4.3 Відрахування на соціальні заходи	82
4.4.4 Розрахунок витрат на технічне обслуговування та ремонт	82
4.4.5 Витрати на електроенергію	83
4.4.6 Інші витрати	83
4.5 Висновки за розділом	84
5 Охорона праці	85
5.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів	85
5.2 Інженерно-технічні й організаційні заходи	87
5.3 Пожежна профілактика	91
5.5 Висновки за розділом	93
Висновки	94
Перелік посилань	97
Додаток А	100
Додаток Б	101
Відгуки консультантів кваліфікаційної роботи	102
Відгук	104
Рецензія	106

## ВСТУП

Залізо є одним з найдавніших матеріалів, що використовуються в історії людства (майже 3 000 років), вироби із заліза та сталі є невід'ємною частиною життя сьогодні:

- залізниця, автомобілі та кораблі неможливо уявити без сталі;
- у сучасних будівлях і мостах він застосовується в істотному ступені;
- платформи для буріння нафти в море побудовані зі сталі;
- деталі холодильників, пральних машин і кухонних плит;
- мотоблоки виготовлені з чавуну...

Жоден завод, що виробляє будь-яку річ, яку ви можете придумати, не може бути побудований і побудований без сталі [1].

Електродугова піч - це піч, яка нагріває матеріал за допомогою електричної дуги. Розміри дугових промислових печей варіюються від невеликих агрегатів вантажопідйомністю приблизно в одну тону (використовуються на ливарних заводах для виробництва чавунних виробів) до приблизно 400-тонних агрегатів, що використовуються для вторинного виробництва сталі. Температура промислових дугових електричних печей може досягати 1 800 °С. В дугових електропечах завантажений матеріал введений в піч для нагрівання безпосередньо піддається впливу електричної дуги, а струм проходить через заряджений матеріал – який і є основним джерелом енергії для здійснення процесу розплавлення металу [2].

Відповідність якості сталі напряму залежить від багатьох параметрів, в тому числі від температурних показників самого процесу плавлення металу. Параметри, необхідні для аналізу та оптимізації процесу, однак у багатьох випадках не можуть бути виміряні безпосередньо через жорсткі умови всередині печі. Температуру і склад розплаву і шлаку можна визначити тільки за допомогою точкових вимірювань і з деякою затримкою, викликані необхідним аналізом зразка.

Хоча методи прямого і безперервного вимірювання цих параметрів розробляються, для більшості печей вони поки недоступні.

Дугова електропіч є основною технологічною одиницею в сталеплавильному виробництві брухту, тому завдяки її важливості розроблено численні математичні моделі для прогнозування перебігу дугового електросталеплавильного процесу [1].

Період плавлення шихти в деяких випадках становить більше половини всього періоду плавлення. За цей період близько 60...80 % енергії витрачається на плавку. Дуги горять нестабільно, і під час одного плавлення може статися до 200 оперативних коротких замикань, що призводить до порушень роботи регуляторів руху електродів і збільшення часу плавлення [6].

Випробування на заводі, необхідні для оцінки впливу різних стратегій оптимізації, можуть бути неможливими через непомірні витрати або проблеми безпеки. Таким чином, математичні моделі є цінним джерелом інформації щодо невідомих параметрів процесу. Моделювання також можна використовувати як менш дорогу, швидшу та безпечнішу альтернативу для хімічних і фізичних випробувань параметрів сталі. Для ДСП розроблений широкий спектр моделей з різними цілями і підходами до моделювання. Переваги систем керування електродугових печей забезпечуються режимом енергозбереження за допомогою:

- значної кількості систем керування;
- автоматичної оптимізації заданого значення;
- нелінійного контролю за поведінкою [1].

У кваліфікаційній роботі розглядаються математичні моделі об'єкту керування, які необхідні для побудови та валідації системи керування.

Метою цієї роботи є створення системи керування для швидких і комплексних процесів плавлення сталі електричним струмом. На відміну від статистичних рівнянь для прогнозування умов кінцевих параметрів або моделювання обчислювальної термодинаміки ці моделі є необхідними для побудови якісної системи керування розглянуті.

Як правимо локальні системи керування мають бути об'єднані у вигляді локальної обчислювальної мережі для виконання всіх комунікацій від рівня технологічного процесу до рівня підприємства і навпаки [4].



## 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

### 1.1 Історичні відомості

У 19 столітті багато людей використовували електричну дугу для плавлення заліза. Гемфрі Деві провів експериментальну демонстрацію в 1810 році; зварювання досліджував Пепіс в 1815 році; Пінчон спробував створити електротермічну піч в 1853 році; а в 1878-79 роках Вільям Сіменс отримав патенти на електричні печі дугового типу.

Перша успішна і діюча дугова сталеплавильна піч (ДСП) була винайдена Джеймсом Берджессом Редманом в Единбурзі, Шотландія, в 1888 році і запатентована в 1889 році. Це було спеціально для створення фосфору.

Подальші дугові електричні печі були розроблені Полем Еро з Франції з комерційним заводом, заснованим у Сполучених Штатах у 1907 році. Брати Сандерсони заснували The Sanderson Brothers Steel Co. в Сіракузах, штат Нью-Йорк, встановивши першу електричну дугову піч в США. Ця Heroult піч зараз виставлена в музеї на Стейшн-сквер, Піттсбург, штат Пенсільванія.

На рис. 1.1 показано схематичний поперечний переріз дугової печі Heroult: E - електрод (умовно показано тільки один замість трьох), який підіймається і опускається рейковим приводом R і S. Внутрішнє оздоблення печі виконано з облицювальної вогнетривкої цегли H, а K позначає нижню обшивку. Простір A відкриває доступ до печі, який використовується для завантаження матеріалу в піч, який після завантаження матеріалу в піч закривається за допомогою стіни з вогнетривкої цегли. Оболонка печі спирається на коромисла, що дозволяє нахилити її для спорожнення її від розплавленого металу через невеличкий «пробивний» проїм над простором A.

Спочатку «електрична сталь» була спеціальним джерелом для виготовлення сталей для таких цілей, як верстати та пружинна сталь. Дугові електричні печі використовувалися також для підготовки карбїду кальцію для використання в твердосплавних навалювальних елементах для ламп розжарювання.

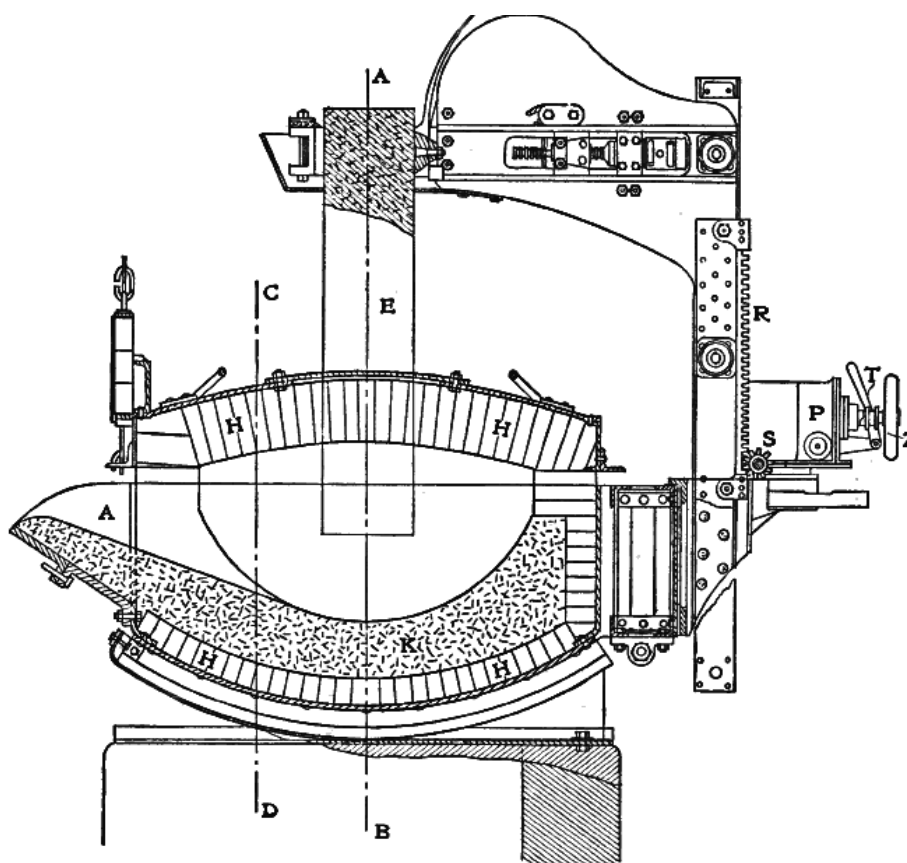


Рисунок 1.1 - Схематичний поперечний переріз через дугову піч Heroult

Під час Другої світової війни ДСП широко використовувалися для виробництва легованих сталей і тільки пізніше електросталеплавильне виробництво почало розширюватися. Низька капітальна вартість міні-заводу – близько 140...200 доларів США за тонну річної встановленої потужності в порівнянні з 1 000 доларів США за тонну річної встановленої потужності для інтегрованого сталеливарного заводу – дозволила швидко створити заводи в зруйнованій війною Європі, а також дозволила їм успішно конкурувати з великими американськими металургійними гігантами, такими як Bethlehem Steel і U.S. Steel. Перш за все це стосувалося для виробництва недорогих «сортових виробів» з вуглецевої сталі (конструкційна сталь, прутки і прутки, дрід і кріплення) на ринку США.

Коли в 1969 році Nucor - тепер один з найбільших виробників сталі в США, вийшов на ринок сортового прокату, вони використовували міні-заводи з ДСП в якості як основної сталеплавильної печі, а незабаром за ним пішли інші виробники. У той час як Nucor швидко розширювався на сході США, компанії, які пішли за

ними з міні-заводами з ДСП, зосередилися на місцевих ринках довгомірної продукції, що вдало дозволило цим заводам варіювати виробництво відповідно до місцевого попиту. Ця модель виробництва була наслідувана в усьому світі: виробництво сталі ДСП в основному використовувалося для сортового прокату, в той час як заводи, що використовують доменні печі та киснево-конвертерні печі, були загнані в кут ринку «плоского прокату» — листової сталі та важких сталевих пластини.

У 1987 році Nucor розширилася на ринок плоского прокату, використовуючи метод виробництва з сучасними ДСП [2].

### 1.1.2 Конструкція сучасної ДСП

На рис. 1.2 показано схематичний поперечний переріз сучасної ДСП

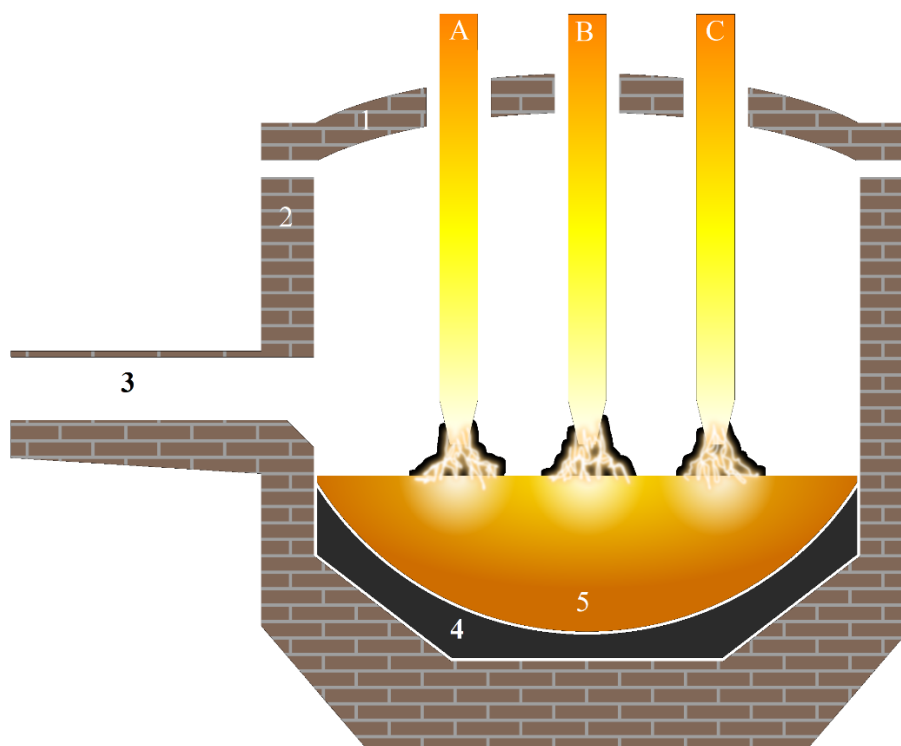


Рисунок 1.2 - Схематичний поперечний переріз сучасної ДСП:

A, B, C - три електроди; 1 - вогнетривка цегляна рухома кришка;  
 2 - цегляна оболонка; 3 - «пробивний» носик для злива;  
 4 - вогнетривка чаш; 5 - розплавлена ванна;

Електродугова піч, що використовується для виплавки сталі, складається з вогнетривкої посудини, зазвичай водяного охолодження великих розмірів, покритого висувним дахом, і через який один або кілька графітових електродів

надходять в піч. Піч в основному розділена на три секції: оболонка, яка складається з боковин і нижньої сталеві «чаші»; вогнище, яке складається з вогнетривкого, що вистилає нижню чашу; Кришка може бути з футеровкою або з водяним охолодженням, і може мати форму перетину сфери, або як фрустум (конічний розріз). Дах також підтримує вогнетривку дельту в своєму центрі, через яку входять один або кілька графітованих електродів.

Вогнище може бути напівсферичної форми, або в ексцентричній, яке має форму половинки яйця. У сучасних плавильних цехах саму піч часто можна піднімати до першого поверху, що дозволяє легко нею маневрувати. Окремо від конструкції печі знаходиться електродна опора і електрична система, а також перекидна платформа, на яку спирається піч. Можливі дві конфігурації: опори електродів і дах нахиляються з одночасно піччю, або кріпляться до піднятої платформи [2].



Рисунок 1.3 - Кришка дугової печі (видно три нагріті електроди)

Піч побудована на похилій платформі, щоб рідку сталь можна було перелити в іншу посудину для транспортування. Операція перекидання печі для заливки розплавленої сталі називається «постукуванням». Спочатку всі сталеплавильні печі мали замкнутий вогнетривким носиком, який вимивався при нахилі печі, але часто

сучасні печі мають ексцентрикове нижнє льотко для зменшення включення азоту і шлаку в рідку сталь. Ці печі мають тафоль, який проходить вертикально через вогнище і шлак, і розташований поза центром у вузькому «носі» яйцеподібного вогнища. Його заповнюють тугоплавким піском, наприклад, олівіном, коли він закритий. Сучасні установки можуть мати дві оболонки з одним набором електродів, які можуть пересуватися між ними; Одна оболонка попередньо нагріває брухт, а інша оболонка використовується для розплавлення. Інші печі на базі постійного струму мають аналогічне розташування, але мають електроди для кожної оболонки і один комплект системи керування.

Печі змінного струму зазвичай мають картину гарячих і холодних точок по периметру поду, з холодними точками, розташованими між електродами. Сучасні печі встановлюють киснево-паливні пальники в боковині і використовують їх для забезпечення хімічною енергією холодних точок, роблячи нагрівання сталі більш рівномірним. Додаткова хімічна енергія забезпечується за рахунок нагнітання кисню і вуглецю в піч. Історично це робилося за допомогою фурм (порожнистих трубок з м'якої сталі в шлакових дверцятах, але зараз це в основному здійснюється за допомогою настінних інжекторних установок, які об'єднують киснево-паливні пальники та системи впорскування кисню або вуглецю в одне ціле.

### **1.1.3 Електроживлення ДСП**

Електродугове виплавка сталі економічна тільки там, надійна та дешева електроенергія, з добре розвинуеною електричною мережею.

У багатьох місцях такі ДСП працюють у непікові години, коли комунальні підприємства мають надлишкову потужність для виробництва електроенергії, а ціна на електроенергію нижча. Це дуже вигідно відрізняється від енергоспоживання світового виробництва сталі всіма методами, яке оцінюється приблизно в 2 ГДж на тонну (1 ГДж дорівнює приблизно 270 кВт-год).

Типова піч змінного струму живиться від трифазного електроживлення і тому має три електроди. Електроди круглі в перерізі, і, як правило, в сегментах з різьбовими муфтами, так що в міру зносу електродів можна додавати нові

сегменти. Дуга утворюється між зарядженим матеріалом і електродом; Заряд нагрівається як струмом, що проходить через заряд, так і променистої енергією, що розвивається дугою. Температура електричної дуги досягає близько 3 000 °С, що призводить до того, що нижні секції електродів світяться розжарювання під час роботи. Електроди піднімаються та опускаються системою позиціонування, яка може використовувати електричні підйомники лебідок або гідравлічні циліндри. Система керування має підтримувати приблизно постійний струм (потужність) під час плавлення шихти, навіть незважаючи на те, що металевий брухт може переміщатися під електродами під час плавлення.

Щоглові кронштейни, що утримують електроди, можуть або нести важкі збірні шини (які можуть бути порожнистими мідними трубами з водяним охолодженням, що передають струм до затискачів електродів), або бути «гарячими руками», де вся рука несе струм, підвищуючи ефективність. Гарячі кронштейни можуть бути виготовлені зі сталі або алюмінію, покритої міддю. Великі кабелі з водяним охолодженням з'єднують трубки шини або кронштейни з трансформатором, розташованим по сусідству з топкою. Трансформатор встановлюється в сховище і охолоджується циркулюючим насосом трансформаторним маслом, при цьому масло охолоджується водою за допомогою теплообмінників.

Сучасна сталеплавильна піч середнього розміру, як правило має трансформатор потужністю близько 60 МВА, з вторинною напругою 400...900 В і вторинним струмом понад 44 кА. У сучасному цеху очікується, що така піч вироблятиме 80 т рідкої сталі приблизно за 50 хв. від завантаження холодним брухтом до нарізки печі. Для порівняння, киснево-конвертерні печі можуть мати потужність 150-...300 т на партію і час 30...40 хв.

Існують величезні відмінності в деталях конструкції та експлуатації ДСП залежно від кінцевого продукту та місцевих умов. Найбільша піч тільки для брухту (з точки зору ваги нарізки та номіналу трансформатора) - це піч постійного струму, що експлуатується компанією Tokyo Steel в Японії, з масою крана 420 т і живиться вісьмома трансформаторами 32 МВА для загальної потужності 256 МВА.

### 1.1.4 Переваги і недоліки виплавки сталі у ДСП

Використання ДСП дозволяє виготовляти сталь зі 100 % сировини металобрухту. Це значно знижує енергію, необхідну для виробництва сталі, якщо порівнювати її з первинним виплавою сталі з руд. Ще однією перевагою є гнучкість: в той час як доменні печі не можуть значно варіювати своє виробництво і можуть залишатися в експлуатації роками, ДСП можуть бути швидко запуснені і зупинені, що дозволить металургійному комбінату варіювати виробництво відповідно до попиту. Хоча дугові сталеплавильні печі, як правило, використовують металобрухт як основну сировину, якщо чавун з доменної печі або залізо з прямим відновленням доступні економічно, вони також можуть бути використані як подача печі.

Оскільки ДСП вимагають великої кількості електроенергії, багато компаній планують свою діяльність, щоб скористатися перевагами непікових цін на електроенергію. Типова дугова сталеплавильна піч є джерелом сталі для міні-млина, який може виготовляти прутки або смуговий продукт. Міні-заводи можуть бути розташовані відносно поблизу ринків сталевих продукції, тому транспортні вимоги менші, ніж для інтегрованого млина, який зазвичай розташовується поблизу гавані для кращого доступу до судноплавства. Виробництво сталі в дугових електропечах призводить до зниження викидів вуглекислого газу приблизно на 0,6 т CO<sub>2</sub> на тону виробленої сталі, що значно нижче, ніж звичайний маршрут виробництва доменними печами та киснево-конвертерною піччю.

Теоретично, електричні дугові печі можуть житися тільки низьковуглецевими джерелами енергії, такими як вітрова, сонячна, гідроелектростанція і ядерна енергія. Це ще більше зменшить викиди та втілену енергію, пов'язану з виробництвом сталі або будь-якого з багатьох інших матеріалів, що вимагають печей, включаючи скло. Це робить ДСП привабливим варіантом для зеленої промисловості.

Хоча сучасна дугова електропіч є високоефективним переробником сталевих брухту, робота дугового цеху може мати несприятливі екологічні

наслідки. Значна частина капітальних витрат на нову установку буде спрямована на системи, призначені для зменшення цих ефектів, які включають:

- корпуси для зниження високого рівня звуку;
- пиловловлювач газів що виділяються при виробництво шлаку;
- потреба в охолоджувальній воді;
- перевезення великої кількості ватажу з металобрухтом;
- обробки матеріалів та продукції;
- екологічні наслідки виробництва електроенергії через дуже динамічні

параметри навантаження дугової печі, при яких енергосистеми можуть вимагати технічних заходів для підтримки якості електроенергії для інших споживачів [2].

## **1.2 Технологічна схема ДСП**

### **1.2.1 Електросталеплавильний комплекс «Інтерпайп Сталь»**

У м. Дніпро у 2011 році побудовано сучасний електросталеплавильний комплекс «Інтерпайп Сталь» м. Дніпро.

Інтерпайп Сталь - це найбільший електросталеплавильний комплекс з виробництва круглої сталеві заготовки у Східній Європі. Підприємство забезпечує виробництво сталеві заготовки трубне і колісне виробництво компанії «Інтерпайп». З 2014 року Інтерпайп Сталь виробляє круглу сталеву заготовку також і на експорт.

Це сучасний електросталеплавильний завод, який відповідає вимогам екологічного виробництва сталеві заготовки. Підприємство з моменту свого будівництва має низький рівень викидів CO<sub>2</sub> - нижче 250 кг/т сталі, тобто, в межах норм, які ЄС має намір досягти в рамках Європейського зеленого курсу до 2050 року.



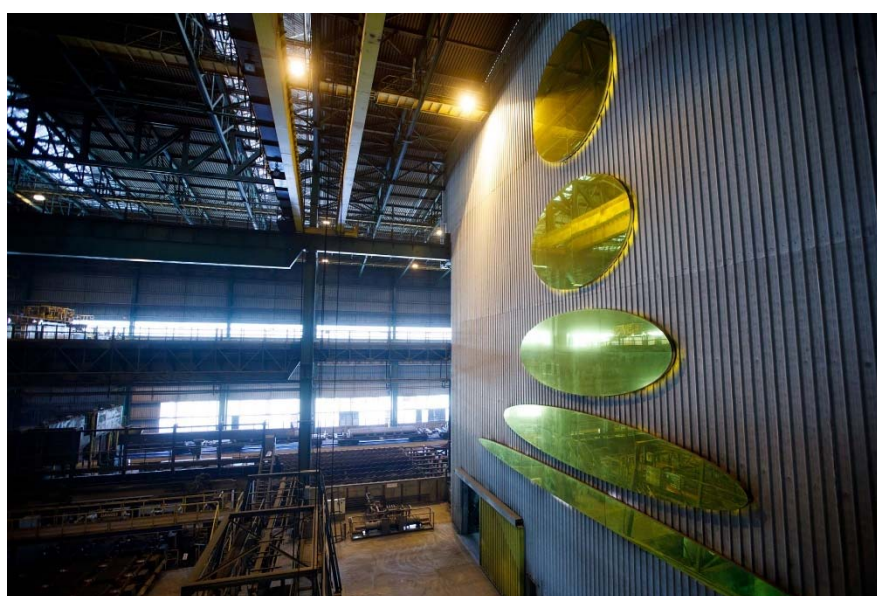


Рисунок 1.4 - Електросталеплавильний комплекс «Інтерпайп Сталь»

На заводі використовуються технології «зеленої» металургії:

- замкнутий цикл системи водопостачання, технічна вода на виробництві очищується і використовується багаторазово, підприємство немає технічних стоків до р. Дніпро.

- сучасна система газовидалення і газоочищення, рівень викидів шкідливих речовин в атмосферне повітря не перевищує європейських стандартів.

- система шумоізоляції - побудований спеціальний захисний кожух, ефективність системи шумоізоляції якого підтверджена британською компанією ERM [1].

«Інтерпайп» власним коштом побудував нову підстанцію безпосередньо на території заводу. Згодом проблеми виникли із прокладанням лінії електропередач. Заводу потрібна була лінія напругою 330 кВ, але вона потребує підвищеної технічної безпеки та має обмеження у використанні у населених районах.

Тому фахівці «Інтерпайпу» ухвалили рішення прокласти цю лінію під землею. Тим більше, що вона потребує меншої ширини охоронної зони. Кабель прокладали за європейськими стандартами, адже виявилось, що на той момент в Україні не було жодних стандартів прокладання підземних кабелів.

Фахівці компанії самостійно розробляли нормативні документи, передавали на узгодження до галузевих відомств і будували першу підземну кабельну лінію. Завдяки Інтерпайпу вже сьогодні різні енергетичні компанії України будують підземні ЛЕП без проблем.

Для виробництва тонни сталі в електродуговій печі потрібно приблизно 440 кВт-год (1,6 ГДж) на тонну. Теоретична мінімальна кількість енергії, необхідна для плавлення тонни металобрухту, становить 300 кВт-год (1,09 ГДж) (температура плавлення 1 520 °С). Таким чином, для плавлення сталі 300-тонний ДСП потужністю 300 МВА знадобиться приблизно 132 МВт-год енергії, а «час увімкнення» (час, протягом якого сталь плавиться дугою) становить приблизно 37 хвилин.

Металобрухт доставляється в відсік для металобрухту, розташований поруч з цехом плавки. Брухт, як правило, буває двох основних марок: подрібнений (білі вироби, автомобілі та інші предмети, виготовлені з подібної легко-каліброваної сталі) і важкий розплав (великі плити і балки), а також деякий прямий відновлений залізо або чавун для хімічного балансу. Деякі печі плавлять майже 100 %. Брухт завантажується у великі ємності, які називаються кошиками, з «розкладачками» дверцятами в основі.

Важкий розплав кладуть поверх легкого шару захисного клаптика, поверх якого кладуть ще шматків. Ці шари повинні бути присутніми в печі після зарядки. Після завантаження кошик може перейти на підігрівач брухту, який використовує

відхідні газы гарячої печі для нагрівання брухту та відновлення енергії, підвищуючи ефективність заводу.

