

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 Ужви Олександра Ігоровича
(ПІБ)

академічної групи 151М-19-1
(шифр)

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(код і назва спеціальності)

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

на тему Дослідження та синтез системи автоматичного керування витратами газу у газопроводі мартенівської 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	ст. викл. Бойко О. О.			
Економічна частина	ст. викл. Яремчук І.О.			
Охорона праці	проф. Чеберячко Ю.І.			
Рецензент				
Нормоконтролер	ас. Славінський Д.В.			

Дніпро
2020

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

_____ Ткачов В.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

«_____» _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ на кваліфікаційну роботу ступеня магістра

студенту Ужві О.І. академічної групи 151М-19-1
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

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

(офіційна назва)

на тему Дослідження та синтез системи автоматичного керування витратами газу у газопроводі мартенівської печі,

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 20.11.2020 № 965-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	01.10.20 – 07.10.20
Теоретичний	Обґрунтувати теоретичну базу розв'язання наукового завдання, якому присвячено роботу	07.10.20 – 15.10.20
Синтез системи керування	Провести синтез системи та її дослідження із використанням методів та інструментів, що обґрунтовані та створені у теоретичному розділі	15.10.20 – 01.11.20
Експериментальний	Розробка програмного забезпечення системи керування на підставі обраного регулятора та його налаштувань	01.11.20 – 15.11.20
Економічна частина	Обґрунтувати доцільність витрат на створення та експлуатацію системи керування	15.11.20 – 25.11.20
Охорона праці	Розробити організаційно-технічні заходи щодо реалізації правил безпеки при експлуатації системи	25.11.20 – 07.12.20

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

Дата видачі 01.09.2020

Дата подання до атестаційної комісії 14.12.2020

Прийнято до виконання _____ Ужва О.І.
(підпис студента) (прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 84 с., 59 рис., 4 табл., 3 додатки, 18 джерел.

Об'єкт розробки – система автоматичного управління витратами коксувального газу на ділянці газопроводу мартенівської печі.

Предмет розробки – алгоритм автоматичного керування витратами газу у газопроводі мартенівської печі та програмне забезпечення, що його реалізує.

Зроблений аналіз мартенівської печі як об'єкта автоматизації та за його результатами сформовані вимоги щодо якості функціонування системи автоматичного керування витратами газу у газопроводі мартенівської печі.

Проведено розрахунок параметрів ПД-регулятора за методом синтезу системи автоматичного керування Зіглера-Нікольса з коригуванням загального коефіцієнта підсилення регулятора на основі вимог щодо якості функціонування системи автоматичного керування.

За допомогою створеної імітаційної моделі системи автоматичного керування витратами газу у газопроводі мартенівської печі проведений обчислювальний експеримент, що підтвердив якість функціонування системи автоматичного керування за умови імітування реальних умов роботи мартенівської печі.

Із використанням SCADA-програми Zenon створено програмне забезпечення системи автоматичного керування та людино-машинного інтерфейсу з перевіркою коректності його функціонування.

Ключові слова: *синтез системи автоматичного керування, імітаційна модель, витрати газу, мартенівська піч, SCADA-програма Zenon.*

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, скорочень та визначень	6
Вступ	7
1 Стан питання та постановка завдання	9
1.1 Галузь промисловості	9
1.2 Технологічний процес	10
1.3 Об'єкт керування	11
1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування	11
1.3.2 Структура об'єкту керування	13
1.3.3 Принцип функціонування об'єкту керування	14
1.4 Структура системи керування	16
1.5 Формулювання задачі дослідження	19
1.6 Висновки до розділу	19
2 Теоретичний розділ	21
2.1 Модель системи автоматичного керування	21
2.2 Критерії якості функціонування системи керування	27
2.3 Висновки до розділу	28
3 Синтез та дослідження системи керування	30
3.1 Синтез та дослідження системи автоматичного керування	30
3.2 Оцінка якості функціонування системи автоматичного керування	38
3.3 Висновки до розділу	46
4 Експериментальний розділ	47
4.1 Цифрова модель об'єкта керування	47
4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування	51
4.3 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейса ...	53
4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення	56
4.5 Висновки до розділу	57
5 Економічна частина	58
5.1 Розрахунок капітальних витрат	58

	5
5.2 Експлуатаційні витрати	62
5.3 Оцінка економічної ефективності	65
5.4 Висновок до розділу	66
6 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	68
Висновки	82
Перелік посилань	85
Додаток А Програмні модулі системи керування	87
Додаток Б Програмне забезпечення системи керування	93
Додаток В Програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу	98

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

САК	– Система автоматичного керування;
ЛМІ	– Людино-машинний інтерфейс;
ПК	– Персональний комп'ютер;
ОР	– Регулятор оптимальний за швидкодією
ПЗ	– Програмне забезпечення
МП	– Мартенівська піч
ОК	– Об'єкт керування
АСУТП	– Автоматизована система управління технологічним процесом

ВСТУП

Актуальність теми. В даний час в Україні біля 20% сталі виплавляється в мартенівських печах з автоматичним управлінням тепловим режимом. Найбільшого поширення набули мартенівські печі ємністю 200 – 600 тон, що працюють на шихті, яка складається з 55 – 60% рідкого чавуну і 45 – 40% сталевого скрапу. Для окислення домішок чавуну і утворення шлаку в шихту вводиться 3 – 8% залізної руди (від маси металеві шихти) і 4 – 7% вапняку. Печі працюють на газовому опаленні з використанням кисню для інтенсифікації процесу.

Введення автоматизації теплового режиму мартенівської печі дозволяє знизити витрату палива в середньому до 5%, підвищити продуктивність на 5–8% і скоротити витрату вогнетривів на 8–10%. Тому дослідження з метою вдосконалення процесів керування тепловим режимом мартенівських печей є актуальним науково

Мета і задачі дослідження. Мета магістерської кваліфікаційної роботи полягає у підвищенні якості виготовлення сталі за рахунок вдосконалення автоматичного керування витратами газу у газопроводі мартенівської печі. Головними критеріями якості роботи системи автоматичного керування є час відпрацювання збурюючого впливу та максимальна величина відхилення керованої величини від заданого значення.

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

- аналіз процесу автоматичного керування витратами газу у газопроводі мартенівської печі, у ході якого визначені основні критерії якості роботи системи керування;
- визначення закономірностей зміни параметрів регулятора витрат газу у газопроводі мартенівської печі, при яких забезпечуються задані критерії якості перехідного процесу на виході системи автоматичного керування.

Об'єкт дослідження – процес автоматичного керування витратами газу у газопроводі мартенівської печі.

Предмет дослідження – закони та алгоритми автоматичного керування витратами газу у газопроводі мартенівської печі.

Методи дослідження. Для дослідження системи автоматичного керування витратами газу у газопроводі мартенівської печі використані методи теорії автоматичного керування та системний аналіз. Дослідження проведені на основі обчислювальних експериментів з використанням аналітичних та комп'ютеризованих методів синтезу систем автоматичного керування. Оцінювання ефективності процесу автоматичного керування здійснене з використанням методів математичної статистики.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:

Досягнення раціональних значень критеріїв якості роботи системи автоматичного керування витратами газу у газопроводі мартенівської печі можливе лише при таких настройках регулятора, при яких швидкість зміни у часі вихідного керуючого сигналу з регулятора не перевищує обмеження щодо швидкості зміни у часі сигналу на виході приводу заслінки, що присутнє у динамічних властивостях об'єкта керування.

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

1.1 Галузь промисловості

Станом на 2018 рік певні металургійні підприємства України вже відновили обсяги виробництва металургійної продукції до рівня, що був у 2013 році [1]. Наприклад, на підприємстві «Укрметалургпром» виробництво чавуну в першому кварталі склало 5,25 млн тон, що на 8% більше показника за перший квартал минулого року. При цьому, у березні 2018 року металургійними підприємствами вироблено 1,68 млн. тон чавуну (+ 3% порівняно з лютим 2018 року), 1,71 млн. тон сталі (+ 6%) та 1,51 млн. т. прокату (+ 7%).

Щодо іншої продукції, то виробництво сталі за вказаний період склало 5,23 млн. т. (97% і 105% відповідно), прокату – 4,59 млн. т. (98% і 108% відповідно). Трубною продукцією за перші три місяці 2018 року вироблено 269 тис. тон (на 11% більше), залізорудного концентрату – 15,2 млн. тон (100% порівняно з аналогічним періодом 2017 року); агломерату – 7,96 млн т (+ 8%); окатишів – 5,3 млн. тон (+ 7%); коксу – 2,7 млн. тон (+ 5%).

Збільшення виробництва чавуну у першому кварталі 2018 року, у порівнянні з аналогічним періодом 2017 року, відбулося завдяки стабілізації забезпечення підприємств залізорудною сировиною і коксом (маріупольські металургійні комбінати та «Дніпровський металургійний комбінат»), а також завдяки введенню в експлуатацію доменної печі № 3 на МК "Запоріжсталь" після реконструкції.

Певне зниження загального рівня випуску сталі і прокату за перший квартал 2018 року є наслідком втрати частини потужностей на непідконтрольній Україні території. У той же час, порівняльний аналіз результатів діяльності металургійних підприємств на підконтрольній території у першому кварталі 2017 та 2018 років свідчить про збільшення обсягів виробництва основних видів продукції.

Станом на 10 квітня 2019 року, з основних потужностей в експлуатації перебувають: 19 з 21 доменних печей, 7 з 9 мартенівських печей, 12 з 16

конвертерів, 7 з 15 електропечей і 14 з 14 машин безперервного лиття заготовки.

Отже, металургійна промисловість станом на 2020 рік залишається однією з основних галузей економіки України, забезпечуючи долю експорту країни на рівні 20%, та займаючи за цим показником другу сходинку після аграрно-промислового комплексу.

1.2 Технологічний процес

Основною відмінністю мартенівського процесу від інших методів виплавки сталі є використання в якості джерела теплоти реакцій згоряння газоподібного палива (природний газ, суміш коксового і доменного газів) безпосередньо в печі. Вихідними матеріалами для мартенівського процесу служать рідкий або твердий "переробний" чавун, металобрухт (скрап), високоякісна залізна руда і флюси.

Плавка в мартенівській печі ділиться на кілька стадій:

1. Завалка шихти.

2. Прогрів шихти і заливка рідкого чавуну. При спалюванні розігрітого газу в атмосфері розігрітого повітря в пальнику утворюється факел полум'я, що піднімає температуру в робочому просторі печі до 1700°C . Тверді шихтові матеріали починають плавитися на подині.

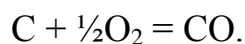
3. Плавлення:

а) завантажені в піч матеріали поступово розплавляються, залізо та інші домішки окислюються, утворюються такі оксиди, як FeO , SiO_2 , MnO , P_2O_5 , CO_2 ;

б) з цих негазоподібних оксидів та шлакоутворюючих матеріалів, що завантажуються в піч (флюсу – вапняку, кварциту, плавикового шпату), формується шлак;

в) після закінчення плавлення на подині печі розташовується рідкий метал, покритий шаром шлаку.

4. «Кипіння» сталі. На цій стадії відбувається окислення вуглецю:



Роль цієї реакції виключно важлива. Утворені в розплаві бульбашки окислу вуглецю через рідкий метал спрямовуються до його поверхні і захоплюють за собою інші домішки, зокрема гази, розчинені в металі. Поверхня металевої ванни в цей період нагадує киплячу рідину.

5. Доведення сталі (розкислення і легування).

У мартенівських печах плавка триває 7 – 8 годин, і за одну плавку піч може видати до 900 тон сталі. Крім вуглецевої сталі, в мартенівських печах виплавляють багато сортів спеціальних легованих сталей.

У зв'язку з високою економічністю і гнучкістю технології киснево-конвекторного способу виплавки сталі, будівництво нових мартенівських печей припинено. Однак, на сьогодні в Україні до 30% сталі все ще виплавляється з використанням мартенів. Тому актуальним є пошук способів по інтенсифікації роботи мартенівських печей та підвищення їх енергоефективності. Одним з найбільш дієвих способів досягнення цього – вдосконалення процесів автоматичного керування виплавою сталі на різних стадіях.

1.3 Об'єкт керування

Технологічний об'єкт, що розглядається в кваліфікаційній роботі, – мартенівська піч. Цільовим продуктом є сталь з заданими показниками якості.

1.3.1 Загальна характеристика об'єкта керування

Процес виплавки сталі в мартенівських печах проводять в полум'яних відзеркалювальних печах, в яких використовується регенерація теплоти відхідних газів. Сучасна мартенівська піч представляє собою витягнуту в горизонтальному напрямку камеру 1, що складена з вогнетривкої цегли (див. рис. 1.1).

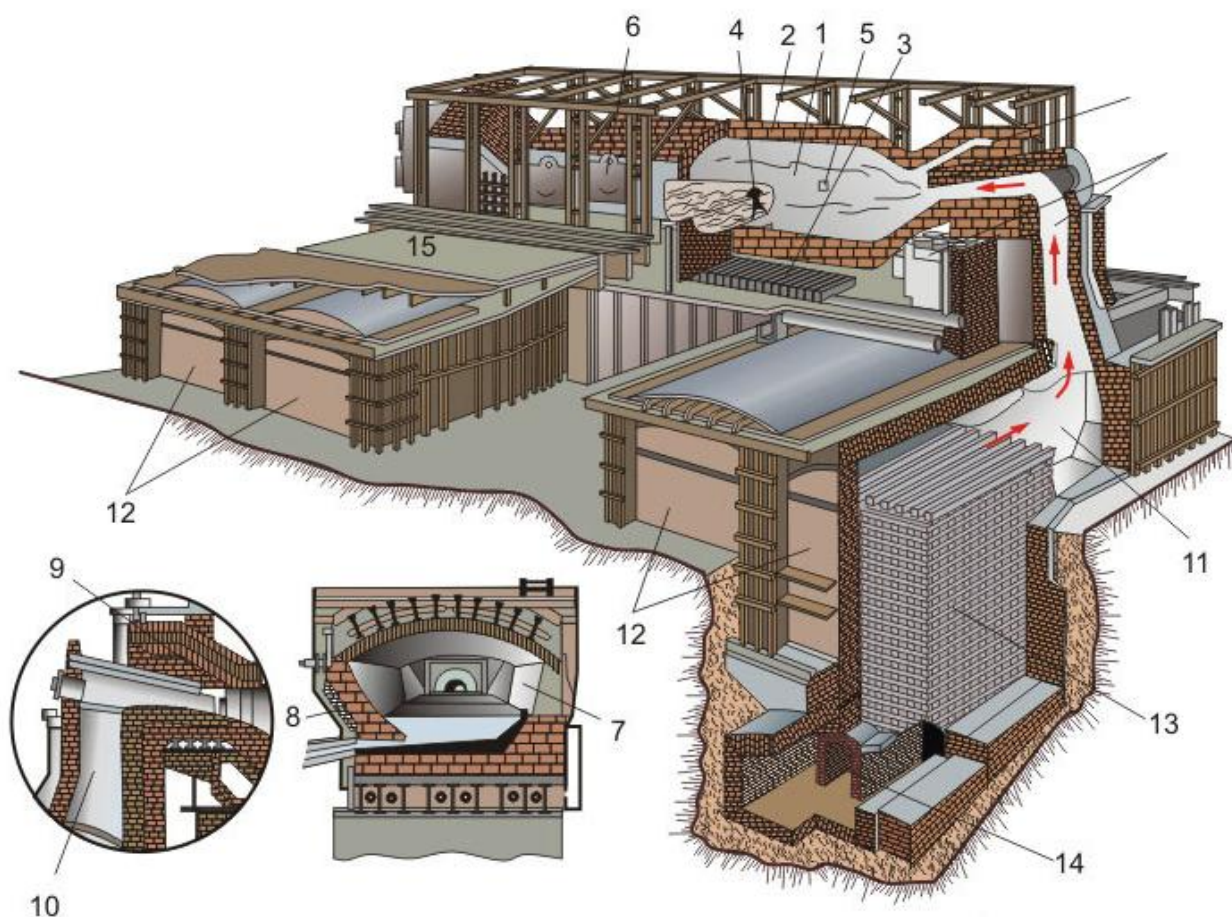


Рисунок 1.1 – Схема мартенівської печі: 1 – робочий простір; 2 – звод; 3 – подина; 4 – отвір для випуску сталі; 5 – отвір для випуску шлаку; 6 – завалочні вікна; 7 – передня стінка; 8 – задня стінка; 9 – головки; 10 – вертикальні канали; 11 – шлаковик; 12 – регенератори; 13 – насадка регенераторів; 14 – борова; 15 – робоча площадка

Нижня частина печі 3 складається з подини, яка повинна бути міцною і стійкою, оскільки на подину завантажують чавун та лом.

У кожній з торцевих стінок печі є два канали 10 – один для подачі палива, а інший – повітря, що необхідне для спалювання даного палива. Опалення печі здійснюється мазутом або газом. І газ, і повітря перед подачею в мартенівську піч нагрівають у спеціальних камерах – регенераторах 12. Регенератор представляє собою велику камеру, яка виконана з вогнетривкого матеріалу і заповнена комірками з вогнетривкої цегли, що утворюють насадку 13. Насадка

13 регенератора нагрівається теплом, що виноситься з печі разом з розпеченими продуктами згоряння палива. Тобто в регенераторах відбувається відновлення втраченого тепла – його регенерація.

Робота регенераторів відбувається по чергово – коли один нагріває повітря й газ, інший нагрівається теплом від продуктів згоряння, що видаляються з робочого простору печі через нього. Через 15–20 хвилин регенератори міняються місцями за допомогою зміни положення спеціальних перекидних клапанів, при переключенні яких змінюються входи/виходи регенераторів.

Як приклад, у табл.1.1 наведені технічні характеристики однієї з мартенівських печей, що є об'єктом керування.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики мартенівської печі

Характеристика мартенівської печі	Значення параметру
Ємність МП, т	400
Тиск під зводом у період плавлення, Па	10–55
Температура під зводом у період доводки, °С	1600–1750
Тиск у газопроводі, Па	250–300
Витрати газу, млн. м ³ /рік	1,6
Ухил зводу над головою, град.	29
Швидкість виходу продуктів згоряння, м/с	2,3
Зміст кисню у продуктах згоряння, %	0,8–2,2

1.3.2 Структура об'єкту керування

Об'єкт керування у кваліфікаційній роботі є одномірним з одним керуючим входом (привод заслінки у газопроводі) та одним керованим виходом (витрати газу у газопроводі мартенівської печі). Структурна схема об'єкта керування показана на рис.1.2.

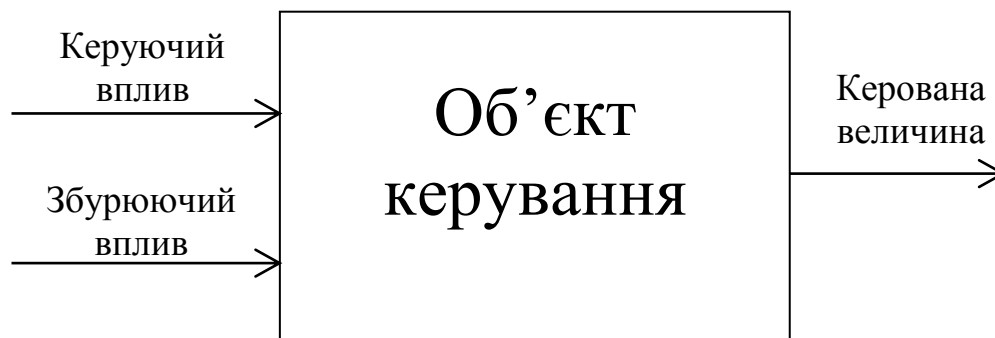


Рисунок 1.2 – Структурна схема об'єкта керування

На керуючий вхід, з урахуванням того, що виконавчим органом є привод заслінки з нерегульованим двигуном, подається дискретний електричний сигнал. Керованою величиною є витрати газу у газопроводі мартенівської печі.

Збурюючим впливом є різка зміна тиску газу на ділянці газопроводу мартенівської печі із-за перебоїв роботи вентиляторів.

1.3.3 Принцип функціонування об'єкта керування

За умови роботи мартенівської печі можна виділити три режими роботи:

- коли протягом плавлення подається постійна максимальна можлива кількість доменного газу, та регулювання подачі тепла до печі здійснюється тільки зміною кількості коксувального газу;
- коли протягом плавлення подається постійна немаксимальна кількість доменного газу, та регулювання подачі тепла до печі здійснюється тільки зміною кількості коксувального газу;
- коли протягом плавлення подається змінна кількість доменного газу, та регулювання подачі тепла до печі здійснюється зміною кількості як доменного газу, так і коксувального.

Другий режим роботи мартенівської печі є найбільш сприятливим з точки зору рівномірності виділення продуктів згорання та швидкостей виходів газів з головки печі. Нижче, на рис.1.3, для другого режиму наведений один з

теплових графіків мартенівської печі, на якому показана зміна у часі витрат газів протягом плавлення сталі.

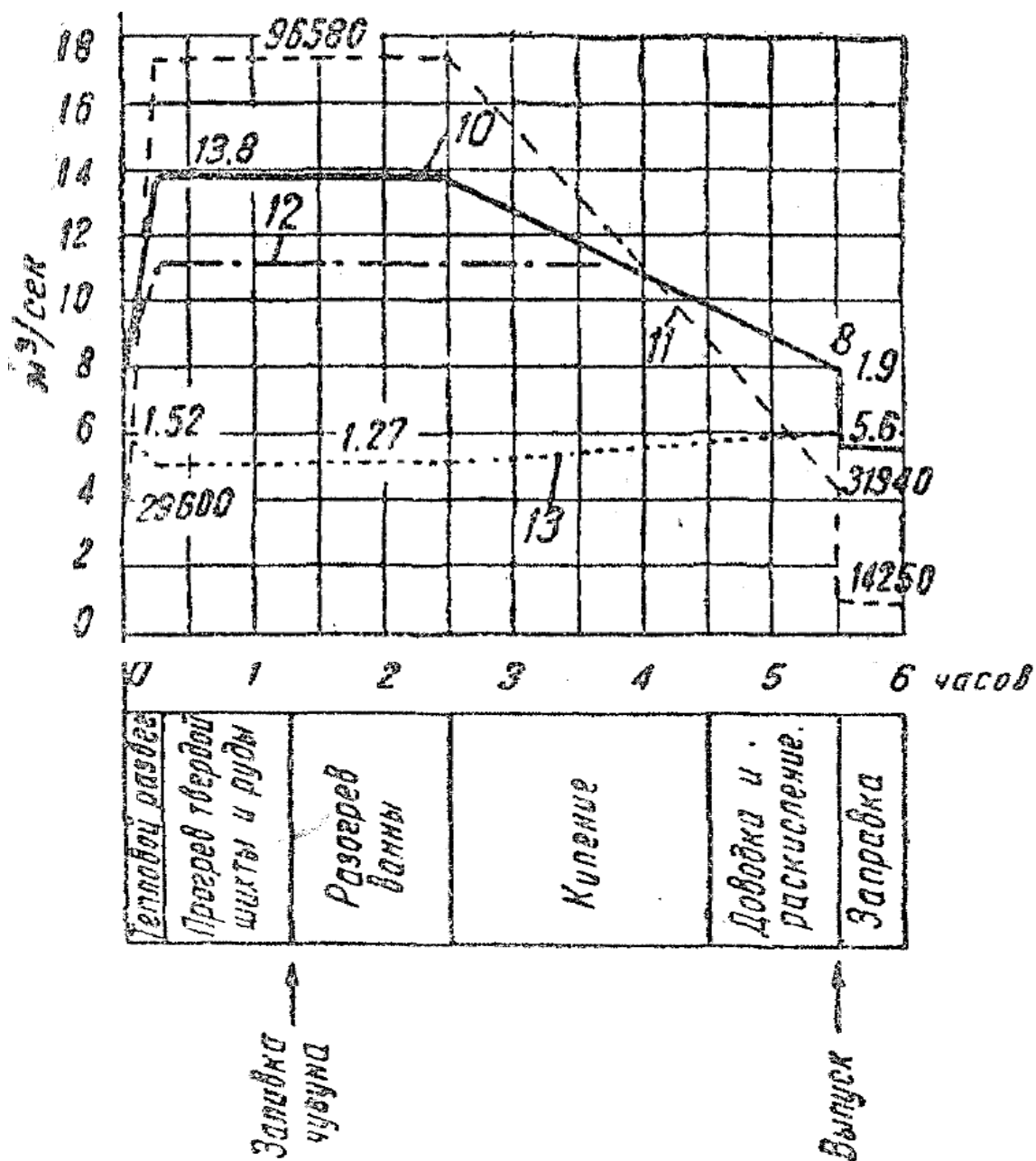


Рисунок 1.3 – Зміна у часі витрат газів протягом процесу плавлення сталі в мартенівській печі: 10 – витрати коксувального газу; 11 – кількість продуктів згорання; 12 – витрати коксувального газу за умови додавання холодного коксового газу; 13 – відношення кількості продуктів горіння та повітря

Рис.1.3 надає інформацію про характер зміни у часі уставки витрат газу у газопроводі печі. Цю інформацію можна використати для перевірки якості відпрацювання синтезованою системою автоматичного керування витратами газу в газопроводі мартенівської печі зміни уставки.

1.4 Структура системи керування

В якості об'єкту керування фактично виступає контур регулювання витратами газу у газопроводі мартенівської печі. Вхідним параметром об'єкта є електричний сигнал на нерегульований двигун привода заслінки. Вихідним параметром об'єкта керування є витрати газу у газопроводі. Основним завданням синтезованої системи автоматичного керування є максимально точно відпрацювання зміни у часі заданого значення витрат газу у газопроводі печі.

Локальна система автоматичного керування витратами газу у газопроводі печі складається з датчика витрат, виконавчого пристрою, за допомогою якого здійснюється регулювання витрат газу у газопроводі, пристрою управління, що формує керуючий вплив на основі виміряного значення витрат газу, і пульта оператора, за допомогою якого задається уставка витрат газу (рис. 1.4) .

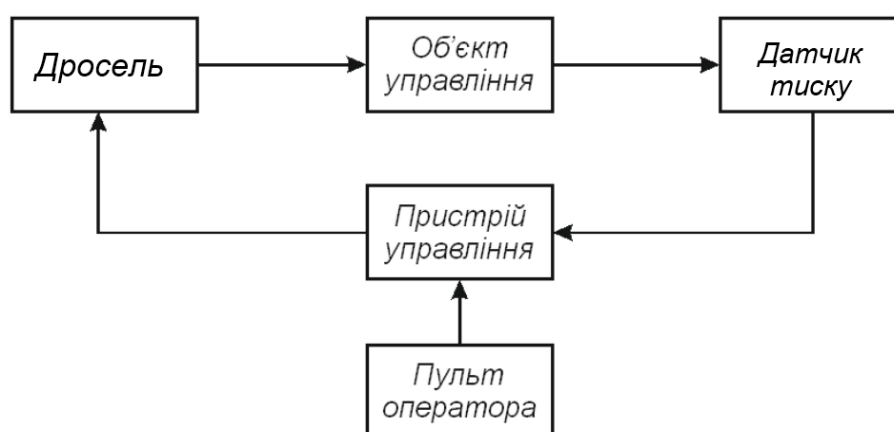


Рисунок 1.4 – Структурна схема системи автоматичного керування

Оскільки однією з функцій системи керування є візуалізація та контроль за ходом технологічного процесу, вона має містити підсистему інформаційного забезпечення роботи оператора. Ця підсистема складається з людино-

машинного інтерфейсу, реєстрації параметрів процесів і сигналізації досягнення параметрами заданих значень. Крім того, в системі керування повинно бути реалізовано архівування параметрів технологічних процесів. Тому в системі має бути присутня підсистема ведення архівів параметрів і подій, що включає базу даних та резервне сховище. З урахуванням цього, розроблена структурна схема інформаційних потоків (рис. 1.5).

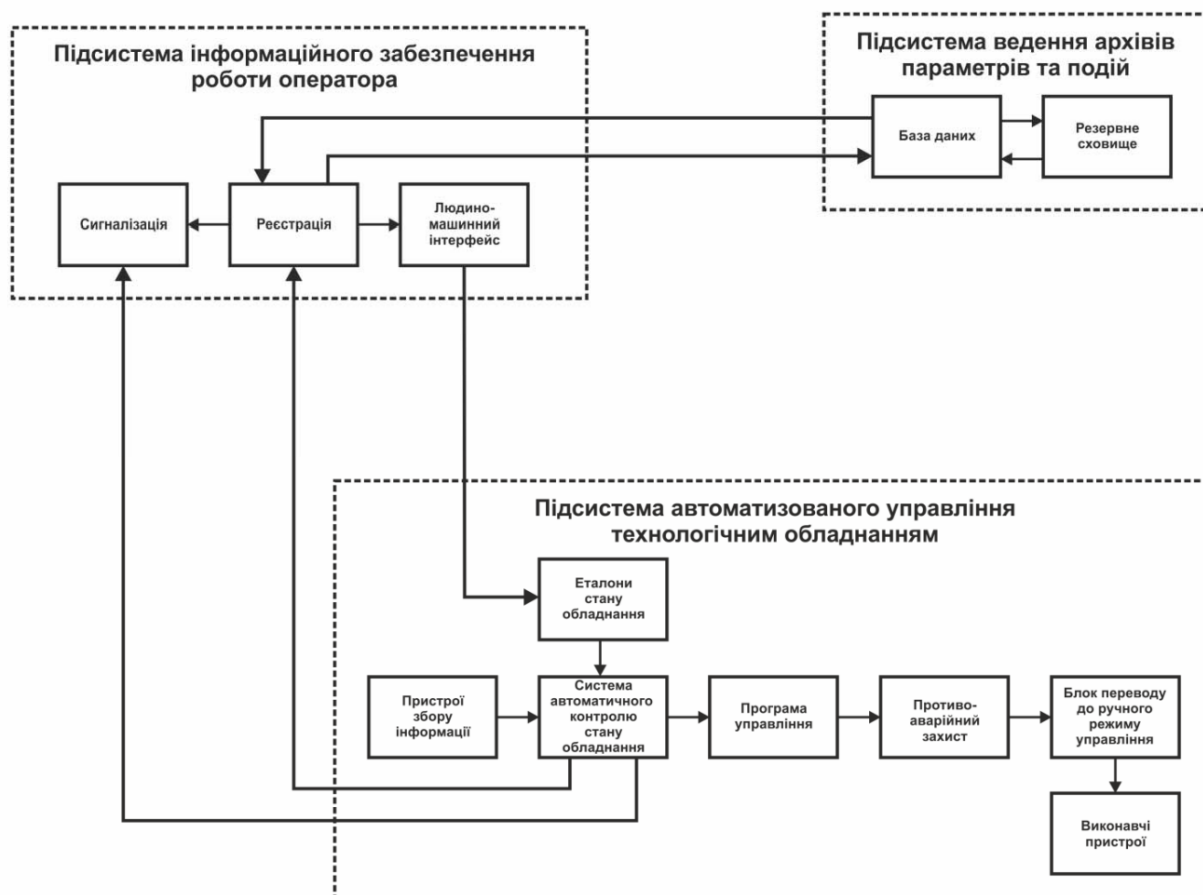


Рисунок 1.5 – Структурна схема інформаційних потоків

Структура на рис.1.5 забезпечує підтримку заданого значення витрат газу у газопроводі мартенівської печі, збір інформації про перебіг технологічного процесу, її реєстрацію, візуалізацію, збереження в базі даних та створення резервних копій. Окрім цього, запропонована структура інформаційних потоків забезпечує контроль за обладнанням і сигналізацію досягнення контрольованими параметрами заданих значень.

