

Запорізький національний університет

(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут механіки і

кафедра автоматизованого управління технологічними процесами

вищої освіти

(другий (магистерський) рівень)

Спеціальність 151 Автоматизована та комп'ютерно-інтегрована технологія

(шифр і назва)

Кваліфікація

(шифр і назва)

Спеціально-професійна програма

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

проф. Д.Т.И

М.Ю. Пала

“ ” 20 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Жульєв Іван Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема кваліфікаційної роботи магістра Розробка та налагодження тренажерів керування тепловою та паровою з автоматизації АСУ виробничо-промислового апарату з виробництва алюмінієвої катанки.

Виконав кваліфікаційної роботи магістра

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

Затверджені наказом закладу вищої освіти від “ ” 20 року №

Термін подання здобувачем кваліфікаційної роботи магістра 26 грудня 2019р.

Вихідні дані кваліфікаційної роботи магістра

Аналіз технологічного процесу виробництва алюмінієвої катанки на виробничому підприємстві. Аналіз технології створення тренажерів. Аналіз існуючих програмних пакетів, їхніх функціональних можливостей для створення тренажерів та програмної катанки.

Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розв'язати): Розробка виробничого алгоритму катанки металу на перетинку та прокатки, розробка функціональної схеми автоматизації, тренажерів як засобів навчання та підготовки кваліфікації; розробка інтегрованої системи створення тренажерів до користувачів і менеджерів.

Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи магістра:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис консультанта
Розділ 1	Кішпаєнко А. М. проф кафедри АЧТІП	
Розділ 2	Кішпаєнко А. М. проф кафедри АЧТІП	
Розділ 3	Кішпаєнко А. М. проф кафедри АЧТІП	
Розділ 4	Кішпаєнко А. М. проф кафедри АЧТІП	
Розділ 5	Кішпаєнко А. М. проф кафедри АЧТІП	

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи магістра
1.	Збір даних про лінійну депрерформованість та прокатку алюмінію на базі ООО "Крок ТГ"	02.01.19 - 06.06.19
2.	Оформлення зібраного матеріалу, статей та інших.	02.01.19 - 20.07.19
3.	Розробка програмної частини Тримаєра в програмному пакеті ILMU Pro.	08.08.19 - 10.10.19
4.	Створення візуальної частини Тримаєра в програмному пакеті T, a PowerPoint.	11.01.19 - 11.11.19
5.	Перевірка роботи Тримаєра, та укладання пачок ків.	12.01.19 - 12.20.19
6.	Підготовка м. д. у вигляді в, створення Т. с. 1080 частини проекту.	12.25.19 - 12.31.19

Здобувач вищої освіти

[Signature]
(підпис)

[Signature]
(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи магістра

(підпис)

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 ВИРОБНИЦТВО АЛЮМІНІЄВОЇ КАТАНКИ МЕТОДОМ НЕПЕРЕРВНО ЛИТТЯ ТА ПРОКАТКИ.....	6
2 РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ БЕЗПРОВІДНИХ ЗАСОБІВ.....	8
2.1 Визначення кількості та типу вхідних і вихідних сигналів.....	8
2.2 Проектне компонування контролера Modicon M340.....	16
2.3 Позиції на ФСА.....	20
3 ТРЕНАЖЕР –ЯК ЗАСІБ НАВЧАННЯ ТА ПІДВИЩЕННЯ КВАЛІФІКАЦІЇ.....	29
3.1 Класифікація тренажерів.....	29
3.2 Вимоги до тренажерів.....	29
3.3 Математичні моделі, що використовуються в тренажерах.....	30
3.4 Структура тренажерів, що створюються за допомогою конструктора.....	30
3.5 Вимоги до навчання.....	30
3.6 Оцінка дій учня.....	30
4 РОЗРОБКА ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ АСУТП З ВИРОБНИЦТВА АЛЮМІНІЄВОЇ КАТАНКИ.....	33
4.1 Необхідність створення імітаційної моделі АСУТП з виробництва алюмінієвої катанки.....	33
4.2 Вибір систем програмування та створення комп'ютерного засобу для імітаційного моделювання.....	33
4.4 Опис взаємодії програм Unity Pro XL та Tia Portal v14.....	35
4.5 Глобальні змінні відображення та управління.....	39
4.6 Архітектура імітаційної моделі.....	46
4.6.1 Програмні листи імітації та управління роботою окремих ділянок лінії прокатки.....	47
4.6.2 Створення людино-машинного інтерфейсу тренажера.....	60

4.7 Проведення ланцюгових (міжвіконих) досліджень впливу зміни технологічних параметрів або збурень на стан об'єктів автоматизації.....	71
4.7.1 Дослідження впливу швидкості лиття на кількість теплоти внесеної з заготовкою.....	72
4.7.2 Дослідження впливу швидкості лиття на довжину заготовки між ливарною машиною та прокатним станом.....	73
4.7.3 Дослідження впливу температури розплаву лиття на кількість теплоти внесеної з заготовкою.....	75
4.7.4 Дослідження впливу температури розплаву на довжину заготовки між ливарною машиною та прокатним станом.....	76
5 СТВОРЕННЯ ІНСТРУКЦІЇ ЩО ДО КОРИСТУВАННЯ ІМІТАЦІЙНОЮ МОДЕЛЮ АСУТП З ВМРОБНИЦТВА АЛЮМІНЕВОЇ КАТАНКИ.....	80
5.1 Вхід до проекту тренажера і робота у головному меню.....	80
5.2 Робота у вікні пічної дільниці та дії з проведення досліджень.....	81
5.3 Робота у вікні ливарної машини та дії з проведення досліджень...	85
5.4 Робота у вікні моталки та дії з проведення досліджень.....	89
ВИСНОВОК.....	91
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	92

ВСТУП

Сучасна автоматизована система управління технологічним процесом (АСУ ТП) представляє собою складний програмно-апаратний комплекс, який містить велику кількість датчиків, контролерів управління технологічними параметрами, станцій операторів, інформаційних серверів і т. д. Для роботи з такими комплексами потрібні навчені, кваліфіковані фахівці, на яких лягає велика відповідальність за наслідки прийнятих рішень з безпеки та управління виробничим процесом.

В даний час технологічні процедури, що виконуються персоналом на складних і небезпечних виробництвах і установках, описуються десятками різних інструкцій, що становлять тисячі сторінок тексту. Час їх освоєння становить кілька місяців, а оперативна перепідготовка персоналу утруднена. У той же час до кваліфікації оперативного персоналу пред'являються високі вимоги, в зв'язку з чим проводиться їх періодична атестація.

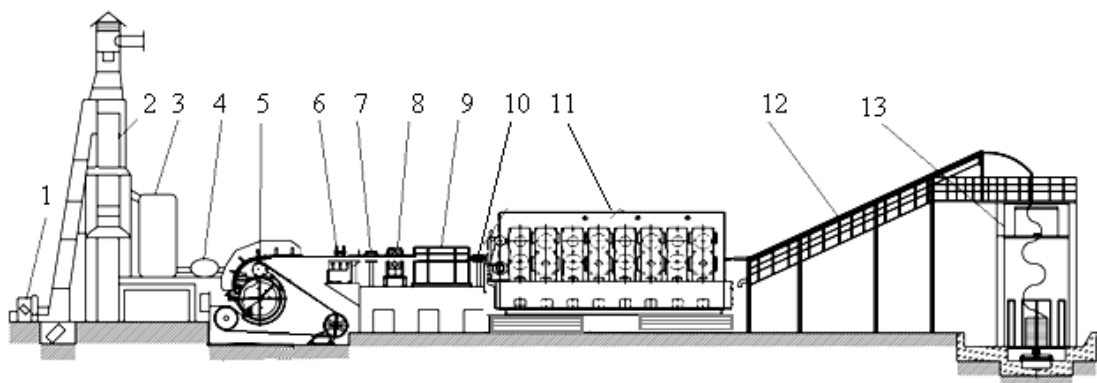
Необхідною елементом ефективного навчання виробничників є тренінги, оскільки люди запам'ятовують тільки 20% з того, що бачать, 40% з того, що бачать і чують і 70%, якщо бачать, чують і роблять [1]. Одним з ефективних способів підвищення професійного рівня персоналу є використання навчальних тренажерів-імітаторів, які дозволяють вивчити основні можливості інтерфейсу АСУ ТП і пропрацювати дії при нештатних та аварійних ситуаціях, не вдаючись до експериментів на реальному обладнанні. Тренажер (від англійського train - навчати, готувати, тренувати) є програмно-апаратним засобом тренування і контролю при навчанні професії або виробленні практичних професійних навичок. Вони знаходять широке застосування в багатьох сферах діяльності - в освітньому процесі для отримання практичних навичок по досліджуваного матеріалу, і в промисловості для відпрацювання режимів управління технологічними об'єктами, і на всіх видах транспорту. Завданням цієї роботи є розробка тренажера АСУТП по виробництву алюмінієвої катанки на ливарно-прокатному агрегаті.

1 ВИРОБНИЦТВО АЛЮМІНІЄВОЇ КАТАНКИ МЕТОДОМ НЕПЕРЕРВНО ЛИТТЯ ТА ПРОКАТКИ

Найбільшого поширення у сучасній металургії набула технологія, де обтискання зливків, одержаних безперервним литтям, відбувається після кристалізації металу. В результаті повного розподілу процесів кристалізації та деформації металу катанка на виході з прокатного стану має однорідну структуру, покращуються її механічні властивості та поширюється можливий сортамент

У технологічній лінії кожного ливарно-прокатного агрегату (ЛПА) є пічна ділянка, яка призначена для підготовки металу до лиття. Якщо агрегат встановлений на виробництві, де немає електродузерів, то на пічній ділянці виконують і розплавлення алюмінію[2].

