

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 магістра

студента Марушки Максима Михайловича
(ПІБ)

академічної групи 151М-20-1
(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 Дослідження та синтез системи автоматичного керування швидкістю переміщення електродів дугової сталеплавильної печі
(назва за наказом ректора)

Консультанти	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
Керівник кваліфікаційної роботи	доц. Бубліков А.В.			
розділів:				
Синтез системи керування	доц. Бубліков А.В.			
Експериментальний розділ	доц. Бубліков А.В.			
Економічна частина	ст. викл. Яремчук І.О.			
Охорона праці	проф. Чеберячко Ю.І.			
Рецензент				
Нормоконтролер	ас. Славінський Д.В.			

Дніпро
2022

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

_____ Бубліков А.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

«_____» _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ на кваліфікаційну роботу ступеня магістра

студенту Марушці М. М. академічної групи 151М-20-1
(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 Дослідження та синтез системи автоматичного керування швидкістю переміщення електродів дугової сталеплавильної печі

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 15.11.2021 № 969-с

Розділ	Зміст	Термін виконання
Стан питання та постановка завдання	На основі матеріалів виробничих практик, інших науково-технічних джерел сформулювати наукове завдання, конкретизувати предмет та мету досліджень	01.10.21 – 07.10.21
Теоретичний	Обґрунтувати теоретичну базу розв'язання наукового завдання, якому присвячено роботу	07.10.21 – 15.10.21
Синтез системи керування	Провести синтез системи та її дослідження із використанням методів та інструментів, що обґрунтовані та створені у теоретичному розділі	15.10.21 – 15.11.21
Експериментальний	Розробка програмного забезпечення системи керування на підставі обраного регулятора та його налаштувань	15.11.21 – 01.12.21
Економічна частина	Обґрунтувати доцільність витрат на створення та впровадження системи керування	01.12.21 – 15.12.21
Охорона праці	Розробити організаційно-технічні заходи щодо реалізації правил безпеки при експлуатації системи	15.12.21 – 30.12.21

Завдання видано _____ доц. Бубліков А.В.
(підпис керівника) (прізвище, ініціали)

Дата видачі 01.09.2021

Дата подання до атестаційної комісії 10.01.2022

Прийнято до виконання _____ Марушка М. М.
(підпис студента) (прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: __ с., __ рис., __ табл., 3 додатки, __ джерел.

Об'єкт дослідження: система автоматичного керування швидкістю переміщення електродів дугової сталеплавильної печі.

Мета роботи: підвищення якості виплавки сталі у дуговій сталеплавильній печі за рахунок вдосконалення автоматичного керування процесом переміщення електродів.

Вдосконалення алгоритму автоматичного керування швидкістю переміщення електродів, з урахуванням підпорядкованості системі керування пройденою електродами відстанню, забезпечується на основі використання для настройки регулятора швидкості еталонної динамічної моделі, що дозволяє отримати нульову швидкісну похибку переміщення електродів, та дослідження залежності критеріїв перехідного процесу від параметрів регулятора з метою забезпечення швидкості й прискорення переміщення електродів близьких до допустимих рівнів без їх перевищення.

З урахуванням особливостей технологічного процесу, сформульовані наступні критерії якості роботи системи автоматичного управління: перерегулювання не повинно перевищувати 0,5%, статична й швидкісна похибки керування переміщенням електродів повинні дорівнювати нулю.

У ході виконання кваліфікаційної роботи магістра отримані наступні результати:

- створена імітаційна модель системи автоматичного керування швидкістю переміщення електродів дугової сталеплавильної печі;

- проведений синтез системи автоматичного керування з урахуванням обґрунтованих критеріїв якості роботи системи, та визначене оптимальне налаштування регулятора швидкості переміщення електродів за критерієм максимальної швидкодії системи керування без перевищення допустимих рівнів швидкості й прискорення руху електродів на основі встановлених залежностей критеріїв якості перехідного процесу від параметрів регулятора;

- розроблене програмне забезпечення системи автоматичного керування швидкістю переміщення електродів дугової сталеплавильної печі.

СТАЛЕПЛАВИЛЬНА ПЧ, ШВИДКІСТЬ ПЕРЕМІЩЕННЯ ЕЛЕКТРОДІВ,
СИНТЕЗ, РЕГУЛЯТОР, ЛЮДИНО-МАШИННИЙ ІНТЕРФЕЙС

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, скорочень та визначень	7
Вступ	8
1 Стан питання та постановка завдання	11
1.1 Галузь промисловості	11
1.2 Технологічний процес	12
1.3 Об'єкт керування	17
1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування	17
1.3.2 Структура об'єкту керування	18
1.3.3 Принцип функціонування об'єкту керування	20
1.4 Структура системи керування	22
1.5 Формулювання задачі дослідження	23
1.6 Висновки до розділу	24
2 Теоретичний розділ	26
2.1 Модель системи управління	26
2.2 Критерії якості функціонування системи управління	33
2.3 Висновки до розділу	35
3 Синтез та дослідження системи автоматичного керування	37
3.1 Синтез системи автоматичного управління	37
3.2 Оцінка якості функціонування системи управління	44
3.3 Висновки до розділу	46
4 Експериментальний розділ	48
4.1 Цифрова модель системи керування	48
4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування	52
4.3 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейса ...	54
4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення	58
4.5 Висновки до розділу	59
5 Економічна частина	61
5.2 Розрахунок капітальних витрат	62

5.2.1 Розрахунок витрат на устаткування	62
5.2.2 Розрахунок витрат на розробку програмного забезпечення	63
5.2.2.1 Визначення трудомісткості підготовки програмного забезпечення	63
5.2.2.2 Розрахунок витрат на розробку програмного продукту	655
5.3 Розрахунок річних експлуатаційних витрат проектної апаратури і що знаходиться в експлуатації	66
5.3.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань	67
5.3.2 Розрахунок річного фонду заробітної плати	68
5.3.3 Розрахунок відрахувань на соціальні заходи	69
5.3.4 Визначення річних витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт	69
5.3.5 Розрахунок вартості споживаної електроенергії	70
5.3.6 Визначення інших витрат	70
5.4 Висновки	70
6. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	72
6.1 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів	72
6.2 Техніка безпеки	76
6.3 Пожежна профілактика	78
6.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях	82
6.5 Висновки	84
Висновки	85
Перелік посилань	87
Додаток А Програмні модулі системи керування	89
Додаток Б Програмне забезпечення системи керування	93
Додаток В Програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу	96

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ ТА
ВИЗНАЧЕНЬ**

САК	– Система автоматичного керування;
ЛМІ	– Людино-машинний інтерфейс;
ПК	– Персональний комп'ютер;
ЕМ	– Еталонна модель
ПЗ	– Програмне забезпечення
ОУ	– Об'єкт управління
ОК	– Об'єкт керування

ВСТУП

Актуальність теми. Металургія є провідною економічною галуззю України, розвиток якої залежить від впровадження інноваційних технологій. Останнім часом перспективним способом виготовлення сталі є використання електричних печей. В них можна створювати й точно регулювати необхідні температурні умови процесу, проводити плавку в окислювальній, відновній, нейтральній атмосфері, а також у вакуумі. Це дозволяє виплавляти сталь будь-якого заданого складу, з низьким вмістом шкідливих домішок і неметалічних включень.

Кількість сталі, що виплавляється в електropечях, безперервно зростає і нині. Доля сталі, що отримана в електropечях (у світі), складає близько 30 %. За прогнозами її доля збільшуватиметься, у тому числі й в Україні, за рахунок зменшення долі сталі, що виплавляється в мартенівських печах. Разом зі збільшенням виробництва легованих сталей останніми роками зростає виплавка в електродугових печах сталей вуглецевих звичайних марок.

Тому впровадження інноваційних методів синтезу систем керування з метою підвищення якості автоматичного управління технологічними процесами в електричних сталеплавильних печах, є актуальною науково-прикладною задачею.

Мета і задачі дослідження. Мета магістерської кваліфікаційної роботи полягає у підвищенні якості виплавки сталі у дуговій сталеплавильній печі за рахунок вдосконалення автоматичного керування процесом переміщення електродів. Головними критеріями якості роботи системи автоматичного керування швидкістю руху електродів є максимальна швидкодія системи керування без перевищення допустимих рівнів швидкості й прискорення руху електродів.

Для досягнення поставленої мети у кваліфікаційній роботі поставлені і вирішені такі наукові задачі:

- створена імітаційна модель системи автоматичного керування швидкістю переміщення електродів дугової сталеплавильної печі;

- проведений синтез системи автоматичного керування з урахуванням обґрунтованих критеріїв якості роботи системи, та визначене оптимальне налаштування регулятора швидкості переміщення електродів за критерієм максимальної швидкодії системи керування без перевищення допустимих рівнів швидкості й прискорення руху електродів на основі встановлених залежностей критеріїв якості перехідного процесу від параметрів регулятора;

- розроблене програмне забезпечення системи автоматичного керування швидкістю переміщення електродів дугової сталеплавильної печі.

Об'єкт дослідження – процес автоматичного керування швидкістю переміщення електродів дугової сталеплавильної печі.

Предмет дослідження – закони та алгоритми автоматичного керування швидкістю переміщення електродів дугової сталеплавильної печі.

Методи дослідження. Для дослідження системи автоматичного керування швидкістю переміщення електродів дугової сталеплавильної печі використані методи сучасної теорії автоматичного керування та системний аналіз. Дослідження проведені за допомогою обчислювальних експериментів з використанням комп'ютеризованих методів синтезу систем автоматичного керування. Оцінювання якості роботи синтезованої системи автоматичного керування здійснене на основі методів математичної статистики.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:

Встановлено, що за умови оптимізації зовнішнього контуру керування за пройденою електродами відстанню під фільтр Еллерта замкнена передаточна функція системи автоматичного керування швидкістю переміщення електродів повинна відповідати підсилювальній ланці з коефіцієнтом підсилення одиниця. Але при цьому маємо суттєве перевищення фактичним прискоренням руху електродів свого допустимого значення. Тому до передаточної функції регулятора швидкості переміщення електродів у дуговій електросталеплавильній печі введена штучна інерційність, яка визначається

постійною часу регулятора. При цьому за критерій якості настройки регулятора швидкості руху електродів введений критерій, що характеризує ступінь відхилення перехідного процесу на виході системи від одиничного східчастого сигналу (інтегральна похибка керування, що є площиною між графіком перехідного процесу та графіком східчастого сигналу).

Виявлено, що залежність інтегральної похибки керування від постійної часу регулятора швидкості руху електродів є прямою й майже лінійною. У свою чергу залежність максимального фактичного прискорення руху електродів від постійної часу регулятора швидкості є зворотною й нелінійною. Таким чином, згідно з першою встановленою закономірністю, постійна часу регулятора повинна бути якомога менше, але, з оглядом на другу встановлену закономірність, постійна часу обирається такою, щоб фактичне максимальне прискорення руху електродів дорівнювало своєму допустимому значенню.

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

1.1 Галузь промисловості

Металургія – в первинному, вузькому, значенні – мистецтво витягання металів з руд [1]. У сучасному значенні – галузь науки і техніки, й галузь промисловості, що охоплює процеси для отримання металів з руд або ін. матеріалів, а також процеси, пов'язані зі зміною хімічного складу, структури, а, отже, і властивостей металевих сплавів. До металургії відносяться: попередня обробка здобутих з надр землі руд, отримання і рафінування металів і сплавів, надання їм певної форми і властивостей.

У сучасній техніці історично склалося розділення металургії на чорну і кольорову. Чорна металургія охоплює виробництво сплавів на основі заліза: чавуну, сталі, феросплавів – чорних металів, на неї припадає близько 95% усієї вироблюваної у світі металопродукції. Кольорова металургія включає виробництво більшості інших металів. У зв'язку з використанням атомної енергії розвивається виробництво радіоактивних металів. Металургійні процеси застосовуються також для виробництва напівпровідників і неметалів (кремній, германій, селен, телур, миш'як, фосфор, сірка та ін.). Деякі з них отримують попутно з витяганням металів. В цілому сучасна металургія охоплює процеси отримання майже усіх елементів періодичної системи, за винятком галоїдів і газів.

Безперервний розвиток техніки, виникнення нових галузей промисловості викликають потребу у високоякісних сталях і сплавах [2]. Особливо високі вимоги до якості сталей і сплавів пред'являє ракетна техніка, точне приладобудування і машинобудування, радіотехнічна, авіаційна, хімічна і інші галузі промисловості. До високоякісних сталей відносять сталі з низьким вмістом сірки (<0,05 %), фосфору (<0,04 %), кисню і інших шкідливих домішок. Ці сталі зазвичай містять різні легуючі елементи – хром, нікель, вольфрам, молібден, титан, ванадій та ін., які надають металу особливі фізичні і

різноманітні механічні властивості. Високоякісні сталі в основному виплавляють в дугових електропечах.

У електричних печах можна створювати й точно регулювати необхідні температурні умови процесу, проводити плавку в окислювальній, відновній, нейтральній атмосфері, а також у вакуумі [3]. Це дозволяє виплавляти сталь будь-якого заданого складу, з низьким вмістом шкідливих домішок і неметалічних включень.

Кількість сталі, що виплавляється в електропечах, безперервно зростає і нині [3]. Доля сталі, що отримана в електропечах (у світі), складає близько 30 %. За прогнозами її доля збільшуватиметься, у тому числі й в Україні, за рахунок зменшення долі сталі, що виплавляється в мартенівських печах. Разом зі збільшенням виробництва легованих сталей останніми роками зростає виплавка в електродугових печах сталей вуглецевих звичайних марок. Нині у ряді країн, у тому числі й в Україні, діють електродугові печі місткістю 80–100 т. та 200 т.

Тому впровадження інноваційних методів синтезу систем керування з метою підвищення якості автоматичного управління технологічними процесами в електричних сталеплавильних печах, є актуальною науково-прикладною задачею.

1.2 Технологічний процес

Істотною відмінністю отримання сталі в дугових печах являється можливість отримання в плавильному просторі відновної або нейтральної атмосфери і різного тиску [4].

Відновна атмосфера в електродугових печах дозволяє отримати шлак, що містить у кінці плавки не більше 1 % FeO, що приблизно в 10 разів менше, ніж в звичайному шлаку мартенівської печі.

Іншою відмінністю є відсутність в атмосфері печі кисню. Тому ведення окислювальних процесів можливе тільки за рахунок зовнішнього кисню, джерелами якого можуть бути залізна руда і газоподібний кисень, що

вдувається у ванну.

З цієї ж причини мають місце менші втрати металу на чад. Можливість ведення плавки на шлаку з більш високою температурою плавлення і перегрівання в умовах основного процесу полегшує здійснення десульфурації (фізико-хімічні процеси, що сприяють видаленню сірки з розплавленого металу, наприклад, чавуну, сталі). Сірка міцно зв'язується в сульфіди, наприклад, в сульфід кальцію і переходить в шлак. При основному процесі плавки забезпечуються усі умови, необхідні для отримання сталі з мінімальним змістом сірки.

У той же час процес дефосфорації (видалення фосфору з розплавленого чавуну, сталі або шлаку) в електродугових печах гірший.

У електродугових печах є сприятливі умови для переплавки високолегованих відходів. Тут втрати дефіцитних легуючих елементів мінімальні.

Особливістю виплавки сталі в електродугових печах є можливість роботи з одним шлаком, без спеціального відновного періоду. Це значно скорочує тривалість плавки, витрату електроенергії і покращує усі техніко-економічні показники процесу.

В процесі електроплавлення кінцевий результат зумовлюється в основній взаємодії двох фаз – металевою і шлаковою. У інших процесах трьома металевою, газовою і шлаковою.

Тому з точки зору можливості використання впливу фізико-хімічних чинників на кінцеві результати електроплавлення є досконалішим. Практично значна кількість дефектів у відливах з легованих сталей виходить через погану якість металу, або викликаються й посилюються чотирма шкідливими домішками: киснем, сіркою, воднем і фосфором. Електроплавлення є найбільш гнучким процесом для боротьби з трьома домішками: киснем, сіркою і воднем.

Технологічна послідовність дій, пов'язаних з роботою сталеплавильної печі, наведена на рис.1.1 [5, 6].

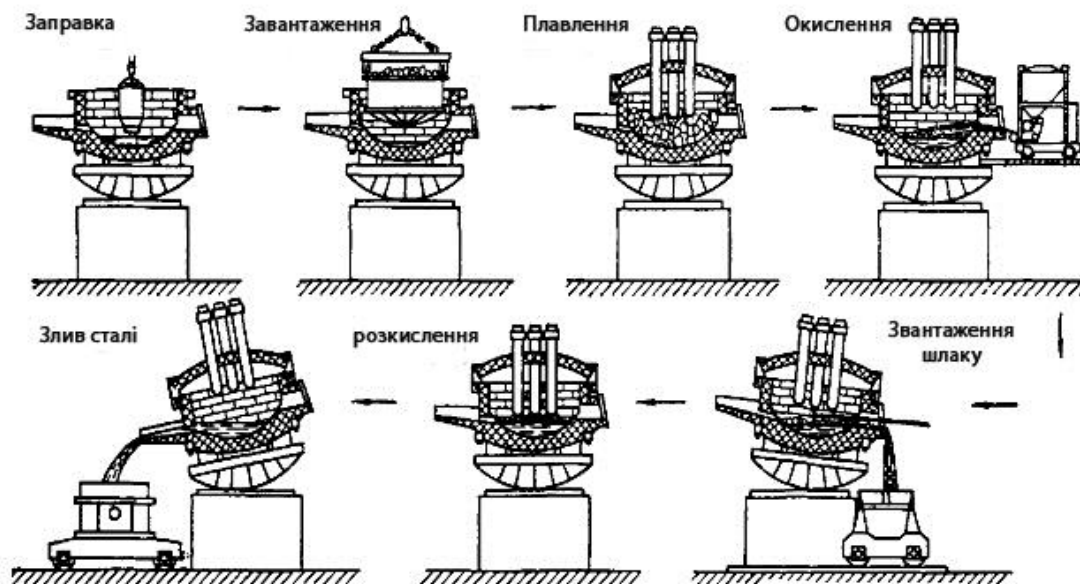


Рисунок 1.1 – Технологічна схема роботи сталеплавильної печі

Плавка в дуговій печі розпочинається із заправки печі (рис.1.1). Рідко-рухливі нагріті шлаки сильно роз'їдають футерування, яке може бути пошкоджене при завантаженні. Якщо черень печі вчасно не буде закритий шаром рідкого металу і шлаку, то він може бути пошкоджений дугами. Тому перед початком плавки роблять ремонт – заправку череня. Перед заправкою з поверхні череня видаляють залишки шлаку і металу. На пошкоджені місця череня й укосів (місця переходу череня в стіни печі) закидають сухий магнезитовий порошок, а у разі великих ушкоджень – порошок з добавкою пеку або смоли.

Заправку роблять заправною машиною, що викидає через насадку за допомогою стислого повітря заправні матеріали, або розкидає матеріали по колу з диска, що швидко обертається, який опускається у відкриту піч згори.

Для найповнішого використання робочого простору печі в її центральну частину ближче до електродів завантажують великі шматки (40 %), ближче до укосів – середній лом (45 %), на черевину й на верх завантажують дрібний лом (15 %). Дрібні шматки повинні заповнювати проміжки між великими шматками.

Плавку сталі ведуть в робочому просторі, обмеженому згори – куполоподібним зведенням, знизу – сферичним черенем, а з боків – стінками.

Вогнетривка кладка череня й стін поміщена в металевий кожух. Знімне зведення набране з вогнетривкої цегли, що спирається на опірне кільце. Через три симетрично розташованих отвору в робочому просторі введені струмопровідні електроди, які за допомогою спеціальних механізмів можуть переміщатися вгору і вниз. Піч живиться трифазним струмом.

Шихтові матеріали завантажують на черень печі, після їх розплавлення в печі утворюється шар металу і шлаку. Плавлення та нагрів здійснюється за рахунок тепла електричних дуг, що виникають між електродами і рідким металом або металевою шихтою. Випуск готової сталі та шлаку здійснюється через сталевий випускний отвір і жолоб шляхом нахилу робочого простору. Робоче вікно, що закривається заслінкою, призначене для контролю за ходом плавки, ремонту череня та завантаження матеріалів.

Виплавка сталей включає наступні операції (рис.1.1): розплавлення металу, видалення шкідливих домішок, що містяться в ньому, й газів, розкислювання металу, виливання його з печі в ківш для розливання по формах. Значення цих операцій і вимоги, які вони пред'являють до дугової печі, можуть бути дуже різними.

Розплавлення скрапу необхідно вести по можливості швидше і з мінімальною витратою енергії. Часто тривалість його перевершує половину тривалості усїєї плавки і при цьому витрачається 60–80% усїєї електроенергії. Характерною особливістю періоду є неспокійний електричний режим печі. Дуга, що горить між кінцем електроду і холодним металом, нестабільна, її довжина невелика, й порівняно невеликі зміни в положенні електроду або металу (обвал, зрушення підплавленого шматка скрапу) викликають або обрив дуги, або, навпаки, коротке замикання. Хід плавлення шихти в дуговій печі показаний на рис. 1.2.

Дуга спалахує спочатку між кінцем електроду й поверхнею шихти (рисунок 1.2,а), причому для підвищення її стійкості в перші хвилини під

електроди зазвичай підкладають шматки коксу або електродного бою. Після згорання останніх починає плавитися метал, й краплями він стікає на черень. У шихті утворюються колодязі, в які поглиблюються електроди (рис. 1.2,б), що опускаються до тих пір, поки вони не досягнуть череня, на якому, щоб уникнути перегрівання, до цього моменту має бути утворена калюжа розплавленого металу (рис.1.2,в).

Це самий неспокійний, нестійкий період горіння дуги, підплавлені шматки шихти падають на електрод й закорочують дугу, опускання шматка шихти під торцем електроду може навпаки обірвати струм. Дуга, що горить між електродом й розплавленим металом перегріває метал і починається розмив й розплавлення шихти, що оточує колодязі. Колодязі розширюються, рівень рідкого металу у ванні починає підвищуватися, а електроди починають підніматися (рис.1.2,в).

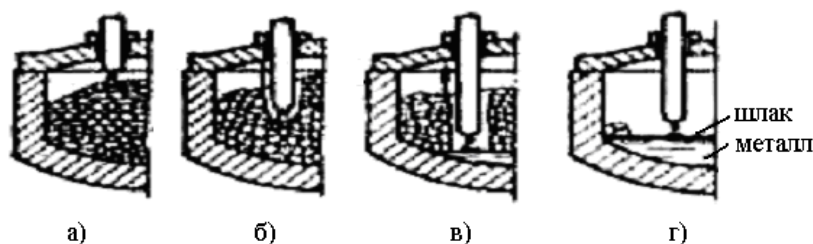


Рисунок 1.2 – Етапів плавлення шихти: а – початок плавлення; б – опускання електроду; в – підйом електроду; г – закінчення плавлення

У кінці цього періоду майже увесь метал виявляється розплавленим і залишаються лише окремі шматки шихти на укосах («настили», рис.1.2,г), що розплавляються останніми. Щоб не затягувати період розплавлення, зазвичай ці «настили» скидають ломом в глиб ванни. Період розплавлення вважають закінченим, коли увесь метал в печі перейшов в рідкий стан. До цього моменту режим горіння дуги стає спокійнішим, оскільки температура в печі вища, поверхня металу покрита шаром шлаку, утвореним кинутими в піч в період розплавлення шматками вапна та спливаючими оксидами. Довжина дуги в

порівнянні з початком розплавлення збільшується у декілька разів, дуга горить стійкіше, кількість поштовхів струму й обривів зменшується.