З урахуванням отриманих схем системи автоматичного керування, розроблена функціональна схема автоматизації, що є основним технічним

документом, який визначає структуру і функціональні зв'язки між технологічним процесом і засобами контролю і управління (рис.1.6).

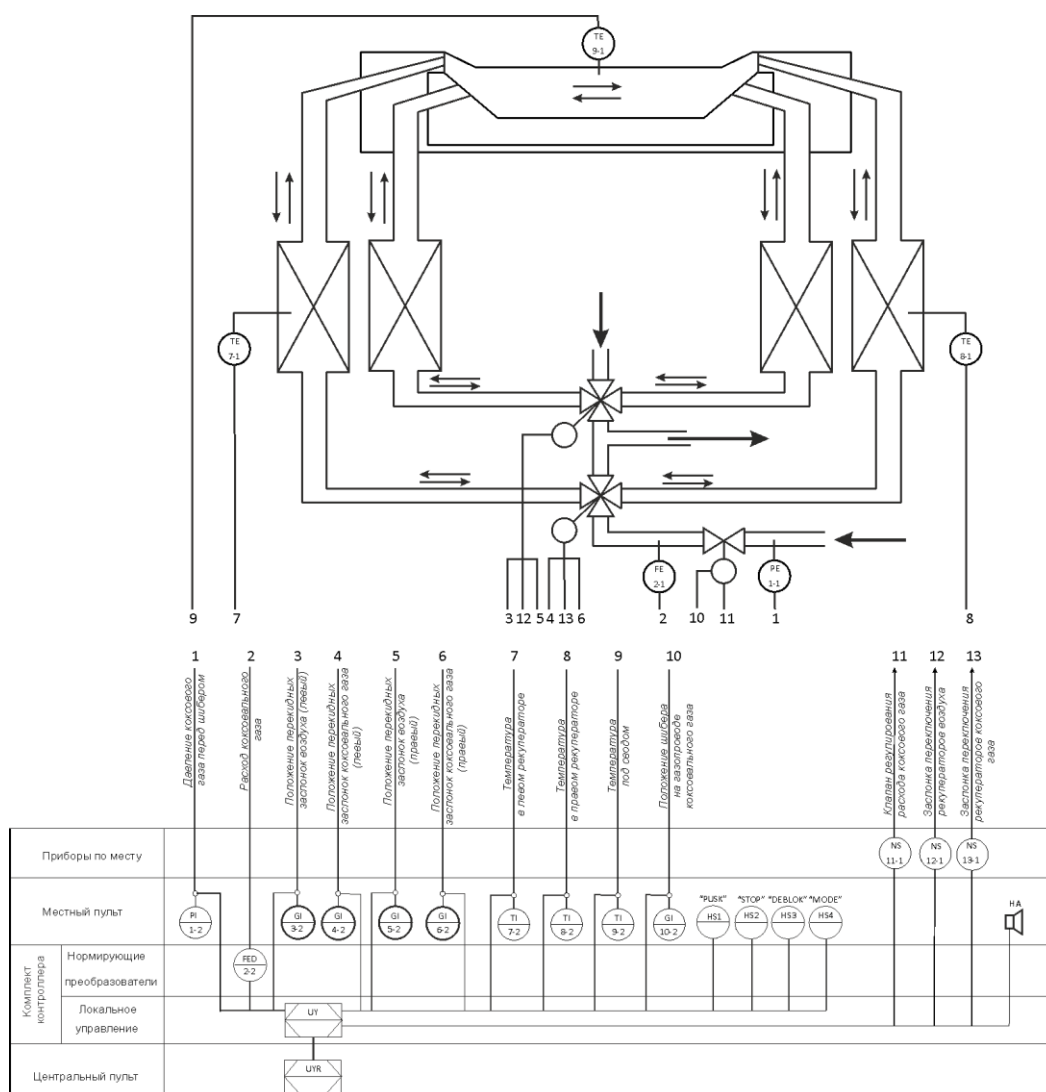


Рисунок 1.6 – Функціональна схема автоматизації

У верхній частині функціональної схеми зображена мартенівська піч, та показані умовні позначення і місце розташування чутливих елементів датчиків для контролю наступних параметрів:

- тиск коксового газу перед регулюючим клапаном;
- витрати коксового газу;
- температура всередині печі та рекуператорів;
- положення заслінок і шиберів на подачу газу та повітря в рекуператори.

У нижній частині схеми розташовуються умовні позначення приладів, засобів автоматизації, апарати управління і сигналізації. Там же наведені і місцеві прилади вимірювання та перетворення, що призначені для індикації технологічного параметра у точці відбору.

Також у нижній частині рис.1.6 у таблиці вказані кнопки управління процесом та звукова сигналізація.

1.5 Формулювання завдань дослідження

Для досягнення основної мети – забезпечення раціональних значень критеріїв якості роботи системи автоматичного керування витратами газу у газопроводі мартенівської печі за умови суттєво нелінійних характеристик об'єкта керування, необхідно виконати наступні завдання дослідження:

- з метою проведення обчислювальних експериментів створити імітаційну модель системи автоматичного керування витратами газу у газопроводі мартенівської печі;

- обґрунтувати метод синтезу системи автоматичного керування з урахуванням особливостей роботи об'єкта керування та обраних критеріїв якості роботи системи, та на основі нього провести розрахунок регулятора витрат газу у газопроводі мартенівської печі;

- провести дослідження залежності режимів роботи системи керування витратами газу у газопроводі мартенівської печі від різних налаштувань регулятора, на основі яких визначити налаштування регулятора, при яких забезпечуються раціональні значення критеріїв якості роботи системи керування.

1.6 Висновки по розділу

Технологічний об'єкт, що розглядається в кваліфікаційній роботі, – мартенівська піч. Об'єктом дослідження є одна з локальних систем автоматичного керування печі, завданням керування якої є забезпечення витрат газу у газопроводі печі згідно уставці. Предметом дослідження є закони автоматичного керування витратами газу у газопроводі мартенівської печі.

Об'єкт керування є неперервним та одномірним з одним керуючим входом (двигун привода заслінки в газопроводі) та одним керованим виходом (витрати газу у газопроводі), але динамічний характер зміни витрат газу у газопроводі у сполученні з відносно повільною зміною положення заслінки призводить до появи суттєвої нелінійності в характеристиках об'єкта керування, що робить його складним для керування.

Отже, необхідно провести дослідження залежності режимів роботи системи керування витратами газу у газопроводі мартенівської печі від різних настройок регулятора, та на основі цих досліджень визначити умову при настройці регулятора, яка забезпечує раціональні значення критеріїв якості роботи системи керування. Це дозволить системі автоматичного керування більш якісно виконувати завдання відпрацювання зміни у часі уставки витрат газу у газопроводі печі.

2 ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Модель системи автоматичного керування

З урахуванням структурної схеми системи автоматичного керування витратами газу, що була наведена у першому розділі, та за умови використання принципу замкненого керування при синтезі системи, розроблена загальна структурна схема імітаційної моделі системи автоматичного керування (рис.2.1).

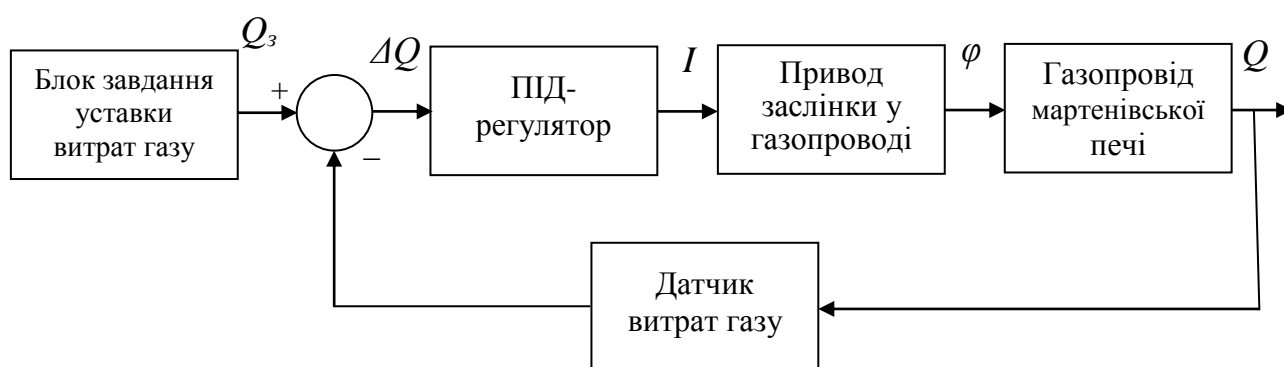


Рисунок 2.1 – Структурна схема імітаційної моделі системи автоматичного керування витратами газу в газопроводі мартенівської печі

Уставка Q_3 у блоці завдання уставки витрат газу на рис.2.1 задається у розмірності $\text{м}^3/\text{с}$ згідно рис.1.3. Для введення у додаток математичного пакету MATLAB Simulink закону зміни витрат коксுவального газу протягом циклу плавлення скористаємося блоком “Repeating Sequence”. Меню налаштувань даного блоку, що відображує бажаний закон зміни у часі витрат коксுவального газу протягом циклу плавлення (згідно рис.1.3), показане на рис.2.2. Розмірність часу за віссю абсцис, з урахуванням розмірності постійних часу передаточних функцій, є секунди (поле “Time value” на рис.2.2), а за віссю ординат (поле “Output values” на рис.2.2) – $\text{м}^3/\text{с}$ згідно рис.1.3.

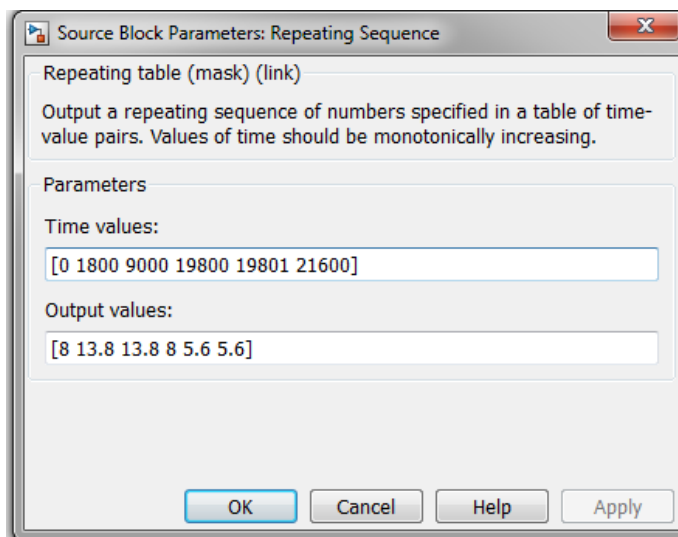


Рисунок 2.2 – Меню налаштувань блоку “Repeating Sequence”, що є імітаційною моделлю блоку завдання уставки витрат газу на рис.2.1

У якості імітаційної моделі газопроводу мартенівської печі за каналом керування «положення заслінки – витрати газу» використаємо передаточну функцію, що отримана за результатами експериментів у реальних умовах роботи печі [2]:

$$W_{OK}(s) = \frac{(18 - 3) / 100}{0,21 \cdot s^2 + 0,93 \cdot s + 1}.$$

Коефіцієнт підсилення передаточної функції об’єкта керування відображує перехід від діапазону зміни положення заслінки φ (0 – 100%) до діапазону зміни витрат газу Q (від 3 до 18 м³/с). Реалізація моделі об’єкта керування показана на рис.2.3.

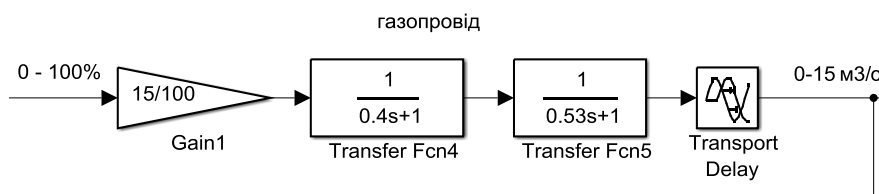


Рисунок 2.3 – Схема імітаційної моделі газопроводу мартенівської печі, що реалізована у додатку Simulink математичного пакету MATLAB

Імітаційна модель приводу заслінки у газопроводі мартенівської печі розроблена з урахуванням наступних динамічних властивостей даного елемента системи керування:

- з оглядом на швидке протікання електромагнітних процесів в електродвигуні він приймається безінерційним динамічним елементом;

- згідно з технічними характеристиками приводу заслінки, її переміщення з одного крайнього положення до іншого протікає 10 с. При цьому обертання ротора двигуна відбувається з постійною швидкістю. Таким чином, має місце двопозиційне керування двигуном. З метою запобігання автоколивань, до схеми керування двигуном приводу заслінки введена зона нечутливості $\pm 0,1\%$.

З оглядом на описані особливості роботи приводу заслінки в газопроводі мартенівської печі розроблена імітаційна модель даного елемента системи керування (рис.2.4).

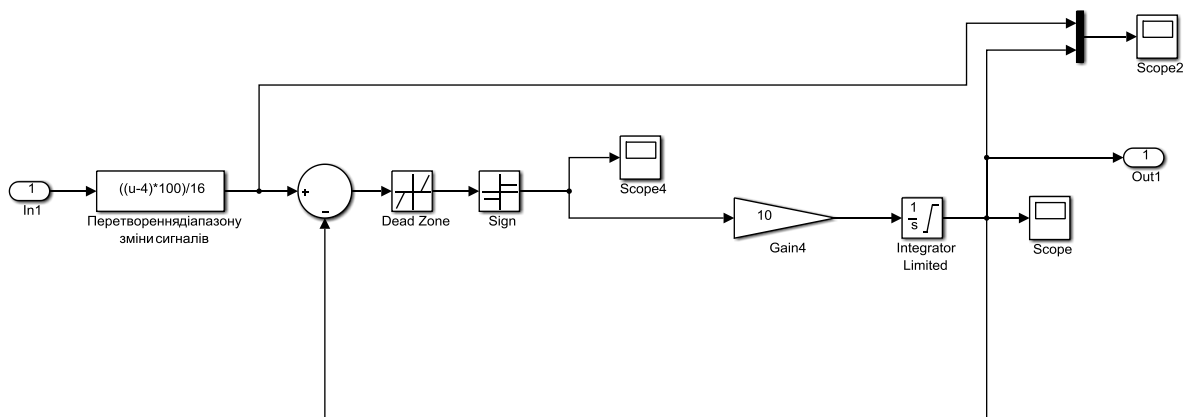


Рисунок 2.4 – Схема імітаційної моделі приводу заслінки у газопроводі мартенівської печі

Блок “Перетворення діапазону зміни сигналів” необхідний для узгодження діапазонів зміни вхідного сигналу моделі (керуючий струм від 4 до 20 мА) та вихідного сигналу (положення заслінки від 0 до 100%).

Наявність зони нечутливості вводиться до моделі на рис.2.4 за допомогою блоку “Dead Zone”. Переміщення заслінки імітується за допомогою інтегратора

з обмеженням вихідного сигналу від 0 до 100%. Коефіцієнт у блоці “Gain4” на рис.2.4 визначений таким чином, щоб забезпечити досягнення вихідної величини інтегратора значення 100 за 10 с.

Результат роботи імітаційної моделі привода заслінки у газопроводі мартенівської печі показаний на рис.2.5.

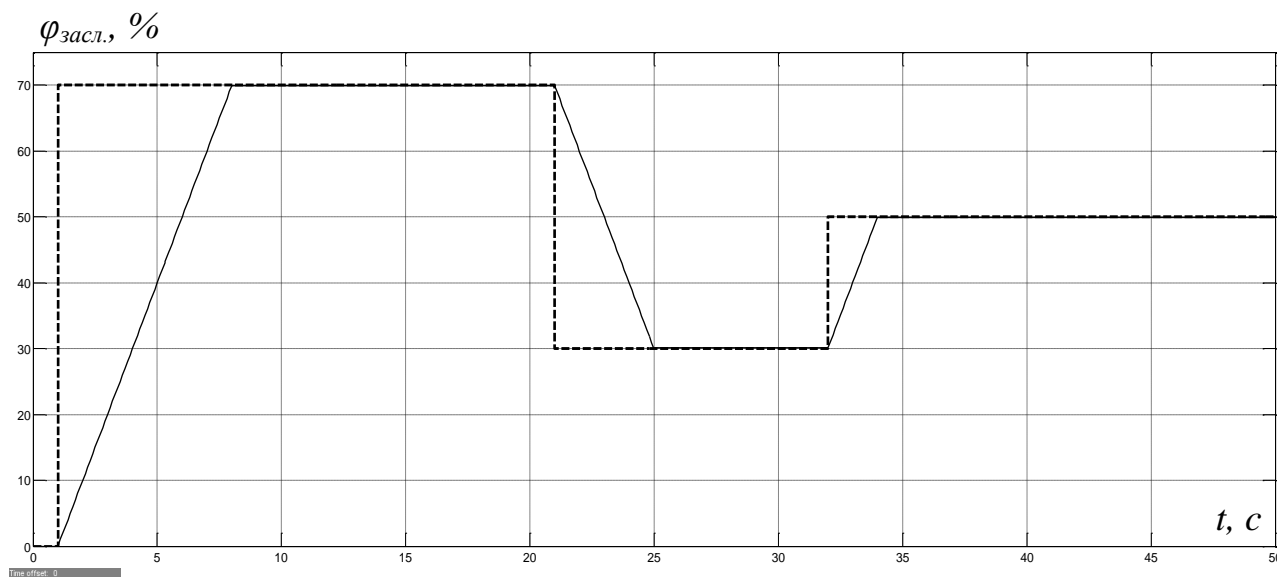


Рисунок 2.5 – Зміна у часі уставки (пунктирна лінія) та фактичного положення заслінки (суцільна лінія) у газопроводі мартенівської печі

З рис.2.5 видно, що характер зміни у часі положення заслінки у газопроводі у функції керуючого сигналу відповідає технічним характеристикам привода заслінки в газопроводі мартенівської печі.

Звернемо увагу на те, що час переміщення заслінки у газопроводі мартенівської печі є більше тривалості перехідного процесу у моделі газопроводу. Про це свідчать постійні часу передаточної функції об’єкта керування. Це значить, що привод заслінки може суттєво впливати на перехідний процес на виході синтезованої системи автоматичного керування. Щоб довести це, з урахуванням структурної схеми на рис.2.1 створимо імітаційні моделі розімкненої системи керування з приводом заслінки та без цього елемента (рис.2.6).

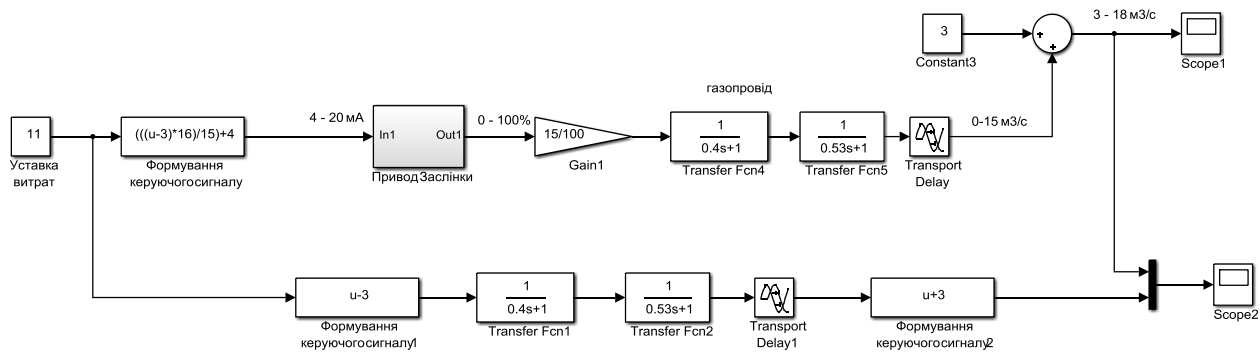


Рисунок 2.6 – Схеми імітаційних моделей об’єкта керування з моделлю привода заслінки у газопроводі мартенівської печі (зверху) та без неї (знизу)

Імітаційна модель приводу заслінки (рис.2.4) знаходиться у блоці “Привод Заслінки” на рис.2.6. Блок “Формування керуючого сигналу” виконує функцію узгодження діапазонів зміни уставки (від 3 до 18 м³/с) та керуючого сигналу на привод заслінки (від 4 до 20 мА). Результат моделювання представлений на рис.2.7.

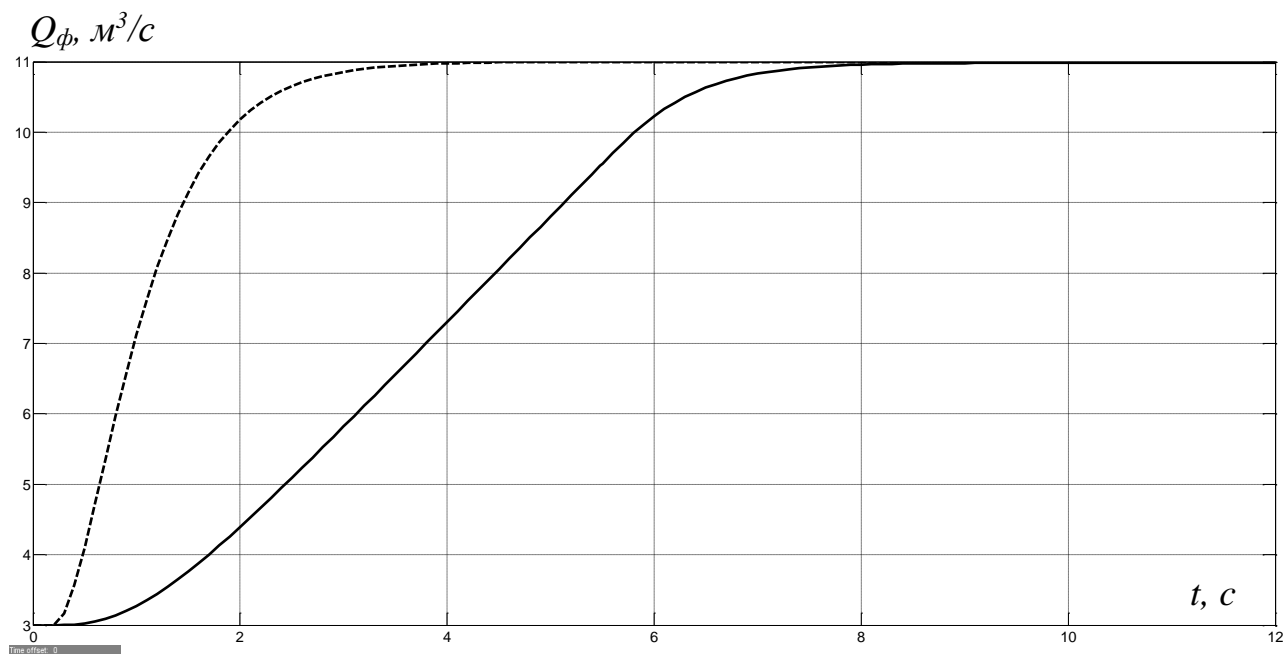


Рисунок 2.7 – Перехідний процес на виході об’єкта управління з моделлю привода заслінки у газопроводі мартенівської печі (суцільна лінія) та без неї (пунктирна лінія)

З рис.2.7 видно, що динамічні властивості приводу заслінки суттєво впливають на перехідний процес на виході синтезованої системи автоматичного керування – перехідний процес фактично визначається швидкістю переміщення заслінки.

Таким чином, знехтувати динамічними властивостями приводу заслінки, прийнявши його за пропорційну ланку, не можна. Фактично об'єкт керування з урахуванням моделі приводу заслінки у газопроводі має досить складні динамічні властивості – він є нелінійним з присутністю обмеження щодо швидкості зміни у часі величин. З урахуванням цього, можна зробити висновок щодо неприпустимості використання методів синтезу лінійних неперервних систем автоматичного керування.

З урахуванням створених імітаційних моделей окремих елементів, розроблена схема імітаційної моделі системи автоматичного керування витратами коксувального газу в газопроводі мартенівської печі (рис.2.8).

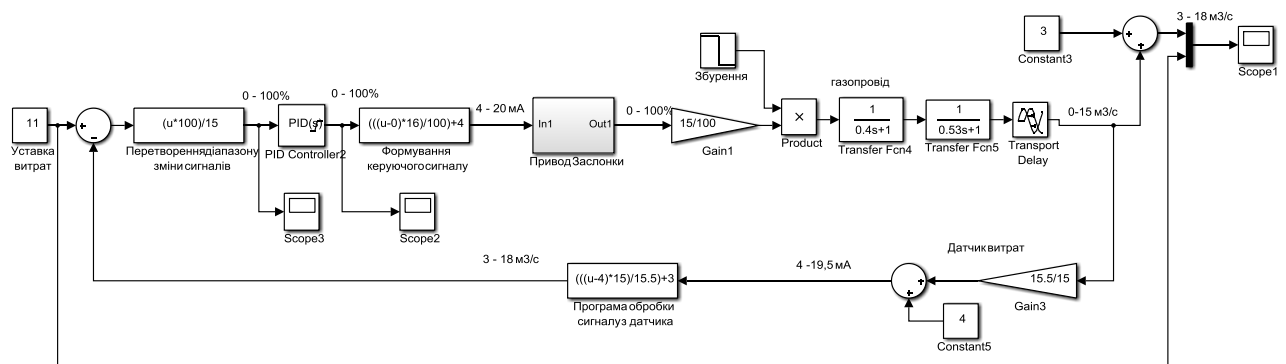


Рисунок 2.8 – Схема імітаційної моделі системи автоматичного керування витратами коксувального газу в газопроводі мартенівської печі

У схему на рис.2.8 введений ПІД-регулятор (блок “PID Controller”) з нормуванням діапазонів його вхідної та вихідної величин від 0 до 100%. Це зроблено для зручності використання за умови подальшого синтезу системи керування інженерних методів розрахунку. Саме тому перед ПІД-регулятором введений блок “Перетворення діапазону зміни сигналів” (рис.2.8), який виконує

функцію узгодження діапазонів зміни відхилення уставки від фактичних витрат газу (від 3 до 18 м³/с) та вхідної величини регулятора (від 0 до 100%). Також після ПД-регулятора введений блок “Формування керуючого сигналу”, що виконує функцію узгодження діапазонів зміни вихідної величини ПД-регулятора (від 0 до 100%) та керуючого сигналу на привод заслінки (від 4 до 20 мА).

Датчик витрат коксувального газу в газопроводі мартенівської печі представлений у моделі системи автоматичного керування безінерційним елементом у вигляді пропорційної ланки (блок “Gain3” на рис.2.8). Коефіцієнт підсилення у блоці “Gain3” 15,5/15 разом зі зміщенням вихідного сигналу на 4 визначений з урахуванням того, що за технічною характеристикою датчика його вихідний сигнал змінюється від 4 до 20 мА, а витратам 15 м³/с відповідає його вихідний сигнал 19,5 мА, в той час, як витратам 3 м³/с – 4 мА.

У блоці “Програма обробки сигналу з датчика” на рис.2.8 введена формула для перетворення діапазону зміни вихідного сигналу датчика витрат газу 4 – 19,5 мА у діапазон зміни уставки від 3 до 18 м³/с.

2.2 Критерії якості функціонування системи керування

Перехідний процес на виході системи автоматичного керування за умови відпрацювання нею збурення спрощено виглядає так, як на рис.2.9.