Скіп завантажувальної машини 1 місткістю 1,2 т подає алюмінієві брикети до газової плавильної печі шахтного типу 2. Висота шахти складає 4,5 м, внутрішній діаметр - 1,5 м. Метал після розплавлення прямує в одну з двох роздавальних печей 3 місткістю 10т, обладнаних електромагнітними мішалками. Підготовлений до лиття метал очищується від шлаку, піддається дегазації 4 та далі самопливом через дозуючу камеру горизонтально направляється у жолоб ливарного колеса 5 діаметром 1600 мм, охопленого сталеву стрічкою. Під дією води, що охолоджує, розплавлений алюміній кристалізується у виливниці колеса, що обертається, та у вигляді безперервного зливка подається у прокатний стан за допомогою правильного 6 та переднього тягового пристроїв 7. У разі незадовільної якості лиття заготовку розрізають гідравлічними ножицями 8 на дрібні мірні шматки до тих пір, поки вона не відповідатиме встановленим вимогам. Повну схему технологічної лінії безперервного лиття та прокатки алюмінієвої катанки на прикладі ЛПА «LY-1600» (КНР), що обладнано чотириколісною роторною ливарною машиною та моталкою кошикового типу, приведено на рис. 1.1.



1 - завантажувальна машина; 2 - шахтна плавильна піч; 3 - дві круглі роздавальні печі; 4 - очищуючий дегазуючий пристрій; 5 - чотириколісна машина безперервного лиття; 6 - правильний пристрій; 7 - передній тяговий пристрій; 8 - гідравлічні ножиці; 9 - індукційний нагрівач; 10 - подаючий пристрій; 11 - прокатний стан; 12 - пристрій для загартування й охолодження; 13 - здвоєний бухтівщик кошикового типу.

Рисунок 1.1 – Технологічна лінія безперервного лиття та прокатки алюмінієвої катанки «LY-1600»

Під час виробництва дроту з алюмінієвих сплавів заготовку перед прокаткою нагрівають з використанням індукційного нагрівача 9. Прокатний стан складається 11 з 15 тривалкових клітей і має привід постійного струму. Після прокатки дріт діаметром 9,5 мм піддається процесам загартування 12, охолодження та сушіння і подається на здвоєний бухтовщик п13 кошикового типу, який складається з робочої платформи, направляючих роликів, затискного тягового пристрою, пристрою утворення кілець і пристрою намотування катанки. Щоб уникнути ушкодження поверхні катанки за умови її перегину перед формуванням бухти, застосовують 32-х роликовий направляючий пристрій, який утворює дугу радіусом 1000 мм. Затискний тяговий пристрій разом з пристроєм утворення кілець укладає катанку в приймальний кошик, після наповнення якого відбувається заміна його на новий.

2 РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ БЕЗПРОВІДНИХ ЗАСОБІВ

2.1 Визначення кількості та типу вхідних і вихідних сигналів

Для розробки функціональної схеми автоматизації необхідна інформація про всі контрольовані та регульовані параметри технологічного процесу, а також алгоритми, за якими відбувається керування об'єктом автоматизації. Функціональна схема технологічного процесу з виробництва алюмінієвої катанки розроблялась з використанням мікропроцесорного контролера Modicon M340. Визначення кількості та типу вхідних і вихідних сигналів мікропроцесорного контролера здійснювалось на основі аналізу роботи технологічного об'єкта. Перелік всіх сигналів приведено у таблицях 2.1 та 2.2.

Таблиця 2.1 Перелік вхідних сигналів

№	Найменування параметру	Діап. вимір.	Кільк. одн. пар.	Спосіб отр. інф.	Період. отр. інф.	Місце предст. Інф.
1	Витрата газу до додаткового пальнику шахтної печі	До 55 нм3/год	1	Безп.	1 сек.	Граф. Панель
2	Витрата повітря до додаткового пальнику шахтної печі	До 45 нм3/год	1	Безп.	1 сек.	
3	Витрата газу до основного пальнику шахтної печі	До 175 нм3/год	1	Безп.	1 сек.	
4	Витрата повітря до основного пальнику шахтної печі	До 140 нм3/год	1	Безп.	1 сек.	

Продовження таблиці 2.1

5	Температура рідкого алюмінію в шахтній печі	700°C	1	Безп.	1 сек.	Граф. Панель
6	Температура димових газів на виході із шахтної печі	200°C	1	Безп.	1 сек.	
7	Розрідження у робочому просторі шахтної печі	4-5кгс/м2	1	Безп.	1 сек.	
8	Витрата газу до роздаточної печі	55 нм3/год	2	Безп.	1 сек.	
9	Витрата повітря до роздаточної печі	???	2	Безп.	1 сек.	
10	Температура рідкого алюмінію в роздаточній печі	720-760 °C	2	Безп.	1 сек.	
11	Розрідження у робочому просторі роздаточної печі	4-5кгс/м2	2	Безп.	1 сек.	
12	Тиск азоту що подається до дегазуючого пристрою	4-5кгс/м2	1	Безп.	1 сек.	
13	Температура рідкого алюмінію в дегазуючому пристрої	720-760 °C	1	Безп.	1 сек.	

Продовження таблиці 2.1

№	Найменування параметру	Діап. вимір.	Кільк. одн. пар.	Спосіб отр. інф.	Період. отр. інф.	Місце предст. Інф.
14	Температура рідкого алюмінію на вході в ливарне колесо	720-760 °С	1	Безп.	1 сек.	Граф. Панель
15	Температура виливниці на початку лиття	150°С	1	Безп.	1 сек.	
16	Температура заготовки на виході з ливарного колеса	450-540°С	1	Безп.	1 сек.	
17	Температура виливниці в кінці лиття	200°С	1	Безп.	1 сек.	
18	Швидкість катанки на виході з ливарного колеса	7,92 м/с	1	Безп.	1 сек.	
19	Положення петлі заготовки	20-50°	1	Безп.	1 сек.	
20	Витрата води на сталеву стрічку (нижній контур)	15 т/год	1	Безп.	1 сек.	
21	Витрата води на бандаж (лівий боковий контур)	15 т/год	1	Безп.	1 сек.	

22	Витрата води на бандаж (внутрішній контур)	40 т/ГОД	1	Безп.	1 сек.	
----	--	----------	---	-------	--------	--

Продовження таблиці 2.1

№	Найменування параметру	Діап. вимір.	Кільк. одн. пар.	Спосіб отр. інф.	Період. отр. інф.	Місце предст. Інф.
23	Витрата води на бандаж (правий боковий контур)	15 т/ГОД	1	Безп.	1 сек.	Граф. Панель
24	Витрата води на сталеву стрічку (верхній контур)	15 т/ГОД	1	Безп.	1 сек.	
25	Тиск води на сталеву стрічку (нижній контур)	0,2-0,5 Мпа	1	Безп.	1 сек.	
26	Тиск води на бандаж (лівий боковий контур)	0,2-0,5 Мпа	1	Безп.	1 сек.	
27	Тиск води на бандаж (внутрішній контур)	0,2-0,5 Мпа	1	Безп.	1 сек.	
28	Тиск води на бандаж (правий боковий контур)	0,2-0,5 Мпа	1	Безп.	1 сек.	
29	Тиск води на сталеву стрічку (верхній контур)	0,2-0,5 Мпа	1	Безп.	1 сек.	

30	Витрата води до індукційного нагрівача	15 т/год	1	Безп.	1 сек.	
31	Тиск води до індукційного нагрівача	0,2-0,5 Мпа	1	Безп.	1 сек.	

Продовження таблиці 2.1

№	Найменування параметру	Діап. вимір.	Кільк. одн. пар.	Спосіб отр. інф.	Період. отр. інф.	Місце предст. Інф.
32	Тиск мастила до прокатних клітей (1-8)	0,2-0,5 Мпа	1	Безп.	1 сек.	Граф. Панель
33	Температура мастила до прокатних клітей (1-8)	10-40°C	1	Безп.	1 сек.	
34	Тиск мастила до прокатних клітей (9-15)	0,2-0,5 Мпа	1	Безп.	1 сек.	
35	Температура мастила до прокатних клітей (9-15)	10-40°C	1	Безп.	1 сек.	
36	Тиск емульсії до прокатних клітей (1-8)	0,2-0,5 Мпа	1	Безп.	1 сек.	
37	Температура емульсії до прокатних клітей (1-8)	10-40°C	1	Безп.	1 сек.	
38	Швидкість катанки на виході з прокатного стану	7,92 м/с	1	Безп.	1 сек.	
39	Тиск емульсії до прокатних клітей (9-15)	0,2-0,5 Мпа	1	Безп.	1 сек.	

40	Температура емульсії до прокатних клітей (9-15)	10-40°C	1	Безп.	1 сек.	
----	---	---------	---	-------	--------	--

Закінчення таблиці 2.1

№	Найменування параметру	Діап. вимір.	Кільк. одн. пар.	Спосіб отр. інф.	Період. отр. інф.	Місце предст. Інф.
41	Температура заготовки на виході з прокатного стану	50-180°C	1	Безп.	1 сек.	Граф. Панель
42	Тиск води до пристрою закалки	0,2-0,5 Мпа	1	Безп.	1 сек.	
43	Витрата води до пристрою закалки	До 175 нм3/год	1	Безп.	1 сек.	
44	Маса бухти	1500 кг	1	Безп.	1 сек.	

