

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
 ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
 ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
 ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

Електричної інженерії та кіберфізичних систем
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота (проект)

Другий (магістерський) рівень
(рівень вищої освіти)

на тему Удосконалення системи управління двохванним сталеплавильним агрегатом з метою підвищення ефективності використання енергоносіїв в умовах металургійного виробництва

Виконав: студент II курсу, групи 8.1512
 спеціальності 151 Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології

(код і назва спеціальності)

спеціалізації _____

(код і назва спеціалізації)

освітньої програми Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології

(назва освітньої програми)

(місцезнамення та прізвище)

Керівник к.т.н., доцент Міняйло Н.О.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент _____

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя 2023


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
 ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
 ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
 ІМ. Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра Електричної інженерії та кіберфізичних систем
 Рівень вищої освіти другий (магістерський) рівень
 Спеціальність _____
(код та назва)
 Спеціалізація 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(код та назва)
 Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

д.т.н., проф

 В.Л.Коваленко
 » _____ 2023 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Петрову Юрію Миколайовичу

(прізвище, ім'я по батькові)

1 Тема роботи (проекту) Удосконалення системи управління двошланним сталеплавильним агрегатом з метою підвищення ефективності використання енергоносіїв в умовах металургійного виробництва

керівник роботи Міняйло Наталья Олександрівна, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я по батькові, науковий ступінь, місце роботи)

затверджені наказом ЗНУ від « 01 » травня 2023 року № 639-с

2 Строк подання студентом роботи 7 грудня 2023р

3 Вихідні дані до роботи: Двошланний сталеплавильний агрегат мартенівського цеху, підвищення ефективності використання енергоносіїв в умовах металургійного виробництва

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Опис об'єкта автоматизації 2. Моделювання системи автоматичного управління 3. Результати моделювання 4. Розробка програмного забезпечення 5. SCADA- система 6. Охорона праці та довкілля 7. Техніко-економічне обґрунтування

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): складається з вступу, семи розділів, загальних висновків, списку літератури із 52 найменувань і вміщує 83 сторінки основного тексту, 12 таблиць, 33 рисунків, усього 86 сторінок

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання віддані	завдання прийняті
Розділ 1	Міняйло Н. О., к.т.н., доцент		
Розділ 2	Міняйло Н. О., к.т.н., доцент		
Розділ 3	Міняйло Н. О., к.т.н., доцент		
Розділ 4	Міняйло Н. О., к.т.н., доцент		
Розділ 5	Міняйло Н. О., к.т.н., доцент		
Розділ 6	Міняйло Н. О., к.т.н., доцент		
Розділ 7	Міняйло Н. О., к.т.н., доцент		

4 Дата видачі завдання 1.09.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Сроч виконання етапів роботи	Примітка
1	Призначення наукового керівника затвердження тем магістерських робіт	30.09.2023	виконано
2	Напрацювання теоретичного матеріалу: дослідження сутності об'єкту та предмету дослідження, критичний аналіз існуючих методологічних засад, вибір та обґрунтування напрямку проведення дослідження	15.10.2023	виконано
3	Розробка економіко-математичного забезпечення основних елементів концептуального підходу	22.10.2023	виконано
4	Збір та систематизація статистичного та нормативного матеріалу дослідження	3.11.2023	виконано
5	Узагальнення отриманих результатів. Оформлення роботи	30.11.2023	виконано
6	Надання роботи до рецензії. Нормоконтроль	07.12.2023	виконано
7	Примірний захист дипломної роботи на засіданні ЕК	12.12.2023	виконано

Студент

(підпис)

Ю.М. Петров

(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту)

(підпис)

Н.О. Міняйло

(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер

(підпис)

І.А. Овчинникова

(ініціали та прізвище)

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АСУТП – автоматизована система управління технологічними процесами

АРМО – автоматизоване робоче місце оператора

ГПУ – графічний процесор управління

ДСПА – двохванний сталеплавильний агрегат

МНЛЗ – машина неперервного лиття заготовок

МП – мартенівська піч

ОР – оптимальний регулятор

ПЗ – програмне забезпечення

ПІ – пропорційно-інтегральний

ПЛК – програмований логічний контролер

ППК – прилади приймально-контрольні

САР – система автоматизованого регулювання

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	1
1 ОПИС ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	11
1.1 Характеристика мартенівського процесу	11
1.2 Структура мартенівського цеху.....	12
1.3 Теплотехнічні особливості управління мартенівським процесом	14
1.4 Основні технологічні величини та діапазони вимірювання	20
1.5 Статичні та динамічні характеристики об'єкта автоматизації	21
1.6 Схема інформаційних потоків	23
1.7 Аналіз існуючих технологій.....	24
1.8 Постановка задачі.....	25
2 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ	30
2.1 Структура САР	30
2.2 Розробка математичної моделі об'єкта управління	32
2.3 Модель САР витратами газу в газопроводі мартенівської печі	36
2.4 Оцінка якості функціонування САР.....	42
3 РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ САР	45
4 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕСПЕЧЕННЯ	49
5 SCADA-СИСТЕМА САР – ПАНЕЛЬ ОПЕРАТОРА	54
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ	62
6.1 Аналіз мартенівського виробництва з точки зору охорони праці	62
6.2 Аналіз робочого місця оператора АСУТП	66
6.3 Мартенівська піч у аспекті забруднення навколишнього середовища .	70
7 ТЕХНІКО–ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ	72
7.1 Розрахунок капітальних вкладень	73
7.2 Амортизаційні відрахування	74
7.3 Експлуатаційні витрати	75
7.4 Визначення річного економічного ефекту	78
7.5 Визначення терміну окупності	79

ВИСНОВКИ.....	81
ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА	82

ВСТУП

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ

Україна є країною з енергетичним дефіцитом, що означає, що вона не має достатньо ресурсів у сфері паливно-енергетичних для задоволення потреб всіх галузей економіки. Найбільш гостро проблема заощадженості енергоресурсів є на підприємствах металургійної та машинобудівної галузі. При обмежених інвестиційних ресурсах в Україні пріоритетним є проведення модернізації та структурно-технологічної перебудови промисловості, особливо в секторах, які вирішують нагальні потреби суспільства, таких як паливно-енергетичний комплекс, чорна та кольорова металургія.

Нині на підприємствах чорної металургії спостерігається значне підвищення ціни на енергоносії. Сьогодні в Україні приблизно 19% виробництва сталі здійснюється у мартенівських печах, які мають автоматизоване управління тепловим режимом. Ці печі працюють на газовому опаленні, використовуючи кисень для підвищення ефективності процесу.

З метою забезпечення виконання Енергетичної стратегії України на період до 2030 року, схваленої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 15.03.2006 р. № 145-р, розпорядження Кабінету Міністрів України «Про програми підвищення енергоефективності та зменшення споживання енергоресурсів» від 17.12.2008 р. № 1567-р, пропонується зниження енергоємності продукції за рахунок розробки та впровадження прогресивних енергозберігаючих технологій та устаткування, автоматизації технологічних процесів, підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів.

Конкуренцеспроможність виробництва сталі багато в чому визначається вартістю та якістю продукції, які у свою чергу визначаються продуктивністю і витратами палива. З метою забезпечення високої якості

продукції, технологічної надійності та експлуатації виробництва, що не потребує технічного обслуговування, потрібний максимальний рівень автоматизації.

Гіпотетично введення автоматизації теплового режиму мартенівської печі дозволяє знизити витрату палива в 5 – 7% та підвищити продуктивність до 9%, а також дозволить скоротити витрату вогнетривів до 10%. Тому актуальність дослідження з метою вдосконалення процесів керування тепловим режимом мартенівських печей є обґрунтованим.

МЕТА, ОБ'ЄКТ, ПРЕДМЕТ І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Мета роботи: удосконалення системи управління двоухваним сталеплавильним агрегатом з метою підвищення ефективності використання енергоносіїв в умовах металургійного виробництва.

Об'єкт дослідження: двоухваний сталеплавильний агрегат мартенівського цеху.

Предмет дослідження: система автоматичного управління витратами коксувального газу на ділянці газопроводу мартенівської печі.

Відповідно до поставленої мети досліджень в роботі сформульовані наступні задачі:

- сформулювати стисло характеристику об'єкта управління;
- провести огляд та аналіз рішень з управління процесами мартенівського процесу;
- розробити математичну модель теплового режиму роботи двоухванного сталеплавильного агрегату;
- спроектувати систему автоматичного управління газовим витратами коксувального газу на ділянці газопроводу мартенівської печі;
- вибрати алгоритми керування та розробити програмне забезпечення;
- виконати імітаційне моделювання ситуаційної системи управління газовим витратами коксувального газу;

- проаналізувати надійність розробленої системи;
- розглянути організацію охорони праці, провести аналіз умов праці та визначити заходи зниження впливу небезпечних і шкідливих факторів;
- виконати розрахунок економічного обґрунтування проекту та визначити економічну ефективність впровадженої автоматизованої системи управління технологічним процесом.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для дослідження використовуються методи теорії автоматичного керування та системний аналіз, метод математичного моделювання. Дослідження базується на обчислювальних експериментах, які включають аналітичні та комп'ютеризовані методи синтезу систем автоматичного керування. Оцінка ефективності автоматичного керування проведена за допомогою методів математичної статистики.

НАУКОВА НОВИЗНА ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

1. В режимі стабілізації витрат коксувального газу в газопроводі печі, при тривалому функціонуванні і відсутності значущих збурень, статична похибка на виході системи керування має дорівнювати нулю. У випадку наявності періодичних збурень, допускається відносне відхилення фактичних витрат від уставки до 10% протягом максимум 10 секунд.

2. У режимі відпрацювання уставки, яка змінюється плавно в часі, перехід від рівня витрат $8 \text{ м}^3/\text{с}$ до рівня $5,6 \text{ м}^3/\text{с}$ повинен займати не більше 20 секунд без перерегулювання і статичної похибки на виході системи автоматичного керування.

3. У режимі відпрацювання уставки, яка змінюється лінійно в часі, відносна швидкісна похибка не повинна перевищувати 5%. У перехідному процесі на виході системи автоматичного керування не повинні виникати коливання керованої величини.

4. Розроблена гнучка адаптивна система, побудована на базі

програмованих логічних контролерів (ПЛК), дозволяє уникнути необхідності ручного втручання під час експлуатації. Крім того, ця система дозволяє швидко внести будь-які зміни та легко впроваджувати модифікації в майбутньому.

ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ

Практичне значення отриманих результатів роботи – вдосконалена система управління двофазним сталеплавильним агрегатом підвищення ефективності використання енергоносіїв в умовах металургійного виробництва, готова до застосування на виробництві за умов тестування системи та зміни часових параметрів програми.

ОСОБИСТИЙ ВНЕСОК

Теоретичні дослідження виконані автором самостійно. Його особистий внесок полягає: в розробці системи управління технологічним процесом управління газовим витратами коксувального газу на ділянці газопроводу мартенівської печі. Представлені дані також підтверджуються розрахунками надійності розробленої системи для забезпечення стабільної роботи мартенівського процесу і безпеки персоналу. Розроблені рішення будуть актуальним тому, що існує досить невелика кількість відомих систем автоматизованого управління параметрами мартенівського процесу виготовлення сталі, а готова система, виконана в проєкті, буде доволі гнучкою та налаштованою до підключення в різних умовах металургійного виробництва. Також, система матиме основу для доповнень та більш детального програмування і подальшого удосконалення.

СТРУКТУРА МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

Магістерська робота складається з вступу, семи розділів, загальних висновків, списку літератури із 51 найменування і вміщує 84 сторінки основного тексту, 12 таблиць, 33 рисунків, усього 87 сторінок.

1 ОПИС ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Характеристика мартенівського процесу

Протягом понад століття існує Мартенівський процес, який є циклічним і в основному спрямований на очищення чавуну від домішок (вуглецю, сірки, фосфору) для отримання сталі з певним хімічним складом.

У великих Мартенівських печах використовується процес, що базується на використанні скрап-рудного матеріалу, де шихта зазвичай складається з 50-65% рідкого чавуну та 35-50% сталевого брухту (скрапу). Оксиди залізної руди виступають як основний окиснювач. Застосування газоподібного кисню для продування ванни суттєво зменшило витрати руди, і тепер процес значно відрізняється від свого оригінального концепту, оскільки відбувається з істотним зменшенням використання руди.

Великі мартенівські печі використовуються в скрап-рудному процесі, де шихта зазвичай містить в собі 50-65% рідкого чавуну та 35-50% сталевого брухту (скрапу). Основним окиснювачем є оксиди залізної руди. Однак використання газоподібного кисню для продування печей призвело до значного зниження споживання руди, і сам процес став менш схожим на свою первинну концепцію.

Незважаючи на широкий розвиток киснево-конвертерних та електросталеплавильних процесів, значна частина виробництва сталі в Україні все ще здійснюється в мартенівських печах.

Мартенівські печі мають значні переваги, пов'язану з їхньою здатністю переробляти великий обсяг скрапу різної якості, обсяг якого неперервно зростає через збільшення загальної металоємності господарства.

Мартенівська піч є піччю з відкритим подом, обладнаною регенераторами для нагрівання повітря. Згідно з загальною класифікацією

печей, мартенівські печі віднесені до категорії печей-теплообмінників з радіаційним режимом теплообміну. У печі існує зона генерації тепла, відома як смолоскип, де відбувається згоряння палива, і зона технологічного процесу – ванна, яка заповнена твердою шихтою, рідким металом та шлаком. Продуктивність мартенівської печі визначається, переважно, інтенсивністю використання тепла внаслідок окислення кремнію, марганцю та вуглецю. Природний газ використовується як паливо для мартенівських печей, з додаванням до 30 % за кількістю тепла мазуту. Можливе опалення мартенівських печей та одним мазутом.

Металургійним пристроєм є двохванний сталеплавильний агрегат (ДСПА) для виробництва сталі, аналогічним мартенівській печі. Цей агрегат включає в себе дві ванни для виробництва сталі, де тепло від відходящих газів, утворених в одній з ванн під час продування розплавленого металу киснем, використовується для нагрівання холодної сировини в сусідній ванні. Після нагрівання сировини в другій ванні до неї додається чавун, і починається процес продування. Гази, утворені під час цього процесу, направляються за допомогою шиберів у першу ванну, де вже розташований готовий метал і завантажена холодна сировина.

У металургії широко використовується кисень як окислювач. В результаті кисневого продування газів в значній мірі збільшилася кількість оксиду вуглецю, і додаткове допалювання його сприяло більш ефективному прогріву сировини. Продуктивність ДСПА в 2-4 рази вища, ніж у мартенівської печі, при цьому витрата палива менша в 10-15 разів [1].

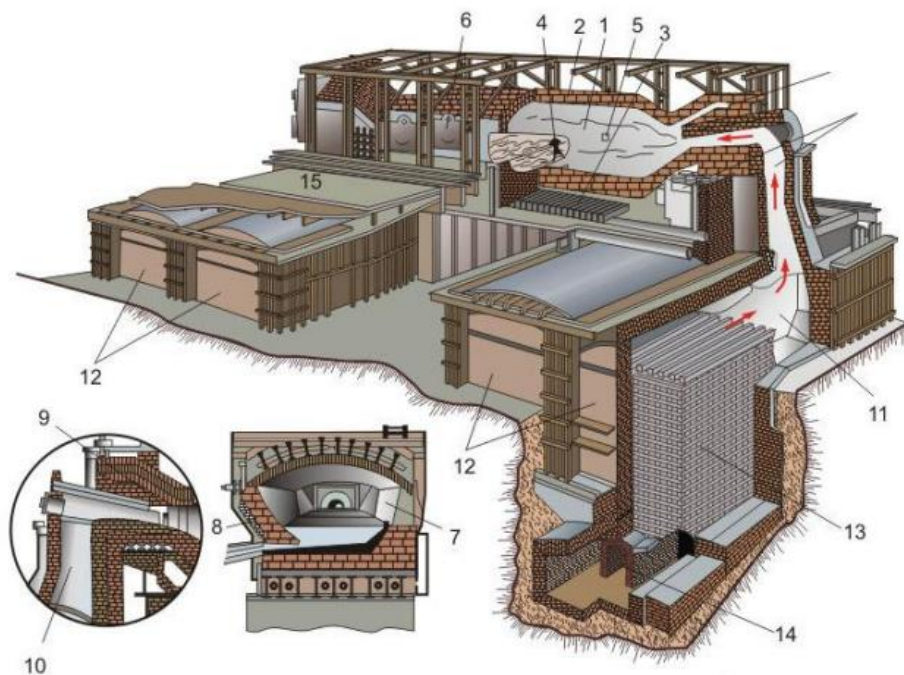
1.2 Структура мартенівського цеху

Мартенівський цех розділений на верхню та нижню частини, але цей поділ є відносно умовним. Робоча зона цеху розташована на висоті від 5 до 7 метрів вище рівня підлоги. Верхній рівень мартенівської печі

розташований вище цієї робочої зони і включає в себе робочий простір та головки печі. Нижня частина розташована під робочим рівнем і включає шлаковиків та регенераторні камери [2].

На робочій площадці зазвичай розташовані три залізничні колії: одна для подачі мульдових складів із сировиною до печей, інша для переміщення завалки для підлоги, та третя для подачі чавуновозів із рідким чавуном з міксерного відділення. Для заливки чавуну в печі в прольоті є мостові крани заливки. Розливний проліт прилягає безпосередньо до пічного приміщення. Його основне призначення – приймати сталь з печей, розливати її через виливні отвори або на установки безперервного розливання, а також вивантажувати технологічний шлак.

Влаштування мартенівської печі наведено на рисунку 1.1.