1.3 Об'єкт керування

Технологічним об'єктом керування у цій кваліфікаційній роботі є механізм переміщення електродів дугової сталеплавильної печі.

1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування

Дугова піч складається з робочого простору (власне печі) з електродами і струмопідводами і механізмів, що забезпечують нахил печі, утримання й переміщення електродів, та завантаження шихти [5, 6].

Установка дугової печі – великий споживачі електроенергії, потужність складає десятки тисяч кіловат. Витрата електроенергії на розплавлення тони твердої завалки досягає 400...600 кВт-год. Живлення печі робиться від мережі 35 кВ через понижуючий пічний трансформатор 510 В.

Установка печі має спеціальну пічну підстанцію з трансформатором і шафами комплектних розподільних пристроїв (КРП), виконаних за уніфікованими схемами. Пічна підстанція розташована у безпосередній близькості від печі. Щити і пульти управління розміщені в пультовій приміщенні із зручним, оглядом робочих вікон печей.

Електрична дугова піч споживає значні струми, вимірювані десятками тисяч ампер. Ланцюги, що сполучають пічний трансформатор і електроди печі, мають малу довжину і складну конструкцію, що називають короткою мережею.

Коротка мережа дугової печі складається з шинування в трансформаторній камері, гнучкої кабельної гірлянди, трубошини, електродоутримувача і електроду, що переміщаються разом з кареткою.

У електроприводах механізмів печі застосовують зазвичай асинхронні двигуни з короткозамкнутим ротором напругою 380 В на потужності до 20 кВт.

Двигуни, обслуговуючі механізми дугових печей, працюють у важких умовах (запорошене середовище, близьке розташування сильно нагрітих

конструкцій печі), тому вони мають закрите виконання з теплостійкою ізоляцією.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики дугової електропечі ДСП-100НЗА

Параметр	Значення
Номінальна місткість, т	200
Номінальна потужність трансформатора, В-А	250 000
Первинна напруга, В	510
Межі вторинної напруги, В	417–131
Максимальний струм печі, кА	34,6
Максимальна швидкість переміщення електроду, м/с	0,085

1.3.2 Структура об'єкту керування

Дугова сталеплавильна піч ДСП–200 (рис. 1.3) місткістю 200 т складається з наступних основних компонентів:

- 1 – графітований електрод діаметром 710 мм;
- 2 – електродоутримувач;
- 3 – зведення;
- 4 – водоохолоджуване склепінне кільце;
- 5 – циліндричний кожух;
- 6 – водоохолоджені допоміжні дверці;
- 7 – електромеханічний механізм повороту печі навколо вертикальної осі;
- 8 – електромеханічний механізм нахилу печі;
- 9 – зливний носик;
- 10 – рухливий струмопровід з водоохолоджуваними гнучкими кабелями;
- 11 – шток для вертикального переміщення системи стійка – рукав – електродоутримувач – електрод;
- 12 – струмопровід з охолоджуючими мідними трубами.

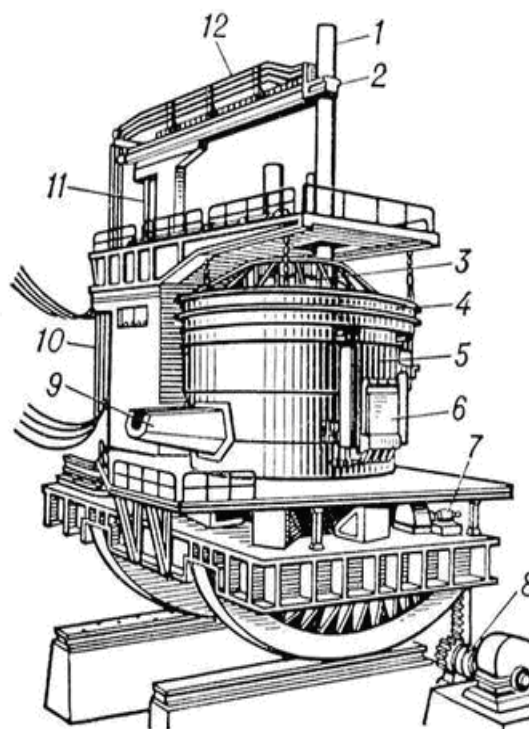


Рисунок 1.3 – Дугова сталеплавильна піч ДСП–200

Фактично шток для вертикального переміщення системи “стійка – рукав – електроудотримувач – електрод” (поз. 11 на рис.1.3) є вихідним елементом об’єкта управління, яким виступає пристрій переміщення електродів дугової електричної печі. Таким чином, вхідним параметром об’єкта управління є сигнали управління для електропривода переміщення електродів, який приймає участь в формуванні потужності, введеної до печі. Вихідним параметром об’єкта управління є швидкість руху електродів.

Традиційно для переміщення електродів в ДП використовуються електрогідравлічні або електричні приводи з двигуном постійного струму незалежного збудження. Потужність двигунів, використовуваних для переміщення електродів в ДП, складає 1–20 кВт.

Структура електрогідравлічного приводу впродовж тривалого часу не

зазнає істотних змін, тоді як номенклатура електричних приводів в останнє десятиліття істотно розширилася завдяки досягненням силової напівпровідникової техніки. Промисловістю широко випускаються транзисторні перетворювачі частоти, на базі яких освоєні частотне-регульовані приводи з асинхронними коротко-замкнутими двигунами, що є конкурентоздатними за регульовальними властивостями, масо-габаритним показниками і вартістю у порівнянні з приводами постійного струму. Все більше застосування отримують тиристорні регулятори напруги, на базі якого виконують облаштування плавного пуску асинхронних двигунів. Вносять свою специфіку в управління приводами і сучасні мікропроцесорні засоби.

Згідно відміченим тенденціям є доцільним використання нової структури об'єкта керування, що більшою мірою відповідає сучасному стану електричних приводів. Заміна в структурі об'єкта керування двигунів постійного струму, що мають контактний колекторно-щітковий вузол, істотно погіршуючи експлуатаційні показники двигуна, що працює в умовах високих температур і запиленого середовища, на асинхронні коротко-замкнуті двигуни з перетворювачем частоти, представляється актуальним завданням.

1.3.3 Принцип функціонування об'єкта керування

Технологічний процес плавки в дугових печах припускає необхідність здійснення автоматичного запалення дуги на різних стадіях технологічного процесу плавки: первинному включенні печі, обриві дуги, ліквідації технологічних коротких замикань, що виникають при обвалі шихти тощо [5, 6]. Точність і швидкодія системи управління дуговою плавильною піччю визначають її продуктивність й енергетичну ефективність. Для підтримки дуги подається напруга 120–600 В, при цьому струм досягає величини до 10–15 кА.

Регулятори потужності мають відносно просту кінематику, проте вони характеризуються нелінійністю й різноплановим характером зв'язків, що ускладнюють визначення параметрів регуляторів. Раціональним слід рахувати застосування електричного приводу переміщення електродів. Принцип

побудови регулятора потужності ілюструється функціональною схемою рис.1.4.

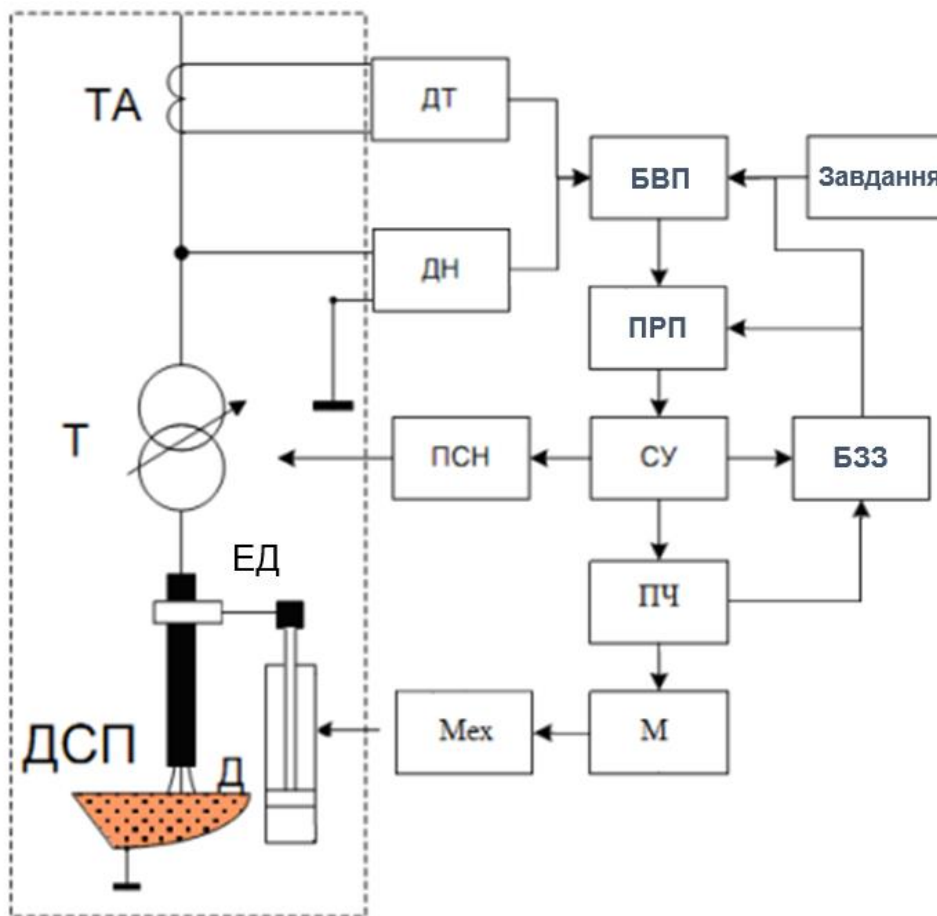


Рисунок 1.4 – Функціональна схема регулятора потужності дугової печі: ДТ – датчик струму; ДН – датчик напруги; БВП – блок виміру і порівняння; ПРП – підсилюючий регулюючий пристрій; СУ – система управління; Т – трансформатор; ПСН – перемикач східців напруги; ПЧ – перетворювач частоти; М – асинхронний двигун; Мех – механізм переміщення електроду

За допомогою датчиків струму і напруги ДТ і ДН виділяються сигнали зворотного зв'язку, які поступають на блок виміру і порівняння ВІС. Після порівняння із завданням різниця сигналів поступає на підсилювально-регулюючий пристрій ПРП, який, відповідно до вибраної регульованої величини (по струму, по напрузі, диференціальний струм тощо), виробляє керуючий сигнал, й за допомогою системи управління СУ перемикає східці

напруги силового трансформатора Т перемикачем східців напруги ПСН, або управляє механізмом переміщення електродів, що складається з перетворювача частоти (ПЧ), асинхронного двигуна (М) й механізму переміщення електродів (Мех).

З технологічних причин електричний режим ДП нестабільний впродовж усієї плавки і супроводжується постійними коливаннями потужності, що вводиться в піч. Відхилення електричного режиму від номінального знижують її продуктивність й техніко-економічні показники. Зміна потужності в ДП здійснюється шляхом переміщення електродів. Регулятори потужності виконують окремо для кожної з трьох фаз живлячої мережі, що забезпечує їх незалежну роботу. Традиційно для переміщення електродів в ДП використовуються електрогідравлічні або електричні приводи з двигуном постійного струму незалежного збудження. Потужність двигунів, що використовуються для переміщення електродів в ДП, складає 1–20 кВт.

Таким чином, вхідним параметром об'єкта управління є сигнал управління для електропривода переміщення електродів, який приймає участь в формуванні потужності, введеної до печі. Вихідним параметром об'єкта управління є швидкість руху електродів.

1.4 Структура системи керування

За результатами аналізу дугової сталеплавильної печі як об'єкта керування маємо об'єкт неперервного керування, вхідною величиною якого є сигнал управління для електропривода переміщення електродів, а вихідною – швидкість руху електродів. Швидкість руху електродів задається за допомогою частотного перетворювача, який регулює швидкість обертання двигуна приводу механізму переміщення електродів в діапазоні від 0 до 100 %, де 0% відповідає 0 м/с поступального руху електродів, а 100 % – максимальній швидкості 0,085 м/с.

Виходячи з цього, система керування повинна містити: датчик швидкості обертального руху (у діапазоні 0 ... 1000 об/хв), частотний перетворювач, що

регулює швидкість обертання валу двигуна, пристрій управління, що задає швидкість обертання валу двигуна приводу механізму переміщення електродів на підставі вимірної швидкості їх руху, і пульт оператора, за допомогою якого задається режим роботи системи керування (рис. 1.5).

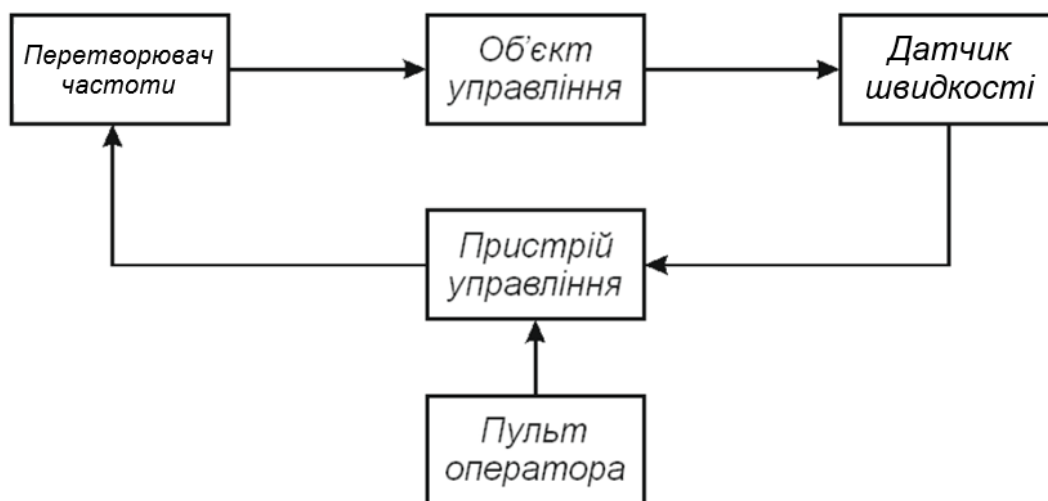


Рисунок 1.5 – Структурна схема системи автоматичного керування

Усі ці технічні засоби автоматизації обґрунтовані у кваліфікаційній роботі бакалавра при розробці апаратного забезпечення системи керування. Також у цій кваліфікаційній роботі розроблена схема електрична принципова та функціональна схема автоматизації системи автоматичного керування.

1.5 Формулювання завдань дослідження

Для досягнення основної мети – підвищення якості виплавки сталі у дуговій сталеплавильній печі за рахунок вдосконалення автоматичного керування процесом переміщення електродів, необхідно виконати наступні завдання дослідження:

- для проведення обчислювальних експериментів створити імітаційну модель системи автоматичного керування швидкістю переміщення електродів дугової сталеплавильної печі;

- обґрунтувати метод синтезу системи автоматичного керування з урахуванням особливостей роботи об'єкта керування та визначених критеріїв якості роботи системи, та згідно з ним провести розрахунок регулятора швидкості руху електродів;

- виконати дослідження залежності критеріїв якості роботи синтезованої системи автоматичного керування від параметрів регулятора, та на основі порівняльного аналізу результатів досліджень визначити оптимальне налаштування регулятора швидкості переміщення електродів за критерієм максимальної швидкодії системи керування без перевищення допустимих рівнів швидкості й прискорення руху електродів.

1.6 Висновки по розділу

Технологічний об'єкт, що розглядається в кваліфікаційній роботі, механізм переміщення електродів дугової сталеплавильної печі. Об'єктом дослідження є одна з локальних систем автоматичного керування печі, завданням керування якої є забезпечення заданої швидкості переміщення електродів. Предметом дослідження є закони автоматичного керування швидкістю руху електродів.

З метою мінімізації похибки позиціонування електроду з оглядом на обмеження щодо швидкості його переміщення та прискорення розгону й гальмування пропонується використовувати систему підпорядкованого автоматичного керування. У внутрішньому контурі відбувається керування за швидкістю з налаштуванням регулятора методом параметричної оптимізації, що дозволить ліквідувати швидкісну похибку й зменшити за рахунок цього похибку позиціонування електроду. У зовнішньому контурі відбувається керування за пройденою електродом відстанню.

Об'єкт керування є неперервним та одномірним з одним керуючим входом (керуючий сигнал на перетворювач частоти приводу механізму переміщення електродів) та одним керованим виходом (швидкість руху електродів), але він є складним для керування через наявність, з однієї сторони,

досить жорсткої вимоги до швидкодії системи, а з іншої – наявності обмежень щодо керуючого впливу та його диференціалу за часом.

Отже, необхідно провести дослідження та встановити залежність параметрів регулятора швидкості переміщення електроду від максимального значення керуючого сигналу за умови компенсації постійних часу об'єкта управління, й на основі цієї залежності налаштувати регулятор швидкості таким чином, щоб розгін та гальмування електроду відбувалися без перевищення допустимого рівня керуючого сигналу та його диференціалу за часом.

2 ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Модель системи управління

Основою моделі об'єкта управління є диференційне рівняння у вигляді передаточної функції, що встановлює аналітичний зв'язок між керуючим впливом (сигнал на перетворювач частоти асинхронного двигуна приводу електродів) та керованою величиною (швидкість переміщення електродів). Для обґрунтування виду передаточної функції та її параметрів використані експериментальні дані, що отримані за умови подачі східчастого керуючого впливу $0,7 \text{ м/с}$ при його максимальному значенні $1,1 \text{ м/с}$ (рис.2.1).

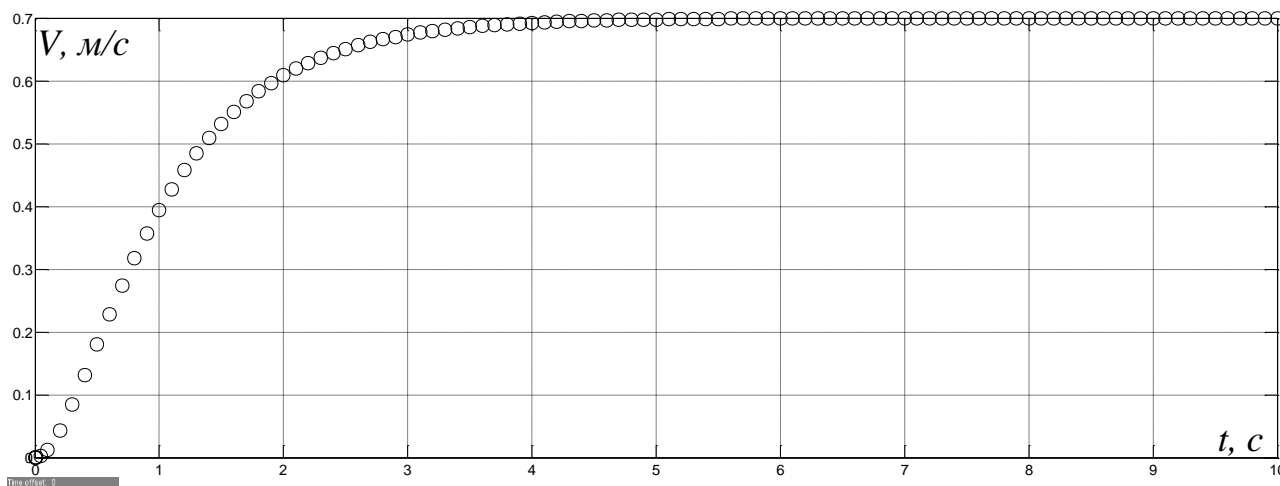


Рисунок 2.1 – Експериментальна крива розгону при подачі східчастого керуючого впливу

З метою ідентифікації об'єкта управління використаний додаток програми Matlab “System Identification Tool”, який дозволяє проводити процедуру ідентифікації автоматично. Перед цим для підвищення точності ідентифікації проведемо аналіз експериментальної кривої розгону на рис.2.1.

З рис.2.1 видно, що об'єкт володіє властивістю самовирівнювання, тобто він статичний, оскільки вихідна величина прагне до рівня $0,7 \text{ м/с}$. Таким чином, робимо висновок, що в передаточній функції об'єкта управління відсутня

інтегруюча ланка, а коефіцієнт підсилення дорівнює одиниці (фактична вихідна величини дорівнює керуючому впливу).

Також відзначимо, що у кривій розгону на рис.2.1 відсутні явно виражені коливання. Тож робимо висновок, що у передаточній функції об'єкта управління відсутні комплексні корені.

Крім того, з рис.2.1 видно, що з моменту подачі керуючого сигналу спостерігається постійне збільшення керованої величини. Отже, можна зробити висновок про відсутність транспортного запізнення у передаточній функції об'єкта управління.

Таким чином, робимо припущення, що передаточна функція об'єкта управління складається з одного або декількох послідовно з'єднаних аперіодичних ланок.

За допомогою додатку програми Matlab "System Identification Tool" проведемо аналіз результатів ідентифікації за умови ідентифікації об'єкта управління аперіодичними ланками різної кількості.

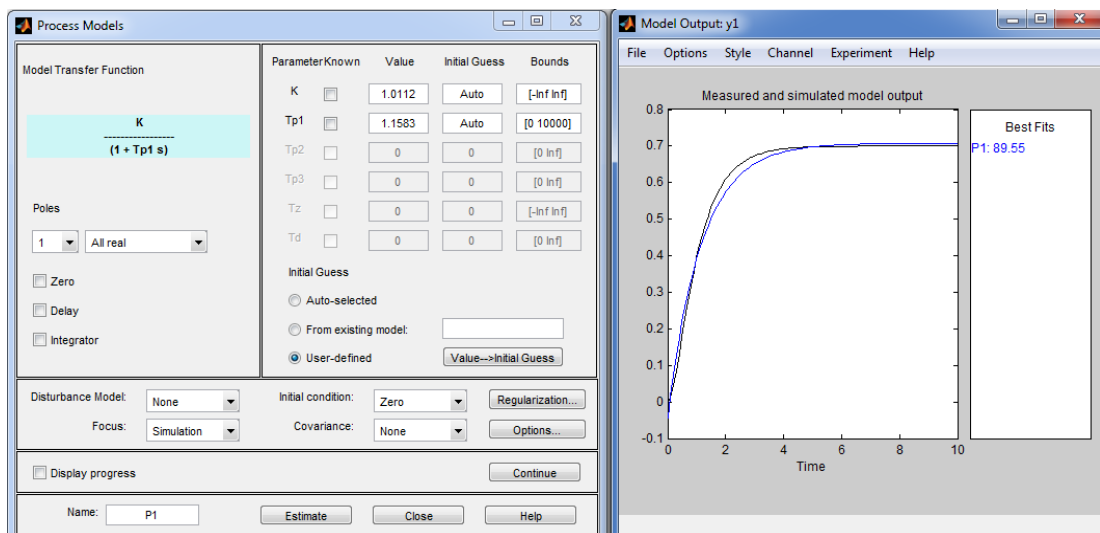


Рисунок 2.2 – Результат ідентифікації об'єкта управління при заданні передаточної функції об'єкта управління аперіодичною ланкою

За результатом ідентифікації об'єкта управління при заданні передаточної функції об'єкта управління аперіодичною ланкою на рис.2.2 ми бачимо, що

постійна часу дорівнює 1,158 с (рисунок зліва), а відносний показник збігу експериментальної кривої та графіку перехідного процесу на виході моделі об'єкта управління дорівнює 89,55% (цей показник дорівнює 100% при абсолютному збігу кривих на правому рисунку, та 0% – за умови абсолютної розбіжності кривих).