Таблиця 2.2 Вимоги до функцій регулювання

№	Найменування параметру	Кількість однотипних параметрів	Діап. зміни. пар.	Місце розташування ОУ
1	Витрата газу до малого пальнику шахтної печі	1	До 55 нм3/год	Газопровід
2	Витрата повітря до малого пальнику шахтної печі	1	До 45 нм3/год	Повітропровід
3	Витрата газу до великого пальнику шахтної печі	1	До 175 нм3/год	Газопровід

4	Витрата повітря до великого пальнику шахтної печі	1	До 45 нм3/год	Повітропровід
5	Витрата газу до пальнику роздаточної печі	2	До 55 нм3/год	Газопровід

Продовження таблиці 2.2

№	Найменування параметру	Кількість однотипних параметрів	Діап. зміни. пар.	Місце розташування ОУ
6	Витрата повітря до пальнику роздаточної печі	2	До 45 нм3/год	Повітропровід
7	Підйом завантажувального ковша	1	Вкл/Викл	Двиг. зав. маш.
8	Опускання завантажувального ковша	1	Вкл/Викл	Двиг. зав. маш.
9	Вивантаження завантажувального ковша	1	Вкл/Викл	Двиг. зав. маш.
10	Розрідження у робочому просторі шахтної печі	1	4-5 кгс/м	Димовідвід
11	Розрідження у робочому просторі роздаточної печі	2	4-5 кгс/м	Димовідвід
12	Підйом МПУ	2	Вкл/Викл	Двигун МПУ
13	Опускання МПУ	2	Вкл/Викл	Двигун МПУ
14	Вкл/вкл перемішування	2	Вкл/Викл	Двигун МПУ
15	Вкл/вкл вентилятору	2	Вкл/Викл	Вентилято МПУ
16	Тиск азоту	1	7-10 кгс/м	Трубопровід азоту

17	Вкл/вкл дегазуючого пристрою	1	Вкл/Викл	Нагрівач дегазуючого пристрою
18	Частота обертання ливарного колеса	1	0-1000 об/хв	Двигун ливарного колеса
19	Включення в роботу індукційного нагрівача	1	Вкл/Викл	Індукційний нагрівач

Продовження таблиці 2.2

№	Найменування параметру	Кількість однотипних параметрів	Діап. зміни. пар.	Місце розташування ОУ
20	Частота обертання прокатного стану	1	1100-3000 об/хв	Двигун прокатного стану
21	Витрата води до пристрою загартовування та охолодження	1	До 55 м3/год	Трубопровід води
22	Опускання / Підйом накопичувальних зубців бухтовщика	1	Вкл/Викл	Двигун накоп. зубців
23	Включення в роботу корзини №1 бухтовщика	1	Вкл/Викл	Двигун корзини
24	Включення в роботу корзини №2 бухтовщика	1	Вкл/Викл	Двигун корзини
25	Переміщення бухтовщика	1	Вкл/Викл	Двигун корзини

На основі вище приведених таблиць та аналізу технологічного процесу розроблена функціональна схема автоматизації (ЗНУПФМ Д1.180203.001.ФСА).

Для збору інформації від датчиків та передачу сигналів від них використовується ряд автономних безпроводних вимірювальних пристроїв під назвою Accutech Schneider Electric [3]. Принцип роботи наступний: польовий модуль (наприклад ТС10 датчик температури-термопара) вимірює значення

параметра та радіо сигналом передає його до базового модуля BR20, який в свою чергу перетворює радіо сигнал та передає його по протоколу Modbus через інтерфейс RS-485 до контролеру.

До особливостей схеми збору даних можна віднести також дистанційний збір таких даних як швидкість обертання ливарного колеса або маса бухти. В Accutech Schneider Electric польових модулів для вимірювання вище згаданих параметрів немає, але є польовий модуль AI10 «бездротовий пристрій аналогового введення, перетворювач струму», даний польовий модуль приймає токовий сигнали 4-20мА. До такого модулю можна підключити багато різних датчиків, основною вимогою до яких є вихідний сигнал 4-20мА, так наприклад у вищезгаданій ФСА таким методом підключені оптичні пірометри, вимірювачі швидкості та тензодатчик.

Основними системами управління є:

- Одно-контурна система регулювання температури в шахтній печі;
- Одно-контурна система регулювання температури в роздавальній печі №1;
- Одно-контурна система регулювання температури в роздавальній печі №2;
- Комбінована система регулювання теплового режиму в кристалізаторі ливарної машини;
- Комбінована система регулювання довжини заготовки;
- Одно-контурна система регулювання температури заготовки на виході з прокатного стану;
- Одно-контурна система регулювання температури заготовки на виході з загартовувального пристрою;
- Система автоматичної укладки витків катанки в бухту;

2.2 Проектне компонування контролера Modicon M340

Підбір складових ПЛК M340 [4] для забезпечення його роботи виконано за умов, наведених у табл. 2.3. Вибрані складові сформовані у вигляді відомості обладнання для компонування ПЛК.

Таблиця 2.3 - Вимоги до забезпечення роботи контролера

Вимоги	Кількість або наявність
--------	-------------------------

Живлення ПЛК (24 VDC або 220VAC)	220VAC
Кількість дискретних входів 24 VDC, позитивна логіка	17
Кількість аналогових входів 4-20мА	0
Кількість аналогових виходів 4-20мА	5
Кількість дискретних виходів струм, до 0.5А 24 VDC	37

Продовження таблиці 2.3

Підключення за Modbus RTU на RS485	1
Підключення за Modbus/TCP на Ethernet	1
Підключення за CANOpen	-
Програма користувача займає (кб)	до 2000

Послідовність компонування ПЛК М340:

- вибір процесорного модулю;
- вибір модулів вводу/виводу;
- вибір аксесуарів для модулів вводу/виводу;
- компонування шасі, вибір додаткових модулів та аксесуарів для шасі;
- вибір модулів живлення.

Вибір процесорного модулю

Процесорний модуль підбирається за такими критеріями: кількість каналів кожного типу, тип та кількість каналів кожного типу, тип та кількість комутаційних каналів, обсяг пам'яті користувача. Кількість аналогових виходів 5; кількість дискретних входів + виходів: = 37.

За табл. 4.1 підбрано процесорний модуль. За кількістю каналів будь-який процесорний модуль задовольняє вимогам, тому вибір проведено за ємністю пам'яті та наявними комутаційними входами. Серед процесорних модулів М340 підходить ВМХ Р34 2020.

Вибір модулів вводу/виводу

Модулі вводу-виводу, їх кількість та тип наведені в табл. 2.4.

Таблиця 2.4- Модулі вводу/виводу

Кількість та тип каналів	Назва модулів та їх кількість
5 АВих. 4-20 мА	ВМХ АМО 0802 - 1шт.(8 об каналів, 3 із них вільні)
37 ДВих. 24 VDC	ВМХ DDO 6402К - 1шт. (64 об каналів, 27 із них вільні)
Ethernet	ВМХ NOE 0100.2 - 1шт.
Modbus	ВМХ NOM 0200 - 1шт.
17 ДВх. 24 VDC	ВМХ DDI 3202К - 1шт. (32 входів, 15 із них вільні)

Вибір аксесуарів для модулів вводу/виводу

Аксесуари призначені для зручності монтажу модулів їх швидкої заміни та підключення наведені в табл. 2.5

Таблиця 2.5 - Аксесуари

Модуль вводу/виводу		Аксесуари		
Найменування	Кількість	Найменування	Кількість	Примітка
ВМХ DDI 3202К	1	ВМХ FTB 2010	1	(Кабель FFC**3(від 0.5 до 10м) + Telefast АВЕ 7Н16R21 - 2шт.)
ВМХ DDO 6402К	1	ВМХ FTB 2010	2	(Кабель FFC**3(від 0.5 до 10м) + Telefast АВЕ 7Н16R21 - 2шт.)
ВМХ АМО 0802	1	ВМХ FTB 2010	1	20 контактна зміна клемна колодка з гвинтовим затискачем

Компонування шасі, вибір додаткових модулів та аксесуарів для шасі

Загальна кількість модулів разом з процесорним: 1CPU + 1NOE + 1NOM + 1DDI + 1DDO + 1AMO = 6. Таким чином використано 1 монтажне шасі на 8 місць BMX XBP 6000.

Вибір модулів живлення

На першому монтажному шасі модулі споживають 530мА при 3,3 В 400мА при 24 В, загальна потужність модулів на цьому шасі 13,8Вт. Для живлення підійде модуль BM XCPS 2020, який має максимальну потужність 20 Вт, 2,5 А при 3,3 В та 0,7 А при 24 В.

Споживану потужність кожним модулем приведено в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 - Живлення модулів контролеру

Шасі	Модуль		Середній споживаний струм, мА	
	Місце	Найменування модуля	На виході 3V3_VAC	На виході 24V_VAC
0	PS	BMX CPS 2000 P3V3_24V=16.5Вт	I 3V3_VAC=530мА	I24V_VAC=400мА
			P=13,8Вт	
	0	BMX P34 2020	0	95
	1	BMX NOE 0805	0	90
	2	BMX NOM 0200	0	80
	3	BMX AMO 0802	150	135
	4	BMX DDO 6402K	240	0
5	BMX DDI 3202K	140	0	

Перелік усіх потрібних модулів для забезпечення роботи контролеру автоматизованої системи нагріву злитків в регенеративному нагрівальному колодязі представлено в табл. 2.7.

Таблиця 2.7 - Модулі контролеру M340

Найменування	Кількість	Примітка
BMX ХВР 8000	1	Шасі на 8 місць
BMX CPS2 000	1	Модуль живлення 100-240 VAC, 20 Вт
BMX P34 2020	1	Процесорний модуль
BMX NOE 0110	1	Модуль Ethernet
BMX NOM 0200	1	Модуль Modbus RTU

Продовження таблиці 2.7

BMX DDI 3202K	1	Модуль дискретного вводу на 16 каналів
BMX DDO 6402K	1	Модуль дискретного виводу на 16 каналів
BMX АМО 0802	1	Модуль аналогового виводу на 4 канали
BMX FTB 2010	1	20 контактна зміна клемна колодка з гвинтовим затискачем
(Кабель FFC**3(від 0.5 до 10м) + Telefast ABE 7H16R21 - 2шт.)	1	40 контактний рознім, та блок швидкого монтажу Telefast

2.3 Позиції на ФСА

Позиціями (1-a1, 1-a2, 1-a3, 1-a4, 1-a8, 1-a9, 1-a19, 1-a20, 1-a21, 1-a22, 1-a23) позначено вимірювальні діафрагми .