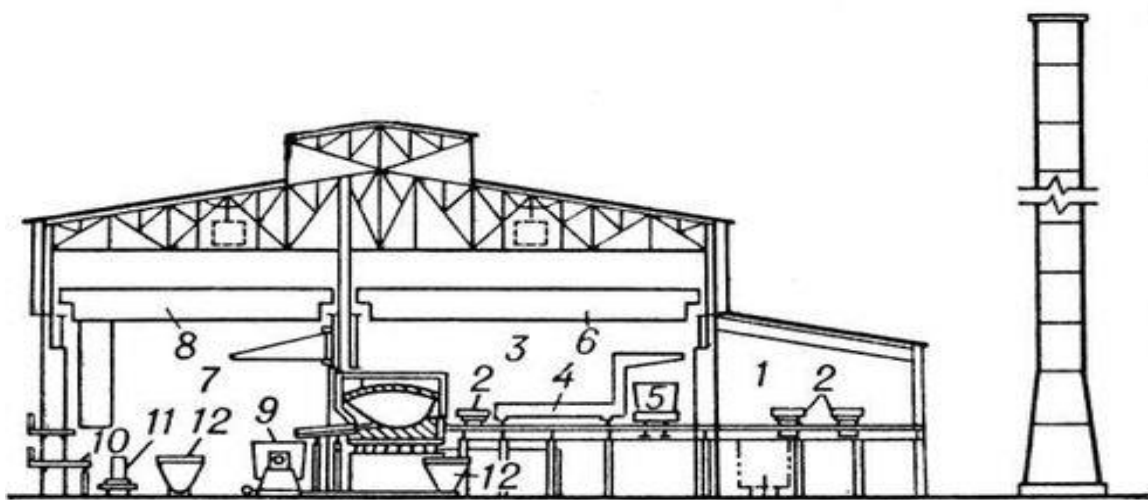


- 1 – робочий простір; 2 – склепіння; 3 – подіна; 4 – сталевипускний отвір;
 5 – отвір для спуску шлаку; 6 – завалочні вікна; 7 – передня стінка;
 8 – задня стінка; 9 – головки; 10 – вертикальні канали; 11 – шлаковик;
 12 – регенератори; 13 – насадка регенераторів; 14 – борова; 15 – робочий
 майданчик

Рисунок 1.1 – Влаштування мартенівської печі [36]

Одна сторона розливного прольоту призначена для розташування мартенівських печей, тоді як інша сторона, вздовж стін, призначена для розливних майданчиків (в разі розливання сталі через виливниці). Зазвичай у розливному прольоті обладнано кілька залізничних колій для руху вагонів із виливницями, а також для виконання операцій з очищення шлаку та видалення сміття. Також у прольоті розташовані стенди для сталерозливних ковшів, стенди для шлакових чаш, сушарки для стопорів та ями для ремонту ковшів.

Поперечний розріз мартенівського цеху наведений на рисунку 1.2.



- 1 – шихтовий відкрилок; 2 – залізничний потяг з мульдами; 3 – пічний проліт; 4 – підлогова завалочна машина; 5 – чавуновозний ківш;
6 – мостовий заливальний кран; 7 – розливний проліт; 8 – мостовий розливний кран; 9 – сталерозливний ківш; 10 – розливальний майданчик;
11 – виливниці на залізничних візках; 12 – шлакові ковші

Рисунок 1.2 – Мартенівський цех (поперечний розріз) [4]

1.3 Теплотехнічні особливості управління мартенівським процесом

Плавка складається з наступних періодів:

1. Заправлення печі.
2. Завалка сипких матеріалів (руда, агломерат, вапняк) та скрапа

тверді складові шихти завантажуються у ванну печі через завалочні вікна передньої стінки спеціальною машиною завалки. Тривалість завалки залежить від ємності печі, типу машин для завалки і складу шихтових матеріалів.

3. Прогрівання завалених матеріалів.

4. Заливка рідкого чавуну – залежно від влаштування цеху заливку чавуну в мартенівську піч здійснюють за спеціальним жолобом через середнє вікно завалки або через особливий отвір в задній стінці печі.

5. Плавлення – під час цієї операції здійснюється повне розплавлення твердої шихти.

6. Доведення – під час доведення проводити видалення всіх шкідливих домішок з розплавленого металу шляхом добавки присадних матеріалів (руди і флюсів), скачування утвореного та наведення нового шлаку на поверхні розплавленого металу.

7. Розкислення та випуск – у цей час у ванну мартенівської печі вводяться необхідні розкислювачі та легуючі добавки і метал випускається за жолобом у ківш [5].

Процес плавлення у мартенівській печі складається з наступних етапів:

1. Заповнення печі: початок плавлення розпочинається із заповнення печі.

2. Завантаження сипких матеріалів: сипкі матеріали, такі як руда, агломерат і вапняк, а також твердий скрап, завантажуються у ванну печі через завалочні вікна спеціальною машиною завантаження.

3. Прогрівання і завантаження матеріалів: завантажені матеріали піддаються процесу прогрівання.

4. Заливка рідкого чавуну: рідкий чавун зливається у ванну печі, що може здійснюватися через спеціальний жолоб або отвір у задній стінці печі, залежно від конфігурації цеху.

5. Плавлення: під час цього етапу проводиться повне розплавлення твердої шихти.

6. Доведення: виконується видалення всіх шкідливих домішок з розплавленого металу за допомогою додавання присадних матеріалів (руд і флюсів), а також скачування утвореного та наведення нового шлаку на поверхні розплавленого металу.

7. Розкислення та випуск: у цей час вводяться необхідні розкислювачі та легуючі добавки, і метал випускається за допомогою жолоба у ківш.

Кожен період має свої теплотехнічні та технологічні завдання та, отже, відповідні завдання управління.

Теплова енергія, необхідна для протікання процесу, виходить за рахунок спалювання палива та екзотермічних реакцій окислення елементів сировини, що переробляється. Паливом мартенівських печей є природний газ.

Під час періоду заправки теплове навантаження повинне забезпечити підтримку в печі температури 1600 – 1700° С. Тепло витрачається на нагрівання заправних матеріалів, покриття втрат з охолоджувальною водою, а також в результаті теплопровідності через стіни, склепіння та подину, випромінювання через вікна та з продуктами, що згорають.

Перед початком завалки здійснюється шихтівка плавки: при відомій кількості чавуну і скрапу в шихті і складі чавуну розраховується кількість твердих окиснювачів (руда, агломерат, котуни) і флюсу (вапняк, вапно), які необхідно завантажити в піч. Параметри шихтування відносяться до разових, одноразових керуючих впливів.

Під час завалки необхідно якнайшвидше завантажити в піч всю кількість сипких матеріалів та скрапу. Теплова потужність підтримується на максимально можливому рівні, тому що при завантаженні холодних матеріалів засвоєння тепла велике і досягає питомого значення 200 – 250 кВт/м² площі пода. Для інтенсифікації процесу спалювання палива та

підвищення температури факела на багатьох печах у цей період застосовується технічний кисень (до 98 % O₂), який подається до факелу окремими струменями через спеціальні сопла пальників або незалежних фурм. Кількість повітря, що подається від вентилятора, має бути таким, щоб забезпечити повне спалювання палива в межах робочого простору; коефіцієнт витрати повітря на вході в піч (на клапані) з урахуванням витрати кисню, що подається у факел, становить 1,3 – 1,4.

Таке високе значення коефіцієнта пояснюється недостатньо хорошим змішуванням палива з повітрям у головках і робочому просторі печі та втратами 10 – 15% поданого повітря через нещільність кладки кнурів, регенераторів та вертикальних каналів. Небезпеки перегріву кладки у період немає; навпаки, слід обережати склепіння робочого простору від надмірного переохолодження, так як різке глибоке охолодження призводить до сколювання внутрішніх шарів магнезотехромітової цегли і зменшує стійкість склепіння.

У період прогріву забезпечується нагрівання шихти до середньої температури, достатньої для активного перебігу подальшого процесу плавлення. При поганому прогріві шихти початок плавлення йде дуже мляво («холодно») і процес плавлення затягується. Зазвичай середня температура шихти становить 800 – 900 °С, але при швидкісних плавках з короткими завалкою і прогріванням знижується до 450 – 500 °С. В останньому випадку нестача тепла компенсується теплогенерацією при продуванні ванни киснем за допомогою окислення вуглецю і значною мірою заліза. Таким чином, тривалість завалки і прогріву, що визначає кількість поглиненого шихтою тепла, є своєрідним керуючим впливом, від якого залежить тривалість усієї плавки.

Для кожної печі може бути визначена така тривалість завалки та прогріву, яка забезпечує в умовах мінімальну тривалість плавки в цілому.

У період прогріву температура поверхні шихти постійно підвищується, що супроводжується збільшенням температури склепіння,

зменшенням теплозасвоєння та зниженням теплової потужності. Завдання управління зводиться до забезпечення максимальної теплопередачі до шихти при спалюванні палива в робочому просторі. Наприкінці періоду може виникнути потреба у захисті кладки від перегріву.

Періоди заливання чавуну та плавлення мають багато спільного та їх зручно розглядати спільно. З початку заливки рідкого чавуну на прогрітій і окислений брухт починається вигорання кремнію, марганцю і частково вуглецю з допомогою кисню з руди, окисленого брухту і атмосфери печі. Ванна покривається шаром щодо холодного пінистого шлаку з великим вмістом оксидів заліза. Для зменшення товщини шлаку та поліпшення умов теплопередачі до металу шлак у період плавлення частково зливають із печі.

Під час або після закінчення заливки чавуну починають продування ванни киснем через зведені фурми. На початку періоду продування частина кисню витрачається на окислення заліза. По мірі розігріву ванни дедалі більша частка кисню витрачається на окислення вуглецю і за нормальної температури понад 1450 °С залізо мало окислюється. Швидкість вигорання вуглецю на початку періоду плавлення трохи менше (іноді в 1,5 рази), ніж у другій половині періоду. Зниження швидкості окиснення вуглецю може спостерігатися в кінці плавки при низьких вмістах вуглецю в металі (менше 0,2%). Продукти окислення кремнію, марганцю, фосфору, заліза переходять у шлак, тоді як продукт окислення вуглецю (монооксид вуглецю) – газ, виділяючись із ванни, спливає як бульбашок. Бульбашки CO і струмені кисню, що вдується, активно перемішують метал і шлак, що сприяє отриманню рівномірного складу розплаву у ванні і зменшенню в ньому градієнтів температури і концентрації. Монооксид вуглецю – горючий газ та його виділення з ванни рівносильно подачі в піч додаткового палива. Теплова потужність, що забезпечується паливом, під час плавлення знижується і при продуванні ванни киснем може стати нижче теплової потужності холостого ходу.

Завдання управління мартенівською плавкою і піччю в період плавлення зводиться до забезпечення найшвидшого розплавлення та нагрівання ванни приблизно до 1450 °С за рахунок інтенсивного засвоєння тепла від факела і генерації тепла у ванні при окисненні кремнію, марганцю та вуглецю. Іншими завданнями слід вважати захист кладки від перегріву, а також забезпечення повного спалювання палива і СО, що виділяється з ванни, для чого коефіцієнт витрати повітря в розрахунку на паливо збільшується до 1,8 і навіть більше.

Головним завданням всіх періодів плавки від завалки до плавлення включно є передача ванні якнайшвидше потрібної кількості тепла, тому іноді всі ці періоди називають тепло-технічними періодами плавки. У всі періоди плавки так само важлива задача управління, яка пов'язана із захистом кладки верхньої та нижньої будови печі від перегріву.

Критеріями оптимальності управління мартенівським процесом можуть бути продуктивність печі та економічність процесу (собівартість сталі). При управлінні домагаються максимальних продуктивності та економічності.

Максимальну продуктивність (мінімальну тривалість плавки) забезпечують такі керуючі дії:

- шихтування плавки (кількість чавуну, брухту, руди або агломерату, вапняку або вапна);
- тривалість періодів заправки, завалки, прогріву та заливання чавуну (організація роботи в цеху та біля печі);
- харчування печі теплом (теплова потужність);
- продування ванни киснем;
- шлаковий режим (злив та коригування складу шлаку).

При цьому враховуються наступні обмеження: максимальна величина металевої садки, яка визначається ємністю ванни і розливного ковша; максимальна теплова потужність, що визначається пропускною

здатністю паливо відвідної системи та димового тракту; максимальна допустима температура кладки, що визначається вогнетривкістю матеріалів різних елементів кладки. У сучасних умовах обмеженнями можуть бути і екологічні вимоги, оскільки інтенсифікація процесу плавки істотно підвищує шкідливі викиди в атмосферу (пил, оксиди азоту).

Економічність процесу визначається вартістю шихти та витратами по переділу, які враховують вартість палива, кисню, вогнетривів та ремонтів печі. На економічність процесу впливають такі керуючі впливи:

- режим спалювання палива (витрата вентиляторного повітря та кисню у смолоскип);
- режим тиску у робочому просторі;
- режим перекидання клапанів.

Більшою мірою ці керуючі впливи впливають на питому витрату палива та стійкість кладки (вартість вогнетривів).

1.4 Основні технологічні величини та діапазони вимірювання

Перелік усіх контрольованих параметрів об'єкта управління з робочим діапазоном їх виміру наведено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Перелік усіх контрольованих параметрів об'єкта управління з робочим діапазоном їх виміру

Контрольовані параметри	Діапазон вимірювань
Температура в робочому просторі печі, °С	1500-1600
Температура димових газів у борові, °С	550-600
Температура води на охолодження правої фурми, °С	60-100
Температура води на охолодження середньої фурми, °С	60-100
Температура води на охолодження лівої фурми, °С	60-100

Температура сталі в ванні, °С	1600-1700
Температура насадок регенераторів, °С	800-1200
Температура склепіння печі, °С	1400-1700
Тиск кисню, МПа	1,2
Тиск природного газу, МПа	0,16
Тиск в робочому просторі печі, Па	0-160
Витрата кисню загальна, м ³ /ч	0-6300
Витрата кисню на фурми, м ³ /ч	0-3200
Витрата природного кисню загальна, м ³ /ч	0-5000
Витрата природного газу на фурми, м ³ /ч	0-1600
Витрата вентиляційного повітря загальна, м ³ /ч	0-63000
Розрідження в робочому просторі, Па	-20 +14
Положення правої фурми, м	0-4
Положення лівої фурми, м	0-4
Положення середньої фурми, м	0-4

1.5 Статичні та динамічні характеристики об'єкта автоматизації

Оцінка мартенівського процесу та печі як об'єктів автоматичного управління вкрай складна, так як технологічний процес характеризується великою кількістю різноманітних параметрів, а піч можна розділити на кілька взаємозалежних ділянок (ванна, кладка, факел, регенератори і т.п.) з різними статичними та динамічними характеристиками.

Статичні характеристики зазвичай носять експериментальний характер, і чисельні значення справедливі лише печі цього типу і навіть певного періоду плавки.

Динамічні характеристики показують значні відмінності динамічних властивостей різних ділянках печі. Так, при розгляді мартенівської печі як об'єкта регулювання тиску виходять найменші значення часу

запізнення $T_3 = 1$ та постійної часу $T_n = 4 - 5$ с. Значно більшими величинами τ^3 і T характеризується піч час управління складом продуктів згоряння. Великі значення τ^3 і відношення τ^3/T пояснюються тим, що керуючий вплив виявляється в голівці що підводить, а керована величина визначається перед регенератором на стороні печі, що відводить. Найбільш інерційна сталеплавильна ванна, що пояснюється великою кількістю тепла, що йде на плавлення шихти та нагрівання металу.

Тож якщо вхідною величиною вважати температуру поверхні шлаку, а вихідною – температуру металу, то період доведення при швидкості вигорання вуглецю 0,35 % год $\tau^3 - 8$ хв і $T = 120$ хв.

Особливості мартенівського процесу печі як об'єкта автоматичного управління можна сформулювати так:

- піч і процес являють собою складну систему, що характеризується багатьма вхідними і вихідними величинами зі складними перехрещеними взаємодіями;
- процес періодичний та циклічно повторюється від завалки до випуску;
- живлення печі теплом та температура різних частин печі змінюються по ходу плавки, від плавки до плавки та по ходу кампанії;
- технологічний процес дуже складний, йде з поглинанням та
- виділенням тепла та виділенням з ванни пального газу CO;
- режим роботи печі підтверджено різким обуренням, пов'язаним з періодичним реверсуванням факела;
- відсутній загальний математичний опис теплових та технологічних процесів;
- відсутні багато датчиків, необхідних для автоматизації (датчики складу металу, шлаку та ін.);
- багато елементів печі та процесу мають значну інерційність та погані динамічні властивості.

1.6 Схеми інформаційних потоків

Об'єкт управління характеризується такими вхідними параметрами:

- витратою природного газу (F_r);
- витратою кисню (F_k);
- витратою води (F_a).

Вихідні параметри:

- температура сталі (t_{cm});
- хімічний склад сталі (X_{cm});
- питома витрата кисню ($F_{п.к.}$);
- питома витрата газу ($F_{п.г.}$);
- продуктивність печі (Π_p).

Основні впливи, що обурюють:

- відхилення у складі сировини та присадок (f_{cc});
- зміна вологості повітря ($f_{вп}$);
- знос склепіння та стін печі, що призводять до змін вибивання та підсмоктування холодного повітря ($f_{уп}$);
- зміна тиску та калорійності газу ($f_{тг}$);
- зміна тиску в печі ($f_{тп}$);
- зміна тиску кисню ($f_{тк}$).

Керуючі дії:

- склад та кількість матеріалів, що завалюються ($F_{зм}$);
- кількість чавуну, що заливається ($F_{зч}$);
- кількість та склад присадок у період доведення (F_p);
- витрата природного газу ($F_{пр}$);
- витрата кисню (F_k);
- температура склепіння ($t_{ск}$);
- температура та склад продуктів згоряння після шлаковика ($t_{п.ст}$);
- температура води, що подається на охолодження ($t_{охол}$);

- положення кисневих продувних фурм (L_{ϕ});
- тиск у печі ($P_{п}$);
- тиск у димовому борві ($P_{дв}$).

Усі вхідні, вихідні, що обурюють і управляючі дії на об'єкт управління схематично представлені на рисунку 1.3.

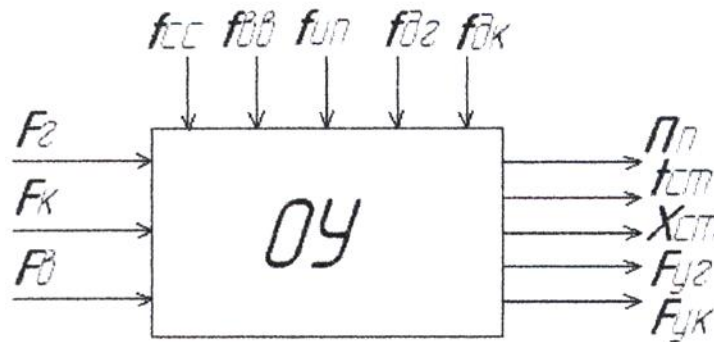


Рисунок 1.3 – Схема інформаційних потоків

1.7 Аналіз існуючих технологій

Основними цілями автоматизації допоміжного обладнання є: збільшення продуктивності технологічного обладнання з одночасним зменшенням кількості працівників при заданому обсязі, якості та номенклатурі продукції, покращення якості продуктів технологічних процесів, що протікають у цьому обладнанні, досягнення оптимальної роботи технологічного обладнання.