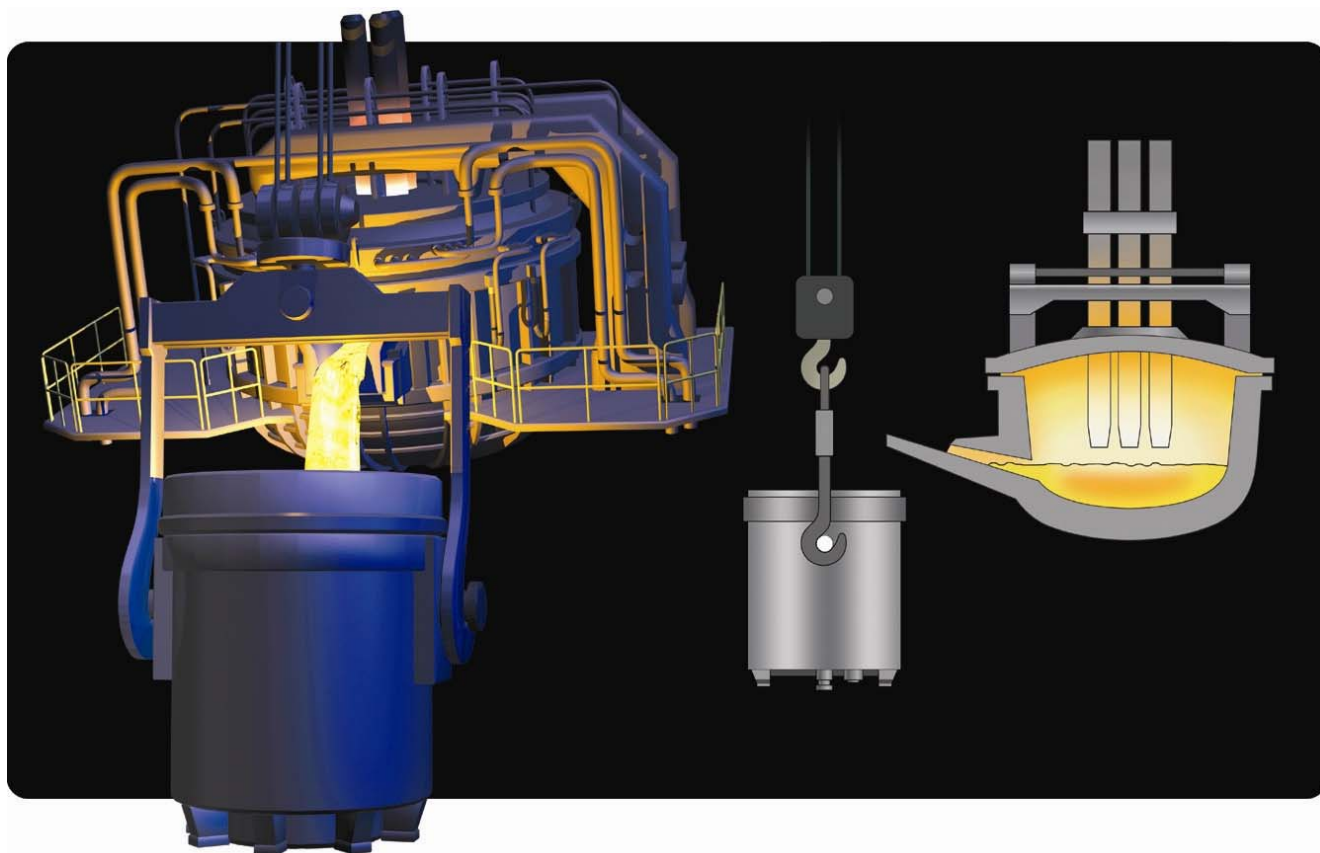


Рисунок 1.5 - Візуалізація зовнішньої та внутрішньої частини дугової електропечі

Слід подбати про нашарування брухту в кошик, щоб забезпечити хорошу роботу печі.

Потім кошик з брухтом відвозиться в плавильний цех, кришка відкривається в піч завантажується ломом з кошика. Зарядження є однією з найнебезпечніших операцій для операторів ДСП. Багато потенційної енергії виділяється тоннами падаючого металу; Будь-який рідкий метал в печі часто витісняється вгору і назовні твердим брухтом, а жир і пил на брухті запалюються, якщо піч гаряча, в результаті чого вивергається вогненна куля.

Після зарядки дах повертається назад над піччю і починається розплавлення. Електроди опускаються на брухт, спалахує дуга і потім електроди встановлюються для розточення шару подрібнення у верхній частині печі. Для цієї першої частини операції вибираються більш низькі напруги, щоб захистити дах і стіни від надмірного нагрівання і пошкоджень від дуг.

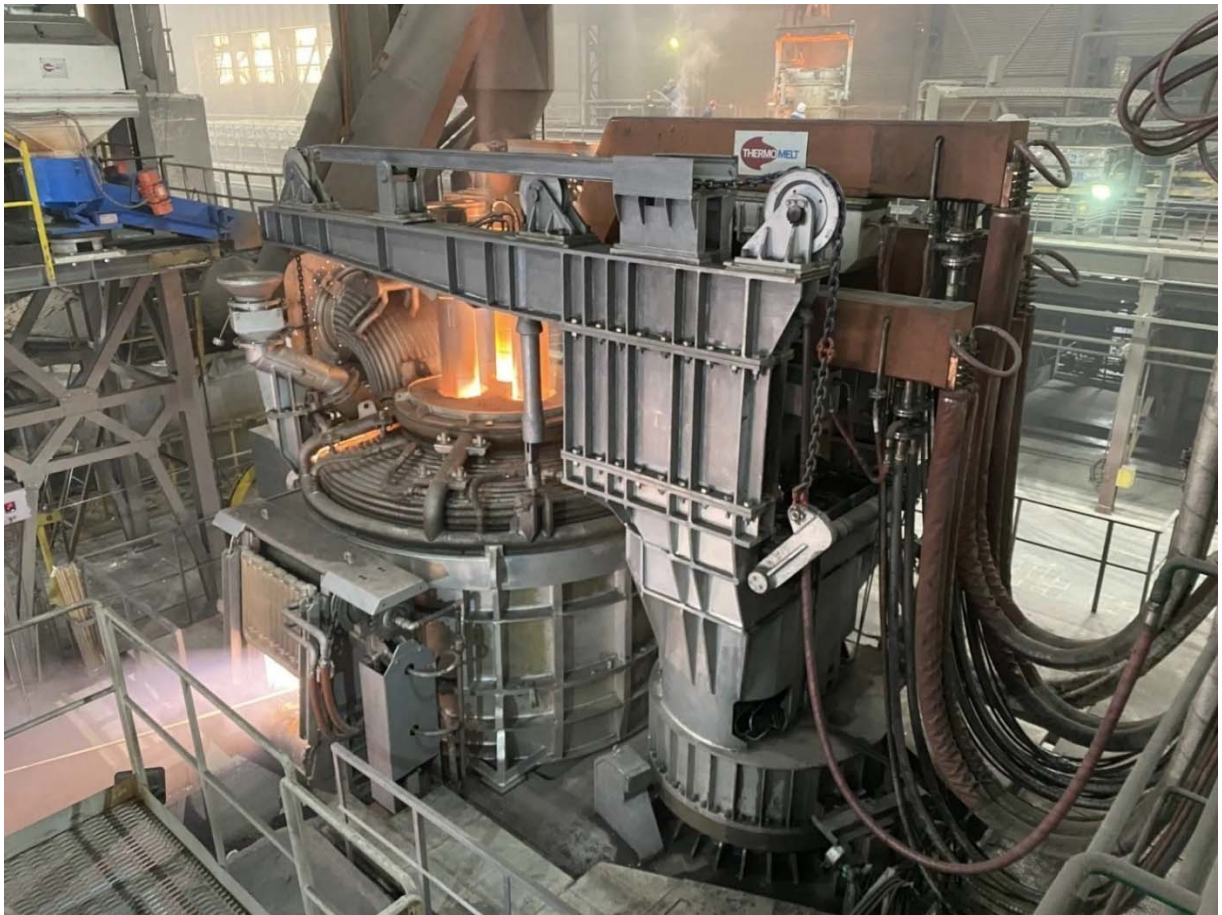


Рисунок 1.6 - Процес розплавлення розплавлення

Після того, як електроди досягли важкого розплаву в основі печі, а дуги екрановані бруктом, напругу можна збільшити, а електроди трохи підняти, подовжуючи дуги і збільшуючи потужність до розплаву. Це дозволяє розплавленому басейну формуватися швидше, скорочуючи час дотику до крана. Кисень вдувається в брукт, спалюючи або ріжучи сталь, а додаткове хімічне тепло забезпечується настінними киснево-паливними пальниками. Обидва процеси прискорюють розплавлення брукту. Надзвукові форсунки дають можливість струменям кисню проникати крізь піноутворюючий шлак і досягати рідкої ванни.

Важливою частиною сталеплавильного виробництва є утворення шлаку, який плаває на поверхні розплавленої сталі. Шлак зазвичай складається з оксидів металів і діє як призначення окислених домішок, як термоковдра (зупиняючи надмірні втрати тепла) і допомагаючи зменшити ерозію вогнетривкої футеровки. Для печі з основними вогнетривками, до якої відноситься більшість печей з виробництва вуглецевої сталі, звичайними шлакоутворювачами є оксид кальцію

(CaO, у вигляді паленого вапна) і оксид магнію (MgO, у вигляді доломіту і магнезиту). Ці шлакоутворювачі або завантажуються бруттом, або видуються в піч при розплаві.

Іншим важливим компонентом шлаку ДСП є оксид заліза при спалюванні сталі з введенням киснем. Пізніше в теплі вуглець (у вигляді коксу або вугілля) вводиться в цей шар шлаку, реагуючи з оксидом заліза з утворенням металевого заліза і чадного газу, який потім змушує шлак пінитися, забезпечуючи більшу теплову ефективність, кращу стабільність дуги та електричну ефективність. Шлакова ковдра також покриває дуги, запобігаючи пошкодженню даху печі і боковин від променистого тепла.

Після того, як початковий брутт був розплавлений, ще одне відро брутту може бути завантажено в піч, хоча розвиток ДСП рухається до однозарядних конструкцій. Процес зарядки брутту і розплавлення можна повторювати стільки разів, скільки необхідно для досягнення необхідної теплової ваги - кількість зарядів залежить від щільності брутту; Брутт меншої щільності означає більше зарядів. Після повного розплавлення всіх зарядів брутту проводяться очисні операції з перевірки і корекції хімії сталі і перегріву розплаву вище температури замерзання при підготовці до постукування.

Вводиться більше шлакоутворювачів і більше кисню вдувається у ванну, випалюючи домішки, такі як кремній, сірка, фосфор, алюміній, марганець і кальцій, і видаляючи їх оксиди в шлак. Видалення вуглецю відбувається після того, як ці елементи згоріли першими, так як вони мають більшу спорідненість до кисню. Метали, які мають більш бідну спорідненість до кисню, ніж залізо, такі як нікель і мідь, не можуть бути видалені за допомогою окислення і повинні контролюватися тільки за допомогою хімії брутту, наприклад, введення прямого відновленого заліза і чавуну, згаданого раніше.

Спінюючий шлак підтримується на всьому протязі, і часто переповнюється піччю, щоб вилити з шлакових дверей в шлакову яму. Відбір проб температури та хімічний відбір проб відбувається за допомогою автоматичних фурм. Кисень і вуглець можуть бути автоматично виміряні за допомогою спеціальних зондів, які

занурюються в сталь, але для всіх інших елементів «холодний» зразок - невеликий, затверділий зразок сталі - аналізується на дугово-емісійному спектрометрі.

Після того, як температура і хімія правильні, сталь вистукується в розігрітий ківш через нахил печі. Для печей зі звичайно-вуглецевої сталі, як тільки під час постукування виявляється шлак, піч швидко нахиляється назад у бік делакації, мінімізуючи перенесення шлаку в ківш. Для деяких спеціальних марок сталі, в тому числі нержавіючої сталі, шлак також засипають в ківш, що обробляється в ківш-піч для вилучення цінних легуючих елементів. Під час постукування в металевий потік вводяться деякі добавки сплаву, а поверх ковшу додається більше флюсів, таких як вапно, щоб почати будувати новий шар шлаку. Часто в печі залишають кілька тонн рідкої сталі і шлаку, щоб утворилася «гаряча п'ята», яка допомагає розігріти чергову шихту брухту і прискорити його розплавлення.

Під час і після постукування піч «перевертається»: шлакові дверцята очищаються від затверділого шлаку, видимі вогнетриви оглядаються і компоненти з водяним охолодженням перевіряються на герметичність, а електроди оглядаються на наявність пошкоджень або подовжуються за рахунок додавання нових сегментів; Тафоль засипається піском по завершенні постукування. Для 90-тонної печі середньої потужності весь процес зазвичай займає близько 60...70 хв. від прослуховування одного тепла до натискання наступного (час від крана до крана).

Піч регулярно повністю очищається від сталі та шлаку, так що можна провести перевірку вогнетривів і при необхідності провести більший ремонт. Оскільки вогнетриви часто виготовляються з кальцинованих карбонатів, вони надзвичайно сприйнятливі до гідратації водою, тому до будь-яких підозрюваних витоків з водо-охолоджуваних компонентів ставляться надзвичайно серйозно, крім безпосередньої турботи про потенційні вибухи пари. Надмірний вогнетривкий знос може призвести до проривів, коли рідкий метал і шлак проникають крізь вогнетривку і пічну оболонку і вириваються в навколишні приміщення.

## 1.2.2 Технологічний процес виробництва сталі в дугових печах змінного струму

Дугова сталеплавильна піч змінного струму являє собою потужний трифазний агрегат, в якому між кінцями графітованих електродів горять три електричні дуги і плавляться металом. У ванні печі завантажену шихту плавлять, потім метал очищають від шкідливих домішок, перемішують, нагрівають до необхідної температури і зливають з печі.

Процес обробки металів в пластині можна розділити на періоди:

- енергетичний (електричний), протягом якого твердий заряд плавиться;
- технологічний, при якому здійснюються окислювальні реакції і відновлюються.

Кожен з цих періодів характеризується особливими умовами для теплових і електричних процесів. Після закінчення роботи зарядної групи у ванні печі електроди опускаються вниз і включається струм.

1. Початок - початок періоду плавлення, коли дуги спалахують над верхньою площиною шихти, поблизу дуги. На початку періоду потужності через холодний стан металевих і кріогенних печей довжина електричних дуг невелика. Через недостатню пропускну здатність холодного заряду в зазорі електрода дуги горять нестабільно, спадають, поширюються з однієї ділянки металу на іншу, під електродами виділяється в невеликому обсязі електрична енергія. Тому необхідно використовувати фази напруги трансформатора при повному включенні реактора, задані для струму. При цьому, щоб уникнути руйнування обшивки льоху через пряме випромінювання дуг в безпосередній близькості від його поверхні, необхідно працювати з низьким значенням вхідної потужності.

Через плавлення заряду електроди починають рухатися вниз, в результаті чого свердловини плавляться в шихту. При проходженні через кінець стовпа на відстані більше 1,0...1,5 діаметрів електроду, пряме випромінювання залежить від самої дуги, що дозволяє збільшити потужність плавлення.

2. Плавлення свердловин. На даному етапі дугове горіння ще нестійке через відносно погані умов іонізації зазору між електродами. Можливий пробій заряду і

коротке замикання. Рідкий метал стікає вниз, утворюючи мінеральну ванну, якої досить, щоб захистити підкладку від теплового впливу електричних дуг. Ця фаза плавлення здійснюється з максимальною вхідною потужністю з повним включенням струмообмежувального реактора і закінчується, коли дуги досягають поверхні рідкого металу. При цьому, щоб уповільнити рух рідкого металу, в кінці фази змінюється завдання струму по зменшенню енергії.

3. Формування загальної зони плавлення. Дуги горять під шаром заряду між електродами і рідким металом. При цьому для розряду дуги виникають сприятливі теплофізичні умови, і електрична система стабілізується. Екранування, футеровка і виникнення електричної дуги в свердловинах дозволяють шихті плавитися в «закритому» режимі горіння дуг і з високим ККД з використанням максимуму електричної енергії. Через збільшення кількості рідкого металу і заповнення пустот між шматочками твердого вмісту ванни рідким металом електроди починають поступово підніматися. В результаті кронштейни поступово відкриваються і енергія вільно випромінюється на всі боки, тобто до льоху, відбувається різке підвищення температури внутрішньої поверхні облицювання і щоб уникнути перегріву, необхідно знизити потужність електродів.

4. Переплавка і нагрівання металу до заданої температури. Фаза виникає при «відкритому» згорянні дуг і триває до тих пір, поки металева ванна не нагріється до заданої температури. Піч працює на коротких дугах з менш сприятливими електричними умовами експлуатації. Тривалість періоду плавлення шихти залежить від енергії, що вводиться в піч. Скорочення простоїв в період пробою також сприяє підвищенню продуктивності печі.

Відбором першої проби металу закінчується енергетичний період і починається технологічний період. До кінця плавлення температура металу повинна бути в межах 1 480...1 520°C. В період окислення знижується вміст фосфору в металі; знизити вміст водню, азоту і неметалічних домішок. Необхідно довести ванну до стандартного ступеня окислення, що полегшує протікання відновних реакцій. У відновлювальний період метал розкислюється, сіркоочищується і його доводять до заданої температури і хімічного складу.



Система керування піччю повинна бути оснащена сучасними швидкісними регуляторами руху електродів, які забезпечують високі технічні та економічні показники, швидку реакцію на зміну електричних параметрів в силовому ланцюзі керування і високу надійність. Система керування електричною енергією повинна забезпечувати зміну і підтримку енергії відповідно до заданого режиму плавлення [6].

### 1.3 Об'єкт керування

#### 1.3.1 Загальні відомості

У кваліфікаційній роботі детально розглядаються питання, пов'язані з автоматизацією роботи дугової електро сталеплавильна печі Danieli AF3T195-P210 з технологічного електросталеплавильний комплексу заводу «Інтерпайп Сталь» м. Дніпро.



Рисунок 1.7 - Дугова електропіч Danieli AF3T195-P210

У ДСП залізовмісний матеріал плавлять і рафінують для отримання сирової сталі. Основною сировиною є лом, але також можуть використовуватися інші матеріали, такі як гаряче-брикетоване залізо, залізо прямого відновлення або гарячий метал. Енергія

подається через три електроди, а також кисневі пальники та хімічні реакції, що полегшуються впорскуванням вуглецю та кисню в розплав та шлак.

Струм подається через рухомі важелі електродів, які регулюються для мінімізації коливань електричних параметрів, викликаних рухом поверхні брухту або розплаву (рис. 1.7).

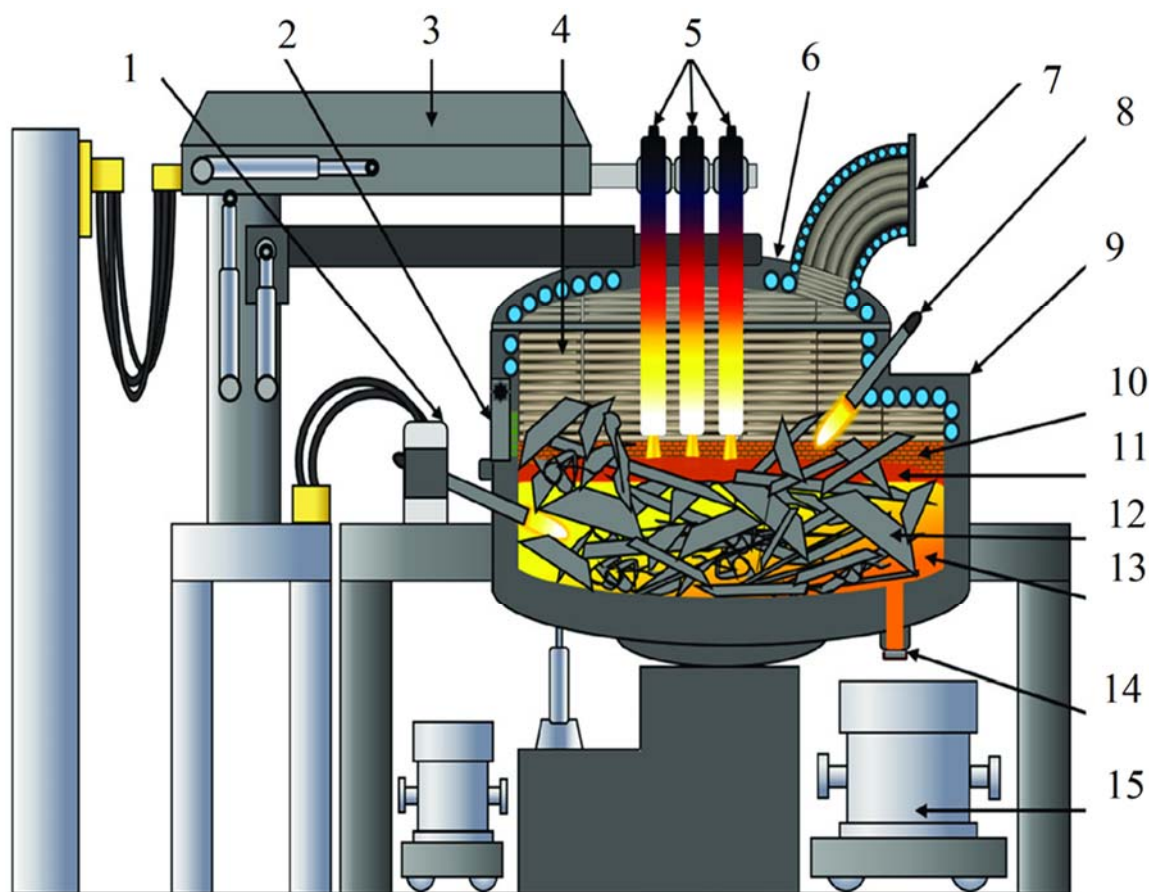


Рисунок 1.7 – Функціональні компоненти дугової електропечі Danieli AF3T195-P210

- |   |                                 |
|---|---------------------------------|
| 1 - вуглецеві та кисневі форсунки;          | 2 - шлакові двері;              |
| 3 - важіль електрода;                       | 4 - панель охолодження;         |
| 5 - графітовані електроди;                  | 6 - пересувний дах печі;        |
| 7 - водяне охолодження;                     | 8 - кисневий пальник;           |
| 9 - оболонка печі (з водяним охолодженням); | 10- вогнетривкий шлак;          |
| 11 - розплав сталевих брухту;               | 12 –металевий скрап;            |
| 13 – розплавлений метал;                    | 14 - електричний нижній клапан; |
| 15 – ківш.                                  |                                 |

Піч складається з нижньої посудини, футерованої вогнетривкою і містить ексцентричний донний кран (замість носика для постукування). Корпус печі з водяним охолодженням, який містить форсунки та пальники. Шлакові дверцята дозволяють видаляти шлак і вставляти форми для впорскування кисню і вуглецю (рис. 1.8).

Кришка, яка розташована над оболонкою, також охолоджується водою і містить отвори для електродів (електродів), видалення газів, що відходять, і, можливо, завантаження вихідної сировини, шлако-утворювачів або сплавів.

Піч встановлюється на платформу, яка нахилена для знешлаковування і відрізання.

Процес ДСП - це пакетний процес, який зазвичай можна розділити на чотири етапи: завантаження одним або декількома кошиками брукхту, розплавлення брукхту, нагрівання та переробка і, нарешті, постукування. На початку стадії розплавлення дуги спускалися в купу брукхту зі зниженою потужністю, щоб запобігти поломкам електродів. Коли електроди досягають поверхні розплаву, можна використовувати високі налаштування потужності з ломом, що екранує стінки печі та дах від електричних дуг.

Кисневі пальники, що використовують такі види палива, як природний газ або нафта, часто використовуються для полегшення плавлення брукхту навколо холодних точок під час розплавлення та підвищення продуктивності. Горючі забруднення і вуглець частково згоряють в печі, виділяючи легкозаймисті гази. Кисень може бути введений в надводний борт, щоб забезпечити пост-спалювання цих газів всередині печі, відновлюючи частину енергії, інакше втраченої з відхідним газом. ККД пальників і допалювання залежить від кількості і температури твердого брукхту всередині печі. Тому використання пальників і впорскування кисню для допалювання припиняються, коли розплавлення просунулося досить далеко, щоб зробити їх неефективними. Коли шихта в основному розплавлена, процес переходить у фазу плоскої ванни, під час якої сталевий розплав нагрівається і рафінується.

Оскільки дуга більше не захищена брукхтом, більше енергії втрачається на поверхнях, охолоджених водою. Впорскуючи в розплав кисень і вуглець і підтримуючи правильні шлакові властивості, шлак можна спінювати, частково екрануючи дугу і підвищуючи енергоефективність. Кисень також необхідний для видалення домішок з розплаву. Крім того, окислення вуглецю і мікроелементів вивільняє додаткову хімічну енергію, збільшуючи продуктивність. Доступні різні концепції попереднього розігріву брукхту за допомогою пальників або відхідного газу ДСП, і в деяких випадках

попередньо розігрітий лом, гарячий метал або інший залізовмісний матеріал безперервно завантажується в піч замість використання кошиків для брухту.

### 1.3.2 Характеристика об'єкта керування

#### 1.3.2.1 Сталеплавильна електропіч

Основні технічні характеристики дугової сталеплавильної електропечі Danieli AF3T195-P210 наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 - Основні технічні характеристики сталеплавильної дугової електропечі Danieli AF3T195-P210

1. Діаметр корпусу на рівні подини, мм	7400
2. Місткість, т	195
3. Маса випускаємої плавки, що, т	35
4. Маса залишку рідкої сталі, т	60
5. Потужність трансформатора, мВА	210 (3 x 70 )
6. Сила струму після випрямлячів, кА	189 (3 x 63)
7. Максимальна активна потужність, мВт	10...135
8. Система подових електродів	3 водоохолоджуємих електрода
9. Максимальна потужність фурм, нм <sup>3</sup> /хв:	
- для вдмухування кисню й вугілля	210 (3 x 70)
- кисневих	60 (4 x 15)
10. Діаметр графітованих електродів, мм	700
11. Проектна продуктивність, т/год (шихта - 100 % холодних металізованих окатишів)	147

#### 1.3.2.2 Механізм переміщення електрода

У кваліфікаційні роботі буде приділена особиста увага по створенню підсистеми керування переміщенням електродів сталеплавильної дугової електропечі Danieli AF3T195-P210.

У конструкції електродугових печей система керування електродами підтримує регулювання імпедансу, опору та напруги дуги, тоді як додатковий контур гарантує стабілізацію контрольованої потужності.

Автоматизована система лиття має контролювати трансформатор та зарядний пристрій відповідно до плану плавлення, маючи на увазі динамічні впливи часу, енергії та інші технологічні параметри.

Модуль керування має компенсувати зміни, що виникли внаслідок рухів підйому та опускання.

Кінематична схема механізму повороту склепіння (рис. 1.8) дана разом з механізмами підйому склепіння, переміщення й затиску електрода.

Механізм повороту склепіння складається з вертикального валу 27 порталу, з'єднаного з опорною плитою 30, який опирається на два радіальних роликотідшипники 29 і упорний шарикотідшипник 26, установлені в корпусі опори.