Позиціями (1-б1, 1-б2, 1-б3, 1-б4, 1-б8, 1-б9, 1-б19, 1-б20, 1-б21, 1-б22, 1-б23) позначено польові модулі DP-20 [5].

Функціональні дані датчику наступні: тип датчика — термopapa; діапазон частот — 2,4 ГГц; живлення — вбудована батарея. Інтерфейс конфігурації за місцем: будована ЖК панель з мембранними кнопками.

Режими виміру:

- диференціальне тиск;
- витрата на пристрої звуження потоку;
- витрата у відкритих каналах;

-рівень.

Точність: $\pm 0,2\%$ від верхньої межі діапазону, включаючи комбінований вплив лінійності, гістерезису, повторюваності і температури (для стандартного блоку без ізоляційних ущільнень).

Додаткові ущільнення знижують точність за рахунок теплових ефектів заповнює рідини. Виконання з іншими спеціальними діапазонами і точністю - на замовлення.

Максимальний статичний тиск — 20684 кПа.

За позиціями — (1-б1, 1-б2) вимірюється подача газу та повітря до додаткового пальника плавильної печі.

За позиціями — (1-б3, 1-б4) вимірюється подача газу та повітря до основного пальника плавильної печі.

За позиціями — (1-б8, 1-б9) вимірюється подача газу та повітря роздавально печі.

За позиціями — (1-б19, 1-б20, 1-б21, 1-б22, 1-б23) вимірюється подача води до ливарного колеса.

Позиціями (1-б7, 1-б10, 1-б12, 1-б24, 1-б25, 1-б26, 1-б27, 1-б28, 1-б32, 1-б34, 1-б36, 1-б39, 1-б42) позначено вимірювач надлишкового тиску GP20 [6].

Функціональні дані датчику наступні: тип датчика — термопара; діапазон частот — 2,4 ГГц; живлення — вбудована батарея. Інтерфейс конфігурації за місцем: будована ЖК панель з мембранними кнопками

За позицією (1-б7) — вимірюється розрідження у робочому просторі шахтної печі.

За позицією (1-б10) — вимірюється Розрідження у робочому просторі роздаточної печі.

За позицією (1-б12) — вимірюється тиск азоту.

За позицією (1-б24, 1-б25, 1-б26, 1-б27, 1-б28) — вимірюється тиск води до різних сегментів охолодження ливарного колеса.

За позицією (1-б32, 1-б34) — вимірюється тиск мастила до прокатних клітей.

За позицією (1-б36, 1-б39) — вимірюється тиск емульсії до прокатних клітей.

За позицією (1-б42) — вимірюється тиск води до гартувального пристрою.

Позиціями (1б-5, 1б-6, 1б-11, 1б-13, 1б-14, 1б-33, 1б-35, 1б-37, 1б-40) позначено вимірювач температури ТС10 [7].

Функціональні дані датчику наступні: тип датчика — термопара; діапазон частот — 2,4 ГГц; живлення — вбудована батарея. Інтерфейс конфігурації за місцем: вбудована ЖК панель з мембранними кнопками.

Точність датчика: $\pm 0,1\%$ повної шкали плюс $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($1,8\text{ }^{\circ}\text{F}$) для компенсації холодного спаю в стандартних умовах експлуатації.

Вплив температури навколишнього середовища: $\pm 0,01\%$ від показання на градус $^{\circ}\text{C}$ ($1,8\text{ }^{\circ}\text{F}$) різниці фактичної і стандартної ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$) температури навколишнього середовища.

Стабільність: відхилення не більше $0,025\%$ в рік.

Точність термодпар:

- тип-**J**: більш $\pm 1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($2\text{ }^{\circ}\text{F}$) або $0,4\%$ показання;
- тип-**K**: більш $\pm 1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($2\text{ }^{\circ}\text{F}$) або $0,4\%$ показання;
- тип-**S**: більш $\pm 0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($1,1\text{ }^{\circ}\text{F}$) або $0,1\%$ показання;
- тип-**T**: більш $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($0,9\text{ }^{\circ}\text{F}$) або $0,4\%$ показання.

За позицією {1-б5} — температура рідкого алюмінію в шахтній печі.

За позицією {1-б6} — температура димових газів на виході із шахтної печі.

За позицією {1-б11} — температура рідкого алюмінію в роздаточній печі.

За позицією {1-б13} — температура рідкого алюмінію в дегазуючому пристрої.

За позицією (1-б14) — температура рідкого алюмінію на вході в ливарне колесо.

За позицією (1-б33, 1-б35) — температура мастила до прокатних клітей.

За позицією (1-б37, 1-б40) — температура мастила до прокатних клітей.

Позиціями (1б-15, 1б-16, 1б-17, 1б-18, 1б-19, 1б-31, 1б-38, 1б-41, 1б-44) позначено бездротовий пристрій аналогового введення, перетворювач струму AI10 [8]. Основні характеристики Accutech AI10 (ТВUAAI):

- Перетворювач вхідного сигналу;
- Тип вводу: 2 входи 4-20мА із загальним заземленням і 2 дискретних входу; імпеданс 10 Ом;
- Точність: $\pm 0,01\%$ повної шкали;
- Частота радіосигналу: 2.4 ГГц;
- Інтерфейс: ПО Accutech Manager;
- Харчування: Вбудована батарея (D-Cell) ;
- Робоча температура: Для електроніки: від -40 до 85 ° С; Для дисплеїв (повна видимість зображення на екрані): від -20 до 70 ° С;
- Вологість: 0 ~ 95%, без конденсації;
- Захист: NEMA4.

За позицією (1б-15, 1б-16, 1б-17, 1б-31, 1б-41) — модулі аналогового введення для дистанційної передачі сигналу від пірометрів.

За позицією (1б-18) — модулі аналогового введення для дистанційної передачі сигналу датчику швидкості ливарного колеса.

За позицією (1б-19) — модулі аналогового введення для дистанційної передачі сигналу датчику кута повороту петлі заготовки.

За позицією (1б-38) — модулі аналогового введення для дистанційної передачі сигналу датчику швидкості прокатного стану.

За позицією (1б-44) — модулі аналогового введення для дистанційної передачі сигналу тензодатчика.

Позиціями (1а-7, 1а-8, 1а-9, 1а-18, 1а-21) позначено стаціонарний пірометр Thermalert XR – MT [9].

- Ключові особливості датчиків XR:
- Гнучкі налаштування аналогового виходу, відповідно до потребами користувача;
- Широкий вибір діапазонів температури;

- Інтерфейс для програмування датчика;
- Вихідний сигнал 0 / 4-20 мА, 0-5 В, термопари типу J або K вибирається користувачем;
- Вихідний діапазон для сигналів 0 / 4-20 мА або 0-5 В задається користувачем;
- Можливість замовити прилад з клемної колодкою для підключення в польових умовах або з роз'ємом для швидкого підключення;
- Опціональний лазерний покажчик і оптична система з високим дозволом;
- Опціональний корпус з нержавіючої сталі;
- Одночасне виведення інформації через аналоговий і цифровий виходи;

За позицією (1а-7, 1а-8, 1а-9) — температура заготовки у різних частинах прокатного колеса.

За позицією (1а-18) — температура заготовки в індукційному нагрівачі.

За позицією (1а-21) — температура заготовки на виході з прокатного стану.

Позиціями (1а-10, 1а-19) позначено вимірювачі швидкості обертання FANU52 [10].

За позицією (1а-10) — вимірюється швидкість обертання ливарного колеса.

За позицією (1а-10) — вимірюється швидкість обертання прокатного стану.

За позицією (1а-11) позначено датчик кута повороту, для визначення положення петлі заготовки [11].

За позицією (1а-22) позначено тензодатчик, для визначення маси бухти [12].

Позиціями (2а, 3а, 4а, 5а, 6а, 7а, 16а) позначено блоки ручного управління БРУ-5 [13].

Блок ручного управління БРУ-4 призначений для використання в системах промислової автоматизації виробничих процесів як:

- блоку ручного задатчика імпульсних сигналів "більше" - "менше";
- блоку ручного управління імпульсним виконавчим механізмом (ІМ).

Область використання:

- блок управління для ручного перемикання керуючих ланцюгів регулятора з автоматичного режиму управління на ручне і назад за допомогою клавіші на передній панелі;

- блок управління для дистанційного перемикання режиму управління ручний / автомат, за допомогою зовнішніх сигналів, що подаються на клемних-блоковий з'єднувач;

- цифровий індикатор технологічного параметра, сигналу положення ІМ, в межах від 0,0 до 100,0%.

За позицією (2а) — знаходиться БРУ-5 для системи регулювання витратою газу до малого пальнику плавильної печі.

За позицією (3а) — знаходиться БРУ-5 для системи регулювання витратою повітря до малого пальнику плавильної печі.

За позицією (4а) — знаходиться БРУ-5 для системи регулювання витратою газу до великого пальнику плавильної печі.

За позицією (5а) — знаходиться БРУ-5 для системи регулювання витратою повітря до великого пальнику плавильної печі.

За позицією (6а) — знаходиться БРУ-5 для системи регулювання витратою повітря до пальнику роздаточної печі.

За позицією (7а) — знаходиться БРУ-5 для системи регулювання витратою повітря до пальнику роздаточної печі.