Метою даної роботи є створення та впровадження автоматизованої системи управління процесом ваговимірювання, яка має забезпечити:

1. Підвищення рівня управління за допомогою можливості отримання більшої кількості інформації.
2. Достовірність інформації, що надходить.
3. Стабілізацію фізико-хімічних властивостей металу.
4. Підвищення технічного рівня виробництва та поліпшення умов праці.

5. Можливість подальшої автоматизації печі та досягнення оптимальної роботи обладнання.

6. Підвищення надійності роботи всього устаткування.

Призначення системи автоматизованого управління, її функціональні можливості визначаються характеристиками об'єкта управління.

Короткий аналіз стану автоматизації об'єкта, для якого розробляється АСУ ТП

На сьогоднішній день на ПАТ «Запоріжсталь» мартенівські печі та двохванний сталеплавильний агрегат використовуються для переробки рідкого чавуну та руди та одержання сталі заданого складу. Рівень автоматизації мартенівських печей дуже низький.

Більшість параметрів технологічного процесу та обладнання на ділянці контролюються візуально, регулюються вручну та дистанційно сталеварами. Це зумовлює затримку надходження інформації та відповідно керуючих впливів, що є причиною зниження продуктивності цеху загалом.

1.8 Постановка задачі

Складність технологічного процесу вимагають застосування системи автоматизації високого рівня, так званої автоматизованої системи управління технологічним процесом (АСУ ТП).

До функцій АСУ ТП відносяться інформаційні, керуючі та допоміжні, причому інформаційні поділяють на централізований контроль за станом технологічного об'єкта, обчислювальні та логічні операції обчислювального характеру.

АСУ ТП мартенівської печі ваговиміральної ділянки має функціонувати у таких режимах:

– у комбінованому, при якому засоби обчислювальної техніки автоматично змінюють уставки та параметри налаштування локальних систем регулювання;

– у режимі прямого управління, у якому кошти обчислювальної техніки забезпечують безпосереднє управління виконавчими пристроями.

Однією з ключових проблем, яку потрібно вирішити під час створення АСУ ТП є створення та розвиток їхнього математичного забезпечення. При цьому важливим моментом є розробка алгоритмів керування складних технологічних процесів та створення пакетів прикладних програм. З їхньою допомогою мають реалізуватися завдання збору, первинної обробки, контролю та достовірності даних, ідентифікації та адаптації системи, розрахунку техніко-економічного обґрунтування.

Всі ці завдання можуть бути вирішені лише за використання сучасних засобів обчислювальної техніки.

До основних цілей впровадження АСУ ТП належать:

- підвищення економічної ефективності виробництва;
- збільшення продуктивності технологічного обладнання;
- загальне впорядкування організаційних процесів;
- економія феросплавів;
- оптимізація процесу ваговимірювання;
- підвищення точності зважування;
- збільшення обсягу виробництва за рахунок збільшення продуктивності

Висновки. Автоматизації теплових металургійних агрегатів призводить до скорочення участі робочої сили в їхньому управлінні. Завдяки автоматизації з'являється можливість збільшити продуктивність агрегату та знизити собівартість продукції. Робота працівників, які обслуговують автоматизовані агрегати, значно полегшується внаслідок застосування механізмів та регуляторів. Зменшення кількості ручної праці дозволяє працівникам значну частину часу приділяти спостереженню та аналізу технологічного процесу, своєчасно попереджати можливості появи браку виробництва та аварій агрегату.

На даний момент автоматизація контурів регулювання виконана на морально застарілому (КСД-3 ДМ, Метран РП4-У-М1...), фізично виробленому ресурсі обладнанні, що призводить до відмови роботи контуру регулювання, швидкодії системи регулювання та залученню технологічного персоналу в процесі регулювання.

Автоматизація спрямована на використання комп'ютерів та інших технічних засобів обробки та передачі інформації в управлінні технологічними процесами у виробництві.

Сучасні АСУТП складаються зазвичай із кількох рівнів управління. На нижньому рівні функціонують системи автоматичні регулювання (САР) окремими технологічними параметрами. Отримуючи завдання та уставки від верхніх рівнів системи регулювання підтримують технологічні параметри на заданому рівні, який розраховується ЕВМ або задається оператором. Незалежно від того, як саме здійснюється регулювання: регуляторами, мікропроцесорами чи самої ЕВМ у режимі прямого цифрового управління, якість управління об'єктом загалом значною мірою визначається якістю систем регулювання окремих параметрів.

Для створення працездатної САР, що забезпечує необхідну якість регулювання, необхідно насамперед знати властивості об'єкта регулювання, тобто мати його модель. Оцінка об'єкта з погляду зосередженості чи розподіленості параметрів важлива під час виборів принципів виміру, числа датчиків і місця їх установки, так як від цього буде залежати об'єктивність оцінки стану об'єкта та значення керуючих впливів.

Фізична природа регульованих параметрів різних об'єктів регулювання може бути різною (тиск, температура, витрата, рівень або положення, швидкість і т.п.). Для вирішення завдань регулювання необхідно знати загальні властивості об'єкта регулювання його статичні та динамічні властивості незалежно від фізичної природи та конструктивних особливостей технологічного агрегату та процесу, що відбувається в

ньому, оскільки саме ці характеристики визначають умови регулювання. Статичні та динамічні характеристики об'єкта регулювання необхідні для правильного вибору принципової схеми регулювання, контролерів та налаштування, засобів вимірювань, регулюючих та виконавчих органів. Ці характеристики необхідні також для аналізу стійкості та якості САР. Іншими словами, розрахунок автоматичних систем регулювання ґрунтується на статичних та динамічних характеристиках об'єктів регулювання. При проектуванні САР статичні та динамічні характеристики об'єкта регулювання знаходять за теоретичними формулами або визначають експериментально на діючих об'єктах або на їх моделях.

Програмований контролер – цифрова електронна система, призначена для застосування у виробничому середовищі, яка використовує програмовану пам'ять зберігання орієнтованих на споживача інструкцій з реалізації таких спеціальних функцій, як логіка, встановлення послідовності, погодження за часом, рахунок та арифметичні дії для контролю за допомогою цифрового або аналогового введення/виведення даних різних видів машин чи процесів. Найчастіше контролер використовують із автоматизації технологічних процесів. Як основний режим роботи контролера виступає його тривале автономне використання, найчастіше у несприятливих умовах навколишнього середовища, без серйозного обслуговування та практично без втручання людини

Автоматизоване робоче місце (АРМ) – індивідуальний комплекс технічних і програмних засобів, що призначений для автоматизації професійної праці фахівця і надає можливість введення інформації (через клавіатуру, комп'ютерну мишку, сканер тощо) та її виведення на екран монітора, принтер, плотер, звукову плату – динаміки або інші пристрої виведення.

АРМ у системі управління – це проблемно орієнтований комплекс технічних, програмних, лінгвістичних засобів, установлений безпосередньо на робочому місці користувача, що використовується для

автоматизації операцій взаємодії користувача з комп'ютером у процесі проектування та реалізації завдань.

2 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ

2.1 Структура САР

Основним технічним документом для розробки системи автоматичного регулювання є функціональна схема автоматизації. За нею визначаємо структуру і функціональні зв'язки між технологічним процесом і засобами контролю і управління (рис.2.1).

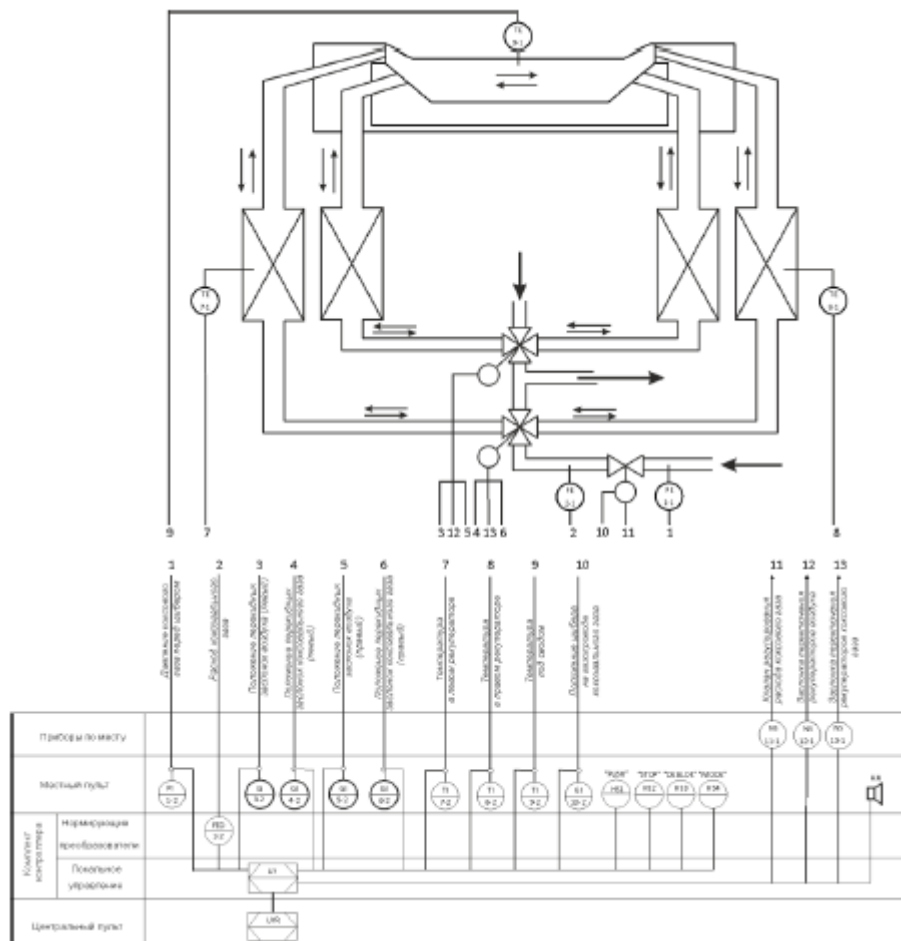


Рисунок 2.1 – Функціональна схема автоматизації

На функціональній схемі у верхній частині зображено мартенівську піч, а також надані символічні позначення та місце розташування чутливих елементів датчиків для моніторингу таких параметрів:

- тиск коксового газу перед регулюючим клапаном;
- витрати коксового газу;
- температура всередині печі та рекуператорів;
- положення засувки і шибрів для подачі газу та повітря в рекуператори.

В нижній частині функціональної схеми розміщені умовні позначення приладів, засобів автоматизації, апаратів управління та сигналізації, а також представлені місцеві прилади вимірювання та перетворення, призначені для відображення технологічних параметрів у точці відбору.

У таблиці, що розташована в нижній частині функціональної схеми вказані кнопки управління процесом, а також звукова сигналізація.

На рисунку 2.2 наведено структурна схема інформаційних потоків САР, яка призначена для підтримки заданих значень витрат газу в газопроводі мартенівської печі.

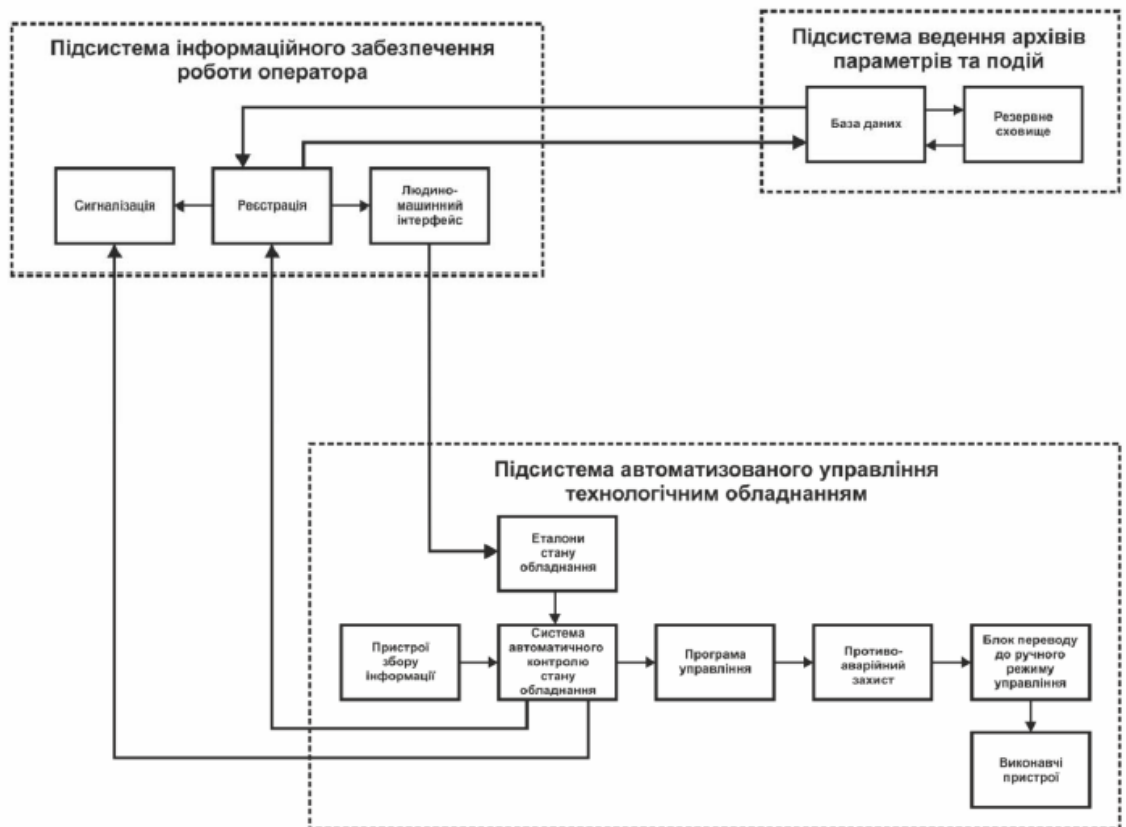


Рисунок 2.2 – Структурна схема інформаційних потоків САР

САР забезпечує збір інформації про хід технологічного процесу, реєстрацію, візуалізацію, зберігання в базі даних та створення резервних копій цієї інформації. Крім того, запропонована структура інформаційних потоків дозволяє здійснювати контроль за обладнанням і відзначати сигналізацію при досягненні контрольованими параметрами заданих значень.

2.2 Розробка математичної моделі об'єкта управління

Математична модель витрати газу в газопроводі мартенівської печі може бути представлена різними способами в залежності від конкретних умов і складності системи, з використанням рівняння стану, яке описує фізичні властивості системи.

Це система рівнянь часткових диференціальних рівнянь, яка описує рух та теплоперенос в газопроводі. Врахування всіх цих аспектів САР на основі такої моделі вимагає числового моделювання та великої обчислювальної потужності.

Основою розрахунку, крім вимог до марки сталі, є так зване рівняння теплового балансу:

$$\sum_{i=1}^n Q_i^{in} - \sum_{j=1}^m Q_j^{out} \rightarrow 0 \quad (2.1)$$

де $\sum_{i=1}^n Q_i^{in}$ – сума тепла, що надходить до мартенівської печі від усіх джерел $i = 1 \dots n$;

$\sum_{j=1}^m Q_j^{out}$ – сума тепла, що витрачається $j = 1 \dots m$ процесі.

Традиційно розглядають п'ять основних джерел тепла у ваннах сталеплавильного агрегату мартенівського виробництва:

$$\sum Q^{in} = Q_{\text{чав}} + Q_{\text{м.шлак}} + Q_{\text{дом}} + Q_{\text{зал}} + Q_{\text{шл-утв.}} \quad (2.2)$$

де $Q_{\text{чав}}$ – тепло від окислення чавуну, пропорційне його масі та початковій температурі;

$Q_{\text{м.шлак}}$ – тепло від окислення міксерного шлаку, пропорційне температурі, масі чавуну та ступеню зашлакованості;

$Q_{\text{дом}}$ – тепло від окислення неметалевих домішок шихти, що нелінійно залежить від хімічних параметрів готової сталі, чавуну й охолоджувачів;

$Q_{\text{зал}}$ – тепло від окислення заліза, що переходить у шлак і пил – нелінійно залежить від ступеня окислення та маси шлаку;

$Q_{\text{шл-утв}}$ – тепло від шлакоутворення.

На практиці кількість шлаку в чавуні не перевищує 1%, тому теплотою, що вносить ця складова, можна знехтувати.

Водночас уся енергія, що утворюється в мартенівській печі, витрачається наступним чином:

$$\sum Q^{out} = Q_{\text{ст}} + Q_{\text{пил}} + Q_{\text{шл}} + Q_{\text{газ}} + Q_{\text{дис}} + Q_{\text{вкв}} + Q_{\text{втр}}, \quad (2.3)$$

де $Q_{\text{ст}}$ – тепло, що залишається в готовій сталі, пропорційне її масі та температурі розливки;

$Q_{\text{пил}}$ – тепло, що уноситься пилом, пропорційне середній температурі плавки та ступеню випаровування заліза;

$Q_{\text{шл}}$ – тепло, що залишається в шлаку, пропорційне його масі та температурі розливки;

$Q_{\text{газ}}$ – тепло, що виноситься із продуктами згоряння, пропорційне середній температурі плавки та сумі об'ємів газів, що відходять;

$Q_{\text{дис}}$ – тепло дисоціації сполук заліза та вапна – нелінійна функція мас скрапу та ступенів забруднення;

$Q_{\text{вкв}}$ – тепло, що уноситься з викидами металу, корольками металу в шлаку й виплесками – нелінійна функція початкового хімічного складу та

ступеню забруднення скрапу;

$Q_{втр}$ – тепло, що передається фурмі, футеровці й корпусу печі – пропорційне сумі вхідного тепла.

Звичайно, крім теплового балансу, у мартенівській печі зберігається матеріальний баланс:

$$\sum_{k=1}^p M_k^{in} - \sum_{l=1}^q M_l^{out} \rightarrow 0 \quad (2.4)$$

де $\sum_{k=1}^p M_k^{in}$ – сума мас усіх речових $k = 1 \dots p$, що потрапляють до печі під час плавки.