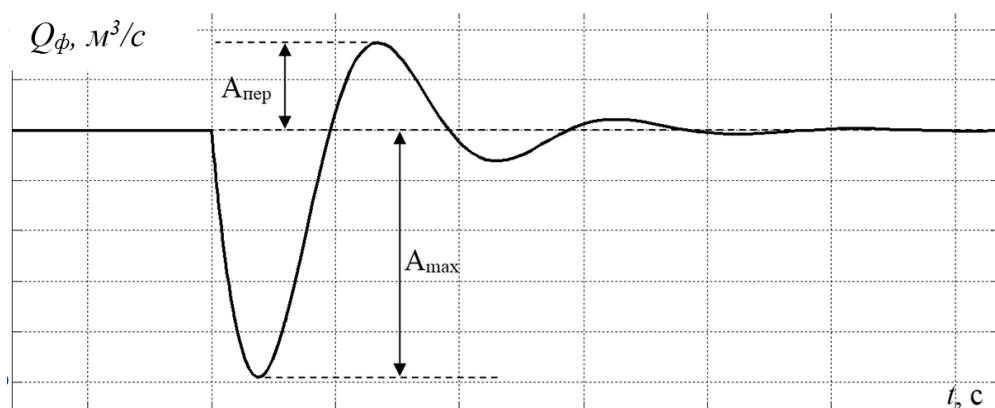


Рисунок 2.9 – Перехідний процес на виході синтезованої системи автоматичного керування при відпрацюванні нею східчастого збурення

З оглядом на тепловий графік мартенівської печі на рис.1.3 та опис у підрозділі 1.3.2 особливостей зовнішнього збурюючого впливу, що діє на витрати коксувального газу в газопроводі печі, можна виділити наступні режими роботи системи автоматичного керування, для кожного з яких сформуємо індивідуальні вимоги до якості роботи системи.

1. Режим стабілізації витрат коксувального газу в газопроводі печі тривалий час.

Без суттєвих збурюючих впливів статична похибка на виході системи керування повинна дорівнювати нулю. За умови східчастого збурюючого впливу допускається відносне відхилення фактичних витрат від уставки до 10% (A_{\max} на рис.2.9) протягом до 10 с.

2. Режим відпрацювання уставки, що змінюється східчасто у часі.

Перехід від рівня витрат $8 \text{ м}^3/\text{с}$ до рівня $5,6 \text{ м}^3/\text{с}$ повинен тривати до 20 с без перерегулювання та статичної помилки на виході системи автоматичного керування.

3. Режим відпрацювання уставки, що змінюються лінійно у часі.

Відносна швидкісна похибка не повинна перевищувати 5%. У перехідному процесі на виході системи автоматичного керування повинні бути відсутні коливання керованої величини.

Вказані вимоги до якості роботи системи автоматичного керування в усіх режимах повинні бути виконані з урахуванням присутності збурюючого впливу на систему.

2.3 Висновки по розділу

1. Структура імітаційної моделі системи автоматичного керування витратами газу у газопроводі мартенівської печі повторює структуру реальної системи та складається з наступних основних елементів – моделі газопроводу (описується двома послідовно з'єднаними аперіодичними ланками та ланкою транспортного запізнення), моделі приводу заслінки на основі інтегратора та моделі датчика витрат, що прийнятий безінерційним елементом.

2. Обчислювальні експерименти показали, що знехтувати динамічними властивостями приводу заслінки, прийнявши його за пропорційну ланку, не можна. Фактично об'єкт керування з урахуванням моделі приводу заслінки у газопроводі має досить складні динамічні властивості – він є нелінійним з присутністю обмеження щодо швидкості зміни у часі величин. З урахуванням цього, можна зробити висновок щодо неприпустимості використання методів синтезу лінійних неперервних систем автоматичного керування.

3. За результатом аналізу об'єкта керування, та з оглядом на виділені режими роботи системи автоматичного керування прийняті наступні критерії якості її роботи:

- у режимі стабілізації витрат коксувального газу в газопроводі печі тривалий час та за умови відсутності суттєвих збурюючих впливів статична похибка на виході системи керування повинна дорівнювати нулю. За умови східчастого збурюючого впливу допускається відносне відхилення фактичних витрат від уставки до 10% протягом до 10 с;

- у режимі відпрацювання уставки, що змінюється східчасто у часі, перехід від рівня витрат $8 \text{ м}^3/\text{с}$ до рівня $5,6 \text{ м}^3/\text{с}$ повинен тривати до 20 с без перерегулювання та статичної помилки на виході системи автоматичного керування;

- у режимі відпрацювання уставки, що змінюються лінійно у часі, відносна швидкісна похибка не повинна перевищувати 5%. У перехідному процесі на виході системи автоматичного керування повинні бути відсутні коливання керованої величини.

3 СИНТЕЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

3.1 Синтез та дослідження системи автоматичного керування

З урахуванням висновку щодо методів синтезу системи автоматичного керування, що зроблений у підрозділі 2.1, оберемо інженерний метод синтезу системи керування Зіглера-Нікольса з подальшим додатковим налаштуванням ПІД-регулятора. При цьому у якості імітаційної моделі ПІД-регулятора використовується вбудований у додаток математичного пакету MATLAB Simulink симулятор ПІД-регулятора з розширеними опціями, що дозволяють автоматизувати налаштування регулятора з урахуванням обмеження керуючого сигналу на виході ПІД-регулятора та запобіганням насиченню його інтегральної складової.

Згідно з інженерним методом синтезу системи керування Зіглера-Нікольса, визначимо параметри L та a , що характеризують запізнення та прискорення у перехідному процесі на виході об'єкта керування з урахуванням динамічних властивостей приводу заслінки у газопроводі мартенівської печі. Для цього на кривій перехідного процесу на виході об'єкта керування (коли процес визначає поворот заслінки) знайдемо дві точки, що відповідають ділянці кривої з максимальним прискоренням вихідної величини. З метою визначення цих точок створена програма на мові математичного пакету MATLAB (програма 3.1), результатом виконання якої є зміна у часі диференціалу вихідної величини об'єкта керування (рис.3.1).

Програма 3.1 – Побудова графіку зміни у часі прискорення вихідної величини об'єкта керування за умови подачі на вхід східчастого керуючого впливу

```
for i=1:110
div_l(i)=(l_step_up(i+1)-l_step_up(i))/0.1;
end
Timer=0:0.1:10.9;
plot(Timer,div_l),grid
```

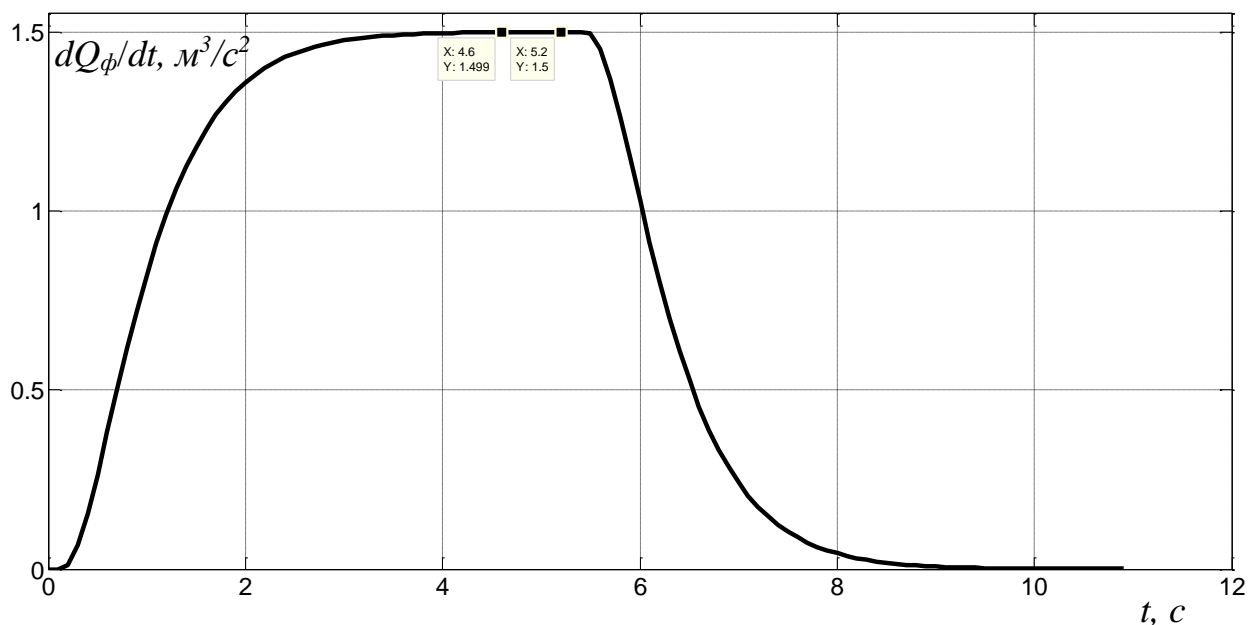


Рисунок 3.1 – Зміна у часі похідної за часом керованої величини системи автоматичного керування

З рис.3.1 робимо висновок, що максимальне прискорення керованої величини має місце через 4,6 с після початку перехідного процесу. Причому на часовому інтервалі між 4,6 та 5,2 секундами маємо постійне та максимальне прискорення $1,5 \text{ м}^3/\text{с}^2$. Отже, оберемо дві точки саме на крайніх ділянках цього інтервалу (показані на рис.3.1 маркерами).

Покажемо ці дві точки з координатами за віссю абсцис 4,6 с та 5,2 с на графіку перехідного процесу на виході об'єкта керування (рис.3.2).

З рис.3.2 видно, що координати цих двох точок дорівнюють: $X1=4,6$; $Y1=5,206$ та $X2=5,2$; $Y2=6,105$.

Далі за допомогою програми у математичному пакеті MATHCAD (програма 3.2) визначимо параметри рівняння дотичної до графіку перехідного процесу, тобто прямої, що проходить через координати $X1=4,6$; $Y1=5,206$ та $X2=5,2$; $Y2=6,105$.

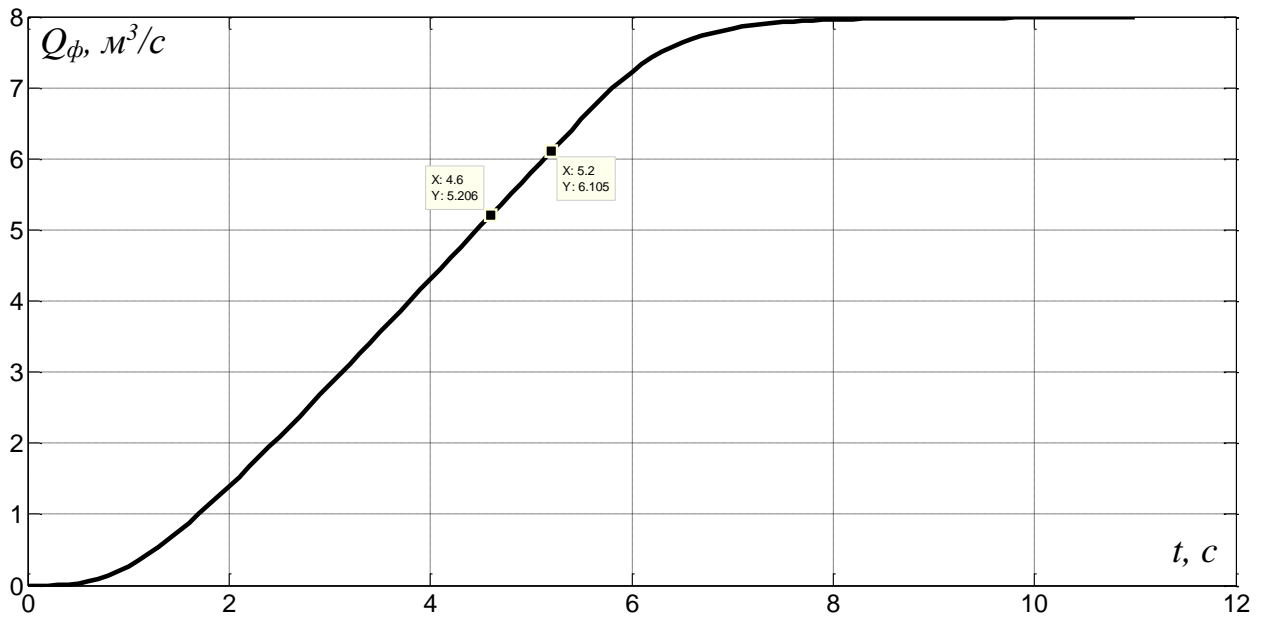


Рисунок 3.2. – Нормований графік перехідного процесу на виході системи автоматичного керування

Програма 3.2 – Визначення параметрів дотичної до графіку перехідного процесу на виході об'єкта керування

Визначення рівняння прямої, кут нахилу якої відповідає найбільшому прискоренню керованої величини:

```
k := 12  y_n := 12
```

```
Given
```

```
k·4.6 + y_n = 5.206
```

```
k·5.2 + y_n = 6.105
```

```
Find(k, y_n) =  $\begin{pmatrix} 1.498 \\ -1.686 \end{pmatrix}$   k := 1.498  y_n := -1.686
```

```
End
```


Розташування прямої, параметри рівняння якої обчислені у програмі 3.2, відносно графіку перехідного процесу на виході об'єкта керування показане на рис.3.3.

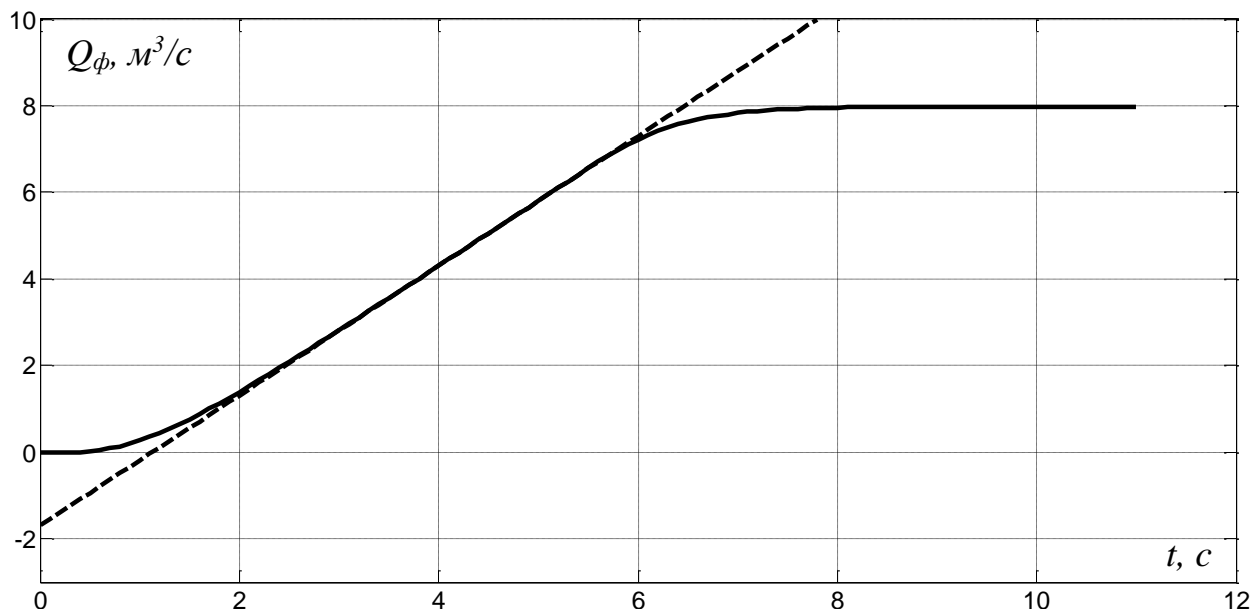


Рисунок 3.3 – Нормований графік перехідного процесу на виході системи автоматичного керування з дотичною прямою до кривої

З рис.3.3 ми спостерігаємо, що рівняння дотичної визначено правильно, оскільки пряма співпадає з ділянкою перехідного процесу на виході об'єкта керування, яка має найбільший кут нахилу за віссю абсцис.

Далі, згідно методу синтезу САК Зіглера-Нікольса, визначимо параметри L та a , що є точками перетину дотичної до графіку перехідного процесу на виході об'єкта керування осей, відповідно, абсцис та ординат. Для цього розробимо програму 3.3 у математичному пакеті MATHCAD.

Після цього за методом синтезу САК Зіглера-Нікольса обчислимо параметри ПД-регулятора. Для цього також розробимо програму 3.4 у математичному пакеті MATHCAD.

Програма 3.3 – Визначення координат точок перетину осей абсцис та ординат дотичною до графіку перехідного процесу на виході об'єкта керування

Визначення параметрів L та a :

$$L := 0 \quad a := 0$$

Given

$$k \cdot L + y_n = 0$$

$$k \cdot 0 + y_n = a$$

$$\text{Find}(L, a) = \begin{pmatrix} 1.126 \\ -1.686 \end{pmatrix}$$

$$L := 1.126 \quad a := 1.686$$

End

Програма 3.4 – Розрахунок параметрів ПІД-регулятора за методом синтезу САК Зіглера-Нікольса

Визначення параметрів ПІД-регулятора методом Зіглера-Нікольса

$$K := \frac{1.2}{a} \rightarrow .71174377224199288256$$

$$T_i := \frac{0.9L}{K} \rightarrow 1.4238270000000057665$$

$$T_d := \frac{0.5L}{K} \rightarrow .79101500000000320361$$

Зробимо налаштування моделі ПІД-регулятора у додатку Simulink математичного пакету MATLAB шляхом введення у відповідні поля розрахованих параметрів регулятора (рис.3.4), а також обмеження його вихідного сигналу (від 0 до 100%). Крім того, активуємо механізм запобігання насиченню інтегральної складової регулятора (рис.3.5). При цьому коефіцієнт фільтру диференційної складової регулятора обираємо, згідно з методом

синтезу САК Зіглера-Нікольса, такою, щоб ця складова була майже безінерційною.

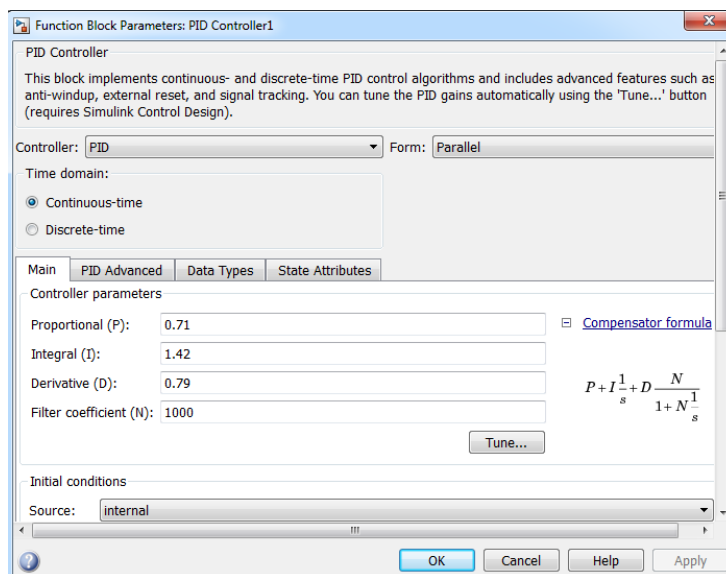


Рисунок 3.4 – Вікно настройок параметрів ПІД-регулятора

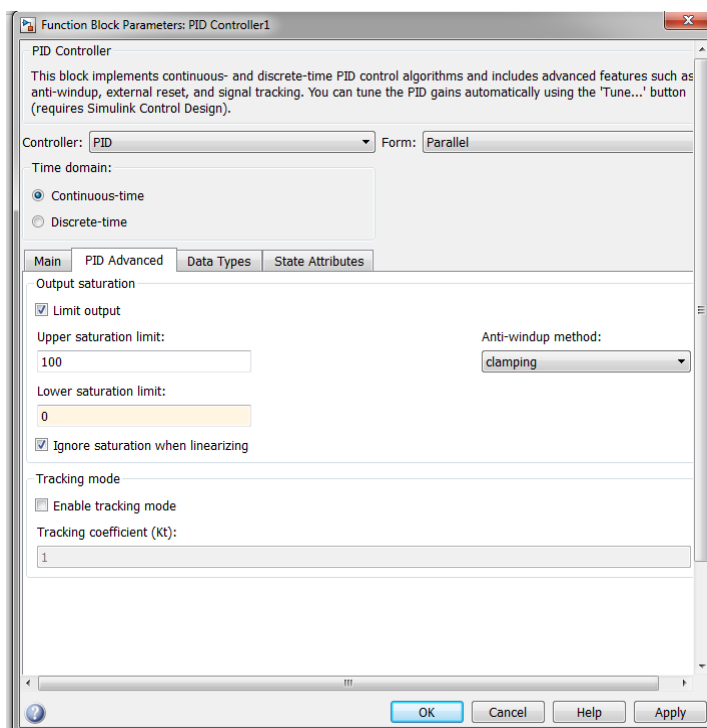


Рисунок 3.5 – Вікно додакових настройок ПІД-регулятора

Результат моделювання роботи системи автоматичного керування витратами газу в газопроводі мартенівської печі показаний на рис.3.6.

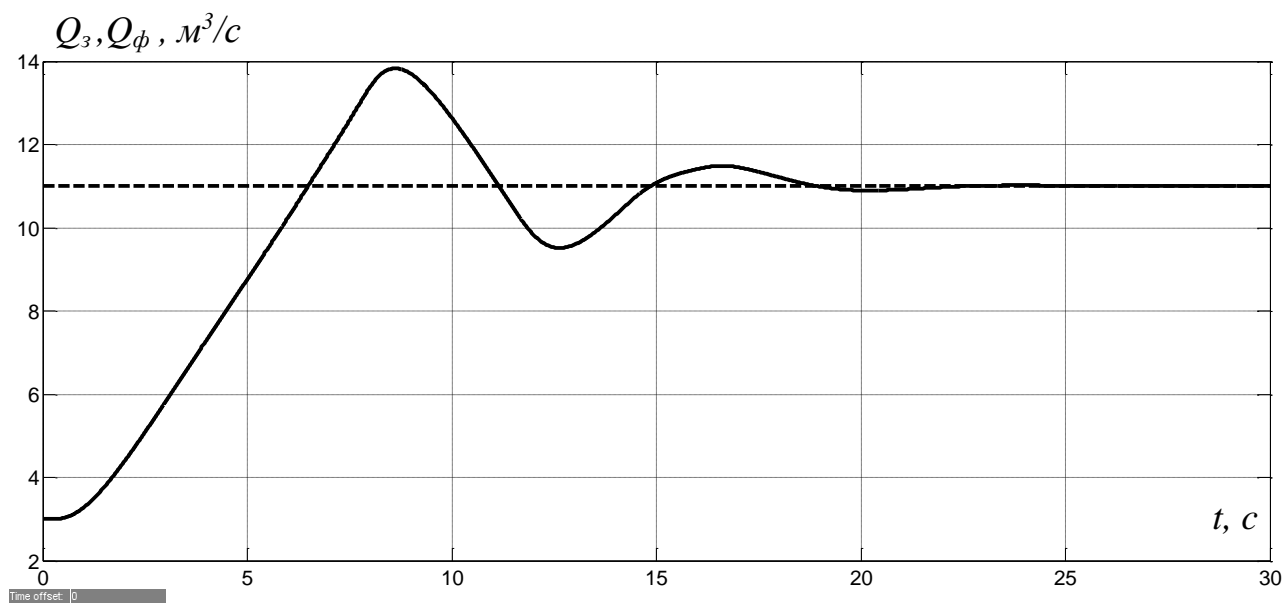


Рисунок 3.6 – Зміна у часі уставки (пунктирна лінія) та керованої величини скоригованої САК (суцільна лінія) за умови подачі східчастого керуючого впливу

З рис.3.6 видно, що перехідний процес на виході системи автоматичного керування не задовольняє пред'явленим до неї вимогам у підрозділі 2.2. Отже, здійснимо додаткове налаштування ПІД-регулятора у ручному режимі. Для цього винесемо за скобки формули ПІД-регулятора загальний для усіх трьох складових коефіцієнт підсилення, зберігши при цьому співвідношення коефіцієнтів підсилення складових регулятора, які отримані за умови використання методу синтезу САК Зіглера-Нікольса.

Після цього поступово зменшуємо загальний коефіцієнт підсилення регулятора, здійснюючи аналіз графіку перехідного процесу на виході системи автоматичного керування, до тих пір, доки перерегулювання не стане рівним нулю.

Вікно настройок ПІД-регулятора після використання додаткового налаштування ПІД-регулятора у ручному режимі за алгоритмом, описаним вище, наведене на рис.3.7, а графік перехідного процесу на виході САК – на рис.3.8.

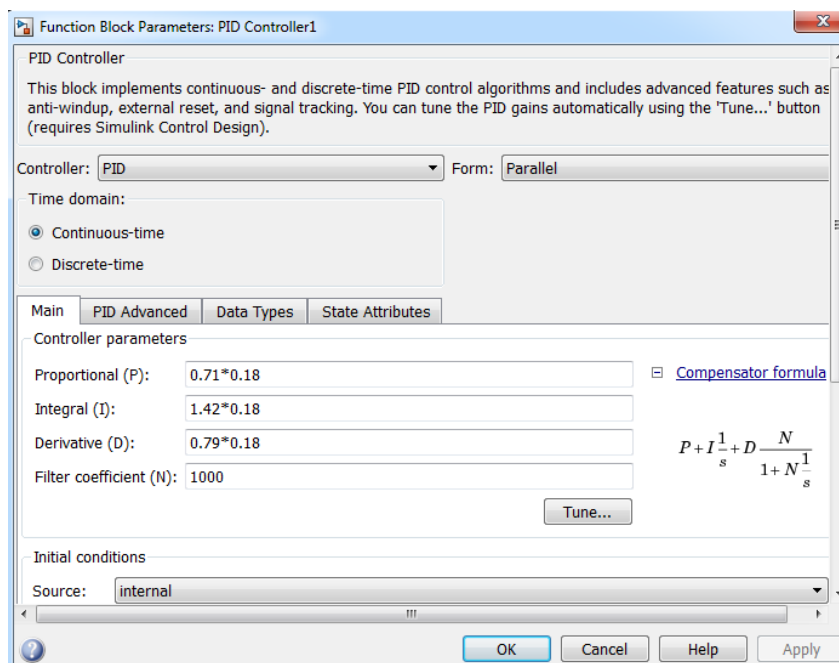


Рисунок 3.7 – Вікно налаштувань параметрів ПІД-регулятора

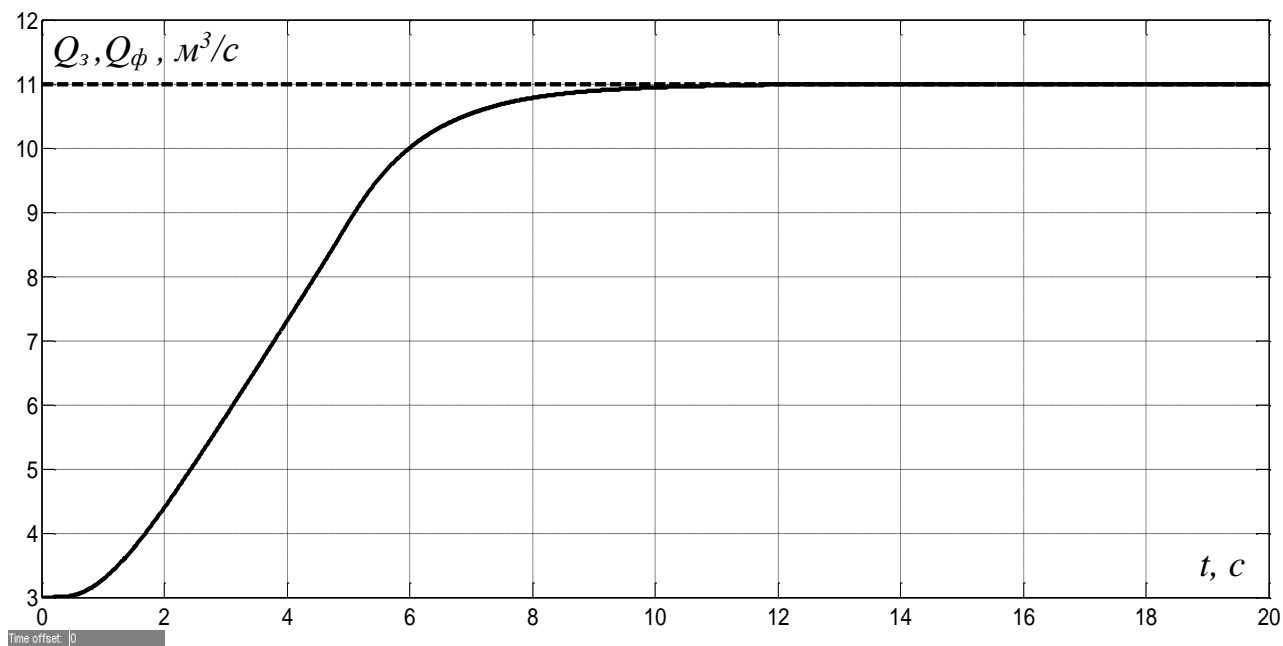


Рисунок 3.8 – Зміна у часі уставки (пунктирна лінія) та керованої величини скоригованої системи автоматичного керування (суцільна лінія) за умови подачі східчастого керуючого впливу

З рис.3.8 ми можемо зробити висновок, що за умови східчастої зміни уставки від рівня витрат газу $3 \text{ м}^3/\text{с}$ до рівня $11 \text{ м}^3/\text{с}$ має місце монотонний перехідний процес на виході скоригованої системи автоматичного керування без статичної помилки згідно вимогам до системи.