За позицією (16а) — знаходиться БРУ-5 для системи регулювання витратою води до пристрою загартовування та охолодження.

Позиціями (2б, 3б, 4б, 5б, 6б, 7б, 16б) позначено пускач ПБР-3А [14].

Призначений для безконтактного управління електричними виконавчими механізмами, в приводі яких використовуються трифазні електродвигуни потужністю до 2 кВт, в системах управління технологічними процесами.

За функціональним можливостям пускач має два виконання: ПБР-3 і ПБР3А. Пускач ПБР-3 забезпечує пуск і реверс трифазного синхронного електродвигуна.

Пускач ПБР-3А забезпечує пуск і реверс, захист трифазного асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором від перевантаження.

За позицією (2б) — знаходиться ПБР-3А для системи регулювання витратою газу до малого пальнику плавильної печі.

За позицією (3б) — знаходиться ПБР-3А для системи регулювання витратою повітря до малого пальнику плавильної печі.

За позицією (4б) — знаходиться ПБР-3А для системи регулювання витратою газу до великого пальнику плавильної печі.

За позицією (5б) — знаходиться ПБР-3А для системи регулювання витратою повітря до великого пальнику плавильної печі.

За позицією {6б} — знаходиться ПБР-3А для системи регулювання витратою повітря до пальнику роздаточної печі.

За позицією (7б) — знаходиться ПБР-3А для системи регулювання витратою повітря до пальнику роздаточної печі.

За позицією (16б) — знаходиться ПБР-3А для системи регулювання витратою води до пристрою загартовування та охолодження.

Позиціями (2в, 3в, 4в, 5в, 6в, 7в, 16в) позначено виконавчий механізм МЕО-100/25-0,25У-99 [15].

Механізм виконавчий електричний одно оборотний важільний типу МЕВ в загальнопромисловому виконанні. Номінальний крутний момент на вихідному валу 100 ньютон-метрів, номінальний час повного ходу вихідного валу 25 секунд, номінальне значення повного ходу вихідного валу 0,25 оборотів, споживана потужність 240 вольт-ампер, маса 32 кілограм, напруга живлення 220 вольт, частота 50 герц, ступінь захисту IP54, блок сигналізації положення струмовий.

За позицією (2б) — знаходиться МЭО для системи регулювання витратою газу до малого пальнику плавильної печі.

За позицією (3б) — знаходиться МЭО для системи регулювання витратою повітря до малого пальнику плавильної печі.

За позицією (4б) — знаходиться МЭО для системи регулювання витратою газу до великого пальнику плавильної печі.

За позицією (5б) — знаходиться МЭО для системи регулювання витратою повітря до великого пальнику плавильної печі.

За позицією (6б) — знаходиться МЭО для системи регулювання витратою повітря до пальнику роздаточної печі.

За позицією (7б) — знаходиться МЭО для системи регулювання витратою повітря до пальнику роздаточної печі.

За позицією {16б} — знаходиться МЭО для системи регулювання витратою води до пристрою загартовування та охолодження.

За позицією (1в-1) позначено базовий радіо модуль для прийому даних від польових модулів [16].

Даний пристрій є базовим модулем, в який йдуть усі радіосигнали від польових модулів, діапазон частот — неліцензована частота 2,4 ГГц; зовнішнє живлення — макс. 0,5 Вт, 30 мА (при ном. напрузі 13,8 В).

Цифровий канал RS-485 з перетворювачем в RS-232 або USB для сполучення з ПК або сервером, на якому встановлено ПЗ AccutechManager Послідовний інтерфейс ModbusRTU (Binary) по RS-485.

За позицією (14а) позначено частотний перетворювач для управління швидкістю обертання ливарного колеса [17].

За позицією (9а) позначено частотний перетворювач для регулювання тиску у робочому просторі шахтної печі [18].

За позицією (10а) позначено частотний перетворювач для регулювання тиску у робочому просторі роздавальної печі [19].

За позицією (15а) — позначено тиристорний перетворювач для зміни частоти обертання двигуна прокатного стану.

За позиціями (8а, 14б) — позначено двигуни змінного струму.

За позицією (8а) — позначено двигун який керує завантаженням алюмінію до шахтної печі.

За позицією (14а) — позначено двигун який обертає ливарне колесо.

За позицією (9б) — позначено двигуни змінного струму, для системи регулювання тиском в робочому просторі шахтної печі.

За позицією (10б) — позначено двигуни змінного струму, для системи регулювання тиском в робочому просторі роздавальної печі.

За позицією (15б) — позначено двигуни постійного струму, прокатного стану.

За позицією (17б) — позначено двигуни змінного струму накопичувальних зубців.

За позицією (19б) — позначено двигуни змінного струму бухтовщика .

За позицією (20а) — позначено блок живлення БП 99, від нього працюють сенсорна панель та базовий радіо модуль [20].

Блоки живлення БП 99 призначені для перетворення змінного напруги мережевої частоти (~ 220 В) в стабілізовану напругу = 24 В або = 36 В. Блоки живлення використовуються для підключення перетворювачів (датчиків) з уніфікованим вихідним сигналом та іншими пристроями з відповідними вимогами до напруги живлення. БП 99 застосовуються в різних галузях промисловості та енергетики.

За позицією (21а) — позначено сенсорну панель, для управління процесу прокатки [21].

За позиціями (22а, 23а, 24а) — блоки живлення дискретних модулів контролеру [22].

На функціональній схемі автоматизації (ФМ Д2.180203.002.ФСА) позначкою «х2» відображаються 2 лінії зняття даних, та прикладення управляючих впливів на об'єкт (рис.2.1).

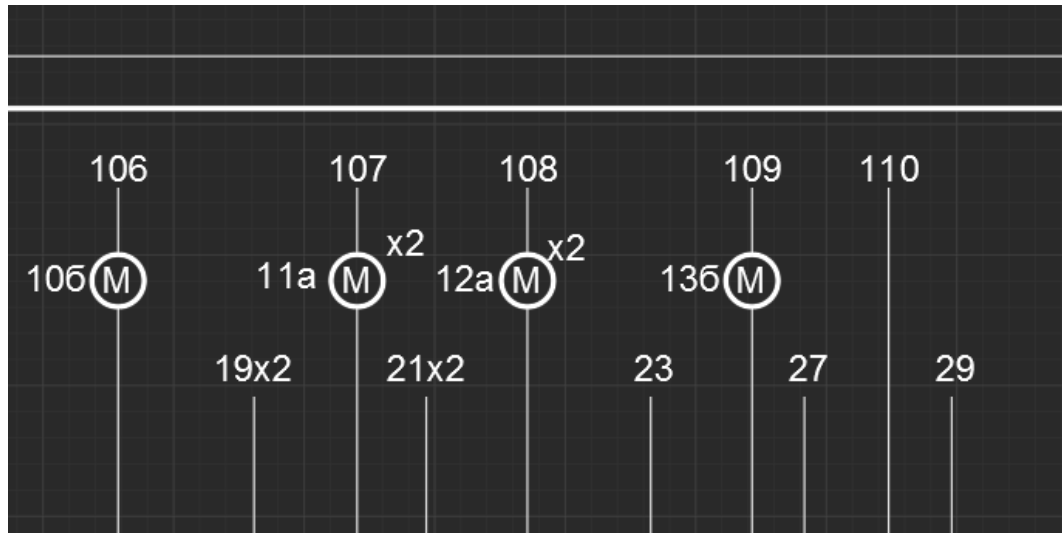


Рисунок 2.1–Фрагмент креслення ФМ Д2.180203.002.ФСА.

Це пояснюється тим що в лінії прокатки алюмінію 2 роздаточні печі, і для зменшення масштабів креслення на ФСА зображено тільки одну.

3 ТРЕНАЖЕР –ЯК ЗАСІБ НАВЧАННЯ ТА ПІДВИЩЕННЯ КВАЛІФІКАЦІЇ

Існують три принципові відмінності тренажерів від інших засобів навчання:

- будь-який тренажер містить тренажерну модель об'єкта, оскільки він створюється саме тому, що реальний об'єкт неможливо, небезпечно або дорого використовувати для навчання;

- в будь-якому тренажері взаємодія з моделлю об'єкта здійснюється за допомогою спеціального середовища, яка називається інформаційною моделлю. З її допомогою учень впливає на тренажерну модель і отримує інформацію про її стан.

- тренажерна модель, забезпечена інформаційною моделлю, є всього лише імітатором реального об'єкта з можливістю маніпулювання ним. Тільки після появи правил, методів, рекомендованого складу тренувальних вправ та іншими атрибутами навчання імітатор стає тренажером. Все це прийнято називати моделлю навчання [23].

3.1 Класифікація тренажерів

Тренажери можна класифікувати за такими ознаками:

- за сферами виробництва;
- по ділянках підприємства, які вони імітують;
- за ступенем спеціалізації;
- по архітектурі;
- за типами використовуваних моделей.

Більшість тренажерів для навчання операторів це спеціалізовані тренажери або тренажери для типових виробництв рівня установки, що використовують динамічні моделі, оброблювані в середовищах моделювання і зв'язуються зі SCADA, аналогічної SCADA АСУ ТП [24].

3.2 Вимоги до тренажерів

Інтерфейс тренажера повинен бути максимально наближений до імітованої системі управління. Тренажер повинен моделювати технологічні процеси імпортованого виробництва, використовуючи методи математичного моделювання. Тренажер повинен зберігати інформацію про хід протікання

імітованих ситуацій та інформацію про дії учня. Повинен мати засоби для аналізу дій учня.

Тренажерна система повинна підтримувати безліч робочих місць для навчання, має бути доступно одночасне навчання на всіх станціях. Система тестування повинна надавати різні комбінації наборів вправ в залежності від посади учня і виду навчання.