$\sum_{l=1}^q M_l^{out}$ сума мас усіх речових $l = 1 \dots q$, що утворюються у процесі плавки.

У реальних процесах мартенівської плавки фіксованою величиною є вихід природного металу $M_{st}^{out} = const$, що має дорівнювати наперед заданій величині. Це обумовлено тим, що готова сталь розливається у виливниці заздалегідь відомими порціями. Міркування щодо розподілу металу у виливниці розглянуто в попередніх роботах, зокрема [32].

Кількість решти речовин, що утворюються у процесі виготовлення сталі, потенційно не лімітується, визначаючись початковими умовами плавки та речовинами, що були витрачені. Корегуючі операції виконуються, якщо різниця між приходом і витратою тепла перевищує 0,5–0,8%, що відповідає відхиленню фізичної температури сталі від заданої на 10–15°C.

Для моделювання витрати газу в газопроводі використовують рівняння Бернуллі або рівняння стиснутого газу.

$$Q = A \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\gamma \cdot R \cdot T}}, \quad (2.5)$$

де Q – витрата газу ($\text{м}^3/\text{с}$);

A – площа поперечного перерізу газопроводу (м^2);

ΔP – різниця тиску (Па);

γ – співвідношення розкладу тиску до густини газу;

R – універсальна газова константа ($8,314 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$);

T – температура газу (К)

Це є загальним прикладом, і для конкретної ситуації можуть застосовуватися більш складні моделі, враховуючи додаткові фактори, такі як реологічні властивості газу, тиск у початковому та кінцевому пунктах газопроводу, інерційні властивості системи тощо. Моделювання витрати газу часто використовується для прогнозування та оптимізації роботи технічних систем.

Для імітаційної математичної моделі витрати газу в газопроводі мартенівської печі використовуємо рівняння Нав'є-Стокса або рівняння переносу маси, які детальніше описують гідродинаміку газу в трубопроводі. Такі моделі є досить складними і часто вимагають великої кількості даних та обчислювальних ресурсів.

Один з можливих спрощених варіантів для моделювання витрати газу може бути рівняння Кармана-Кутта для нестислого потоку:

$$\frac{d\rho}{dt} + \nabla \cdot (\rho u) = 0, \quad (2.6)$$

$$\frac{du}{dt} + (u \cdot \nabla)u = -\frac{1}{\rho} \nabla P + g \quad (2.7)$$

$$\frac{dT}{dt} + u \cdot \nabla T = \alpha \nabla^2 T \quad (2.8)$$

де ρ – густина газу;

u – вектор швидкості газу;

P – тиск газу;
 g – вектор сил тяжіння;
 T – температура газу;
 α – температуропровідність.

2.3 Модель САР витратами газу в газопроводі мартенівської печі

З урахуванням описаної структурної схеми системи автоматичного керування витратами газу, поданої у першому розділі, та враховуючи застосування принципу замкненого керування при синтезі системи, розроблена загальна структурна схема імітаційної моделі цієї системи автоматичного керування (рис. 2.3).

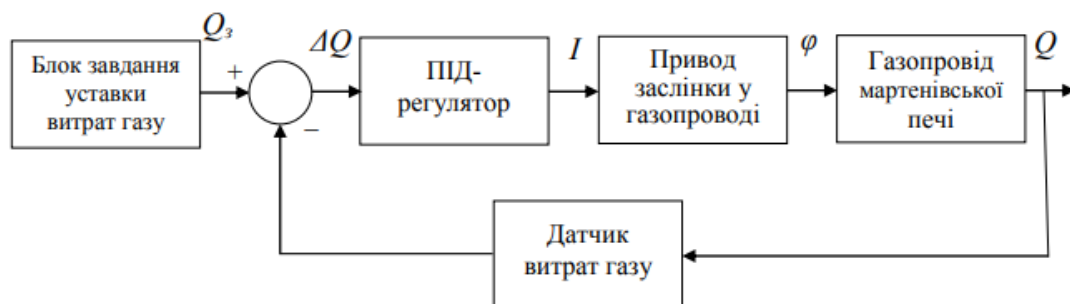


Рисунок 2.3 – Структурна схема імітаційної моделі САР витратами газу в газопроводі мартенівської печі

У додаток математичного пакету MATLAB Simulink вводимо закон зміни витрат коксுவального газу протягом циклу плавлення. Для цього користувалися блоком «Repeating Sequence». Меню налаштувань даного блоку, що відображує бажаний закон зміни у часі витрат коксுவального газу протягом циклу плавлення.

Меню налаштувань блоку «Repeating Sequence», що є імітаційною моделлю блоку завдання уставки витрат газу показане на рис.2.4.

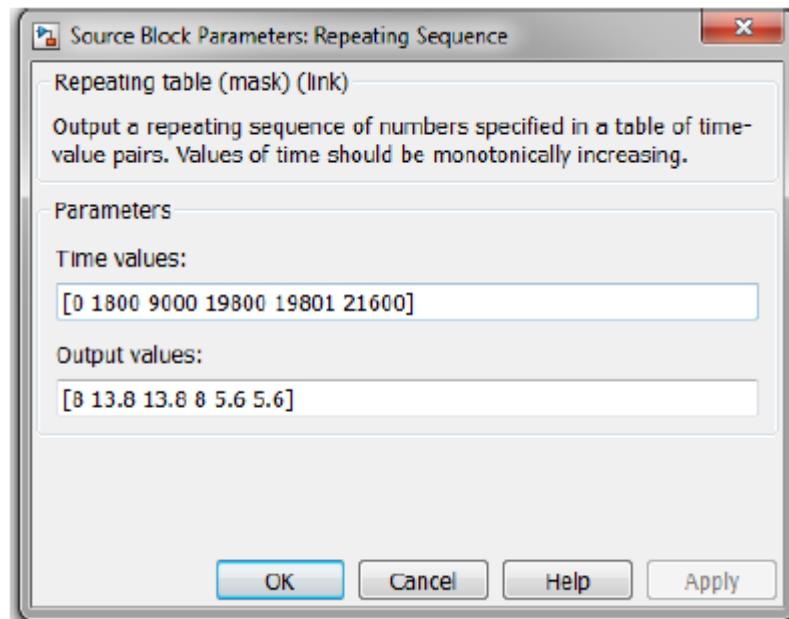


Рисунок 2.4 – Меню налаштувань блоку «Repeating Sequence», що є імітаційною моделлю блоку завдання уставки витрат газу

Поле «Time value» – розмірність часу за віссю абсцис, з урахуванням розмірності постійних часу передаточних функцій, с.

Поле «Output values» – розмірність часу за віссю ординат, м³/с.

Як імітаційну модель для газопроводу мартенівської печі за каналом керування «положення заслінки – витрати газу» ми використовуємо передавальну функцію, яка була отримана на основі результатів експериментів у реальних умовах експлуатації печі [2].

$$W_{OK}(s) = \frac{(18 - 3)/100}{0,21 \cdot s^2 + 0,93 \cdot s + 1}. \quad (2.9)$$

Коефіцієнт підсилення передавальної функції об'єкта керування відображає перехід від діапазону зміни положення заслінки φ (від 0 до 100%) до діапазону зміни витрат газу Q (від 3 до 18 м³/с). Модель об'єкта керування показана на рисунку 2.5.

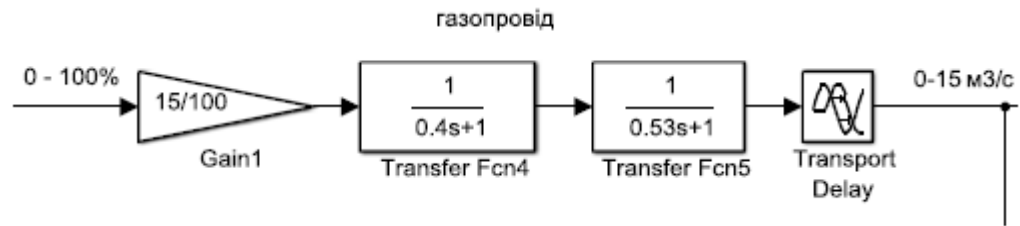


Рисунок 2.5 – Схема імітаційної моделі газопроводу мартенівської печі, що реалізована у додатку Simulink математичного пакету MATLAB

Розроблена імітаційна модель приводу засувки у газопроводі мартенівської печі, з урахуванням динамічних характеристик даного елемента системи керування, має наступні характеристики:

1. З огляду на швидке протікання електромагнітних процесів у електродвигуні, він моделюється як безінерційний динамічний елемент.

2. Згідно з технічними характеристиками приводу заслінки, переміщення з одного крайнього положення до іншого займає 10 секунд. При цьому обертання ротора двигуна відбувається з постійною швидкістю.

Таким чином, використовується двопозиційне керування з введеною зоною нечутливості $\pm 0,1\%$ для запобігання автоколивань.

З урахуванням описаних особливостей приводу заслінки в газопроводі мартенівської печі створено імітаційну модель цього елемента системи керування (рисунок 2.6).

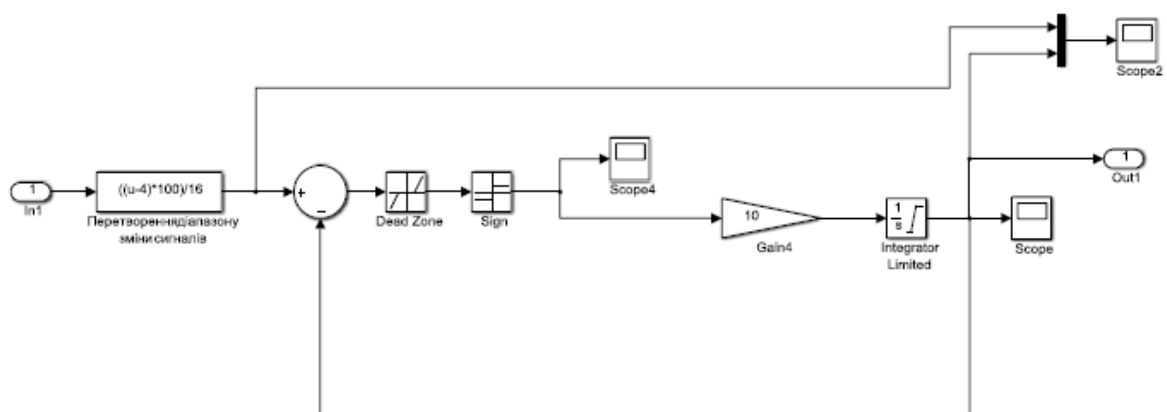


Рисунок 2.6 – Схема імітаційної моделі приводу заслінки у газопроводі мартенівської печі

Блок «Signal Range Transformation» необхідний для узгодження діапазонів зміни вхідного сигналу моделі (керуючий струм від 4 до 20 мА) та вихідного сигналу (положення заслінки від 0 до 100%).

Зону нечутливості моделі реалізуємо за допомогою блоку «Dead Zone». Переміщення засувки імітується за допомогою інтегратора з обмеженням вихідного сигналу від 0 до 100%. Коефіцієнт у блоці «Gain4» 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. 2.7.

По графіку видно, що зміна положення засувки у газопроводі відображає характер зміни керуючого сигналу в часі відповідно до технічних характеристик привода заслінки в газопроводі мартенівської печі.

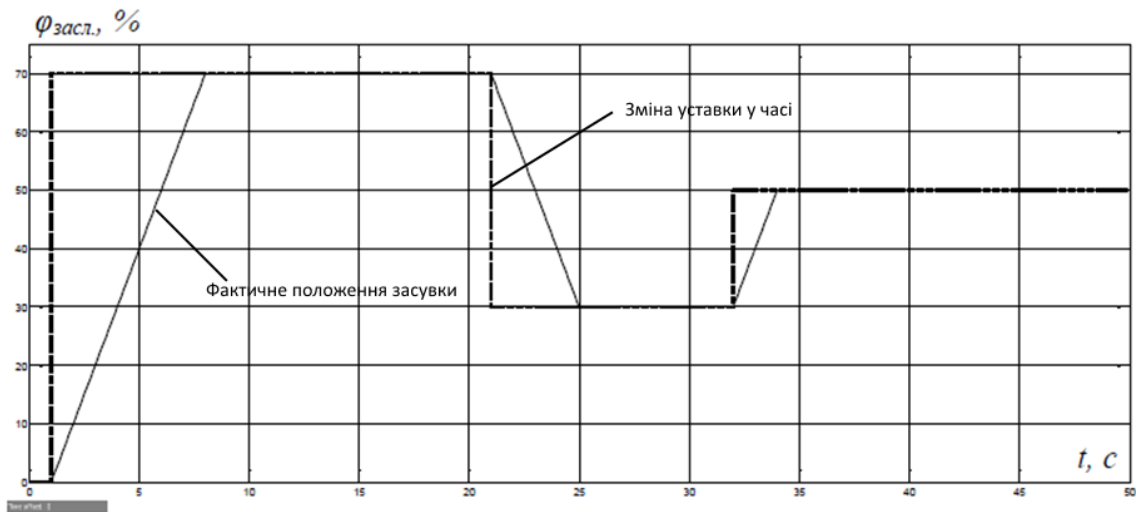


Рисунок 2.7 – Графік зміни у часі уставки та фактичного положення заслінки у газопроводі мартенівської печі

Час переміщення засувки на газопроводі мартенівської печі значно перевищує тривалість перехідного процесу у моделі газопроводу. На це вказують постійні часу передавальної функції об'єкта керування. Така ситуація свідчить про те, що привод заслінки може значно впливати на

перехідний процес на виході синтезованої системи автоматичного керування.

Для підтвердження цього, враховуючи структурну схему на рисунку 2.3, розробили імітаційні моделі для відкритої системи керування з приводом засувки і без нього (рисунок 2.8).

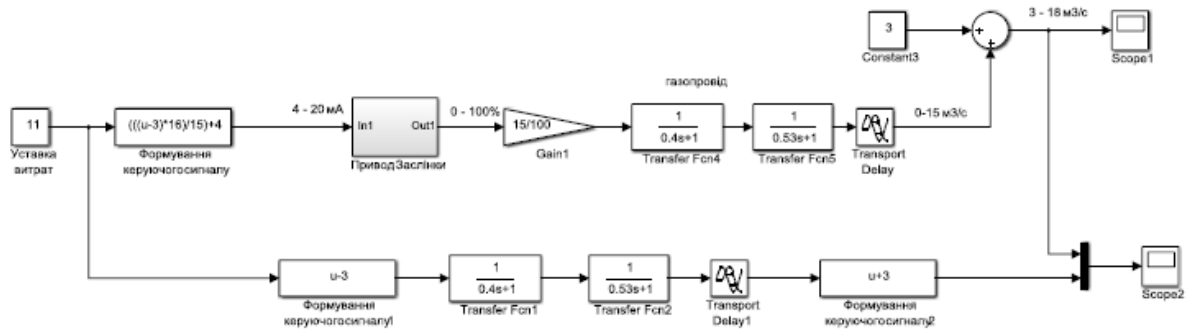


Рисунок 2.8 – Схеми імітаційних моделей об'єкта керування з моделлю привода заслінки у газопроводі мартенівської печі (зверху) та без неї (знизу)

Імітаційна модель САР приводу засувки розташована в блоку «Привод Засувки» на рисунку 2.7.

Результати моделювання представлені на рисунку 2.9.

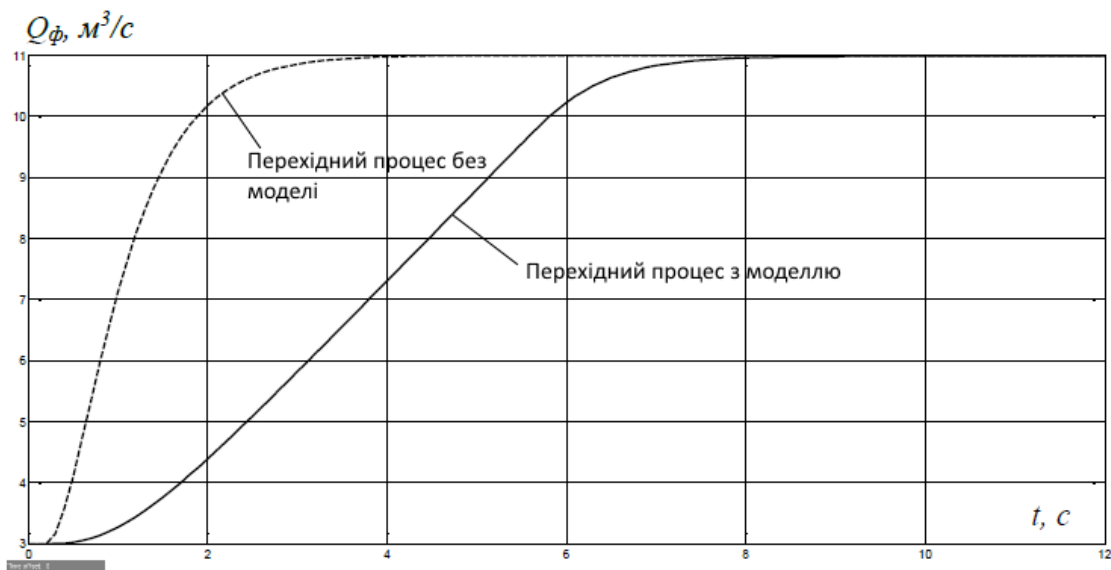


Рисунок 2.9 – Перехідний процес на виході об'єкта управління з моделлю привода заслінки у газопроводі мартенівської печі та без неї

Блок «Формування керуючого сигналу» виконує функцію адаптації діапазонів зміни уставки (від 3 до 18 м³/с) та керуючого сигналу для приводу заслінки (від 4 до 20 мА).

По графікам перехідних процесів на рисунку 2.8 бачимо, що динамічні властивості приводу засувки мають значний вплив на перехідний процес на виході синтезованої системи автоматичного керування. Суттєвий вплив полягає у тому, що фактично швидкість переміщення заслінки визначає характер перехідного процесу.

Отже, не враховувати динамічні властивості приводу засувки, як пропорційну ланку, не допустимо, адже об'єкт керування з урахуванням моделі приводу засувки у газопроводі має досить складні динамічні властивості. Мартенівська піч є об'єктом нелінійним з присутністю величин, що мають обмеження щодо швидкості зміни у часі. Враховуючи це, можна зробити висновок – неприпустимо використовувати методи синтезу лінійних неперервних систем автоматичного керування.