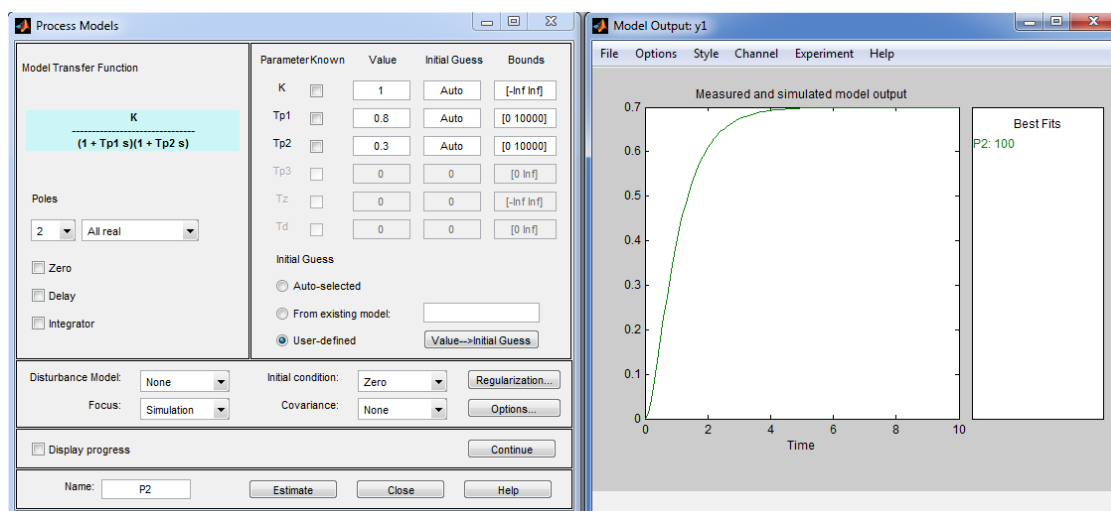


Рисунок 2.3 – Результат ідентифікації об'єкта управління при заданні передаточної функції об'єкта управління двома послідовно з'єднаними аперіодичними ланками

За результатом ідентифікації об'єкта управління при заданні передаточної функції об'єкта управління двома послідовно з'єднаними аперіодичними ланками на рис.2.3 видно, що перша постійна часу дорівнює 0,3 с, а друга – 0,8 с (лівий рисунок). При цьому відносний показник збігу експериментальної кривої та графіку перехідного процесу на виході моделі об'єкта управління дорівнює 100% (правий рисунок).

Таким чином, точність ідентифікації об'єкта управління при заданні передаточної функції об'єкта управління двома послідовно з'єднаними аперіодичними ланками є найвищою, й більшою за точність ідентифікації об'єкта управління при заданні передаточної функції об'єкта управління однією аперіодичною ланкою на 10,45%.

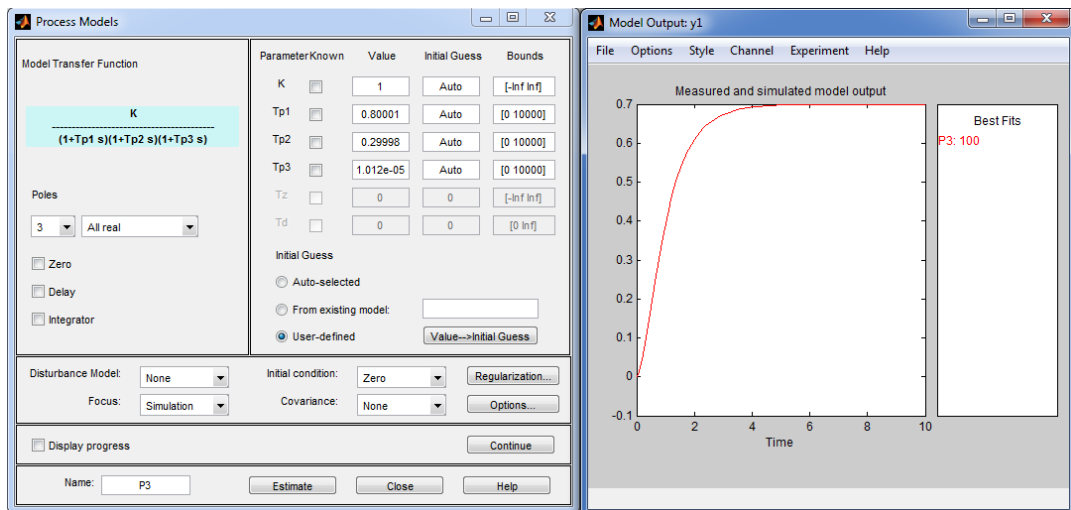


Рисунок 2.4 – Результат ідентифікації об'єкта управління при заданні передаточної функції об'єкта управління трьома послідовно з'єднаними аперіодичними ланками

За результатом ідентифікації об'єкта управління при заданні передаточної функції об'єкта управління трьома послідовно з'єднаними аперіодичними ланками на рис.2.4 видно, що третя постійна часу дорівнює $1,012 \cdot 10^{-5}$ с, друга – 0,3 с, а перша – 0,8 (лівий рисунок). При цьому відносний показник збігу експериментальної кривої та графіку перехідного процесу на виході моделі об'єкта управління також дорівнює 100%.

Таким чином, маємо однакову точність ідентифікації об'єкта управління при заданні передаточної функції об'єкта управління двома та трьома послідовно з'єднаними аперіодичними ланками, але той факт, що за результатами ідентифікації на рис.2.4 третя постійна часу практично дорівнює нулю означає, що у передаточній функції об'єкта управління немає третього полюса.

Отже, за результатами порівняльного аналізу точності ідентифікації об'єкта управління можна зробити висновок, що об'єкт управління має багатокомпонентну передаточну функцію, що складається з двох послідовно з'єднаних аперіодичних ланок з постійними часу 0,3 с та 0,8 с.

Далі на основі експериментальних даних (показані круглими маркерами на рис.2.5) проведемо ідентифікацію об'єкта управління за його статичною характеристикою. Для цього використаний додаток програми Matlab “Basic Fitting” (рис.2.5).

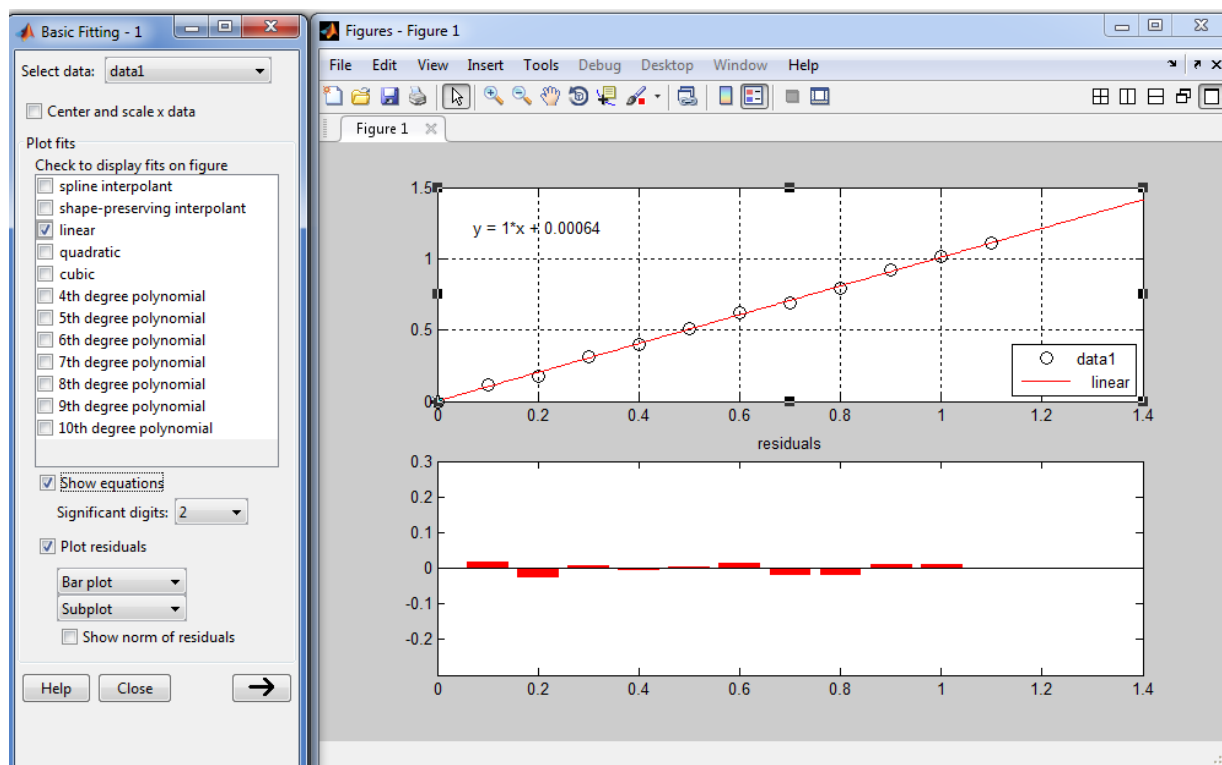


Рисунок 2.5 – Результат ідентифікації об'єкта управління за статичною характеристикою

За результатом ідентифікації рис.2.5 можна зробити висновок, що об'єкт є лінійним, оскільки абсолютні відхилення точок експериментальних замірів від графіку рівняння лінійної регресії не перевищують 0,05 м/с, що у відносних одиницях менше 5%. З виду рівняння лінійної регресії на рис.2.5 справа також можна зробити висновок, що коефіцієнт підсилення за каналом керування дорівнює одиниці.

Ідентифікація моделі об'єкта управління була проведена за швидкістю переміщення електродів у печі. З урахуванням цього, та результатів проведеної

ідентифікації у додатку Simulink програми Matlab створена модель об'єкта управління (рис.2.6).

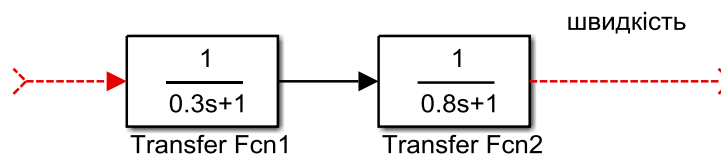


Рисунок 2.6 – Схема об'єкта управління у додатку Simulink програми Matlab

Система автоматичного керування швидкістю переміщення електродів дугової печі є системою, що підпорядкована системі керування переміщенням електродів. Слід відзначити, що згідно з вимогами технологічного процесу існують еталони процесу переміщення електродів, на основі яких має задаватися уставка для системи автоматичного управління переміщенням електроду. За еталон береться задана діаграма переміщення електроду.

Регулятор потужності, яку споживають електроди у печі, коригує її через зміну позиції електродів, але при цьому особливості електромеханічного механізму переміщення електроду потребують, щоб зміна позиції електродів протікала за еталонною діаграмою. Згідно з цією діаграмою, електроди повинні переміщуватись на один метр за 12 с.

Оскільки система автоматичного керування швидкістю переміщення електродів є складовою частиною більш складної двоконтурної системи керування переміщенням електродів, то для перевірки ефективності її синтезу потрібно створити модель імітації зміни у часі уставки переміщення електродів за еталонною діаграмою у додатку Simulink програми Matlab. Це можна зробити за допомогою блоків, що обмежують діапазон зміни сигналу та його швидкість зміни у часі (діапазон зміни положення електроду за технічними характеристиками печі – від 0 до 5 м).

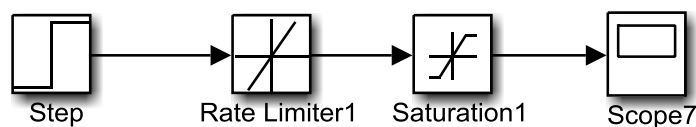


Рис. 2.7 – Модель імітації діаграми переміщення електроду у дуговій сталеплавильній печі

На рис.2.7 швидкість зміни уставки переміщення електродів у часі обмежується блоком “Rate Limiter1” з коефіцієнтами “Rising Slew Rate” та “Falling Slew Rate” 5/60 та $-5/60$ відповідно. Діапазон зміни позиції електрода задається блоком “Saturation1”, в якому у полях “Upper Limit” й “Lower Limit” задані значення відповідно до діапазону переміщення електродів за відстанню від 5 та 0 метрів.

Результат генерування зміни у часі уставки переміщення електродів у печі за еталонною діаграмою за допомогою моделі на рис.2.7 представлений на рис.2.8.

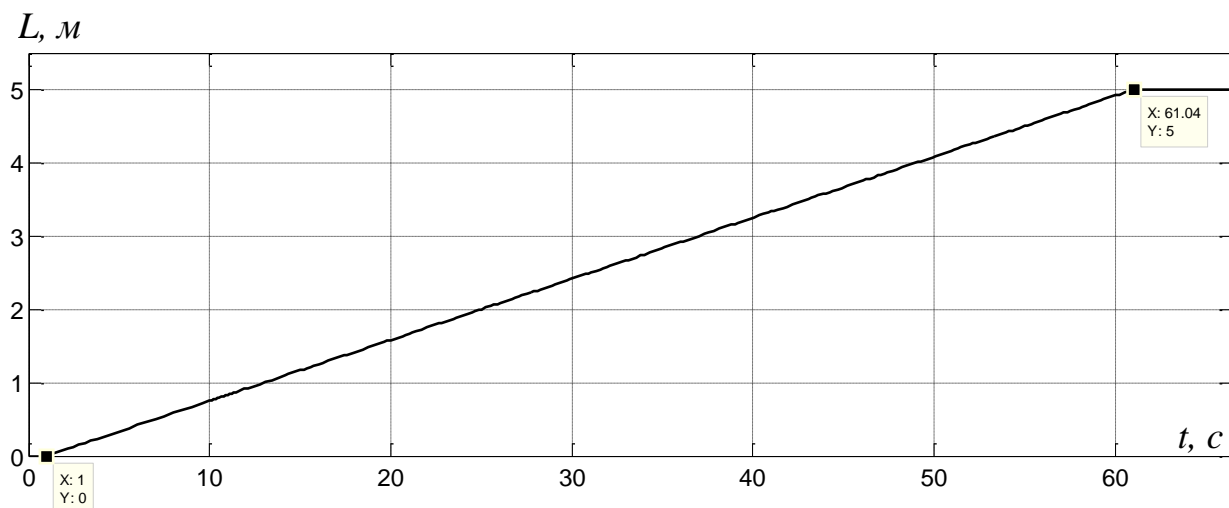


Рисунок 2.8 – Результат імітації еталонної діаграми переміщення електроду у дуговій сталеплавильній печі (пунктирна лінія – уставка; суцільна лінія – еталонна діаграма переміщення електроду)

З рис.2.8 видно, що уставка переміщення електродів у печі змінюється у часі за лінійним законом, що відповідає еталонній діаграмі – електроди проходять відстань 5 м за 60 с.

2.2 Критерії якості функціонування системи управління

Основним завданням системи автоматичного управління швидкістю переміщенням електродів є забезпечення заданої динаміки руху електродів з одночасним забезпеченням ефективної роботи системи керування переміщенням електродів у дуговій сталеплавильній печі.

З аналізу еталонної діаграми переміщення електродів на рис.2.8 можна зробити висновок, що на більшій частині діаграми має місце переміщення електродів з постійною швидкістю, а етапи розгону й гальмування електроду займають до 10% всього циклу переміщення.

Таким чином, система автоматичного керування швидкістю переміщення електродів повинна бути синтезована так, щоб під час розгону та гальмування електродів була усунена швидкісна похибка на більшій частині діаграми. Отже, критерій якості роботи системи автоматичного керування швидкістю переміщення електродів у дуговій сталеплавильній печі визначається при синтезі системи автоматичного керування переміщенням електродів. Але, при цьому слід зважати на технологічну вимогу щодо плавності переміщення електродів, завдяки чому подовжується термін експлуатації обладнання механізму переміщення електродів через запобігання різких перепадів моментів опору переміщенню деталей обладнання. З оглядом на технічні характеристики механізму переміщення електродів та досвід його експлуатації, прийнято обмежувати прискорення електродів рівнем $0,25 \text{ м/с}^2$.

Оскільки на даному етапі немає можливості чітко визначитися з критеріями ефективності, розглянемо далі основні часові критерії якості перехідного процесу на виході системи керування з оглядом на описані вище специфічні умови її ефективної роботи. Розглянемо ці критерії на прикладі

східчастої зміни уставки. Такими критеріями є час перехідного процесу t_p , перерегулювання $A1$ та статична похибка $E_{ст}$ (рис.2.9).

Проаналізуємо значимість кожного з перелічених критеріїв для системи автоматичного управління швидкістю переміщенням електродів у дуговій печі.

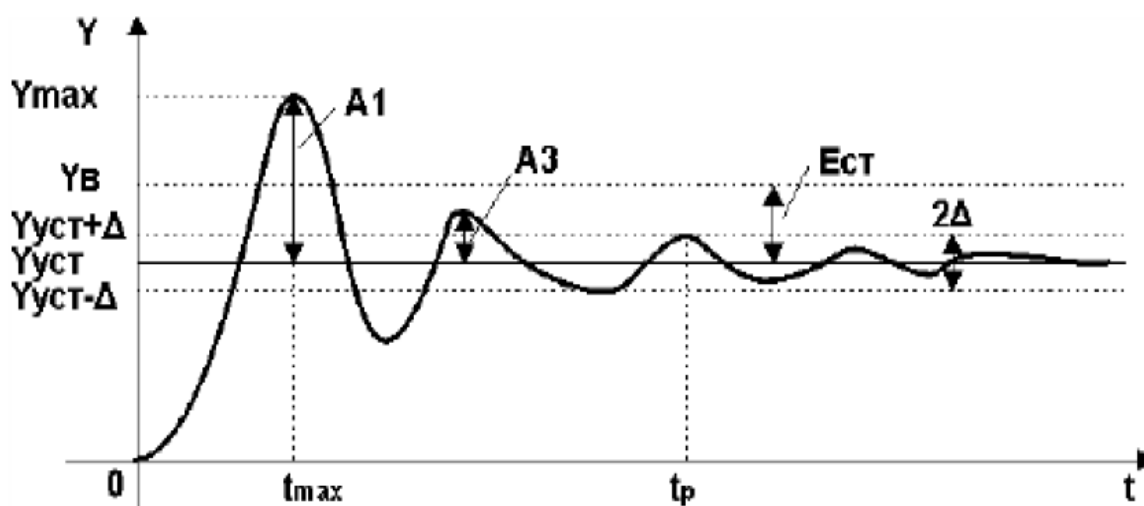


Рисунок 2.9 – Критерії якості роботи системи автоматичного керування на графіку перехідного процесу на виході системи

Кожне коливання перехідного процесу на рис.2.9 є порушенням вимоги щодо плавності переміщення електродів. Тому необхідно забезпечити мінімальне значення перерегулювання $A1$. З оглядом на допустиме значення прискорення руху електродів, максимальне припустиме перерегулювання $A1$ на рис.2.9 приймемо 0,5%.

Чим більша швидкодія системи автоматичного управління швидкістю переміщення електродів у дуговій печі, тим менше буде швидкісна похибка їх позиціонування. Тому треба прагнути до мінімального значення часу перехідного процесу t_p , але не порушуючи при цьому вимогу щодо максимально допустимого прискорення руху електродів.

Статична похибка $E_{ст}$ (рис.2.9) на виході системи автоматичного управління швидкістю переміщення електродів у дуговій печі з позиції

максимально точного відтворення еталонної діаграми переміщення електродів взагалі є неприпустимою. Тому ця похибка повинна бути рівною нулю.

2.3 Висновки по розділу

1. В результаті ідентифікації об'єкта управління встановлено, що його передаточна функція за керуючим впливом є багатокомпонентною та складається з двох послідовно з'єднаних аперіодичних ланок, які мають постійні часу 0,3 та 0,8 с. При цьому відносний показник збігу експериментальної кривої та графіку перехідного процесу на виході моделі об'єкта управління дорівнює 100%.

2. За результатом ідентифікації об'єкта управління за статичною характеристикою можна зробити висновок, що об'єкт є лінійним, оскільки абсолютні відхилення точок експериментальних замірів від графіку рівняння лінійної регресії не перевищують 0,05 м/с, що у відносних одиницях менше 5%. З виду рівняння лінійної регресії на зроблений висновок, що коефіцієнт підсилення об'єкта за каналом керування дорівнює одиниці.

3. Система автоматичного керування швидкістю переміщення електродів повинна бути синтезована так, щоб під час розгону та гальмування електродів була усунена швидкісна похибка на більшій частині еталонної діаграми. Отже, критерій якості роботи системи автоматичного керування швидкістю переміщення електродів у дуговій сталеплавильній печі визначається при синтезі системи автоматичного керування переміщенням електродів. Але, при цьому слід зважати на технологічну вимогу щодо плавності переміщення електродів, завдяки чому подовжується термін експлуатації обладнання механізму переміщення електродів через запобігання різких перепадів моментів опору переміщенню деталей обладнання. З оглядом на технічні характеристики механізму переміщення електродів та досвід його експлуатації, прийнято обмежувати прискорення електродів рівнем $0,25 \text{ м/с}^2$.

4. На основі аналізу особливостей керування швидкістю переміщення електродів у дуговій сталеплавильній печі сформульовані наступні критерії

якості роботи системи автоматичного управління: перерегулювання не повинно перевищувати 0,5%, статична й швидкісна похибки керування повинні дорівнювати нулю.

3 СИНТЕЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

3.1 Синтез системи автоматичного управління

Як було зазначено в другому розділі, структуру моделі системи автоматичного управління швидкістю руху електродів, та процедуру її синтезу визначає обраний спосіб управління переміщенням електродів. Тому далі проведемо обґрунтування методу синтезу системи автоматичного керування переміщенням електродів за умови використання внутрішнього контуру керування за швидкістю руху електродів.

Основною вимогою до системи автоматичного управління переміщенням електродів є висока точність позиціонування електроду, або висока точність відтворення еталонної діаграми переміщення електроду.

Найкращий результат за обраним критерієм якості роботи системи можна отримати лише за умов використання методів синтезу систем автоматичного керування, в яких відбувається оптимізація за обраним критерієм. У такому випадку доцільно використовувати аналітичний метод синтезу системи автоматичного управління.

Серед відомих аналітичних методів синтезу системи автоматичного керування оберемо поширений в інженерній практиці метод параметричної оптимізації.

Коли йдеться про досягнення обраним критерієм якості перехідного процесу оптимального значення, перевагу необхідно віддавати більш точним, аналітичним способам розрахунку систем автоматичного керування, які дозволяють визначити параметри системи, що забезпечують вищі показники якості.

Одним із методів розв'язання поставленої задачі є параметрична оптимізація, згідно з якою використовується характеристичний поліном замкнутої системи. Вид перехідного процесу задають відповідним вибором коренів цього полінома. При цьому корені знаходити немає потреби, бо в

літературі наводяться стандартні характеристичні поліноми, для яких вивчені криві перехідного процесу. Ці криві є оптимальними відносно якогось критерію та рекомендуються як характеристики бажаного вигляду.

За результатами порівняння коефіцієнтів характеристичних поліномів стандартної моделі та бажаної реальної системи знаходять значення коефіцієнтів характеристичного полінома, які забезпечують оптимальний перехідний процес. Слід мати на увазі, що до коефіцієнтів характеристичного полінома входять не тільки параметри регулятора, але й параметри інших елементів системи. Це дозволяє домагатися заданих коефіцієнтів характеристичного полінома за допомогою зміни усіх названих параметрів, що суттєво розширює можливості синтезу.