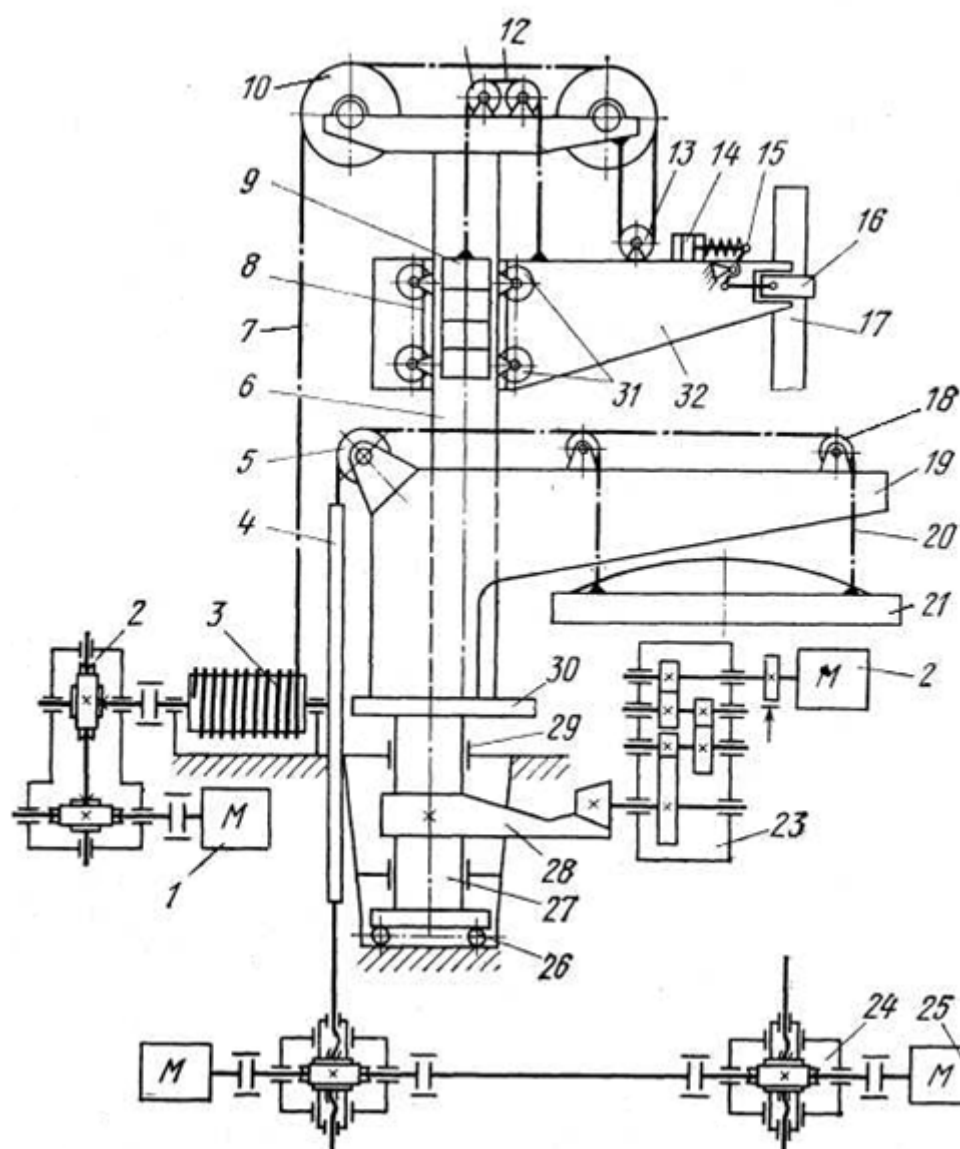


Рисунок 1.8 – Кінематична схема механізму повороту склепіння

Поворот склепіння разом з порталом здійснюється за допомогою конічного зубчатого сектора 28, що отримує обертання від електродвигуна 22 через

треступінчастий циліндричний редуктор 23. Опора напівпорталу й привід механізму розташовані в колісці. Зупинка приводу в кінцевих положеннях порталу провадиться командоапаратом, встановленим на відомому валу редуктора.

У випадку відмови в роботі командоапарату зубчатий сектор зупиняється одним із двох стаціонарних упорів; електродвигун у цьому випадку відключається максимальним струмовим захистом.

По квадратній колоні 6 переміщається каретка 8, із всіх чотирьох сторін якої закріплені ходові ролики 31. До каретки прикріплений кронштейн 32, що несе на собі електродотримач і механізм затиску електрода. Маса каретки, кронштейна й електрода 17 частково врівноважена противагою 3, що перебуває усередині колони. Противага пов'язаний з кареткою 8 пластинчастим ланцюгом, що обгинає напрямні ролики 11 і 12. Каретка разом з електродом піднімається канатною лебідкою. Канат, що йде від барабана лебідки 3, обгинає напрямні блоки 10 і рухомий блок 13 на кронштейні каретки й кріпиться до майданчика шківів, розташованої зверху колони. Барабан лебідки приводиться в рух електродвигуном 1 через двоступінчастий черв'ячний редуктор 2.

Технічна характеристика механізму повороту склепіння наведена у табл. 1.2.

Таблиця 1.2 - Технічна характеристика механізму переміщення електродів

<b>Електродвигун</b>	
- напруга, В	380
- потужність, кВт	15
- частота обертання, об/хв	1 500
Передаточне число редуктора	1 304
Маса (з механізмом переміщення), т	57

Для запобігання мимовільного повороту порталу й розвантаження зубчастих передач механізму повороту склепіння від моментів, що виникають від ваги всієї поворотної системи при нахилі печі, портал фіксується спеціальним стопором у той час, коли склепіння перебуває над корпусом печі. Робота механізму повороту склепіння заблокована з роботою механізмів підйому склепіння й переміщення електродів таким чином, що поворот склепіння можливий у тому випадку, якщо склепіння підняте і всі електроди перебувають у крайнім верхньому положенні [5].

### 1.3.3 Структура об'єкту керування

За допомогою механізму переміщення електродів струм від трансформатора підстанції подається через рухомі важелі електродів для здійснення процесу плавлення дугової електропечі Danieli AF3T195-P210.

Вихідні сигнали об'єкта керування:

- струм електродів, А 189 А (3 x 63);
- напруга на електродах, В 400...900.

Вхідні сигнали об'єкта керування:

- асинхронний двигун переміщення електродів, кВт 15 .

На рис. 1.9 представлена структурна схема об'єкту керування - механізму переміщення електродів.



Рисунок 1.9 – Структура об'єкту керування

### 1.4 Формулювання задачі дослідження

Привод переміщення електродів призначений для переміщення рухомої частини електродотримача разом з електродом під час завалювання шихти і регулювання довжини дуги. Роль приводу переміщення електродів виключно відповідальна, так як відхилення електричних параметрів від заданих необхідно ліквідувати пересуванням електродів за частки або одиниці секунд. У той же час електрод необхідно встановлювати при заданій довжині дуги з високою точністю. Таким чином, якість роботи приводу переміщення електродів впливає на продуктивність печі, питома витрата електроенергії, коксування металу.

Система керування процесом плавлення має контролювати стан трансформатору та зарядного пристрою відповідно до плану плавлення, маючи на увазі динамічні впливи часу, енергії та інші технологічні параметри.

В свою чергу підсистема керування переміщенням електродів сталеплавильної дугової електропечі Danieli AF3T195-P210 має забезпечити регулювання струму дуги з метою стабілізації контрольованої потужності електроплавлення, та компенсування зміни, що виникають внаслідок рухів металолому в процесі розплавлення та інших технологічних втручань у процес плавки.

Основним каналом керування є «пересування електродів – струм електродів»;

Основними збурючими факторами є:

- коливання параметрів електромережі;
- довжини дуги.

Система керування приводом переміщення електродів має відповідати вимогам технологічного процесу, наведеного раніше при його огляді і обов'язково бути виконана за допомогою стандартних компонентів, які мають відповідні сертифікати відповідності.

### **1.5 Висновки за розділом**

У кваліфікаційні в якості об'єкта керування обрано систему переміщенням електродів сталеплавильної дугової електропечі Danieli AF3T195-P210.

Автоматизація системи переміщенням електродів сталеплавильної дугової електропечі Danieli AF3T195-P210 включає в себе автоматичне керування, дистанційне керування, технологічний захист, тепловий контроль, технологічні блокування і сигналізацію.

Експлуатація системи керування переміщенням електродів сталеплавильної дугової електропечі Danieli AF3T195-P210 повинна забезпечувати надійний і ефективний процес регулювання струму дуги з метою стабілізації контрольованої потужності електроплавлення, та компенсування зміни, що виникають внаслідок



рухів металолому в процесі розплавлення та інших технологічних втручань у процес плавки.

Для виконання цих вимог експлуатація повинна здійснюватися в суворій відповідності з законами, правилами, стандартами і директивами.

Автоматизація роботи переміщенням електродів сталеплавильної дугової електропечі Danieli AF3T195-P210 призначена стабілізації заданої потужності електроплавлення.

Для підвищення ефективності роботи технологічного обладнання треба модернізувати систему керування. Таким чином є гостра потреба у математичних моделях об'єктів технологічного обладнання, працюючого у допустимих технологічних межах, які у наступному мають бути використані при синтезі нової системи керування технологічним обладнанням.

Головною метою роботи є розробка моделі об'єкта керування – системи переміщенням електродів сталеплавильної дугової електропечі Danieli AF3T195-P210, в залежності від каналу керування «положення електродів – струм електродів». При цьому інші вхідні і вихідні параметри мають бути не змінними і знаходитись у номінальному стані.

Сучасна система керування дозволить контролювати процес виробництва і отримати кінцевий продукт з заданими характеристиками.

Також ця система керування матиме можливість фіксації та збереження параметрів роботи всього технологічного обладнання.

## 2 РОЗРОБКА АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

### 2.1 Розробка структурної схеми підсистеми керування

У дуговій сталеплавильній печі залізовмісний матеріал плавлять і рафінують для отримання сплаву сталі. Основною сировиною є лом, але також можуть використовуватися інші матеріали, такі як гаряче-брикетоване залізо, залізо прямого відновлення або гарячий метал.

Енергія подається через три електроди, а також кисневі пальники та хімічні реакції, що полегшуються впорскуванням вуглецю та кисню в розплави та шлак.

У кваліфікаційній роботі розглядаються питання, пов'язані з автоматизацією роботи дугової електро сталеплавильної печі Danieli AF3T195-P210 з технологічного електросталеплавильного комплексу заводу «Інтерпайп Сталь» м. Дніпро.

Система керування піччю повинна бути оснащена сучасними швидкісними регуляторами руху електродів, які забезпечують високі технічні та економічні показники, швидко реагують на зміну електричних параметрів в силовому ланцюзі керування і високу надійність. Система керування електричною енергією повинна забезпечувати зміну і підтримку енергії відповідно до заданого режиму плавлення.

Струм подається через рухомі електродвигуном важелі електродів, які регулюються для мінімізації коливань електричних параметрів, викликаних рухом поверхні брухту або розплаву.

Система керування переміщенням електродів сталеплавильної дугової електропечі Danieli AF3T195-P210 має контролювати значення напруги трансформатора живлення та струму електродів печі відповідно до плану плавлення, маючи на увазі динамічні впливи часу, енергії та інші технологічні параметри, компенсувати зміни, що виникли внаслідок руху скрапу у процесі плавлення.

Основним каналом керування є «пересування електродів – струм електродів», Основними збурючими факторами є коливання параметрів електромережі, нестабільність електричних параметрів скрапу.

Система керування має наступні вхідні параметри:

- струм електродів, А 189 А (3 x 63);
- напруга на електродах, В 400...900.

Система керування має наступні виконавчі пристрої:

- асинхронний двигун переміщення електродів, кВт 15 .



Рисунок 2.1 – Структурна схема системи керування

Вибір пристроїв автоматизації для побудови системи керування необхідно робити на основі серійних засобів автоматизації. Якщо є можливість, то необхідно вибирати з пристроїв, вироблених в Україні, або які вже поставляються в Україну.

Вибір приладів буде проводитися відповідно до необхідного діапазону показників сигналів та умов експлуатації.

## 2.2 Вибір апаратного забезпечення підсистеми керування

Датчики слід обирати відповідно до переліку вхідних сигналів, параметри яких треба вимірювати, враховуючи можливий розширений діапазон їх зміни.

### 2.2.1 Вибір датчиків

#### 2.2.1.1 Датчики струму

Номінальне вихідне значення трансформатору току 5 А. Для вимірювання струму використаємо датчик струму ДТТ-03Т складається з корпусу, магнітного ядра, електронної схеми обробки сигналів.

Датчики доступні для декількох діапазонів виміряних струмів (змінного та постійного): 5 А, 10 А, 20 А, 50 А, 100 А, 100 А, 150 А, 200 А, 300 А [7].



Рисунок 2.1 – Датчик струму DTT-03T-5

Таблиця 2.1 – Технічні параметри датчику струму DTT-03T-100

№	Найменування параметра	Значення
1	Тип	Hall
2	Діапазон вимірювання, °А	0...5
3	Точність, °%	±0,6%
4	Діапазон вихідного сигналу, мА	4...20
5	Частота відгуку, Гц	100
6	Напруга живлення, В	12...24
7	Потужність споживання, Вт	3
8	Діапазон температур, °С	-55 до 125

### 2.2.1.2 Датчик напруги

Для вимірювання напруги використаємо датчик напруги LEM CV3-1000 [8].



Рисунок 2.3 – Датчик напруги LEM CV3-1000

Таблиця 2.2 – Технічні параметри датчику струму DTT-03T-100

№	Найменування параметра	Значення
1	Тип	TU
2	Діапазон вимірювання, В	0...1 000
3	Точність, °%	±0,1%
4	Діапазон вихідного сигналу, мА	4...20
5	Частота відгуку, Гц	100
6	Напруга живлення, В	12...24
7	Потужність споживання, Вт	3,5
8	Діапазон температур, °С	-55 до 125

### 2.2.1.3 Перелік вхідний сигналів і вхідних модулів узгодження

На підставі обраних датчиків та їх технічних характеристик складена табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Датчики

№	Назва параметру	Принцип дії	Тип	Діапазон змін	Точність	Значення виходу	Період оновлення	Напруга	Потужність
1	Електричний струм фази А	Hall	Аналоговий	0...100 А	±0.1 %	4...20 мА ;	0.1 с	12...24 В	3,0 Вт
2	Електричний струм фази В	Hall	Аналоговий	0...100 А	±0.1 %	4...20 мА ;	0.1 с	12...24 В	3,0 Вт
3	Електричний струм фази С	Hall	Аналоговий	0...100 А	±0.1 %	4...20 мА ;	0.1 с	12...24 В	3,0 Вт
4	Напруга фази А	TU	Аналоговий	0...1000 В	±0.1 %	4...20 мА ;	0.1 с	12...24 В	3,5 Вт
5	Напруга фази В	TU	Аналоговий	0...1000 В	±0.1 %	4...20 мА ;	0.1 с	12...24 В	3,5 Вт
6	Напруга фази С	TU	Аналоговий	0...1000 В	±0.1 %	4...20 мА ;	0.1 с	12...24 В	3,5 Вт

## 2.2.2 Вибір виконавчих пристроїв

### 2.2.2.1 Частотний перетворювач

В системі керування мають бути вихідні ланцюг узгодження з технологічним електрообладнанням. Для приводу системи переміщення електродів використовується трьохфазний асинхронний двигун потужністю по 15 кВт. Згідно з завданням система керування повинна реалізовувати реверсивне і плавне регулювання продуктивності його роботи. Таким чином керування електроприводом повинно бути лінійним (безперервним), тобто треба забезпечувати пропорційне керування. Таким чином для керування електроприводом обрано трьохфазний частотний перетворювач Altivar Process ATV930U22N4 на потужність 22 кВт (з запасом по потужності) зі стандартним аналоговим входом керування  $\pm 10$  мВ, та RS-485 (рис. 24) [9].

Технічні характеристики частотного перетворювача наведені в табл. 2.4.



Рисунок 2.4 – Частотний перетворювач Altivar Process ATV930U22N4

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики частотного перетворювача Altivar Process ATV930U55N4

Найменування параметра	Значення
Тип	Скалярний
Напруга живлення, В	~320...~550
Потужність, кВт	22,0
Діапазон частот, Гц	0...240
Діапазон аналогового сигналу управління, мВ	±10
Ступінь захисту	IP20

### 2.2.2.2 Перелік вихідний сигналів і вихідних модулів узгодження

На підставі наведеного вище для виконавчих пристроїв, та їх технічних характеристик складена табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Виконавчих пристроїв

№	Назва параметру	Принцип дії	Тип	Діапазон змінення	Лінійність	Значення входу	Період оновлення	Напруга живлення	Потужність споживання
1	Привод переміщення електродів фази А	4...20 мА	Пропорційний	0...100 %	Лінійний	-	115 кбод/с	-	-
2	Привод переміщення електродів фази В	4...20 мА	Пропорційний	0...100 %	Лінійний	-	115 кбод/с	-	-
3	Привод переміщення електродів фази С	4...20 мА	Пропорційний	0...100 %	Лінійний	-	115 кбод/с	-	-

### 2.2.3 Вибір пристроїв керування

В якості пристрою керування, обрано програмований логічний контролер компанії VIPA. Цикл роботи контролера 100 мс, контролер має 1 кбайт вільної робочої пам'яті для реалізації програми керування. Контролер має модульну структуру, яка забезпечує підключення обраного обладнання і має легке розширення подальшого функціоналу.

До контролеру повинні бути підключені шість аналогових датчиків з типом вихідного сигналу 4...20 мА:

- електричний струм фази А;
- електричний струм фази В;
- електричний струм фази С;
- напруга фази А;
- напруга фази В;
- напруга фази С.

До контролеру мають бути підключено три виконавчих пристрої з типом входу керування 4...20 мА.

- привод переміщення електроду фази А;
- привод переміщення електроду фази В;
- привод переміщення електроду фази С.

Так як система керування пристроєм переміщення електродів повинна інтегруватися у систему керування дуговою електро-сталеплавильною піччю Danieli AF3T195-P210, то у контролера має бути послідовний цифровий інтерфейс RS-485.

#### 2.2.3.1 Контролер

Наведеним вимогам відповідає програмований логічний контролер VIPA 214-2BS33. Контролер має час арифметичної операції над речовим числом 40 мкс, об'єм пам'яті програм 144 кбайт, об'єм робочої пам'яті 96 кбайт та інтерфейс RS-485.

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики програмованого логічного контролеру VIPA 214-2BS33

№	Найменування параметра	Значення
1	Тип	CPU 214SER
2	Пам'ять, кбайт	144
3	Робоча пам'ять, кбайт	96
4	Максимальна кількість модулів, штук	32
5	Час виконання команди над бітом, мкс	0,18
6	Час виконання команди над байтом, мкс	0,78
7	Час виконання команди над словом, мкс	1,8
8	Час виконання команди над двійним словом, мкс	40,0
9	RS-485 інтерфейс	Присутній
10	Напруга живлення, В	24
11	Споживана потужність, Вт	5



Рисунок 2.6 – Програмований логічний контролер VIPA 214-2BS33

### 2.2.3.2 Модуль аналогового вводу

Для підключення усіх шести аналогових датчиків, які мають стандартний струмовий сигнал 4...20 мА, обрано один модуль аналогового вводу VIPA 231-1BD40, який має по чотири аналогових входів.

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики модуля аналогового вводу VIPA 231-1BD40

№	Найменування параметра	Значення
1	Тип	SM 231, ECO
2	Кількість каналів	4
3	Тип каналу	Аналоговий
4	Діапазон вхідного сигналу, мА	4...20
5	Довжина екранованого провідника, м	200
6	Споживана потужність, Вт	0.6





Рисунок 2.7 – Модуль аналогового вводу VIPA 231-1BD40

Приклад схеми підключення датчика з типом вихідного сигналу 4...20 мА до модуля аналогового вводу наведено на рис. 2.8.

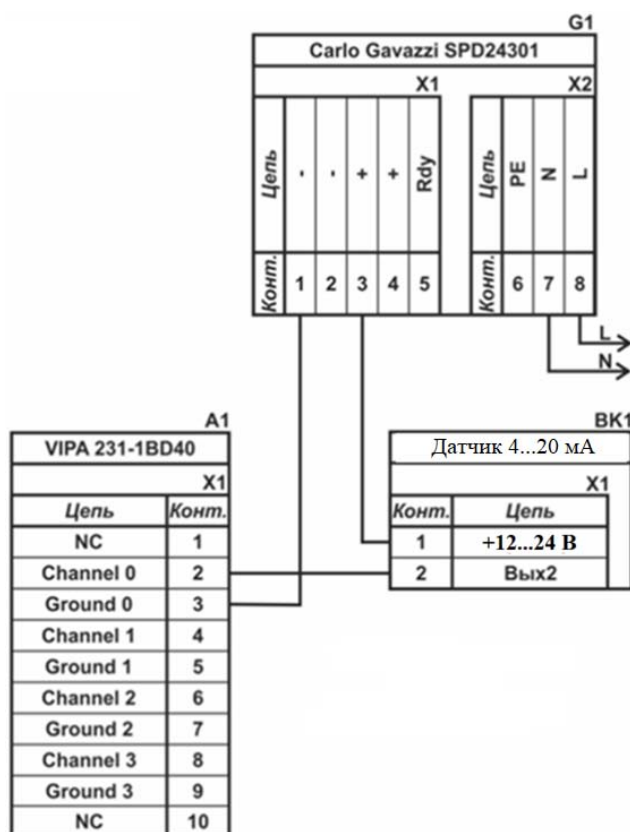


Рисунок 2.8 – Схема підключення датчика з типом вихідного сигналу 4...20 мА

### 2.2.3.2 Модуль аналогового виводу

До контролеру є бути підключено три виконавчих пристрої з типом входу керування  $\pm 10$  В. Таким чином потрібен один модуль аналогового виводу з діапазоном аналогового сигналу  $\pm 10$ . Даним вимогам відповідає модуль VIPA 232-1BD30 який має чотири аналогових виходи  $\pm 10$  В.

Схема підключення частотного перетворювача, для здійснення пропорційного керування виконавчим пристроєм, до модуля аналогового виводу наведена на рис. 2.10.

Таблиця 2.8 – Технічні характеристики модуля аналогового виводу 232-1BD30

Найменування параметра	Значення
Тип	SM 232, ECO
Кількість каналів	4
Тип каналу	аналоговий
Діапазон вхідного сигналу, мА	$\pm 10$ В
Довжина екранованого провідника, м	200
Споживана потужність, Вт	1,5



Рисунок 2.9 – Модуль аналогового виводу 232-1BD30

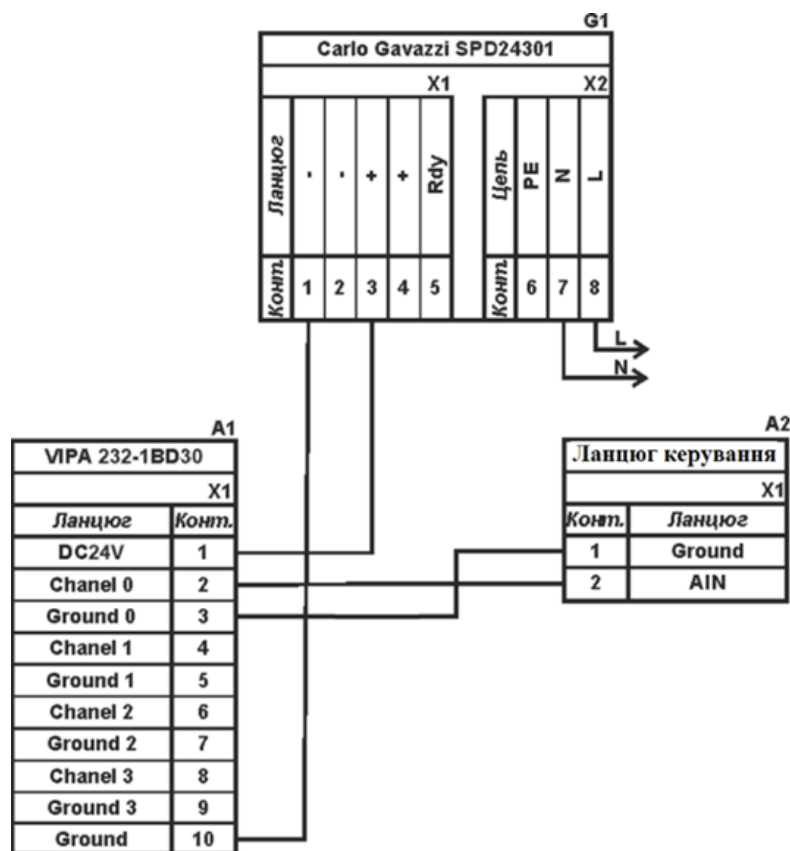


Рисунок 2.10 – Схема підключення частотного перетворювача

### 2.2.3.4 Канал зв'язку

Згідно з вимогами до системи керування, в якості котрого виступає програмований логічний контролер, та пультом оператора, в якості якого виступає персональний комп'ютер, повинна бути організована мережа за допомогою інтерфейсу RS-485, тому і був обраний програмований логічний контролер VIPA 214-2BS33, який має інтерфейс RS-485. Схема підключення персонального комп'ютеру до програмованого логічного контролеру наведена на рис. 2.11.

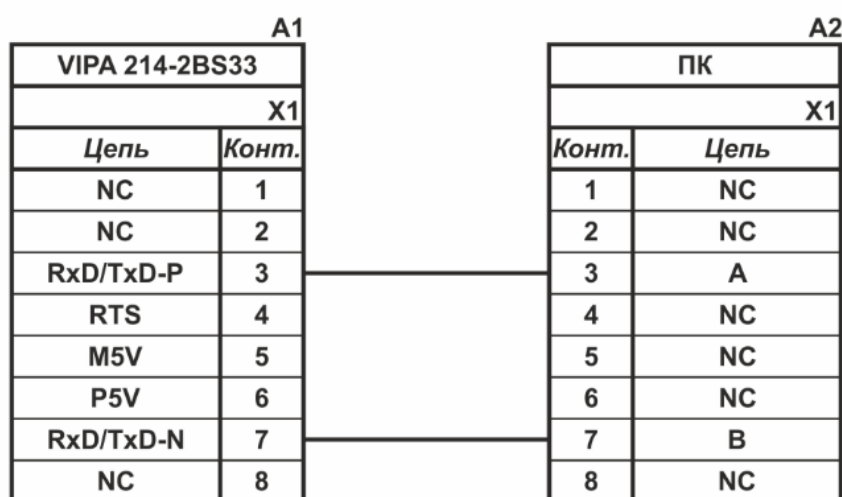


Рисунок 2.11 – Схема підключення по інтерфейсу RS-485

### 2.2.3.5 Перелік вхідний і вихідних сигналів, контролер та вхідні і вихідні модулі

На підставі обраного програмованого логічного контролера та його модулів складена табл. 2.9.

Таблиця 2.9 – Пристрій керування та його модулі

№	Назва модуля	Пристрій	Напруга живлення	Потужність споживання
1	VIPA 214-2BS33	<b>Центральний процесорний модуль</b>	24 В	5,0 Вт
		Зв'язок з АСК ТП		
2	VIPA 231-1BD30	<b>Модуль аналогового вводу 1</b>	24 В	0,6 Вт
		Електричний струм фази А	24 В	2,0 Вт
		Електричний струм фази В	24 В	3,0 Вт
		Електричний струм фази С	24 В	3,0 Вт
			-	-
3	VIPA 231-1BD30	<b>Модуль аналогового вводу 2</b>	24 В	0,6 Вт
		Напруга фази А	24 В	3,5 Вт
		Напруга фази В	24 В	3,5 Вт
		Напруга фази С	24 В	3,5 Вт
			-	-
4	VIPA 232-1BD30	<b>Модуль аналогового виводу 2</b>	24 В	2,5 Вт
		Привод переміщення електроду фази А	24 В	1,0 Вт
		Привод переміщення електроду фази А	24 В	1,0 Вт
		Привод переміщення електроду фази А	24 В	1,0 Вт
			-	-

### 2.2.4 Вибір джерел живлення

Програмований логічний контролер та його модулі мають напругу живлення +24 В. Загальна потужність споживання програмованого логічного контролера та його модулів:

$$P = 1 * 5,0 + 2 * 0,6 + 1 * 2,5 = 8,7 \text{ Вт.} \quad (2.1)$$

Виходячи з потужності споживання контролеру та його модулів у якості джерела живлення обрано блок живлення SPD24301 з вихідною напругою +24 В та потужністю 30 Вт.

Таблиця 2.10 – Технічні характеристики блока живлення Carlo Gavazzi SPD24301

№	Найменування параметра	Значення
1	Напруга живлення, В	~85...~264
2	Вихідна напруга, В	24
3	Потужність, Вт	30
4	Максимальний вихідний струм, А	1,25



Рисунок 2.12 – Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301

Схему підключення програмованого логічного контролера до блока живлення наведена на рис. 2.13.