На основі розроблених імітаційних моделей окремих елементів була створена схема імітаційної моделі системи автоматичного керування витратами коксувального газу в газопроводі мартенівської печі (рисунок 2.10).

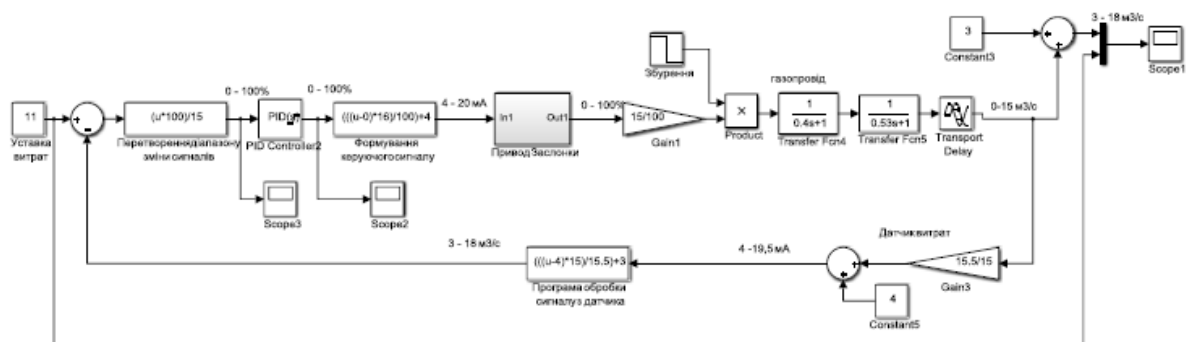


Рисунок 2.10 – Схема імітаційної моделі системи автоматичного керування витратами коксувального газу в газопроводі мартенівської печі

На рисунку 2.10 введений блок «PID Controller» з нормуванням діапазонів його вхідної та вихідної величин від 0 до 100%. ПІД-регулятор

використовуються для зручності використання за умови подальшого синтезу САР інженерних методів розрахунку. Саме тому перед ПД-регулятором введений блок «Signal Range Transformation», 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%).

Після ПД-регулятора введений блок «Control Signal Generation», 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»). 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 «Sensor Signal Processing Program» 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.

2.4 Оцінка якості функціонування САР

На виході САП перехідний процес, при умові її реакції на вплив збурення, зображено у спрощеному вигляді на рисунку 2.11.

Враховуючи тепловий графік мартенівської печі та опис особливостей зовнішнього збурюючого впливу можна визначити різні режими роботи системи автоматичного керування.

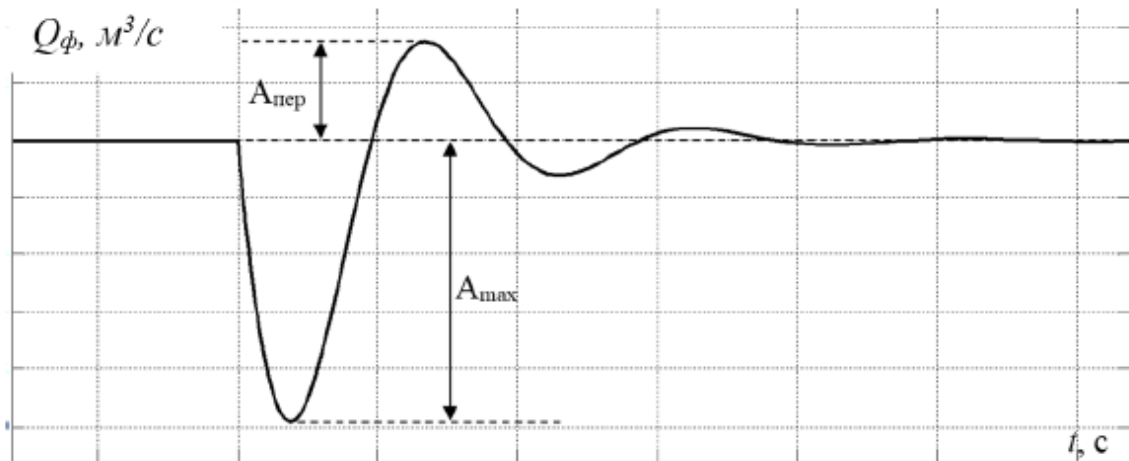


Рисунок 2.11 – Перехідний процес на виході синтезованої системи автоматичного керування при відпрацюванні нею східчастого збурення

Для кожного з цих режимів будуть сформульовані індивідуальні вимоги до якості роботи системи.

1. В режимі стабілізації витрат коксувального газу в газопроводі печі, при тривалому функціонуванні і відсутності значущих збурень, статична похибка на виході системи керування має дорівнювати нулю. У випадку наявності періодичних збурень, допускається відносне відхилення фактичних витрат від уставки до 10% протягом максимум 10 секунд.

2. У режимі відпрацювання уставки, яка змінюється плавно в часі, перехід від рівня витрат $8 \text{ м}^3/\text{с}$ до рівня $5,6 \text{ м}^3/\text{с}$ повинен займати не більше 20 секунд без перерегулювання і статичної похибки на виході системи автоматичного керування.

3. У режимі відпрацювання уставки, яка змінюється лінійно в часі, відносна швидкісна похибка не повинна перевищувати 5%. У переходному процесі на виході системи автоматичного керування не повинні виникати коливання керованої величини.

4. Вимоги до ефективності роботи системи автоматичного керування в усіх режимах повинні бути враховані з урахуванням впливу збурюючих факторів на систему.

Висновки. В даному розділі розроблена математична імітаційна модель САР витратами газу в газопроводі мартенівської печі. Структура імітаційної моделі САР повторює реальну систему і включає такі основні компоненти: модель газопроводу (описана двома послідовно з'єднаними аперіодичними ланками та ланкою транспортного запізнення), модель приводу заслінки, яка базується на інтеграторі, та модель датчика витрат, що вважається безінерційним елементом.

3 РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ САР

Синтезована система керування безперервної моделі системи керування, відповідає сформульованим критеріям якості і наведена на рисунку 3.1.

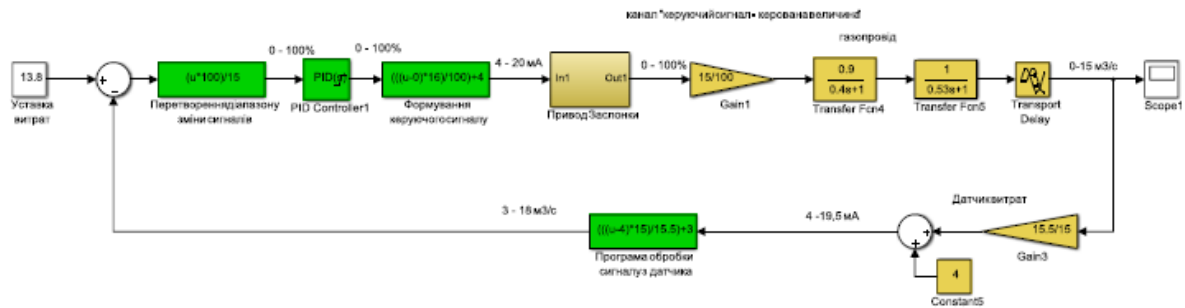


Рисунок 3.1 – Синтез безперервної моделі системи керування

Результати моделювання САР наведено на рисунку 3.2.

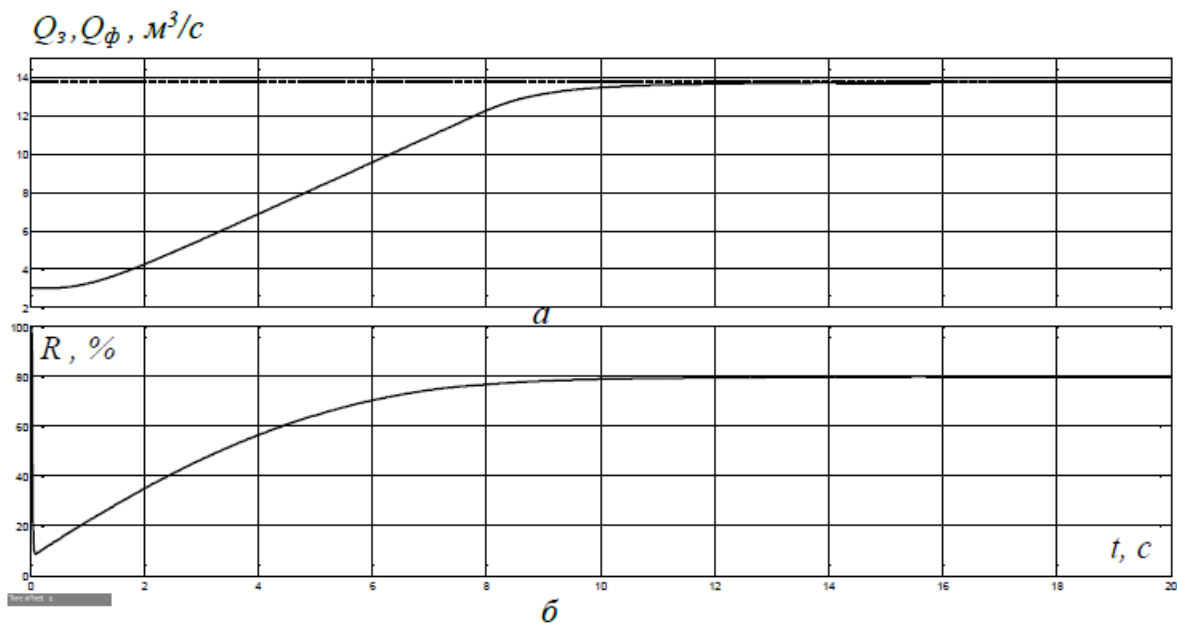


Рисунок 3.2 – Результати моделювання безперервної системи керування

Для продовження роботи ми здійснимо перетворення аналогових елементів системи керування на цифрові. Для цього ми використаємо

програму, яка призначена для перетворення аналогових аперіодичних ланок об'єкта керування.

```
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
```

Модель для засувки у газопроводі на основі цифрового інтегратора наведена на рисунку 3.3.

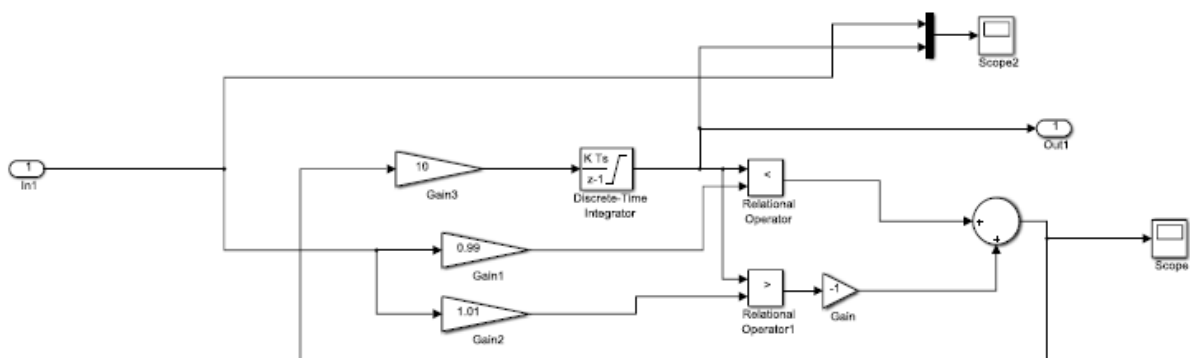


Рисунок 3.3 – Модель привода засувки системи керування

Замінивши безперервні елементи на цифрові у моделі отримуємо цифрову модель системи керування, яка наведена на рис. 3.4.

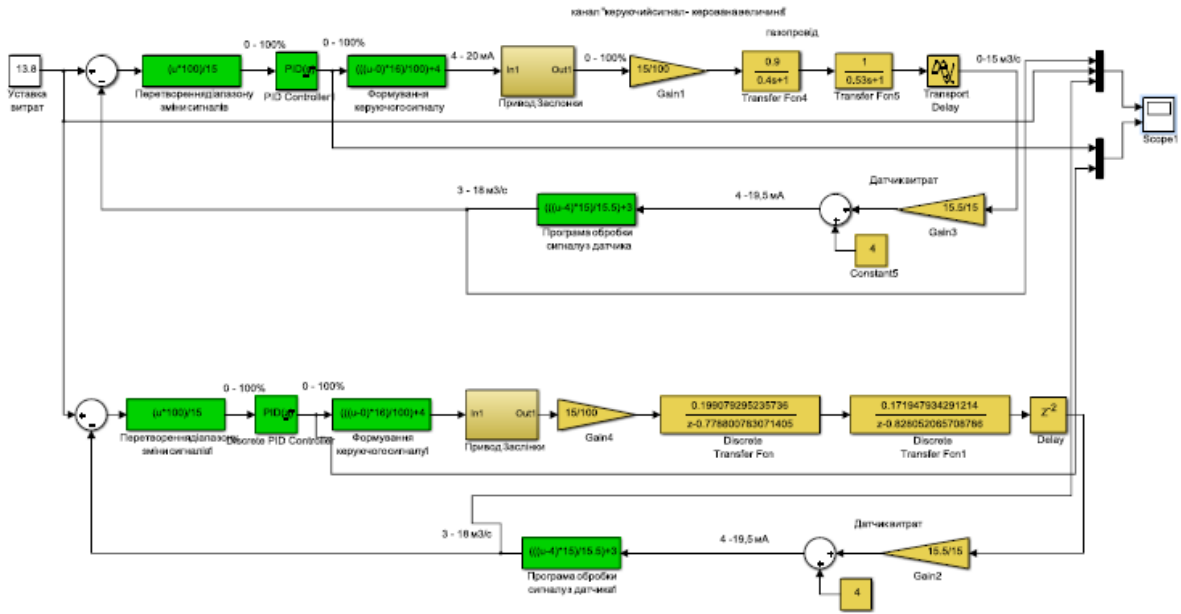


Рисунок 3.4 – Модель системи керування (цифрова)

Графік результати моделювання безперервної та цифрової систем керування наведений на рис. 3.5.

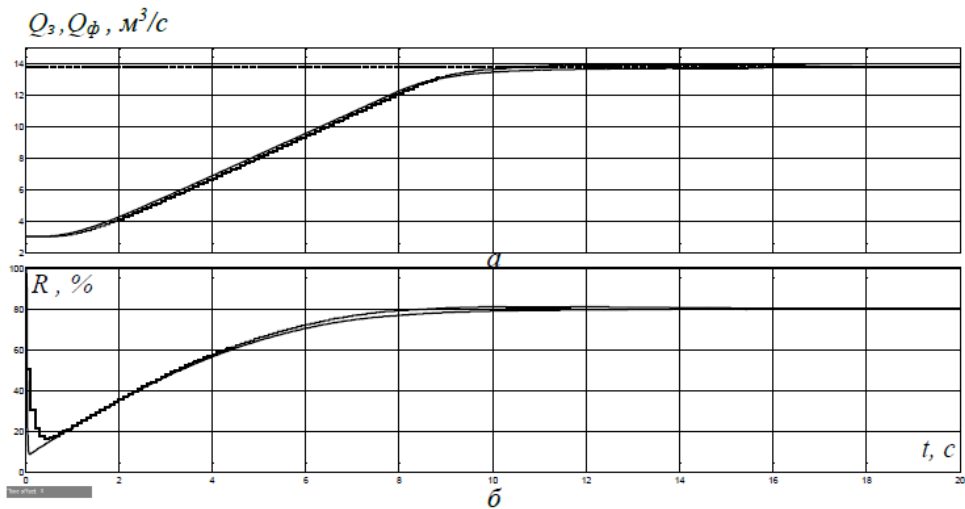


Рисунок 3.5 – Результати моделювання безперервної та цифрової систем керування: а – керована величина; б – керуючий сигнал

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

Виконаємо поділ системи керування шляхом створення блоків підсистем (рисунок 3.6).

Для спрощення процесу експорту моделей з математичного пакету MATLAB до середи розробки Zenon Logic, внесені зміни у найменування вхідних та вихідних портів підсистем відповідно до правил, встановлених для цієї середи.

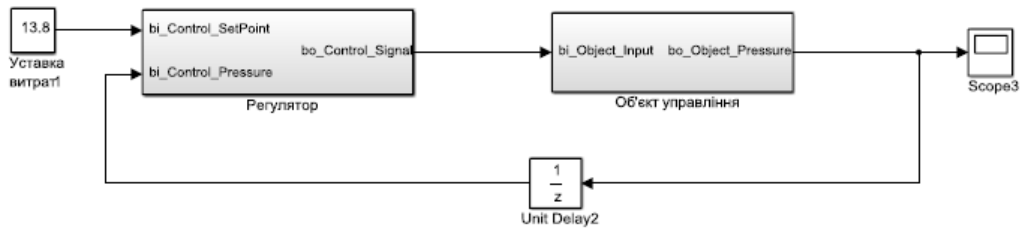


Рисунок 3.6 – Цифрова модель системи керування у вигляді блоків підсистем

Підсистема регулятора САР наведена на рисунку 3.7, а підсистема об'єкта САР наведена на рисунку 3.8.

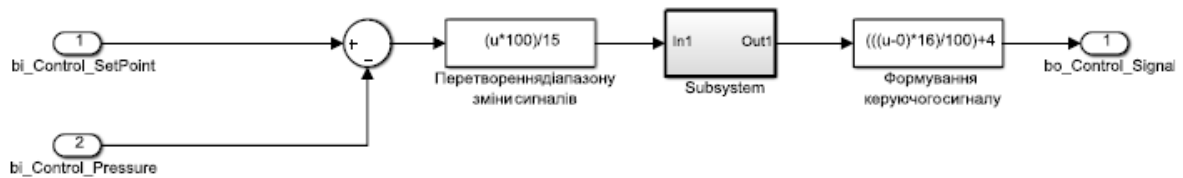


Рисунок 3.7 – Підсистема регулятора САР



Рисунок 3.8 – Підсистема об'єкта САР

Висновки. На основі неперервної моделі системи керування розроблено цифрову модель. Обґрунтована адекватність моделі. У цьому процесі були визначені модель об'єкта керування та модель регулятора. З використанням стандартних інструментів математичного пакету MATLAB були створені програмні модулі.