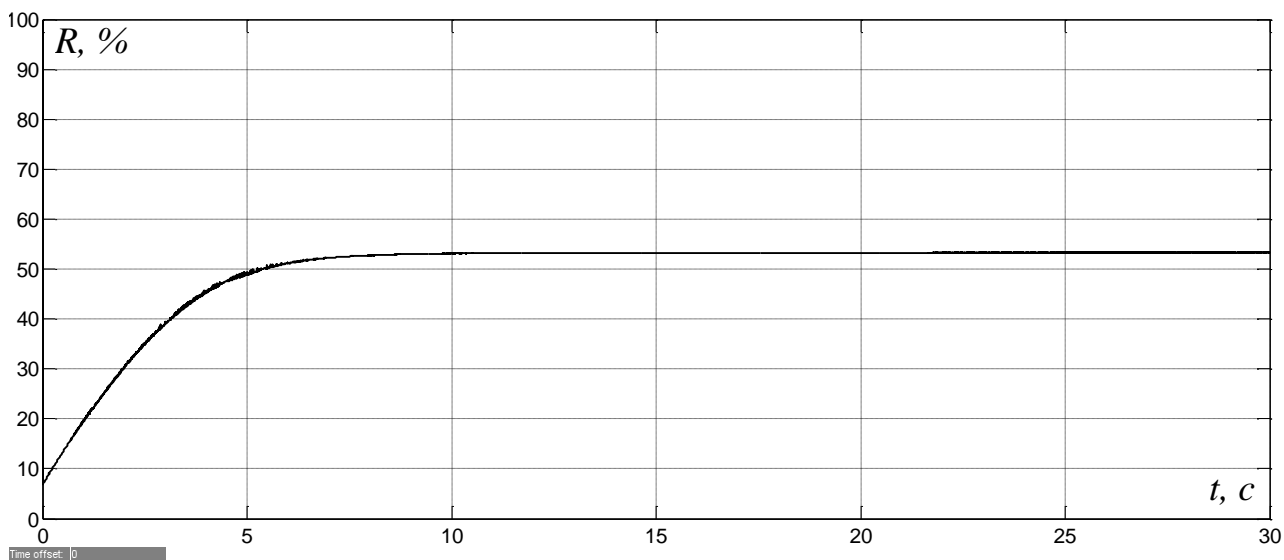


Рисунок 3.9 – Зміна у часі керуючого сигналу з виходу ПІД-регулятора синтезованої системи автоматичного керування

Це забезпечується завдяки тому, що швидкість зміни у часі вихідного керуючого сигналу з ПІД-регулятора (рис.3.9) не перевищує обмеження щодо швидкості зміни у часі положення заслінки в газопроводі, що присутнє у динамічних властивостях об'єкта керування.

3.2 Оцінка якості функціонування системи автоматичного керування

У цьому підрозділі перевіримо якість роботи синтезованої системи автоматичного керування витратами газу в газопроводі мартенівської печі для різних режимів роботи об'єкта керування.

Розглянемо відпрацювання системою керування східчастого збурюючого впливу (різка зміна тиску газу на ділянці газопроводу мартенівської печі із-за перебоїв роботи вентиляторів з $0,33$ до $0,3$ МПа), що призводить до різкого й

східчастого зменшення коефіцієнту підсилення передаточної функції газопроводу на 10%. Для введення збурюючого впливу до імітаційної моделі газопроводу доданий блок “Product” (рис.3.10).

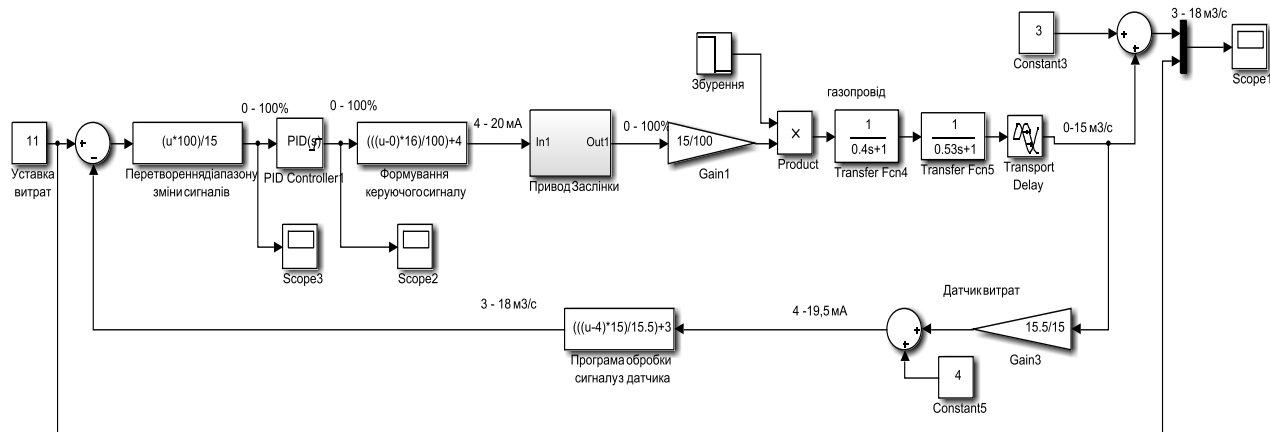


Рисунок 3.10 – Схема імітаційної моделі системи автоматичного керування витратами коксувального газу в газопроводі мартенівської печі за умови введення до САК збурення

На рис.3.11 показаний результат відпрацювання синтезованою системою керування східчастого збурюючого впливу у режимі стабілізації витрат коксувального газу в газопроводі на рівні $13,8 \text{ м}^3/\text{с}$, що відповідає режиму роботи печі “розігрів ванни”.

З рис.3.11 видно, що після подачі збурення на 15 с моделювання фактичні витрати газу стають практично рівними заданому значенню $13,8 \text{ м}^3/\text{с}$ (відхилення – менше 1%) через 10 секунд. При цьому максимальне відносне відхилення фактичних витрат газу від уставки становить 6,1%. Отримані у ході обчислювального експерименту показники відпрацювання синтезованою системою автоматичного керування збурення задовольняють вимогам до системи стосовно цього режиму роботи об’єкта керування, що були сформовані у підрозділі 2.2.

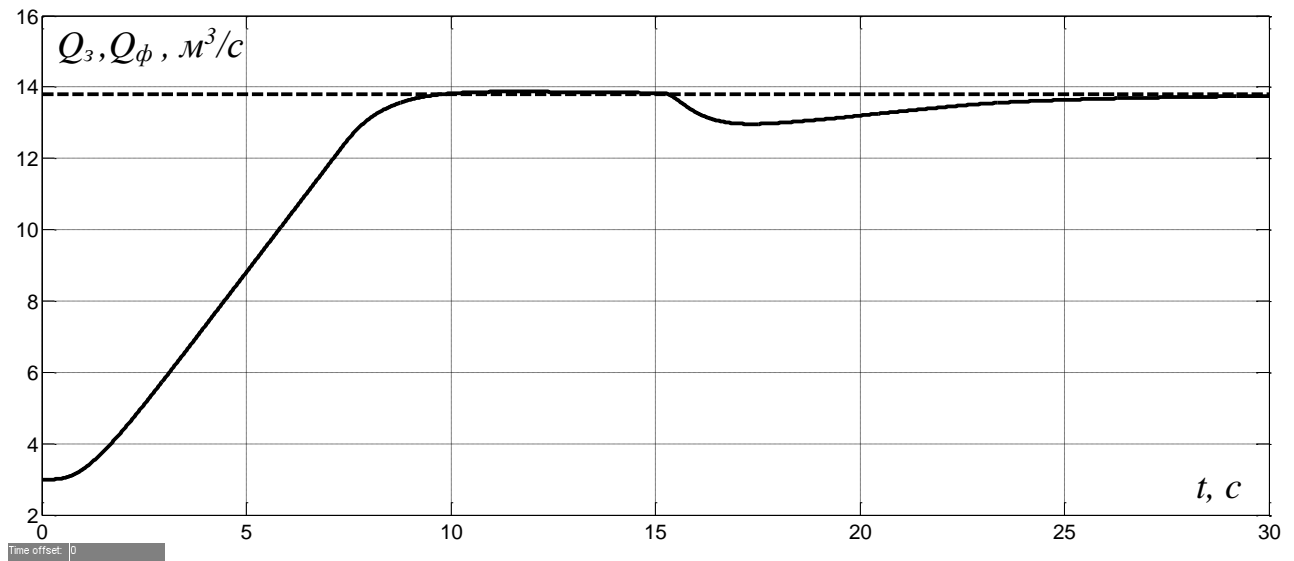


Рисунок 3.11 – Зміна у часі уставки (пунктирна лінія) та керованої величини скоригованої САУ (суцільна лінія) за умови подачі східчастого керуючого впливу (до 15 с) та виникнення максимального збурення на 15 с

На рис.3.12 показаний результат моделювання роботи синтезованої системи керування у режимі стабілізації витрат газу на ділянці газопроводу мартенівської печі на рівні $13,8 \text{ м}^3/\text{с}$ тривалий час, що відповідає режиму роботи печі “прогрів шихти та розігрів ванни” з урахуванням короткотривалих збурень, що з’являються випадковим чином у діапазоні значень від 0 до свого максимального значення.

З рис.3.12 можна спостерігати, що витрати газу утримуються ПІД-регулятором у дуже вузькому діапазоні значень від $13,7999$ до $13,8001 \text{ м}^3/\text{с}$ з нульовою статичною похибкою, що задовольняє вимогам до системи керування стосовно цього режиму роботи об’єкта керування, що були сформовані у підрозділі 2.2.

Наступним режимом роботи об’єкта керування, стосовно якого перевіряється якість роботи САК, є режим відпрацювання уставки, що змінюються лінійно у часі, який відповідає режиму роботи печі “тепловий розбіг”. Результати моделювання показані на рис.3.13.

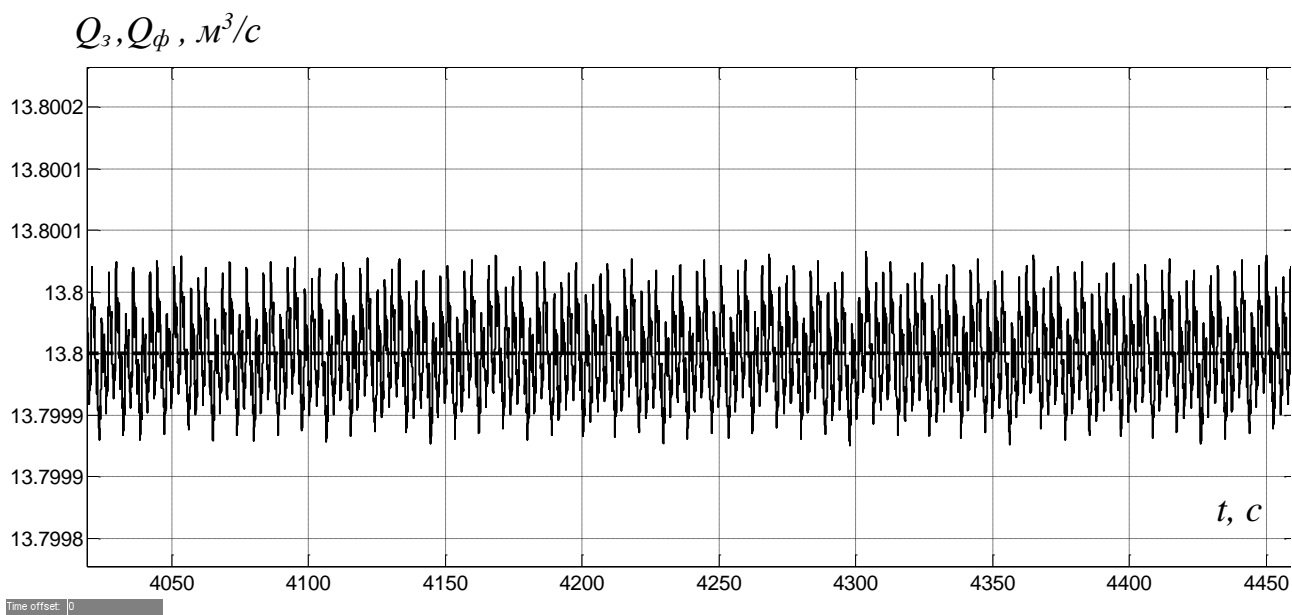


Рисунок 3.12 – Зміна у часі уставки (пунктирна лінія) та керованої величини синтезованої САК (суцільна лінія) на стадіях прогріву шихти та розігріву ванни

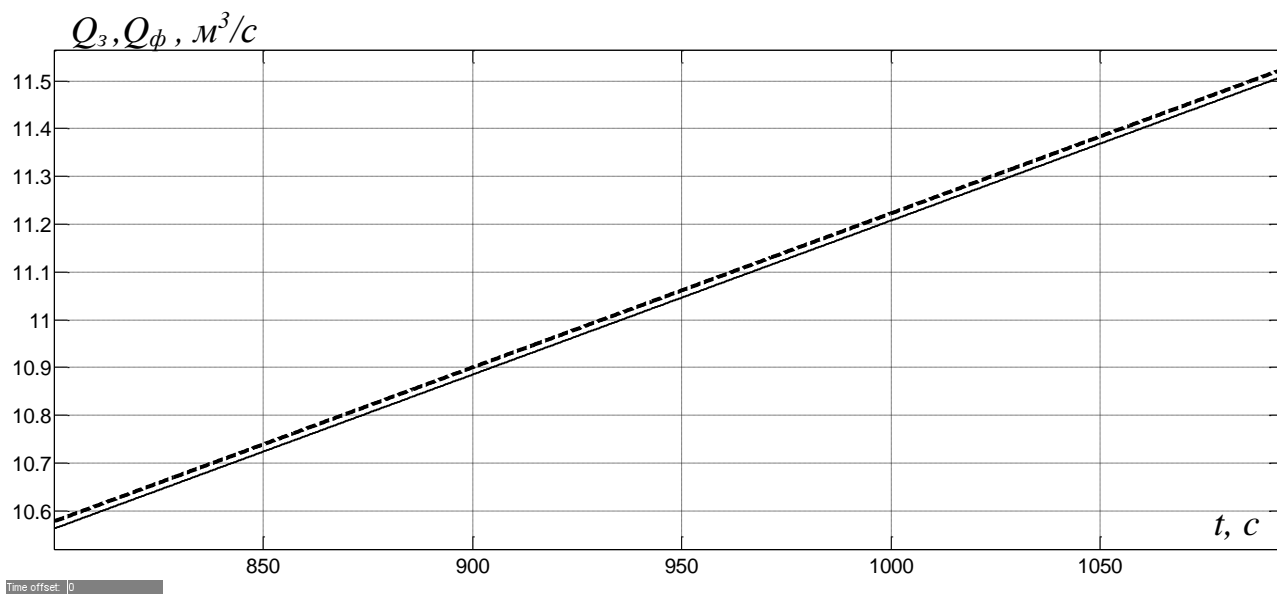


Рис. 3.13 – Зміна у часі уставки (пунктирна лінія) та керованої величини синтезованої САК (суцільна лінія) на стадії теплового розбігу

З рис.3.13 можна зробити висновок, що за умови відпрацювання ПІД-регулятором уставки витрат газу, що змінюється лінійно у часі, має місце

незначна швидкісна похибка, яка у відносних одиницях дорівнює у середньому 0,124%. Це цілком задовольняє вимогам до системи автоматичного керування витратами газу в газопроводі мартенівської печі стосовно цього режиму роботи об'єкта керування, що були сформовані у підрозділі 2.2.

Ще одним режимом роботи об'єкта керування, стосовно якого перевіряється якість роботи синтезованої САК, є різке зменшення уставки витрат коксувального газу між стадіями доводки та заправки з 8 до 5,6 м³/с (рис.3.14).

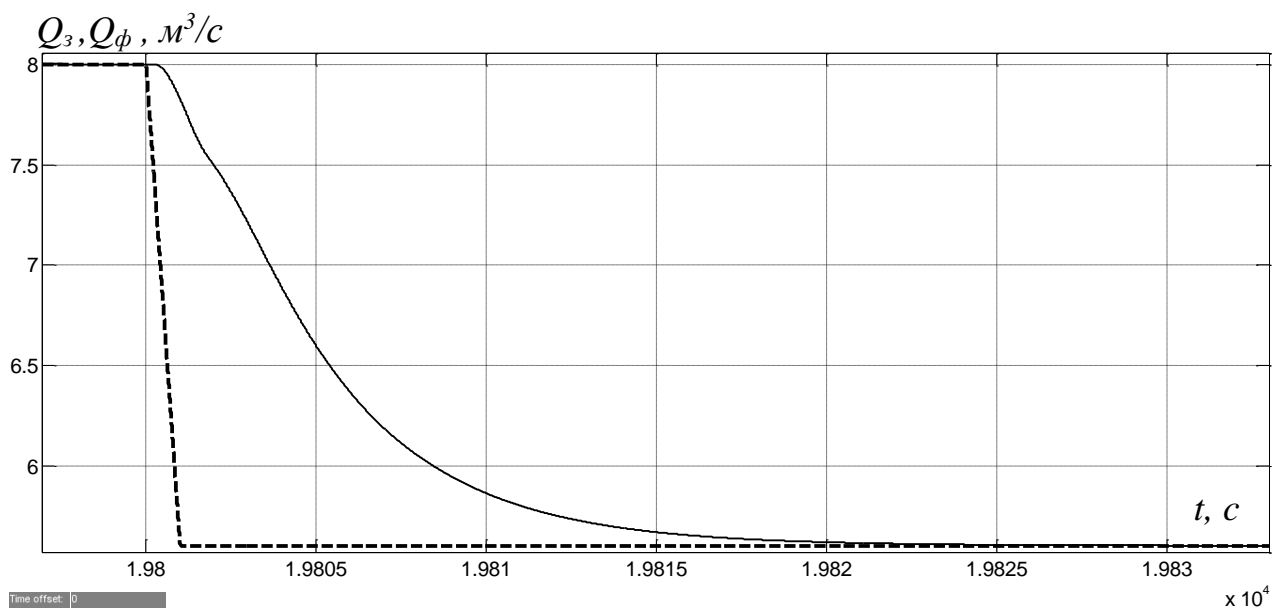


Рисунок 3.14 – Зміна у часі уставки витрат газу (пунктирна лінія) та керованої величини синтезованої САК (суцільна лінія) за умови різкого зменшення витрати коксувального газу між стадіями доводки та заправки

З аналізу рис.3.14 можна зробити висновок, що зміна фактичних витрат газу за умови різкого зменшення уставки з 8 до 5,6 м³/с відбувається без перерегулювання та статичної похибки. При цьому перехід з рівня 8 м³/с до рівня 5,6 м³/с здійснюється за 20 секунд, що задовольняє вимогам до системи керування стосовно цього режиму роботи об'єкта керування, що були сформовані у підрозділі 2.2.

Відпрацьовування синтезованою системою автоматичного керування уставки витрат газу в газопроводі впродовж усього технологічного циклу виплавки сталі разом з відносною похибкою керування показані, відповідно, на рис.3.15 та 3.16.

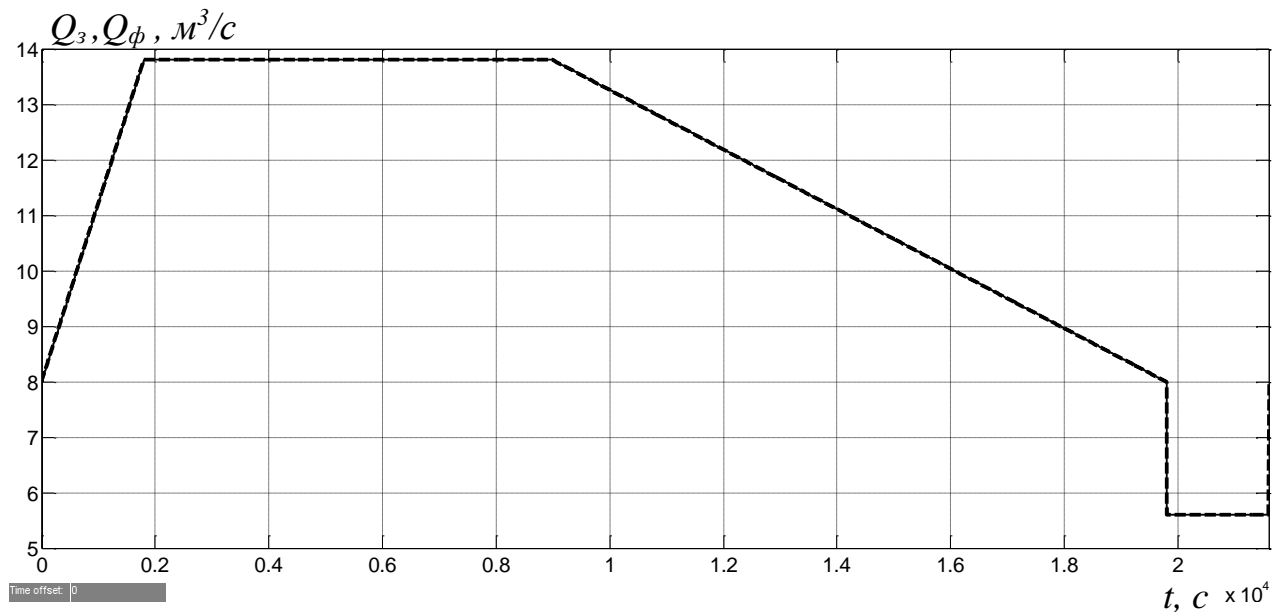


Рисунок 3.15 – Зміна у часі уставки витрат газу в газопроводі (пунктирна лінія) та керованої величини синтезованої САК (суцільна лінія) на усьому технологічному циклі плавлення сталі

Результати моделювання роботи синтезованої САК на рис.3.15 підтверджують ефективність роботи системи – з рисунку видно, що графік зміни у часі фактичних витрат газу практично повністю співпадає з графіком зміни у часі уставки на усіх стадіях плавлення сталі.

Також з рис.3.16 можна спостерігати, що практично на усьому технологічному циклі виплавки сталі (окрім ділянки східчастої зміни уставки витрат газу між стадіями доводки та заправки) відносне відхилення фактичних витрат газу від уставки не перевищує значення 0,2%. На ділянці технологічного циклу між стадіями доводки та заправки через різку зміну уставки відносне відхилення фактичних витрат газу від уставки сягає 40%.

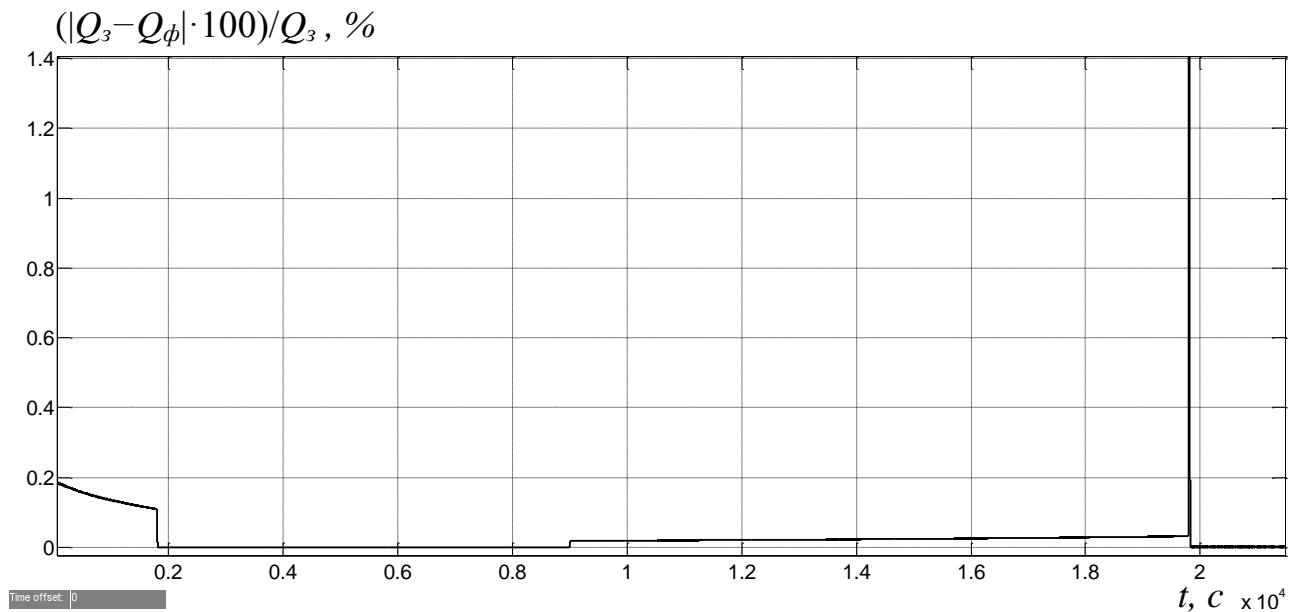


Рисунок 3.16 – Зміна у часі відносної похибки керування витратами коксувального газу на усьому технологічному циклі плавлення сталі

Ще одним важливим показником якості роботи синтезованої САК є здатність відпрацювати уставку за умови довгострокового збурення, коли протягом усього технологічного циклу виплавки сталі спостерігається занижений на 10% від номінального значення тиск газу.

Тому проведений обчислювальний експеримент відпрацювання синтезованою системою керування уставки впродовж усього технологічного циклу виплавки сталі за умови заниженого тиску газу 0,3 МПа. Результат експерименту у вигляді графіку зміни у часі відносного відхилення фактичних витрат газу від уставки наведений на рис.3.17.

З рис.3.17 можна зробити висновок, що відпрацювання уставки синтезованою системою керування за умови заниженого на 10% тиску газу в газопроводі відбувається майже з таким же відносним відхиленням фактичних витрат газу від уставки, як і у випадку нормального тиску газу 0,33 МПа.

Як підсумок перевірки якості роботи синтезованої САК, створимо таблицю, де у вигляді результатів обчислювального експерименту наведені

показники основних критеріїв ефективності роботи САК для різних режимів роботи об'єкта керування (табл.3.1).

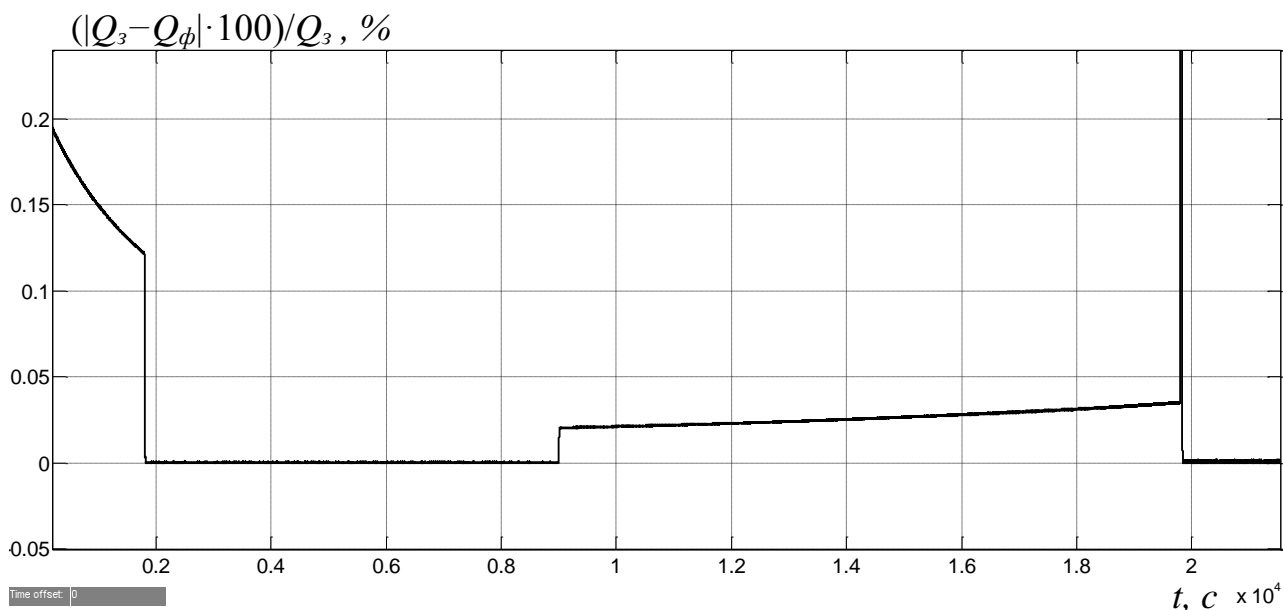


Рисунок 3.17 – Зміна у часі відносної похибки керування витратами коксувального газу на усьому технологічному циклі плавлення сталі за умови зменшеного на 10% тиску в газопроводі мартенівської печі

Таблиця 3.1 – Результати перевірки якості роботи синтезованої САК

Критерій якості роботи САК	Задане значення	Значення за умови відсутності збурення	Значення за умови максимального збурення
Статична похибка на виході САК, %	0	0	0
Відносне відхилення фактичних витрат від уставки за умови максимального збурення, %	≤ 10	-	6,1
Час компенсації максимального збурення, с	≤ 10	-	10
Час переходу за умови різкого зменшення уставки з 8 м ³ /с до 5,6 м ³ /с, с	≤ 20	17	20
Перерегулювання за умови різкого зменшення уставки з 8 м ³ /с до 5,6 м ³ /с, %	0	0	0
Максимальна відносна швидкісна похибка за умови відпрацювання уставки, що змінюються лінійно у часі, %	≤ 5	0,19	0,2

На основі аналізу даних, наведених у табл.3.1, можна зробити висновок, що як за умови нормального тиску газу на ділянці газопроводу мартенівської печі, так і за мови його зменшення на 10% в усіх режимах роботи об'єкта керування показники критеріїв якості роботи синтезованої САК витратами газу задовольняють вимогам, пред'явленим до системи.

3.3 Висновок по розділу

1. Через присутність у динамічних властивостях об'єкта керування обмеження щодо швидкості зміни у часі однієї з величин (переміщення заслінки у газопроводі печі) використання інженерного методу синтезу САК Зіглера-Нікольса призводить до появи значного перерегулювання у перехідному процесі на виході синтезованої САК (27 %), що не задовольняє вимогам, пред'явленим до системи.