3.3 Математичні моделі, що використовуються в тренажерах

Однією з головних проблем при створенні тренажерів є побудова адекватної математичної моделі технологічного процесу. Навчання на тренажері, в якому поведінка автоматизованого технологічного комплексу (АТК) якісно відрізняються від фактичного, не тільки не має сенсу, але і небезпечним. У операторів формується неправильне уявлення про технологічний процес, виробляються неправильні навички щодо дій при настанні нерегламентованих ситуацій. У світовій практиці загальноприйнятою вважається точність моделювання в статичних режимах 5% для критичних параметрів і 10% для некритичних. Адекватність моделі в динамічному режимі оцінюється експертно на якісному рівні. Як правило, для побудови математичної моделі використовуються системи диференціальних, різницевих, інтегро-диференціальних рівнянь.

3.4 Структура тренажерів, що створюються за допомогою конструктора

Тренажери на основі реальних SCADA систем [25] погано переносять з одного комп'ютера на інший, так як це вимагає установки SCADA. Кожна копія SCADA, як правило, вимагає ліцензії, вартість яких може бути велика [25]. Крім того, SCADA від різних виробників істотно відрізняються один від одного, тому для побудови тренажера потрібно додатково витратити час на її вивчення, так само це істотно ускладнює подальший супровід тренажера. Тому, тренажери повинні імітувати реальної SCADA системи.

3.5 Вимоги до навчання

Основні цілі навчання за допомогою комп'ютерного тренажера - імітатора:

- придбання навичок роботи з людино-машинним інтерфейсом АСУ ТП, що особливо актуально при переході з щитових систем управління на системи управління, які використовують автоматизовані робочі місця (АРМ);

- оволодіння практичними навичками ведення технологічного процесу. Формування системного розуміння причинно-наслідкових зв'язків технологічного процесу;

- придбання навичок швидкої ідентифікації позаштатних ситуацій і відпрацювання дій при їх виникненні.

3.6 Оцінка дій учня

Для оцінки дій учня в базу даних тренажера розробник спільно з технологом-експертом вносять перелік імітованих ситуацій, описують хід їх розвитку і очікувані дії учня.

Ситуації можна розділити по типу:

- технологічні послідовності: запуски, зупинки обладнання, зміна технологічного режиму установки;
- відхилення технологічного режиму від нормального;
- аварійні ситуації.

Опис розвитку ситуації може включати:

- зміна значень параметрів за певним алгоритмом;
- мимовільні перемикання або зупинки виконавчих пристроїв і механізмів;
- зміна характеру впливу механізмів на параметри.

Опис очікуваних дій учня може включати:

- команди на перестановку виконавчих механізмів, що має дистанційне керування;
- дії з механізмами, які не мають дистанційної цінного управління;
- організаційні заходи (повідомити по телефону в пожежну частину при загорянні);

Для оцінки дій необхідно включити в список можливих як правильні так і неправильні в даній ситуації дії. Це важливо, якщо імітовані ситуації характеризуються схожими значеннями технологічних параметрів, але причини

виникнення ситуацій, і реакція на них різні. Пропонується оцінювати дії оператора шляхом нарахування штрафних дій за:

- неправильні дії;
- дії в неправильній послідовності;
- тривала бездіяльність;
- вихід значень параметрів за аварійні уставки.

Величина штрафу визначається в залежності від тяжкості наслідків.

Пропонується наступна рангова оцінка тяжкості наслідків:

- вчинення дії може стати причиною отримання травм персоналу або значних матеріальних збитків організації;
- досконалий може спровокувати аварійна зупинка технологічного комплексу;
- досконалий може привести до аварійної зупинки невеликих технологічних вузлів, що позначиться на показниках якості роботи комплексу в цілому;
- ймовірність відображення невірної дію на технологічний процес мала, але в деяких випадках може мати місце.

4 РОЗРОБКА ІМІТАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ АСУТП З ВИРОБНИЦТВА АЛЮМІНІЄВОЇ КАТАНКИ

4.1 Необхідність створення імітаційної моделі АСУТП з виробництва алюмінієвої катанки.

В Україні лінія з виробництва алюмінієвої катанки методом неперервного лиття та прокатки успішно працювала на Запорізькому алюмінієвому комбінаті до його закриття в 2011р [26]. Після того на базі існуючого ливарно-прокатного агрегату був створений Запорізький завод алюмінієвої катанки, однак повноцінно він так і не запрацював. Щоб задовольнити зростаючі потреби на його продукцію окремі підприємства стали самостійно налагоджувати виробництво алюмінієвої катанки, закупаючи в Китаї ливарно-прокатні агрегати за вигідною ціною без достатнього технологічного супроводу і оснащення системами автоматизації. Проте відсутність чітких інструкцій, систем автоматичного регулювання, кадрів, здатних обслуговувати нове обладнання, істотно ускладнили пусконаладжувальні роботи і в цілому експлуатацію технологічної лінії безперервного лиття та прокатки. У зв'язку з цим виникла необхідність у розробленні практичних рекомендацій, які допомогли б на подібних підприємствах самостійно освоїти виробництво алюмінієвої катанки, зрозуміти алгоритми регулювання основних технологічних параметрів, роботу систем автоматизації і отримати певний досвід в управлінні та обслуговуванні. Щонайкраще виконання поставленого завдання можна реалізувати на базі імітатора, який моделює технологічний процес і надає інформацію про його стан через інтерфейс автоматизованої системи управління технологічними процесами (АСУТП)[27-28].

4.2 Вибір систем програмування та створення комп'ютерного засобу для імітаційного моделювання.

Для реалізації програмної частини тренажера-імітатора використовується програмний пакет Unity Pro [29]. Система Unity Pro - багатофункціональне програмне забезпечення для програмування, налагодження і оперативного управління ПЛК Modicon M340, Premium і Quantum, а також Atrium.

Система Unity Pro, що відповідає стандарту MEK 61131-3, має визнаними достоїнствами пакетів PL7 і Concept, і в її основу покладені відомі стандарти PL7 і Concept. Вона пропонує повний набір готових функцій для поліпшення продуктивності:

- сучасна функціональність;
- оптимальна стандартизація, що дозволяє повторно використовувати розробки;
- численні засоби тестування програми і поліпшення роботи системи;
- нові вбудовані засоби діагностики.

При розробці програми були враховані питання міграції існуючих додатків. Це дозволить істотно збільшити вигоду від використання програмного забезпечення з одночасним зменшенням витрат на навчання і величезним потенціалом для розробки та сумісності. Каталог Unity включає в себе спеціальне програмне забезпечення для підвищення продуктивності:

- відкритість для розробок на мові C або VBA (Visual Basic для додатків);
- розробка і створення додатків з інтеграцією ПЛК / людино-машинного інтерфейсу.

Дане програмне забезпечення обрано для створення тренажера-імітатора через те що система автоматизації технологічного процесу з виробництва катанки розроблена на базі контролера Modicon M340, який програмується за допомогою Unity Pro.

Для розробки графічної частини використовується програмний пакет TIA Portal V14 [30] — інтегроване середовище розробки програмного забезпечення систем автоматизації технологічних процесів від рівня приводів і контролерів до рівня людино-машинного інтерфейсу. Є втіленням концепції комплексної автоматизації (англ. Totally Integrated Automation) і еволюційним розвитком сімейства систем автоматизації Simatic компанії Siemens AG.

Програмне забезпечення порталу TIA Портал для рішень задач комплексної автоматизації на контрольних пристроях SIMATIC S7-1200 / -300 / -400 / WinAC (включаючи відмови). Піддерживається обладнання останнього і попереднього

покоління. Для програмованих цих контролерів на порталі TIA наявні наступні мови: LAD, FBD, STL, SCL, GRAPH (для S7-1200 тільки LAD, FBD і SCL).

Портал HMI в TIA може бути реалізований на базі SIMATIC Panel 70-их, 170-их, 270-их, 370-их, KP, KT і KTP, а також в режимі роботи на базі PC, а також в режимі роботи клієнт- серверних SCADA архітектура.

Постійний «легкий» варіант портал TIA передбачив лише для програмування SIMATIC S7-1200 та «базових» панелей оператора, орієнтованих на роботу з S7-1200. Активація тієї чи іншої функціональності порталу TIA відбувається з встановленням ліцензій. Далі слідує, а цінність ліцензії була знижена за порівнянням з пакетами минулого покоління з аналогічним функціоналом.

Даний програмний пакет використовується в створенні тренажера-імітатора через широкі можливості в створенні автоматизованих робочих місць для операторів.

4.4 Опис взаємодії програм Unity Pro xl та Tia Portal v14

Вибір та конфігурація контролеру.

Для даної лабораторної роботи обрано контролер M340 з наступною конфігурацією (рис. 4.1):

шасі — BMX XBP 0400;

модуль живлення — BMX CPS 2000 ;

процесорний модуль — BMX P34 2020 ;

модуль Ethernet — BMX NOE 0110.2;

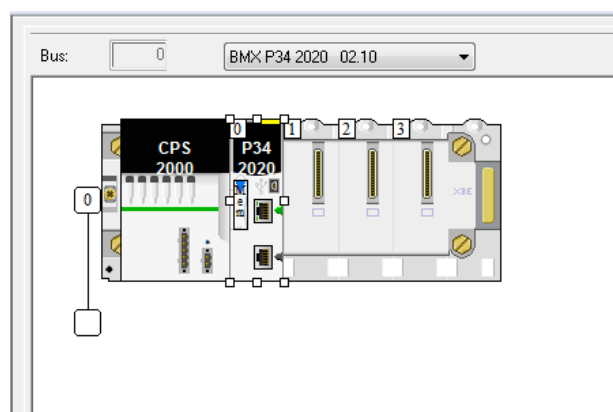


Рисунок 4.1 – Конфігурація контролеру у проекті Unity Pro.