4 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕСПЕЧЕННЯ

Для реалізації програмного забезпечення регулятора була розроблена програма для програмованого логічного контролера Zenon Logic, що входить у склад SCADA-системи Zenon. Програмне забезпечення для об'єкта управління реалізовано як програмне забезпечення для перевірки функціональності системи управління за допомогою драйвера пристрою управління. Для створення програмного забезпечення об'єкта управління був розроблений відповідний драйвер пристрою управління з налаштуваннями, як показано на рисунку 4.1.

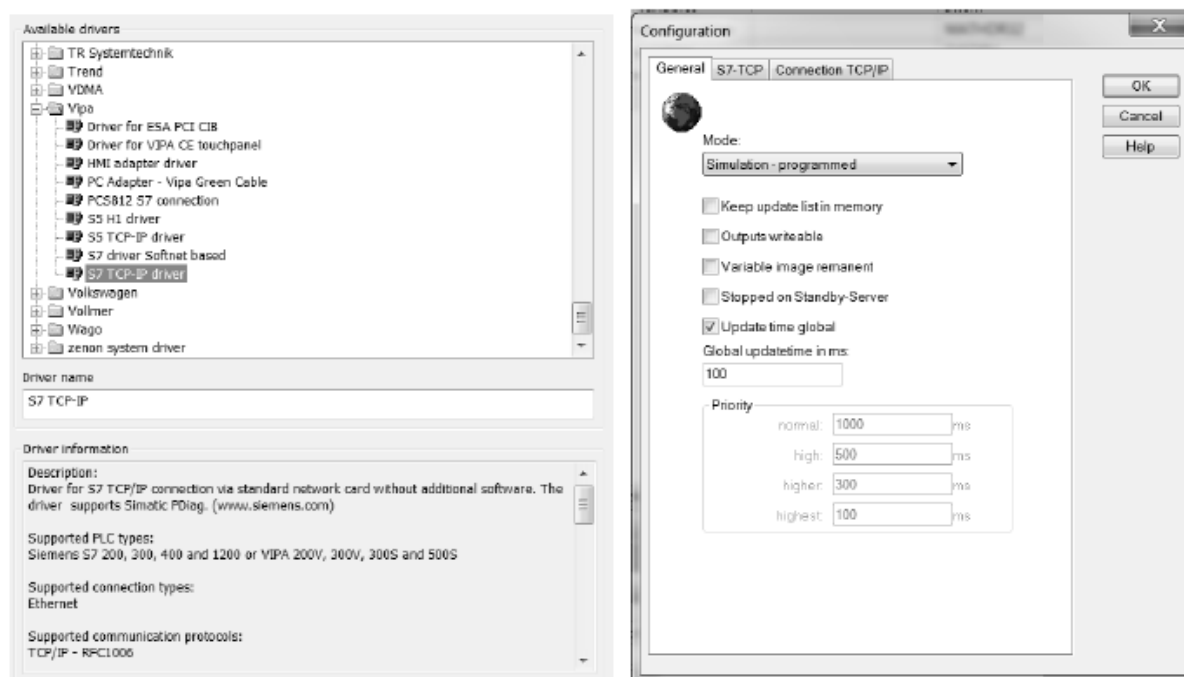


Рисунок 4.1 – Вибір драйверу пристрою керування та його налаштування

Для драйвера пристрою керування було створено такі змінні, що забезпечують доступ до входів та виходів об'єкта керування (рис. 4.2).

State	Name	Identification	Measur...	Net address	Data block	Offset	Bit run...	Algnm.	Symbol	Driver	#	Date type	Decimals	Start offset
	Controller/Global/Control_Valve			0	0	0	0	0		STRATONNG - zenon Logic...		REAL	1	0
	Controller/Global/Control_Pressure			0	0	0	0	0		STRATONNG - zenon Logic...		REAL	1	0
	Controller/Global/Control_SetPoint			0	0	0	0	0		STRATONNG - zenon Logic...		REAL	1	0
	Pressure			0	0	0	0	0		STTCP32 - VIPA		REAL	1	0
	Valve			0	0	0	0	0		STTCP32 - VIPA		REAL	1	0

Рисунок 4.2 – Змінні драйверу об'єкту керування

У середовищі розробки Zenon Logic Workbench було виконано реалізацію моделі об'єкта керування на основі раніше створеного програмного модуля для драйвера пристрою керування. Далі, використовуючи отриманий користувацький функціональний блок, було розроблено програмне забезпечення об'єкту керування

Для реалізації програмного забезпечення регулятора був створений відповідний проект регулятора (рисунок 4.3).

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

Рисунок 4.3 – Проект регулятора

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 (рис. 4.4)

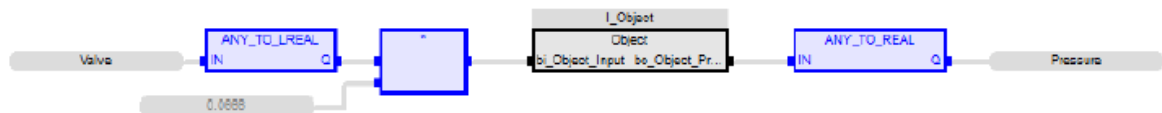


Рисунок 4.4 – Блок-схема основної програми

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;
(* Outport: '<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; 94
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' *) 95
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

```

Висновки. В даному розділі розроблене програмне забезпечення системи управління розбито на два індивідуальні програмні блоки регулятор і об'єкт управління.

5 SCADA-СИСТЕМА SAP – ПАНЕЛЬ ОПЕРАТОРА

Система SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) – це програмне та апаратне обладнання для нагляду та керування промисловими процесами та об'єктами в режимі реального часу. Вона використовується для моніторингу, збору даних, управління та керування виробничими системами та устаткуванням мартенівського цеху.

Управління здійснюється за допомогою SCADA-системи, яка дозволяє:

- спостерігати за протіканням перехідного процесу;
- моніторити зміни параметрів об'єкта;
- проводити дослідження стану протікання технологічного процесу, та в разі виникнення непередбачуваних подій вчасно вирішити проблему.

Розробку верхнього рівня SCADA - системи необхідно розпочати з визначення конфігурації, а саме вибрати панель для SCADA – системи. Операторська зі стаціонарним комп'ютером, за систему, що відображає, буде взята панель PC-station, ліцензію в даному випадку буде взято Professional. На рисунку 5.1 наведена конфігурація верхнього рівня.

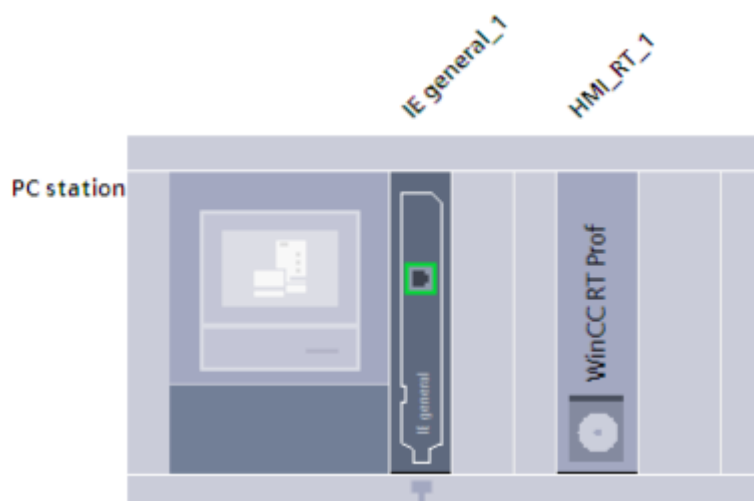


Рисунок 5.1 – Конфігурація верхнього рівня

При візуалізації технологічного процесу необхідно використовувати стандартну палітру, що у цій системі. Палітра зображено рисунку 5.2.

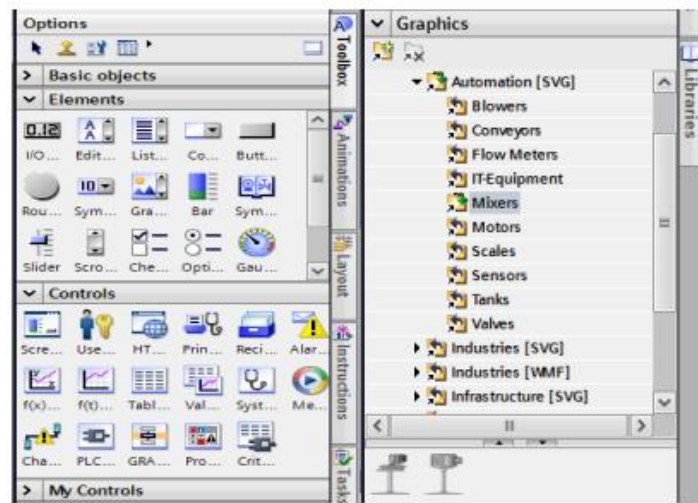


Рисунок 5.2 – Палітра для розробки верхнього рівня

Алгоритми управління в SCADA-системі базуються на зборі та аналізі даних з датчиків та користувацьких вхідних параметрів.

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 тривог.

Панель управління оператора з кнопками наведено на рисунку 5.3.

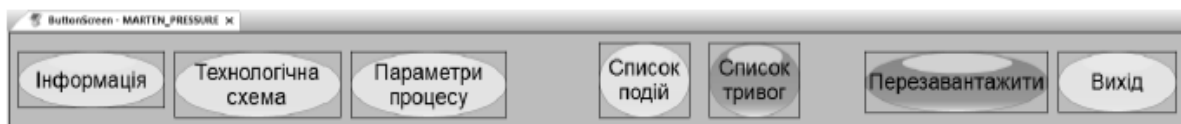


Рисунок 5.3 – Панель управління оператора з кнопками

Функції кнопок:

1. «Технологічна схема»: при натисканні цієї кнопки відбувається перехід на наступне зображення (рис. 5.4), 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.

2. «Параметри процесу», «Список тривог», «Список подій» було реалізовано аналогічно, вони дозволяють перейти на зображення – рис. 5.5, рис. 5.6, рис. 5.7 відповідно

3. «Вихід» та «Перезавантажити» реалізовано за допомогою функцій «exit runtime» та «reload project» відповідно.

Далі необхідно повністю представити технологічний процес у вікні, а також створити додаткові меню для більш широкої інформації.

На рисунку 5.4 зображено технологічну схему у створеному вікні у середовищі WinCC TIA Portal.



Рисунок 5.4 – Технологічна схема SAP

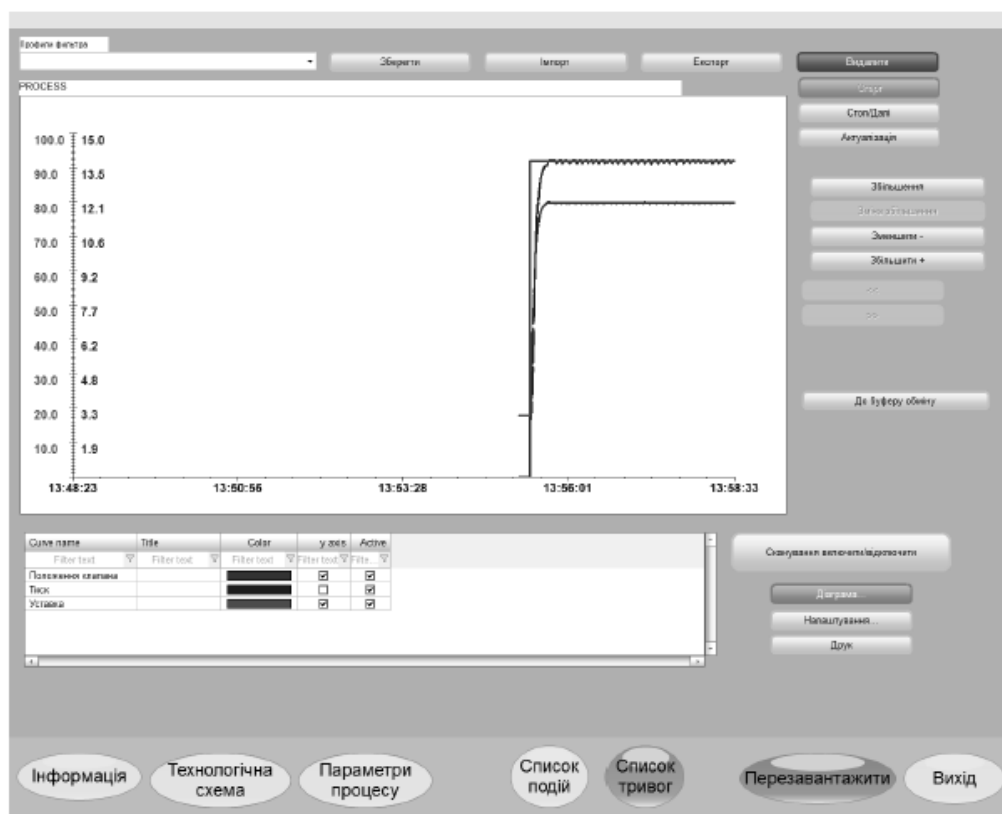


Рисунок 5.5 – Екран графіку параметрів технологічного процесу



Рисунок 5.6 – Екран списку подій



Рисунок 5.7 – Екран списку тривог

Розробимо програмний код SCADA-системи в програмному середовищі TIA Portal.

CASE #status OF

1: // Після натискання кнопки старт і введення всіх необхідних параметрів відкрити клапани 1 та 2 та регулятори 1 та 2.

IF (#Podtverzhdnye AND #Start = 1 AND #Auto = 1) THEN

#cmd_klp1_open := 1;

#cmd_klp2_open := 1;

#cmd_reg1_open := 1;

#cmd_reg2_open := 1;

#status := 2;

END_IF;

;

2: // Після відкриття регулятора поставити на регулювання витрату за допомогою регулятора 1

```
IF (#st_klp1_open AND #st_reg1_open AND #Start = 1 AND #Auto = 1) THEN
```

```
  #Regulirov1 := 1;
```

```
  IF #Regulirov1 = 1 THEN
```

```
    "PID_3Step_reg1"(Setpoint := #zadan_rash1,
```

```
    Input := #an_rash1,
```

```
    Output_UP => #cmd_reg1_open,
```

```
    Output_DN => #cmd_reg1_close);
```

```
  END_IF;
```

```
  #status := 3;
```

```
  END_IF;
```

```
  ;
```

3: // Після відкриття регулятора поставити на регулювання витрату за допомогою регулятора 2

```
IF (#st_klp2_open AND #st_reg2_open AND #Start = 1 AND #Auto = 1) THEN
```

```
  #Regulirov2 := 1;
```

```
  IF #Regulirov2 = 1 THEN
```

```
    "PID_3Step_rash2"(Setpoint := #zadan_rash2,
```

```
    Input := #an_rash2,
```

```
    Output_UP => #cmd_reg2_open,
```

```
    Output_DN => #cmd_reg2_close);
```

```
  END_IF;
```

```
  #status := 4;
```

```
  END_IF;
```

```
  ;
```

4: // Після досягнення потрібної витрати газу закрити клапан 1 та регулятор 1

```
IF (#zadan_rash1 = #an_rash1) THEN  
#cmd_klp1_close := 1;  
#Regulirov1 := 0;  
#status := 5;  
END_IF;
```

5: // Після досягнення потрібної витрати газу закрити клапан 2 та регулятор 2

```
IF (#zadan_rash2 = #an_rash2) THEN  
#cmd_klp2_close := 1;  
#Regulirov2 := 0;  
#status := 6;  
END_IF;
```

;

6: // Перевірка датчика витрати газу

```
IF #zadan_ph > #an_ph THEN  
#Ponizh_pH := 1;  
END_IF;
```

```
IF #zadan_ph < #an_ph THEN  
#Povish_pH:= 1;  
END_IF;
```

```
IF #zadan_ph = #an_ph THEN  
#Povish_pH := 0;  
#Ponizh_pH := 0;  
END_IF;  
#status := 7; ;
```

7: // Перевірка умов