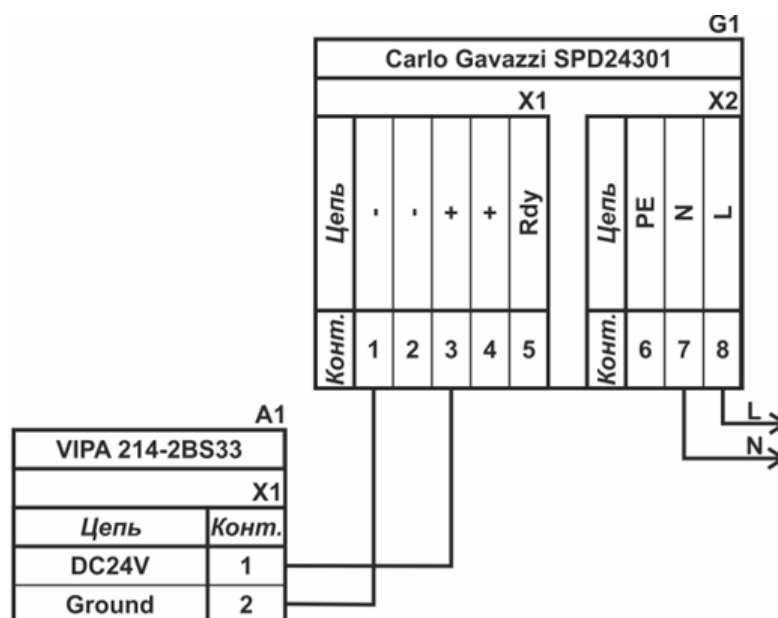


Рисунок 2.13 – Схема підключення програмованого логічного до блока живлення

Виконавши аналіз обраного обладнання можливо зробити вивід, що зовнішній блок живлення потрібен для чотирьох аналогових датчиків, чотирьох аналогового ланцюга керування та одного однофазного твердотільного реле, які мають напругу живлення +24 В та потужність споживання:

$$P = 3 * 3,0 + 3 * 3,5 + 3 * 1,0 = 22,5 \text{ Вт.} \quad (2.2)$$

Виходячи з потужності споживання датчиків та виконавчого пристрою у якості джерела живлення обрано блок живлення такий самий як і для

програмованого логічного контролера SPD24301 з вихідною напругою +24 В та потужністю 30 Вт.

### 2.3 Розробка функціональної схеми автоматизації

Виходячи з вимог до підсистеми керування переміщенням електродів сталеплавильної дугової електропечі Danieli AF3T195-P210 розроблена функціональна схема автоматизації, яка наведена на рис. 2.14.

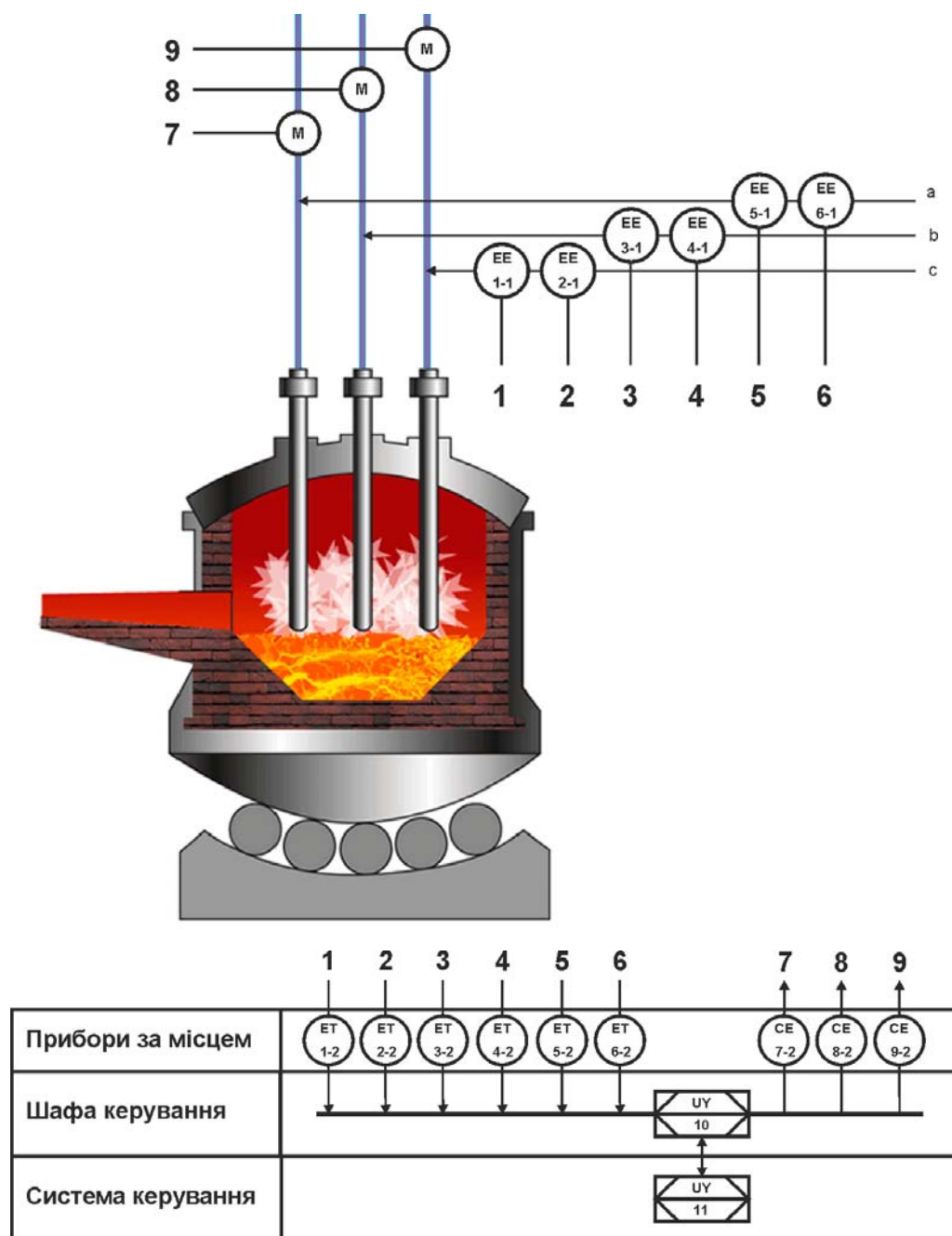


Рисунок 2.14 – Функціональна схема автоматизації системи переміщення електродів сталеплавильної дугової електропечі Danieli AF3T195-P210

У якості пристрою керування технологічним процесом використовується програмований логічний контролер (UY 10) – VIPA 214-2BS33. Програмований логічний контролер в складі підсистеми керування підключено до АСУ ТП, за що відповідає контролер більш високого рівня (UY 11), зв'язок між ними реалізовано за допомогою інтерфейсу RS-485.

Струм фази А вимірюється датчиком (EE 1-1 – DTT-03T, виміряне значення за допомогою вбудованого перетворювача (ET 1-2 – DTT-03T трансформується в стандартний сигнал 4...20 мА.

Струм фази В вимірюється датчиком (EE 2-1 – DTT-03T, виміряне значення за допомогою вбудованого перетворювача (ET 2-2 – DTT-03T трансформується в стандартний сигнал 4...20 мА.

Струм фази С вимірюється датчиком (EE 3-1 – DTT-03T, виміряне значення за допомогою вбудованого перетворювача (ET 3-2 – DTT-03T трансформується в стандартний сигнал 4...20 мА.

Напруга фази А вимірюється датчиком (EE 4-1 – LEM CV3-1000, виміряне значення за допомогою вбудованого перетворювача (ET 4-2 – LEM CV3-1000 трансформується в стандартний сигнал 4...20 мА.

Напруга фази В вимірюється датчиком (EE 5-1 – LEM CV3-1000, виміряне значення за допомогою вбудованого перетворювача (ET 5-2 – LEM CV3-1000 трансформується в стандартний сигнал 4...20 мА.

Напруга фази С вимірюється датчиком (EE 6-1 – LEM CV3-1000, виміряне значення за допомогою вбудованого перетворювача (ET 6-2 – LEM CV3-1000 трансформується в стандартний сигнал 4...20 мА.

Переміщення електроду фази А здійснюється за допомогою системи переміщення з приводом на базі асинхронного двигуна потужністю 15 кВт, який підключено до частотного перетворювача з каналом керування  $\pm 10$  В (SE 7-2 – Altivar Process ATV930U22N4).

Переміщення електроду фази В здійснюється за допомогою системи переміщення з приводом на базі асинхронного двигуна потужністю 15 кВт, який

підключено до частотного перетворювача з каналом керування  $\pm 10$  В (CE 7-2 – Altivar Process ATV930U22N4).

Переміщення електроду фази С здійснюється за допомогою системи переміщення з приводом на базі асинхронного двигуна потужністю 15 кВт, який підключено до частотного перетворювача з каналом керування  $\pm 10$  В (CE 7-2 – Altivar Process ATV930U22N4).

На підставі отриманих первинних значень з відповідних датчиків програмований логічний контролер (UY 10 – VIPA 214-2BS33) за допомогою виконавчих пристроїв формує керуючі впливи по підтримці заданого режиму роботи системи переміщення електродів сталеплавильної дугової електропечі Danieli AF3T195-P210.

#### **2.4 Розробка схеми електричної принципової**

На основі функціональної схеми автоматизації та обраного апаратного забезпечення розроблена схема електрична принципова підсистеми керування переміщення електродів сталеплавильної дугової електропечі Danieli AF3T195-P210 (рис. 2.15).

У системі керування використовуються два блока живлення. Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301 (G1) підключено до програмованого логічного контролеру VIPA 214-2BS33 (A1). Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301 (G2) підключено до модулю аналогового вводу VIPA 231-1BD40 (A1 – X3), модулю аналогового виводу VIPA 232-1BD40 (A1 – X4) к усім чотирьом аналоговим датчикам (BK1...BK6), усім чотирьом виконавчим пристроям (YA1...YA3).

Усі шість аналогових датчики мають уніфікований сигнал 4...20 мА, таким чином ці датчики підключені до модулів аналогового вводу VIPA 231-1BD40 (A1 – X3) до каналів 0...3, (A1 – X4) до каналів 0...3.

Керування положенням електроду фази А здійснюється по каналу керування 4...20 мА, який підключено до підключені до модуля аналогового виводу VIPA 232-1BD30 (A1 – X5) до каналу 0.



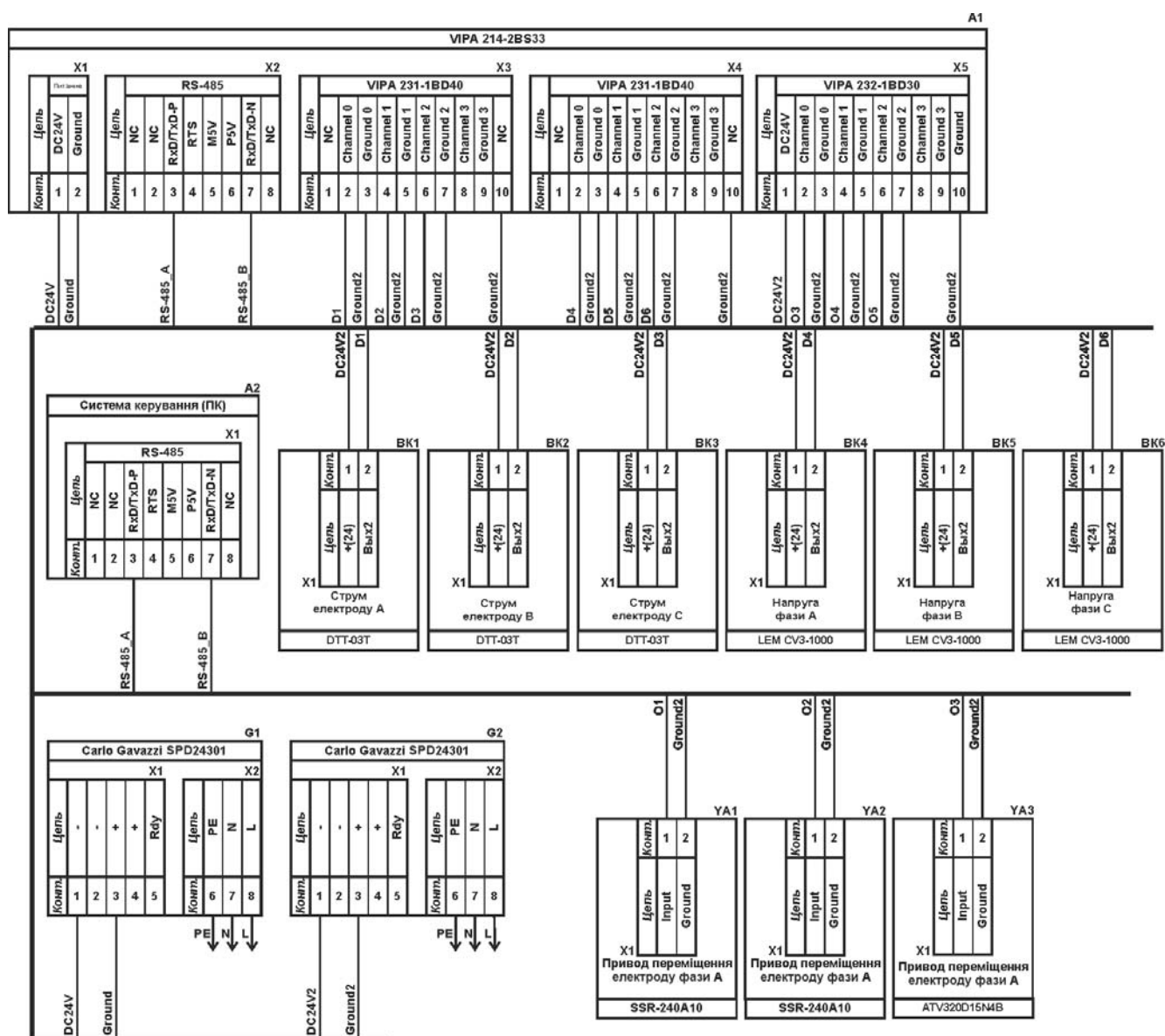


Рисунок 2.15 – Схема електрична принципова системи керування підсистеми переміщення електродів сталеплавильної дугової електропечі Danieli AF3T195-P210

Керування положенням електроду фази В здійснюється по каналу керування 4...20 мА, який підключено до підключені до модуля аналогового виводу VIPA 232-1BD30 (A1 – X5) до каналу 1.

Керування положенням електроду фази С здійснюється по каналу керування 4...20 мА, який підключено до підключені до модуля аналогового виводу VIPA 232-1BD30 (A1 – X5) до каналу 2.

Зв'язок між програмованим логічним контролером VIPA 214-2BS33 (A1) та АСК ТП верхнього рівня (A2) реалізовано за допомогою інтерфейсу RS-485.

## **2.5 Висновки за розділом**

У кваліфікаційній роботі бакалавра об'єктом керування була обрана система переміщення електродів сталеплавильної дугової електропечі Danieli AF3T195-P2 технологічного електросталеплавильний комплексу заводу «Інтерпайп Сталь» м. Дніпро.

Для синтезу підсистеми керування переміщенням електродів сталеплавильної дугової електропечі Danieli AF3T195-P2 були обрані необхідні сучасні апаратні засоби, розроблена функціональна схема автоматизації, розроблена схема принципова системи керування, складено перелік елементів до схеми електричної принципової.

## 3 ВИЗНАЧЕННЯ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

### 3.1 Загальні відомості

У кваліфікаційній роботі бакалавра об'єктом автоматизації обрана система переміщення електродів дугової сталеплавильної печі Danieli AF3T195-P210 з електросталеплавильного технологічного комплексу заводу «Інтерпайп Сталь» м. Дніпро.

Технічне рішення призначене для автоматизації управління вертикальним переміщенням електродів дугових сталеплавильної печі Danieli AF3T195-P210, яке здійснюється за показниками значень струму дуги для кожного з графітованих електродів, що працюють при трифазному живленні.

Цей контролер порівнює значення з уставкою і в тому випадку, якщо значення струму відхиляється від уставки, посилає керуючий сигнал на відповідний частотний перетворювач для переміщення графітованих електродів. Контролер управляє підняттям або опусканням кожного з трьох електродів печі за допомогою асинхронних двигунів змінного струму в залежності від способу відхилення дугового струму відповідного графітового електрода від заданої точки.

Від системи керування верхнього рівня дуговою металургійною промисловою піччю Danieli AF3T195-P210 по каналу RS-485 з протоколом MODBUS встановлюється режим її роботи, змінюється налаштування і оперативне керування режимами роботи підсистеми переміщення графітованих електродів. Також система верхнього рівня контролює нахил, забезпечує режим охолодження, відкриття і закриття кришки печі та інше. Для віддаленого моніторингу роботи печі та аварійної сигналізації її можна підключити до хмарного сервісу.

Основні переваги системи:

- точний контроль руху електродів запобігає їх механічним, термічним і електричним пошкодженням;
- збільшення швидкості плавлення металів за рахунок точного контролю;
- зменшити кількість обривів дуги і коротких замикань;

- ведення архіву подій у вигляді графіків і таблиць;
- розрізняти права для різних груп користувачів - доступ за паролем;
- екстрені повідомлення по електронній пошті, push-повідомлення;
- інтеграція в SCADA систему з підтримкою OPC-технології;
- зберігання архівів вимірювань на серверах Zenon до 90 днів з подальшою заміною старих даних на нові.

Основні електричні параметри системи переміщення:

- напруга мережі живлення печі, В 400...800;
- максимальна потужність печі, МВА 210;
- максимальна сила струму після випрямлячів, кА 700;
- діапазон номінальної активної потужності, МВт 10...135;
- діапазон номінального струму, кА 24...170;
- потужність кожного приводу переміщення електродів, кВт 15.

Основним каналом керування є «переміщення електродів – струм електродів». Основними збурючими факторами є коливання параметрів електромережі та довжини дуги.

Таким чином для синтезу системи керування і моделюванні її роботи з метою перевірки її працездатності перш за все треба мати модель самого об'єкту керування – системи переміщення електродів дугової сталеплавильної печі Danieli AF3T195-P210. При визначенні параметрів моделі об'єкту керування всі інші вхідні і вихідні параметри об'єкта керування мають бути фіксованими і знаходитись у номінальному стані.

Вертикальне переміщення кожного з графітових електродів у обох напрямках здійснюється за допомогою частотних перетворювачів Altivar Process ATV930U22N4 з аналоговим вхідним каналом  $\pm 10$  мВ.

Для вимірювання струму з кожного з графітових електродів (з трансформатору току) застосовується стандартний датчик струму DTT-03T-05 з аналоговим вхідним каналом 4...20 мА.

### **3.2 Розробка структурної схеми інформаційних потоків дослідницької системи**

Система дослідження призначена для збору інформації про об'єкт керування. Основними функціями цієї системи є формування і реєстрування керуючого впливу, який подається на об'єкт керування, реєстрування його дійсного значення на виході об'єкта, візуалізація отриманих даних та їх надання у зручному для подальшої обробки виді.

У кваліфікаційній роботі будуть розглядатися питання по створенню системи керування системою переміщення електродів дугової сталеплавильної печі Danieli AF3T195-P210.

Для отримання математичної моделі об'єкту керування треба провести комплексні заходи по дослідженню поведінки об'єкту керування під впливом ряду стандартних вхідних впливів. Візуалізація процесу керування у дослідницькій системі відбувається за допомогою персонального комп'ютера зі SCADA системою zenon. Така система дозволяє, крім функцій керування, виконувати також функції дослідження об'єкта керування, для чого достатньо використати дослідницьке програмне забезпечення. Виходячи з цього і розроблена структурна схема системи керування, яка наведена на рис. 3.1.

Згідно зі структурною схемою, система дослідження має формувати керуючий вплив, в якості якого виступає незалежне одне від одного вертикальне переміщення кожного з електродів. Переміщення електроду вниз забезпечує збільшення дійсного значення - струму через електрод, підйом – відповідно зменшення. Сумарне номінальне значення діапазону зміни дійсного значення становить 24...170 кА.

«Нульове» значення для керуючого впливу – початкова точка відліку переміщення електроду визначається значенням дійсного значення – струмом електроду, який не дорівнює нулю. Для кожного з електродів цей момент визначається за індивідуальними показниками для не нульового дійсного значення. Після того як всі «нульові» точки для керуючого впливу визначені – напрямок і

швидкість руху для всіх трьох електродів при проведенні експерименту з визначення параметрів моделі матиме однакові показники.

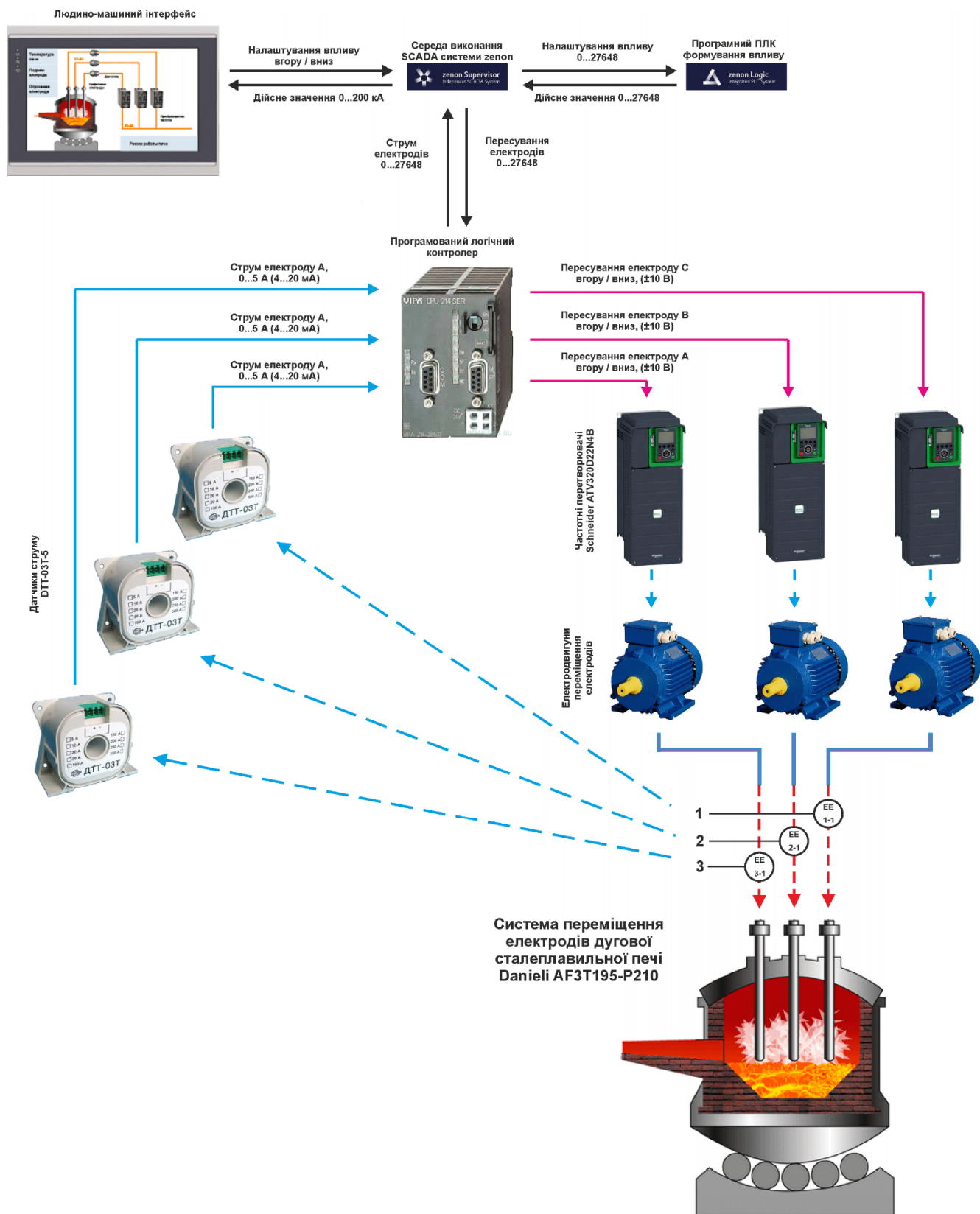


Рисунок 3.1 – Структурна схема інформаційних потоків дослідницької системи

Зв'язок між програмованим логічним контролером та персональним комп'ютером зі SCADA системою zenon реалізується за допомогою інтерфейсу RS-485.

### **3.3 Розробка методики дослідження об'єкта керування**

Система дослідження дозволяє формування різноманітних керуючих впливів для подання їх через систему керування на об'єкт керування. При цьому об'єкт керування не накладає ні яких обмежень на керуючий вплив. Виходячи з цього об'єкт керування можливо дослідити за допомогою метода активного експерименту.

З метою виконання ідентифікації об'єкта керування, використовуючи метод активного експерименту, при якому необхідно отримати його динамічну характеристику, данні для побудови статичної характеристики, характеристику при П-образному керуючому впливі, та перевірочні данні. Виходячи з цього і складено наступний план експерименту:

1. Налаштувати систему дослідження.
2. Отримати динамічну характеристику.
  - 2.1. Привести об'єкт керування до початкових умов, дочекатися досягнення усталеного режиму дійсного значення.
  - 2.2. Запустити процес реєстрування.
  - 2.3. Задати максимальну амплітуду керуючого впливу (100 %), дочекатися досягнення усталеного режиму дійсного значення.
  - 2.5. Зупинити процес реєстрації.
3. Отримання даних за для побудови статичної характеристики.
  - 3.1. Привести об'єкт керування до початкових умов (дивись п. 2.1).
  - 3.2. Розбити весь діапазон керуючого впливу на 5...10 рівних частин. Далі запустити процес реєстрування та поетапно подавати ці значення керуючого впливу на об'єкт керування, поетапно дочекавшись усталеного режиму дійсного значення фіксувати його.
  - 3.3. Зупинити процес реєстрації.
4. Отримання даних при П-образному впливі.

- 4.1 Привести об'єкт керування до початкових умов (дивись п. 2.1).
- 4.2 Запустити процес реєстрування.
- 4.3. Задати керуючий вплив на рівні 100 %, обов'язково дочекатися досягнення усталеного режиму дійсного значення, зафіксувати його.
- 4.4. Задати керуючий вплив на рівні 0 %, обов'язково дочекатися досягнення усталеного режиму дійсного значення, зафіксувати його.
- 4.5. Зупинити процес реєстрації.
5. Отримання перевірочних даних.
  - 5.1. Привести об'єкт керування до початкових умов (дивись п. 2.1).
  - 5.2. Налаштувати псевдовипадковий вплив таким чином, щоб період зміни впливу був бажано у 5...10 разів менший за час перехідного процесу, а амплітуда керуючого впливу змінювалася дискретно (бажано випадково) в діапазоні 0...100 %.
  - 5.3. Запустити процес реєстрування.
  - 5.4. Запустити формування псевдовипадкового впливу.
  - 5.5. Виконувати реєстрацію бажано на протязі часу не менш ніж за 5...10 інтервалів часу перехідного процесу плюс час затримки.
  - 5.6. Зупинити процес реєстрації.

### **3.4 Виконання експерименту**

На першому етапі проведення експерименту виконано налаштування системи дослідження таким чином, що керуючий вплив – пересування електродів змінювалося дискретно з мінімального можливого значення до максимального, а відповідне дійсне значення – струм електродів, під впливом керуючого значення з часом змінювався з мінімального значення до максимального значення.

На другому етапі було виконано отримання динамічної характеристики об'єкта керування (рис. 3.2).

Пересування електродів, за технічними параметрами, лінійна регулюється у межах діапазону керуючого впливу з значеннями заглиблення 0,3 ...0,5 м (від



визначеної «нульової» відмітки початку заглиблення у скрап), що становить відповідно повний діапазон регулювання (0...100 %).

Для цього було встановлено керуючий сигнал на рівні заглиблення 0,3 м (0 %). Після досягнення усталеного режиму для дійсного значення – струм електродів стабілізувався на рівні мінімального значення 20 кА (0 %), керуючий сигнал було встановлено на рівні заглиблення 0,5 м (100 %), а після досягнення усталеного режиму для дійсного значення – струм електродів стабілізувався на рівні максимального значення 170 кА (100 %) експеримент було закінчено.