Серед пропонованих у літературі багатьох критеріїв якості перехідного процесу, що оптимізується, оберемо найбільш прийнятний з оглядом на обраний основний критерій якості роботи системи автоматичного управління – швидкісну похибку керування. Тож, далі оберемо ту стандартну модель, в якій швидкісна похибка дорівнює нулю.

Такою стандартною моделлю є модель Еллерта, перехідний процес у якого максимальна величина перерегулювання не перебільшує 10% (за умови східчастого керуючого впливу), а швидкісна похибка дорівнює нулю. Характеристичні поліноми моделі Еллерта представлені в табл. 3.1. Передаточна функція моделі Еллерта має такий вигляд:

$$W(p) = \frac{a_1 q_0^{n-1} + q_0^n}{p^n + a_{n-1} + \dots + a_1 q_0^{n-1} p + q_0^n} \quad (3.1)$$

Перехідні характеристики моделей еллерта представлені на рис.3.1.

З рисунку 3.1 видно, що чим вищий порядок моделі еллерта, тим більший час перехідного процесу.

На рис.3.1 за віссю абсцис заданий відносний час перехідного процесу τ . А у таблиці 3.1 в усіх поліномах присутній параметр q_0 , що є коренем

характеристичного полінома, за яким визначається швидкодія системи. Ці параметри пов'язані через формулу:

$$q_0 = \frac{\tau}{t},$$

де t – фактичний час перехідного процесу, с.

Таблиця 3.1 – Характеристичні поліноми моделі еллєрта

Поліном $\Pi_n(p)$
$\Pi_2(p) = p^2 + 2,5q_0 p + q_0^2$
$\Pi_3(p) = p^3 + 5,1q_0 p^2 + 6,3q_0^2 p + q_0^3$
$\Pi_4(p) = p^4 + 7,2q_0 p^3 + 16q_0^2 p^2 + 12q_0^3 p + q_0^4$
$\Pi_5(p) = p^5 + 9q_0 p^4 + 29q_0^2 p^3 + 385q_0^3 p^2 + 18q_0^4 p + q_0^5$
$\Pi_6(p) = p^6 + 11q_0 p^5 + 43q_0^2 p^4 + 83q_0^3 p^3 + 73q_0^4 p^2 + 25q_0^5 p + q_0^6$

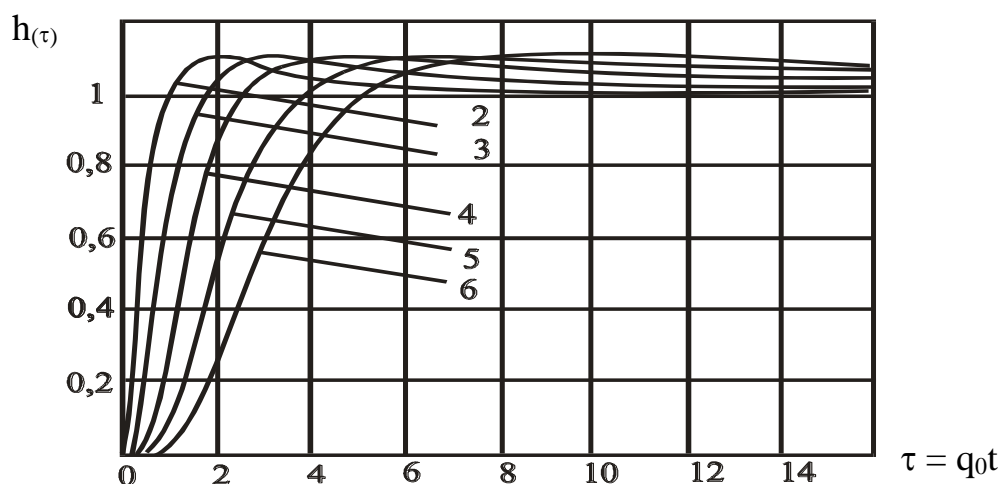


Рисунок 3.1 – Перехідні процеси стандартних моделей Еллєрта

Зазначимо, що метод параметричної оптимізації не враховує обмеження щодо подвійного диференціалу керованої величини – він дозволяє оптимізувати лише переміщення електродів. Щоб задовольнялася вимога щодо відсутності

перевищення прискорення електродів допустимого рівня, саме тому потрібно окремо керувати швидкістю переміщення електродів через введення внутрішнього контуру керування.

З урахуванням цього та результатів ідентифікації об'єкта управління у підрозділі 2.2, створена імітаційна модель системи автоматичного управління переміщенням електродів у дуговій сталеплавильній печі за умови реалізації двоконтурного керування – у внутрішньому контурі відбувається керування за швидкістю, а у зовнішньому контурі керування ведеться за переміщенням електродів (рис.3.2).

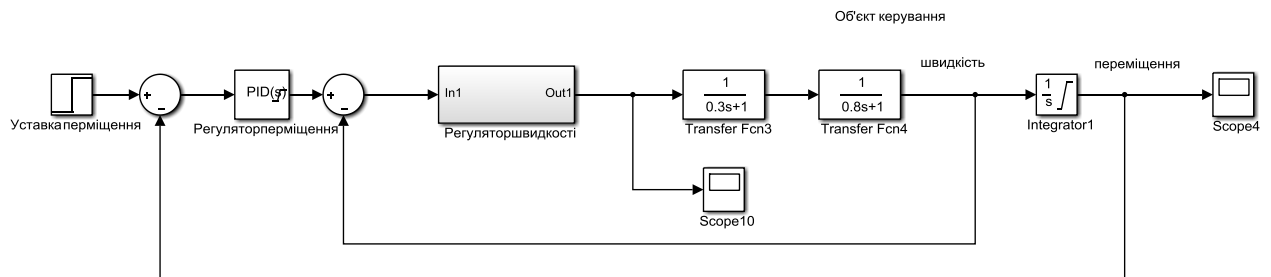


Рисунок 3.2 – Схема системи управління у додатку Simulink програми Matlab

При синтезі системи автоматичного управління переміщенням електродів у дуговій сталеплавильній печі методом параметричної оптимізації необхідно досягти вигляду передаточної функції замкнутої системи відповідно до рівняння (3.1).

З метою досягнення максимальної швидкодії системи (умова досягнення нульової швидкісної похибки якомога швидше) оберемо другий порядок стандартної моделі Еллєрта, оскільки вона дає найбільш швидкий перехідний процес (рис.3.1). У такому разі передаточна функція замкненої системи за обома контурами управління повинна бути такою:

$$W_3(p) = \frac{2,5 \cdot q_0 \cdot p + q_0^2}{p^2 + 2,5 \cdot q_0 \cdot p + q_0^2}.$$

Визначимо бажану передаточну функцію для розімкненої системи автоматичного управління за допомогою відомої формули структурного перетворення:

$$W_{роз}(p) = \frac{W_3(p)}{1 - W_3(p)} = \frac{2,5 \cdot q_0 \cdot p + q_0^2}{p^2}. \quad (3.2)$$

Відзначимо, що формула (3.1) є передаточною функцією послідовно з'єднаних ПІ-регулятора та інтегратора:

$$W_{роз}(p) = \left(K_P + \frac{K_I}{p} \right) \cdot \frac{1}{p} = \frac{K_P \cdot p + K_I}{p^2}. \quad (3.3)$$

Для того, щоб передаточна функція розімкненої системи з ПІ-регулятором переміщення (3.3) дорівнювала стандартній моделі Еллєрта з урахуванням зворотного від'ємного зв'язку (3.2), необхідно прирівняти коефіцієнти доданків чисельників у формулах (3.1) та (3.3):

$$\begin{cases} K_P = 2,5 \cdot q_0; \\ K_I = q_0^2. \end{cases} \quad (3.4)$$

Враховуючи структуру імітаційної моделі системи автоматичного управління переміщенням електроду у дуговій сталеплавильній печі на рис.3.2, умови у формулі (3.4) виконуються, якщо за регулятор переміщення електродів прийняти ПІ-регулятор, чий параметри розраховуються за формулою (3.4). Але при цьому внутрішній контур керування за швидкістю переміщення електродів повинен перетворитися на підсилювальну ланку з коефіцієнтом підсилення одиниця, оскільки він не враховувався у формулі (3.3).

Таким чином, передаточна функція регулятора швидкості у внутрішньому контурі керування повинна бути такою, щоб компенсувати постійні часу об'єкта керування:

$$W_{шв}(p) = \frac{(0,3 \cdot p + 1)}{(T_{шв} \cdot p + 2)} \cdot \frac{(0,8 \cdot p + 1)}{T_{шв} \cdot p},$$

де $T_{шв}$ – постійна часу регулятора швидкості, с.

З урахуванням вище сформованої вимоги, передаточна функція регулятора швидкості у внутрішньому контурі керування $W_{шв}$ прийнята такою, щоб компенсувати постійні часу об'єкта керування.

Знаменники складових передаточної функції регулятора прийняті таким чином, щоб:

- 1) забезпечувати астатичність внутрішнього контуру;
- 2) забезпечувати дійсні корені характеристичного рівняння замкненої передаточної функції системи керування за швидкістю руху електродів. При цьому швидкодія системи керування забезпечується постійною часу регулятора $T_{шв}$.

З іншої сторони, динаміка розгону електроду, що обмежена прискоренням $0,25 \text{ м/с}^2$, також визначається постійною часу регулятора швидкості $T_{шв}$.

Тож, щоб обґрунтувати постійну часу регулятора, отримані залежності між інтегральною похибкою керування (це інтеграл відхилення перехідного процесу на виході внутрішнього контуру від східчастого сигналу), а також між максимальним фактичним прискоренням руху електродів та постійною часу регулятора (відповідно, рис.3.3 та рис.3.4).

З рис.3.3 видно, що залежність інтегральної похибки керування від постійної часу регулятора швидкості руху електродів є прямо пропорційною. Таким чином, можна зробити висновок, що постійна часу регулятора повинна бути якомога менше.

Але, з залежності максимального прискорення руху електродів від постійної часу регулятора на рис.3.4, яка є зворотною й нелінійною, видно, що за умови зменшення постійної часу менше рівня $0,12 \text{ с}$ маємо перевищення прискоренням свого допустимого значення $0,25 \text{ м/с}^2$.

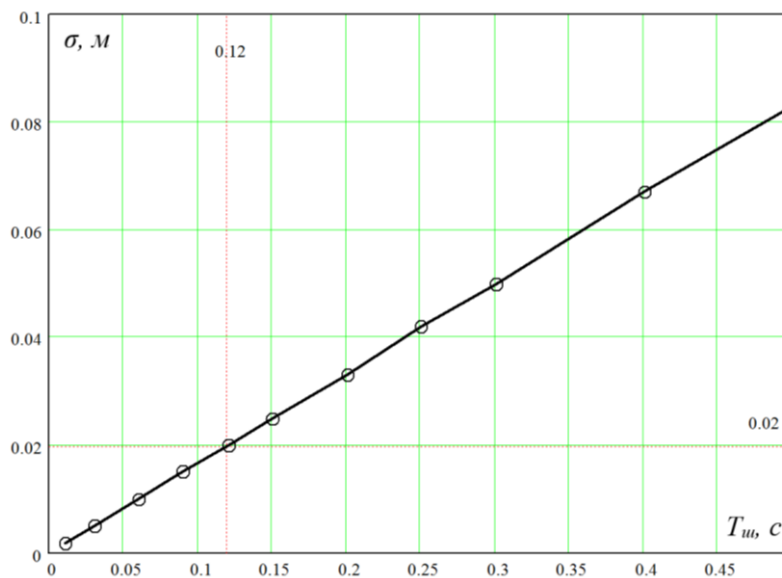


Рисунок 3.3 – Емпірична залежність між максимальним прискоренням переміщення електроду та постійною часу регулятора швидкості

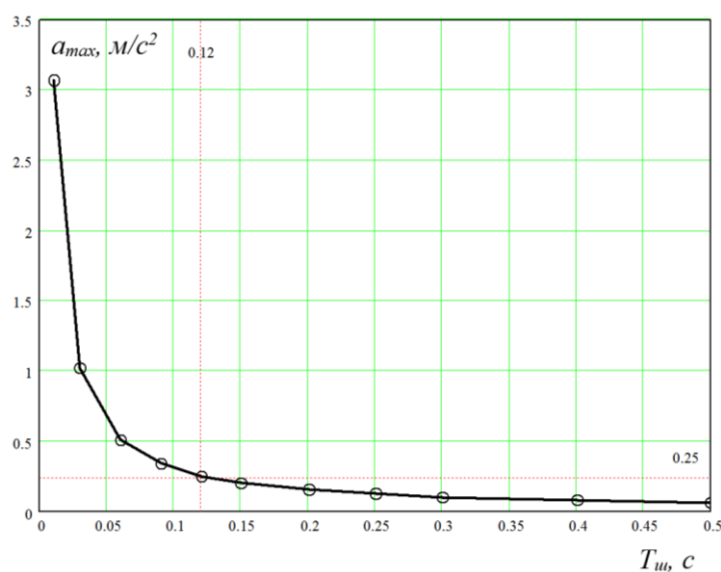


Рисунок 3.4 – Емпірична залежність між прискоренням переміщення електроду та постійною часу регулятора швидкості руху електродів

Тож, оптимальним значенням постійної часу регулятора швидкості руху електродів є 0,12 с.

3.2 Оцінка якості функціонування системи управління

Для аналізу ефективності роботи синтезованої системи автоматичного керування швидкістю руху електродів у дуговій сталеплавильній печі за запропонованим аналітичним методом, суміщені три однотипні моделі з різними настройками регулятора швидкості руху електродів: для оптимальної постійної часу, для зменшеної та збільшеної постійної часу регулятора швидкості (рис.3.5).

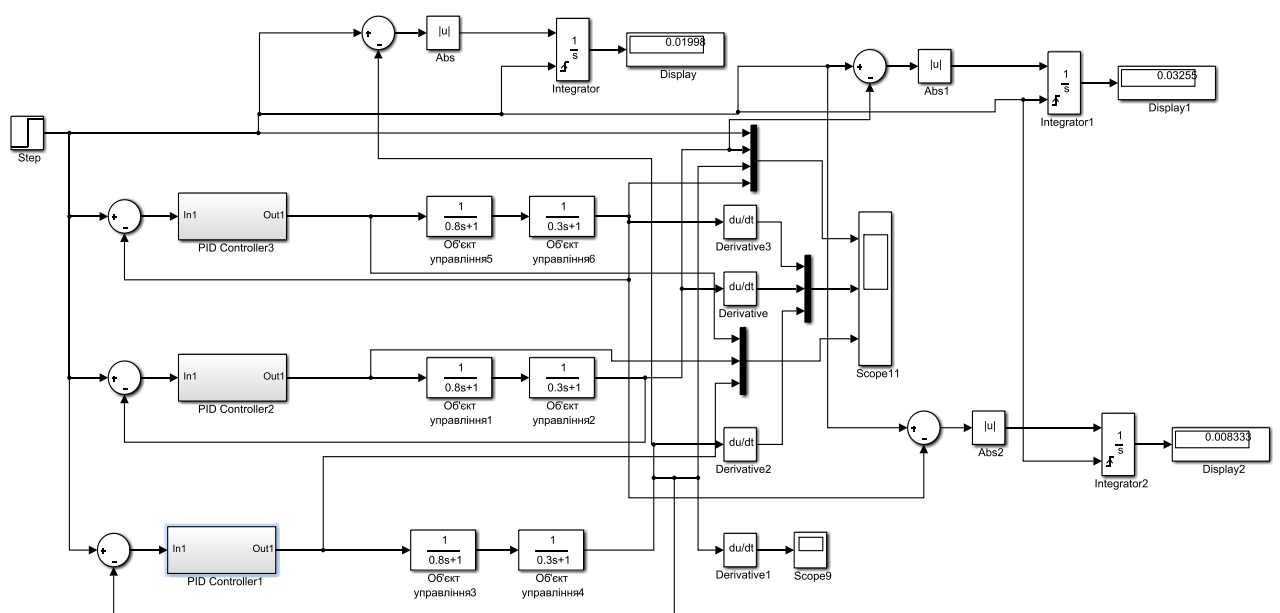


Рисунок 3.5 – Схеми суміщених однотипних моделей системи автоматичного керування швидкістю переміщення електродів у дуговій печі з різними налаштуваннями регулятора

Моделі на рис.3.5 дозволяють отримати інформацію про зміну у часі фактичної швидкості й прискорення руху електродів, а також керуючого сигналу на виході регулятора.

Також, з метою наглядного візуального порівняння якості роботи систем автоматичного управління з різними налаштуваннями регулятора на одному рисунку побудовані графіки зміни у часі керованих величин, їх диференціалу за часом, а також керуючих сигналів (рис.3.5).

Зазначимо, що на рис.3.5 верхня схема відповідає постійній часу регулятора 0,05 с, середня схема – постійній часу 0,2 с, а нижня – визначеному вище оптимальному значенню постійної часу регулятора швидкості руху електродів 0,12 с.

Звернемо увагу, що до моделі на рис.3.5 додані блоки суматорів, взяття модуля сигналу та інтегратори, за допомогою яких визначається критерій якості роботи системи як сумарне відхилення фактичної швидкості переміщення електродів від заданого значення. Тобто, за критерій якості прийнята площа між графіком перехідного процесу та віссю абсцис, яка повинна бути мінімальною з оглядом на вимогу до системи керування, що сформована вище. Чим менше ця площа, тим більше система автоматичного керування швидкістю руху електродів схожа за динамічними властивостями на підсилювальну ланку, й тим менше буде швидкісна похибка при керуванні переміщенням електродів.

З рис.3.5 видно, що сумарне відхилення фактичної швидкості переміщення електродів від заданого значення тим менше, чим менше постійна часу регулятора швидкості руху електродів. Найменший цей критерій для випадку постійної часу регулятора 0,05 с (верхня схема на рис.3.5).

Тепер проаналізуємо результати моделювання (рис.3.6), що отримані на основі моделей систем керування на рис.3.5.

З рис.3.6,а видно, що за умови оптимального налаштування регулятора маємо тривалість перехідного процесу 0,82 с (суцільна лінія). Для зменшеної та збільшеної постійної часу маємо, відповідно, більш швидкий (пунктирна лінія) та повільніший (штрих-пунктирна лінія) перехідні процеси.

Рисунок 3.6,б доводить правильність налаштування регулятора. Ми бачимо, що саме при оптимальній настройці (суцільна лінія) максимальне фактичне прискорення руху електродів дорівнює своєму допустимому значенню $0,255 \text{ м/с}^2$. При більшій постійній часу фактичне прискорення теж не перевищує допустиме значення (штрих-пунктирна лінія), але при цьому маємо повільніший перехідний процес. Варіант зменшеної постійної часу 0,05 с є

неприйнятним, оскільки при цьому фактичне максимальне прискорення суттєво зростає й перевищує допустиме значення.

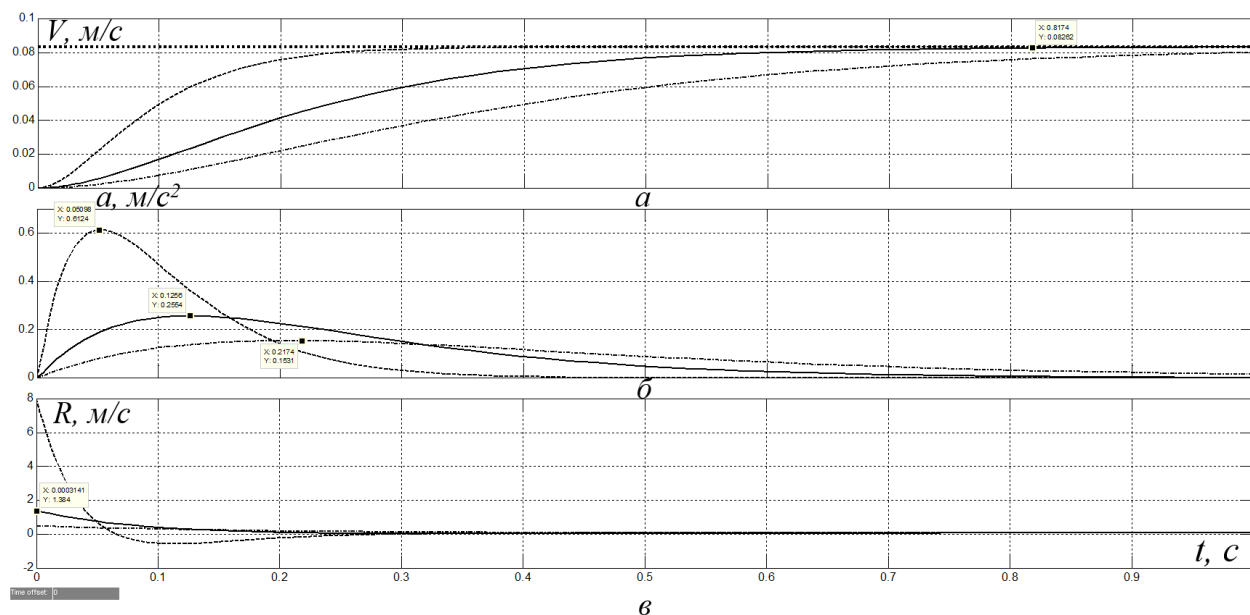


Рисунок 3.6 – Зміна у часі: *a* – фактичної швидкості руху електродів у дуговій сталеплавильній печі; *б* – фактичного прискорення руху електродів; *в* – керуючого сигналу на виході регулятора

Також з рис.3.6,в можна зробити висновок, що для забезпечення максимальної швидкодії системи керування без перевищення допустимого прискорення, привод механізму переміщення повинен забезпечувати швидкість руху електродів 1,384 м/с.

Таким чином, можна зробити висновок, що система автоматичного управління швидкістю переміщення електродів у дуговій сталеплавильній печі, в якій регулятор швидкості налаштований за запропонованою методикою, задовольняє усім сформованим критеріям якості керування.

3.4 Висновки по розділу

Встановлено, що за умови оптимізації зовнішнього контуру керування за пройденою електродами відстанню під фільтр Еллерта замкнена передаточна

функція системи автоматичного керування швидкістю переміщення електродів повинна відповідати підсилювальній ланці з коефіцієнтом підсилення одиниця. Але при цьому маємо суттєве перевищення фактичним прискоренням руху електродів свого допустимого значення. Тому до передаточної функції регулятора швидкості переміщення електродів у дуговій електросталеплавильній печі введена штучна інерційність, яка визначається постійною часу регулятора. При цьому за критерій якості настройки регулятора швидкості руху електродів введений критерій, що характеризує ступінь відхилення перехідного процесу на виході системи від одиничного східчастого сигналу (інтегральна похибка керування, що є площиною між графіком перехідного процесу та графіком східчастого сигналу).

Виявлено, що залежність інтегральної похибки керування від постійної часу регулятора швидкості руху електродів є прямою й майже лінійною. У свою чергу залежність максимального фактичного прискорення руху електродів від постійної часу регулятора швидкості є зворотною й нелінійною. Таким чином, згідно з першою встановленою закономірністю, постійна часу регулятора повинна бути якомога менше, але, з оглядом на другу встановлену закономірність, постійна часу обирається такою, щоб фактичне максимальне прискорення руху електродів дорівнювало своєму допустимому значенню.

Отримані результати досліджень дозволили запропонувати спосіб налаштування регулятора швидкості переміщення електродів у дуговій сталеплавильній печі для випадку використання підпорядкованої системи керування переміщенням електродів, де контур керування за швидкістю є внутрішнім. Цей спосіб дозволяє мінімізувати вплив інерційності контуру керування за швидкістю на перехідний процес на виході системи підпорядкованого керування за пройденою електродами відстанню, за рахунок чого забезпечується максимально точне позиціонування електродів без перевищення обмежень щодо динаміки їх руху.