```
IF (#zadan_urov = #an_urov AND #zadan_ph = #an_ph) THEN
```

```
#cmd_klp3_open := 1;
#cmd_klp4_open := 1;
#cmd_reg3_open := 1;
END_IF;
#status := 8; ;
8: // Після відкриття регулятора 3 відкриття засувки
IF #st_reg3_open = 1 THEN
#zadan_timer := #nasos_time;
#start_nasos := 1;
#status := 9;
END_IF;
;
9: // При натисненні кнопки «СТОП» все закрити
IF #Stop THEN
#cmd_klp1_close := 1;
#cmd_klp2_close := 1;
#cmd_klp3_close := 1;
#cmd_klp4_close := 1;
#cmd_reg1_close := 1;
#cmd_reg2_close := 1;
#cmd_reg3_close := 1;
#stop_nasos := 1;
END_IF;
#status := 1;
;
END_CASE;
```

Висновки. Для SCADA-системи створено інтерфейс між людиною та машиною, який включає в себе візуалізацію інформації про технологічний процес, відображення змін витрат газу, хронологічний перелік подій і список інформаційних тривог.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ

6.1 Аналіз мартенівського виробництва з точки зору охорони праці

Металургійне підприємство є значним джерелом небезпечних та шкідливих факторів через особливості своєї технології, використання специфічного обладнання та проведення робочих процесів. Робота в мартенівському цеху включає в себе виплавлення сталі різних марок, використання електроструму з високою напругою та інтенсивні трудові процеси. Це пов'язано з ризиками токсичності продуктів, впливом теплового випромінювання і наявністю шкідливого пилу, якого у цьому цеху досить значна кількість.

Чорна металургія є галуззю, де працівнику доводиться працювати в умовах, що включають особливо шкідливі та небезпечні фактори, такі як шум, вібрація, аерозолі пилу та хімічні речовини, а також великі фізичні і розумові навантаження. Небезпечні та шкідливі виробничі чинники впливають на працівників, спричиняючи травми або захворювання.

Виробництво на металургійному комплексі відзначається важкими та шкідливими умовами праці. Основні шкідливі фактори, що перевищують санітарні норми, включають пил та високий рівень загазованості повітря (оксиди азоту, сірки, марганцю, сірководень).

Використання природного газу для нагріву мартенівських печей на виробництві є потенційно небезпечним, оскільки може виникнути ризик отруєння або вибуху.

Вібрація, що виникає в результаті роботи технологічного обладнання, такого як машини для відкриття чавунної льотки, пневмо- і вібротрамбовки, відбійний молот та інше, передається через струс підлоги і майданчики ливарного двору, впливаючи на весь організм людини (загальна вібрація). При постійному впливі вібрації протягом робочого дня допустимі значення параметрів вібрації в мартенівському цеху складають

90 дБ при середньогометричній частоті активних смуг 85 Гц і 95 дБ при частоті 15 Гц (при припустимій швидкості коливань 2 мм/с).

У повітрі робочої зони ливарного двору мартенівської печі міститься ряд шкідливих речовин, наведений в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Вміст шкідливих речовин в робочій зоні мартенівської печі

Речовина	ГДК, мг/м ³	факт. ГДК, мг/м ³	Клас небезпеки
Ангідрид хром	0,01	0,016	I
Бензопірен	0,00015	0,00082	I
Оксиди марганцю	0,05	0,054	I
Сірководень	10	13	II
Фенол	0,3	1,3	II
Оксиди сірки	10	25	III
Оксиди азоту	5	27,9	III
Азот діоксид	2	7,8	III
Нафталін	20	60,2	IV
Окис вуглецю	20	54	IV
Кремній діоксид кристалічний з вмістом пилу від 2 до 10%	4	240,3	III

Можливе ураження електричним струмом від електроустановок змінного струму 50 Гц.

Методи та шляхи покращення умов праці:

1. Потрібно провести реконструкцію міксерного відділення, оснастити його аспіраційною установкою.

2. Потрібно замінити мартенівське виробництво сучасним сталеплавильним виробництвом.

Виробництво сталі в великотоннажних електродугових печах приведе до зниження виділення пилу і газів у повітрі робочої зони. Але при цьому збільшиться нервово-емоційне і шумове навантаження на працюючих, що в подальшому потребує здійснення кімнат психологічної розгрузки і змінення режиму роботи.

В сталеплавильному виробництві боротьба з шумом складається також і в забезпеченні потрібної густини повітряпроводів, газопроводів і запорної арматури.

Всі робочі приміщення і пульпи управління покриваються всередині звукозахисними матеріалами і виносяться у частини цеха з мінімальним рівнем шуму і вібрації.

Вище перераховані заходи зможуть знизити рівень шуму до нормативних ГОСТом 12. 1. 003 – 83 «Шум. Загальні вимоги безпеки».

Для зменшення рівня шуму, проникаючого у виробничі приміщення, вентиляційне устаткування встановлюється або у окремих приміщеннях із звукоізоляційними стінами, або покриваються кожухами, облікованими всередині звукопоглинутим матеріалом.

Для зниження рівня впливу шуму і вібрації до нормативних значень:

- установка гнучких установок тягодутєвих машин;
- вибір тягодутєвих машин з оптимальними окружними швидкостями;
- розміщення вентиляційних установок у ізоляційному приміщенні;
- управління димососами із приміщень КПП.

У проекті передбачені конструктивні заходи щодо зниження рівня шуму від повітряно – розвантажувального клапана і скидних клапанів завантажувального пристрою мартенівської печі.

Відведення повітря (дутья) від повітряно – розвантажувального клапана передбачено через спеціальний глушник.

У таблиці 6.2 представлені технічні заходи захисту в мартенівському цеху.

Таблиця 6.2 – Технічні заходи захисту від виявлених потенційних небезпечних і шкідливих факторів

Небезпечний або шкідливий чинник виробничої сфери	Захисний пристрій	Тип пристрою	Місце установки на плані печі
Тепловиділення при випуску чавуну і шлаку, головних жолобів і ванн	Накриття кришками: головні жолоби, транспортні жолоби, ванни чавуну і шлаку	Аспіраційна система	На карті печі
Дим	Нагнітальна вентиляція, аспірація	Витяжна аспіраційна система	Район чавунної і шлакової льотки; На карті печі
Пил	Система пилоподавлення	Пилоподавлення азотом аспіраційна система	На засипному апараті мартенівської печі; На карті печі
Шум	Шумопоглинаючі екрани	Металевий лист	Будівля печі і ливарного двору

6.2 Аналіз робочого місця оператора АСУТП

Перелік небезпечних і шкідливих виробничих чинників, характерних для даного виробництва:

- горючий газ (природний газ);
- захисний газ (HNx-газ), що подається в підмуфельний простір;
- висока температура вузлів і агрегатів мартенівської печі;
- частини, що обертаються і рухомі (стендовий вентилятор);
- небезпечна напруга в шафах, що управляють.

Обслуговуючий персонал мартенівських печей керується правилами і інструкціями по охороні праці і промислової безпеки.

Відповідальність за виконання вимог інструкцій по охороні праці несуть старший майстер термічного відділення змінні майстри, старші термісти і працівники, що виконують технологічний процес.

Небезпечні і шкідливі чинники за природою дії розділяються на такі групи: фізичні, хімічні, біологічні і психофізіологічні.

Для одного робочого місця слюсаря КІП і А даємо оцінку чинників виробничого процесу, які включають такі фізичні небезпечні і шкідливі чинники:

- рухомі мостові крани;
- недосконалість вантажозахватних пристосувань використовуваних для захвату і транспортування 5 – 6 рулонів одночасно з допомогою електромостового крану;
- підвищена запиленість: нормативне значення 2,00 мг/м³, а фактичне значення 25,00 мг/м³;
- підвищений рівень шуму: нормативне значення 80 дБ, а фактичне значення 90 дБ;
- підвищений рівень вібрації: нормативне значення 92 дБ, а фактичне значення 90 дБ;

– підвищений рівень інфрачервоного випромінювання: нормативне значення 140 Вт/ м^2 , а фактичне значення 460 Вт/ м^2 ;

– небезпечна для життя напруга, що діє, в електроустановках відділення.

– безпеки виникнення пожежі;

– падіння з висоти персоналу при роботах на драбинах і сходах;

– падіння предметів з висоти (інструменту, елементів устаткування).

Джерелами підвищеного рівня інфрачервоного випромінювання є: випромінювання від пальників печей, від муфелів печей в процесі охолодження металу.

Займання газоповітряної суміші – утворюються при проведенні технологічних процесів. Вибухонебезпечні суміші утворюються при неповному згоранні палива, а також в результаті просочування газу в не герметичних місцях.

Джерелами хімічно шкідливих чинників є травильне відділення, в якому проводять процес того, що труїть металу з використанням сірчаної кислоти.

Хімічно шкідливі чинники:

– підвищений вміст в повітрі ангідриду хромового нормативне значення $0,010 \text{ мг/ м}^3$, а фактичне значення $0,015 \text{ мг/ м}^3$;

– психофізіологічний чинник є джерелом всіляких роздратувань (стимул-реакцій), що переробляються головним мозком, спонукаючи людину до трудової діяльності.

Окрім зовнішніх подразників в організмі людини діють внутрішні подразники.

Психофізіологічні чинники:

– перевантаження за участю м'язів корпусу і ніг;

– знижена вологість повітря;

– вібрація.

Подразниками у цехах є:

- фізичні (теплота, світло);
- хімічні (вдихання шкідливих хімічних речовин, пил);
- біологічні (мікроби).

В результаті роздратування організму або його окремого органу змінюється обмін речовин. Оцінка чинників виробничого процесу на робочому місці слюсаря КВП і А показано в таблиці 6.3

Таблиця 6.3 – Чинники виробничого процесу на робочому місці слюсаря КВП і А

№ п/п	Чинники виробничої середовища і трудового процесу	Норматив значення	Фактичне значення	3 класи шкідливі і небезпечні умови і характер праці			Тривалість дії чинника за зміну %
				1ша ступ.	2га ступ.	3я ступ.	
1.	Шкідливі хімічні речовини, мг/м ³ 1й клас безпеки: Агидрид хромвий	0,010	0,015	1,5			93,1
	2й клас безпеки : Оксиди марганцю (MnO ₂)	0,300	0,200				93,1
	3й-4й класи безпеки: Ангидрид сернистий						
2.	Пил, переважно фиброгенної дії мг/м ³ Кремнія діоксид кристалічний (граніт, шамот, слюда, ссрец, вуглецевий	4,000	12,00		3		93.1
3.	Вібрація (спільна і локальна) дБ	92	90	2			100
4.	Шум, дБ	80	90		10,0		100

5.	Мікроклімат в приміщенні (теплий період): - температура повітря, °C - швидкість руху повітря, м/с - відносна вологість повітря, % -інфрачервоне випромінювання, Вт/м ²	16-27 0,2-0,5 70 140	43 0,33 31 2420				93,1 93,1 93,1 93,1
6.	Атмосферний тиск, атм	1,3	1,35	1,3			100
7.	Важкість і напруженість праці	Середньої важкості - ПБ					

Оптимальні і допустимі норми температури, відносної вологості і швидкості руху повітря в робочій зоні виробничих приміщень приведені у таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – Оптимальні і допустимі норми температури

Період року	Категорія робіт	Температура, °C				Відносна вологість, %		Швидкість руху, м/с		
		допустима				Оптимальна	Допустима на робочих місцях постійних і непостійних, не більш	Оптимальна	Допустима на робочих місцях постійних і непостійних	
		Верхня межа		Нижня межа						
		На робочих місцях								
Постійних	Не постійних	Постійних	Не постійних							
Холодний	Середньої важкості -ПБ	17-19	21	23	15	13	40-60	75	0,2	Не більше 0
Теплий	Середньої важкості -ПБ	20-22	27	29	16	15	40-60	70 (при 25 °C)	0,3	0,2-0,5

6.3 Мартенівська піч у аспекті забруднення навколишнього середовища

Процеси плавлення чавуну та його подальшої переробки в сталь супроводжуються викидом в атмосферу різних газів. У розрахунку на одну тону передільного чавуну викидається 4,5 кг пилу, 2,7 кг сірчистого газу та від 0,5 до 0,1 кг марганцю. Крім того, разом із газами в атмосферу викидаються в невеликих кількостях сполуки миш'яку, фосфору, сурми, свинцю, пари ртуті і рідкі метали, а також ціанистий водень і смолисті речовини.

Великий внесок у забруднення атмосфери здійснюють викиди з мартенівських сталеплавильних цехів. Під час проведення мартенівського процесу утворюється пил з металеві шапти, що включає в себе окислення сталевого брухту, шлаку, руди, вапняку (використовуваного для окислення домішок у шихті) та доломіту (застосовуваного для заправлення підлоги печі). Під час кипіння сталі також виділяються пари окисів шлаку і металу, а також різні гази. Розміри часток пилу не перевищують 3 мікрметрів. Головна частина порошку з мартенівських печей складається з триоксиду заліза (67%) і триоксиду алюмінію (8,7%).

У безкисневому процесі на кожен тону мартенівської сталі викидається 3000-4000 м³ газів з концентрацією пилу приблизно 0,5 г/м³. Під час подачі кисню в зону розплавленого металу утворення пилу значно збільшується, досягаючи 15-52 г/м³. Крім того, плавлення сталі включає вигорання певної кількості вуглецю і сірки, що призводить до наявності до 60 кг оксиду вуглецю і до 3 кг сірчистого газу в газах, що виходять з мартенівських печей, розрахованих на виробництво 1 тонни сталі.

Основною особливістю мартенівського процесу є отримання сталі з рідкого чавуну без використання палива. Процес одержання мартенівської сталі має циклічний характер і триває приблизно 25–30 хвилин під час дуття. Димові гази, що утворюються, містять частки оксидів кремнію,

марганцю і фосфору. У складі диму значна частка – до 80% – складається з оксиду вуглецю. Концентрація пилу в викидах газів становить приблизно 15 г/м³. Основна маса пилу, а саме 90%, складається з часток розміром від 0,2 до 1 мікрметра.

Висновки даного розділу містять рекомендації щодо забезпечення безпеки праці та охорони навколишнього середовища, які відповідають законодавству України.

7 ТЕХНІКО–ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ

Техніко-економічне обґрунтування автоматизованої системи управління має на меті кількісно та якісно обґрунтувати економічну доцільність створення чи розвитку САР з урахуванням витрат на коксувальний газ на ділянці газопроводу мартенівської печі, а також визначити організаційно-економічні умови її ефективного функціонування.

Зміст техніко-економічного обґрунтування САР включає в себе наступні етапи:

1. Розрахунок та аналіз витрат, пов'язаних із створенням чи розвитком САР, розглянутими за окремими статтями.

2. Порівняння цих витрат із результатами, отриманими внаслідок впровадження САР.

3. На основі техніко-економічних показників, які відображають результати роботи САР, та їх порівняння з аналогічними показниками базового варіанту, взятого для порівняння, здійснення кількісної та якісної оцінки економічної доцільності створення чи розвитку автоматизованої системи.

Основними факторами, які впливають на економічну ефективність САР, є:

– збільшення обсягу виробництва та підвищення якості продукції за рахунок більш раціонального використання виробничих потужностей, сировини, матеріалів, палива та трудових ресурсів;

– підвищення продуктивності праці виробничих робітників шляхом скорочення втрат робочого часу та простоїв обладнання [35].

Економічні показники визначаються на основі діючих оптових цін і тарифних ставок на момент проведення розрахунків.

7.1 Розрахунок капітальних вкладень

У запропонованому проєкті проводиться закупівля контролера і його модулів, первинних перетворювачів, вторинних приладів, датчиків та іншого обладнання.

Вартісні показники закупаюваного устаткування занесені в табл.7.1.

Таблиця 7.1 – Необхідне обладнання на реалізацію проєкту

Найменування	Ціна за од., грн	Кількість	Сума, грн
Пристрій управління ОВЕН ПКП1	385000	1	385000
Інтерфейсний модуль VIPA 200 V	567000	1	623700
Програмований логічний контролер VIPA System 200 V	12000	1	1320
Модуль аналогового вводу VIPA 231	8400	1	92400
Регулююча газова заслінка Elettromeccanica Delta VF95	5200	2	11440
Модуль дискретного виводу VIPA 222	2100	1	2310
Блок живлення Carlo Gavazzi SPD243	4600	2	10120
Датчик витрат газу ELSTER BK G10MT	3000	13	42900
NodeMCU	6000	5	3300
NodeMCU ESP8266	1600	1	1760
Монтажні елементи	1200	1	1320
Шафа технологічна	760	1	836
Оптичний кабель	1800		1980
Сума			1124926

Одноразові витрати на створення САР визначаються за формулою:

$$K^A = K_{\Pi}^A + K_K^A \quad (7.1)$$

де K_{Π}^A – довиробничі витрати, грн..;

K_K^A – капітальні витрати, грн..

$$K^A = 5280 + 1124926 = 1130206 \text{ грн.}$$

Довиробничі витрати на розробку САР розраховуються за формулою:

$$K_{\Pi}^A = K_{\Pi P}^A + K_{\Pi O}^A + K_{\Pi O}^A \quad (7.2)$$

де $K_{\Pi P}^A$ – витрати на проектування САР, грн.;

$K_{\Pi O}^A$ – витрати на розробку програмного забезпечення, грн.;

$K_{\Pi O}^A$ – витрати на підготовку інформаційного забезпечення тривалого користування (створення бази даних САР), грн..

$$K_{\Pi}^A = 0 + 1980 + 3300 = 5280 \text{ грн.}$$

Величина капітальних витрат визначається за формулою:

$$K_K^A = K_{KTZ}^A + K_{\text{МОНТ}}^A \quad (7.3)$$

де K_{KTZ}^A – кошторисна вартість комплексу технічних засобів (КТЗ), грн.;

$K_{\text{МОНТ}}^A$ – витрати на установку, монтаж і запуск КТЗ в роботу, грн..
(10% від вартості КТЗ).

$$K_K^A = 1124926 + (1124926 \cdot 0,1) = 1237418,6 \text{ грн.}$$

7.2 Амортизаційні відрахування

Річна сума амортизаційних відрахувань розраховується за формулою:

$$Z_A = \frac{K_K^A \cdot 0,1}{100}, \quad (7.4)$$

де Z_A – норма амортизації, % (10%).

$$Z_A = \frac{1237418,6 \cdot 0,1}{100} = 1237,42 \text{ грн.}$$

$$Z_{\text{мат}} = 1237418,6 \cdot 0,2 = 247483,72 \text{ грн.};$$

$$Z_{\text{рем}} = 1237418,6 \cdot 0,7 = 866193,02 \text{ грн.}$$

7.3 Експлуатаційні витрати

Розрахунок річних експлуатаційних витрат на функціонування САР здійснюється за формулою:

$$Z_{\text{експ}} = Z_{\text{зп}} + Z_{\text{ел}} + Z_A + Z_{\text{мат}} + Z_{\text{рем}}, \quad (7.5)$$

де $Z_{\text{зп}}$ – річні витрати на заробітну плату спеціалістів в умовах функціонування САР з відрахуваннями на соціальне страхування, грн.;

$Z_{\text{ел}}$ – річна вартість електроенергії, споживаною САР, грн.;

Z_A – річна сума амортизаційних відрахувань, грн.;

$Z_{\text{мат}}$ – річна вартість матеріалів, необхідних для функціонування САР (2% від вартості КТЗ), грн.;