2. Зменшення загального коефіцієнта підсилення ПД-регулятора з дотриманням співвідношення коефіцієнтів підсилення складових регулятора, які отримані за умови використання методу синтезу САК Зіглера-Нікольса, дозволяє отримати перехідний процес без перерегулювання з тривалістю, що відповідає тривалості повороту заслінки. Саме за цієї умови, коли прискорення керуючого сигналу на виході регулятора дорівнює прискоренню руху заслінки у газопроводі, має місце оптимальне налаштування ПД-регулятора, при якому задовольняються усі вимоги до системи керування витратами газу в газопроводі мартенівської печі.

3. Дослідження на основі створеної імітаційної моделі системи автоматичного керування показали, що як за умови нормального тиску газу на ділянці газопроводу мартенівської печі, так і за мови його зменшення на 10%, в усіх режимах роботи об'єкта керування показники критеріїв якості роботи синтезованої САК витратами газу задовольняють вимогам, пред'явленим до системи.

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Цифрова модель об'єкта керування

В результаті синтезу системи керування було отримано безперервну модель системи керування, що відповідає сформульованим критеріям якості.

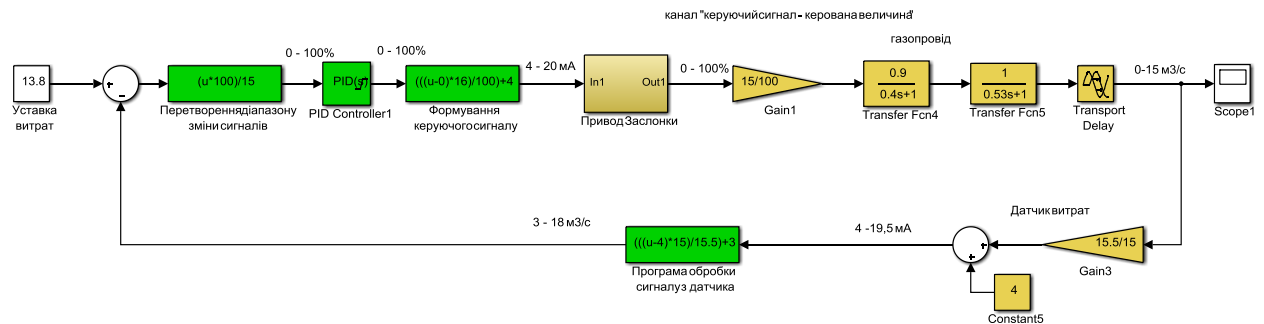


Рисунок 4.1 – Безперервна модель системи керування

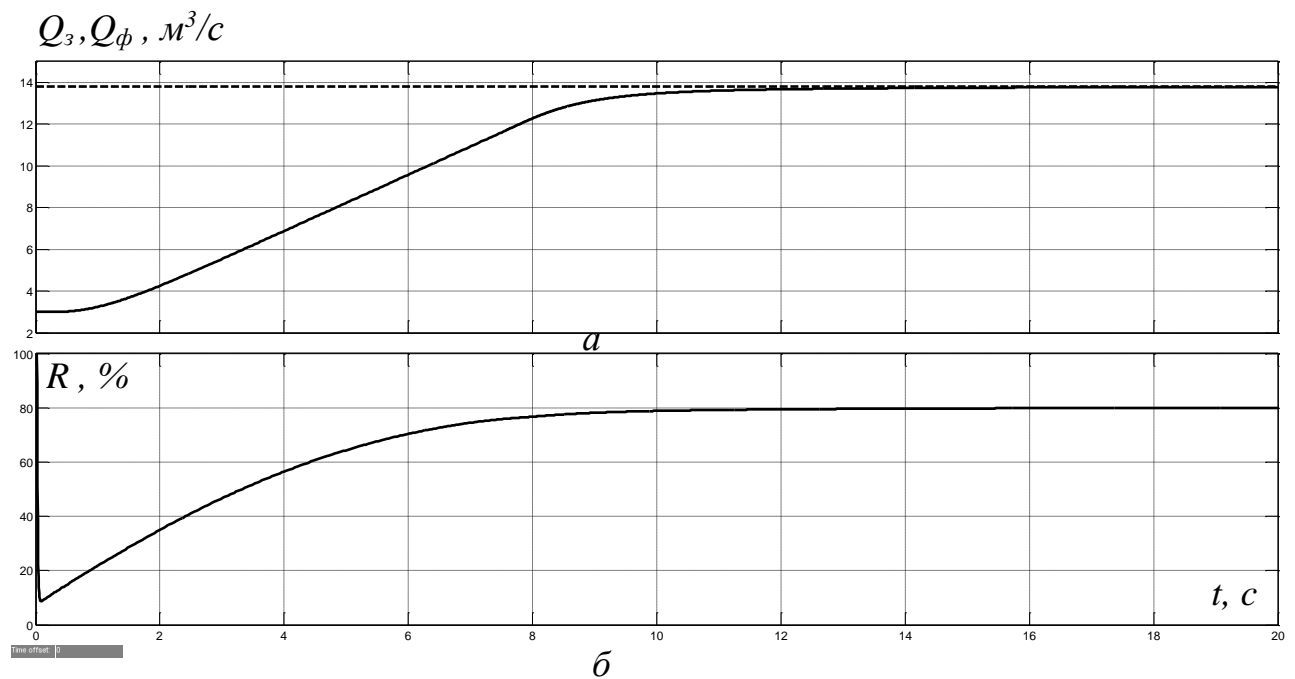


Рисунок 4.2 – Результати моделювання безперервної системи керування

Для подальшої роботи виконаємо заміну безперервних елементів системи керування цифровими. Для перетворення безперервних аперіодичних ланок об'єкта керування створена програма:

```
w1=tf([0.9],[0.4 1]);
w2=tf([1],[0.53 1]);
```

```
w1z=c2d(w1,0.1);
w2z=c2d(w2,0.1);
```

```
[num1 denum1] = tfdata(w1z);
A1 = cell2mat(num1)
B1 = cell2mat(denum1)
```

```
[num2 denum2] = tfdata(w2z);
A2 = cell2mat(num2)
B2 = cell2mat(denum2)
```

Результат виконання програми:

```
A1 =
      0  0.199079295235736
B1 =
  1.0000000000000000 -0.778800783071405
A2 =
      0  0.171947934291214
B2 =
  1.0000000000000000 -0.828052065708786
```

Далі створимо модель заслінки у газопроводі на основі цифрового інтегратора:

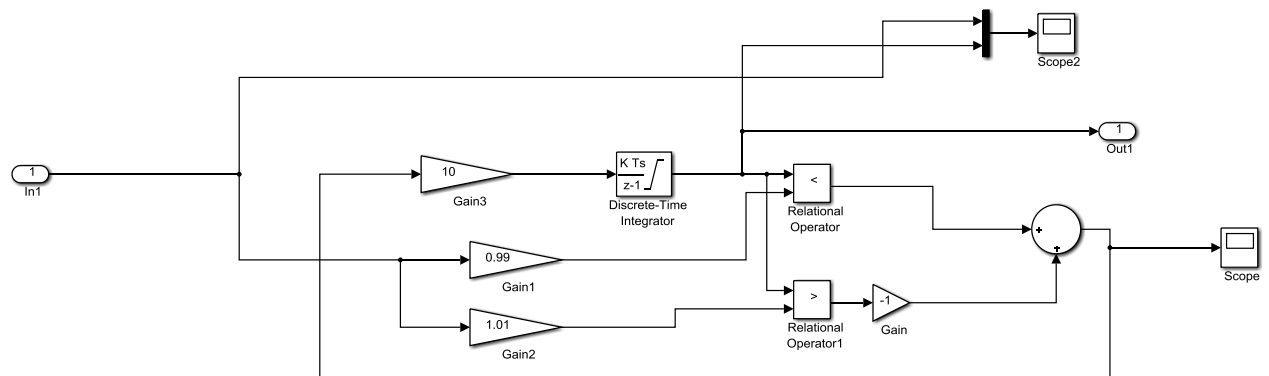


Рисунок 4.3 – Цифрова модель привода заслінки системи керування

В результаті заміни безперервних елементів моделі на цифрові отримуємо цифрову модель системи керування:

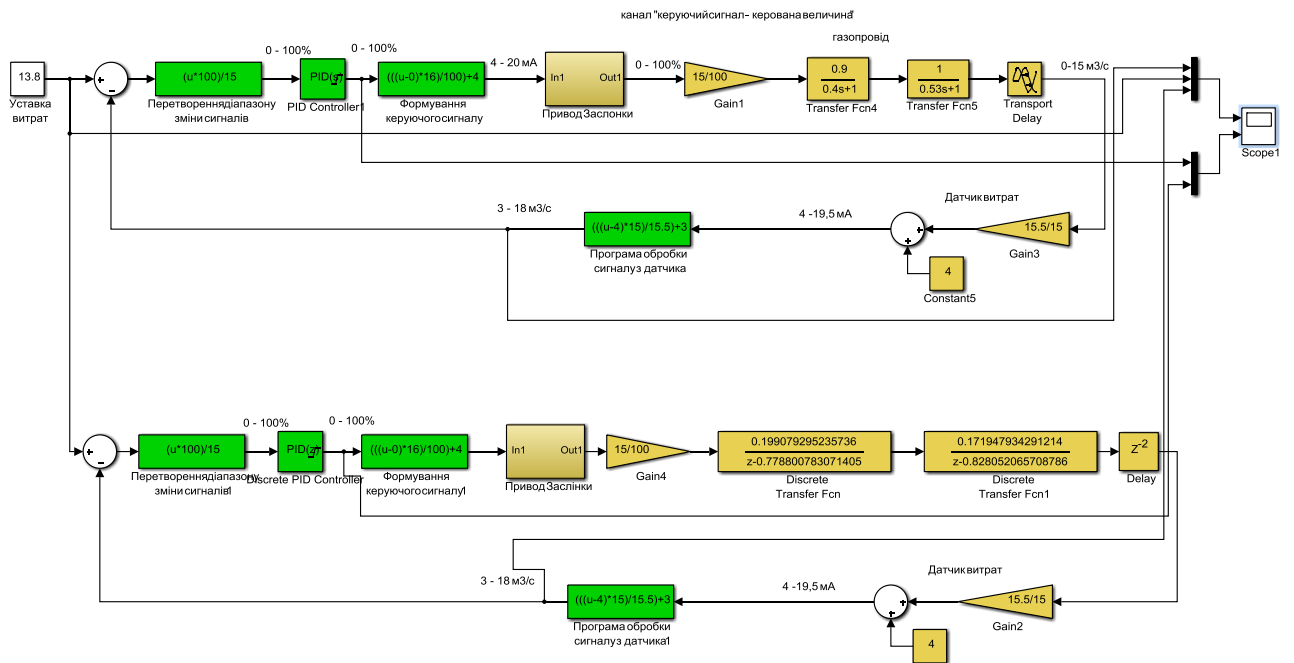
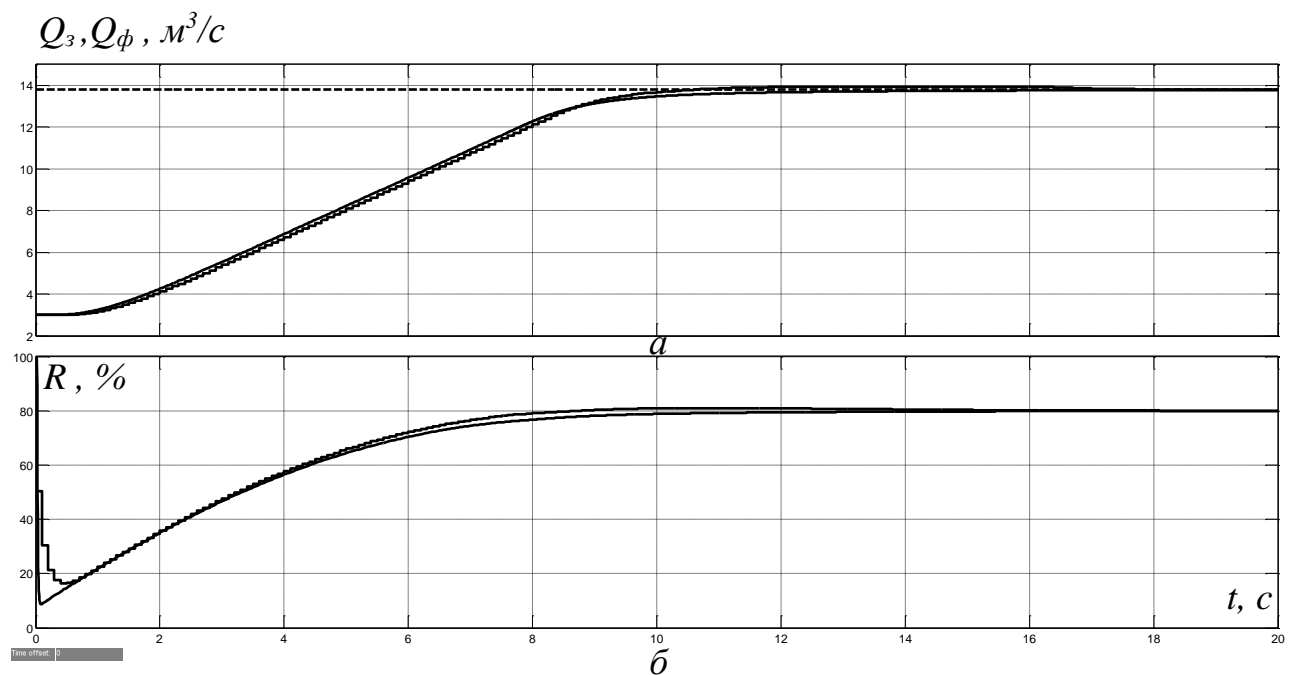


Рисунок 4.4 – Цифрова модель системи керування

Рисунок 4.5 – Результати моделювання безперервної та цифрової систем керування: a – керована величина; b – керуючий сигнал

Оцінимо відповідність цифрової моделі системи керування безперервній моделі за нормованим середньо-квадратичним відхиленням:

```
>> goodnessOfFit(ModelC, ModelD, 'NRMSE')*100
```

ans =

95.930396235269257

Як видно за результатами перевірки цифрової моделі системи керування на адекватність, маємо досить високий відсоток відповідності цифрової моделі безперервній.

Далі, виконаємо поділ системи керування шляхом створення блоків підсистем (рисунок 4.6).

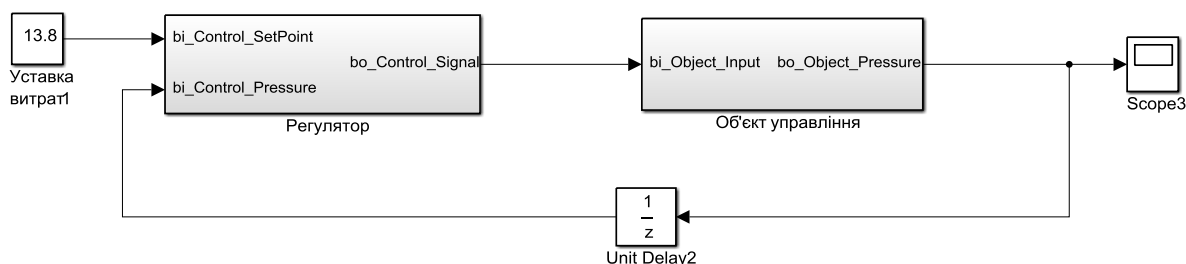


Рисунок 4.6 – Цифрова модель системи керування у вигляді блоків підсистем

Для полегшення експорту моделей з математичного пакету MATLAB до середовища розробки zenon Logic перейменуємо вхідні\вихідні порти підсистем, згідно з правилами:

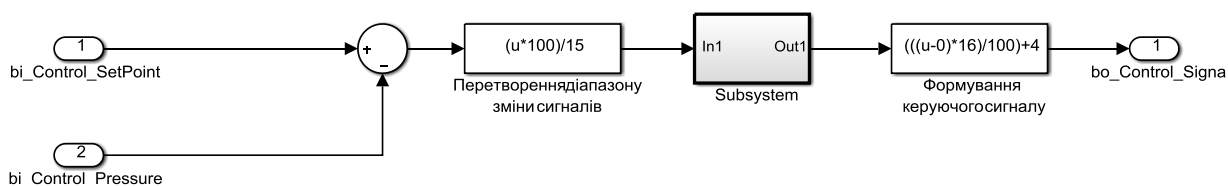


Рисунок 4.7 – Підсистема регулятора

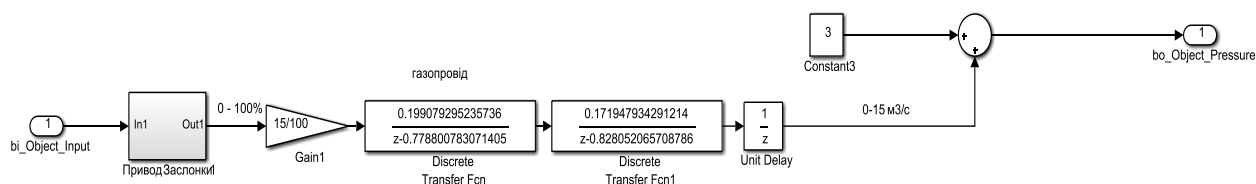


Рисунок 4.8 – Підсистема об'єкта керування

Далі було згенеровано програмні модулі, що наведені у додатку А.

4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування

Програмне забезпечення системи керування поділено на два окремих програмних блоки: регулятор та об'єкт керування.

Програмне забезпечення регулятора розроблено під програмований логічний контролер zenon Logic, що входить до складу SCADA системи zenon. Програмне забезпечення об'єкту керування розроблено як ПЗ перевірки функціонування системи керування для драйверу пристрою керування.

Для розробки ПЗ об'єкта керування було створено драйвер пристрою керування з налаштуванням, яке показано на рисунку 4.9.

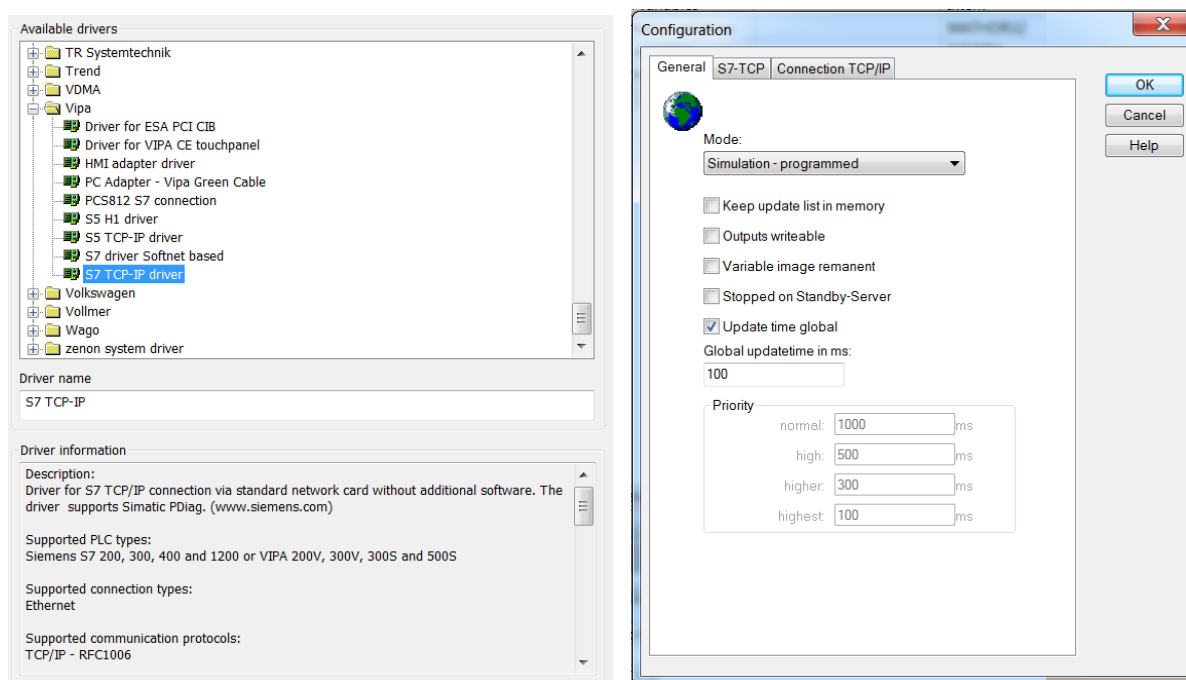


Рисунок 4.9 – Вибір драйверу пристрою керування та його налаштування

Для драйвера пристрою керування було створено такі змінні, що забезпечують доступ до входів та виходів об'єкта керування (рис. 4.10).

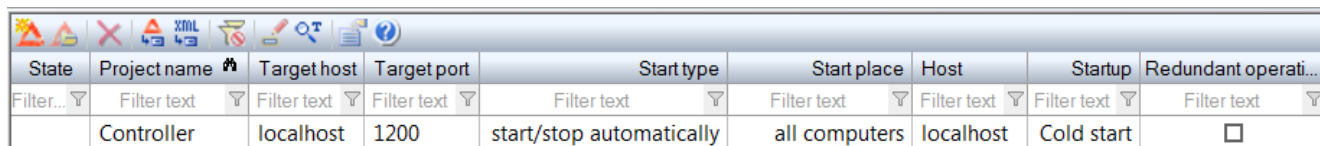
State	Name	Identification	Measur...	Net address	Data block	Offset	Bit num...	Alignm...	Symbol...	Driver	#	Data type	Decimals	Start offset
	Controller/Global/Control_Valve			0	0	0	0	0		STRATONNG - zenon Logic...		LREAL	1	0
	Controller/Global/Control_Pressure			0	0	0	0	0		STRATONNG - zenon Logic...		LREAL	1	0
	Controller/Global/Control_SetPoint			0	0	0	0	0		STRATONNG - zenon Logic...		LREAL	1	0
	Pressure			0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA		REAL	1	0
	Valve			0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA		REAL	1	0

Рисунок 4.10 – Змінні драйверу об'єкту керування

У середі розробки zenon Logic Workbench для драйверу пристрою керування було реалізовано модель об'єкту керування на базі раніше отриманого програмного модуля. Далі, на основі отриманого користувацького функціонального блоку, було розроблено програмне забезпечення об'єкту керування.

Більш докладно список програм, змінних, драйверів для програмного забезпечення ОК наведено у додатку Б1.

Для реалізації програмного забезпечення регулятора створено проект регулятора (рис. 4.11).

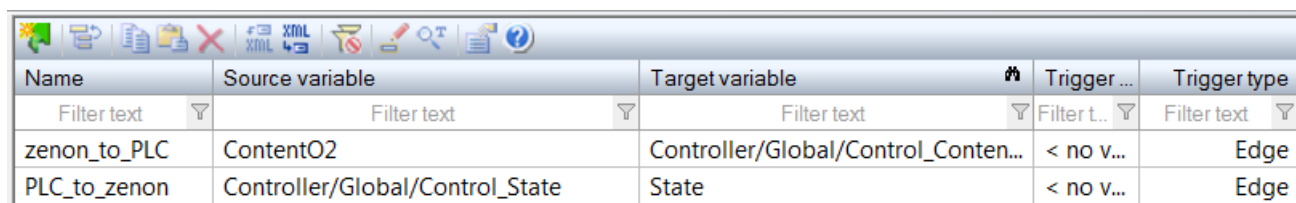


State	Project name	Target host	Target port	Start type	Start place	Host	Startup	Redundant operati...
Filter...	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	Controller	localhost	1200	start/stop automatically	all computers	localhost	Cold start	<input type="checkbox"/>

Рисунок 4.11 – Проект регулятора

Також створено змінні регулятора, що відповідають значенню уставки, дійсному значенню та керуючому впливу (додаток Б2).

Зв'язок між програмним забезпеченням регулятора та об'єктом керування реалізовано через механізм розподілу «Allocations» (рис. 4.12).



Name	Source variable	Target variable	Trigger ...	Trigger type
Filter text	Filter text	Filter text	Filter t...	Filter text
zenon_to_PLC	ContentO2	Controller/Global/Control_Conten...	< no v...	Edge
PLC_to_zenon	Controller/Global/Control_State	State	< no v...	Edge

Рисунок 4.12 – Механізм розподілу «Allocations»

Таким чином, було створено два розподіли. Перший, копіює значення витрат газу (тиску) з об'єкту керування до регулятора, друге – значення положення заслінки з регулятора до об'єкту керування. Більш докладно список програм, змінних, драйверів для програмного забезпечення регулятора наведено у додатку Б2.

4.3 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу

Невід'ємною частиною розробки системи керування є створення програмного забезпечення людино-машинного інтерфейсу.

Для забезпечення повної функціональності системи керування необхідно розробити ЛМІ, що має забезпечувати:

- можливість спостерігати за протіканням перехідного процесу;
- можливість спостерігати за зміною параметрів об'єкта;
- можливість слідкувати за станом протікання технологічного процесу, та в разі виникнення непередбачуваних подій вчасно вирішити проблему.

Таким чином, можна сформулювати основні вимоги до ЛМІ:

- мінімальне розширення екрану 1024x920 px;
- кількість зображень: 5 – зображення з кнопками, що дозволять без проблем переходити між іншими зображеннями, технологічна схема, графік перехідного процесу, список подій та список тривоги.

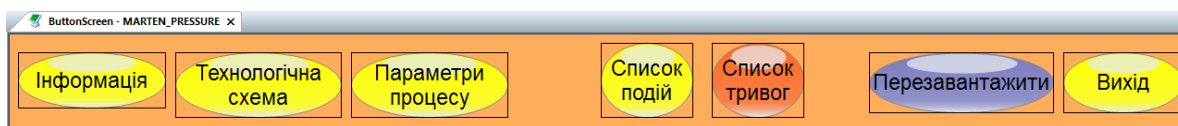


Рисунок 4.13 – Зображення кнопок

На рис. 4.13 показано зображення кнопок що було реалізовано для ЛМІ. Кожна з них має свою функцію. «Технологічна схема»: при натисканні цієї кнопки відбувається перехід на наступне зображення (рис. 4.14), де представлена технологічна схема системи керування, розташування датчиків та основна інформація про об'єкт. Реалізація роботи цієї кнопки була виконана за допомогою функції `switch screen`, що дозволяє перейти на наступне зображення. Кнопки «Параметри процесу», «Список тривоги», «Список подій» було реалізовано аналогічно, вони дозволяють перейти на зображення – рис. 4.15, рис. 4.16, рис. 4.17 відповідно. Кнопки «Вихід» та «Перезавантажити» реалізовано за допомогою функцій `exit runtime` та `reload project` відповідно.