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Цифрова модель об'єкта керування

Вихідними даними для експериментального розділу є система автоматичного керування, що синтезована у третьому розділі кваліфікаційної роботи (рис.4.1).

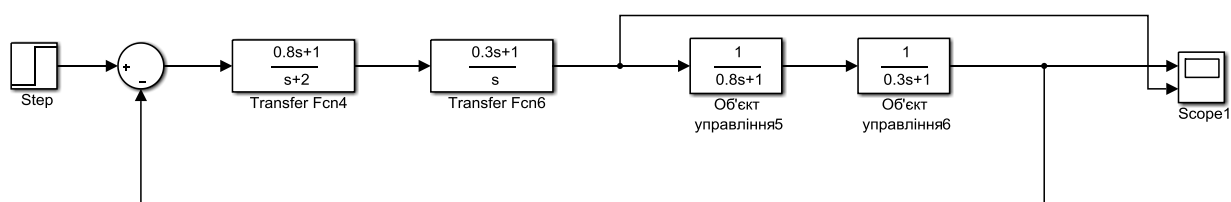


Рисунок 4.1 – Імітаційна модель синтезованої системи автоматичного керування

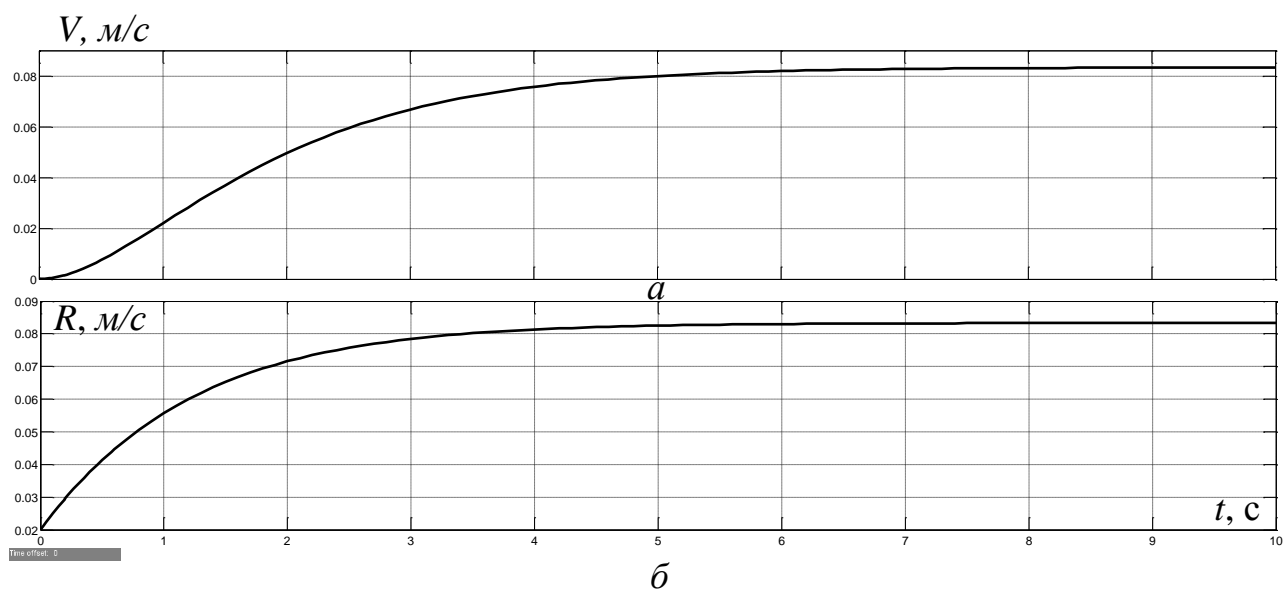


Рисунок 4.2 – Результати моделювання синтезованої системи автоматичного керування (*a* – керована величина, *б* – керуюча) при уставці 0,083 м/с

З метою створення програмного забезпечення для системи автоматичного керування отримаємо цифрову модель об'єкта керування. Для

цього виконаємо заміну неперервних елементів об'єкта керування на цифрові. Для перетворення неперервних аперіодичних ланок розроблена програма на мові програмування MATLAB (програма 4.1).

Програма 4.1 Перетворення неперервної моделі об'єкта керування на цифрову

```
%Перетворення у цифрову форму першої аперіодичної ланки
wa1=tf([1], [0.8 1]);
wa1z=c2d(wa1, 0.1);
[a_a1, b_a1]=tfdata(wa1z);
a_a1=cell2mat(a_a1)
b_a1=cell2mat(b_a1)
%Перетворення у цифрову форму другої аперіодичної ланки
wa2=tf([1], [0.3 1]);
wa2z=c2d(wa2, 0.1);
[a_a2, b_a2]=tfdata(wa2z);
a_a2=cell2mat(a_a2)
b_a2=cell2mat(b_a2)
```

Результат роботи програми 4.1:

```
0 0.117503097415405
```

```
b_a1 =
```

```
1.0000000000000000 -0.882496902584595
```

```
a_a2 =
```

```
0 0.283468689426211
```

```
b_a2 =
```

```
1.0000000000000000 -0.716531310573789
```

За результатами роботи програми 4.1 сформуємо цифрову модель об'єкта керування (рис.4.3) та системи автоматичного керування у цілому (рис.4.4), задавши крок квантування за часом 0,1 с.

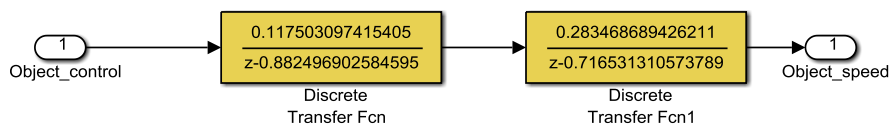


Рисунок 4.3 – Цифрова модель об'єкта керування

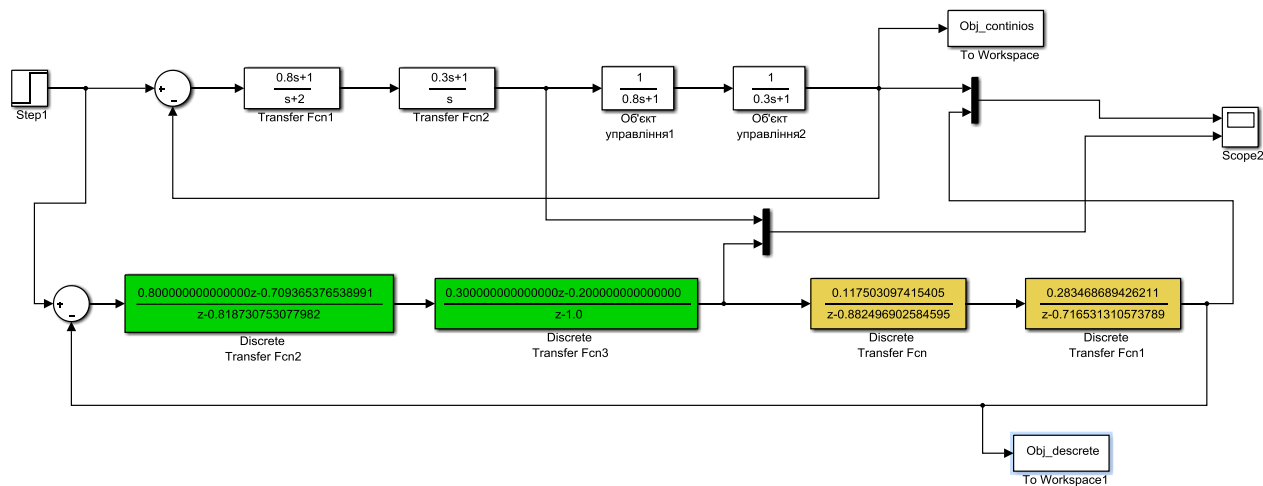


Рисунок 4.4 – Неперервна та цифрова моделі системи автоматичного керування

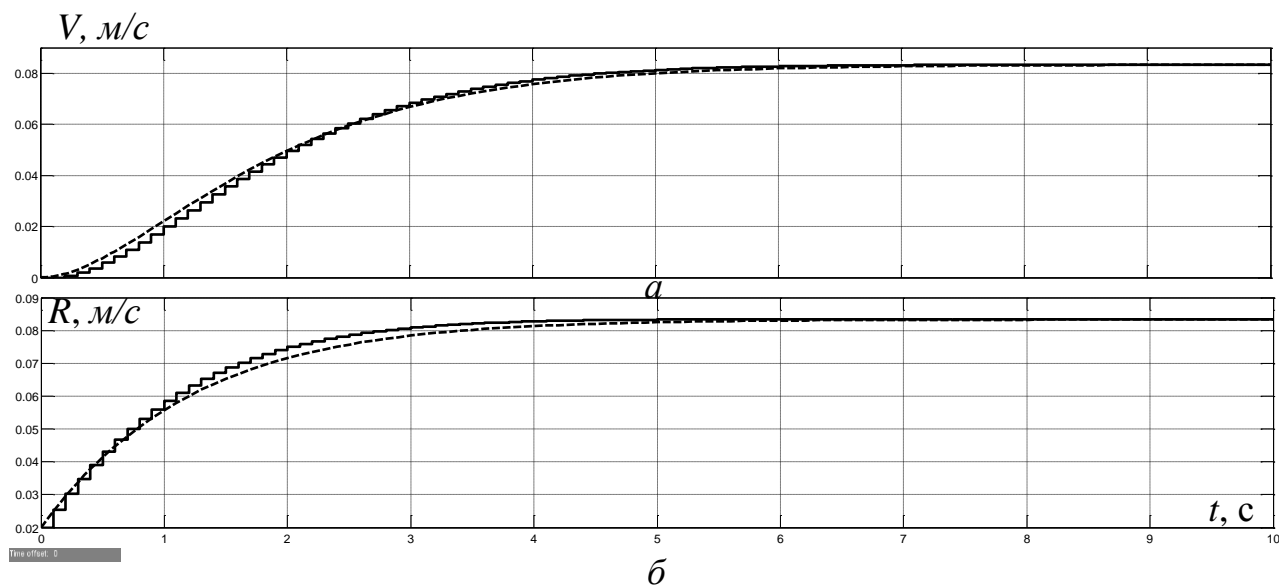


Рисунок 4.5 – Результати моделювання: а – керована величина; б – керуюча величина (пунктирна лінія – неперервна модель; суцільна – цифрова)

З рис.4.5 можемо бачити, що графіки як керованої величини, так і керуючої для випадків неперервної та цифрової САК досить близькі один до одного. Здійснимо більш точне оцінювання збіжності цих графіків за

нормованим середньо-квадратичним відхиленням між точками кривих зміни у часі керованої та керуючої величин для неперервної та цифрової моделей, підтвердивши таким чином адекватність цифрової моделі системи автоматичного керування по відношенню до неперервної моделі.

```
>> goodnessOfFit(Obj_continuos,Obj_descrete, 'NRMSE')*100
ans =
95.574883573432729
```

Як видно за результатами оцінювання, маємо досить високий відсоток відповідності цифрової моделі системи автоматичного керування неперервній моделі.

У нижній частині рис.4.6 модель цифрової САК є згрупованою за підсистемами, одною з яких є регулятор, а іншою – об’єкт керування. Вміст підсистеми “Об’єкт керування” представлений на рис.4.3, а вміст підсистеми “Регулятор” – на рис.4.7.

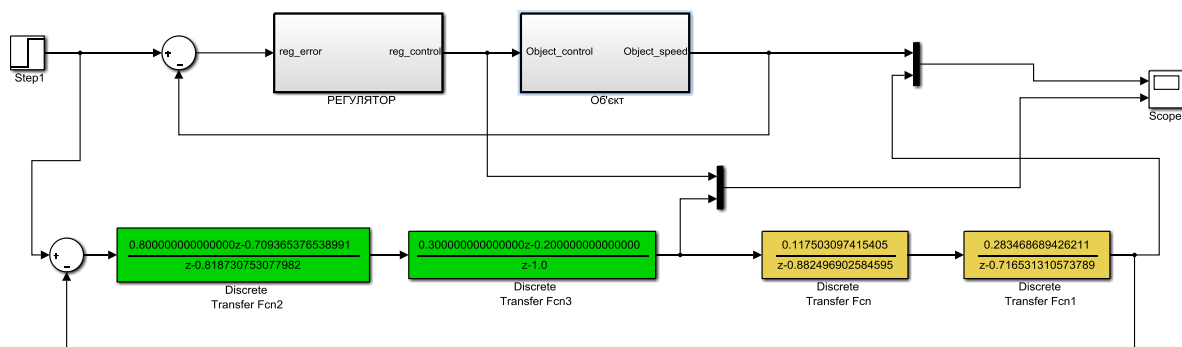


Рисунок 4.6 – Цифрова згрупована модель цифрової системи керування

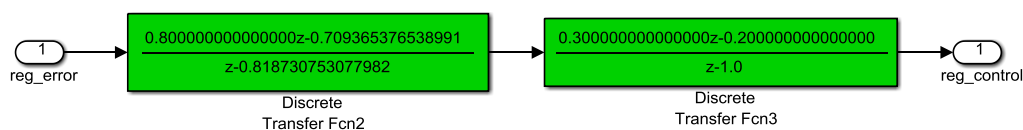


Рисунок 4.7 – Цифрова модель регулятора

На рис.4.7 цифрова модель регулятора представлена двома z-передаточними функціями. Ці функції отримані за результатами роботи наступної програми:

```
%Перетворення у цифрову форму першої ланки
wa1=tf([0.8 1], [1 2]);
wa1z=c2d(wa1, 0.1);
[a_a1, b_a1]=tfdata(wa1z);
a_a1=cell2mat(a_a1)
b_a1=cell2mat(b_a1)
%Перетворення у цифрову форму другої ланки
wa2=tf([0.3 1], [1 0]);
wa2z=c2d(wa2, 0.1);
[a_a2, b_a2]=tfdata(wa2z);
a_a2=cell2mat(a_a2)
b_a2=cell2mat(b_a2)
```

На основі цифрової моделі системи автоматичного керування згенеровані програмні модулі, що представлені у додатку А.

4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування

Програмне забезпечення системи автоматичного керування умовно поділено на дві частини у вигляді двох окремих програмних блоків – регулятора та об'єкта керування.

Програмне забезпечення регулятора створено під програмований логічний контролер zenon Logic, що входить до складу SCADA системи zenon. Програмне забезпечення об'єкта керування створено як програмне забезпечення (ПЗ) перевірки функціонування системи автоматичного керування для драйверу пристрою керування.

З метою розробки ПЗ об'єкта керування створений драйвер пристрою керування з настройками, що наведені на рисунку 4.8.

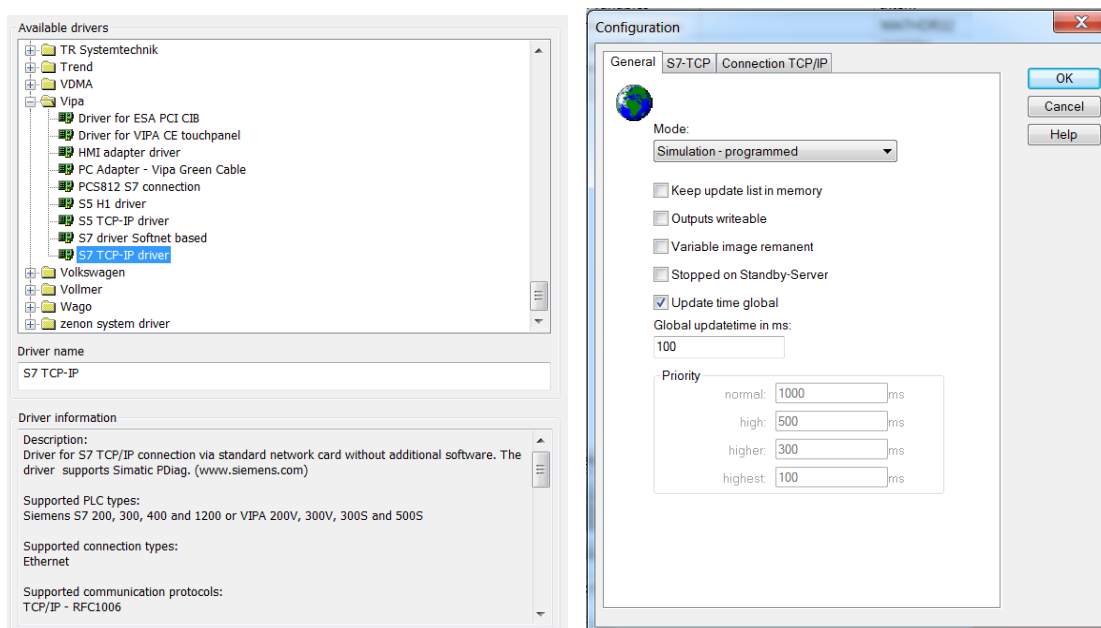


Рисунок 4.8 – Вибір драйверу пристрою керування та його настройка

Для драйвера пристрою керування створені відповідні змінні, що забезпечують доступ до входів та виходів об'єкта керування (рис. 4.9).

State	Name	Identification	Measur.	Net address	Data block	Offset	Bit num...	Alignm...	Symbol...	Driver	Data type	Decimals	Start offset
Filter text	Filter text	Filter text	Filter...	Filter text	Filter text	Filter text	Filter...	Filter...	Filter...	Filter text	Filter...	Filter...	Filter text
	Speed			0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	4	0
	control_signal			0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	4	0

Рисунок 4.9 – Змінні драйверу об'єкта керування

У середі розробки zenon Logic Workbench для драйверу пристрою керування реалізована модель об'єкта керування на основі створеного програмного модуля. Також, з використанням отриманого користувальницького функціонального блоку, розроблене програмне забезпечення об'єкта керування.

Більш детально список програм, змінних та драйверів для програмного забезпечення об'єкта керування наведені у додатку Б.1.

З метою реалізації програмного забезпечення регулятора створений проект регулятора (рис. 4.10).

State	Project name	Target host	Target port	Start type	Start place	Host	Startup	Redundant operati...
Filter...	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	Controller	localhost	1200	start/stop automatically	all computers	localhost	Cold start	<input type="checkbox"/>

Рисунок 4.10 – Проект регулятора

Крім того, створені змінні регулятора, що відповідають уставці швидкості переміщення електродів дугової сталеплавильної печі, фактичному значенню витрат та керуючому впливу (додаток Б2).

Зв'язок між програмним забезпеченням регулятора та об'єкта керування створений через механізм розподілу «Allocations» (рис. 4.11).

Name	Source variable	Target variable	Trigger variable	Trigger ty...
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
zenon_to_PLC	Controller/Global/Control_Reg	control_signal	< no variable linke...	Edge
PLC_to_zenon	Speed_	Controller/Global/Control_Speed	< no variable linke...	Edge

Рисунок 4.11 – Механізм розподілу «Allocations»

Отже, створені два розподіли – перший, що копіює значення швидкості руху електродів до регулятора, та другий – для передачі значення швидкості руху штока механізму переміщення електродів з регулятора до об'єкта керування. Більш детально список програм, змінних та драйверів для програмного забезпечення регулятора наведені у додатку Б2.

4.3 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу

Одною з головних частин програмного забезпечення системи автоматичного керування є людино-машинний інтерфейс.

Щоб забезпечувати повноцінне функціонування системи автоматичного керування, людино-машинний інтерфейс повинний виконувати наступні функції:

- моніторинг протікання перехідного процесу;
- моніторинг зміни параметрів об'єкта керування;

- моніторинг стану технологічного процесу з оповіщенням виникнення аварійних подій.

Отже, можна сформулювати основні вимоги до людино-машинного інтерфейсу:

- мінімальне розширення екрану 1024x920 px;
- кількість зображень: 5 – зображення з кнопками, що дозволяють переходити між різними зображеннями – технологічної схеми, графіку перехідного процесу, списку подій та списку тривог.

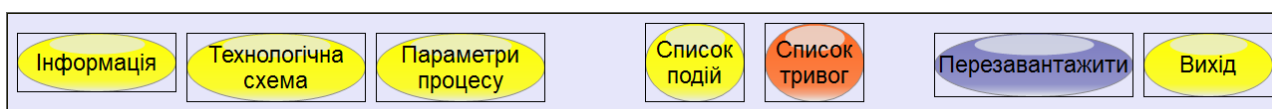


Рисунок 4.12 – Зображення кнопок

На рис. 4.12 представлено зображення кнопок що були створені для ЛМІ. Кожна з кнопок виконує свою функцію:

- «Об'єкт керування»

При натисненні цієї кнопки здійснюється перехід до зображення технологічної схеми, на якій показане розташування датчиків та виконавчих пристроїв (рис. 4.13). Реалізація роботи цієї кнопки виконана з використанням функції `switch screen`, що дозволяє перейти на наступне зображення;

- кнопки «Діаграма зміни параметрів», «Список тривог» та «Список подій», що реалізовані аналогічно. Вони дозволяють перейти на зображення, що відповідають назвам кнопок, та які наведені на рис. 4.14, рис. 4.15 та рис. 4.16 відповідно.

- Кнопки «Вихід» та «Перезавантажити» створені за допомогою функцій `exit runtime` та `reload project` відповідно.