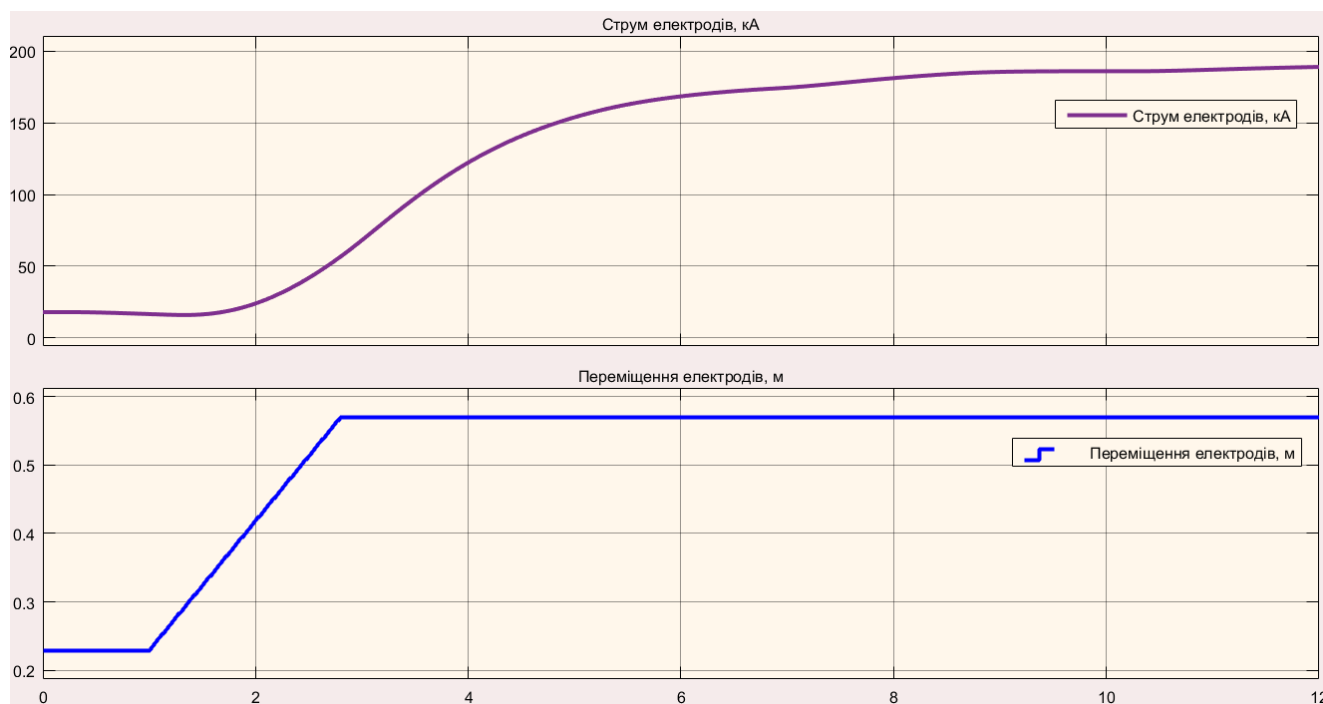


Рисунок 3.2 – Отримання динамічної характеристики

На третьому етапі було виконано отримання даних для побудови статичної характеристики (рис. 3.3).

Для цього було встановлено керуючий сигнал на рівні 0,23 м (0 %), після досягнення усталеного режиму для дійсного значення, була зафіксована його величина.

Далі було встановлено керуючий сигнал на рівні 0,298 м (20 %), після досягнення усталеного режиму для дійсного значення, була зафіксована його величина.

Далі було встановлено керуючий сигнал на рівні 0,366 м (40 %), після досягнення усталеного режиму для дійсного значення, була зафіксована його величина.

Далі було встановлено керуючий сигнал на рівні 0,434 м (60 %), після досягнення усталеного режиму для дійсного значення, була зафіксована його величина.

Далі було встановлено керуючий сигнал на рівні 0,502 м (80 %), після досягнення усталеного режиму для дійсного значення, була зафіксована його величина.

Далі було встановлено керуючий сигнал на рівні 0,57 м (100 %), після досягнення усталеного режиму для дійсного значення, була зафіксована його величина.

Після цього експеримент було закінчено.

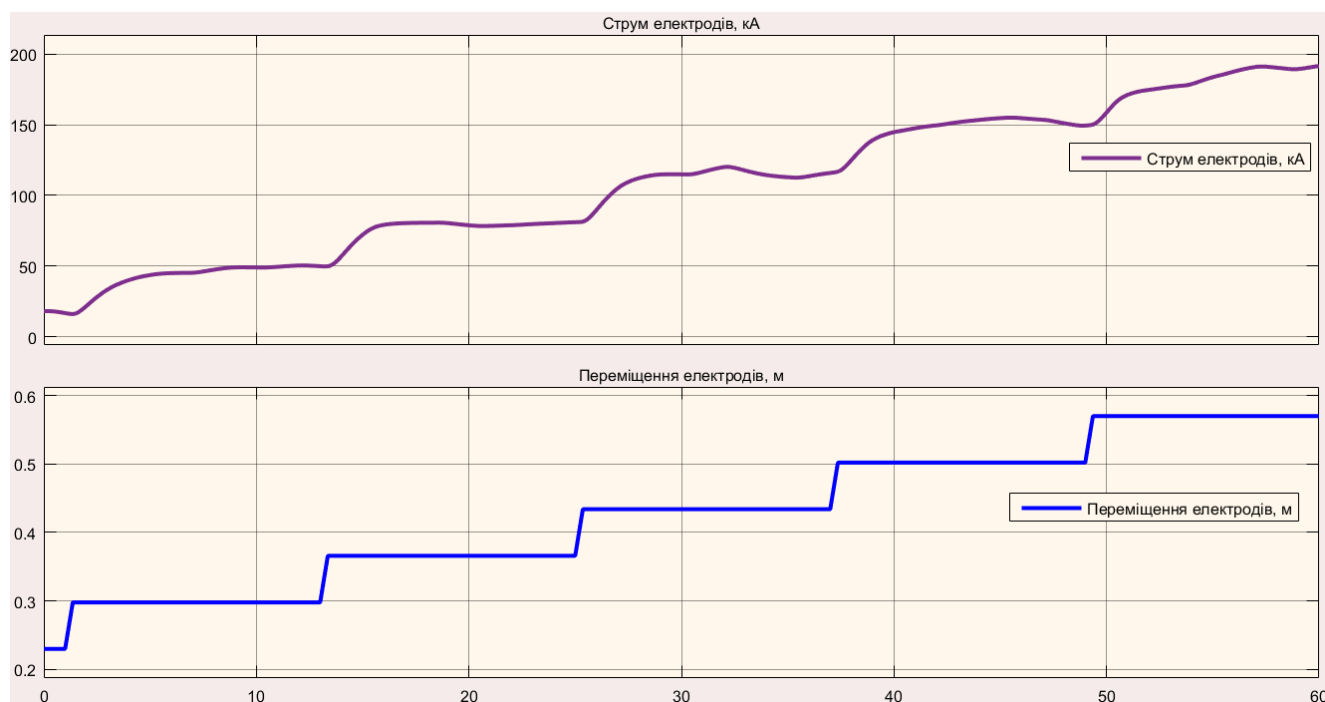


Рисунок 3.3 – Отримання даних для побудови статичної характеристики

На четвертому етапі було виконано отримання даних П-образному керуючому впливі (рис. 3.4).

Для цього було встановлено керуючий сигнал на рівні 0,23 м (0 %), після досягнення усталеного режиму для дійсного значення, була зафіксована його величина.

Далі було встановлено керуючий сигнал на рівні 0,57 м (100 %), після досягнення усталеного режиму для дійсного значення, була зафіксована його величина.

Далі було встановлено керуючий сигнал на рівні 0,23 м (0 %), після досягнення усталеного режиму для дійсного значення, була зафіксована його величина.

Після цього експеримент було закінчено.

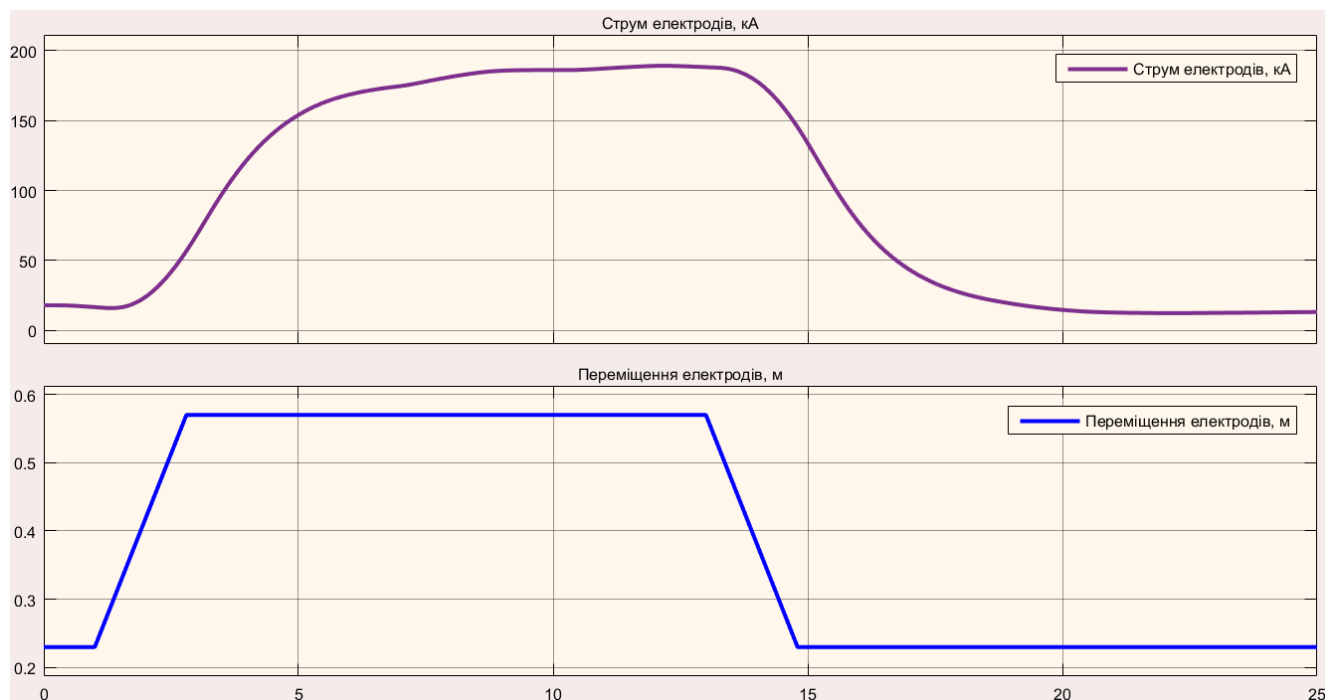


Рисунок 3.4 – Отримання даних при П-образному керуючому впливі

На п'ятому етапі було виконано отримання перевірочних даних (рис. 3.5).

Для цього керуючий вплив було налаштовано на випадкову послідовність в діапазоні 0,23...0,57 м, з інтервалом зміни у 2,9 с (з попереднього аналізу рис. 3.4 маємо - перехідний процес близько 12 с, а сама реєстрація відбувалася на протязі 70 с.

У результаті виконання плану експерименту було проведено всеосяжне дослідження об'єкта керування та отримані динамічна характеристика, дані для побудови статичної характеристики, дані при П-образному керуючому впливі та перевірочні дані.

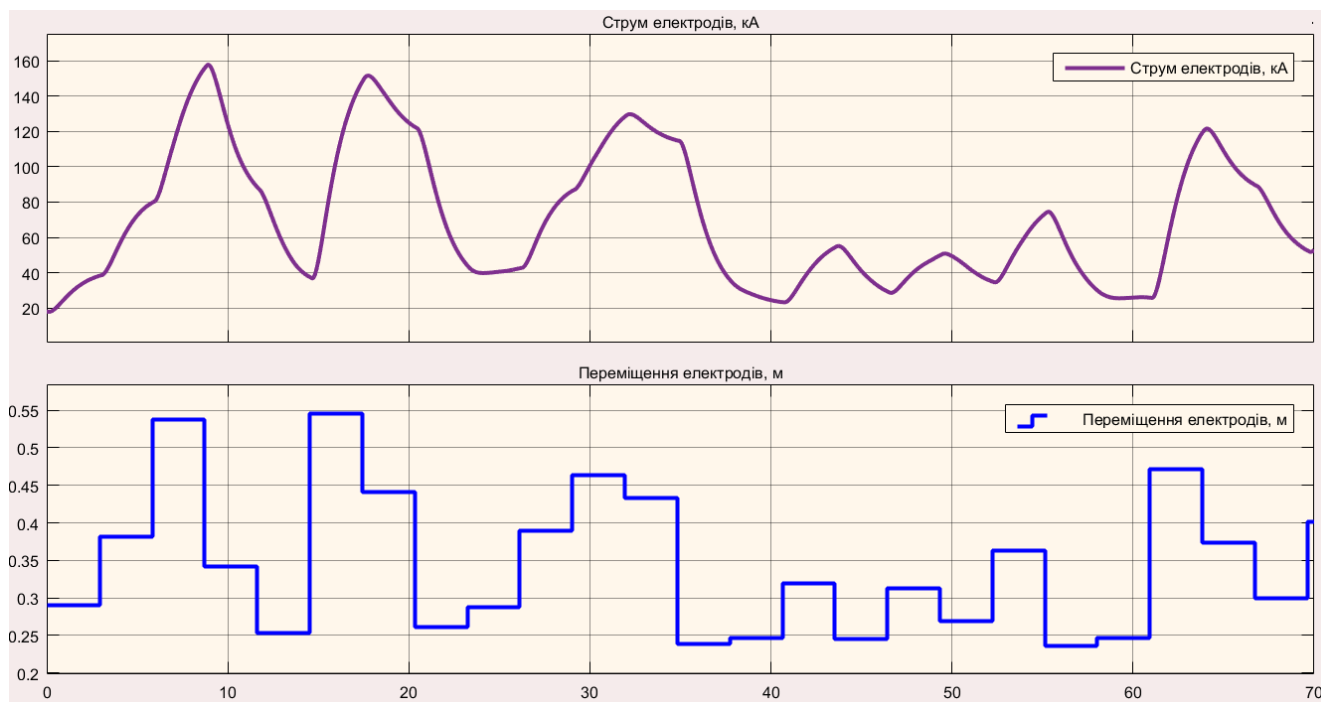


Рисунок 3.5 – Отримання перевірочних даних

### 3.5 Обробка результатів експерименту

#### 3.5.1 Підготовка даних

Дані отримані в SCADA системі zenon було імпортовано до математичного пакета MATLAB з метою подальшої обробки.

Данні характеристик об'єкті керування - системи переміщення електродів дугової сталеплавильної печі Danieli AF3T195-P210 знімалися з періодичністю 0,01 с. Враховуючі той факт що при ідентифікації у математичному пакеті MATLAB рекомендований час становить 1 с, то при перенесенні графіків буде масштаб часу буде збільшено у 100 разів (рис. 3.6). Це потім слід врахувати в кінцевих результатах для визначення реальних параметрів часу – зменшити їх у 100 разів.

Змінні які відповідають даним динамічної характеристики "Dynamic\_Input", "Dynamic\_Output", даним для побудови статичної характеристики "Static\_Input", "Static\_Output", даним отриманим при П-образному керуючому впливі "P\_Input", "P\_Output", перевірочним даним "Check\_Input", "Check\_Output". Суфікс "\_Input" позначає керуючий вплив, а суфікс "\_Output" дійсне значення.

Name	Value
Check_Input	7001x1 double
Check_Output	7001x1 double
Dynamic_Input	1201x1 double
Dynamic_Output	1201x1 double
P_Input	2501x1 double
P_Output	2501x1 double
Static_Input	6001x1 double
Static_Output	6001x1 double

Рисунок 3.6 – Імпортовані данні

Для спрощення подальшого аналізу дані були конвертовані до об'єктів типу “iddata”. Та з отриманих даних була видалена статична складова.

На рис. 3.7 та рис. 3.8 показані результати моделювання з видалення статичної складової для динамічної, статичної, П-образної та перевірочної характеристик.

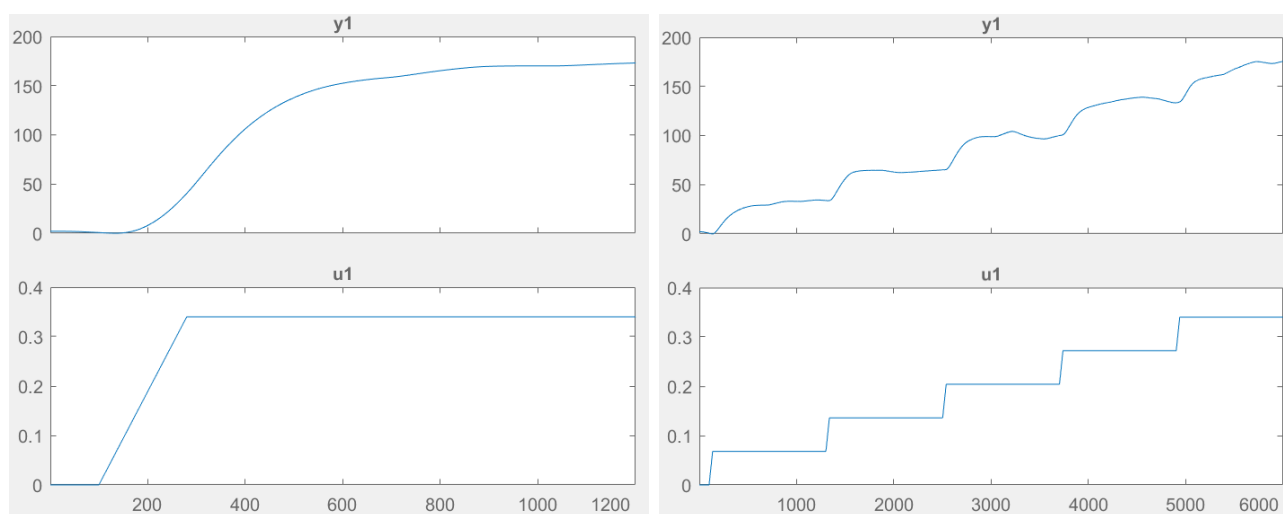


Рисунок 3.7 – Динамічна і статична характеристики з видаленими статичними складовими

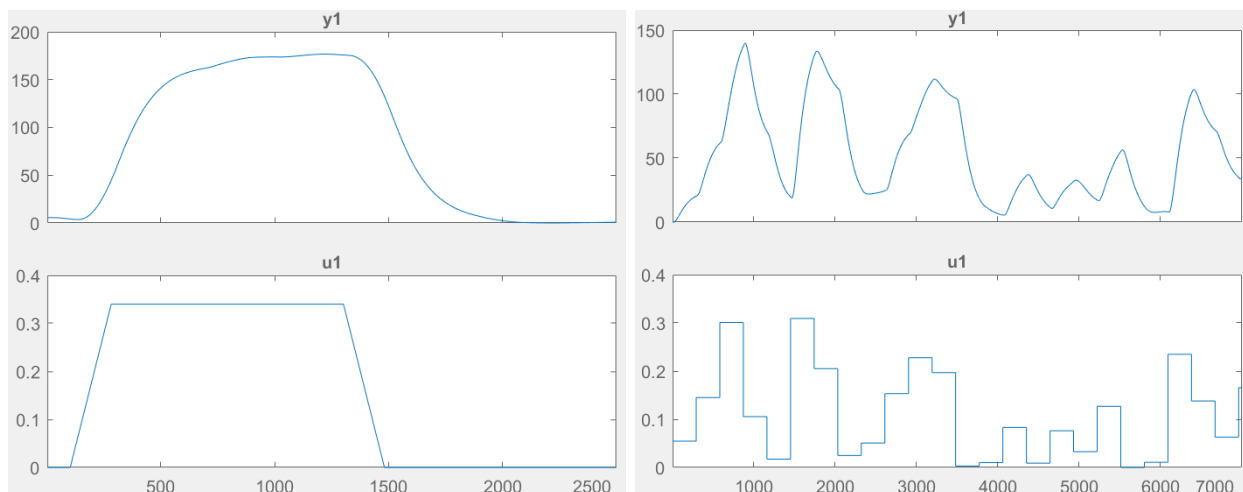


Рисунок 3.8 – П-образна та перевірна характеристики з видаленими статичними складовими

### 3.5.2 Структурна ідентифікація

З метою оцінки структури моделі об'єкта керування проаналізуємо динамічну характеристику об'єкта керування (рис. 3.9).



Рисунок 3.9 – Аналіз динамічної характеристики

Після подачі керуючого впливу дійсне значення змінюється з запізненням, виходячи з цього можливо зробити висновок, що об'єкт володіє запізненням. Це може бути пов'язано з часом обробки вимірюючого значення показників з датчиків струму.

На динамічній характеристиці відсутня інерція, характер перехідного процесу монотонний, а кількість перегинів дорівнює двом. На підставі цього можливо зробити висновок, що модель об'єкта керування може бути представлена у вигляді аперіодичної ланки другого порядку з запізненням.

Коефіцієнт посилення  $K \approx 172 / 0,34 = 505,9$ ; час перехідного процесу приблизно 1 200 (12 с); постійна часу  $1\,200 / 5 \approx 240$  (2,4 с); затримка  $\approx 131 - 99 = 32$  (0,32 с).

Проаналізуємо об'єкт керування на лінійність для цього побудуємо його статичну характеристику (рис. 3.10).

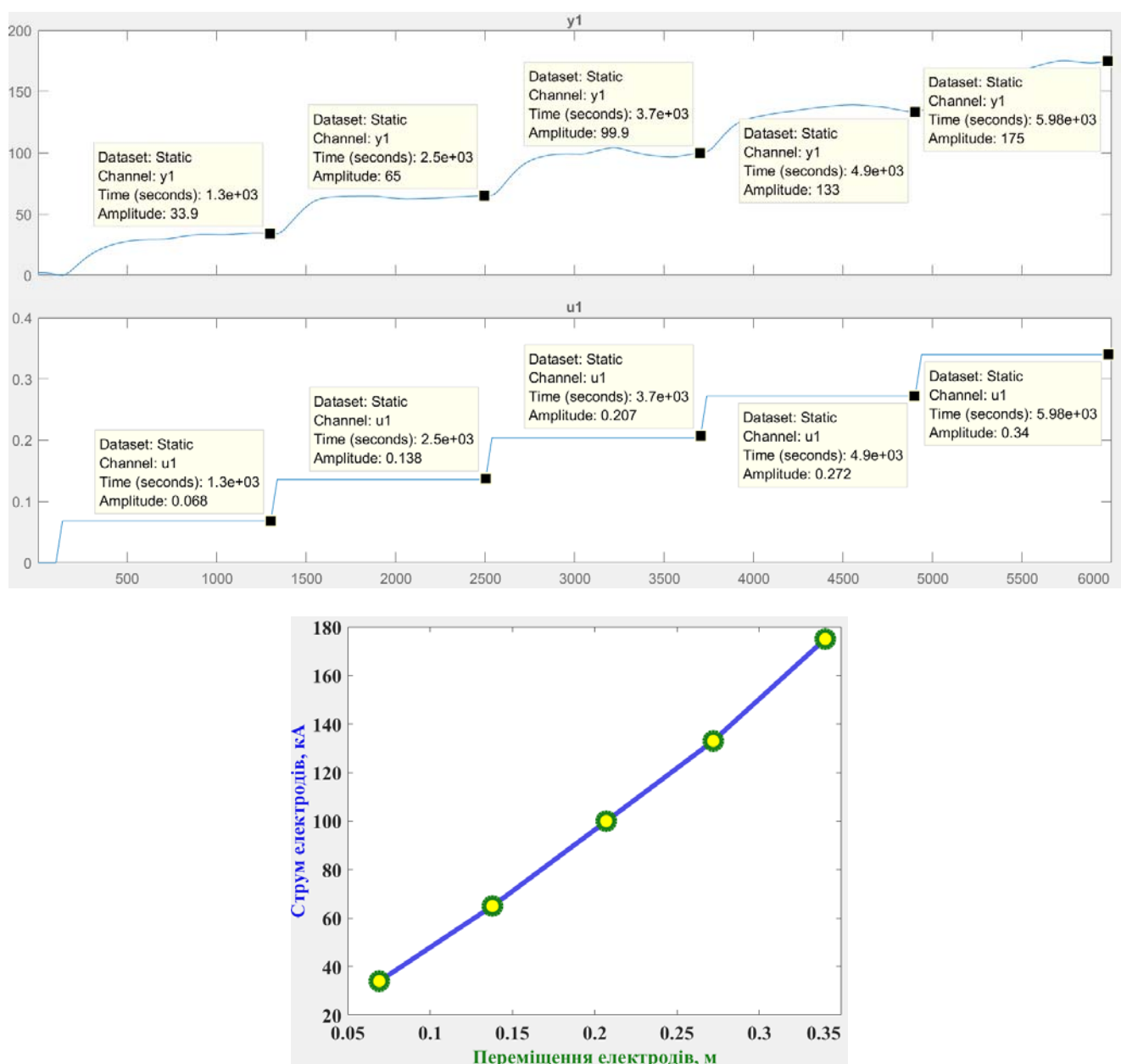


Рисунок 3.10 – Статична характеристика

Для перевірки статичної характеристики на лінійність розраховано коефіцієнти посилення для усіх точок крім нульових:

```
Static_Gain =
0.0020  0.0021  0.0021  0.0020  0.0019
Максимальне відхилення коефіцієнту підсилення: 8.49
```

За статичною характеристикою та отриманими коефіцієнтами посилення об'єкт керування є лінійним в усьому досліджуваному діапазоні керуючих впливів та для його опису можуть бути використані лінійні моделі, так як відхилення коефіцієнту посилення у всьому діапазоні менше ніж величина технічної похибки 10 %.

Проаналізуємо характеристику отриману при П-образному керуючому впливі (рис. 3.11).

Збільшення керуючого впливу з 0 % до 100 % приводить до відповідного збільшення дійсного значення, а зменшення керуючого впливу з 100 % до 0 % приводить до відповідного зменшення дійсного значення. На підставі цього можливо зробити висновок, що об'єкт не володіє інтегруючими властивостями і є об'єктом з самовирівнюванням.

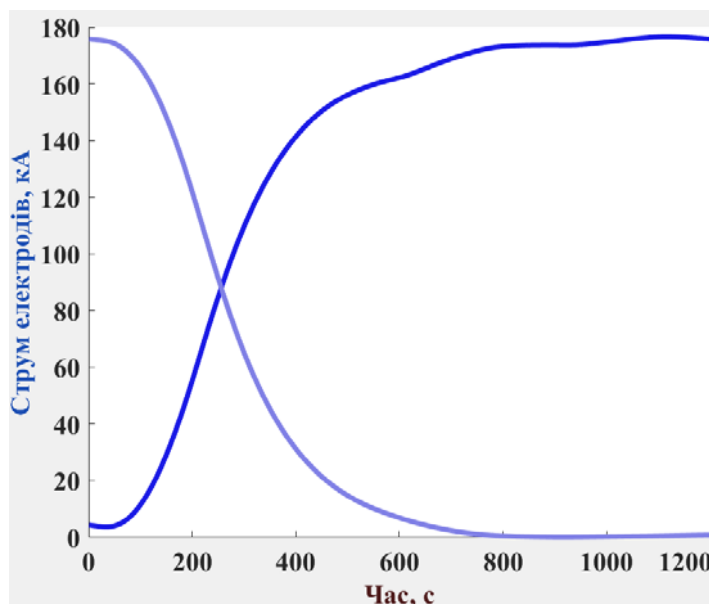


Рисунок 3.11 – Аналіз симетричності характеристика при П-образному керуючому впливі

З метою аналізу симетричності об'єкта керування його характеристика, яка отримана при П-образному впливі була поділена на ділянки підйому та спаду з



метою порівняння ділянок підйому та спаду, яке виконувалося через порівняння стандартних середнє квадратичних відхилень:

**Порівняння ділянок підйому та спаду: 2.89 %**

За отриманою П-характеристикою при аналізі симетричності середнє квадратичне відхилення менше ніж величина технічної похибки 10 %. Тобто можна стверджувати, що час перехідного процесу, форма та стандартне середнє квадратичні відхилення ділянок підйому та спаду співпадають, таким чином об'єкт керування є симетричним та може бути представлений однією лінійною моделлю.