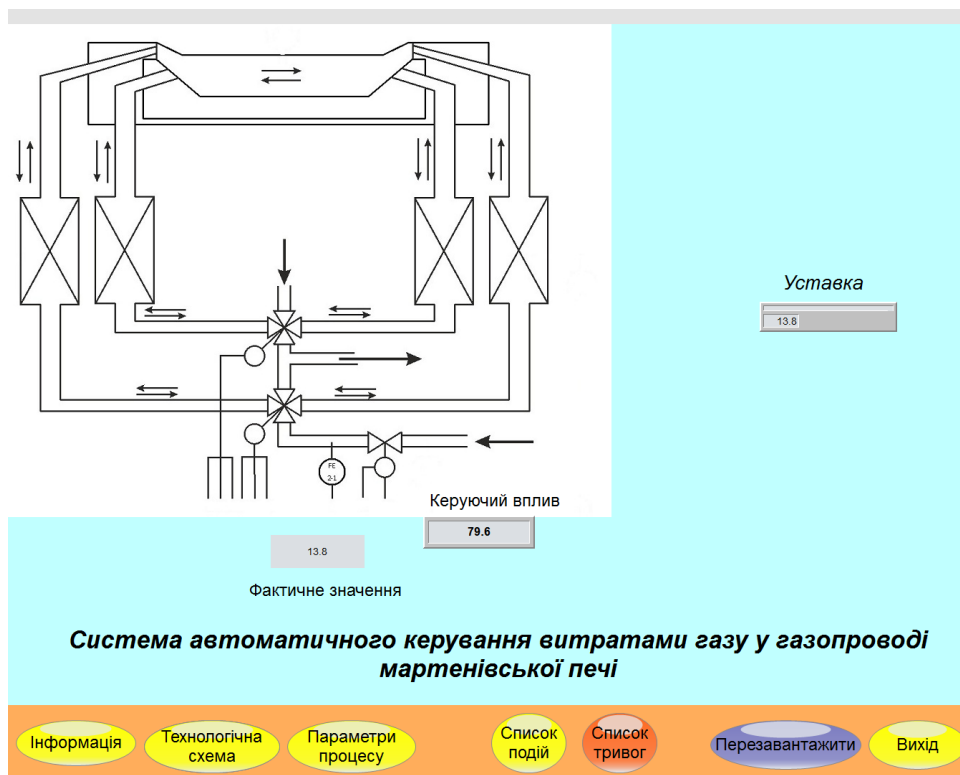


Рисунок 4.14 – Зображення технологічної схеми

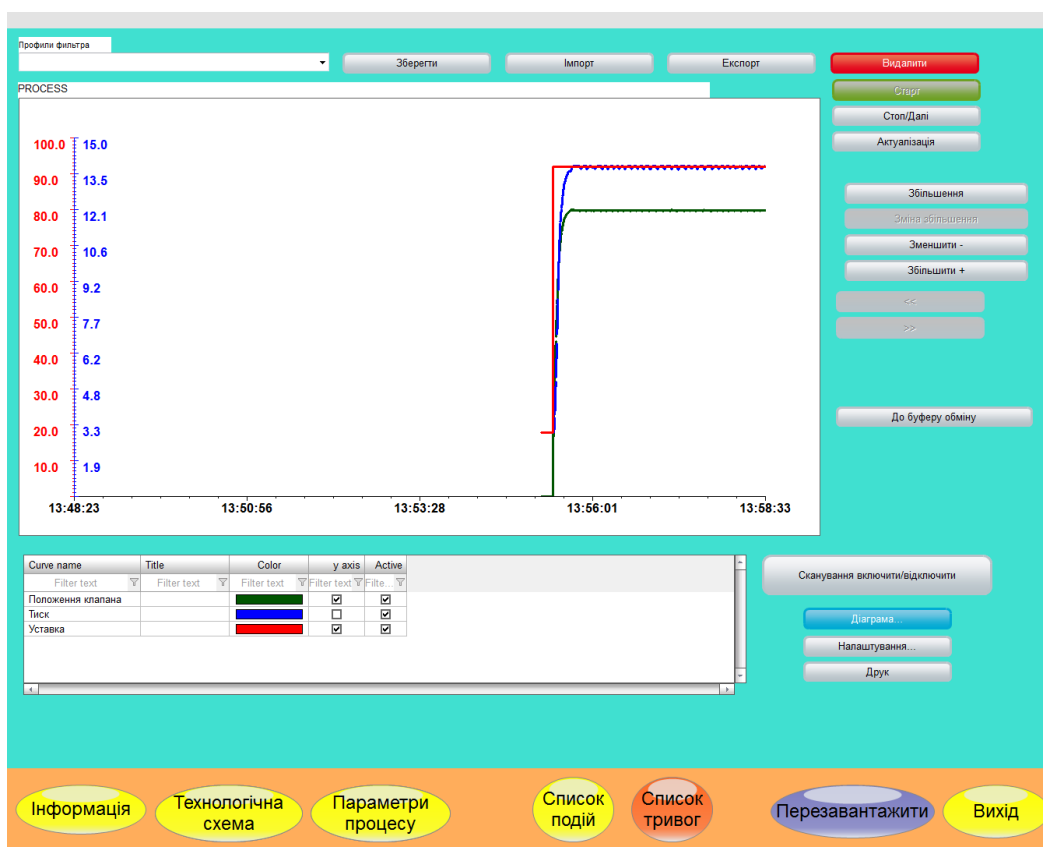


Рисунок 4.15 – Зображення графіку перехідного процесу

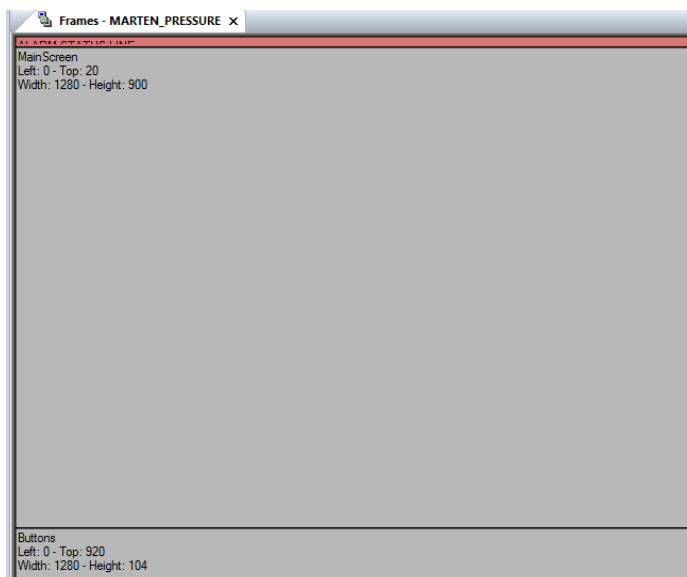


Рисунок 4.18 – Шаблон зображень

Основні зображення розташовані в основному фреймі, зображення з кнопками окремим фреймом, проте є статичним та відображається постійно. Для розробки таких зображень, як «Список подій» та «Список тривог» були використані шаблони SCADA системи zenon.

Розроблене програмне забезпечення наводиться в додатку В.

4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення

Перевірка функціонування програмного забезпечення відбувалася шляхом подачі уставки витрат газу на рівні 13,8 м³/с на вхід об'єкта керування. З рисунка 4.19 видно, що об'єкт та регулятор адекватно працюють, перерегулювання практично відсутнє.

Усі кнопки виконують свої функції, на технологічній схемі коректно відображаються усі необхідні дані про стан та роботу системи керування. До списку подій вносяться дані про зміну уставки. Оскільки система керування працює згідно з вимогами, список тривог порожній.



Рисунок 4.19 – Перевірка функціонування

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

4.5 Висновки до розділу

У результаті проведеної роботи було розроблено програмне забезпечення об'єкта керування, регулятора, та програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу. Проведено перевірку функціональності роботи системи керування та ЛМІ.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Впровадження автоматичного або автоматизованого керування технологічними процесами дозволяє для підприємств зменшити витрату ресурсів, підвищити якість продукції та збільшити продуктивність.

У даному розділі кваліфікаційної роботи здійснене економічне обґрунтування доцільності синтезу системи автоматичного керування витратами газу у газопроводі мартенівської печі.

Об'єктом керування є мартенівська піч, а предметом – система автоматичного керування витратами газу у газопроводі. Вхідною величиною об'єкта керування є положення заслінки у газопроводі, а вихідною – витрати газу.

Виходячи з цього, система автоматичного керування повинна включати датчик витрат або тиску у газопроводі, привод заслінки у газопроводі, а також пристрій керування й пульт оператора.

Економічний ефект досягається шляхом економії газу за рахунок більш швидкого переходу до заданого оператором значення.

5.1 Розрахунок капітальних витрат

5.1.1 Розрахунок трудомісткості розробки програмного забезпечення

Нормування праці у процесі створення програмного забезпечення є досить складним через творчий характер вирішуваних програмістами завдань. Тому трудомісткість створення програмного забезпечення розраховується на основі системи моделей з різною точністю оцінки.

Трудомісткість обробки праці програмного забезпечення розраховується за формулою:

$$t = t_0 + t_d + t_a + t_n + t_{\text{опл}} + t_d, \text{ люДИНО-ГОДИН} \quad (5.1)$$

де t_0 – витрати праці на опис і підготовку поставленого завдання;

t_d – витрати праці на дослідження алгоритму вирішення завдання;

t_a – витрати праці на обробку блок-схеми алгоритму;

t_n – витрати праці на програмування за готовою блок-схемою;

t_{onl} – витрати праці на налаштування програм на ЕОМ;

t_d – витрати праці на підготовку документації за завданням.

Складові частини витрат праці визначаються на підставі умовної кількості оброблюваних операторів у програмному забезпеченні. До них належать ті оператори, які необхідно написати в процесі роботи над програмою з урахуванням можливих уточнень у постановці завдання, а також удосконалення алгоритму.

Умовна кількість операторів у програмі:

$$Q = q \cdot c \cdot (1 + p), \quad (5.2)$$

де q – кількість операторів, що використані в програмі;

c – коефіцієнт складності програми;

p – коефіцієнт корекції програми в процесі її обробки.

За узгодженням з керівником проекту, значення коефіцієнтів c і p були узяті, відповідно, рівними 1,2 і 0,15. Кількість операторів у програмному забезпеченні – 480 (Додатки А та Б).

Таким чином, для програми:

$$Q = 480 \cdot 1,2 \cdot (1 + 0,15) = 662 \text{ оператора.}$$

Оцінка витрат праці на підготовку і опис завдання складають $t_0=18$.

Витрати праці на вивчення опису завдання визначаються з уточненням опису і кваліфікації програміста за формулою:

$$t_u = \frac{Q \cdot B}{(75 \dots 85) \cdot k}, \text{ людино-годин} \quad (5.3)$$

де B – коефіцієнт збільшення витрат праці $B=1,2-1,5$;

k – коефіцієнт програміста, який визначається залежно від стажу роботи за фахом.

В даному випадку коефіцієнт $k = 0,8$, оскільки стаж роботи до 2 років.

Таким чином, витрати праці на вивчення опису завдання :

$$t_{\partial} = \frac{662 \cdot 1,3}{80 \cdot 0,75} = 14,35, \text{ людино-годин}$$

Витрати праці на обробку алгоритму рішення задачі:

$$t_a = \frac{Q}{(20 \dots 25) \cdot k}, \text{ людино-годин} \quad (5.4)$$

$$t_a = \frac{662}{20 \cdot 0,8} = 41,4, \text{ людино-годин.}$$

Витрати праці на складання програми за готовою блок-схемою:

$$t_n = \frac{Q}{(20 \dots 25) \cdot k}, \text{ людино-годин} \quad (5.5)$$

$$t_n = \frac{662}{20 \cdot 0,8} = 41,4, \text{ людино-годин.}$$

Витрати праці на налаштування програм ЕОМ визначаються за формулою (за умови автономного налаштування одного завдання):

$$t_{\text{нал}} = \frac{Q}{(4 \dots 5) \cdot k}, \text{ людино-годин.} \quad (5.6)$$

$$t_{\text{нал}} = \frac{662}{4 \cdot 0,8} = 207, \text{ людино-годин.}$$

Витрати праці на підготовку документації за завданням визначаються по формулі:

$$t_{\partial} = t_{\partial p} + t_{\partial o}, \text{ людино-годин.} \quad (5.7)$$

де $t_{\partial p}$ – трудомісткість підготовки матеріалів до рукопису;

$t_{\partial o}$ – трудомісткість редагування, друку і оформлення документації.

$$t_{\partial p} = \frac{Q}{(15 \dots 20) \cdot k}, \quad (5.8)$$

де $t_{\partial p} = 662 / (15 \cdot 0,8) = 55,2$, людино-годин.

$$t_{до} = 0,75 \cdot t_{доп} \quad , \quad (5.9)$$

$$t_{до} = 55,2 + 55,2 \cdot 0,75 = 96,6 \text{ людино-годин.}$$

Отже

$$t = 18 + 14,35 + 41,4 + 41,4 + 207 + 96,6 = 418,75 \text{ людино-годин.}$$

Таким чином, трудомісткість розробки програмного забезпечення складає 418,75 людино-годин.

5.1.2 Розрахунок витрат на створення програмного забезпечення

Витрати на створення програмного забезпечення ($K_{пз}$) включають витрати на заробітну плату розробника програми і вартість машинного часу, необхідного для налаштування програми на ЕОМ ($Z_{мч}$):

$$K_{пз} = Z_{зн} + Z_{мч}, \text{ грн.} \quad (5.10)$$

Заробітну плату розробника програми визначають за формулою:

$$Z_{зн} = t \cdot C_{пр}, \text{ грн,} \quad (5.11)$$

де t – загальна трудомісткість розробки програмного забезпечення;

$C_{пр}$ – середньо-годинна заробітна плата програміста (основна і додаткова) з нарахуваннями, грн./годину. $C_{пр} = 190$ грн/годину.

$$Z_{зн} = 418,75 \cdot 190 = 79\,562,88 \text{ грн.}$$

Вартість машинного часу, необхідного для налаштування програми на ЕОМ:

$$Z_{мч} = t_{нал} \cdot C_{мч}, \text{ грн,} \quad (5.12)$$

де $t_{нал}$ – трудомісткість налагоджування програм на ЕОМ;

$C_{мч}$ – вартість машино-години ЕОМ, грн/годину.

Прийmemo: $C_{мч} = 40$ грн/годину.

$$Z_{мч} = 207 \cdot 40 = 8280,00 \text{ грн.}$$

$$K_{пз} = 79\,562,88 + 8280,00 = 87\,842,88 \text{ грн.}$$

Таким чином, витрати на створення програмного забезпечення складають 87 842,88 грн.

5.1.3 Розрахунок додаткових капітальних витрат

Капітальні витрати – це засоби, призначені для створення і придбання основних фондів та нематеріальних активів, що підлягають амортизації.

Капітальні витрати на розробку створюваної системи автоматичного керування описані в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Розрахунок капітальних витрат при розробці системи автоматичного керування

№	Устаткування	Кількість, шт.	Ціна, грн	Монтажно-налагоджувальні роботи, грн	Всього
1	Пристрій управління ОВЕН ПКП1	1	3646,00	360,0	4006,00
2	Інтерфейсний модуль VIPA 200 V	1	7000,00	700,0	7700,00
3	Програмований логічний контролер VIPA System 200 V	1	11440,0	1100,0	12540,00
4	Модуль аналогового вводу VIPA 231	1	2400,00	240,0	2640,00
5	Регулююча газова заслінка Elettromeccanica Delta VF95	1	11202,0	1100,0	12302,00
6	Модуль дискретного виводу VIPA 222	1	6110,00	600,00	6710,00
7	Блок живлення Carlo Gavazzi SPD243	1	1500,00	150,00	1650,00
8	Датчик витрат газу ELSTER BK G10MT		9744,00	1000,00	10744,00
	Всього	-	53 042	5250,00	58292,00

5.2 Експлуатаційні витрати

Експлуатаційні витрати – це поточні витрати на експлуатацію і обслуговування об'єкту проектування за певний період (наприклад, рік), що виражені в грошовій формі:

$$Z_{nom} = C_a + C_z + C_c + C_m + C_e \quad (5.13)$$

- де C_a – амортизаційні відрахування;
 C_z – заробітна плата обслуговуючого персоналу;
 C_c – відрахування на соціальні заходи від заробітної плати (22% від C_z);
 C_m – витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт устаткування;
 C_e – вартість електроенергії, споживаної об'єктом.

Устаткування, розробленої системи, відноситься до 4 групи за мінімальними термінами корисного використання. Передбачуваний термін експлуатації системи керування складає 5 років.

Розрахунок амортизаційних відрахувань здійснимо по методу прискореного зменшення залишкової вартості, де використовується подвоєна норма амортизації :

$$H_A = \frac{2}{r} \cdot 100, \% \quad (5.14)$$

де H_A – коефіцієнт амортизації, долі одиниць.

Зазначимо, що за умови використання цього методу впродовж перших років експлуатації об'єкту проектування накопичується значна сума коштів, необхідних для його відновлення.

З оглядом на це, норма амортизації для проектованої та альтернативної системи автоматичного керування становить:

$$H_{a a} = \frac{2}{5} \cdot 100\% = 40\% , H_{a np} = \frac{2}{5} \cdot 100\% = 40\% .$$

Формула для розрахунку витрат на амортизаційні відрахування:

$$C_a = \frac{PC \cdot H_a}{100\%}, \text{ грн} \quad (5.15)$$

- де C_a - річна сума амортизації, грн;
 PC - первинна вартість (капітальні витрати – К), грн.

Отже

$$C_a = C_z \cdot 0,4 = 58292,00 \cdot 0,4 = 23\,316,8 \text{ грн.}$$

Наразі розрахуємо заробітну плату обслуговуючого персоналу :

$$C_3 = ((T_k - T_{np} - T_{вих} - T_{отп}) \cdot t_{см}) \cdot T_ч, \text{ грн}, \quad (5.16)$$

де T_k – кількість календарних днів у році;

T_{np} – кількість днів празників у році;

$T_{отп}$ – кількість днів відпустки у році;

$T_{вих}$ – кількість вихідних днів у році;

$t_{см}$ – термін зміни;

$T_ч$ – середньо-годинна заробітна плата.

$$C_3 = (((366 - 12 - 115 - 20) \cdot 8) \cdot 29,2 = 51\,159 \text{ грн.}$$

Розрахуємо відрахування на соціальні заходи від заробітної плати:

$$C_c = 0,22 \cdot C_3 = 0,22 \cdot 51\,159 = 11\,254,98 \text{ грн.}$$

Розрахуємо витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт устаткування:

$$C_m = 0,01 \cdot K = 0,01 \cdot 58292,00 = 582,92 \text{ грн.}$$

Далі розрахуємо вартість електроенергії, споживаної об'єктом:

$$C_e = K_e \cdot ds \cdot K_{\partial} \cdot K_m \cdot T, \text{ грн.} \quad (5.17)$$

де K_e - кількість електроенергії, споживаної на робочому місці за годину;

K_{∂} – кількість місяців у році;

K_m – кількість робочих днів за місяць;

ds – тривалість зміни;

T – тариф на електроенергію для підприємств (для підприємств 2 класу 0,905 грн за кВт·год. з ПДВ).

Отже

$$C_e = 0,8 \cdot 24 \cdot 21 \cdot 24 \cdot 0,905 = 8\,757,50 \text{ грн.}$$

Тож, експлуатаційні витрати складуть:

$$Z_{ном} = 23\,316,8 + 51\,159,0 + 11\,254,98 + 582,92 + 8\,757,5 = 95\,071,21 \text{ грн.}$$

Таким чином, річні експлуатаційні витрати, пов'язані із застосуванням системи керування, що розробляється, складатимуть 95 071,21 грн.

Річна економія на поточних витратах ($P_{ек}$) визначається по формулі:

$$P_{ек} = Z_p - (Z_{ном} + Z_e) \quad (5.18)$$

де $Z_{ном}$ - річні поточні витрати, пов'язані із застосуванням системи

Z_p - витрати без застосування системи;

Z_e - витрати після застосування системи.

Розрахуємо річні витрати на рішення задачі без застосування розробленої системи керування.

За джерельними даними та результатами досліджень, впровадження системи автоматичного керування дозволить зменшити витрати газу у середньому на 0,2% (річне споживання газу однієї мартенівської печі – 1,6 млн. м³/рік).

Витрати на рішення задачі після застосування системи керування (з урахування вартості газу для підприємств 8,82 грн за 1 м³):

$$Z_e = 14\,112\,000 \cdot (1 - 0,01) = 13\,829\,760,00 \text{ грн.}$$

Визначимо річну економію на поточних витратах:

$$P_{ек} = 14\,112\,000 - (58\,292,0 + 95\,071,2 + 13\,829\,760,0) = 128\,876,80 \text{ грн.}$$

Таким чином, річна економія на експлуатаційних витратах складає 128 876,80 грн.

5.3 Оцінка економічної ефективності

Оцінка економічної ефективності здійснюється на основі визначення і аналізу наступних показників:

- 1) розрахункового коефіцієнта ефективності капітальних витрат E_p ;
- 2) терміну окупності капітальних витрат $T_{ек}$.

Коефіцієнт ефективності капітальних витрат показує, скільки гривень додаткової економії приносить одна гривна капітальних витрат :

$$E_p = P_{ек} / K \quad (5.19)$$

де K - капітальні витрати на придбання і впровадження системи автоматичного керування;

$P_{ек}$ - річна економія.

Тож

$$E_p = 128\,876,80 / (58\,292,0 + 95\,071,2) = 0,84 \text{ (долі одиниць)}.$$

Таким чином, коефіцієнт ефективності капітальних витрат складе 0,79.

Термін окупності капітальних витрат на придбання і впровадження проекту за рахунок загальної економії розраховується по формулі:

$$T_{ек} = K / P_{ек} \quad (5.20)$$

$$T_{ек} = (58\,292,0 + 95\,071,2) / 128\,876,80 = 1,19.$$

Таким чином, термін окупності капітальних витрат складе 1,19 років.

Фінансово-економічні показники, що характеризують ефективність створення і впровадження проектової системи автоматичного керування, відображені в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 - Фінансово-економічні показники використання системи автоматичного керування, що розробляється

Найменування	Одиниця виміру	Значення показника
Капітальні витрати на придбання і впровадження системи	грн	58 292,0
Річні поточні витрати, пов'язані з використанням системи	грн	95 071,21
Річна економія від впровадження системи	грн	128 876,80
Коефіцієнт ефективності	долі од.	0,84
Розрахунковий термін окупності капітальних витрат	років	1,19

5.4 Висновок

У цьому розділі роботи розраховані економічні показники, які показують економічну доцільність впровадження системи автоматичного керування, що розробляється.

За умови впровадження проектової системи автоматичного керування капітальні витрати на придбання і впровадження системи складуть 58,3 тис. грн. Річні поточні витрати складуть 95,07 тис. грн. Річна економія на

поточних витратах при цьому складає 128,87 тис. грн. Термін окупності проектних капітальних вкладень за рахунок скорочення експлуатаційних витрат складає 1,19 років, а коефіцієнт ефективності – 0,84. Тобто, кожна гривна капітальних витрат принесе 0,84 грн. прибутку.

Виходячи з розрахованих даних, можна зробити висновок, що впровадження і використання проектованої системи автоматичного керування витратами газу в газопроводі мартенівської печі є економічно доцільним.

РОЗДІЛ 6

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Основними задачами з охорони праці є створення здорових і безпечних умов праці, ліквідація травматизму і професійних захворювань на виробництві.

Для вирішення задач з охорони праці на підприємстві створена система управління охороною праці. До управляючого органу СУОП на підприємстві входить керівник та інженер з охорони праці в цілому по господарству. Керівник підприємства несе персональну відповідальність за організацію і стан охорони праці на підприємстві. Він своїм наказом щорічно призначає відповідальних за охорону праці : в галузях - головних спеціалістів, в підрозділах - їх керівників. Вони проводять всю практичну роботу по створенню здорових і безпечних умов праці. На підприємстві є штатна посада інженера з охорони праці. Він підпорядкований безпосередньо керівнику підприємства. Інженер з охорони праці організує і координує роботи з охорони праці в структурних підрозділах і контролює їх виконання. Він має право заборонити експлуатацію робочих місць, де є загроза життю та здоров'ю людей. Для цього він керівникам підрозділів видає приписи на усунення недоліків, які обов'язкові для виконання, скасувати їх може тільки керівник підприємства і тільки в письмовій формі.

В приміщенні санітарно-побутові приміщення відповідають вимогам. Є місця для паління, туалетні кімнати та приміщення соціально-побутового призначення, місця для розміщення пристроїв питного водопостачання. Прибирання санітарно-побутових приміщень проводиться після кожної робочої зміни.

При виконанні службових обов'язків робітник працює з документами, комп'ютерами та оргтехнікою.

Роботу в теперішні час не можна уявити без сучасної оргтехніки і комп'ютерних технологій. А ця техніка при недотриманні вимог охорони праці може негативно впливати на стан здоров'я і працездатності користувачів. Крім

цього, дослідження показали, що сучасна професія користувача ЕОМ є моделлю розумової праці, яка виконується в одноманітній позі в умовах обмеження загальної м'язової активності і при великій рухомості кистей рук, а також при великому навантаженні зорових функцій та нервово-емоційної напруги в умовах впливу безлічі негативних фізичних факторів.

Мікроклімат на підприємстві відповідає нормативним параметрам для приміщень з ПЕОМ та ВДТ. Нормативні параметри складають: для температури 21-25 С, відносної вологості 40-60%. Для підтримання мікроклімату в нормі в приміщенні установлені прилади зволоження та кондиціонування повітря.

Нові монітори комп'ютерів виділяють в повітряне середовище цілу низьку токсинів. Ці токсини викликають у людини алергічні респіраторні захворювання та різні дерматити. Тільки після 3-4 років регулярного використання монітора концентрація токсинів зменшується у 10 разів і стає нормальною.

При роботі з ксероксом, залежно від типу апарата і тонера, також можливо виділення в робочу зону шкідливих речовин: озону, діоксину селена, оксидів азоту та вуглецю. Поряд з цим, робота таких розмножувальних машин супроводжується виникненням електростатичного поля, шуму, порушення параметрів мікроклімату; можливий вплив інфрачервоного випромінювання.

Під час роботи з ВДТ і ПЕОМ на електронно-променевих трубках на організм користувачів діє ціла низка випромінювань та полів. До них відносяться іонізуючі випромінювання: рентгенівське, гама- і бета-випромінювання, а також неіонізуючі випромінювання: ультрафіолетового, видимого та інфрачервоного діапазонів, які виділяє екран монітора. Діють на користувача ще й низькочастотне та високочастотне електромагнітне випромінювання від силових блоків, а також електростатичне поле (дисплей). Як свідчать дослідження, параметри цих випромінювань і полів від ВДТ і ПЕОМ або знаходяться в межах, або значно нижчі нормативних величин, діючих в сучасний період в Україні. Але можливі ситуації, коли ці фактори

починають діяти на користувача негативно, наприклад, при порушенні санітарно-гігієнічних вимог до відстані до дисплею, до тривалості безперервної роботи з комп'ютером, при аварійних ситуаціях. Поряд з цим, під час експлуатації при випадковому доторканні до будь-якого з елементів ПЕОМ виникають розрядні струми статичної електрики. Такі розряди небезпеки для людей не становлять, але крім неприємних відчуттів, вони можуть призвести до виходу з ладу комп'ютера.

Ненормативна робота користувача комп'ютера супроводжується великою стомленістю. В багатьох випадках робота користувачів пов'язана з обробкою великих масивів інформації, іншою інтелектуальною працею, що призводить до зростання втоми, в першу чергу, нервово-психічної. Нервово-психічні перевантаження підсилюються, якщо в роботі є емоційна компонента, наприклад в умовах дефіциту часу або візуально інформація не оптимальна по кольоровій гамі, чи деякі зображення мигають на екрані монітора з частотою 10-30 Гц, резонансною з чистотою біоритмів нейронів головного мозку. Може мати місце не тільки біль, але й судоми, конвульсії, втрата свідомості.

Поряд з цим, ненормативне використання ПК призводить до суттєвого погіршення здоров'я користувачів. Перш за все страждає головний мозок, небезпечному впливу підлягають ендокринна, імунна та репродуктивна системи людини, можливі генетичні наслідки.

Втома зорового апарату визначається специфікою роботи користувача комп'ютера, яка має ряд особливостей:

- а) світлотехнічна різноманітність об'єктів зорової роботи;
- б) робота з пульсуючим самосвітним об'єктом;
- в) в полі зору може бути неприємна розосередженість яскравості;
- г) осліплююча дія світильників;
- Д) наявність дзеркально відбиваючої та не плоскої поверхні екрану.

Як відомо робота користувача комп'ютера пов'язана з великою рухомістю кистей рук, але інший кістково-м'язовий апарат людини практично не працює. Така виражена загальна гіподинамія призводить до застійних явищ в

організмі, зростання кількості тучних людей, зниженню імунітету різним захворюванням, в т.ч. суглобів, міозитам та невралгія.

Під час роботи з комп'ютером та оргтехнікою на працівників впливає ряд факторів таких як:

- електромагнітні та інші випромінювання;
- шум;
- освітлення;
- мікроклімат;
- концентрація іонів;
- забруднене повітря робочої зони ;

Щоб зменшити дію шкідливих і небезпечних факторів потрібно дотримуватись наступних вимог:

- для зменшення негативного впливу шкідливих випромінювань рекомендовано застосовувати антистатичне покриття та зволоження повітря;
- з метою зниження шуму слід застосовувати шумопоглинаючі засоби;
- температура повітря повинна становити 21-25 градусів при відносній вологості 40-60%;
- для підтримки допустимих значень мікроклімату та іонного складу повітря необхідно передбачати прилади зволоження або штучної іонізації та кондиціонування повітря;
- для запобігання дії шкідливих речовин встановлюють місцеву припливно-втяжну вентиляцію.

До роботи допускаються особи, які досягли вісімнадцятирічного віку, кваліфіковані спеціалісти, які пройшли стажування, навчання з охорони праці та ознайомлені з положеннями, інструкціями та іншими нормативними актами про охорону праці на підприємстві.

Власник повинен розробити і затвердити інструкції по охороні праці, провести навчання і інструктажі з працівниками, прийняти міри, щодо робочих місць й засобів виробництва, які повинні підтримуватись в справному і

безпечному стані. Проводити атестацію робочих місць на відповідність їх вимогам законодавства, слідкувати, щоб повсякденна робота з ЕОМ регулярно переривалась паузами або іншими видами діяльності, які знижують навантаження на користувача комп'ютера.

Навчання посадових осіб проводять до початку виконання ними своїх обов'язків і періодично один раз на три роки в установленому порядку. Для них також запроваджується перевірка знань з охорони праці. У разі незадовільних знань працівники повинні пройти повторну підготовку. Інструктаж проводити по наступним видах: вступний інструктаж при надходженні на роботу, інструктаж на робочому місці, повторний інструктаж. Вступний інструктаж проводить інженер з охорони праці. Інструктаж на робочому місці проводить керівник виробничої ділянки, супроводжуючи його показом безпечних прийомів роботи.

Приміщення, в якому розміщуються комп'ютери повинно мати другу ступінь вогнестійкості. На одне робоче місце повинно припадати:

Об'єм - не менше 20,0 куб. м., а площа – не менше 6,0 кв. м. Стіни, підлога, стеля мають бути виготовлені з матеріалів, які мають дозвіл органів державного санітарно-епідеміологічного нагляду.

Приміщення обладнано системами опалення, кондиціонування повітря, а також мають природне та штучне освітлення.

Приміщення має систему пожежної сигналізації, а також вогнегасники з розрахунку 2 шт. на кожні 20 кв. м. площі.

В приміщенні є аптечка першої допомоги, щоденно робиться вологе прибирання. Воно обладнане шафами для зберігання документів, магнітних дисків, полицями, тумбами тощо.

Обладнання і організація робочого місця з ПЕОМ забезпечують розміщення працюючої людини з урахуванням робочих рухів і переміщень, зміни робочої пози, вільного доступу до місць профілактичного огляду і налагоджування обладнання, Правил і санітарних норм. Робоче місце повинно відповідати антропологічним характеристикам працюючого.

Для перешкоджання дії шкідливих речовин, як вже зазначалось, в приміщенні встановлюють прилади зволоження та кондиціонування.

Приміщення для роботи з ВДТ і ПСОМ повинні мати природне та штучне освітлення. Природне освітлення має здійснюватись через світлові прорізи, орієнтовані переважно на північ чи північний схід і забезпечувати коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче ніж 1,5%. Вікна повинні мати регулюючі пристосування для відкривання, а також жалюзі, штори, зовнішні козирки. Штучне освітлення має здійснюватись системою загального рівномірного освітлення і у разі переважної роботи з документацією можуть додатково встановлюватися світильники місцевого освітлення. Значення освітленості на поверхні робочого столу в зоні розміщення документів має становити 300-500 лк; світильники місцевого освітлення не повинні створювати блисків на поверхні екрану дисплею, його освітленість не перевищувати 300 лк. Слід передбачити обмеження прямої близькості від джерел природного та штучного освітлення. Необхідно обмежувати нерівномірність розподілу яскравості в полі зору працюючих з ЕОМ.