Налаштування мережі Modbus TCP/IP.

Далі потрібно створити в “Structural view” у вкладці “Network” вкладки “Communication” створимо нову мережу (рис.4.2). Зв'язок між Unity Pro та TIA Portal V14 буде забезпечуватись за допомогою протоколу Modbus TCP/IP, який базується на Ethernet.

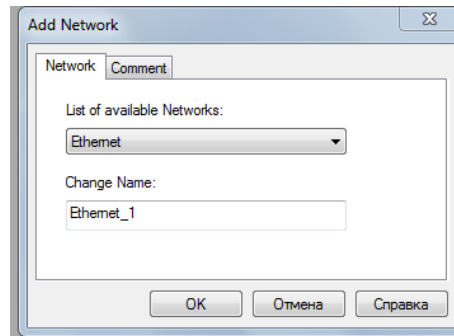


Рисунок 4.2 – Створення нової мережі Ethernet.

В налаштуваннях нової мережі потрібно вказати тип модулю в контролері, IP адресу, та маску під мережі Subnetwork mask (рис. 4.3):

тип модулю — CPU 2020; CPU2030 (>=V02.00),PRA 0100;

IP адреса — 127.0.0.1;

Subnetwork mask — 255.255.0.0.

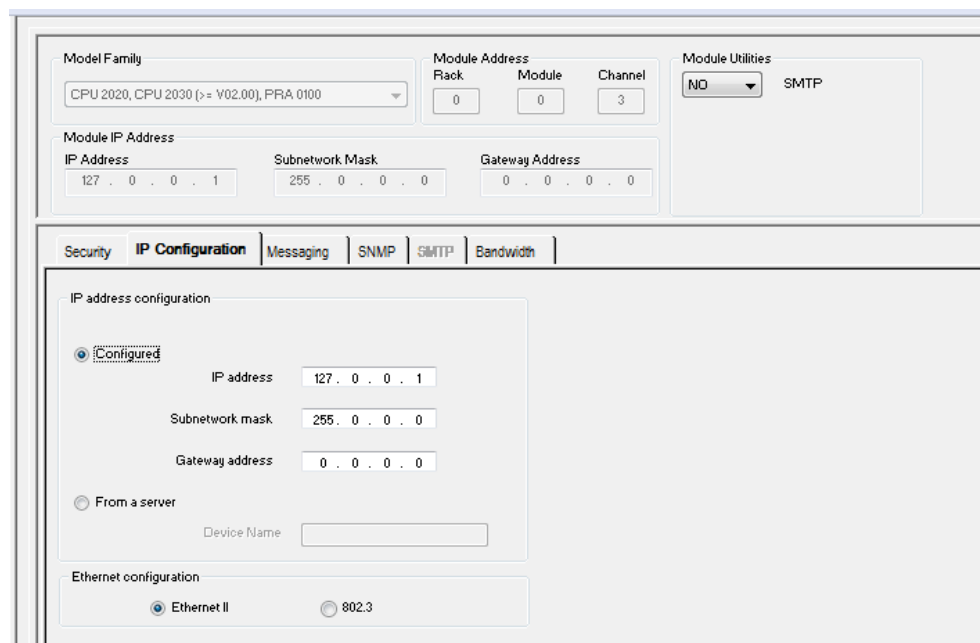


Рисунок 4.3 – Налаштування мережі Ethernet.

Далі саме цю мережу потрібно активувати в середині вибраного модулю Ethernet. Для цього потрібно зайти у вкладку Configuration, та заходимо до

налаштувань модулю, та обираємо вкладку Channel 0 та виставляємо наступні налаштування (рис.4.4):

Function — ETH TCP IP;

Net Link — Ethernet_1.

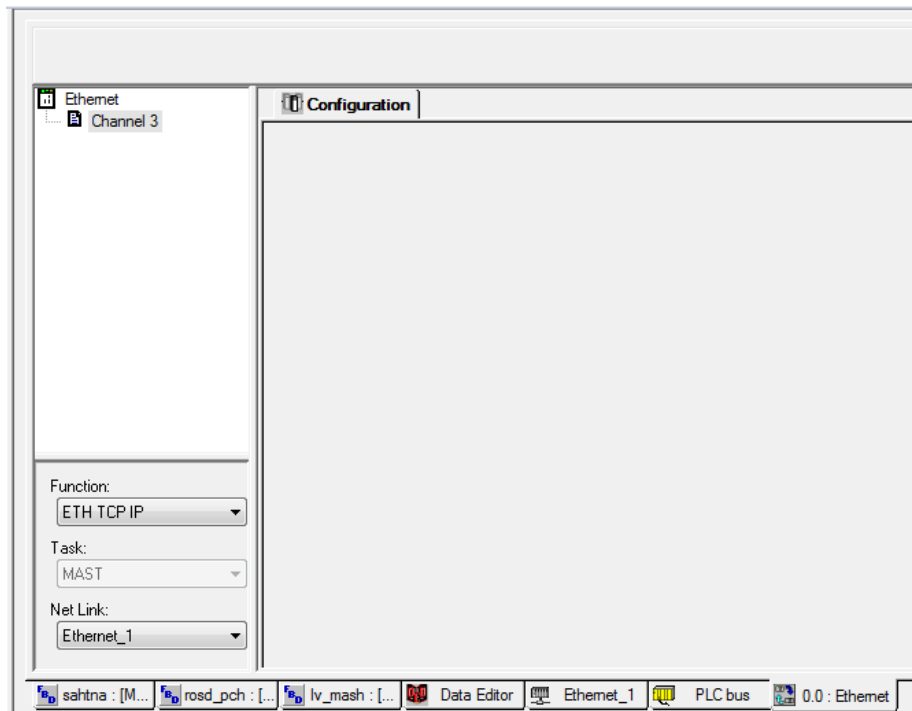


Рисунок 2.4 – Налаштування модулю BMX NOE 0110.2.

Усі змінні в проєкті UNITY PRO мають адресу типу MW. Змінні типу REAL нумеруються через 4 номери (%MW300 наступний %MW304) а типи BOO1 через 2 (%MW2 наступний %MW4)

В TIA Portal V14 в створеному для тренажера проєкті обираємо вкладку “Connections”.

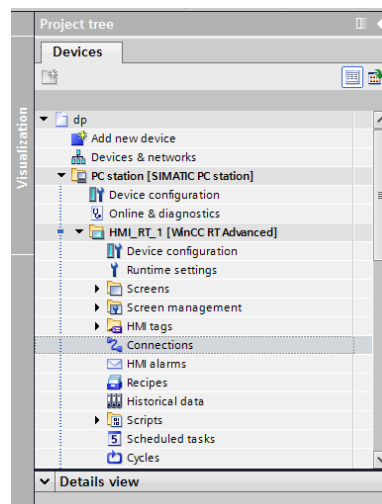


Рисунок 4.5 – Пртоєкт в TIA Portal V14.

Далі створюємо “New Connections”, для цього у вкладці “Communication driver” обираємо “Modbus TCP/IP” (рис.4.6). Вказуємо наступні налаштування:

CPU type: Unytu, PL7: Premium, Micro, Quantum, M340;

Port: 502;

Server: 127.0.0.1;

Remote slave address: 255;

Change word order: 0;

Use single write: 1.

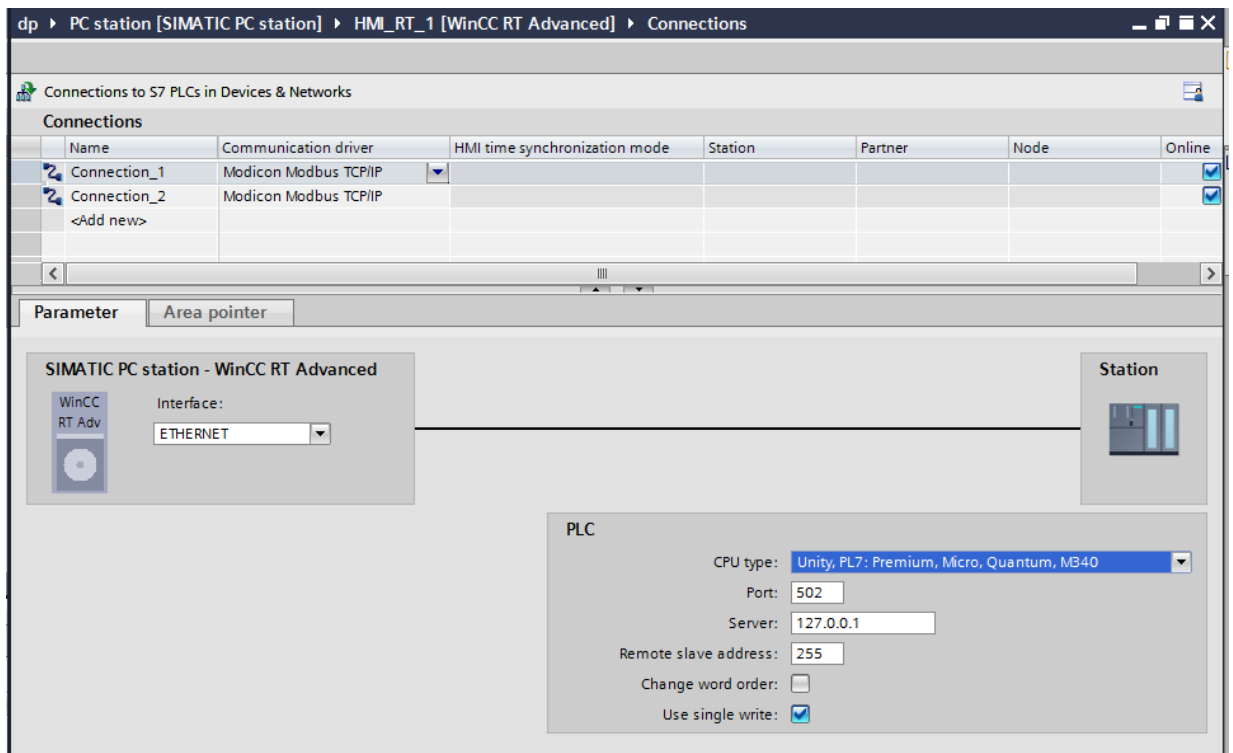


Рисунок 4.6 – Налаштування “Connections” в TIA Portal V14.