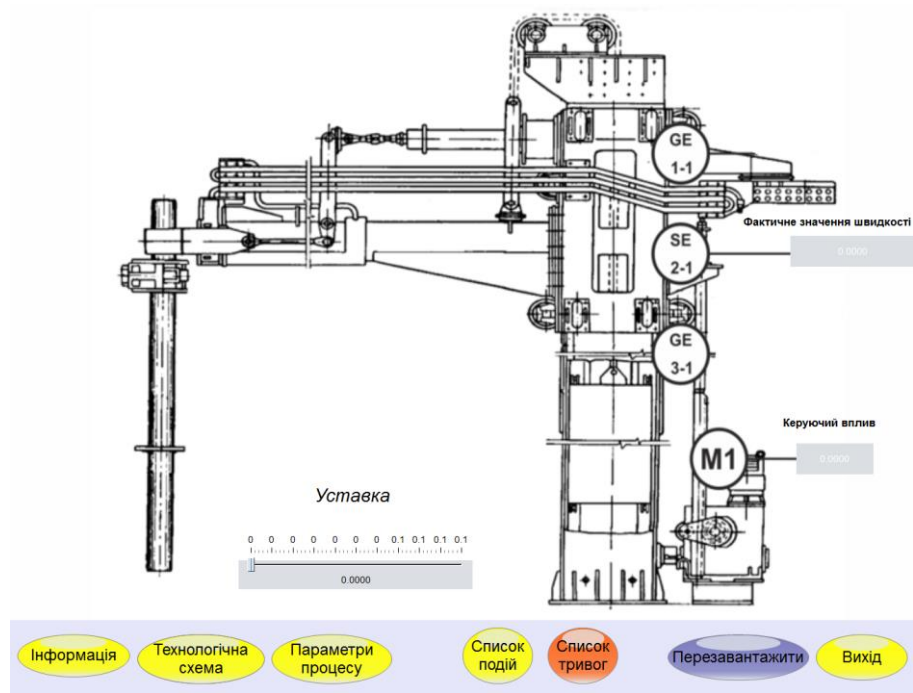


Рисунок 4.13 – Зображення технологічної схеми

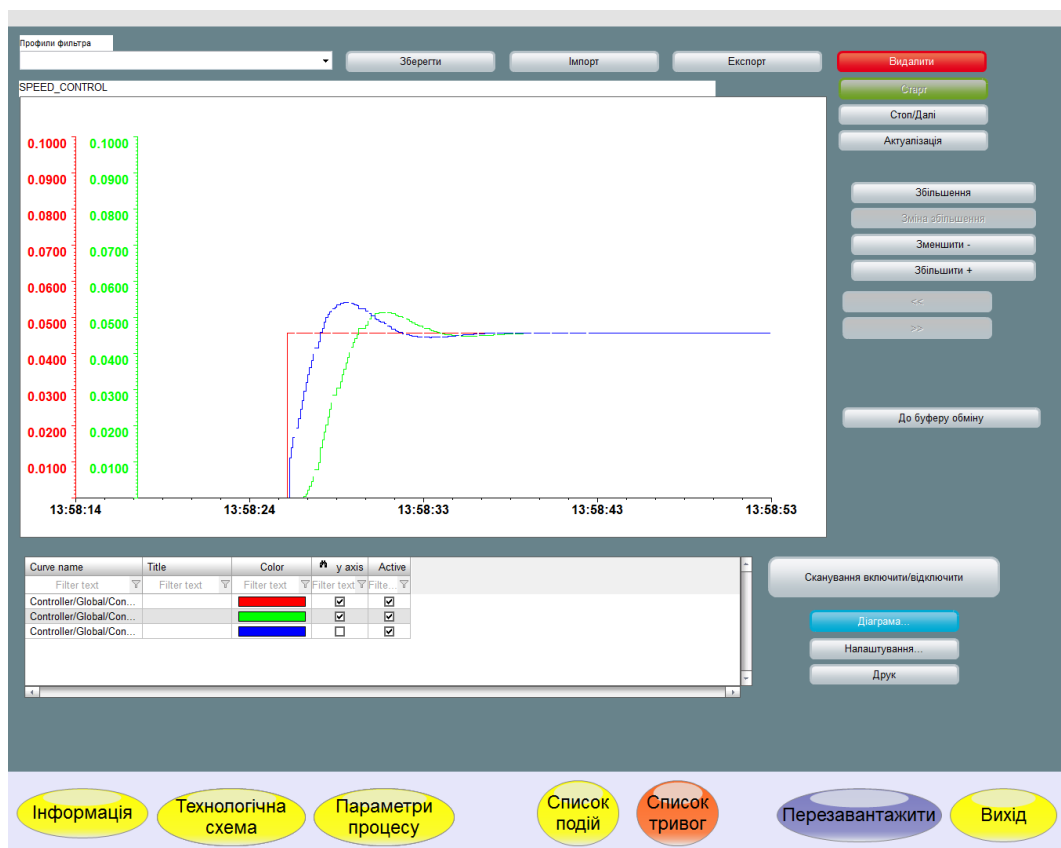


Рисунок 4.14 – Зображення графіку перехідного процесу

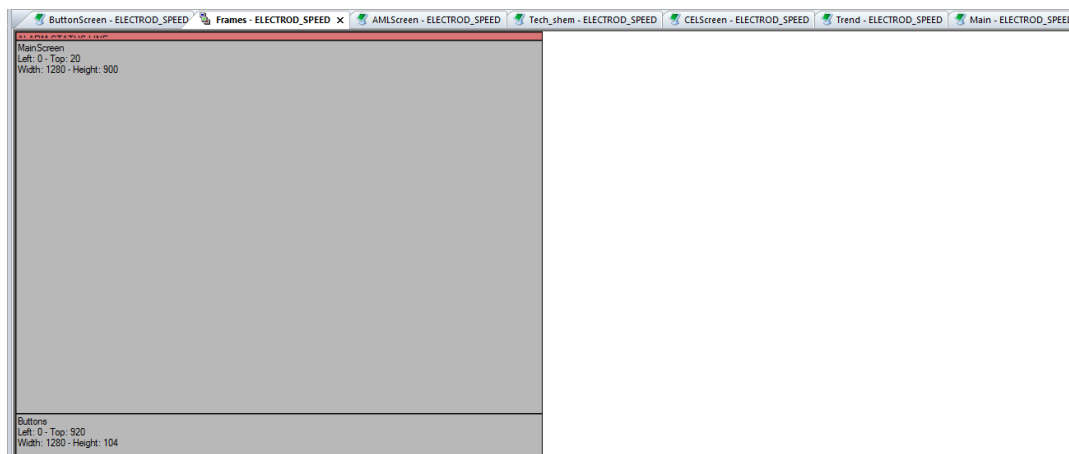


Рисунок 4.17 – Шаблон зображень

Основні зображення розміщені в основному фреймі, зображення з кнопками розміщені окремим фреймом. Він є статичним та відображається постійно. Для розробки зображень «Список подій» та «Список тривоги» були використані шаблони SCADA системи zenon.

Розроблене програмне забезпечення ЛМІ більш детально представлено в додатку В.

4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення

Перевірка функціонування програмного забезпечення відбувалася шляхом подачі уставки швидкості переміщення електродів 0,0484 м/с.

З аналізу рисунка 4.18 можна зробити висновок, що об'єкт керування та регулятор працюють адекватно, при цьому виконуються усі вимоги щодо якісної роботи системи автоматичного керування.

У ході перевірки роботи ЛМІ встановлено, що усі кнопки виконують свої функції правильно, на технологічній схемі коректно відображаються усі необхідні дані про стан та роботу системи автоматичного керування. У списку подій відображується інформація про зміну уставки швидкості переміщення електродів у печі. Оскільки система автоматичного керування працює згідно з вимогами у нормальному режимі, список тривоги порожній.

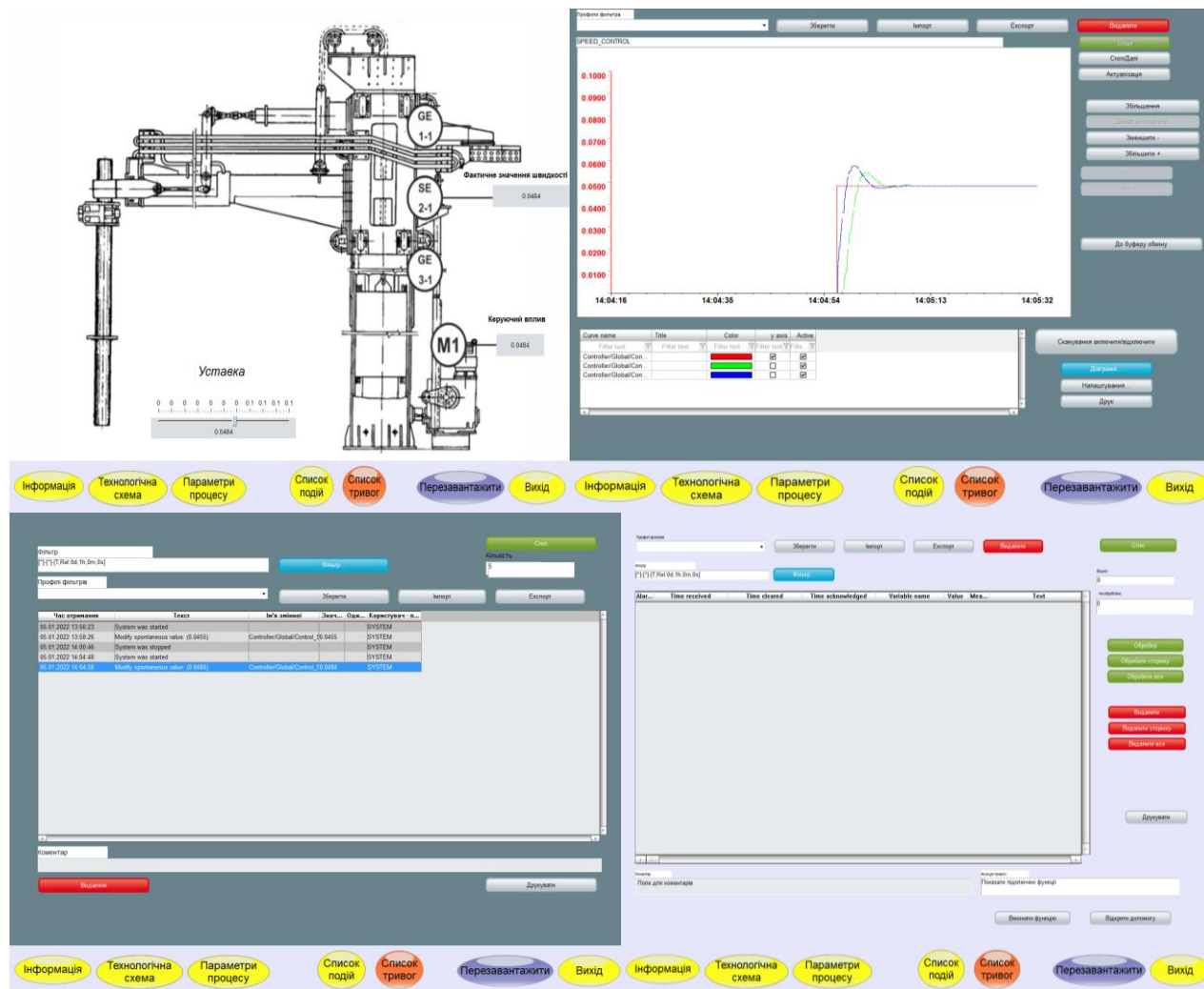


Рисунок 4.18 – Перевірка функціонування програмного забезпечення системи автоматичного керування

В результаті проведеної перевірки можна зробити висновок, що програмне забезпечення ЛМІ функціонує коректно, згідно з вимогами до системи автоматичного керування, та може бути використане на виробництві.

4.5 Висновки до розділу

В експериментальному розділі кваліфікаційної роботи розроблене програмне забезпечення об'єкта керування, регулятора, та програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу. При цьому здійснена перевірка функціональності роботи системи автоматичного керування та людино-

машинного інтерфейсу, яка підтвердила, що програмне забезпечення об'єкта керування, регулятора та інтерфейсу працює коректно та згідно з вимогами до системи автоматичного керування швидкістю переміщення електродів дугової сталеплавильної печі.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Загальні відомості

У цьому розділі кваліфікаційної роботи розглядається економічна доцільність проектування системи автоматизованого управління електродуговою піччю.

Нині для вирішення завдань автоматизації машин такого типу знайшли застосування різні системи управління. Проте усі використовувані на даний момент системи розроблені на застарілій апаратній елементній базі, яка за своїми характеристиками помітно поступається системі, що описується в кваліфікаційній роботі.

Проектована система має такі переваги:

- дозволяє підвищити інформативність технологічного процесу, що дає можливість добитися повного контролю технологічного процесу;
- дозволяє підвищити надійність технологічного процесу і безпеку праці за рахунок застосування сучасної високонадійної технічної бази;
- підвищення якості плавлення металу дозволяють досягти економії в енерговитратах.

При впровадженні системи, що розробляється, дані з об'єкту передаватимуться і аналізуватимуться в диспетчерській на пульті управління оператора. Таким чином, розробка системи спрямована на полегшення праці персоналу, обслуговуючого установку, і оптимізувати процес.

Для обґрунтування економічної ефективності модернізації системи управління електродуговою піччю, необхідно виконати:

- розрахунок капітальних витрат на придбання АСУ електродуговою піччю;
- розрахунок річних експлуатаційних витрат проектної апаратури;
- величину річного економічного ефекту.

5.2 Розрахунок капітальних витрат

Капітальні витрати на здійснення проектного варіанту визначаються як:

$$K_{\text{пр}} = K_{\text{св}} + K_{\text{тр}} + K_{\text{мн}} + K_{\text{по}}, \text{ грн.} \quad (5.1)$$

де $K_{\text{св}}$ - капітальні витрати по зведенню витрат;

$K_{\text{тр}}$ - транспортно-заготівельні витрати;

$K_{\text{мн}}$ - витрати на монтаж і наладку устаткування;

$K_{\text{по}}$ - витрати на розробку програмного забезпечення.

5.2.1 Розрахунок витрат на устаткування

Зведення капітальних витрат на устаткування, яке потрібне для реалізації системи управління піччю електродуги, приведена в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 - Зведення капітальних витрат на устаткування

№ з/п	Найменування устаткування	Од. виміру	К-ть	Вартість од. устаткування, грн	Сума, грн
1	Програмований логічний контролер VIPA 214-2BS33	шт.	1	9 800,00	9 800,00
2	Модуль дискретного вводу VIPA 221-1BF00	шт.	1	4 500,00	4 500,00
3	Функціональний модуль лічильника VIPA 250-1BS00	шт.	1	6 150,00	6 150,00
4	Модуль аналогового виводу VIPA 232-1BD40	шт.	1	9 800,00	9 800,00
5	Модуль дискретного виводу VIPA 222-1BF00	шт.	1	2 500,00	2 500,00
6	Датчик Autonics E40H8-1800-3-N-24	шт.	1	7 280,00	7 280,00
7	Датчик Lovato KBA1S11	шт.	2	356,00	712,00
8	Частотний перетворювач Lenze ESMD752L4TXA	шт.	1	28 156,00	28 156,00
9	Блок живлення Carlo Gavazzi SPD24301	шт.	1	2 500,00	2 500,00
Разом					71 398,00

Загальна вартість устаткування $K_{\text{об}} = 71\,398,00$ грн.

Вартість транспортно-заготівельних і складських витрат складає 6 % від вартості устаткування.

$$K_{\text{тр}} = 71\,398,00 * 0,06 = 4\,283,88 \text{ грн.}$$

Вартість монтажних та налагоджувальних робіт складає 8 % від вартості устаткування.

$$K_{\text{мн}} = 71\,398,00 * 0,08 = 5\,711,84 \text{ грн.}$$

5.2.2 Розрахунок витрат на розробку програмного забезпечення

5.2.2.1 Визначення трудомісткості підготовки програмного забезпечення

Трудомісткість підготовки програмного забезпечення розраховується по формулі 4.2:

$$t = t_0 + t_i + t_a + t_p + t_{\text{опл}} + t_d, \text{ чол.-год.} \quad (5.2)$$

- де
- t_0 - витрати праці на підготовку і опис поставленого завдання;
 - t_i - витрати праці на дослідження алгоритму рішення завдання;
 - t_a - витрати праці на обробку схеми алгоритму;
 - t_p - витрати праці на програмування по готовій блок-схемі алгоритму;
 - $t_{\text{опл}}$ - витрати праці на наладку програми;
 - t_d - витрати праці на підготовку документації за завданням.

Складові частини витрат праці визначаються на основі кількості операторів в програмному забезпеченні, до числа яких входять оператори, необхідні для написання в процесі роботи над програмою з урахуванням уточнень в постановці завдання і удосконалення алгоритму.

Умовна кількість операторів в програмі визначиться по формулі 5.3:

$$Q = q * c * (1 + p), \text{ операторів} \quad (5.3)$$

- де
- q - кількість операторів, яка допускається q (100);
 - c - коефіцієнт складності програми;
 - p - коефіцієнт корекції програми в процесі її обробки.

$$Q = 100 * 1,75 = 175 \text{ оператор.}$$

Витрати праці на підготовку і опис завдання складає $t_0=10$ чол.-год.

Витрати праці на вивчення опису завдання визначаються з урахуванням уточнення опису і кваліфікації програміста по формулі 4.4:

$$t_{и} = \frac{Q \cdot B}{(75 \dots 85) \cdot k}, \text{ чол.-год.} \quad (5.4)$$

де B - коефіцієнт збільшення витрат праці;

k - коефіцієнт кваліфікації програміста, який визначається залежно від стажу роботи по спеціальності.

$$t_{и} = \frac{191 \cdot 1,3}{80 \cdot 1,3} = 2,4 \text{ чол.-год.}$$

Витрати праці на обробку алгоритму рішення завдання визначаються по формулі 4.5:

$$t_a = \frac{Q}{(20 \dots 25) \cdot k}, \text{ чол.-год.} \quad (5.5)$$

$$t_a = \frac{191}{22 \cdot 1,3} = 6,7 \text{ чол.-год.}$$

Витрати праці на складання програми по готовій блок-схемі алгоритму визначаються по формулі 4.6:

$$t_{п} = \frac{Q}{(20 \dots 25) \cdot k}, \text{ чол.-год.} \quad (5.6)$$

$$t_{п} = \frac{191}{21 \cdot 1} = 9,1 \text{ чол.-год.}$$

Витрати праці на наладку програми ЕОМ розраховуються по формулі 4.7:

$$t_{отл} = \frac{Q}{(4 \dots 5) \cdot k}, \text{ чол.-год.} \quad (5.7)$$

$$t_{отл} = \frac{191}{4 \cdot 1,3} = 36,7 \text{ чол.-год.}$$

Витрати праці на підготовку документації за завданням визначаються по формулі 4.8:

$$t_{д} = t_{др} + t_{до}, \text{ чол.-год.} \quad (5.8)$$

де $t_{др}$ - трудомісткість підготовки матеріалів до написання;

$t_{до}$ - трудомісткість редагування, друку і оформлення документації.

$$t_{др} = \frac{Q}{(15 \dots 20) \cdot k}, \text{ чол.-год.} \quad (5.9)$$

$$t_{др} = \frac{191}{17 \cdot 1,3} = 8,6 \text{ чол.-год.}$$

$$t_{до} = 0,75 \cdot t_{др}, \quad (5.10)$$

$$t_{до} = 0,75 \cdot 8,6 = 6,45 \text{ чол.-год.}$$

Для програмного забезпечення витрати праці, що розробляється, на підготовку документації за завданням складатимуть:

$$t_d = 8,6 + 6,45 = 14,1 \text{ чол.-год.}$$

Трудомісткість підготовки програмного забезпечення складатиме:

$$t = 10 + 2,4 + 6,7 + 9,1 + 36,7 + 14,1 = 79 \text{ чол.-год.}$$

5.2.2.2 Розрахунок витрат на розробку програмного продукту

Витрати на розробку програмного продукту КПП включають заробітну плату розробника програми Z_{zp} і вартість машинного часу, необхідного для налаштування програми Z_{mv} (формула 5.11).

$$K_{pp} = Z_{zp} + Z_{mv}, \text{ грн.} \quad (5.11)$$

Заробітна плата розробника визначається по формулі 4.12:

$$Z_{zp} = t * C_{спр}, \text{ грн.} \quad (5.12)$$

де t - загальна трудомісткість обробки програмного забезпечення, яка визначається по формулі 5.2...5.10;

$C_{спр}$ - середня годинна заробітна плата програміста (основна і додаткова) з нарахуваннями, грн/ годину; $C_{спр} = 50 \text{ грн./год.}$

Отже, заробітна плата розробника складе:

$$Z_{zp} = 79 * 50 = 3\,950 \text{ грн.}$$

Вартість машинного часу, необхідного для налаштування програми визначатися по формулі 4.13:

$$Z_{mv} = t_{отл} * C_{мч}, \text{ грн.} \quad (5.13)$$

де $t_{отл}$ - трудомісткість відладки програми, яка визначається по формулі 4.7, чол.-год.;

$C_{мч}$ - вартість 1-ої машинної години, грн/год.

$$C_{мч} = 15 \text{ грн/год.}$$

Отже, вартість машинного часу, необхідного для налаштування програми складе:

$$Z_{mv} = 36,7 * 15 = 550,5 \text{ грн.}$$

Витрати на розробку програмного забезпечення системи складатимуть:

$$K_{по} = Z_{zp} + Z_{mv}, \text{ грн.} \quad (5.14)$$

$$K_{по} = 3\,950 + 550,5 = 4\,500,5 \text{ грн.}$$

Визначені таким чином витрати на створення програмного забезпечення є частиною одноразових капітальних витрат на створення системи управління. Очікувана тривалість підготовки програмного забезпечення визначається по формулі 4.15:

$$T = \frac{t}{B_f \cdot F_p}, \text{міс.} \quad (5.15)$$

де B_k - кількість розробників, оскільки програма в кваліфікаційній роботі розроблялася однією людиною, то $B_k = 1$;

F_p - місячний фонд робочого часу ($F_p = 160$ год.).

$$T = 79 / (1 * 160) = 0,5 \text{ міс.}$$

Таким чином, капітальні витрати на створення і впровадження системи управління по формулі 5.1 складуть:

$$K_{пр} = 71\,398,00 + 4\,283,88 + 5\,711,84 + 4\,500,50 = 85\,894,22 \text{ грн.}$$

Капітальні витрати на придбання апаратури, що знаходиться в експлуатації, надані економічним відділом ВАТ «Електротерм» 16 892 грн.

$$\Delta D_o = K_{пр} - K_b, \text{ грн.} \quad (5.16)$$

$$\Delta D_o = 85\,894,22 - 16\,892,00 = 69\,002,22 \text{ грн.}$$

5.3 Розрахунок річних експлуатаційних витрат проектної апаратури і що знаходиться в експлуатації

Експлуатаційні витрати - це поточні витрати на експлуатацію і обслуговування об'єкту проектування за певний період, виражений в грошовій формі.

До основних статей експлуатаційних витрат відносяться:

- амортизаційні відрахування S_a ;
- заробітна плата обслуговуючого персоналу S_z ;
- відрахування на соціальні заходи S_c ;
- витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт устаткування і мереж S_t ;
- вартість електроенергії, споживаної об'єктом проектування S_e ;

– інші витрати Спр.

Таким чином, річні експлуатаційні витрати по об'єкту проектування визначаються по формулі 4.16:

$$З = С_а + С_з + С_с + С_т + С_э + С_пр, \text{ грн.} \quad (5.17)$$

Для розрахунку показників економічної ефективності необхідно розрахувати експлуатаційні витрати по проектному варіанту системи управління і альтернативному варіанту, тобто, для експлуатованої системи.

5.3.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Системи автоматизованого управління відносяться до четвертої групи (машини і устаткування) відповідно до класифікації груп основних засобів і інших необоротних активів. Для систем управління на базі контролерів, мінімальних термін експлуатації складе 5 років. До об'єктів основних засобів, що входять до групи 4, для визначення річної суми амортизаційних відрахувань приймемо метод прискореного зменшення залишкової вартості.

Амортизаційні відрахування розраховуються по формулі:

$$С_а = Н_а \cdot К_пр / 100, \text{ грн.} \quad (5.18)$$

де $Н_а$ - норма амортизаційних відрахувань;

$К_пр$ - капітальні витрати проекту, що підлягають амортизації.

Норма амортизації розраховується по формулі:

$$Н_а = \frac{2}{T} * 100, \text{ грн.} \quad (5.19)$$

де T - термін корисного використання об'єкту.

$$Н_а = (2 / 5) * 100 = 40\%.$$

Амортизаційні відрахування по устаткуванню і програмному забезпеченню системи складатимуть:

$$С_а^{пр} = (0,4 * 85\,894,22) / 100 = 34\,357,69 \text{ грн.}$$

Для експлуатованої системи управління розрахунок амортизаційних відрахувань так само ведеться методом прискореного зменшення залишкової вартості

$$С_а^э = (0,4 * 16\,892) / 100 = 6\,756,8 \text{ грн.}$$

$$\Delta C_a = C_a^3 - C_a^{np}, \text{ грн.} \quad (5.20)$$

$$\Delta C_a = 6\,756,8 - 34\,357,69 = -27\,600,89 \text{ грн.}$$

5.3.2 Розрахунок річного фонду заробітної плати

З впровадженням АСУ підвищується рівень автоматизації і інформативність системи за рахунок застосування новітнього устаткування. Тому число техніків, обслуговуючих електродугову піч, можна скоротити на 3 ставки.