При роботі з ЕОМ необхідно пам'ятати правила безпечної експлуатації цього устаткування. Перед початком роботи оглядають все обладнання, кабелю, вилки, розетки, переконуються у його справності. При виконанні роботи дотримуються вимог експлуатаційних інструкцій з охорони праці. Після закінчення роботи відключають всі прилади від електричної мережі.

Обладнання розташовують на відстані не менше 1 м від нагрівальних приладів і так, щоб воно не зазнавало впливу прямих сонячних променів.

При знаходженні неполадок у електроприладах повідомляють електротехнічний персонал або керівництво.

Забезпечення пожежної безпеки включає: розробку регламентів і норм виконання технологічних процесів; забезпечення працюючих інструктивними матеріалами (інструкції з пожежної безпеки, плакати, попереджувачі написи тощо, плани евакуації); наявність засобів гасіння пожеж; контроль і нагляд за дотриманням протипожежних норм.

На підприємстві встановлений відповідний протипожежний режим.

Працівники підприємства дотримуються вимог пожежної безпеки, не допускають дій, які можуть призвести до виникнення пожежі; знають й дотримуються усіх вимог нормативних актів пожежної безпеки та цих інструкцій; користуються тільки справними приладами, обладнанням, дотримуються інструкцій з їх експлуатації.

Згідно трудового законодавства денна робоча зміна не повинна перевищувати 8 годин та 40 годин на тиждень при цьому слід встановити такі зміни праці та відпочинку:

- для розробників програм слід призначати перерви тривалістю 15 хвилин через кожну годину роботи;
- для операторів ЕОМ – перерва 10 хвилин кожні 2 години роботи;
- для операторів комп'ютерного набору – 10 хвилин кожну годину роботи.

Для поліпшення умов праці, підвищення рівня безпеки і організації робіт з охорони праці пропоную:

1. Керівнику підприємства призначати щорічно наказом відповідальних за охорону праці в підрозділах.
2. Своєчасно й ретельно проводити інструктажі з охорони праці.
3. У всіх підрозділах обладнати куточки з охорони праці.
4. Ввести такий механізм управління охороною праці, коли роботодавцю буде економічно не вигідно мати шкідливі і небезпечні умови виробництва (встановлення диференційованих страхових тарифів залежно від стану охорони праці на підприємствах).
5. Забезпечити надійне фінансування витрат, пов'язаних з виплатою компенсацій працівникам при втраті працездатності, а також пенсій по інвалідності і у випадку смерті годувальника.
6. Значно підвищити рівень усієї профілактичної роботи щодо запобігання нещасним випадкам та професійним захворюванням.

Міри з забезпечення безпеки у надзвичайних ситуаціях та пожежної профілактики.

Досліджуваний об'єкт відноситься по небезпеці виникнення пожежі до групи «В» - «пожежонебезпечні». Визначення до даної категорії обґрунтовується роботою з легкозаймистими матеріалами (папір), наявність комп'ютерів.

Можливими причинами пожежі можуть бути:

- коротке замикання в електромережі;
- спалах паперу через недбале ставлення;
- поширення вогню з сусідніх приміщень;
- порушення техніки безпеки при роботі з устаткуванням;
- використання електропобутових пристроїв (електрочайників);

попадання вологи на працюючі електроагрегати;

- залишення без нагляду увімкннутих комп'ютерів, обчислювальної техніки та інших електроприладів.

Попередити виникнення пожежі можна за допомогою наступних заходів:

1. видання розпорядження по підприємству про призначення осіб, що відповідальні за пожежну безпеку приміщення відділів;
2. щорічне проведення повторних протипожежних інструктажів та занять за програмою пожежно – технічного мінімуму з особами, що відповідальні за пожежну безпеку;
3. своєчасне інформування пожежної охорони про несправність пожежної техніки, систем протипожежного захисту, водопостачання тощо;
4. використання якісної ізоляції для електропроводки;

5. устаткування приміщення протипожежними засобами, як емульсивний

(ОВЕ – 5(з) – АВЕ) для повітря і порошковий (ОП – 5) вогнегасники, система пожежної сигналізації;

б. установка системи безперебійного живлення (UPS) інтерактивного типу із захистом від перевантаження і вихідною потужністю – 720 Вт на випадок, якщо ноутбуки будуть замінені на стаціонарні комп'ютери.

Також весь промисловий комплекс має пожежну сигналізацію (автоматичну, що спрацьовує від датчиків диму, та наявні кнопки примусового включення сигналізації в коридорах и приміщеннях) та аварійні виходи для персоналу на випадок евакуації у наслідок пожежі або вибуху. Кількість евакуаційних виходів з приміщень має бути не менше двох, причому вони повинні розташовуватися розосереджено і доступ до них не загороджено виробничими елементами.

Таким чином, забезпечення пожежної безпеки досягається наступними заходами:

- постійний контроль і перевірка стану обладнання;
- постійним утриманням території в чистоті шляхом її очищення від сміття, опалого листя, снігу тощо;
- наявність робочої вентиляції;
- заборона паління на території;
- наявність протипожежної сигналізації;
- забезпечення системи пожежогасіння, і наявність первинних засобів пожежогасіння (ящик з піском, пожежний рукав і порошкові вогнегасники).

Необхідне також приведення систем автоматичної пожежної сигналізації та пожежогасіння у відповідності до вимог пожежних стандартів, що передбачає використання вогнестійких кабелів в системах живлення та забезпечення автоматичного запуску системи оповіщення та управління евакуацією людей у випадку пожежі.

Розрахунок системи освітлення, вибір джерела освітлення, і світильника, виконаємо для кабіни управління оператора.

Розрахунки виконаємо у спеціалізованій програмі «DIALux». Для початку розробимо схему приміщення (Рис. 6.1). Розміри кімнати: довжина – 4м, ширина – 5.8м, висота – 2.8м.



Рисунок 6.1 – Схема приміщення операторів колони.

Після цього використовуючи внутрішній інструмент програми розташуємо джерело світла в автоматичному режимі (Рис. 6.2).

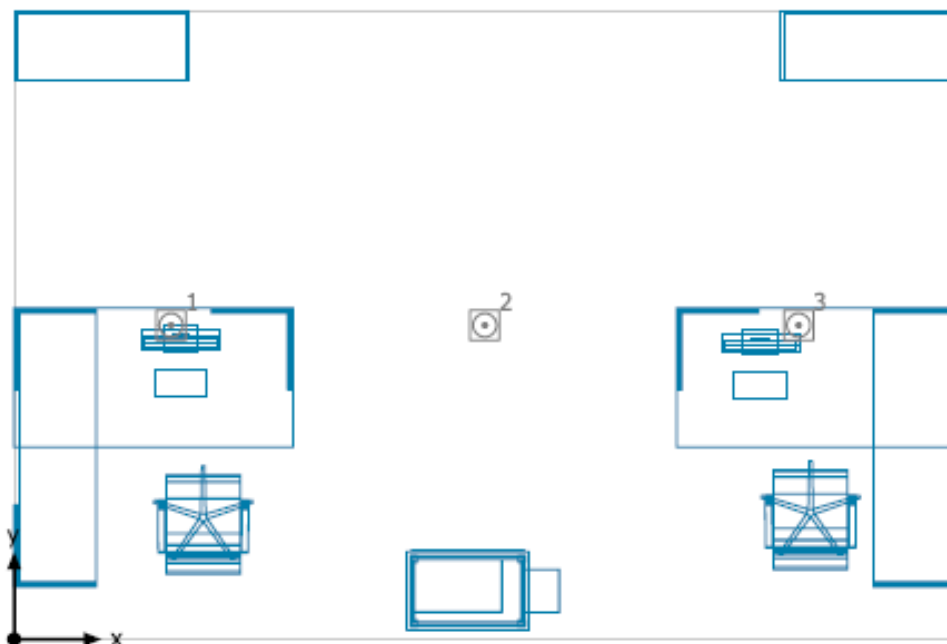


Рисунок 6.2 – Розташування світильників.

Лінійне розташування оптимально забезпечує рівномірне освітлення по всій кімнаті. Ми обрали світильник Ledona Square IP20 з такими характеристиками:

Розміри:

- Довжина L - 170 мм
- Ширина B - 170 мм
- Висота H - 3 мм
- Діаметр вирізу DA - 160 мм
- Висота поглиблення HE - 89 мм

Технічні характеристики:

- Лампа – світлодіодна
- Колірна температура - 4000K
- Потужність системи - 18 Вт
- Ефективність світильника - 120 лм / Вт
- Номінальний світловий потік - 2150 лм
- Кут променя - 59 °

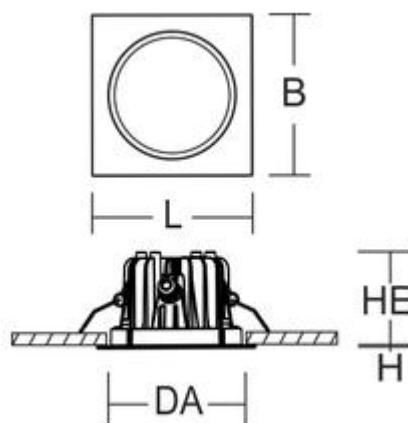


Рисунок 6.3 – Габарити світильники.

Лінійно розташували 3 такі світильники ми оптимально забезпечує рівномірне освітлення по всій кімнаті. Проаналізувавши розташування світильників програма зробила графік освітлення у кімнаті (Рис. 6.4).

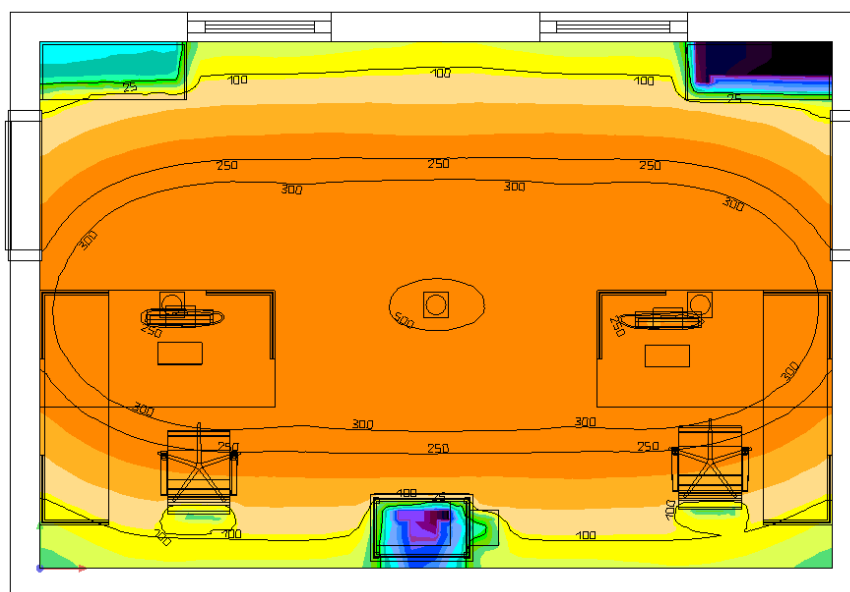


Рисунок 6.4 – Графік освітлення у кімнаті.

Зробимо перевірку через моделювання кімнати у трьохвимірному просторі (Рис. 6.5) та зробимо графік освітлення кімнати у трьохвимірному просторі (Рис. 6.6).



Рисунок 6.5 – моделювання кімнати у трьохвимірному просторі.

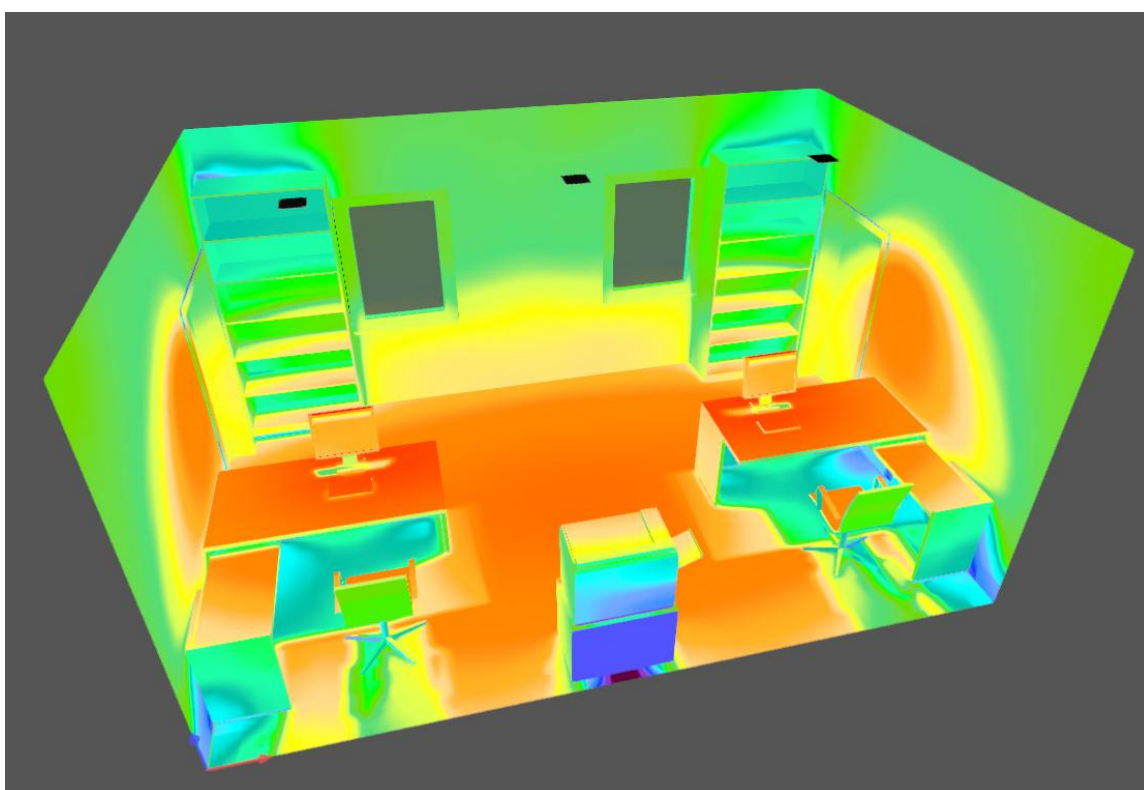


Рисунок 6.6 – моделювання кімнати у трьохвимірному просторі.

Зробимо останню перевірку освітлення на рівні робочого простору, для цього зробимо розрахунок на рівні 80 сантиметрів від підлоги (Рис. 6.7).

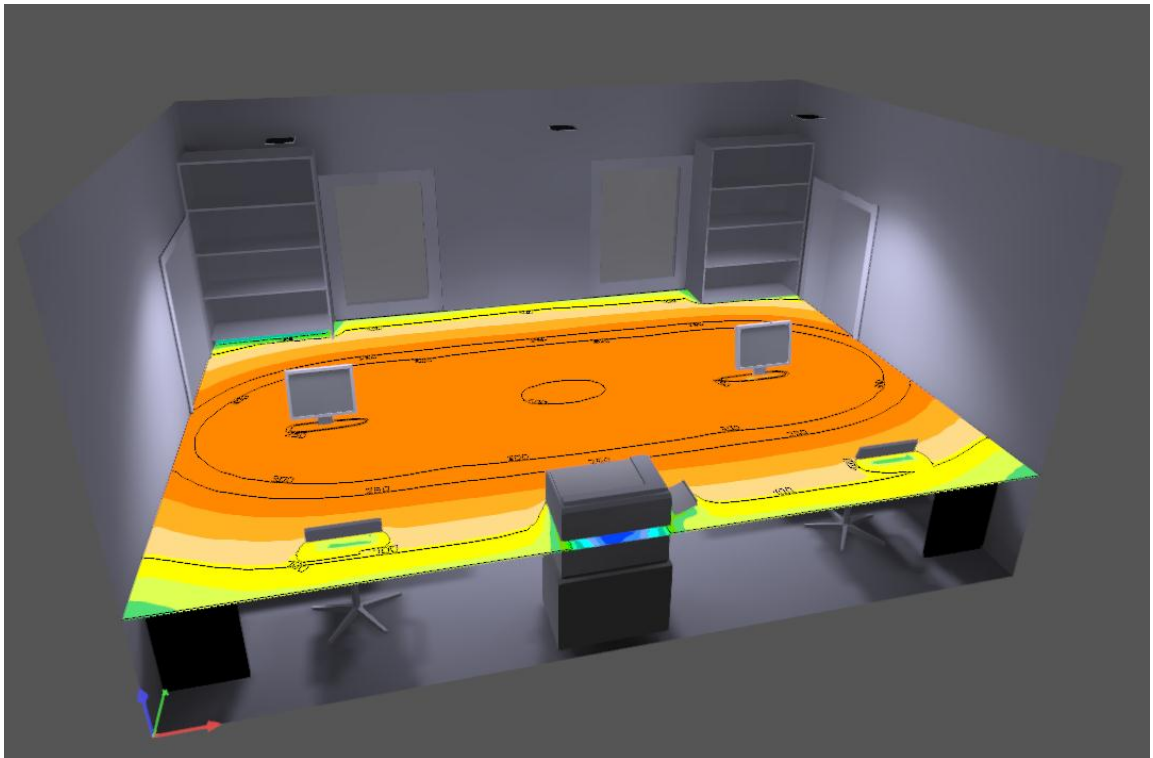


Рисунок 6.7 – моделювання освітлення на рівні робочого простору.

Із останнього моделювання можемо зробити висновок, що освітлення на робочій поверхні достатньо і не є надмірного освітлення.

В результаті правильного розрахунку освітлення, у робочого персоналу зменшується ризик професійних захворювань (в основному втрата зору), стомленість і як наслідок – підвищується продуктивність праці.

ВИСНОВКИ

Структура імітаційної моделі системи автоматичного керування витратами газу у газопроводі мартенівської печі повторює структуру реальної системи та складається з наступних основних елементів – моделі газопроводу (описується двома послідовно з'єднаними аперіодичними ланками та ланкою транспортного запізнення), моделі приводу заслінки на основі інтегратора та моделі датчика витрат, що прийнятий безінерційним елементом.

Обчислювальні експерименти показали, що знехтувати динамічними властивостями приводу заслінки, прийнявши його за пропорційну ланку, не можна. Фактично об'єкт керування з урахуванням моделі приводу заслінки у газопроводі має досить складні динамічні властивості – він є нелінійним з присутністю обмеження щодо швидкості зміни у часі величин. З урахуванням цього, можна зробити висновок щодо неприпустимості використання методів синтезу лінійних неперервних систем автоматичного керування.

За результатом аналізу об'єкта керування, та з оглядом на виділені режими роботи системи автоматичного керування прийняті наступні критерії якості її роботи:

- у режимі стабілізації витрат коксувального газу в газопроводі печі тривалий час та за умови відсутності суттєвих збурюючих впливів статична похибка на виході системи керування повинна дорівнювати нулю. За умови східчастого збурюючого впливу допускається відносне відхилення фактичних витрат від уставки до 10% протягом до 10 с;

- у режимі відпрацювання уставки, що змінюється східчасто у часі, перехід від рівня витрат $8 \text{ м}^3/\text{с}$ до рівня $5,6 \text{ м}^3/\text{с}$ повинен тривати до 20 с без перерегулювання та статичної помилки на виході системи автоматичного керування;

- у режимі відпрацювання уставки, що змінюються лінійно у часі, відносна швидкісна похибка не повинна перевищувати 5%. У перехідному

процесі на виході системи автоматичного керування повинні бути відсутні коливання керованої величини.

Через присутність у динамічних властивостях об'єкта керування обмеження щодо швидкості зміни у часі однієї з величин (переміщення заслінки у газопроводі печі) використання інженерного методу синтезу САК Зіглера-Нікольса призводить до появи значного перерегулювання у перехідному процесі на виході синтезованої САК (27 %), що не задовольняє вимогам, пред'явленим до системи.

Дослідження показали, що зменшення загального коефіцієнта підсилення ПД-регулятора з дотриманням співвідношення коефіцієнтів підсилення складових регулятора, які отримані за умови використання методу синтезу САК Зіглера-Нікольса, дозволяє отримати перехідний процес без перерегулювання з тривалістю, що відповідає тривалості повороту заслінки. Саме за цієї умови, коли прискорення керуючого сигналу на виході регулятора дорівнює прискоренню руху заслінки у газопроводі, має місце оптимальне налаштування ПД-регулятора, при якому задовольняються усі вимоги до системи керування витратами газу в газопроводі мартенівської печі.

Також дослідження на основі створеної імітаційної моделі системи автоматичного керування дозволили встановити, що як за умови нормального тиску газу на ділянці газопроводу мартенівської печі, так і за мови його зменшення на 10%, в усіх режимах роботи об'єкта керування показники критеріїв якості роботи синтезованої САК витратами газу задовольняють вимогам, пред'явленим до системи.

На базі безперервної моделі системи керування розроблена цифрова модель системи керування та доведена її адекватність. З моделі відокремлені модель об'єкта керування та модель регулятора. За допомогою стандартних засобів математичного пакета MATLAB отримані програмні модулі, які реалізують об'єкт керування та регулятор на мові програмування Structured Text.

На базі програмних модулів, що реалізують модель об'єкта керування та модель регулятора, розроблено програмне забезпечення системи автоматичного керування витратами газу у газопроводі мартенівської печі для програмного програмованого логічного контролера zenon Logic який входить до складу SCADA системи zenon.

В SCADA системі zenon розроблено людино машинний інтерфейс, який містить відображення інформації про технологічний процес, зміну витрат газу, хронологічний список подій та інформаційний список тривоги.

Виконано перевірку функціонування програмного забезпечення.

За умови впровадження проекрованої системи автоматичного керування капітальні витрати на придбання і впровадження системи складуть 58,3 тис. грн. Річні поточні витрати складуть 95,07 тис. грн. Річна економія на поточних витратах при цьому складає 128,87 тис. грн. Термін окупності проектних капітальних вкладень за рахунок скорочення експлуатаційних витрат складає 1,19 років, а коефіцієнт ефективності – 0,84. Тобто, кожна гривна капітальних витрат принесе 0,84 грн. прибутку.

Виходячи з розрахованих даних, можна зробити висновок, що впровадження і використання проекрованої системи автоматичного керування витратами газу в газопроводі мартенівської печі є економічно доцільним.

Також були розглянуті шкідливі та небезпечні фактори при експлуатації системи керування та розроблено ряд заходів з охорони праці.

Перелік посилань

1. Українська промисловість та енергетика – тренди 2018-го / Людмила Кліщук // Матеріал підготовлено в рамках реалізації грантового конкурсу від ГО «Інтерньюз-Україна» за фінансової підтримки Швеції та Internews (проект Audience understanding and digital support). електронний ресурс <https://nachasi.com/2018/12/03/industry-ukraine/>
2. Копелович А.П. Инженерные методы расчета при выборе автоматических регуляторов / А. П. Копелович. – М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии. – 1960. – 96 с.
3. Математическое моделирование металлургических процессов в АСУ ТП / Н.А. Спириин, В.В. Лавров, В.Ю. Рыболовлев, Л.Ю. Гилева, А.В. Краснобаев, В.С. Швыдкий, О.П. Онорин, К.А. Щипанов, А.А. Бурькин; под ред. Н.А. Спирина. – Екатеринбург: ООО «УИПЦ», 2014. – 558 с.
4. Н. И. Топерверх, Пути автоматизации теплового режима мартеновских печей. – Автомат. и телемех. – 1938, № 3. – С. 97–116.
5. Моргунов В.Н. Печи литейных цехов. Характеристика, анализ, классификация.: Учеб. пособие. – Пенза: Изд-во пенз. гос. ун-та, 2009 – с.179.
6. Михеев, В. А. Автоматизация процессов ОМД [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие к проведению практ. и самоств. работ/ В. А. Михеев, В. Н. Илюхин, Д. В. Савин; Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). – Электрон. текстовые и граф. дан. (9,89 Мбайт). – Самара, 2012. – 1 эл. опт. диск (CD-ROM).
7. Кудрин В. А. Теория и технология производства стали: Учебник для вузов. — М.: «Мир», ООО «Издательство АСТ», 2003. — 528с.
8. Якушев А.М. Проектирование сталеплавильных и доменных цехов. – М.: Металлургия, 1984. — 216 с.
9. Автоматизация металлургических печей. Каганов В. Ю., Блинов О. М., Глииков Г. М., Морозов В. А., М., «Металлургия», 1975. – с. 376.

10. Куц Г.Т., Соболев С.К., Цыбенко Н.А. В сб. Комплексная автоматизация сталеплавильного производства. Киев: Техника, 1974. – С. 32–36.
11. Морозов А.Н., Тулуевский Ю.Н. Основные задачи автоматического регулирования и контроля мартеновской плавки. Сталь, 1968, № 4. – С. 310-312.
12. ГОСТ 34.003-90. Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины, и определения. – М.: Госстандарт, 1992. – 54 с.
13. ГОСТ 19.201-78. ЕСПД. Единая система программной документации. Техническое задание. Требования к содержанию и оформлению. – М.: Госстандарт, 1982. – 128 с.
14. ГОСТ 19.202-78. ЕСПД. Единая система программной документации. Спецификация. Требования к содержанию и оформлению. – М.: Госстандарт, 1982. – 128 с.
15. ГОСТ 19.401-78. ЕСПД. Единая система программной документации. Текст программы. Требования к содержанию и оформлению. – М.: Госстандарт, 1982. – 128 с.
16. ГОСТ 19.402-78. ЕСПД. Единая система программной документации. Описание программы. – М.: Госстандарт, 1982. – 128 с.
17. ГОСТ 19.404-79. ЕСПД. Единая система программной документации. Пояснительная записка. Требования к содержанию и оформлению. – М.: Госстандарт, 1982. – 128 с.
18. ГОСТ 19.701-90. ЕСПД. Единая система программной документации. Схема алгоритмов, программ, данных и систем. Обозначения условные и правила выполнения. – М.: Госстандарт, 1990. – 128 с.