$Z_{\text{рем}}$ – річна вартість ремонту обладнання (7% від вартості КТЗ), грн.

Заробітна плата фахівців в умовах функціонування САР залежить від їх чисельності, часу роботи і тарифної ставки. Відрахування на соціальні потреби складають 22% (22% - ЄСВ).

Служба експлуатації контрольно-вимірювальних приладів і автоматики виконує наступні функції:

- метрологічний нагляд;
- технічне обслуговування;
- ремонт і настройку контрольно-вимірювальних приладів і приладів автоматичного управління.

Крім того, вона впроваджує нові засоби і системи автоматички (табл.7.2).

Таблиця 7.2 – Штатний розклад служби КВП і А

Робочі	Кількість працюючих	Розряд робіт
Інженер-конструктор з ремонту і обслуговування обладнання	1	4
Інженер з ремонту і обслуговуванню обладнання	2	5
Інженер з ремонту і обслуговуванню обладнання (старший)	2	6
Слюсар КВП і А	1	7

Число фахівців які повинні забезпечити безперервну роботу САР промислової таблиці протягом зміни – 3 людини, 2 – кількість бригад.

Штатна чисельність робочих:

$$2 \cdot 3 = 6 \text{ чол.}$$

Списочна чисельність робочих знаходиться за формулою:

$$Ч_{сп} = Ч_{шт} \cdot К_{сп}, \quad (7.6)$$

де $Ч_{шт}$ – штатна чисельність робочих,чол.;

$К_{сп} = 1,16$ – коефіцієнт списочності:

$T_{ном} = 273,75$ – номінальний фонд часу роботи одного робочого за рік, дні;

$T_{эф} = 235,75$ – ефективний фонд часу роботи одного робочого за рік, дні.

$$К_{сп} = 273,75/235,75 = 1,16.$$

$$Ч_{сп} = 6 \cdot 1,16 = 7 \text{ чол.}$$

Заробітна плата по тарифу:

$$Z_{\text{зп}} = C_{\text{ч}} \cdot T_{\text{еф}} \cdot Ч_{\text{сп}}, \quad (7.7)$$

де $Z_{\text{зп}}$ – заробітна плата за тарифом, грн.;

$T_{\text{еф}}$ – число відпрацьованих чоловіко-годин;

12 фахівців працюють по 12 годин, 16 змін за місяць відпрацьовує 1 робітник.

$$12 \cdot 16 = 192 \frac{\text{ГОД}}{\text{МІС}}$$

$$T_{\text{еф}} = 192 \cdot 365 = 70080 \frac{\text{ЧОЛ}}{\text{ГОД}} \text{ в рік}$$

Таблиця 7.3 – Тарифні ставки і заробітна плата

Розряд	Кількість, чол.	Тарифна ставка	Зарплата по тарифу, грн
4	1	8	3924480
5	2	8,7	3048480
6	2	9,3	2606976
7	1	10	2102400
Всього	6	—	11682336

Відрахування на соціальні потреби складають 22%, отже:

$$Z_{\text{зп}} = 11682336 + 22\% = 14252449,9 \text{ грн.}$$

Річна вартість електроенергії визначається за формулою:

$$Z_{\text{ел}} = W \cdot T_{\text{еф}} \cdot Ц_{\text{е}}, \quad (7.8)$$

де W – встановлена потужність КТЗ, кВт;

$T_{\text{еф}}$ – ефективний фонд часу роботи КТЗ, год.;

$Ц_{\text{е}}$ – вартість 1 кВт/рік електроенергії, грн..

Час роботи КТЗ наведено в табл. 7.4.

Таблиця 7.4 – Час роботи КТЗ

Показники	Час роботи КТЗ	
	Години	Доба
Календарний час	8760	365
Планово-попереджувальні роботи	480	20
Капітальні ремонти	0	0
Номінальний час	8 280	345
Поточні роботи	780	32,5
Фактичний час	7 500	312,5
Середня продуктивність за годину, т/г	3,4	
Продуктивність за рік, т/рік	10	

Фактичний час роботи цеху за рік і продуктивність його в одиницю часу:

$$T_{\text{еф}} = T_{\text{кал}} - (T_{\text{пп}} + T_{\text{кр}} + T_{\text{ппр}}), \quad (7.9)$$

де $T_{\text{еф}}$ – річний фонд робочого часу (КТЗ), год.

$$T_{\text{еф}} = 8760 - (480 + 0 + 780) = 7500 \text{ год.}$$

$$W - 172,8 \text{ Вт;}$$

$$Ц_{\text{е}} - 1,68 \text{ грн.}$$

$$З_{\text{ел}} = 0,1728 \cdot 7500 \cdot 1,68 = 2177,28 \text{ грн.}$$

$$З_{\text{експ}} = 142524 + 2177,28 + 652,48 + 130496 + 45673 = 732585,76 \text{ грн.}$$

7.4 Визначення річного економічного ефекту

Основними показниками економічної ефективності САР є:

– річна економія у зв'язку з функціонуванням САР;

- річний економічний ефект;
- ефективність витрат на створення і впровадження САР.

Річна економія (E) від функціонування САР використовується для розрахунку річного економічного ефекту.

Річний економічний ефект ($E_{\text{рік}}$):

$$E_{\text{рік}} = V^B - Z_{\text{експ}}, \quad (7.10)$$

де $Z_{\text{експ}}$ – річні витрати на експлуатацію САР.

V^B – виручка від реалізації продукції до впровадження САР, грн..

$$V^B = 5180000 \text{ грн./рік}$$

$$E = V^B + 1,5\% = 5180000 + 77700 = 5257700 \text{ грн.}$$

Річний економічний ефект:

$$E_{\text{рік}} = 5257700 - 732585,76 = 4525114,24 \text{ грн}$$

7.5 Визначення терміну окупності

Термін окупності капітальних витрат (T) визначаються за формулою:

$$T = \frac{K_K^A}{E_{\text{рік}}} \quad (7.11)$$

$$T = \frac{1237418,6}{4525114,24} = 1,2 \text{ року}$$

Рентабельність капітальних витрат E_p на створення САР:

$$E_p = \frac{E_{\text{рік}}}{K_K^A}, \quad (7.12)$$

$$E_p = \frac{4525114,24}{1237418,6} = 3,7$$

Результати розрахунку економічної ефективності наведені в табл. 7.5.

Таблиця 7.5 – Результати розрахунку економічної ефективності

Найменування показника	Од. виміру	Рівень показника
Вартість КТЗ	грн.	1124926
Одноразові витрати на створення САР	грн.	1130206
До виробничі витрати на розробку САР	грн.	5280
Капітальні витрати	грн.	1237418,6
Час роботи КТЗ	годин	7500
Продуктивність за рік	т/рік	10
Річні витрати на заробітну плату спеціалістів	грн.	14252449,9
Річна сума амортизаційних відрахувань	грн.	1124,93
Річні експлуатаційні витрати САР	грн.	732585,76
Річна економія	грн.	5257700
Річний економічний ефект	грн.	4525114,24
Термін окупності витрат	рік	1,2
Рентабельність капітальних вкладень		3,7

Висновки. Отже, рентабельність капітальних вкладень дорівнює 3,7 – це вказує на те, що проект приносить прибуток, що перевищує витрати. Термін окупності капітальних витрат протягом 1,2 року доводить економічну доцільність створення САР витратами коксувального газу на ділянці газопроводу мартенівської печі.

ВИСНОВКИ

В режимі стабілізації витрат коксувального газу в газопроводі печі, при тривалому функціонуванні і відсутності значущих збурень, статична похибка на виході системи керування має дорівнювати нулю. У випадку наявності періодичних збурень, допускається відносне відхилення фактичних витрат від уставки до 10% протягом максимум 10 секунд.

У режимі відпрацювання уставки, яка змінюється плавно в часі, перехід від рівня витрат $8 \text{ м}^3/\text{с}$ до рівня $5,6 \text{ м}^3/\text{с}$ повинен займати не більше 20 секунд без перерегулювання і статичної похибки на виході системи автоматичного керування.

У режимі відпрацювання уставки, яка змінюється лінійно в часі, відносна швидкісна похибка не повинна перевищувати 5%. У перехідному процесі на виході системи автоматичного керування не повинні виникати коливання керованої величини.

Розроблена гнучка адаптивна системи на основі ПЛК дозволяє усунути ручне втручання при експлуатації, а також швидко проводити будь-яку модифікацію і легше впроваджувати будь-які зміни в майбутньому.

Проєкт готовий до впровадження на виробництві, після тестування системи та внесення необхідних змін у часові параметри програми.

Рентабельність капітальних вкладень дорівнює 3,7 – це вказує на те, що проєкт приносить прибуток, що перевищує витрати. Термін окупності капітальних витрат протягом 1,2 року доводить економічну доцільність створення САР витратами коксувального газу на ділянці газопроводу мартенівської печі.

Вдосконалена система управління двоохваним сталеплавильним агрегатом підвищення ефективності використання енергоносіїв в умовах металургійного виробництва, готова до застосування на виробництві за умов тестування системи та зміни часових параметрів програми.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Конституція України : офіц. текст. Київ : КМ, 2013. 96 с.
2. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 15.03.2006 р. № 145-р, розпорядження Кабінету Міністрів України «Про програми підвищення енергоефективності та зменшення споживання енергоресурсів» Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/145-2006-%D1%80#Text>. (дата звернення: 15.11.2023).
3. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 р. № 2694-ХІІ *Голос України*. 2022. 19 серпня. С. 10–22.
4. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці : підручник вид. 5-те, доп. К. : Знання, 2014. 373 с.
5. ДСанПіН 3.3.2.007-98. Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин. [Чинний від 1998-12-10]. Вид. офіц. Київ, 1998. 18 с. (Інформація та документація).
6. 90/270/ЄЕС. Про мінімальні вимоги безпеки та здоров'я при роботі з екранними пристроями. [Чинний від 1990-05-29]. Брюссель. : Рада Європейських співтовариств, 1990. 14 с. (Інформація та документація).
7. ПУЕ-2021. Правила улаштування електроустановок. [На заміну ПУЕ-86; чинний з 2021-01-01]. К. : Міненерговугілля України, 2021. 617 с. (Інформація та документація).
8. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. [На заміну ДБН В.2.5-27-2006 ; чинний від 2017-04-01]. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с. (Інформація та документація).
9. НПАОП 40.1-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. [На заміну глав 5.4 5.5 7.1 7.2 7.3 7.4 7.6 Правил устроювання електроустановок, затв. Міненерго СРСР

06.07.1984 р. ; чинний від 2002-01-01]. К. : Мінпраці України, 2001. (Інформація та документація).

10. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. [На заміну НАПБ А.01.001-04 ; чинний від 2014-12-30]. К. : МВС України, 2014. 91 с. (Інформація та документація).

11. НПАОП 40.1-1.01-97. Правила безпечної експлуатації електроустановок. [На заміну НАОП 1.1.10-1.01-85 ; чинний з 1997-10-06]. К. : Держнаглядохоронпраці, 1997. 97 с. (Інформація та документація).

12. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. [На заміну ДНАОП 0.00.1.21-84 ; чинний з 1998-01-09]. К. : Мінпраці України, 1998. 89 с. (Інформація та документація).

13. НПАОП 0.00-7.15-18. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроям. [На заміну НПАОП 0.00-1.28-10 ; чинний від 2018-05-18]. К. : Мінсоцполітики України, 2018. 6 с. (Інформація та документація).

14. ДБН В.2.5-28-2018. Природне і штучне освітлення. [На заміну ДБН В.2.5-28-2006 ; чинний з 2019-03-01]. К. : Мінрегіон України, 2018. 133 с. (Інформація та документація).

15. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. [Чинний від 1999-12-01]. К. : МОЗ України, 1999. 106 с. (Інформація та документація).

16. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [На заміну СНиП 2.04.05-91 ; крім розділу 5 та додатка 22. ; чинний від 2014-01-01]. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с. (Інформація та документація).

17. ДСТУ EN 2:2014. Класифікація пожеж (EN 2:1992; EN 2:1992/A1:2004, IDT). [На заміну ГОСТ 27331-87; чинний з 01.01.2016]. К. : Мінекономрозвитку України, 2014. 7 с. (Інформація та документація).

18. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. [На заміну НАПБ Б.03.002-2007 ; чинний від 2017-01-01]. К. : Мінрегіонбуд України, 2016. 66 с. (Інформація та документація).

19. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. [На заміну ДБН В.1.1.7-2002 ; чинний від 2017-06-01]. К. : Мінрегіон України, 2017. 47 с. (Інформація та документація).

20. ДБН В.2.5-56:2014. Системи протипожежного захисту. [На заміну ДБН В.2.5-56:2010 ; СНиП 2.04.05-91 (розділи 5 та 22) ; чинний від 2015-07-01]. К. : Мінрегіон України, 2014. 191 с. (Інформація та документація).

21. Правила експлуатації та типових норм належності вогнегасників. [На заміну НАПБ Б.03.001-2004 ; чинний від 2018-02-23]. К. : МВС України, 2018. 23 с. (Інформація та документація).

22. Авраменко В. С., Авраменко А. С. Проектування інформаційних систем: навч. посіб. Черкаси : Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького, 2017. 434 с.

23. Автоматизовані системи управління технологічними процесами: довідник / за заг. ред. Б. Б. Тимофеева ; уклад. Н. Г. Скрипаненко. Київ : Техника, 2003. 351 с.

24. Ананьєв В. П. Синтез і налагодження квазіоптимальних систем підпорядкованого регулювання в металургії: навч. посіб. Київ : Просвіта, 2007. 344 с.

25. Анзимиров Л. В. SCADA TRACE MODE – нові технології для сучасних АСУТП : навч. посіб. Київ : *Автоматизація в промисловості*, 2007. 113 с.

26. Арбузов В. В., Лакиза А. М., Войцицкий В. В., Недельчев П. А., Литвиненко И. А. Створення інтегрованої розподіленої АСУТП енергопостачальної компанії із застосуванням системи TRACE MODE : стаття. Київ : *Промислові АСУ і контролери*, № 7, 2005. 45 с.

27. Верховлюк А. М., Нарівський А. В., Могилатенко В. Г. Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва: навч. посіб. / за заг. академіка НАН України В. Л. Найдека. Київ : Видавничий дім «Вініченко», 2016. 224 с.

28. Українська промисловість та енергетика – тренди 2022-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). <https://nachasi.com/2018/12/03/industry-ukraine/> (дата звернення: 13.11.2023).

29. Вітров И. В. CoDeSys – щоденний інструмент програміста ПЛК// *Автоматизація в промисловості*, № 8, 2012. 45 с.

30. Вимоги до ергономіки та технічної естетики. URL: <http://wikipage.com.ua/1x400f.html> (дата звернення: 13.11.2023).

31. Вимоги до системи. URL: <https://mydocx.ru/2-120435.html> (дата звернення: 13.11.2022).

32. Бойко О. О. Методичні вказівки до лабораторних робіт з проектування систем автоматизації для студентів напрямку підготовки «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» : навч. повіб. Дніпро : Державний ВНЗ «НГУ», 2017. 109 с.

33. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці» у кваліфікаційних роботах бакалаврів / за ред. В. І. Голінько, С. І. Чеберячко, Ю. І. Чеберячко, О. О. Яворська, М. М. Наумов. Дніпро : Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», 2022. 56 с.

34. Ельперін І. В. Промислові контролери: навч. посіб. Київ : НУХТ, 2013. 320 с.

35. Кустов К. І., Шершевер М. А. Автоматичне регулювання і регулятори. Київ : Металургія, 2007. 180 с.

36. Бойченко Б. М., Охотський В. Б. Харлашин П. С. Мартенівське виробництво сталі: теорія, технологія, якість сталі, конструкції агрегатів,

рециркуляція матеріалів і екологія: підручник. Дніпропетровськ: РВА «Дніпро-Вал», 2004. 454 с

37. Манько О. О. Методичні вказівки та завдання до виконання контрольної роботи з дисципліни «Основи проектування систем автоматизації» за напрямом підготовки 6.050202 «Автоматизація та комп'ютерно – інтегровані технології» для студентів заочної форми навчання. Рівне, 2012. 40 с.

38. Манько О. О., Кутя В. М. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Основи проектування систем автоматизації» для студентів, які навчаються за напрямом підготовки 6.050202 «Автоматизація та комп'ютерно – інтегровані технології». Рівне, 2010. 31 с.

39. Метрологія, технологічні вимірювання та прилади: Метод.вказівки до вик. курс. проекту для студ. спец. 7.092501 «Автоматизоване управління технологічними процесами» та 7.092502 «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси та виробництва» ден. та заоч. форм навчання : уклад.: К. С. Архангельська, О. Й. Рішан. Київ : НУХТ, 2005. 223 с.

40. Методичні вказівки до практичних занять з кредитного модуля «Електричні системи керування» навчальної дисципліни «Технічні засоби автоматизації – 2» для студентів напрямку підготовки «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» по спеціалізації «Автоматизація хімікотехнологічних процесів і виробництв» : укладач В. М. Ковалевський, Київ : НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2017. 60 с.

41. Мікропроцесорні та програмні засоби автоматизації: методичні вказівки до курсового проекту для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» : уклад. А. М. Ніколаєнко. Запоріжжя: ЗДІА, 2016. 34 с.

42. Мочалін В. Н., Кочнев Н. В. Моделювання та дослідження систем авто-тичних управління з використанням ПЕОМ: навч. посіб. Київ : КГП, 2005. 178 с.

43. Основи охорони праці: підручник. 2-ге видання, доповнене та перероблене. укладен. К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Зацарний, Д. В. Зеркалов, Р. В. Сабарно, О. І. Полукаров, В. С. Коз'яков, Л. О. Мітюк. за ред. К. Н. Ткачука і М. О. Халімовського. Київ : Основа, 2006. 448 с.

44. Основи проектування систем автоматизації з елементами САПР: метод. вказівки до практичних занять для студ. напряму 0925 «Автоматизація і комп'ютерно-інтегровані технології» ден. та заоч. форм навч. уклад.: В. Г. Трегуб. Київ : НУХТ, 2008. 67 с.

45. Проектування систем керування: конспект лекцій для студентів спеціальності «Автоматизоване управління технологічними процесами» : уклад. М. З. Кваско, Я. Ю. Жураковський, А. І. Жученко, В. В. Миленький. Київ : НТУУ «КП», 2015. 279 с.

46. Промислові мікропроцесорні мережі. URL: <http://um.co.ua/8/8-11/8-110801.html> (дата звернення: 15.11.2023).

47. Рішан О. Й. Метрологія, технологічні вимірювання та прилади: Курс лекцій для студентів спеціальностей: 7.092501 «Автоматизоване управління технологічними процесами» та 7.092502 «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва» ден. та заочн. форм. навчан. Київ : НУХТ, 2007. 162 с.

48. Сідлецький В. М., Трегуб В. Г. Проектування систем автоматизації : методичні рекомендації до виконання курсового проекту для студентів напряму 6.050202 «Автоматизація та комп'ютерно – інтегровані технології» денної та заочної форм навчання : Київ, 2013. 46 с.

49. Трегуб В. Г. Проектування, монтаж та експлуатація систем автоматизації: навч. посіб. Київ : НМК ВО, 2015. 80 с.

50. Kumar A.V., Aruna S. Automation of gas analyzer at converter shop in steel melt shop. IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering (9), 2012. P. 25-36.

51. Mariiash Y., Stepanets O. Optimal control of the blowing mode parameters during basic oxygen furnace steelmaking process. Modelling Control and Information Technologies. 2021. No. 5. P. 94–96. <https://doi.org/10.31713/MCIT.2021.30>. (дата звернення: 15.11.2023).