За результатами структурної ідентифікації встановлено, що об'єкт керування є лінійним, симетричним, має два дійсні від'ємні домінуючі корені та ланку чистого запізнення. На підставі цього об'єкт керування може бути описано аперіодичною ланкою другого, або більш високого порядку з запізненням:

$$W(s) = \frac{k \cdot e^{-\tau s}}{(T_1 s + 1) \cdot (T_2 s + 1)}, \quad (3.1)$$

де  $W(s)$  – передавальна функція моделі об'єкта керування;  $s$  – оператор диференціювання;  $k$  – коефіцієнт посилення;  $\tau$  – час запізнення, с;  $T_1, T_2$  – постійні часу, с.

### 3.5.3 Параметрична ідентифікація

Параметрична ідентифікація виконувалася у програмному забезпеченні System Identification Toolbox яке входить до складу математичного пакета MATLAB.

До програмного забезпечення System Identification Toolbox (рис. 3.12) імпортувалися підготовлені дані без статичної складової – «Dynamic».

Дані динамічної характеристики використовувалися для розрахунку параметрів моделі об'єкта керування, а перевіірочні дані «Check», для оцінки відповідності отриманої моделі до об'єкта керування.

Для визначення параметрів моделі об'єкта керування використано метод «Process Models». Налаштування параметрів ідентифікації наведено на рис. 3.12.

Розрахунок параметрів виконувався через метод Process Models для аперіодичних ланок першого, другого та третього порядку з запізненням.

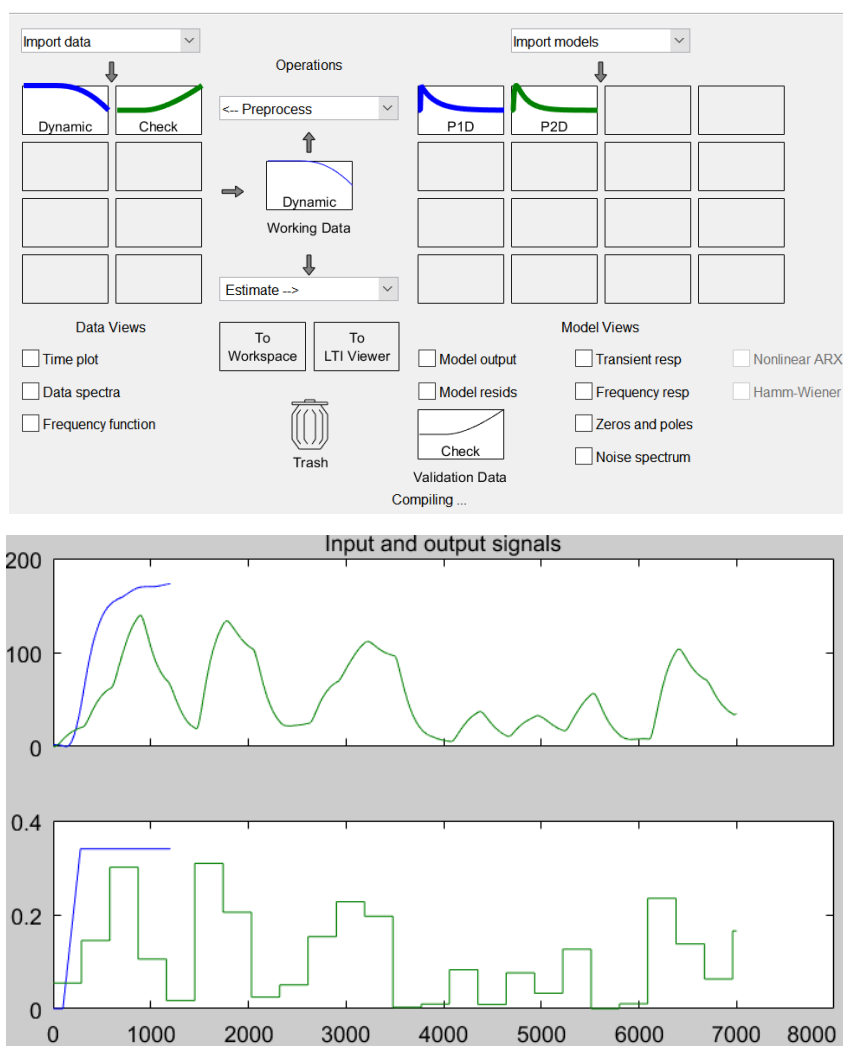


Рисунок 3.12 – Налаштування System Identification Toolbox

Перевірка результатів розрахунків наведена на рис. 3.13 та в табл. 3.1.

Параметри ідентифікації за методом Process Models P1D:

$$G(s) = \frac{K_p}{1+T_{p1}s} * \exp(-T_d*s)$$

$$K_p = 509.48 \pm 0.42207$$

$$T_{p1} = 181.53 \pm 0.92651$$

$$T_d = 30 \pm 0.5482$$

Fit to estimation data: 96.5%

FPE: 5.343, MSE: 5.316

Параметри ідентифікації за методом Process Models P2D:

$$G(s) = \frac{K_p}{(1+T_{p1}s)(1+T_{p2}s)} * \exp(-T_d*s)$$

$$\begin{aligned}
 K_p &= 503.76 \pm 0.23574 \\
 T_{p1} &= 154.6 \pm 0.70835 \\
 T_{p2} &= 37.3 \pm 0.50528 \\
 T_d &= 13
 \end{aligned}$$

Fit to estimation data: 98%  
 FPE: 1.747, MSE: 1.733

За допомогою «Model output» показана відповідність отриманих моделей PID та P2D до перевірочних даних Check, отриманих на об'єкті керування, наведена на рис. 3.13 та представлена у табл. 3.1.

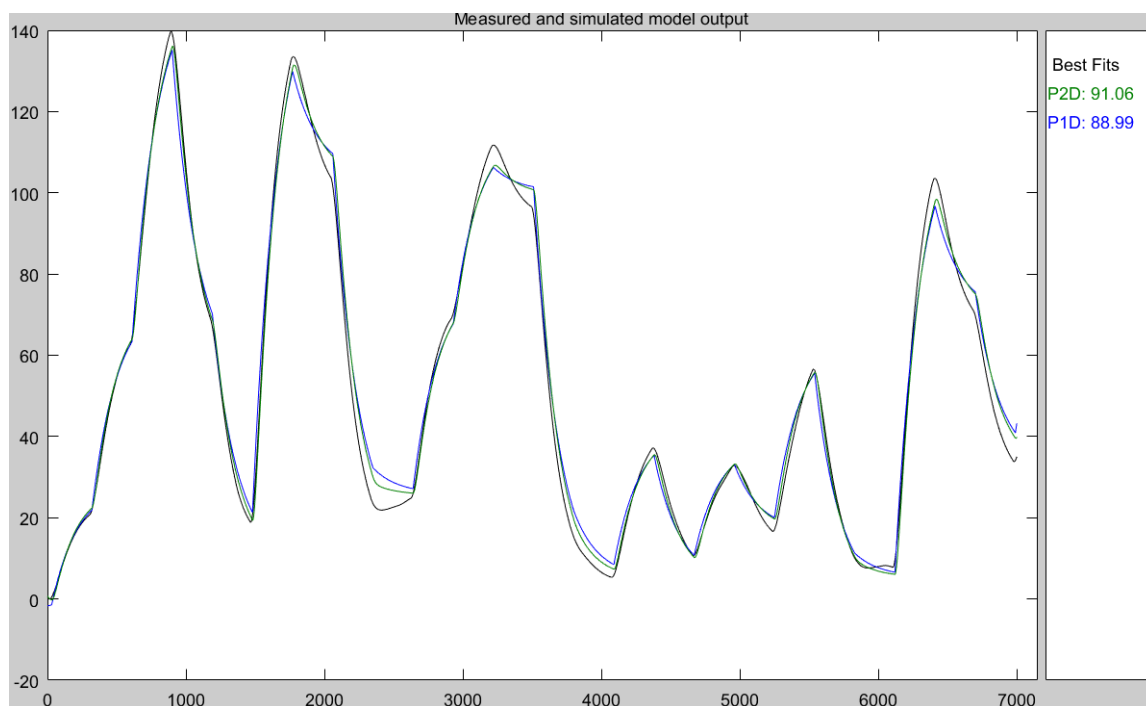


Рисунок 3.13 – Перевірка результатів розрахунків

Таблиця 3.1 – Відповідність отриманих моделей до перевірочних даних об'єкта керування

Назва параметру	P1D	P2D
$k$	509,48	503,76
$T_1, c$	181,53	154,6
$T_2, c$	-	37,3
$\tau$	30	13
НСКП, %	96,5	98,0
ПОП	5,343	1,747
СКП	5,316	1,733
НСКП, %	88,99	<b>91,06</b>

Аналіз відмінностей між оцінками отриманих моделей по динамічній характеристиці показав, що за нормалізованим середньоквадратичним похибкам

(НСКП), підходять моделі P2D та P1D з показниками у 98,0 % та 96,5 %, а співвідношення помилки остаточного передбачення (ПОП) для P2D і P1D становить  $5,343 / 1,747 \approx 3,1$ . Таким чином попередньо перевага за моделлю P2D.

Головним показником, який впливає на остаточний вибір між цими моделями є розбіжність у відповідності за перевірочними даними. Найкращій показник має модель P2D.

Виходячи з усього, що наведено вище можна стверджувати, що обрана модель P2D має достатню відповідність до перевірочних даних, яка значно більше ніж граничне неприпустиме значення у 80 %.

Для параметричної перевірки обраної моделі P2D можна звернути увагу на наступні показники, отримані за динамічною характеристикою (рис. 3.9) - коефіцієнт посилення 505,9; постійна часу 240 (2,4 с), 32 (0,32 с).

Для отриманої моделі другого порядку P2D коефіцієнт посилення дорівнює - 503,76; постійна часу становить  $154,6 + 37,3 = 191,9$  (1,9 с), а затримка 13,0 (0,13 с), що додатково підтверджує, що об'єкту керування дійсно краще всього відповідає обрана модель P2D - аперіодична ланка другого порядку з запізненням.

За результатами параметричної ідентифікації отримана модель у вигляді передавальної функції, яка відповідає об'єкту керування за перевірочними даними на 91 %:

$$W(s) = \frac{503,8 \cdot e^{-13,0s}}{(154,6s + 1) \cdot (37,3 + 1)} \quad (3.2)$$

### 3.5.4 Розробка моделі об'єкта керування в Simulink

Використовуючи передавальну функцію (3.2) у графічному середовищі імітаційного моделювання Simulink математичного пакету MATLAB розроблена модель системи переміщення електродів дугової сталеплавильної печі Danieli AF3T195-P210 (рис. 3.14) та схема складена схема отримання даних для перевірки на адекватність (рис. 3.15).

При налаштуванні схеми час моделювання задано 7 000 с, що дорівнює кількості перевірочних даних. Додані блоки запису перевірочних даних та

результатів моделювання до змінних Object і Model відповідно. Крок запису задано 1 с, що відповідає первинним даним.

На виході моделі системи переміщення електродів дугової сталеплавильної печі Danieli AF3T195-P210 додано статичний зсув характеристики дійсного значення, який корегує вихідну характеристику відповідно до реальних даних, отриманих з об'єкту керування.

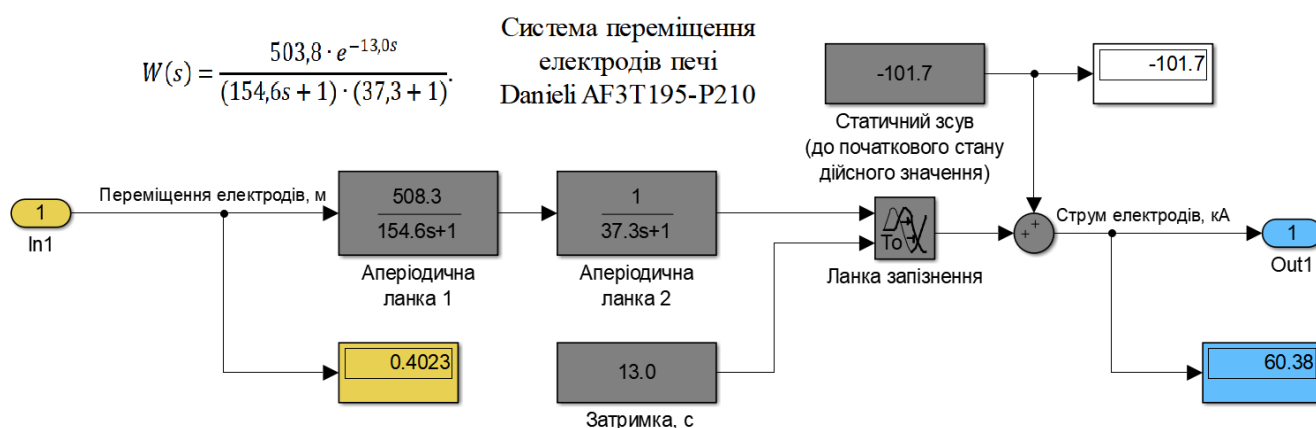


Рисунок 3.14 – Модель об'єкту керування (система переміщення електродів дугової сталеплавильної печі Danieli AF3T195-P210 )

На рис. 3.15 показана модель отримання даних для перевірки на адекватність. На вихід моделі P2D також доданий статичний зсув дійсного значення, додано статичний зсув характеристики дійсного значення, який корегує вихідну характеристику відповідно до реальних даних, отриманих з об'єкту керування.

Порівняння відбувається з чистими перевірочними даними над якими не виконувалися дії які б могли їх «скомпрометувати».

За результатами моделювання бачимо, що дійсні значення отримані на виході моделі System Identification Toolbox (сигнал – «Модель P2D») та моделі розробленій на базі передавальної функції (сигнал – «Модель Simulink») співпадають з перевірочними даними (рис. 3.16).

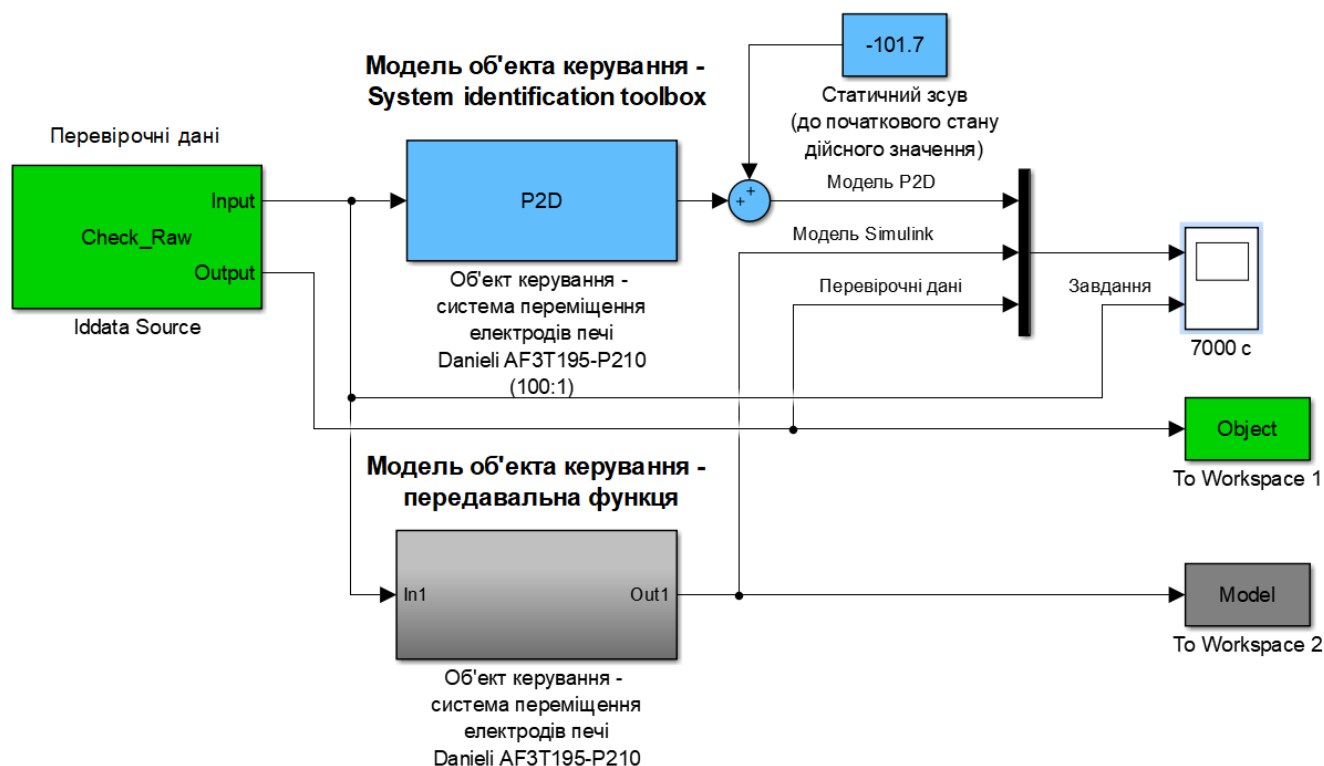


Рисунок 3.15 – Модель отримання даних для перевірки на адекватність

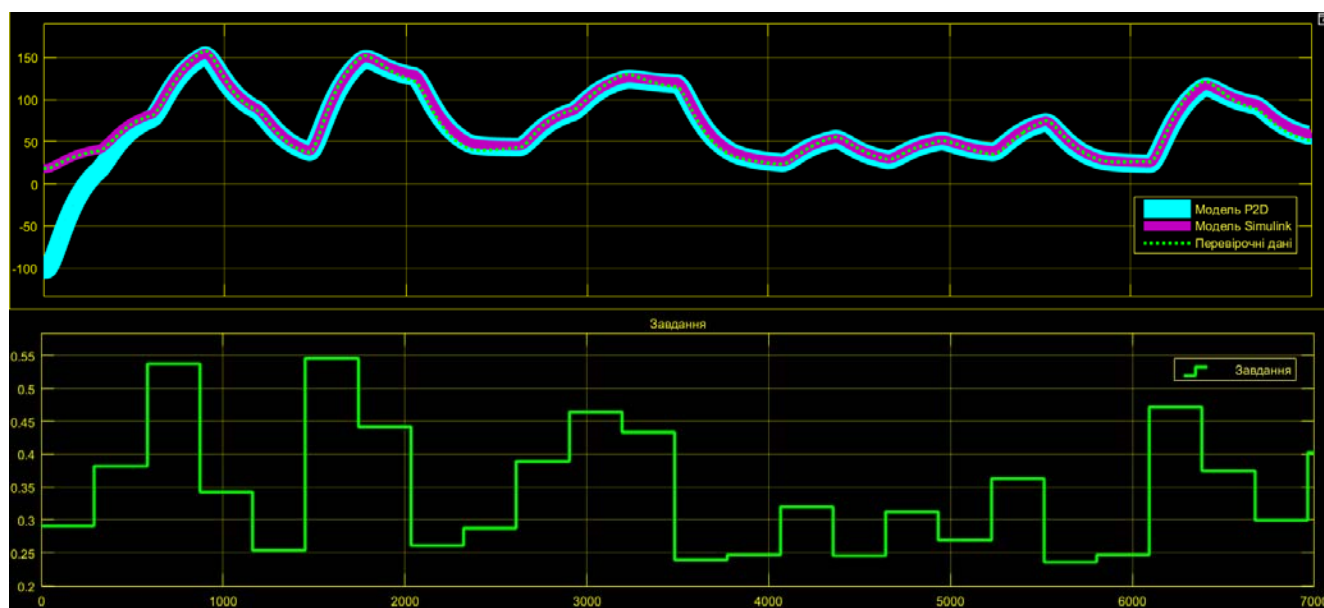


Рисунок 3.16 - Результат отримання даних для перевірки на адекватність

Наступним етапом є перевірка моделі на адекватність.

### 3.5.5 Перевірка моделі на адекватність

При перевірці на відповідність її значення у більшості випадків повинні бути вище 80 %, при перевірці на адекватність коефіцієнт кореляції повинен бути вище

0,8, а довірчий інтервал відповідати 0,9. У деяких випадках ці значення можуть бути змінені.

Перевірка на адекватність виконувалася за допомогою скрипту GetAdequacy.m, який реалізує відповідний розрахунок перевірки на адекватність.

Результат виконання статистичного аналізу (виклику функції):

**Перевірка моделі об'єкта керування на адекватність v1.0**

**Коефіцієнт кореляції: 0.996**

**Статистичний критерій Фішера: 981333.803**

**Критичне значення статистики Фішера: 2.706**

**Статистичний критерій Фішера більший критичного значення, модель є адекватною до об'єкта керування.**

Використовуючи скрипт GetAdequacy.m встановлено, що між перевірочними даними та результатами моделювання присутній дуже високий зв'язок, коефіцієнт кореляції близький до 1,0. Статистичний критерій Фішера 981333 більший критичного значення 2,706, тобто модель є адекватною до об'єкта керування.

Остаточна модель з врахуванням масштабу часу, збільшеному на початку модулювання у 100 разів, матиме вигляд формули 3.3, а схему, яка представлена на рис. 3.17.

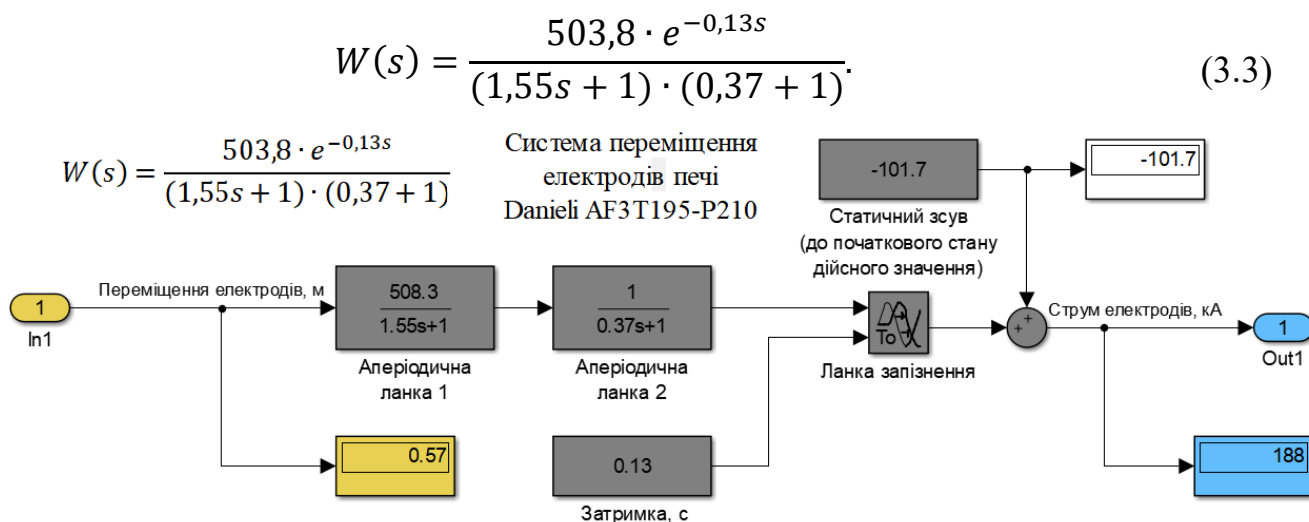


Рисунок 3.17 – Скорегована модель об'єкта керування (система переміщення електродів дугової сталеплавильної печі Danieli AF3T195-P210)

### 3.6 Розробка схеми моделі частотного перетворювача

Програмований логічний контролер виконує керування системою переміщення електродів дугової сталеплавильної печі Danieli AF3T195-P210 за

допомогою частотних перетворювачів, які в свою чергу живлять електроприводи пересування електродів. Час обмеження швидкості переміщення від мінімального занурення до максимального становить близько 1,8 с (рис. 3.9).

Таким чином спрощена модель схеми обмеження швидкості переміщення електродів (частотного перетворювача) можна представити блоком Rate Limiter (рис. 3.18).



Рисунок 3.18 – Схема обмеження швидкості переміщення електродів

Графік роботи моделі шнекового дозатора представлено на рис. 3.19.

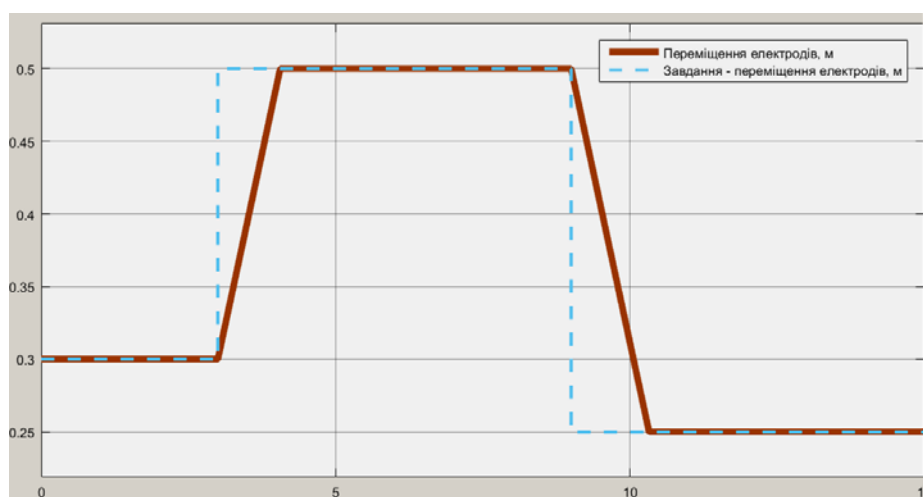


Рисунок 3.19 – Моделювання роботи шнекового дозатора

### 3.7 Остаточна комплексна модель об'єкту керування

Остаточна комплексна модель об'єкту керування у графічному середовищі імітаційного моделювання Simulink наведена на рис. 3.20, яка складається з моделі схеми обмеження швидкості переміщення електродів (рис. 3.18) та скорегованої моделі системи переміщення електродів дугової сталеплавильної печі Danieli AF3T195-P210 (рис. 3.17).



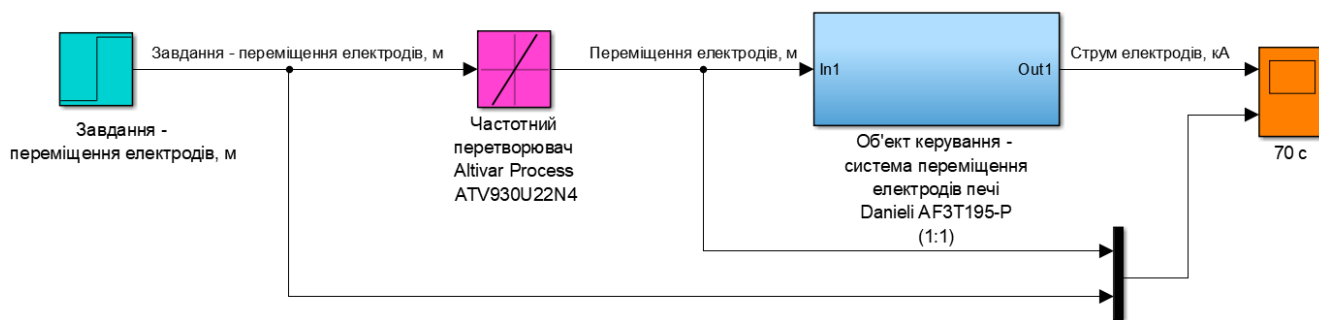


Рисунок 3.20 - Остаточна комплексна модель об'єкта керування

Динамічні характеристики для остаточної комплексної моделі об'єкта керування наведено на рис. 3.21.