Додаток А

Програмні модулі системи керування

А.1 Модуль об'єкта керування

```

(*)
*
* File: Model_SYS_PO.exp
*
* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem
"Model_SYS_PO/Об'єкт управління"
*
* Model name           : Model_SYS_PO
* Model version        : 1.73
* Model creator        : Alex
* Model last modified by : Alex
* Model last modified on : Tue Nov 10 12:44:06 2020
* Model sample time    : 0s
* Subsystem name       : Model_SYS_PO/Об'єкт управління
* Subsystem sample time : 0.1s
* Simulink PLC Coder version : 1.6 (R2013b) 08-Aug-2013
* ST code generated on  : Tue Nov 10 12:44:15 2020
*
* Target IDE selection : 3S CoDeSys 2.3
* Test Bench included  : No
*
*)
FUNCTION_BLOCK sfun_target
VAR_INPUT
    ssMethodType: SINT;
    bi_Object_Input: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    bo_Object_Pressure: LREAL;
END_VAR
VAR
    DiscreteTransferFcn1_states: LREAL;
    DiscreteTransferFcn_states: LREAL;
    DiscreteTimeIntegrator_DSTATE: LREAL;
END_VAR
VAR_TEMP
    rtb_Sign1: LREAL;
    rtb_Sign: LREAL;
    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;

(* InitializeConditions for DiscreteIntegrator: '<S2>/Discrete-Time Integrator' *)
DiscreteTimeIntegrator_DSTATE := 0.0;
SS_STEP:

(* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn' *)
DiscreteTransferFcn := 0.199079295235736 * DiscreteTransferFcn_states;

(* DiscreteIntegrator: '<S2>/Discrete-Time Integrator' *)
IF DiscreteTimeIntegrator_DSTATE >= 100.0 THEN
    DiscreteTimeIntegrator_DSTATE := 100.0;
ELSIF DiscreteTimeIntegrator_DSTATE <= 0.0 THEN
    DiscreteTimeIntegrator_DSTATE := 0.0;
END_IF;

(* Output: '<Root>/bo_Object_Pressure' incorporates:
 * DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn1' *)
bo_Object_Pressure := 0.171947934291214 * DiscreteTransferFcn1_states;

(* Sum: '<S2>/Sum1' incorporates:
 * DiscreteIntegrator: '<S2>/Discrete-Time Integrator'
 * Gain: '<S2>/Gain1'
 * Inport: '<Root>/bi_Object_Input' *)
rtb_Sign := (0.99 * bi_Object_Input) - DiscreteTimeIntegrator_DSTATE;
(* Signum: '<S2>/Sign' *)
IF rtb_Sign < 0.0 THEN
    rtb_Sign := -1.0;
ELSIF rtb_Sign > 0.0 THEN
    rtb_Sign := 1.0;
END_IF;
(* End of Signum: '<S2>/Sign' *)

(* Saturate: '<S2>/Saturation' *)
IF NOT (rtb_Sign >= 1.0) THEN
    rtb_Sign := 0.0;
END_IF;
(* End of Saturate: '<S2>/Saturation' *)

(* Sum: '<S2>/Sum2' incorporates:
 * DiscreteIntegrator: '<S2>/Discrete-Time Integrator'
 * Gain: '<S2>/Gain2'
 * Inport: '<Root>/bi_Object_Input' *)
rtb_Sign1 := DiscreteTimeIntegrator_DSTATE - (1.01 * bi_Object_Input);
(* Signum: '<S2>/Sign1' *)
IF rtb_Sign1 < 0.0 THEN
    rtb_Sign1 := -1.0;
ELSIF rtb_Sign1 > 0.0 THEN
    rtb_Sign1 := 1.0;

```



```

END_IF;
(* End of Signum: '<S2>/Sign1' *)

(* Saturate: '<S2>/Saturation1' *)
IF NOT (rtb_Sign1 >= 1.0) THEN
    rtb_Sign1 := 0.0;
END_IF;
(* End of Saturate: '<S2>/Saturation1' *)

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn' incorporates:
* DiscreteIntegrator: '<S2>/Discrete-Time Integrator'
* Gain: '<S1>/Gain' *)
DiscreteTransferFcn_states := (0.15 * DiscreteTimeIntegrator_DSTATE) - (-
0.778800783071405 * DiscreteTransferFcn_states);

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn1' *)
DiscreteTransferFcn1_states := DiscreteTransferFcn - (-0.828052065708786 *
DiscreteTransferFcn1_states);

(* Update for DiscreteIntegrator: '<S2>/Discrete-Time Integrator' incorporates:
* Gain: '<S2>/Gain'
* Gain: '<S2>/Gain3'
* Sum: '<S2>/Sum' *)
DiscreteTimeIntegrator_DSTATE := (((rtb_Sign + ( -rtb_Sign1)) * 10.0) * 0.1) +
DiscreteTimeIntegrator_DSTATE;
IF DiscreteTimeIntegrator_DSTATE >= 100.0 THEN
    DiscreteTimeIntegrator_DSTATE := 100.0;
ELSIF DiscreteTimeIntegrator_DSTATE <= 0.0 THEN
    DiscreteTimeIntegrator_DSTATE := 0.0;
END_IF;
(* End of Update for DiscreteIntegrator: '<S2>/Discrete-Time Integrator' *)
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: Model_SYS_PO.exp
*
* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem
"Model_SYS_PO/Регулятор"
*
* Model name           : Model_SYS_PO
* Model version        : 1.71
* Model creator        : Alex
* Model last modified by : Alex
* Model last modified on : Tue Nov 10 09:20:28 2020
* Model sample time    : 0s
* Subsystem name       : Model_SYS_PO/Регулятор
* Subsystem sample time : 0.1s
* Simulink PLC Coder version : 1.6 (R2013b) 08-Aug-2013
* ST code generated on  : Tue Nov 10 12:20:38 2020
*
* Target IDE selection : 3S CoDeSys 2.3
* Test Bench included  : No
*
*)
FUNCTION_BLOCK sfun_target
VAR_INPUT
    ssMethodType: SINT;
    bi_Control_SetPoint: LREAL;
    bi_Control_Pressure: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    bo_Control_Signal: LREAL;
END_VAR
VAR
    DiscreteTimeIntegrator_DSTATE: LREAL;
    DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE: LREAL;
END_VAR
VAR_TEMP
    rtb_u: LREAL;
    rtb_Gain6: LREAL;
    rtb_Sum_b: LREAL;
    rtb_Compare_p: BOOL;
    rtb_Compare_kj: BOOL;
END_VAR
CASE ssMethodType OF
    SS_INITIALIZE:
        (* InitializeConditions for Atomic SubSystem: '<S1>/Subsystem' *)

        (* InitializeConditions for DiscreteIntegrator: '<S2>/Discrete-Time Integrator' *)
        DiscreteTimeIntegrator_DSTATE := 0.0;

        (* InitializeConditions for DiscreteIntegrator: '<S2>/Discrete-Time Integrator1' *)
        DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE := 0.0;

```

```
(* End of InitializeConditions for SubSystem: '<S1>/Subsystem' *)
SS_STEP:
```

```
(* Fcn: '<S1>/Перетворення діапазону зміни сигналів' incorporates:
```

```
* Inport: '<Root>/bi_Control_Pressure'
```

```
* Inport: '<Root>/bi_Control_SetPoint'
```

```
* Sum: '<S1>/Sum' *)
```

```
rtb_u := ((bi_Control_SetPoint - bi_Control_Pressure) * 100.0) / 15.0;
```

```
(* Outputs for Atomic SubSystem: '<S1>/Subsystem' *)
```

```
(* Gain: '<S2>/Gain6' incorporates:
```

```
* DiscreteIntegrator: '<S2>/Discrete-Time Integrator1'
```

```
* Gain: '<S2>/Gain5'
```

```
* Sum: '<S2>/Sum1' *)
```

```
rtb_Gain6 := ((0.1185 * rtb_u) - DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE) * 5.0;
```

```
(* Sum: '<S2>/Sum' incorporates:
```

```
* DiscreteIntegrator: '<S2>/Discrete-Time Integrator'
```

```
* Gain: '<S2>/Gain1' *)
```

```
rtb_Sum_b := ((0.1065 * rtb_u) + DiscreteTimeIntegrator_DSTATE) + rtb_Gain6;
```

```
(* Outputs for Atomic SubSystem: '<S2>/Subsystem1' *)
```

```
(* RelationalOperator: '<S4>/Compare' incorporates:
```

```
* Constant: '<S4>/Constant' *)
```

```
rtb_Compare_p := rtb_Sum_b >= 100.0;
```

```
(* RelationalOperator: '<S5>/Compare' incorporates:
```

```
* Constant: '<S5>/Constant' *)
```

```
rtb_Compare_kj := rtb_Sum_b <= 0.0;
```

```
(* Switch: '<S3>/Switch1' incorporates:
```

```
* Constant: '<S3>/Constant'
```

```
* Constant: '<S6>/Constant'
```

```
* Constant: '<S7>/Constant'
```

```
* Logic: '<S3>/Logical Operator'
```

```
* Logic: '<S3>/Logical Operator1'
```

```
* Logic: '<S3>/Logical Operator2'
```

```
* Logic: '<S3>/Logical Operator3'
```

```
* Logic: '<S3>/Logical Operator4'
```

```
* Logic: '<S3>/Logical Operator5'
```

```
* RelationalOperator: '<S6>/Compare'
```

```
* RelationalOperator: '<S7>/Compare' *)
```

```
IF NOT (((rtb_Compare_p AND (rtb_u < 0.0)) OR (rtb_Compare_kj AND (rtb_u > 0.0))) OR (( NOT rtb_Compare_p) AND ( NOT rtb_Compare_kj))) THEN
```

```
    rtb_u := 0.0;
```

```
END_IF;
```

```
(* End of Switch: '<S3>/Switch1' *)
```

```
(* End of Outputs for SubSystem: '<S2>/Subsystem1' *)
```

```
(* Saturate: '<S2>/Saturation1' *)
```

```
IF rtb_Sum_b >= 100.0 THEN
```

```
    (* Outport: '<Root>/bo_Control_Signal' *)
```

```

    bo_Control_Signal := 100.0;
ELSIF rtb_Sum_b > 0.0 THEN
    (* Output: '<Root>/bo_Control_Signal' *)
    bo_Control_Signal := rtb_Sum_b;
ELSE
    (* Output: '<Root>/bo_Control_Signal' *)
    bo_Control_Signal := 0.0;
END_IF;
(* End of Saturate: '<S2>/Saturation1' *)

(* Update for DiscreteIntegrator: '<S2>/Discrete-Time Integrator' incorporates:
* Gain: '<S2>/Gain3' *)
DiscreteTimeIntegrator_DSTATE := ((0.213 * rtb_u) * 0.1) +
DiscreteTimeIntegrator_DSTATE;

(* Update for DiscreteIntegrator: '<S2>/Discrete-Time Integrator1' *)
DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE := (0.1 * rtb_Gain6) +
DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE;
(* End of Outputs for SubSystem: '<S1>/Subsystem' *)
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 керування

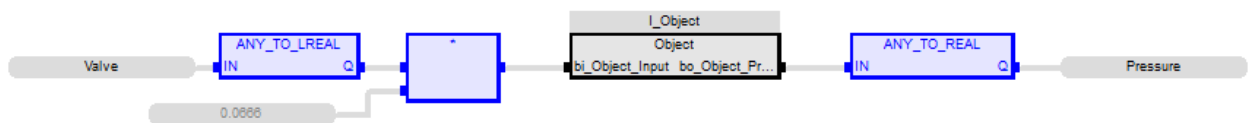
Б.1 Програмне забезпечення об'єкта керування

Б.1.1 Список програм

[FBD] Object (* Основна програма *)

[ST] Main_object (* Об'єкт керування *)

Б.1.2 Основна програма



Б.1.3 Користувацький функціональний блок

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

DiscreteTransferFcn := LREAL#0.199079295235736 *

DiscreteTransferFcn_states;

(* DiscreteIntegrator: '<S2>/Discrete-Time Integrator' *)

IF DiscreteTimeIntegrator_DSTATE >= LREAL#100.0 THEN

DiscreteTimeIntegrator_DSTATE := LREAL#100.0;

ELSIF DiscreteTimeIntegrator_DSTATE <= LREAL#0.0 THEN

DiscreteTimeIntegrator_DSTATE := LREAL#0.0;

END_IF;

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

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

bo_Object_Pressure := LREAL#0.171947934291214 *

DiscreteTransferFcn1_states;

(* Sum: '<S2>/Sum1' incorporates:

* DiscreteIntegrator: '<S2>/Discrete-Time Integrator'

* Gain: '<S2>/Gain1'

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

rtb_Sign := (LREAL#0.9999 * bi_Object_Input) -

DiscreteTimeIntegrator_DSTATE;

(* Signum: '<S2>/Sign' *)

IF rtb_Sign < LREAL#0.0 THEN

rtb_Sign := LREAL#-1.0;

ELSIF rtb_Sign > LREAL#0.0 THEN

rtb_Sign := LREAL#1.0;

```

END_IF;
(* End of Signum: '<S2>/Sign' *)

(* Saturate: '<S2>/Saturation' *)
IF NOT (rtb_Sign >= LREAL#1.0) THEN
  rtb_Sign := LREAL#0.0;
END_IF;
(* End of Saturate: '<S2>/Saturation' *)

(* Sum: '<S2>/Sum2' incorporates:
* DiscreteIntegrator: '<S2>/Discrete-Time Integrator'
* Gain: '<S2>/Gain2'
* Inport: '<Root>/bi_Object_Input' *)
rtb_Sign1 := DiscreteTimeIntegrator_DSTATE - (LREAL#1.0001 *
bi_Object_Input);
(* Signum: '<S2>/Sign1' *)
IF rtb_Sign1 < LREAL#0.0 THEN
  rtb_Sign1 := LREAL#-1.0;
ELSIF rtb_Sign1 > LREAL#0.0 THEN
  rtb_Sign1 := LREAL#1.0;
END_IF;
(* End of Signum: '<S2>/Sign1' *)

(* Saturate: '<S2>/Saturation1' *)
IF NOT (rtb_Sign1 >= LREAL#1.0) THEN
  rtb_Sign1 := LREAL#0.0;
END_IF;
(* End of Saturate: '<S2>/Saturation1' *)

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn' incorporates:
* DiscreteIntegrator: '<S2>/Discrete-Time Integrator'
* Gain: '<S1>/Gain' *)
DiscreteTransferFcn_states := (LREAL#0.15 *
DiscreteTimeIntegrator_DSTATE) - (LREAL#-0.778800783071405 *
DiscreteTransferFcn_states);

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Discrete Transfer Fcn1' *)
DiscreteTransferFcn1_states := DiscreteTransferFcn - (LREAL#-
0.828052065708786 * DiscreteTransferFcn1_states);

(* Update for DiscreteIntegrator: '<S2>/Discrete-Time Integrator' incorporates:
* Gain: '<S2>/Gain'
* Gain: '<S2>/Gain3'
* Sum: '<S2>/Sum' *)

```

```

DiscreteTimeIntegrator_DSTATE := (((rtb_Sign + ( -rtb_Sign1)) * LREAL#1) *
LREAL#0.1) + DiscreteTimeIntegrator_DSTATE;
IF DiscreteTimeIntegrator_DSTATE >= LREAL#100.0 THEN
  DiscreteTimeIntegrator_DSTATE := LREAL#100.0;
ELSIF DiscreteTimeIntegrator_DSTATE <= LREAL#0.0 THEN
  DiscreteTimeIntegrator_DSTATE := LREAL#0.0;
END_IF;
(* End of Update for DiscreteIntegrator: '<S2>/Discrete-Time Integrator' *)

```

Б.1.4 Перелік змінних

```

VAR_INPUT
  bi_Object_Input : LREAL ;
END_VAR
VAR_OUTPUT
  bo_Object_Pressure : LREAL ;
END_VAR
VAR
  DiscreteTransferFcn1_states : LREAL ;
  DiscreteTransferFcn_states : LREAL ;
  DiscreteTimeIntegrator_DSTATE : LREAL ;
  rtb_Sign1 : LREAL ;
  rtb_Sign : LREAL ;
  DiscreteTransferFcn : LREAL ;
END_VAR

```

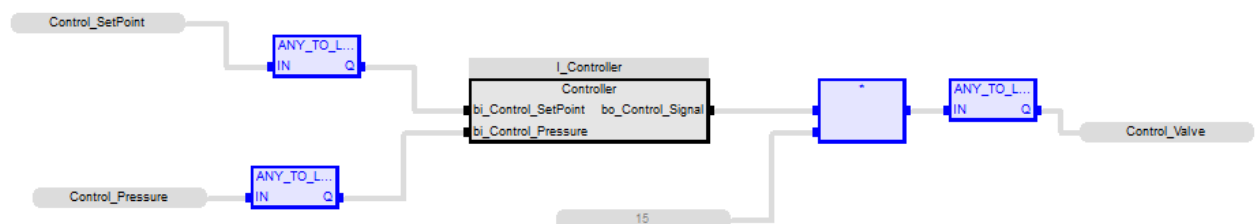
Б.2 Програмне забезпечення регулятора

Б.2.1 Список програм

[FBD] Main (* Основна програма *)

[ST] Controller (* Контролер *)

Б.2.2 Основна програма



Б.2.3 Користувачський функціональний блок

(* Fcn: '<S1>/Перетворення діапазону зміни сигналів' incorporates:
 * Inport: '<Root>/bi_Control_Pressure'

```

* Inport: '<Root>/bi_Control_SetPoint'
* Sum: '<S1>/Sum' *)
rtb_u := ((bi_Control_SetPoint - bi_Control_Pressure) * LREAL#100.0) /
LREAL#15.0;

(* Outputs for Atomic SubSystem: '<S1>/Subsystem' *)
(* Gain: '<S2>/Gain6' incorporates:
* DiscreteIntegrator: '<S2>/Discrete-Time Integrator1'
* Gain: '<S2>/Gain5'
* Sum: '<S2>/Sum1' *)
rtb_Gain6 := ((LREAL#0.1185 * rtb_u) - DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE) *
LREAL#5.0;

(* Sum: '<S2>/Sum' incorporates:
* DiscreteIntegrator: '<S2>/Discrete-Time Integrator'
* Gain: '<S2>/Gain1' *)
rtb_Sum_b := ((LREAL#0.1065 * rtb_u) + DiscreteTimeIntegrator_DSTATE) +
rtb_Gain6;

(* Outputs for Atomic SubSystem: '<S2>/Subsystem1' *)
(* RelationalOperator: '<S4>/Compare' incorporates:
* Constant: '<S4>/Constant' *)
rtb_Compare_p := rtb_Sum_b >= LREAL#100.0;

(* RelationalOperator: '<S5>/Compare' incorporates:
* Constant: '<S5>/Constant' *)
rtb_Compare_kj := rtb_Sum_b <= LREAL#0.0;

(* Switch: '<S3>/Switch1' incorporates:
* Constant: '<S3>/Constant'
* Constant: '<S6>/Constant'
* Constant: '<S7>/Constant'
* Logic: '<S3>/Logical Operator'
* Logic: '<S3>/Logical Operator1'
* Logic: '<S3>/Logical Operator2'
* Logic: '<S3>/Logical Operator3'
* Logic: '<S3>/Logical Operator4'
* Logic: '<S3>/Logical Operator5'
* RelationalOperator: '<S6>/Compare'
* RelationalOperator: '<S7>/Compare' *)
IF NOT (((rtb_Compare_p AND (rtb_u < LREAL#0.0)) OR (rtb_Compare_kj
AND (rtb_u > LREAL#0.0))) OR (( NOT rtb_Compare_p) AND ( NOT
rtb_Compare_kj))) THEN
    rtb_u := LREAL#0.0;
END_IF;

```



```
(* End of Switch: '<S3>/Switch1' *)
(* End of Outputs for SubSystem: '<S2>/Subsystem1' *)
```

```
(* Saturate: '<S2>/Saturation1' *)
IF rtb_Sum_b >= LREAL#100.0 THEN
  (* Output: '<Root>/bo_Control_Signal' *)
  bo_Control_Signal := LREAL#100.0;
ELSIF rtb_Sum_b > LREAL#0.0 THEN
  (* Output: '<Root>/bo_Control_Signal' *)
  bo_Control_Signal := rtb_Sum_b;
ELSE
  (* Output: '<Root>/bo_Control_Signal' *)
  bo_Control_Signal := LREAL#0.0;
END_IF;
(* End of Saturate: '<S2>/Saturation1' *)
```

```
(* Update for DiscreteIntegrator: '<S2>/Discrete-Time Integrator' incorporates:
* Gain: '<S2>/Gain3' *)
DiscreteTimeIntegrator_DSTATE := ((LREAL#0.213 * rtb_u) * LREAL#0.1) +
DiscreteTimeIntegrator_DSTATE;
```

```
(* Update for DiscreteIntegrator: '<S2>/Discrete-Time Integrator1' *)
DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE := (LREAL#0.1 * rtb_Gain6) +
DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE;
(* End of Outputs for SubSystem: '<S1>/Subsystem' *)
```

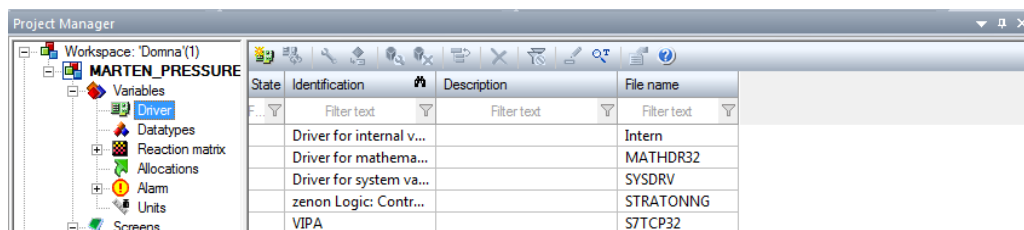
Б.2.4 Перелік змінних

```
VAR_INPUT
  bi_Control_SetPoint : LREAL ;
  bi_Control_Pressure : LREAL ;
END_VAR
VAR_OUTPUT
  bo_Control_Signal : LREAL ;
END_VAR
VAR
  DiscreteTimeIntegrator_DSTATE : LREAL ;
  DiscreteTimeIntegrator1_DSTATE : LREAL ;
  rtb_u : LREAL ;
  rtb_Gain6 : LREAL ;
  rtb_Sum_b : LREAL ;
  rtb_Compare_p : BOOL ;
  rtb_Compare_kj : BOOL ;
END_VAR
```

Додаток В

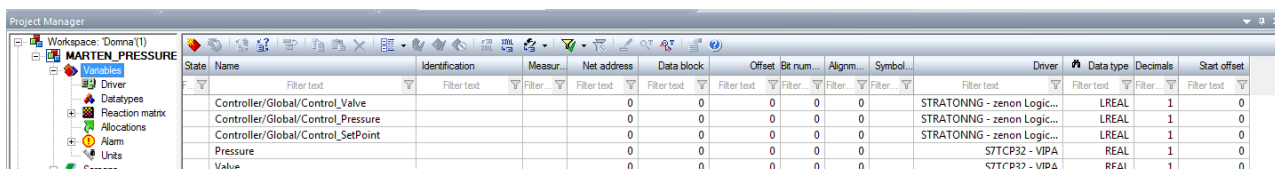
Програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу

В.1 Драйвера



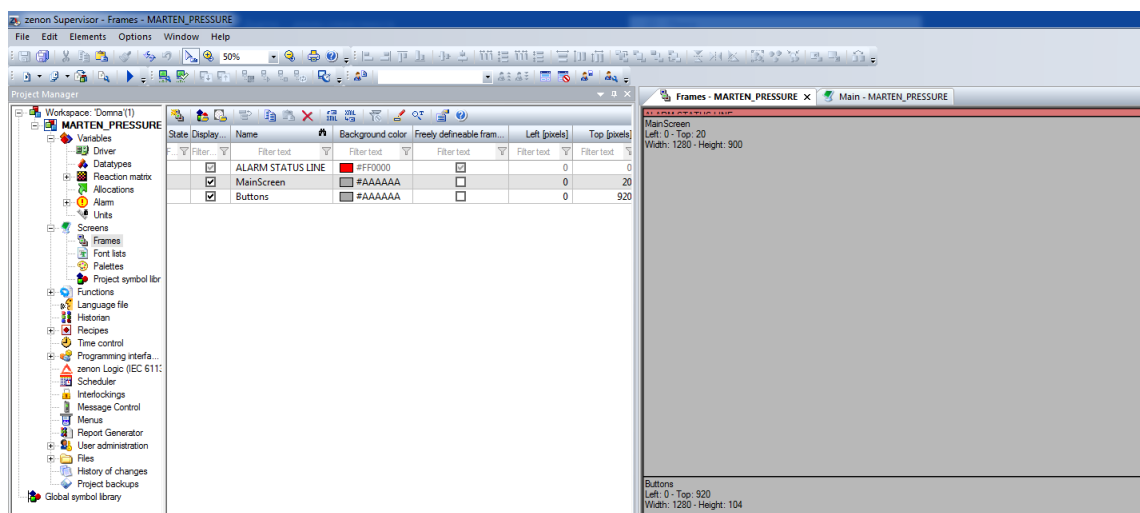
State	Identification	Description	File name
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	Driver for internal v...		Intern
	Driver for mathema...		MATHDR32
	Driver for system va...		SYSDRV
	zenon Logic: Contr...		STRATONNG
	VIPA		S7TCP32

В.2 Перелік змінних



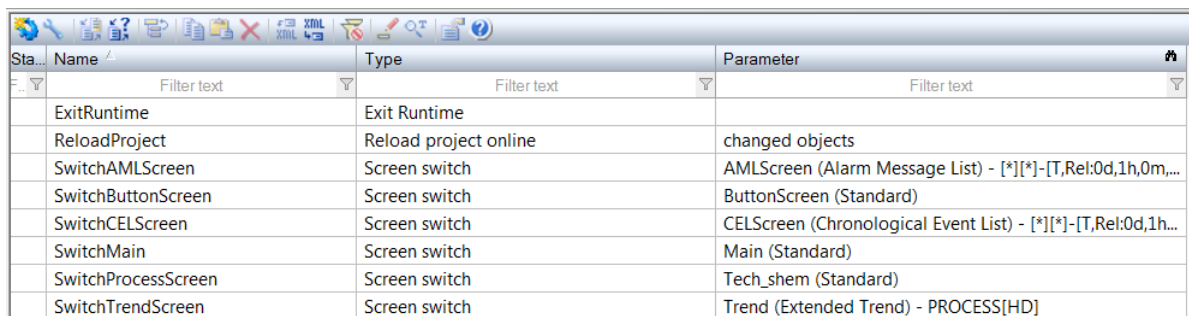
State	Name	Identification	Measur...	Net address	Data block	Offset	Bit num...	Algrm...	Symbol...	Driver	Data type	Decimals	Start offset
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	Controller/Global/Control_Valve			0	0	0	0	0		STRATONNG - zenon Logic...	LREAL	1	0
	Controller/Global/Control_Pressure			0	0	0	0	0		STRATONNG - zenon Logic...	LREAL	1	0
	Controller/Global/Control_SetPoint			0	0	0	0	0		STRATONNG - zenon Logic...	LREAL	1	0
	Pressure			0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	1	0
	Valve			0	0	0	0	0		S7TCP32 - VIPA	REAL	1	0

В.3 Шаблони зображень



State	Display	Name	Background color	Freely definable fram...	Left [pixels]	Top [pixels]
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	<input checked="" type="checkbox"/>	ALARM STATUS LINE	#FF0000	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0
	<input checked="" type="checkbox"/>	MainScreen	#AAAAAA	<input type="checkbox"/>	0	20
	<input checked="" type="checkbox"/>	Buttons	#AAAAAA	<input type="checkbox"/>	0	920

В.4 Функції



Sta...	Name	Type	Parameter
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	ExitRuntime	Exit Runtime	
	ReloadProject	Reload project online	changed objects
	SwitchAMLScreen	Screen switch	AMLScreen (Alarm Message List) - [*][*]-[T,Rel:0d,1h,0m,...
	SwitchButtonScreen	Screen switch	ButtonScreen (Standard)
	SwitchCELScreen	Screen switch	CELScreen (Chronological Event List) - [*][*]-[T,Rel:0d,1h,...
	SwitchMain	Screen switch	Main (Standard)
	SwitchProcessScreen	Screen switch	Tech_shem (Standard)
	SwitchTrendScreen	Screen switch	Trend (Extended Trend) - PROCESS[HD]

V.5 Зображення

The screenshot shows the Zenon Supervisor interface for a project named 'MARTEN_PRESSURE'. On the left, a project manager tree lists various elements like Variables, Driver, Datatypes, Reaction matrix, Allocations, Alarm, Units, Screens, and Frames. The main area displays a table with the following data:

State	Name	Screen type	Frame	Background color	Start function	End function
	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	AMLScreen	Alarm Message List	MainScreen	#AFEEEE	< no function l...	< no function l...
	Tech_shem	Standard	MainScreen	#C0FFFF	< no function l...	< no function l...
	ButtonScreen	Standard	Buttons	#FFAD5B	< no function l...	< no function l...
	CELScreen	Chronological Event List	MainScreen	#40E0D0	< no function l...	< no function l...
	Trend	Extended Trend	MainScreen	#40E0D0	< no function l...	< no function l...
	Main	Standard	MainScreen	#40E0D0	SwitchButtonS...	< no function l...

Міністерство освіти та науки України
 Національний технічний університет
 «Дніпровська політехніка»
 Інститут електроенергетики
 Електротехнічний факультет
 Кафедра кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем

**Людино-машинний інтерфейс до кваліфікаційної роботи
ступеню магістра**

Дослідження та синтез системи автоматичного керування витратами газу в
 газопроводі мартенівської печі

студента групи 151М-19-1
 Ужви Олександра Ігоровича

Дніпро
 2020

Інформація Технологічна схема Параметри процесу Список подій Список тривог Перезавантажити Вихід

Уставка

3.0

Керуючий вплив

0.0

Фактичне значення

Система автоматичного керування витратами газу у газопроводі мартенівської печі

Інформація Технологічна схема Параметри процесу Список подій Список тривог Перезавантажити Вихід

Профіли фільтра

Зберегти Імпорт Експорт Видалити

Старт

Стоп/Далі

Актуалізація

Збільшення

Зміна збільшення

Зменшити -

Збільшити +

<<

>>

До буферу обміну

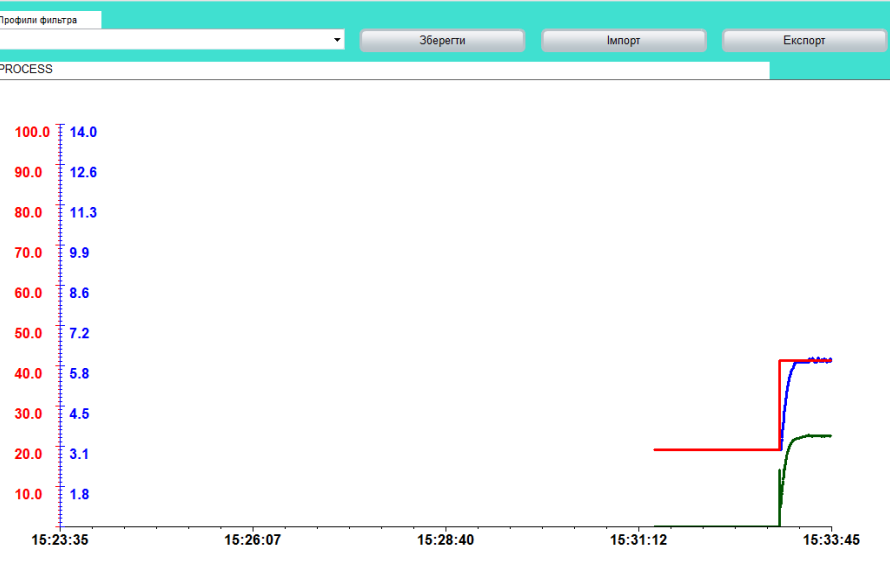
Сканування вклучити/відключити

Діаграма...

Налаштування...

Друк

Інформація Технологічна схема Параметри процесу Список подій Список тривог Перезавантажити Вихід



Curve name	Title	Color	y axis	Active
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
Положення клапана		Green	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Тиск		Blue	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Уставка		Red	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Фільтр
[*][*][T,Rel:0d,1h,0m,0s]

Профілі фільтрів

Кількість
4

Зберегти Імпорт Експорт

Час отримання	Текст	Ім'я змінної	Знач...	Оди...	Користувач - п...
10.11.2020 14:58:56	System was started				SYSTEM
10.11.2020 14:59:54	System was stopped				SYSTEM
10.11.2020 15:31:25	System was started				SYSTEM
10.11.2020 15:33:04	Modify spontaneous value: (6.0)	Controller/Global/Control_56.0			SYSTEM

Коментар

Видалити Друкувати

Інформація Технологічна схема Параметри процесу Список подій Список тривог Перезавантажити Вихід

Профілі фільтрів

Зберегти Імпорт Експорт Видалити

Фільтр

Вартість
0

Не оброблено
0

Alar...	Time received	Time cleared	Time acknowledged	Variable name	Value	Mea...	Text
---------	---------------	--------------	-------------------	---------------	-------	--------	------

Обробка
Обробити сторінку
Обробити все

Видалити
Видалити сторінку
Видалити все

Друкувати

Коментар

Поле для коментарів

Функції тривоги
Показати підключені функції

Виконати функцію Відкрити допомогу

Інформація Технологічна схема Параметри процесу Список подій Список тривог Перезавантажити Вихід