Розрахунок річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу для проекрованої системи, згідно форми, приведений в табл. 4.2. Номінальний річний фонд робочого часу одного працівника визначається по формулі 5.17.

$$F_{\text{ном}} = (T_k - T_{\text{пр}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{отп}}) \cdot T_{\text{см}}, \text{ год.} \quad (5.21)$$

де T_k - кількість днів в році;

$T_{\text{пр}}$ - святкові дні;

$T_{\text{вых}}$ - вихідні дні (21 - для робітника і 28 - для ІТП);

$T_{\text{отп}}$ - кількість днів відпустки;

$T_{\text{см}}$ - кількість робочих годин в зміну.

Таким чином, річний фонд робочого часу оператора і електрика складе:

$$F_{\text{ном}} = (365 - 10 - 104 - 21) \cdot 8 = 1\,840 \text{ год.}$$

номінальний річний фонд робочого часу ділянки:

$$F_{\text{ном}} = (365 - 10 - 104 - 28) \cdot 8 = 1\,784 \text{ год.}$$

Таблиця 5.2 - Річний фонд заробітної плати для проектної системи

№ з/п	Найменування професії працівника	К-ть працюючих чол.		Годинна тарифна ставка, грн	Номінальний річний фонд робочого часу(годинника)	Всього пряма заробітна плата, грн	Додаткова заробітна плата (9%)	Доплати(4%)	Всього заробітна плата, грн
		Явоче	облікове						
1	Оператор ЕОМ	2	2	42	1 840	154 560,00	13 910,40	6 182,40	174 652,80
2	Технік електрик	2	5	37	1 840	136 160,00	12 254,40	5 446,40	153 860,80
3	Майстер ділянки	1	1	30	1 784	55 200,00	4 968,00	2 208,00	62 376,00
Всього						345 920,00	31 132,80	13 836,80	390 889,60

$$C_3^{ПР} = 390\,889,60 \text{ грн.}$$

5.3.3 Розрахунок відрахувань на соціальні заходи

Відрахування на соціальні заходи складають 22% від заробітної плати (формула 4.23):

$$C_c = C_{зп} * 0,22, \text{ грн.} \quad (5.22)$$

Для експлуатованої системи відрахування на соціальні заходи складатимуть:

$$C_c^3 = 621\,680,80 * 0,22 = 136\,769,78 \text{ грн.}$$

5.3.4 Визначення річних витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт

Витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт включають витрати на матеріали, запасні частини, заробітну плату ремонтним робітникам і складають 20% від капітальних витрат:

$$C_{тр} = K_{пр} * 0,20, \text{ грн.} \quad (5.23)$$

$$C_{тр}^П = 85\,894,22 * 0,20 = 17\,178,84 \text{ грн.}$$

5.3.5 Розрахунок вартості споживаної електроенергії

Вартість електроенергії, спожитої засобами автоматизації в протягом року, визначається їх встановленою потужністю і річним робочим часом об'єкту автоматизації. Споживана потужність залежить від типу засобами автоматизації і джерела живлення. Споживання електроенергії проектованої системи має сумарну потужність 30 Вт. Споживання електроенергії експлуатованої системи має сумарну потужність 820 Вт. Режим роботи устаткування - безперервний.

Вартість спожитої електроенергії визначається по формулі:

$$C_{э} = M * F_p * a, \text{ грн.} \quad (5.24)$$

де M - встановлена потужність апаратури;

F_p - річний фонд робочого часу апаратури (8 760 годин - устаткування працює 24 години в добу);

a - тариф на електроенергію.

Тариф на електроенергію (для промислових підприємств за тарифом 0,64272 грн./кВтч, ціни на електроенергію вказані з ПДВ):

$$C_{э} = 0,82 * 8760 * 0,64272 = 11\,795,73 \text{ грн.}$$

5.3.6 Визначення інших витрат

Інші витрати по експлуатації об'єкту проектування включають витрати на спец. одяг, по охороні праці і ін. Ці витрати складають 4 % від річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу.

$$C_{пр} = C_{зп} * 0,04, \text{ грн.} \quad (5.25)$$

Отже, інші витрати для проектованої системи складатимуть:

$$C_{пр}^{пр} = 390\,889,60 * 0,04 = 15\,635,58 \text{ грн.}$$

5.5 Висновки

Результати розрахунків по проектованій системі зведені в табл. 5.3 та табл. 5.4.

Таблиця 5.3 - Річні експлуатаційні витрати

№ з/п	Найменування статей експлуатаційних витрат	Сума витрат, система проєктована, грн.
1	Амортизаційні відрахування	34 357,69
2	Заробітна плата	390 889,60
3	Відрахування на соціальні заходи	85 995,71
4	Витрати на ремонт	17 178,84
5	Вартість електроенергії	431,56
6	Інші витрати	15 635,58
Всього витрат		458 493,27

Таблиця 5.4 – Техніко-економічні показники

№ п./п.	Найменування показників	Од. вим.	Од. вим.
1	Капітальні витрати	грн	85 894,22
2	Експлуатаційні витрати	грн	458 493,27
3	- амортизація	грн	34 357,69
4	- рік фонд З.П.	грн	390 889,60
5	- відрахування в соц. страх	грн	85 995,71
6	- ТЕ і поточний ремонт	грн	17 178,84
7	- витрати на електроенергію	грн	431,56
8	- інші витрати	грн	15 635,58

Впровадження проєктованої системи автоматизованого управління електродуговою піччю потребує 85,8 тис. грн. капіталовкладень.

Експлуатаційні витрати складуть 458,4 тис. грн.

За рахунок застосування сучасної елементної бази підвищується надійність, інформативність системи і збільшується швидкість обробки інформації.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1 Аналіз шкідливих та небезпечних факторів

Задачею охорона праці є вивчення і виявлення небезпечних і шкідливих виробничих чинників, розробка заходів для зниження до мінімуму ймовірностей захворювання або травм працюючого персоналу з одночасним забезпеченням комфорту при максимальній продуктивності праці. Реальні виробничі умови характеризуються наявністю шкідливих і небезпечних виробничих факторів, вплив яких за певних умов призводить до травми або іншого раптового погіршення здоров'я.

Темою кваліфікаційної роботи є розробка системи автоматичного керування швидкістю переміщення електродів дугової сталеплавильної печі. У даному розділі розглядаються питання забезпечення безпеки на ділянці оператора системи керування для сталеплавильного цеху.

Проведемо аналіз основних шкідливих і небезпечних факторів роботи оператора системи, техніка безпеки та пожежної профілактики.

Робоче місце оператора системи розташоване в приміщенні центрального пульта управління сталеплавильного цеху. Загальна площа приміщення становить 42 м^2 (довжина 7 м; ширина 6 м), висота 2,80 м. У даному приміщенні знаходиться 5 робочих місць, обладнаних комп'ютерами.

Відповідно до ДБН В.2.2-9-99, за якими встановлено, що на кожного працюючого повинно припадати не менше ніж $4,5 \text{ м}^2$ робочої площі.

Визначимо площу приміщення, яка припадає на 1 працюючого $42 / 5 = 8,4 \text{ м}^2$.

Отже, дане приміщення придатне для роботи 5 осіб. Висота приміщення повинна бути не менше 2,5 м. Висота даного приміщення складає 2,8 м, що також відповідає нормі. Віконні прорізи складають $8,8 \text{ м}^2$.

Робота оператора системи у даному приміщенні за енерговитратами відноситься категорії Ia, тому що температура та вологість повітря задовольняють вимогам, а швидкість руху повітря потрібно корегувати.

Визначимо умови мікроклімату в приміщенні, які зведемо для аналізу у табл. 6.1.

Таблиця 6.1 Параметри метеорологічних умов в приміщенні

Параметр мікроклімату			Задовольняє/не задовольняє (потрібне ввести)*	Висновки**
Найменування	Значення			
t, оС	Фактична	24	Задовольняє	-
	Оптимальна	23-25		
	Допустима	22-28		
W, %	Фактична	70	Задовольняє	-
	Оптимальна	40-60		
	Допустима	75		
V, м/с	Фактична	0,75	Не задовольняє	-
	Оптимальна	0,1		
	Допустима	0,1-0,2		

Параметри мікроклімату в даному приміщенні не задовольняють вимогам ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Для досягнення допустимих значень необхідно збільшити швидкість руху повітря, на 0,55...0,65 м/с.

Фактичне значення коефіцієнта природного освітлення ($K_{\text{по}}$) складає 0,9 - відповідає нормам згідно ДБН В.2.5-28-2018.

Джерелами штучного освітлення у приміщенні є 4 світильники, в яких знаходяться по 4 люмінесцентних лампи в кожному потужністю 40 Вт.

Система освітлення – загальна, нормоване значення повинне становити не менше 300 лк при заданій системі освітлення для адміністративних приміщень з урахуванням типу ламп. Отже система освітлення у світлий і темний період доби відповідає нормі.

Рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на підприємстві становлять:

$$L_{A1} = 81 \text{ дБА протягом } 60 \text{ хв.}$$

$$L_{A2} = 70 \text{ дБА протягом } 300 \text{ хв.}$$

$$L_{A3} = 74 \text{ дБА протягом } 60 \text{ хв.}$$

$L_{A4} = 79$ дБА протягом 60 хв.

$L_{A\text{доп}} = 75$ дБА

Визначаємо L_A для кожного найближчого значення рівня.

$L_{A1} = 9$ дБА.

$L_{A2} = 2$ дБА.

$L_{A3} = 9$ дБА

$L_{A4} = 9$ дБА.

Визначаємо величини $L_{Ai} - L_{Ai}$ для кожного рівня.

81 дБА - 9 дБА = 72 дБА.

70 дБА - 2 дБА = 68 дБА.

74 дБА - 9 дБА = 65 дБА.

79 дБА - 9 дБА = 70 дБА.

Визначаємо енергетичну суму рівнів.

72 дБА - 68 дБА = 4 дБА тобто $L_A = 1,5$ дБА.

72 дБА + $1,5$ дБА = $73,5$ дБА.

$73,5$ дБА - 65 дБА = $8,5$ дБА тобто $L_A = 0,6$ дБА.

$73,5$ дБА + $0,6$ дБА = $74,1$ дБА.

$74,1$ дБА - 70 дБА = $4,1$ дБА тобто $L_A = 1,5$ дБА.

$74,1$ дБА + $1,5$ дБА = $75,6$ дБА, тобто $\Sigma = 75,6$ дБА.

Розрахуємо суму за формулою з точністю до двох знаків після коми

$$\begin{aligned} L_{A\text{сум}} &= 10 \lg (100,1L_{A1} + 100,1L_{A2} + 100,1L_{A3}) = \\ &= 10 * \lg (100,1 * 81 + 100,1 * 70 + 100,1 * 74 + 100,1 * 79) = \\ &= (125892541,1 + 10\,000\,000 + 25118864,315 + 79432823,47) = \\ &= \lg (240534228) = 8,38118 * 10 = 83 \text{ дБА.} \end{aligned}$$

Під час дослідження встановлено еквівалентний рівень шуму, на основі проведеного перевірконого розрахунку, та для логарифмічних рівнів фактичне їх значення порівняно з допустимим. Результат розрахунку показує, що енергетична сума рівнів складає $75,6$ дБА, а фактичне значення $L_{A\text{сум}} = 83$ дБА що відповідає допустимому рівню звукового тиску та звуку.

Показники вібрації в досліджуваному приміщенні згідно санітарних норм показників вібраційного навантаження при тривалості зміни 8 годин відповідають загальній вібрації типу «в», що відповідає нормі.

Аналіз роботи на техніці слід здійснювати з погляду існування ризиків завдання шкоди здоров'ю користувачів, наприклад, низькочастотного електромагнітного поля та іонізуючого (рентгенівського) випромінювання моніторів на електронно-променевих трубках, неіонізуючого електромагнітного випромінювання.

Таким чином, норма іонізуючого випромінювання: потужність експозиційної дози рентгенівського випромінювання на відстані 0,05 м від екрану та корпусу відеотерміналу (ВТ) при будь-яких положеннях регулювальних пристроїв становить $6,64 \times 10^{-12}$ А/кг (12,5 мкР/год), що відповідає еквівалентній дозі 0,1 мбер/год відповідно до Норм радіаційної безпеки України (НРБУ-97).

Норма напруженості електростатичного поля (гранично допустима напруженість електростатичного поля на робочих місцях з ВТ) не перевищує 20 кВ/м, що відповідає нормам ДСН 3.3.6.096-2002.

У результаті дослідження виконання норм неіонізуючого випромінювання виявилось, що норма напруженості електромагнітного поля на відстані 0,50 м навкруги ВТ не перевищує норми за електричною і магнітною складовою:

- за електричною складовою у діапазоні частот 30...50 МГц – 10 В/м;
- за магнітною складовою у діапазоні частот 30...50 МГц – 0,3 А/м.

Норма рівнів іонізації повітря знаходиться також на оптимальному рівні: кількість іонів в 1 см³ повітря становить 2 000 іонів n⁺ і 3 500 іонів n⁻, що відповідає оптимальному рівню.

Оскільки користування ПК є невід'ємною функцією основного виду діяльності, вони розміщуються на основному столі кожного пульту управління. Чотири ПК розміщуються в центрах робочих столів, один ПК розміщені з лівого боку основних робочих столів.

Кут між поздовжніми осями основного та приставного столів складає 120 градусів. Висота робочої поверхні столу для ПК знаходиться у необхідних межах і складає 800 мм. Ширина робочого столу забезпечує можливість виконання операцій у зоні досяжності моторного поля. Робочі столи для ПК на досліджуваному підприємстві не обладнані підставкою для ніг.

Робочі сидіння пульта управління системи становлять крісла, які мають необхідні елементи: сидіння, спинку, стаціонарні або змінні підлокітники. У конструкцію сидіння не введені додаткові елементи. Робочі сидіння співробітників відділу, як користувачів ПК, є підйомна-поворотними, регулюються за висотою, за відстанню спинки до переднього краю сидіння, висотою підлокітників. Регулювання кожного параметра є незалежним, ступінчатим, має надійну фіксацію.

Монітор та клавіатура мають розташовуватися на оптимальній відстані від очей користувача, але не більше 600 мм, з урахуванням розміру алфавітно-цифрових знаків та символів. Монітори та клавіатура ПК співробітників знаходяться на відстані приблизно 500-600 мм від очей. Розташування двох моніторів у відділ забезпечує зручність зорового спостереження у вертикальній площині під кутом +30 градусів, інших трьох – під кутом 40 градусів від лінії зору працівника. Клавіатура розміщується на столах не відповідно нормі – 100...300 мм від краю, - а розташовується майже на краю стола на всіх робочих місцях відділу. Кут нахилу клавіатури становить приблизно 5 градусів, що відповідає нормі.

Повна видимість монітору не порушується іншими пристроями введення-виведення інформації, адже вони розташовані на окремому приставному столі.

6.2 Техніка безпеки

Для створення безпечних і сприятливих умов праці ширина задньої площадки печі повинна бути не менше 2,5...3 м. Захистити робітників від тепловипромінювання можна екрануванням задньої стінки печі екранами, охолоджуваними водою або щитами з листової сталі, підшитими азбестом.

Відведення води від охолоджуваних екранів слід виконувати відкритого типу, так як закупорка водовідвідних трубок може привести до вибуху екрану.

Пульти керування печами доцільно розташовувати між колонами пічного прольоту проти печей. Для запобігання отруєнь газопідвідні трубки до контрольно-вимірювальних приладів повинні бути герметичними. Пульти управління має бути забезпечено хорошим провітрюванням. Для захисту від тепловипромінювання вікна пультів слід склити товстими скельцями (товщиною 10...15 мм).

Ширину робочої площадки в цехах з підлоговими завалочними машинами слід призначати, виходячи з дотримання безпечних габаритів між печами і складами з мульдами, а також між машиною завалення до складами з мульдами і чавуновозних ківшами. Крім того, між чавуновозних ківшами і колонами пічного прольоту необхідно передбачити прохід шириною не менше 1 м.

У цехах з крановими завалочними машинами ширину пічного прольоту рекомендується призначати не менше 18 м для печей садкой до 100 т і не менше 21 м для печей садкой понад 100 т. Відстань між печами і колонами пічного прольоту з метою безпеки слід приймати не менше 12 м.

Щоб забезпечити гарне провітрювання простору біля регенераторів і перекладних пристроїв, приміщення останніх слід розташовувати на нульовій позначці цеху, а робочий майданчик печей - не менше ніж на 6 м вище нульової позначки цеху. Не можна допускати заглиблення приміщення перекладних пристроїв.

Для доступу з робочого майданчика в приміщення перекладних пристроїв на кожні дві печі треба влаштовувати похилі сходи, а для спуску в розливний проліт такі сходи слід влаштовувати у кожної печі. В цехах, де розливання сталі здійснюється у виливниці, установлені на візках, для зв'язку робочого майданчика з розливної треба влаштовувати перехідні площадки, розташовані в торцевих частинах будинку.

Для запобігання вибухів кришок завалочних вікон печей необхідно забезпечити можливість вільного виходу пари в разі засмічення водовідвідної труби. Раціональне охолодження кришок показано на рис. 38. Проточну воду слід подавати в нижню частину кришок і рам, а відводити з самої верхньої їх частини.

Обслуговуючий персонал зобов'язаний стежити за безперебійної циркуляцією і температурою відходить води. Періодично всі комунікації і порожнини водоохолоджуючої системи необхідно оглядати і очищати від бруду і накипу.

Водовідвідні труби на випадок аварійного прориву металу з печі допускається розташовувати на відстані не менше 4...5 м від печі під робочою площадкою в місцях, надійно захищених від попадання металу.

Стан головок печей повинно виключати просочування газу, що досягається ретельної кладкою з мінімальними швами і торкретуванням внутрішньої і зовнішньої поверхонь ущільнюючої, не розтріскуються масою. Утворені на час роботи печі нещільності і прогари необхідно негайно усувати. Для захисту робітників від тепловипромінювання головки від верху до рівня робочого майданчика слід закривати знімними екранами, з проміжком між екранами і кладкою для циркуляції повітря.

При огляді і ремонті склепіння головок виникає небезпека травмування робітників заливного крана. Тому відстань між нижньою частиною кранів і головками нових печей повинно бути не менше 2 м.

6.3 Пожежна профілактика

Велике значення при здійсненні заходів пожежо- та вибухобезпеки має оцінка пожежної небезпеки виробництва.

На підприємствах чорної металургії, які застосовують високотемпературні процеси (яким є мартенівський процес), є постійна небезпека виникнення пожежі, тому повинні застосовуватися заходи щодо попередження пожежонебезпечних ситуацій.

Пожежа і вибухонебезпечність мартенівського виробництва. Будівель і споруд, в яких розміщується цех, оцінюється з урахуванням пожежа-вибухонебезпечних властивостей і кількостей звертаються речовин і матеріалів.

Природний газ, який використовується в мартенівському виробництві, легко запалимо, що може викликати його загоряння і вибухи. Вибухи відбуваються при змішуванні газу з повітрям при певних співвідношеннях. У всіх випадках вони є наслідком неправильних дій персоналу або несправності обладнання. Вибухи можуть відбуватися в мартенівській печі, трубопроводах, повітрянагрівачах, пиловловлювачах, повітродувних машинах, а також опалювальних газом приміщеннях, де може накопичуватися газ.

Крім вибухів, можливі випадки раптового займання газу, що нерідко призводить до опіків. Займання газу відбуваються при зупинці печі, при заміні фурм і шлакових приладів, при підготовці сталевий і шлакової льоток до випуску.

Крім газових вибухів, у цеху можливі вибухи, викликані рідкими продуктами плавки (сталлю і шлаком). Ці вибухи відбуваються при взаємодії вологи з розплавленим металом і шлаком. Вони супроводжуються сильним звуком, розбризкуванням великої кількості бризок і іскор.

Таким чином, пожежна небезпека мартенівського виробництва характеризується наявністю горючих газів (природний, кисень), горючих рідин, а також присутністю горючого пилу через негерметичність виробничого обладнання. Певну небезпеку становлять наявність рідкого металу і шлаку.

Умови розвитку пожежі в будівлях і спорудах багато в чому визначається ступенем їх вогнестійкості. Ступенем вогнестійкості називається здатність будівлі (споруди) в цілому чинити опір руйнуванню під час пожежі. Будинки і споруди за ступенем вогнестійкості поділяються на вісім ступенів. Ступінь вогнестійкості залежить від горючості і вогнестійкості основних будівельних конструкцій 3 ступеня вогнестійкості не повинно перевищувати трьох. Будівля мартенівського цеху відноситься до III ступеня - будівлі, у яких основні несучі

конструкції, що не згорають, а не несучі важко-горючі (межа вогнестійкості 0,252 г).

Межа вогнестійкості - це час в годинах, після закінчення якого конструкція втрачає несучу здатність. Втрата несучої здатності означає обвалення конструкції.

Межі вогнестійкості окремих елементів будівлі цеху:

- несучі стіни, стіни сходових клітин, колони - 2 год;
- сходові майданчики, косоури, щаблі, балки та марші в сходових клітках – 1 год.;
- зовнішні стіни з навісних панелей - 0,25 год.;
- внутрішні несучі стіни-перегородки - 0,25 год.;
- плити, настили і інші несучі конструкції міжповерхових перекриттів - 0,75 год.;
- двері, ворота, люки - 0,5 год.

У роботі по попередженню пожеж головним напрямком є пожежна профілактика - система державних та громадських заходів, що проводяться з метою попередження пожеж, створення умов для евакуації людей з палаючих будівель і швидкого гасіння пожеж.

Пожежі, що відбуваються на території промислових підприємств, можуть охопити великі площі, швидко поширюватися під дією вітру, проникати всередину будівель. Тому дотримання необхідних вимог, що стосуються змісту території, є важливою складовою частиною загальної системи протипожежного захисту всього підприємства, і окремого цеху.

Шляхи, проїзди до будівель і споруд, під'їзди до джерел зовнішнього протипожежного водопостачання, доступ до первинних засобів пожежогасіння (пожежним щитам, скриньках з піском) повинні бути завжди вільними, перебувати в справному стані.

Для полегшення і прискорення виявлення в нічний час пожежного обладнання, гідрантів, входів у будинки, територію цеху необхідно добре освітлювати.

На території всього підприємства заборонено влаштовувати звалища з горючих відходів.

У разі проведення ремонту на окремих ділянках доріг або проїздів необхідно негайно інформувати пожежну охорону.

Для проїзду пожежних автомобілів на залізничних коліях обладнуються суцільні настили на рівні верхніх країв рейок. Стоянка залізничних вагонів на переїздах без локомотива заборонена.

Для попередження вибухів в мартенівському цеху. Пов'язаних з рідкими продуктами плавки, необхідно у всіх випадках дає змогу уникнути взаємодії розплавленого металу і шлаку з вологою, їй досягти найкращого просушування жолобів, сталевий і шлаковий льоток, ківшів, підтримувати сухими робочі місця, майданчики, обладнання та інструмент. Не можна кидати в жолоби з розплавленим металом скрап, заправні матеріали, сміття і інші холодні і вологі предмети.

Виробничий процес у приміщенні оператора, вибухопожежної та пожежною небезпекою відноситься до категорії «В», пожежонебезпечні приміщення, тому що пожежа можлива у випадку несправності комп'ютера та інших електричних приладів.

Будівлю цеху побудовано з негорючих матеріалів (металоконструкцій, цегли, залізобетону, скла і т.д.) яка має II ступінь вогнестійкості.

Пожежі у приміщенні оператора можуть виникнути в результаті загоряння електрообладнання при перевантаженнях, перегрівих і коротких замиканнях (клас пожежі-Е);

У приміщенні присутні наступні пожежонебезпечні матеріали й речовини: пластмаса (комп'ютери), деревина (меблі), папір.

Небезпека виникнення пожежі в приміщенні зменшена оснащенням систем управління електрообладнанням автоматами максимального струмового захисту та плавкими запобіжниками;

У табл. 6.2 представлені первинні засоби пожежогасіння які вибираються на підставі «Типові норми належності вогнегасників».