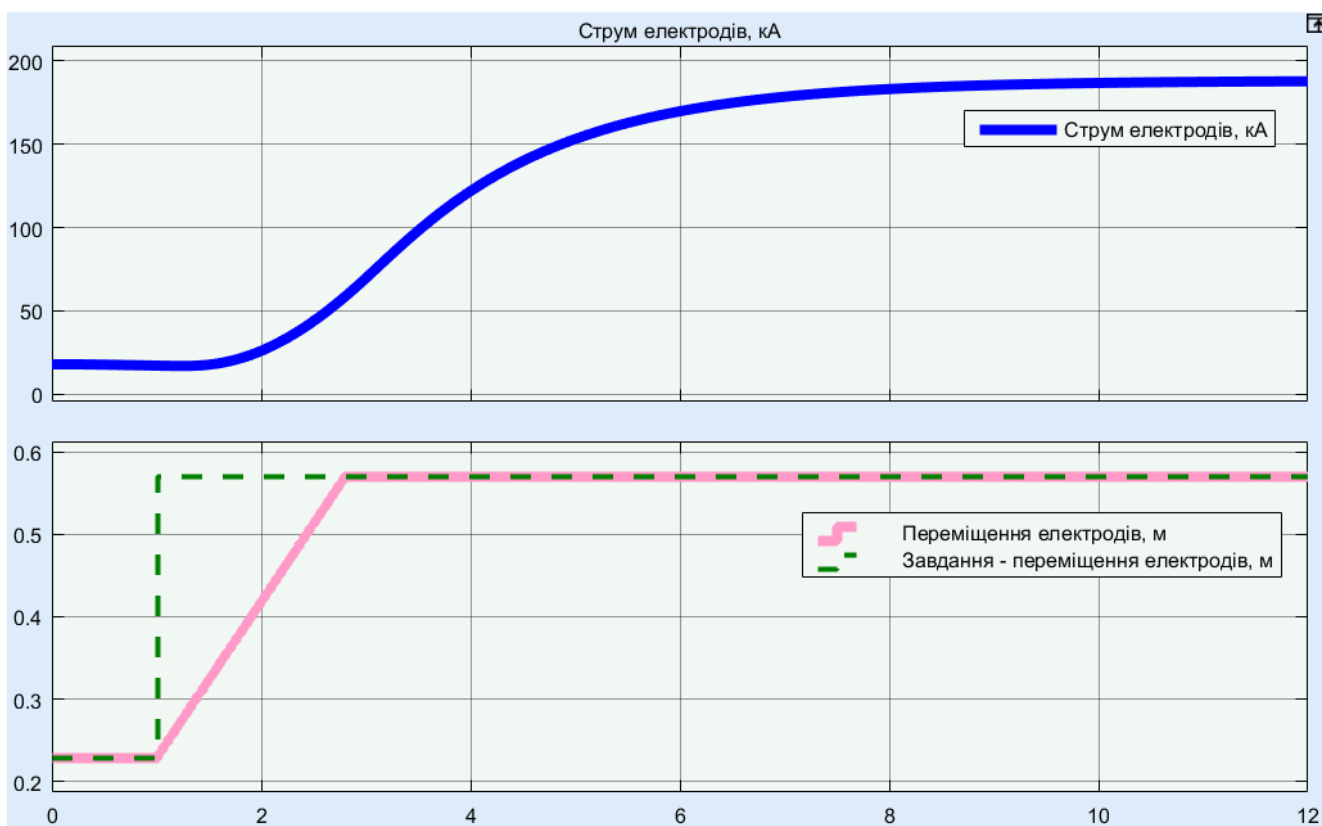


Рисунок 3.21 - Динамічна характеристика остаточної комплексної моделі об'єкта керування

### 3.8 Висновки за розділом

При виконанні структурної ідентифікації, яка проведена на підставі експериментальних даних отриманих на об'єкті керування (динамічної характеристики, даних для побудови статичної характеристики, даних отриманих

при П-образному керуючому впливі) встановлено, що структурно модель об'єкта керування може бути представлена як аперіодична ланка другого з запізненням.

За результатами параметричної ідентифікації встановлено, що структура моделі об'єкта керування - системи переміщення електродів дугової сталеплавильної печі Danieli AF3T195-P210 відповідає аперіодичній ланці другого порядку з запізненням з наступними розрахованими параметрами: коефіцієнт підсилення 503,8, постійні часу 1,55 с та 0,37 с, а затримка становить 0,13 с.

Комплексна перевірка на адекватність моделі до об'єкта керування за перевірочними даними об'єкта керування показала високу відповідність у 91 %, сильний кореляційний зв'язок близький до 1,0 та статистичний критерій Фішера 981 333 значно більшу критичного значення 2,706. Велике значення статичного критерію адекватності Фішера обумовлено великою кількістю вибірових даних та одиничним значенням коефіцієнта кореляції.

Остаточна комплексна модель об'єкту керування у графічному середовищі імітаційного моделювання Simulink, яка складається з моделі схеми обмеження швидкості переміщення електродів та моделі системи переміщення електродів дугової сталеплавильної печі Danieli AF3T195-P210.

Враховуючи аналіз технологічного процесу, структури об'єкта керування, характеристик отриманих за результатами експериментів, результатів структурної та параметричної ідентифікації та статистичного аналізу, отримана модель є адекватною до об'єкта керування - системи переміщення електродів дугової сталеплавильної печі Danieli AF3T195-P210 з електросталеплавильного технологічного комплексу заводу «Інтерпайп Сталь» м. Дніпро.

Модель об'єкту керування може бути використана для подальшої розробки системи керування за обраним каналом керування. Подальше вдосконалення моделі можливе у рамках більш детального аналізу впливів збурення, та модифікації програмного коду з метою підвищення швидкодії.

Отримана модель може бути використана для розробки програмного забезпечення системи керування.

## 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 4.1 Техніко-економічне обґрунтування впровадження системи керування

У кваліфікаційній роботі бакалавра об'єктом автоматизації обрана система переміщенням електродів дугової сталеплавильної печі Danieli AF3T195-P210 з технологічного електросталеплавильний комплексу заводу «Інтерпайп Сталь» м. Дніпро.

Технічне рішення призначене для автоматизації управління переміщенням електродів дугових сталеплавильних електродів Danieli AF3T195-P210, яке здійснюється за показниками значень струму дуги для кожного з графітованих електродів, що працюють при трифазному живленні.

Цей контролер порівнює значення з уставкою і в тому випадку, якщо значення струму відхиляється від уставки, посиляє керуючий сигнал на відповідний частотний перетворювач для переміщення графітованих електродів. Контролер управляє підняттям або опусканням кожного з трьох полюсів печі за допомогою асинхронних двигунів змінного струму в залежності від способу відхилення дугового струму відповідного графітового електрода від заданої точки.

Від системи управління верхнього рівня дугової металургійної промисловості печі Danieli AF3T195-P210 по інформаційному каналу встановлюється режим роботи печі, змінюється налаштування і оперативне керування режимами роботи підсистеми переміщення графітованих електродів. Також система верхнього рівня контролює нахил, забезпечує режим охолодження, відкриття і закриття кришки печі. Для віддаленого моніторингу роботи печі та аварійної сигналізації її можна підключити до хмарного сервісу.

Основні переваги системи:

- точний контроль руху електродів запобігає їх механічним, термічним і електричним пошкодженням;
- збільшення швидкості плавлення металів за рахунок точного контролю;

- зменшити кількість обривів дуги і коротких замикань;
- ведення архіву подій у вигляді графіків і таблиць;
- розрізняти права для різних груп користувачів - доступ за паролем;
- екстрені повідомлення по електронній пошті та інше;
- інтеграція в SCADA систему з підтримкою серверних технологій;
- зберігання архівів вимірювань на серверах до 90 днів з подальшою заміною старих даних на нові.

#### 4.2 Розрахунок капітальних витрат при впровадженні системи керування

Розрахуємо капітальні витрати:

$$K_{ПКВ} = C_{ОБ} + D_{ТР} + M_{МН} + K_{ПЗ}, \quad (4.1)$$

де  $K_{ПКВ}$  – проектні капітальні витрати, грн.;  $C_{ОБ}$  – вартість основного та допоміжного обладнання, грн.;  $D_{ТР}$  – транспортно-заготівельні витрати, грн.;  $M_{МН}$  – витрати на монтаж і налагодження системи, грн.;  $K_{ПЗ}$  – витрати на розробку програмного забезпечення, грн.

Вартість основного та допоміжного обладнання наведена в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Зведення капітальних витрат  $C_{ОБ}$  [7...9]

№	Найменування	Одиниці виміру	Кількість	Вартість (грн.)	Сума (грн.)
1	Модуль ПЛК VIPA 214-2BS33	од.	1	36 794,40	36 794,40
2	Модуль аналогового вводу VIPA 231-1BD40	од.	2	25 249,10	50 498,20
3	Модуль аналогового виводу VIPA 232-1BD30	од.	1	26 155,50	26 155,50
4	Система керування, виконана на базі ПК	од.	1	48 735,90	48 735,90
5	Датчик струму DTT-03T	од.	3	1 200,00	3 600,00
6	Датчик напруги LEM CV3-1000	од.	3	2 350,00	7 050,00
7	Частотний перетворювач Altivar Process ATV930D22N4	од.	3	48 550,00	145 650,00
8	Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301	од.	2	2 276,00	4 552,00
9	Шафа монтажна	од.	1	16 000,00	16 000,00
10	Монтажні дроти	м	150	22,50	3 375,00
11	Мережний кабель	м	400	28,00	11 200,00
12	Програмне забезпечення	разом	1	80 000,00	80 000,00
	Разом				433 611,00

Вартість обладнання складає  $C_{ОБ} = 433\ 611,00$  грн.

Витрати на транспортно-заготівельні і складські роботи визначаються в залежності від вартості обладнання, як 8 % від загальної вартості:

$$D_{\text{ТР}} = C_{\text{ОБ}} \cdot 0,08. \quad (4.2)$$

Витрати на транспортно-заготівельні і складські роботи складають:

$$D_{\text{ТР}} = 433\,611,00 \cdot 0,08 = 34\,688,88 \text{ грн.}$$

Вартість монтажна-налагоджувальних робіт приймаються на рівні 7 % від вартості обладнання:

$$M_{\text{МН}} = C_{\text{ОБ}} \cdot 0,07. \quad (4.3)$$

Витрати на монтажна-налагоджувальні роботи складають:

$$M_{\text{МН}} = 433\,611,00 \cdot 0,07 = 30\,352,77 \text{ грн.}$$

### 4.3 Розрахунок капітальних витрат на програмне забезпечення

#### 4.3.1 Розрахунок часу на розробку програмного забезпечення

Трудомісткість розробки програмного забезпечення (ПЗ) розраховується як:

$$t = t_o + t_u + t_a + t_n + t_{\text{ОТ}} + t_g. \quad (4.4)$$

де  $t$  – трудомісткість розробки програмного забезпечення, люд.-год.;  
 $t_o$  – витрати праці на підготовку і опис поставленого завдання, люд.-год.;  
 $t_u$  – витрати праці на дослідження алгоритму керування, люд.-год.;  
 $t_a$  – витрати праці на розробку схеми алгоритму, люд.-год.;  
 $t_n$  – витрати праці на програмування по готовій схемі алгоритму, люд.-год.;  
 $t_{\text{Н}}$  – витрати праці на налаштування програмного забезпечення, люд.-год.;  
 $t_g$  – витрати праці на підготовку документації по завданню, люд.-год.

Складові витрат праці визначаються на підставі умовної кількості оброблюваних операторів у програмному забезпеченні:

$$Q = q \cdot c \cdot (1 + p), \quad (4.5)$$

де  $Q$  – умовна кількість операторів в програмному забезпеченні;  
 $q$  – кількість операторів у програмному забезпеченні (на мові Structured Text, типове значення 300... 500, приймаємо  $q = 460$ );  
 $c$  – коефіцієнт складності програми (приймаємо  $c = 1,5$ );  
 $p$  – коефіцієнт корекції програми в процесі її обробки (приймаємо  $p = 0,35$ ).

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$Q = 460 * 1,5 * (1 + 0,35) \approx 932$$

Витрати праці на підготовку і опис завдання в кваліфікаційній роботі складають  $t_o = 48$  люд. – год.

Витрати праці на вивчення опису завдання визначаються з урахуванням уточнення опису та кваліфікації програміста як:

$$t_u = \frac{Q \cdot B}{(75 \dots 85) \cdot k'} \quad (4.6)$$

де  $B$  – коефіцієнт збільшення витрат праці (приймаємо  $B = 1,6$ );  
 $k$  – коефіцієнт кваліфікації програміста (приймаємо  $k = 1,35$ ).

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_u = 932 * 1,6 / (80 * 1,3) \approx 15 \text{ люд. – год}$$

Витрати на розробку алгоритму керування визначаються як:

$$t_a = \frac{Q}{(20 \dots 25) \cdot k} \quad (4.7)$$

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_a = 932 / (20 * 1,35) \approx 35 \text{ (люд. – год.)}.$$

Витрати праці на складання програми по готовій схемі алгоритму визначаються як:

$$t_n = \frac{Q}{(20 \dots 25) \cdot k} \quad (4.8)$$

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_n = 932 / (20 * 1,35) \approx 35 \text{ (люд. – год.)}.$$

Витрати праці на налаштування програми розраховуються як:

$$t_H = \frac{Q}{(4 \dots 5) \cdot k} \quad (4.9)$$

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_H = 932 / (4 * 1,35) \approx 173 \text{ (люд. – год.)}.$$

Витрати праці на підготовку документації по завданню визначаються як:

$$t_g = t_{ДР} + t_{ДО}, \quad (4.10)$$

де  $t_{\text{ДР}}$  – трудомісткість підготовки матеріалів до написання;  
 $t_{\text{ДО}}$  – трудомісткість редагування, друку та оформлення документації.

Трудомісткість підготовки матеріалів до написання визначається як:

$$t_{\text{ДР}} = \frac{Q}{(15 \dots 20) \cdot k}. \quad (4.11)$$

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_{\text{ДР}} = 932 / (15 * 1,35) \approx 47 \text{ люд. – год.}$$

Трудомісткість редагування, друку та оформлення документації визначається як:

$$t_{\text{ДО}} = 0,75 \cdot t_{\text{ДР}}. \quad (5.12)$$

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$t_{\text{ДО}} = 0,75 * 47 = 36 \text{ люд. – год.}$$

Для розробленого програмного забезпечення витрати праці на підготовку документації по завданню:

$$t_g = 47 + 36 = 83 \text{ люд. – год.}$$

Таким чином трудомісткість розробки програмного забезпечення становить:

$$t = 48 + 15 + 35 + 35 + 173 + 83 = 389 \text{ люд.-год.}$$

#### 4.3.2 Розрахунок витрат на розробку програмного забезпечення

Витрати на розробку ПЗ визначається як:

$$K_{\text{ПЗ}} = Z_{\text{ЗП}} + Z_{\text{МІ}}, \text{ грн.} \quad (4.13)$$

де  $Z_{\text{ЗП}}$  – витрати на заробітну плату розробника ПЗ, грн.;  $Z_{\text{МІ}}$  – вартість машинного часу, необхідного для налаштування ПЗ, грн.

Заробітна плата розробника програмного забезпечення визначається як:

$$Z_{\text{ЗП}} = t \cdot C_{\text{ПР}}, \text{ грн.}, \quad (4.14)$$

де  $t$  – час розробки ПЗ, год;  $C_{\text{ПР}}$  – середня годинна тарифна ставка розробника програмного забезпечення (приймаємо  $C_{\text{ПР}} = 165,00 \text{ грн./год.}$ ).

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$Z_{\text{ЗП}} = 389 * 165,00 = 64\,185,00 \text{ грн.},$$

Вартість машинного часу, необхідного для налаштування програми визначається як:

$$З_{MI} = t_n \cdot C_{MЧ}, \text{ грн.}, \quad (4.15)$$

де  $t_n$  – час налаштування ПЗ, год;  $C_{MЧ}$  – вартість машинного часу (приймаємо  $C_{MЧ} = 21,5$  грн./год.).

Для програмного забезпечення, що розробляється:

$$З_{MI} = 35 * 21,5 = 752,5 \text{ грн.}$$

Витрати на розробку програмного забезпечення системи керування становлять:

$$K_{ПЗ} = 64\,185,00 + 752,5 = 64\,937,5 \text{ грн.}$$

Очікувана тривалість розробки програмного забезпечення:

$$T = \frac{t}{B_k \cdot F_p}, \quad (4.16)$$

де  $T$  – тривалість розробки програмного забезпечення (міс.);  $B_k$  – кількість розробників (приймаємо  $B_k = 1$ );  $F_p$  – місячний фонд робочого часу ( $F_p = 176$  год./міс.).

$$T = 389 / (1 * 176) = 2,2 \approx 2,5 \text{ (міс.)}$$

Таким чином проектні капітальні витрати:

$$K_{ПКВ} = 433\,611,00 + 34\,688,88 + 30\,352,77 + 64\,937,5 \approx \\ \approx 563\,590,15 \text{ грн.}$$

#### 4.4 Розрахунок експлуатаційних витрат

Річні експлуатаційні витрати розраховуються як:

$$C_e = C_a + C_3 + C_c + C_{PO} + C_{ee} + C_{ІНШ}, \quad (4.17)$$

де  $C_e$  – річні поточні витрати, пов'язані із застосуванням системи керування, грн.;  $C_a$  – амортизація основних фондів, грн.;  $C_3$  – заробітна плата обслуговуючого персоналу, грн.;  $C_c$  – відрахування на соціальні заходи, грн.;  $C_{PO}$  – витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт обладнання, грн.;  $C_{ee}$  – вартість електроенергії, грн.;  $C_{ІНШ}$  – інші витрати, грн.

Визначимо експлуатаційні витрати при впровадженні системи керування.



#### 4.4.1 Амортизація основних фондів

Залежно від групи, до якої віднесено той, чи інший об'єкт основних засобів, встановлено мінімально-допустимі строки їх амортизації.

Обладнання, розробленої в кваліфікаційній роботі системи керування, належить до 4 групи (машини та обладнання). Передбачуваний термін експлуатації системи становить 5 років. При використанні методу прискореного зменшення залишкової вартості норма амортизації визначається як:

$$H_a = \frac{2}{T} \cdot 100 \%, \quad (4.18)$$

де  $H_a$  – норма амортизації, %;  $T$  – термін корисного використання об'єкта, років.

Амортизація основних фондів визначається як:

$$C_a = \frac{ПВ \cdot H_a}{100 \%}, \quad (4.19)$$

де  $C_a$  – річна амортизація основних фондів, грн.; ПВ – первинна вартість (ПВ =  $K_{ПКВ}$ ), грн.

Отже, норма амортизації для проектової системи керування складає:

$$H_a = \frac{2}{5} \cdot 100 \% = 40 \%.$$

Сума амортизації для проектової і базової системи становить:

$$C_a = 563\,590,15 \cdot 40 / 100 = 225\,436,06 \text{ грн.}$$

#### 4.4.2 Розрахунок фонду заробітної плати

Номінальний річний фонд робочого часу одного працівника:

$$T_{НР} = (T_K - T_{ВС} - T_B) \cdot T_3, \quad (4.20)$$

де  $T_{НР}$  – номінальний річний фонд робочого часу одного працівника, год.;  $T_K$  – календарний фонд робочого часу, днів ( $T_K = 365$ );  $T_{ВС}$  – вихідні дні та свята, днів ( $T_{ВС} = 116$ );  $T_B$  – відпустка, днів ( $T_B = 21$ );  $T_3$  – тривалість зміни, год ( $T_3 = 8$ ).

Таким чином, річний фонд робочого часу працівника складе:

$$T_{НР} = (365 - 116 - 21) \cdot 8 = 1\,824 \text{ год.}$$

У процесі керування задіяний 1 оператор людино-машинного інтерфейсу на зміну, 1 інженер-технолог на зміну, та 1 наладчик електроустаткування на добу. Процес безперервний – 3 зміни на добу.

Розрахунок річного фонду заробітної плати виробничих робітників здійснюється у відповідності з формою, наведеною в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Розрахунок заробітної плати персоналу

№ п/п	Найменування професії робітників	Число працюючих, чол.	Годинна тарифна ставка, грн./год.	Номінальний річний фонд	Пряма заробітна плата, грн.	Додаткова заробітна плата (8%), грн.	Доплати (7%), грн.	Всього заробітна плата, грн.
1	Оператор НМІ	3	145,05	1 824	793 713,60	63 497,09	55 559,95	912 770,64
2	Інженер-технолог	3	165,50	1 824	905 616,00	72 449,28	63 393,12	1 041 458,40
3	Наладчик	1	135,40	1 824	246 969,60	19 757,57	17 287,87	284 015,04
Разом								2 238 244,08

Заробітна плата персоналу проектної системи керування  $C_3 = 2\,238\,244,08$  грн.

#### 4.4.3 Відрахування на соціальні заходи

Відрахування на соціальні заходи визначаються як:

$$C_c = 0,22 \cdot C_3, \text{ грн.} \quad (4.21)$$

Відповідно до цього відрахування становлять:

$$C_c = 0,22 * 2\,238\,244,08 = 492\,413,70 \text{ грн.}$$

#### 4.4.4 Розрахунок витрат на технічне обслуговування та ремонт

Витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт обладнання та мережі приймаємо на рівні 5 % від величини капітальних витрат:

$$C_{PO} = 0,05 \cdot K_{KB} \cdot (K_{ПКВ}) \quad (4.22)$$

Відповідно до цього витрати становлять:

$$C_{PO} = 0,05 * 563\,590,15 = 28\,179,51 \text{ грн.}$$

#### 4.4.5 Витрати на електроенергію

Вартість електроенергії, споживаної системою керування:

$$C_{ee} = K_e \cdot K_{рД} \cdot T_3 \cdot T_e, \quad (4.23)$$

де  $K_e$  – кількість електроенергії, спожите системою керування (приймаємо  $K_e = 3,75$  кВт · год.);  $T_3$  – кількість часу роботи за сутки ( $T_3 = 24$  год.);  $K_{рД}$  – кількість робочих днів у році ( $K_{рД} = 365$  день);  $T_e$  – тариф на електроенергію для підприємств (для користувачів електроенергії 2 класу тариф складає 4,48907 грн. · кВт без ПДВ, з урахуванням ПДВ тариф  $T_e = 4,48907 \cdot 1,2 = 5,39$  грн.).

Таким чином вартість електроенергії становить:

$$C_{ee} = 3,75 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 5,39 = 177\,061,50 \text{ грн.}$$

#### 4.4.6 Інші витрати

Інші витрати з експлуатації об'єкта проектування включають витрати з охорони праці, на спецодяг та інше згідно практики, ці витрати визначаються в розмірі 4 % від річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу:

$$C_{інш} = 0,04 \cdot C_3. \quad (4.24)$$

Таким чином інші витрати становлять:

$$C_{інш} = 0,04 \cdot 2\,238\,244,08 = 89\,529,77 \text{ грн.}$$

Річні експлуатаційні витрати становлять (табл. 4.4):

$$C = 225\,436,06 + 2\,238\,244,08 + 492\,413,70 + 28\,179,51 + 177\,061,50 \\ + 89\,529,77 = 3\,250\,864,62 \text{ грн.}$$

Таблиця 4.4 – Експлуатаційні витрати

№ п/п	Назва показника	Проектний варіант, грн.
1	Амортизація	225 436,06
2	Фонд заробітної плати	2 238 244,08
3	Відрахування на соціальні виплати	492 413,70
4	Ремонт та технічне обслуговування	28 179,51
5	Електроенергія	177 061,50
6	Інше	89 529,77
7	Загалом	3 250 864,62

#### **4.5 Висновки за розділом**

При впровадженні проектованої системи капітальні витрати складають майже 565 тис. грн., час розробки ПЗ становитиме 2,5 місяці. Річні експлуатаційні витрати, пов'язані з впровадженням системи становитимуть до 3,25 млн. грн.

## 5 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 5.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів

Нагрівання у сталеплавильній печі є довготривалим процесом, який призводить до виникнення низки небезпечних і шкідливих факторів для здоров'я людини. В сталеплавильних цехах спостерігаються організовані та неорганізовані теплові викиди. Основними джерелами технологічних викидів є нагрівальні колодязі, печі та машини для вогневої зачистки. Неорганізовані викиди включають:

- нагрівальні колодязі, коли кришки (накришки) відкриваються;
- нагрівальні печі, коли недостатньо відведено тепло;
- робочі кліті;
- ножиці для різання металу;
- вогнева та механічна зачистка заготовок;
- видалення шлаку в шлакових коридорах у нагрівальних пристроях та інші процеси.

Крім того, під час нагрівання металобрухту в нагрівальних печах можуть виникати викиди гарячого шлаку при його контакті з водою та вологими матеріалами.

Працівники металургійного виробництва постійно стикаються з негативним впливом виробничого середовища, включаючи забруднення повітря шкідливими речовинами, високу температуру, теплове опромінення, шум, вібрацію та інші фактори. Крім того, при термічній і хіміко-термічній обробці металів, робітники, які безпосередньо керують процесами та обладнанням, можуть зазнавати впливу різноманітних небезпечних і шкідливих факторів, зокрема:

- незахищені рухомі елементи виробничого устаткування;
- пересуваючіся заготовки, готові вироби або деталі;
- рухомі транспортні засоби;
- небезпечний рівень напруги в електричних ланцюгах, що може спричинити ураження тіла людини;
- високий рівень шуму на робочому місці;

- недостатня освітленість робочого місця;
- вимоги до опалення, вентиляції та кондиціонування;
- потенційна пожежна та вибухова небезпека.

Ці фактори створюють додаткові ризики для здоров'я та безпеки працівників металургійного виробництва.

Аналізуючи шкідливі та небезпечні чинники, що виникають під час нагріву металевих зливків перед прокаткою, можна зробити висновок про необхідність впровадження заходів для зменшення цих ризиків. Основні заходи, які можна розглянути, включають:

1. Механізація та автоматизація процесу: Заміна ручного втручання людини механізованими системами та автоматичними пристроями допоможе знизити ризик контакту з шкідливими чинниками. Наприклад, використання роботизованих систем для навантаження і вивантаження заготовок або автоматичних пристроїв для регулювання параметрів процесу.

2. Дистанційне керування та спостереження: Застосування систем дистанційного керування механізмами дозволить операторам працювати на безпечній відстані від шкідливих джерел тепла та інших небезпечних факторів. Дистанційне спостереження за роботою механізмів також дозволить оперативна виявляти проблеми та уникати аварійних ситуацій.

3. Заміна періодичних процесів безперервними: Застосування безперервних процесів обробки металу замість періодичних дозволить зменшити час, протягом якого робітники піддаються шкідливому впливу. Наприклад, використання безперервних печей замість печей з періодичною загрузкою.

4. Автоматизація вимірювання параметрів: Використання автоматичних систем для вимірювання параметрів процесу дозволить забезпечити точність та контроль над обробкою металу без необхідності прямого впливу працівника на процес. Це допоможе уникнути потенційних похибок та забезпечить безпечніші умови для працівників.