Табл. 6.2 Перелік та норми необхідних первинних засобів пожежогасіння для приміщення оператора системи

Категорія приміщення	Гранична площа, м ²	Кіл. пож.	Пінні вогнегасники емн.10 л. (ОВП)	Порошкові вогнегасники и л			Хладонові вогнегасники емн. 2 л.	Вуглекислотні вогнегасники емн., л	
				2	5	10		2(3)	5(8)
В	42	В С	- -	--	2 -	- -	- -	- -	- -

Для гасіння можливих пожеж в цеху передбачені первинні засоби пожежогасіння, згідно з «Правилами пожежної безпеки в Україні».

Засобами автоматичного пожежогасіння на підприємстві є автоматична установка пожежогасіння з ампулами і датчики пожежогасіння. Засобом повідомлення про пожежу є електрична пожежна сигналізація автоматичної дії.

Первинними засобами пожежогасіння є порошкові вогнегасники. Вогнегасники обрані найбільш універсальні - з зарядом багатоцільового порошку, що використовуються для гасіння пожеж класів А, В, С, а також електроустаткування, що перебуває під напругою 1000 В. Кількість таких вогнегасників в приміщенні 2 одиниці.

6.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Найімовірніша надзвичайна ситуація у даному будинку – це виникнення пожежі. Для запобігання пожежі в робочому кабінеті, запропоновано заходи пожежної безпеки, приведені в табл. 6.3.

Табл. 6.3 Заходи пожежної безпеки

Вид захисту	Методи захисту	
Технічні	Пожежна сигналізація	ІПК-1 комбінований з індикацією, яка активується при високому рівні задимленості чи температури
	Засоби первинного пожежогасіння	У коридорі поруч з кабінетом розміщені вуглекислотні вогнегасники ОУ-3 ємністю 5 л
Організаційні	Проводиться інструктаж з пожежної безпеки та періодичний контроль знань правил пожежної безпеки. Розроблено план евакуації персоналу офісного приміщення	

Характеристика параметрів відповідно по будівельних норм, наведені в табл. 6.4.

Табл. 6.4 Характеристика параметрів приміщення відповідно до будівельних норм і правил

Параметр	Кабінет	Нормативні значення
Висота дверного отвору, м	2	2
Ширина дверного отвору, м	0,9	0,8
Відкривання дверей	Назовні	Назовні
Сходова клітка	Бетонна	Бетонна

Відповідно до ДБН В.1.1.7–2002, шляхи евакуації людей при пожежі для даного приміщення відповідають встановленим нормам (рис. 6.1).

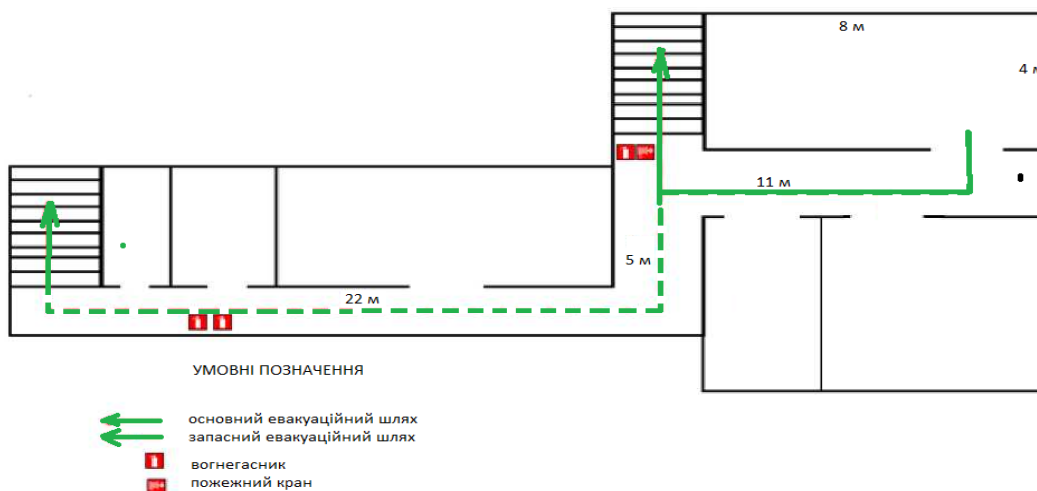


Рис. 6.1 План евакуації

Таким чином, всі запропоновані заходи щодо забезпечення пожежної безпеки та охорони праці направлено на створення оптимальних умов праці відповідно до чинних нормативно-правових та нормативно-технічних документів.

6.5 Висновок

У цьому розділі кваліфікаційній роботі розглянуто питання з охорони праці та безпеки на ділянці оператора системи керування сталеплавильного цеху.

У кваліфікаційній роботі розглянуті питання техніка безпеки для створення безпечних і сприятливих умов праці, розглянута пожежна профілактика і заходи з цивільного захисту у надзвичайних ситуаціях.

ВИСНОВКИ

Технологічний об'єкт, що розглядається в кваліфікаційній роботі, – механізм переміщення електродів дугової сталеплавильної печі. Об'єктом дослідження є одна з локальних систем автоматичного керування печі, завданням керування якої є забезпечення заданої швидкості переміщення електродів. Предметом дослідження є закони автоматичного керування швидкістю руху електродів.

Об'єкт керування є неперервним та одномірним з одним керуючим входом (керуючий сигнал на перетворювач частоти приводу механізму переміщення електродів) та одним керованим виходом (швидкість руху електродів), але він є складним для керування через наявність, з однієї сторони, досить жорсткої вимоги до швидкодії системи, а з іншої – наявності обмежень щодо керуючого впливу та його диференціалу за часом.

У ході синтезу й дослідження системи автоматичного керування отримані наступні висновки:

1. Встановлено, що за умови оптимізації зовнішнього контуру керування за пройденою електродами відстанню під фільтр Еллерта замкнена передаточна функція системи автоматичного керування швидкістю переміщення електродів повинна відповідати підсилювальній ланці з коефіцієнтом підсилення одиниця. Але при цьому маємо суттєве перевищення фактичним прискоренням руху електродів свого допустимого значення. Тому до передаточної функції регулятора швидкості переміщення електродів у дуговій електросталеплавильній печі введена штучна інерційність, яка визначається постійною часу регулятора. При цьому за критерій якості настройки регулятора швидкості руху електродів введений критерій, що характеризує ступінь відхилення перехідного процесу на виході системи від одиничного східчастого сигналу (інтегральна похибка керування, що є площиною між графіком перехідного процесу та графіком східчастого сигналу).

2. Виявлено, що залежність інтегральної похибки керування від постійної часу регулятора швидкості руху електродів є прямою й майже лінійною. У свою чергу залежність максимального фактичного прискорення руху електродів від постійної часу регулятора швидкості є зворотною й нелінійною. Таким чином, згідно з першою встановленою закономірністю, постійна часу регулятора повинна бути якомога менше, але, з оглядом на другу встановлену закономірність, постійна часу обирається такою, щоб фактичне максимальне прискорення руху електродів дорівнювало своєму допустимому значенню.

3. Отримані результати досліджень дозволили запропонувати спосіб налаштування регулятора швидкості переміщення електродів у дуговій сталеплавильній печі для випадку використання підпорядкованої системи керування переміщенням електродів, де контур керування за швидкістю є внутрішнім. Цей спосіб дозволяє мінімізувати вплив інерційності контуру керування за швидкістю на перехідний процес на виході системи підпорядкованого керування за пройденою електродами відстанню, за рахунок чого забезпечується максимально точне позиціонування електродів без перевищення обмежень щодо динаміки їх руху.

У роботі проаналізована та доведена економічна доцільність проектування системи автоматизованого управління електродуговою піччю. Визначено, що впровадження проекрованої системи автоматизованого управління електродуговою піччю потребує 85,8 тис. грн. капіталовкладень. Експлуатаційні витрати складуть 458,4 тис. грн.

Також у кваліфікаційній роботі розглянуті питання техніки безпеки для створення безпечних і сприятливих умов праці, розглянута пожежна профілактика і заходи з цивільного захисту у надзвичайних ситуаціях.

Перелік посилань

1. Основи металургії, т. 1—6, М., 1961—73.
2. Основи металургійного виробництва металів і сплавів: Підручник / Д.Ф. Чернега, В.С. Богушевський, Ю.Я. Готвянський та ін.. – К.: Вища шк., 2006. – 503 с.
3. Егоров А.В. Электроплавильные печи черной металлургии. - М.: Металлургия, 1985.-280 с.
4. Нікіфорова В. Економічний огляд металургійної галузі України / Рейтинг: Інститут економіки промисловості НАН України [сайт]. – 2019. Режим доступу: <https://rating.zone/ekonomichnyj-ohliad-metalurhijnoi-haluzi-ukrainy/>
5. Электрические промышленные печи: Дуговые печи и установки специального нагрева: Учебник для вузов /А. Д. Свенчанский, И. Т. Жердев, А. М. Кручинин и др.; Под ред. А. Д. Свенчанского. Изд. 2-е, перераб. и доп. — М.: Энергоиздат, 1981. — 296 с.
6. Смирнов В. О., Білецький В. С. Фізичні та хімічні основи виробництва. – Донецьк: Східний видавничий дім, 2005. ISBN 966-7804-90-9
7. Методичні рекомендації до виконання атестаційної роботи магістра студентами спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / В.В. Ткачов, А.В. Бубліков, М.М. Трипутень, С.М. Проценко, О.О. Бойко, В.І. Шевченко – МОН України. – Дніпро: НТУ «ДП», 2018. – 35 с.
8. Шаруда В.Г., Ткачов В.В., Бубліков А.В. Дослідницька частина в кваліфікаційній роботі магістра : навч. посіб. – Д.: Національний гірничий університет, 2015. – 487 с.
9. Бойко О.О. Методичні вказівки до лабораторних робіт з теорії автоматичного управління для студентів напрямку підготовки «Комп'ютерна інженерія» / Укл.: О.О. Бойко – Д.: Державний ВНЗ «НГУ», 2017. – 107 с. – Режим доступу: <https://goo.gl/nUMtFE>. – Назва з домашньої сторінки Інтернету.
10. Міждержавний стандарт ГОСТ 12.0.003-74 (1999) ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация».

11. 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.

12. 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.

13. ДСТУ 7234:2011 Дизайн і ергономіка. Обладнання виробниче. Загальні вимоги дизайну та ергономіки

14. ДСТУ 7950:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце під час виконання робіт стоячи. Загальні ергономічні вимоги.

15. 15 ДСТУ 8604:2015 Дизайн і ергономіка. Робоче місце для виконання робіт у положенні сидячи. Загальні ергономічні вимоги

Додаток А

Програмні модулі системи управління

А.1 Модуль об'єкта управління

```
(*
*
* File: MOD_SYS_group.exp
*
* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem
"MOD_SYS_group/Об'єкт"
*
* Model name                : MOD_SYS_group
* Model version              : 1.30
* Model creator              : WORK
* Model last modified by    : Marushka
* Model last modified on    : Sun Jan 02 11:52:43 2022
* Model sample time         : 0s
* Subsystem name            : MOD_SYS_group/Об'єкт
* Subsystem sample time    : 0.1s
* Simulink PLC Coder version : 1.6 (R2013b) 08-Aug-2013
* ST code generated on     : Sun Jan 02 11:53:17 2022
*
* Target IDE selection      : 3S CoDeSys 2.3
* Test Bench included      : No
*
*)
FUNCTION_BLOCK sfun_target
VAR_INPUT
    ssMethodType: SINT;
    Object_control: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    Object_speed: LREAL;
END_VAR
VAR
    DiscreteTransferFcn_states: LREAL;
    DiscreteTransferFcn1_states: LREAL;
END_VAR
VAR_TEMP
    DiscreteTransferFcn: LREAL;
END_VAR
CASE ssMethodType OF
    SS_INITIALIZE:
        (* InitializeConditions for DiscreteTransferFcn:
'<S1>/Discrete Transfer Fcn' *)
        DiscreteTransferFcn_states := 0.0;
        (* InitializeConditions for DiscreteTransferFcn:
'<S1>/Discrete Transfer Fcn1' *)
```

```

        DiscreteTransferFcn1_states := 0.0;
    SS_STEP:

        (* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn' *)
        DiscreteTransferFcn := 0.117503097415405 *
DiscreteTransferFcn_states;

        (* Outport: '<Root>/Object_speed' incorporates:
        * DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn1' *)
        Object_speed := 0.283468689426211 *
DiscreteTransferFcn1_states;

        (* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer
Fcn' incorporates:
        * Update for Inport: '<Root>/Object_control' *)
        DiscreteTransferFcn_states := Object_control - (-
0.882496902584595 * DiscreteTransferFcn_states);

        (* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer
Fcn1' *)
        DiscreteTransferFcn1_states := DiscreteTransferFcn - (-
0.716531310573789 * DiscreteTransferFcn1_states);
    END_CASE;
END_FUNCTION_BLOCK
VAR_GLOBAL CONSTANT
    SS_INITIALIZE: SINT := 0;
    SS_STEP: SINT := 1;
END_VAR
VAR_GLOBAL
END_VAR

```

A.2 Модуль регулятора

```

(*)
*
* File: MOD_SYS_group.exp
*
* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem
"MOD_SYS_group/РЕГУЛЯТОР"
*
* Model name : MOD_SYS_group
* Model version : 1.30
* Model creator : WORK
* Model last modified by : Marushka
* Model last modified on : Sun Jan 02 11:52:43 2022
* Model sample time : 0s
* Subsystem name : MOD_SYS_group/РЕГУЛЯТОР
* Subsystem sample time : 0.1s
* Simulink PLC Coder version : 1.6 (R2013b) 08-Aug-2013
* ST code generated on : Sun Jan 02 11:52:50 2022
*
* Target IDE selection : 3S CoDeSys 2.3
* Test Bench included : No

```

```

*)
FUNCTION_BLOCK sfun_target
VAR_INPUT
    ssMethodType: SINT;
    reg_error: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    reg_control: LREAL;
END_VAR
VAR
    DiscreteTransferFcn2_states: LREAL;
    DiscreteTransferFcn3_states: LREAL;
END_VAR
VAR_TEMP
    DiscreteTransferFcn2_tmp: LREAL;
    DiscreteTransferFcn3_tmp: LREAL;
END_VAR
CASE ssMethodType OF
    SS_INITIALIZE:
        (* InitializeConditions for DiscreteTransferFcn:
        '<S1>/Discrete Transfer Fcn2' *)
        DiscreteTransferFcn2_states := 0.0;

        (* InitializeConditions for DiscreteTransferFcn:
        '<S1>/Discrete Transfer Fcn3' *)
        DiscreteTransferFcn3_states := 0.0;
    SS_STEP:
        (* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn2'
        incorporates:
        * Inport: '<Root>/reg_error' *)
        DiscreteTransferFcn2_tmp := reg_error - (-
        0.818730753077982 * DiscreteTransferFcn2_states);

        (* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn3'
        incorporates:
        * DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn2' *)
        DiscreteTransferFcn3_tmp := ((0.8 *
        DiscreteTransferFcn2_tmp) + (-0.709365376538991 *
        DiscreteTransferFcn2_states)) - (-DiscreteTransferFcn3_states);

        (* Outport: '<Root>/reg_control' incorporates:
        * DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn3' *)
        reg_control := (0.3 * DiscreteTransferFcn3_tmp) + (-0.2 *
        DiscreteTransferFcn3_states);

        (* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer
        Fcn2' *)
        DiscreteTransferFcn2_states := DiscreteTransferFcn2_tmp;

```

```
(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer
Fcn3' *)
    DiscreteTransferFcn3_states := DiscreteTransferFcn3_tmp;
END_CASE;
END_FUNCTION_BLOCK
VAR_GLOBAL CONSTANT
    SS_INITIALIZE: SINT := 0;
    SS_STEP: SINT := 1;
END_VAR
VAR_GLOBAL
END_VAR
```

Додаток Б

Програмне забезпечення системи управління

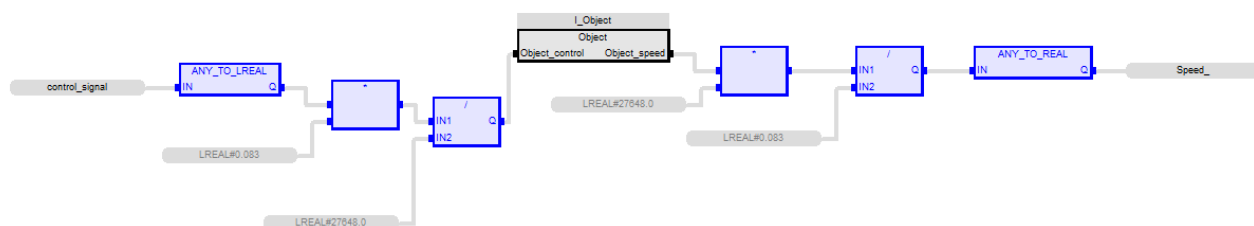
Б.1 Програмне забезпечення об'єкта

Б.1.1 Список програм

[FBD] Main

[ST] Object

Б.1.2 Основна програма



Б.1.3 Користувальницький функціональний блок

(* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn' *)

DiscreteTransferFcn := LREAL#0.117503097415405 *

DiscreteTransferFcn_states;

(* Output: '<Root>/Object_speed' incorporates:

* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn1' *)

Object_speed := LREAL#0.283468689426211 *

DiscreteTransferFcn1_states;

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn' incorporates:

* Update for Inport: '<Root>/Object_control' *)

DiscreteTransferFcn_states := Object_control - (LREAL#-0.882496902584595 * DiscreteTransferFcn_states);

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn1' *)

```
DiscreteTransferFcn1_states := DiscreteTransferFcn - (LREAL#-
0.716531310573789 * DiscreteTransferFcn1_states);
```

Б.1.4 Перелік змінних

```
VAR_INPUT
  Object_control : LREAL ;
END_VAR
VAR_OUTPUT
  Object_speed : LREAL ;
END_VAR
VAR
  DiscreteTransferFcn_states : LREAL ;
  DiscreteTransferFcn1_states : LREAL ;
  DiscreteTransferFcn : LREAL ;
END_VAR
```

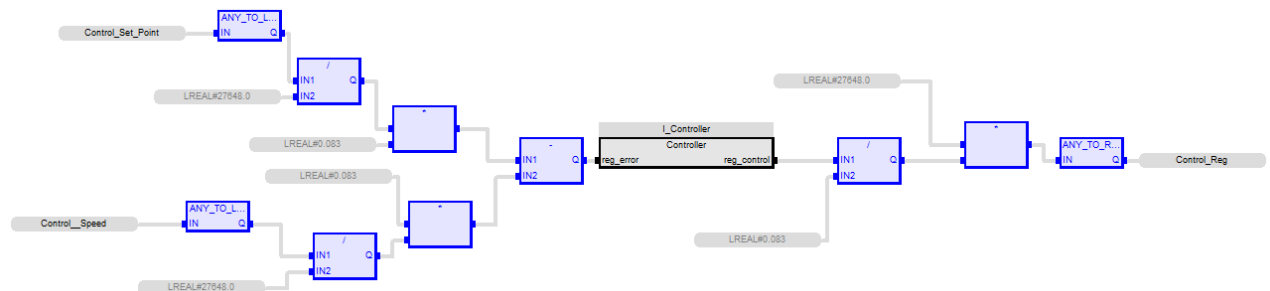
Б.2 Програмне забезпечення регулятора

Б.2.1 Список програм

[FBD] Main

[ST] Controller

Б.2.2 Основна програма



Б.2.3 Користувальницький функціональний блок

(* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn2' incorporates:

* Inport: '<Root>/reg_error' *)

```
DiscreteTransferFcn2_tmp := reg_error - (LREAL#-0.818730753077982
```

```
* DiscreteTransferFcn2_states);
```

```
(* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn3' incorporates:
```

```

* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn2' *)
DiscreteTransferFcn3_tmp      :=      ((LREAL#0.8
DiscreteTransferFcn2_tmp)      +      (LREAL#-0.709365376538991
DiscreteTransferFcn2_states)) - ( -DiscreteTransferFcn3_states);

```

(* Output: '<Root>/reg_control' incorporates:

```

* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn3' *)
reg_control := (LREAL#0.3 * DiscreteTransferFcn3_tmp) + (LREAL#-
0.2 * DiscreteTransferFcn3_states);

```

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn2' *)

```
DiscreteTransferFcn2_states := DiscreteTransferFcn2_tmp;
```

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn3' *)

```
DiscreteTransferFcn3_states := DiscreteTransferFcn3_tmp;
```

Б.2.4 Перелік змінних

```

VAR_INPUT
  reg_error : LREAL ;
END_VAR
VAR_OUTPUT
  reg_control : LREAL ;
END_VAR
VAR
  DiscreteTransferFcn2_states : LREAL ;
  DiscreteTransferFcn3_states : LREAL ;
  DiscreteTransferFcn2_tmp : LREAL ;
  DiscreteTransferFcn3_tmp : LREAL ;
END_VAR

```

Додаток В

Програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу

В.1 Драйвера

State	Identification	Description	File name
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	Driver for internal v...		Intern
	Driver for mathema...		MATHDR32
	Driver for system va...		SYSDRV
	zenon Logic: Contr...		STRATONNG
	VIPA		S7TCP32

В.2 Перелік змінних

State	Name	Identification	Measur...	Net address	Data block	Offset	Bit num...	Alignm...	Symbol...	Driver	Data type	Decimals	Start offset
Filter text	Filter text	Filter text	Filter...	Filter text	Filter text	Filter text	Filter...	Filter...	Filter...	Filter text	Filter t...	Filter...	Filter text
	Speed_			0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	4	0
	control_signal			0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	4	0
	Controller/Global/Control_Reg			0	0	0	0	0		STRATONNG - zenon Logic...	REAL	4	0
	Controller/Global/Control_Set_Point			0	0	0	0	0		STRATONNG - zenon Logic...	REAL	4	0
	Controller/Global/Control_Speed			0	0	0	0	0		STRATONNG - zenon Logic...	REAL	4	0

В.3 Шаблони зображень



В.4 Функції

State	Name	Type	Parameter
F...	Filter text	Filter text	Filter text
	ExitRuntime	Exit Runtime	
	ReloadProject	Reload project onli...	changed objects
	SwitchTrendScreen	Screen switch	Trend (Extended Trend) - SPEED_C...
	SwitchProcessScreen	Screen switch	Tech_shem (Standard)
	SwitchCELScreen	Screen switch	CELScreen (Chronological Event Lis...
	SwitchButtonScreen	Screen switch	ButtonScreen (Standard)
	SwitchAMLScreen	Screen switch	AMLScreen (Alarm Message List) - [...
	SwitchMain	Screen switch	Main (Standard)

В.5 Зображення

State	Name	Screen type	Frame	Background color	Start function	End function
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	AMLScreen	Alarm Message List	MainScreen	<input type="checkbox"/> #E6E6FA	< no function l...	< no function l...
	Tech_shem	Standard	MainScreen	<input type="checkbox"/> #E6E6FA	< no function l...	< no function l...
	ButtonScreen	Standard	Buttons	<input type="checkbox"/> #E6E6FA	< no function l...	< no function l...
	CELScreen	Chronological Event List	MainScreen	<input checked="" type="checkbox"/> #68838B	< no function l...	< no function l...
	Trend	Extended Trend	MainScreen	<input checked="" type="checkbox"/> #68838B	< no function l...	< no function l...
	Main	Standard	MainScreen	<input type="checkbox"/> #E6E6FA	SwitchButtonS...	< no function l...