Використання захисного обладнання: Працівникам металургійного виробництва необхідно надавати належне захисне обладнання, яке забезпечить їх

безпеку під час роботи з небезпечними факторами. Це можуть бути захисні окуляри, відповідні рукавиці, спеціальний одяг із високою термостійкістю, а також респіратори для захисту від шкідливих речовин у повітрі.

Освіта та навчання: Забезпечення належної освіти та навчання працівників щодо безпечних методів роботи, правил техніки безпеки та використання захисного обладнання є важливим аспектом зменшення ризиків. Працівники повинні бути свідомі потенційних небезпек та знати, як їх уникнути.

Впровадження цих заходів допоможе забезпечити безпеку та здоров'я працівників, що займаються нагрівом металу перед прокаткою. Зменшення впливу шкідливих та небезпечних факторів на мінімальний рівень сприятиме покращенню умов праці та зниженню ризику виникнення професійних захворювань та травм.

## **5.2 Інженерно-технічні й організаційні заходи**

У цехах і на ділянках плавки та термічної обробки необхідно передбачати проходи і проїзди для безпечного руху людей і транспортних засобів. Ширина проїздів має відповідати розмірам транспортних засобів з вантажем і залежати від одно- або двобічного руху. Для однобічного руху підлогового колісного безрейкового транспорту ширина проїзду повинна бути 2,5...3 м, а для двобічного руху підлогового колісного безрейкового транспорту і вантажних машин вантажопідйомністю до 3 т – 4 м.

Границі проходів і проїздів слід відзначити контрастними світлими смугами шириною не менше 50 мм або використати інші технічні засоби для покажчиків. Заборонено захаращувати проходи і проїзди або використовувати їх для складування вантажів.

На виробничих ділянках термічних цехів рекомендується обладнати санітарні пости, які повинні мати аптечки з медикаментами та іншими засобами для надання першої (долікарської) допомоги працівникам у випадку нещасних випадків. На внутрішній стороні дверцят аптечок мають бути зазначені застосування медикаментів згідно їх призначення.

Основні характеристики мережі електроживлення обладнання системи керування включають наступне:

- напруга змінного струму – 380 / 220 В;
- частота струму – 50 Гц;
- режим нейтралі – глухозаземлений.

Дотримання цих вимог допоможе забезпечити безпеку та ефективність руху, а також забезпечить належні фізичні умови роботи працівників в цехах і на ділянках термічної обробки. Впровадження цих заходів сприятиме покращенню якості праці та забезпеченню безпеки працівників.

Поміж заходів щодо усунення небезпечних факторів важливо також забезпечити виробничі приміщення відповідними системами вентиляції, кондиціонування та освітлення. Наявність ефективної вентиляційної системи забезпечить відведення шкідливих випарів та газів, що утворюються під час термічної обробки металу. Крім того, необхідно встановити системи вимірювання та контролю параметрів обробки металу, що дозволить автоматично регулювати процес та мінімізувати вплив небезпечних факторів на працівників.

Окрім того, робочі місця слід оснастити необхідними засобами індивідуального захисту, такими як захисні окуляри, шоломи, вушні протектори та респіратори. Працівникам слід надавати інструктажі щодо правил безпеки та правильного використання засобів індивідуального захисту.

Загалом, впровадження всіх цих заходів спрямоване на підвищення безпеки працівників та зменшення небезпеки, пов'язаної з термічною обробкою металу. Ретельне дотримання вимог щодо організації робочих місць та захисту працівників допоможе забезпечити безпечне та здорове робоче середовище в металургійному виробництві.

Приміщення, де розташовані шафи керування та панелі операторів, повинні відповідати певним вимогам для забезпечення безпеки робочого середовища. Такі приміщення повинні бути сухими, без пилу, з нормальною температурою повітря та оснащені ізолюючими підлогами, наприклад, лінолеумовою плиткою.



У процесі роботи може виникнути ситуація, коли людина одночасно торкається металоконструкцій, які мають з'єднання з землею або будинками, а також металевих корпусів електрообладнання. Це може створити потенційну небезпеку електротравматизму. Тому важливо правильно організувати обслуговування та проводити ремонтні, монтажні і профілактичні роботи з електричним устаткуванням.

Організація обслуговування електроустановок передбачає виконання організаційних і технічних заходів для запобігання поразці електричним струмом. Це включає в себе застосування технічних засобів захисту, таких як електрична ізоляція струмоведучих частин, захисне заземлення, занулення, вирівнювання потенціалів та захисне відключення. Ці заходи спрямовані на забезпечення електробезпечності при експлуатації електроустановок.

Також виробничі приміщення можуть бути підвержені шуму механічного та аеродинамічного походження. Шум механічного походження виникає внаслідок вібрації поверхонь машин та устаткування, а також ударів в зчленуваннях деталей. Для зниження шуму можуть застосовуватися наступні заходи. Щоб зменшити шум зубчастих передач, можна замінити сталеві деталі, що контактують, на чавунні, а також використовувати підшипники ковзання та спеціальні присадки. Для контролю за станом деталей, таких як шестерні, втулки, ролики тощо, регулярно проводяться перевірки на знос. Голосні механізми можуть бути встановлені у звукоізолюючих кожухах, що допомагає знизити рівень шуму.

Шум аеродинамічного походження виникає від стаціонарних або нестаціонарних процесів в газах, наприклад, при русі потоків газу в трубах. Цей тип шуму часто пов'язаний з роботою вентиляційних систем. Для зниження аеродинамічного шуму застосовуються засоби звукоізоляції, а також можуть бути встановлені глушники для зниження шуму.

Остаточний вибір технічних заходів залежить від конкретних умов робочого середовища, типу устаткування та специфіки виробництва. Рациональне поєднання організаційних та технічних заходів є важливим для забезпечення безпеки та

комфорту працівників, а також відповідності вимогам нормативно-правових актів у сфері охорони праці.

Будівлі термічних цехів обладнуються загально-обмінною припливно-витяжною вентиляцією. Повітря подається в верхню зону приміщення або розсіюється в робочу зону з швидкістю, що гарантує рухомість атмосфери на робочому місці не більше 0,3 м/с. Розрахунок потрібного повітряного обміну проводиться по основному виду шкідливих речовин та надлишковій теплоті.

Біля нагрівних печей над завантажувальними вікнами встановлюють або зонти - козирки або витяжні комбіновані зонти.

Ефективним заходом для створення на постійних робочих місцях необхідних метеоумов є застосування повітряних і водяних завіс при тепловому опроміненню робітників.

Конструкція, взаємне розташування елементів робочого місця повинні відповідати антропометричним, фізіологічним та психологічним вимогам, а також характеру роботи.

Для надійної теплоізоляції устаткування застосовуємо високоефективну керамічну волокнисту футеровку. Вироби з волокнистих матеріалів дозволяють створити нові, легкі конструкції футеровок стін і зводів, будучи при цьому і вогнетривом і теплоізоляцією. При цьому звід є одночасно перекриттям і тепловідбиваючим екраном (коефіцієнт чорного тіла матеріалів становить 0,95...0,96) для діапазону температур 1 000...1 200 °С.

Приміщення обладнується ефективною системою аерації, яка виключає значне підвищення температури в цеху.

Особливу увагу приділяємо раціональному розміщенню витяжних і особливо припливних отворів з урахуванням розташування джерел тепловиділення, щоб забезпечити безперешкодну витяжку з цеху нагрітого і забрудненого повітря і рівномірний, двосторонній підведення свіжого повітря до робочих місць найкоротшим шляхом (рис. 5.1).

При аерації гарячих цехів багатопрогноного типу, де важко підвести свіже зовнішнє повітря до внутрішніх прольотів цеху, поряд із загальноприйнятим

способом підведення зовнішнього повітря через спеціальні припливні ліхтарі в даху здійснюємо доступ свіжого повітря до внутрішніх частин цеху через припливні отвори в торцевих стінах, використовуючи холодні прольоти. Метод дозволяє створити в широких цехах свого роду коридори, по яких свіже зовнішнє повітря буде легко проникати в найвіддаленіші ділянки цеху.

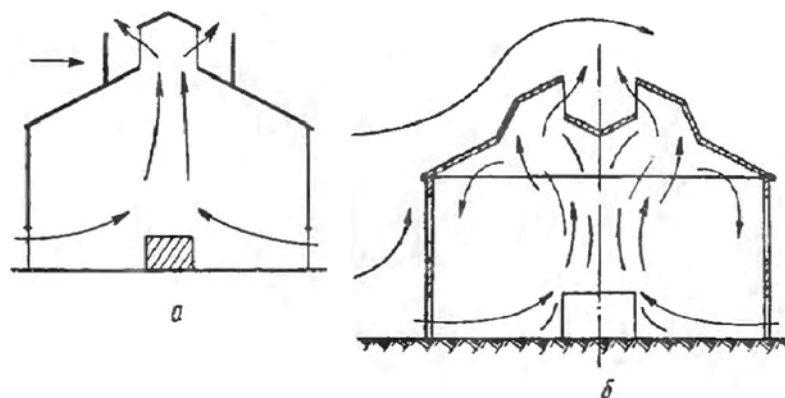


Рисунок 5.1 – Конструкція ліхтарів, що не задуваються

а - ліхтар з вітрозахисними щитами; б - ліхтар Брандта

### 5.3 Пожежна профілактика

В залежності від характеристик використовуваних речовин виробничі будівлі по вибуховій, вибухо-пожежній і пожежній безпеці розділяють на категорії А, Б, В, Г, Д, Е. Термічний цех відносять до категорії Б. В відповідності із ступенем вогнестійкості II, відстань до евакуаційного виходу 25 м, кількість людей на 1 м евакуаційного виходу до коридору не повинна перевищувати 45 людей. В залежності від ступеня вогнестійкості будівель і споруд згідно встановлені мінімальні межі вогнестійкості будівельних матеріалів і максимальні межі поширення вогню

Причини пожеж, які можуть виникати в термічному цеху, можуть включати:

1. Неправильне використання та обслуговування обладнання. Неправильне встановлення або підключення електричного обладнання, недотримання правил щодо використання нагрівальних приладів, недостатня вентиляція або перевантаження електричних систем можуть спричинити перегрів та загоряння.

2. Несправність електрообладнання. Дефекти в електричних системах, такі як коротке замикання, перегрів проводки або пошкодження ізоляції, можуть призвести до загоряння.

3. Підвищена концентрація паливно-повітряної суміші. У деяких виробничих процесах, особливо пов'язаних з роботою з легкозаймистими матеріалами, може утворюватися паливно-повітряна суміш, яка при зустрічі з джерелом запалювання може спричинити велику пожежу.

4. Недотримання протипожежних правил та безпечних робочих процедур. Неправильне поводження з вогнем, куріння у заборонених місцях, недостатня освіта щодо протипожежних заходів та відсутність контролю можуть сприяти виникненню пожежі.

5. Помилки у системах електропостачання. Недостатня ємність електричних мереж, неправильне підключення або перевантаження можуть призвести до перегріву та загоряння електрообладнання.

Заходи щодо запобігання пожежі на даному виробництві включають наступні заходи безпеки. Співробітники та службовці повинні ознайомитися з правилами протипожежної безпеки. Експлуатація установок повинна здійснюватися з урахуванням протипожежних вимог. Також потрібно виділити спеціальні зони для зберігання легкозаймистих матеріалів та забезпечити контроль за протипожежною безпекою.

Для тушіння пожежі використовуються ручні вогнегасники повітряно-пінного типу ОВП-3 та ОВП-5. Також доступні вуглекислотні вогнегасники ОУ-2, ОУ-5, ОУ-8, які можуть бути застосовані для припинення горіння на установках, що знаходяться під напругою.

Для забезпечення оперативної пожежної зв'язку в цеху використовуються телефон або радіостанція УКХ діапазону. Це дозволяє швидше реагувати на пожежі та вживати необхідні заходи.

Важливим елементом системи попередження пожежі є пожежна сигналізація. У даному цеху використовується сигналізаційний пристрій "ЕПС", який включає в

себе повідомлювачі, джерело живлення, звукові та світлові оповіщувальні пристрої.

Виконання цих заходів є важливим для забезпечення безпеки працівників та майна в разі виникнення пожежі та ефективного її припинення.

Пожежна профілактика в Термічному цеху має велике значення для запобігання пожеж та забезпечення безпеки працівників і майна. Деякі заходи пожежної профілактики, які можуть бути застосовані, включають:

Ознайомлення працівників з протипожежними правилами та навчання їх навичкам пожежної безпеки. Це включає в себе організацію регулярних навчань з евакуації, використання вогнегасників та інших протипожежних засобів.

Регулярне технічне обслуговування та перевірка протипожежного обладнання, включаючи пожежну сигналізацію, пожежні водопроводи, вогнегасники та інші системи. Це допомагає забезпечити їх правильну роботу у разі виникнення пожежі.

Забезпечення належного розміщення та зберігання легкозаймистих матеріалів та речовин. Це включає встановлення відведених місць для зберігання таких матеріалів, як лаки, фарби, розчинники, а також дотримання правил їх використання та утилізації.

Регулярна очистка робочих місць від накопичення пилу, стружки та інших запальних матеріалів. Це допомагає зменшити ризик виникнення пожежі в результаті нагрівання або іскрового удару.

Своєчасне виявлення і усунення потенційних джерел загоряння, таких як пошкоджені електропроводки, неправильно підключені електроприлади або перегрів електронного обладнання.

## **5.5 Висновки за розділом**

В розділі охорона праці проведено аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників, розроблено інженерно-технічні заходи по охороні праці, розглянуті протипожежні заходи.

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційні в якості об'єкта керування обрано систему переміщенням електродів сталеплавильної дугової електропечі Danieli AF3T195-P210.

Автоматизація системи переміщенням електродів сталеплавильної дугової електропечі Danieli AF3T195-P210 включає в себе автоматичне керування, дистанційне керування, технологічний захист, тепловий контроль, технологічні блокування і сигналізацію.

Експлуатація системи керування переміщенням електродів сталеплавильної дугової електропечі Danieli AF3T195-P210 повинна забезпечувати надійний і ефективний процес регулювання струму дуги з метою стабілізації контрольованої потужності електроплавлення, та компенсування зміни, що виникають внаслідок рухів металолому в процесі розплавлення та інших технологічних втручань у процес плавки.

Для виконання цих вимог експлуатація повинна здійснюватися в суворій відповідності з законами, правилами, стандартами і директивами.

Автоматизація роботи переміщенням електродів сталеплавильної дугової електропечі Danieli AF3T195-P210 призначена стабілізації заданої потужності електроплавлення.

Для підвищення ефективності роботи технологічного обладнання треба модернізувати систему керування. Таким чином є гостра потреба у математичних моделях об'єктів технологічного обладнання, працюючого у допустимих технологічних межах, які у наступному мають бути використані при синтезі нової системи керування технологічним обладнанням.

Головною метою роботи є розробка моделі об'єкта керування – системи переміщенням електродів сталеплавильної дугової електропечі Danieli AF3T195-P210, в залежності від каналу керування «положення електродів – струм електродів». При цьому інші вхідні і вихідні параметри мають бути не змінними і знаходитись у номінальному стані.

Сучасна система керування дозволить контролювати процес виробництва і отримати кінцевий продукт з заданими характеристиками.

Також ця система керування матиме можливість фіксації та збереження параметрів роботи всього технологічного обладнання.

Для синтезу підсистеми керування переміщенням електродів сталеплавильної дугової електропечі Danieli AF3T195-P2 були обрані необхідні сучасні апаратні засоби, розроблена функціональна схема автоматизації, розроблена схема принципова системи керування, складено перелік елементів до схеми електричної принципової.

При виконанні структурної ідентифікації, яка проведена на підставі експериментальних даних отриманих на об'єкті керування (динамічної характеристики, даних для побудови статичної характеристики, даних отриманих при П-образному керуючому впливі) встановлено, що структурно модель об'єкта керування може бути представлена як аперіодична ланка другого з запізненням.

За результатами параметричної ідентифікації встановлено, що структура моделі об'єкта керування - системи переміщення електродів дугової сталеплавильної печі Danieli AF3T195-P210 відповідає аперіодичній ланці другого порядку з запізненням з наступними розрахованими параметрами: коефіцієнт підсилення 503,8, постійні часу 1,55 с та 0,37 с, а затримка становить 0,13 с.

Комплексна перевірка на адекватність моделі до об'єкта керування за перевірочними даними об'єкта керування показала високу відповідність у 91 %, сильний кореляційний зв'язок близький до 1,0 та статистичний критерій Фішера 981 333 значно більшу критичного значення 2,706. Велике значення статичного критерію адекватності Фішера обумовлено великою кількістю вибірових даних та одиничним значенням коефіцієнта кореляції.

Остаточна комплексна модель об'єкту керування у графічному середовищі імітаційного моделювання Simulink, яка складається з моделі схеми обмеження швидкості переміщення електродів та моделі системи переміщення електродів дугової сталеплавильної печі Danieli AF3T195-P210.

Враховуючи аналіз технологічного процесу, структури об'єкта керування, характеристик отриманих за результатами експериментів, результатів структурної та параметричної ідентифікації та статистичного аналізу, отримана модель є адекватною до об'єкта керування - системи переміщення електродів дугової сталеплавильної печі Danieli AF3T195-P210 з електросталеплавильного технологічного комплексу заводу «Інтерпайп Сталь» м. Дніпро.

Модель об'єкту керування може бути використана для подальшої розробки системи керування за обраним каналом керування. Подальше вдосконалення моделі можливе у рамках більш детального аналізу впливів збурення, та модифікації програмного коду з метою підвищення швидкодії.

Отримана модель може бути використана для розробки програмного забезпечення системи керування.

При впровадженні проекрованої системи капітальні витрати складають майже 565 тис. грн., час розробки ПЗ становитиме 2,5 місяці. Річні експлуатаційні витрати, пов'язані з впровадженням системи становитимуть до 3,25 млн. грн.

В розділі охорона праці проведено аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників, розроблено інженерно-технічні заходи по охороні праці, розглянуті протипожежні заходи.



**ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. Designing and Constructing Electric Arc Furnaces. [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://www.fornielettriciadarco.com/en-gb/our-solutions>
2. Electric arc furnace. [Електронний ресурс], Режим доступу: [https://en.wikipedia.org/wiki/Electric\\_arc\\_furnace](https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_arc_furnace)
3. Як "Інтерпайп" робить металургію "зеленою". [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://www.epravda.com.ua/projects/ekopromyslovist/2021/10/21/678448/>
4. A Review of Mathematical Process Models for the Electric Arc Furnace Process. [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/srin.202000395>.
5. Г.О.Козлов, В.Л.Тополов. Конструкція електрометалургійних агрегатів. Електросталеплавильні печі. 1.22 Механізм переміщення електрода. [Електронний ресурс], Режим доступу: <https://kema.at.ua/book11.html#fig30>
6. Люта А. В. (Л-96) Удосконалення систем управління приводом переміщення електродів дугових сталеплавильних печей: монографія / А. В. Люта. – Краматорськ : ДДМА, 2020. – 147 с. ISBN 978-966-379-924-7
7. ДТТ-03Т (100А) — датчик измерения переменного тока. Режим доступу: [https://www.electronpribor.ru/catalog/850/dtt-03t\\_300a.htm#specification](https://www.electronpribor.ru/catalog/850/dtt-03t_300a.htm#specification)
8. CV3-1500. [Електронний ресурс], Режим доступу: [https://www.radwell.co.uk/Shop?source=GoogleShopping&IgnoreRedirect=true&ItemSingleId=81132614&gad=1&gclid=CjwKCAjw3ueiBhBmEiwA4BhspGJRHqTjShE9KQe06Yrf4x9UaQrKt9TxJnUutNWk-xAUd593fkuUFRoCNbcQAvD\\_BwE](https://www.radwell.co.uk/Shop?source=GoogleShopping&IgnoreRedirect=true&ItemSingleId=81132614&gad=1&gclid=CjwKCAjw3ueiBhBmEiwA4BhspGJRHqTjShE9KQe06Yrf4x9UaQrKt9TxJnUutNWk-xAUd593fkuUFRoCNbcQAvD_BwE)
9. e-protection (частотні перетворювачі Altivar 930). Режим доступу: <https://e-protection.com.ua/product-category/elektrooborudovanie/preobrazovateli-chastoty/preobrazovateli-chastoty-schneider-electric/altivar-930-preobrazovatel-chastoty/>
10. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування.

11. ДСТУ Б.А.3.2-12:2009. Система стандартів безпеки праці. Системи вентиляційні. Загальні вимоги ДНАОП 0.03-33.14-85. Санітарні норми допустимих рівнів шуму на робочих місцях.
12. Правила улаштування електроустановок Мінпаливвугілля України. – 2017 – 617с.
13. «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості на небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». № 528 - 2001.
14. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями, затверджені наказом Мінсоцполітики від 14.02.2018 № 207.
15. Охорона праці в галузі. Конспект лекцій для студентів Інституту електроенергетики. / Уклад. В.І. Голінько, В.Ю. Фрундін, Ю.І. Чеберячко, М.Ю. Іконніков. - Дніпропетровськ: Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», 2013. – 86 с.
16. Методичні рекомендації з виконання заходів стосовно охорони праці при роботі з ПЕОМ та розрахунку освітлення у дипломних проектах студентів усіх спеціальностей/ Уклад. В.І. Голінько, В.Ю. Фрундін, Ю.І. Чеберячко, М.Ю. Іконніков. - Дніпропетровськ: ДВНЗ «Національний гірничий університет», 2013.- 12 с.
17. ДСанПіН 3.3.2-007-98 Державні санітарні правила і норми. Гігієнічні вимоги до організації роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин
18. ДСТУ 7234:2011 Дизайн і ергономіка. Обладнання виробниче. Загальні вимоги дизайну та ергономіки
19. ДСТУ 7950:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце під час виконання робіт стоячи. Загальні ергономічні вимоги.
20. ДСТУ 8604:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги

21. ДСТУ 3191-95 (ГОСТ 12 2.137-96) Обладнання для кондиціонування повітря та вентиляції
22. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу (затверджено наказом МОЗ України від 27.12.2001р № 528).

## ДОДАТОК А

## Відомість матеріалів кваліфікаційної роботи

№ рядка	Формат	Позначення	Найменування	Кількість аркушів	Шифр документу	Примітка
1			<b><u>Документація</u></b>			
2						
3	A4	KIBС.KBP.151.19.05.ПЗ	Пояснювальна записка		ПЗ	
4						
5			<b><u>Графічна частина</u></b>			
6						
7	A2	KIBС.KBP.151.19.05.E2	Функціональна схема			
8			автоматизації	1	E2	
9						
10	A2	KIBС.KBP.151.19.05.E3	Схема електрична			
11			принципова	1	E3	
12						
13	A4	KIBС.KBP.151.19.05.ПЕЗ	Перелік елементів	1	ПЕ	
14						
15	A4	KIBС.KBP.151.19.05.Д	Презентація		Д	
16						
17		KIBС.KBP.151.19.05.ВДЕ	Носій інформації	1	ВДЕ	
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
			Підп.	Дата	<b>KIBС.KBP.151.19.05.ТП</b>	
Зм.	Арк.	№ докум.				
Розробив		Гулай		18.05.23	Літ.	Аркуш
П. конс.		Бойко				Аркушів
						1
						1
					Національний ТУ «Дніпровська політехніка», ЕТФ, 151-19-1	
Н. контр.		Воскобойник			Відомість проекту	



**ВІДГУКИ КОНСУЛЬТАНТІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**



## ВІДГУК

кваліфікаційна робота бакалавра: «Автоматизація процесу керування дугової сталеплавильної печі», студент гр. 151-19-1 Гулай Ярослав Олександрович

Об'єкт розробки – система автоматичного керування переміщенням електродів дугової сталеплавильної печі Danieli AF3T195-P210.

Об'єкт дослідження - система переміщенням електродів дугової сталеплавильної печі Danieli AF3T195-P210 з технологічного електросталеплавильного комплексу заводу «Інтерпайп Сталь» м. Дніпро.

Предмет дослідження – система переміщенням електродів дугової сталеплавильної печі Danieli AF3T195-P210.

Мета роботи - розробка моделі об'єкта керування для регульованого струму електродів в залежності від ступеню занурення їх у шихту печі, при цьому інші вхідні і вихідні параметри об'єкта керування мають бути не змінними і знаходитись у номінальному стані.

Виходячи з отриманих результатів можливо зробити висновок, що розроблена модель відповідає об'єкту керування, та може бути використана для подальшої розробки системи керування. Подальше вдосконалення моделі можливе у рамках більш детального аналізу впливів збурення, та модифікації програмного коду з метою підвищення швидкодії. Отримана модель може бути використана для розробки програмного забезпечення підсистеми керування.

Розглянуто техніко-економічного обґрунтування ефективності результатів розробки і впровадження автоматичного керування переміщенням електродів дугової сталеплавильної печі Danieli AF3T195-P210.

Проведено аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників, розроблено інженерно-технічні заходи по охороні праці, розглянуті протипожежні заходи.



Тема кваліфікаційної роботи безпосередньо пов'язана з професійною діяльністю фахівця спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології.

Цілі, поставлені перед кваліфікаційною роботою, повністю виконані.

ПЗ і графічна частина кваліфікаційної роботи виконана відповідно до вимог оформлення кваліфікаційної роботи, зауважень до проекту немає.

При виконанні кваліфікаційної роботи і ухваленні рішень проявлена висока міра самостійності, технічної грамотності.

Оцінки по розділах кваліфікаційної роботи - « \_\_\_\_\_ ».

Кваліфікаційна робота в цілому заслуговує оцінку « \_\_\_\_\_ », а студент Гулай Я.О. привласнення освітнього рівня «бакалавр» в галузі знань 151 автоматизація та приладобудування.

**Керівник кваліфікаційної роботи, \_\_\_\_\_ ас. Бойко О.О.**

\_\_\_.06.2023

## РЕЦЕНЗІЯ

кваліфікаційна робота бакалавра: «Автоматизація процесу керування дугової сталеплавильної печі», студент гр. 151-19-1 Гулай Ярослав

Олександрович

1. Завдання і зміст кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра відповідає основній меті - перевірці знань і ступеня підготовленості студента за спеціальністю «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».
2. Актуальність роботи полягає в тому, що розробка та дослідження нової системи керування дозволить зменшити вплив основних недоліків технологічного обладнання.
3. Отримана модель може бути використана за для розробки програмного забезпечення системи керування.
4. Повнота і глибина вирішення завдань, поставлених в завданні на кваліфікаційну роботу достатня.
5. В рамках кваліфікаційної роботи було визначено структуру об'єкта керування та побудована його модель.
6. В цілому кваліфікаційна робота ступеню бакалавра заслуговує оцінки «\_\_\_\_\_», за умови відповідного захисту.
7. Студент Гулай Я.О. присвоєння їй кваліфікації «бакалавр» за спеціальністю «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

Рецензент, \_\_\_\_\_

\_\_\_\_.06.2023

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**  
завідувачем кафедри  
кіберфізичних та інформаційно-  
вимірювальних систем

\_\_\_\_\_ Бубліковим А.В.

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 року

### **ВИСНОВОК**

Про рівень запозичень у кваліфікаційній роботі бакалавра на тему «Автоматизація процесу керування дугової сталеплавильної печі», здобувача вищої освіти, групи 151-19-1 Гулай Ярослав Олександрович.

Загальний обсяг кваліфікаційної роботи без переліку посилань складає \_\_\_\_\_ сторінок. Програмне забезпечення використане для перевірки роботи “<https://unichек.com>”. Рівень запозичень у роботі складає \_\_\_\_\_ %, що є меншим 40 % запозичень з однієї роботи та відповідає вимогам Положення про систему запобігання та виявлення плагіату у Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка».

Нормоконтролер,  
посада, ас. каф. КФІВС  
ступінь

\_\_\_\_\_

(підпис)

Воскобойник Є.К.

\_\_\_\_\_

(дата)