Змінні в TIA Portal V14 та UNITY PRO зіставляються за таблицею 4.2

Таблиця 4.2 Співвідношення змінних.

Тип змінної в UNITY PRO	Тип змінної в TIA Portal V14
REAL	FLOAT
BOOL	BIT
INT	INT

4.5 Глобальні змінні відображення та управління

Змінні в обох проектах (TIA Portal V14 та UNITY PRO) мають однакову назву та адреси, також список змінних (тегів) за для комфорту буде розділено на таблиці, кожна з яких буде зіставлятися з окремою частиною процесу лиття катанки.

Для роботи проекту використано наступні змінні:

- 6 змінних типу ARRAY[0..6000] OF REAL, зміна для роботи блоків транспортного запізнення;
- 176 змінних BOOL, логічна змінна для роботи з кнопками індикаторами, об'єктами анімації;
- 9 змінних типу INT, цілочисельна змінна для роботи об'єктів в ручному режимі;
- 123 змінних типу REAL, змінна з плаваючою точкою для відображення параметрів об'єкту.

З них 64 змінні не локалізовані (без адресні), та 250 адресних змінних для обміну даними між TIA Portal V14 та UNITY PRO див.табл. 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8.

Таблиця 4.3 Змінні для роботи шахтної печі

Тег	Тип даних	Адреса	Період опитування
vkl_vt	Bit	%MW0.0	1 s
upr_vrl_vt	Bit	%MW2.0	1 s
otkl_vt	Bit	%MW4.0	1 s
Riv_psh	Float	%MW8	1 s
Sagr	Bit	%MW11.0	1 s
Stop	Bit	%MW17.0	1 s
lag_f_gain_shtna	Float	%MW20	1 s
lag_f_t_sahtna	Float	%MW24	1 s

Продовження таблиці 4.4

Ter	Тип даних	Адреса	Період опитування
out_regtemp_sahtna	Float	%MW28	1 s
sahtna_m_a	Bit	%MW30.0	1 s
t_dtime_sahtna	Float	%MW34	1 s
temp_shtna	Float	%MW38	1 s
temp_shtna_sadan	Float	%MW42	1 s
var_2_vt	Bit	%MW44.0	1 s
spal_shtna_1	Bit	%MW46.0	100 ms
spal_shtna_2	Bit	%MW48.0	100 ms
spal_shtna_3	Bit	%MW50.0	100 ms
spal_shtna_4	Bit	%MW52.0	100 ms
sahtna_reg_nastr_on	Bit	%MW54.0	1 s
sahtna_reg_nastr_off	Bit	%MW56.0	1 s
Kp_reg_sahtna	Float	%MW58	1 s
Ti_reg_sahtna	Float	%MW62	1 s
var_gas_vh_kof	Float	%MW84	1 s
manual_sahtna	Int	%MW184	1 s
Shum_on_off	Bit	%MW190.0	1 s
Suum_t_sahtna	Float	%MW194	1 s
F_gs_mal	Float	%MW238	1 s
F_vh_mal	Float	%MW242	1 s
F_vh_vl	Float	%MW246	1 s
F_gs_vl	Float	%MW250	1 s
F_gas_sag	Float	%MW312	1 s
max_sone_sahtna	Float	%MW332	1 s
min_sone_sahtna	Float	%MW336	1 s
vkl_vt_1	Bit	%MW0.1	1 s
Var_lv_pokas_1	Bit	%MW482.0	1 s
Var_vsv_sahtna	Bool	<No Value>	1 s
Var_sahtna_sadan_1	Bit	%MW484.0	1 s
temp_shtna_sadan_var	Float	%MW488	1 s

Таблиця 4.5 Змінні роботи роздавальної печі №1

Ter	Тип даних	Адреса	Період опитування
Riv_ros_1	Float	%MW66	1 s
Stop_2	Bit	%MW68.0	1 s
Rosd_1	Bit	%MW70.0	1 s
Slv_1	Bit	%MW14.0	1 s
lag_f_gain_rosd_1	Float	%MW88	1 s
lag_f_t_rosd_1	Float	%MW92	1 s
out_regtemp_rosd_1	Float	%MW96	1 s
rosd_1_m_a	Bit	%MW98.0	1 s
t_dtime_rosd_1	Float	%MW102	1 s
temp_rosd_1	Float	%MW106	1 s
temp_rosd_1_sadan	Float	%MW110	1 s
var_gas_vh_kof_rosd_1	Float	%MW114	1 s
Kp_reg_rosd_1	Float	%MW118	1 s
rosd_1_reg_nastr_off	Bit	%MW120.0	1 s
rosd_1_reg_nastr_on	Bit	%MW122.0	1 s
Ti_reg_rosd_1	Float	%MW126	1 s
spal_rosd_1_1	Bit	%MW128.0	1 s
spal_rosd_1_2	Bit	%MW130.0	1 s
up_Slv_1	Bit	%MW132.0	1 s
manual_rosd_1	Int	%MW186	1 s
Shum_rosd_1_on_off	Bit	%MW196.0	1 s
Suum_rosd_1_t	Float	%MW202	1 s
otkl_vt_rosd_1	Bit	%MW208.0	1 s
upr_rosd_1_vt	Bit	%MW210.0	100 ms
vkl_vt_rosd_1	Bit	%MW212.0	1 s
var_4_vt	Bit	%MW214.0	1 s
F_gas_ros_1	Float	%MW304	1 s
max_sone_rosd_1	Float	%MW316	1 s
min_sone_rosd_1	Float	%MW320	1 s
temp_rosd1_sadan_var	Float	%MW494	1 s
Var_rosd_1_sadan	Bit	%MW490.0	1 s
Var_vsv_rosd_1	Bool	<No Value>	1 s

Таблиця 4.6 Змінні роботи роздавальної печі №2.

Ter	Тип даних	Адреса	Період опитування
Rosd_2	Bit	%MW72.0	1 s
Riv_ros_2	Float	%MW76	1 s
Slv_2	Bit	%MW78.0	1 s
Stop_3	Bit	%MW80.0	1 s
Kp_reg_rosd_2	Float	%MW136	1 s
lag_f_gain_rosd_2	Float	%MW140	1 s
lag_f_t_rosd_2	Float	%MW144	1 s
out_regtemp_rosd_2	Float	%MW148	1 s
rosd_2_m_a	Bit	%MW150.0	1 s
rosd_2_reg_nastr_off	Bit	%MW152.0	1 s
rosd_2_reg_nastr_on	Bit	%MW154.0	1 s
t_dtime_rosd_2	Float	%MW158	1 s
temp_rosd_2	Float	%MW162	1 s
temp_rosd_2_sadan	Float	%MW166	1 s
Ti_reg_rosd_2	Float	%MW170	1 s
var_gas_vh_kof_rosd_2	Float	%MW174	1 s
spal_rosd_2_1	Bit	%MW176.0	1 s
spal_rosd_2_2	Bit	%MW178.0	1 s
up_Slv_2	Bit	%MW180.0	1 s
manual_rosd_2	Int	%MW188	1 s
Shum_rosd_2_on_off	Bit	%MW198.0	1 s
Suum_rosd_2_t	Float	%MW206	1 s
otkl_vt_rosd_2	Bit	%MW216.0	1 s
upr_rosd_2_vt	Bit	%MW218.0	1 s
vgl_vt_rosd_2	Bit	%MW220.0	1 s
var_6_vt	Bit	%MW222.0	1 s
F_gas_ros_2	Float	%MW308	1 s
max_sone_rosd_2	Float	%MW324	1 s
min_sone_rosd_2	Float	%MW328	1 s

Таблиця 4.7 Змінні роботи ливарної машини

Ter	Тип даних	Адреса	Період опитування
Start_lv_mh	Bit	%MW224.0	1 s
lv_mh_kl1	Bit	%MW226.0	100 ms
Stop_lv_mh	Bit	%MW228.0	1 s
lv_var_1	Bit	%MW230.0	1 s
Lv_Rosd_1	Bit	%MW232.0	1 s
Lv_Rosd_2	Bit	%MW234.0	1 s
T_sg_Lv_mash_sadan	Float	%MW254	1 s
Qsag_Lv_mash	Float	%MW258	1 s
Lv_mash_m_a	Bit	%MW260.0	1 s
manual_Lv_mash	Int	%MW264	1 s
Lv_mash_reg_nastr_off	Bit	%MW278.0	1 s
Lv_mash_reg_nastr_on	Bit	%MW280.0	1 s
Kp_reg_Lv_mash	Float	%MW284	1 s
Ti_reg_Lv_mash	Float	%MW288	1 s
Del_t_Lv_mash	Float	%MW292	1 s
G_rop_Lv_mash	Float	%MW296	1 s
G_vd_Lv_mash	Float	%MW300	1 s
lag_f_gain_Lv_mash	Float	%MW394	1 s
lag_f_t_Lv_mash	Float	%MW398	1 s
t_dtime_Lv_mash	Float	%MW402	1 s
Suum_Lv_mash_t	Float	%MW406	1 s
max_sone_Lv_mash	Float	%MW410	1 s
min_sone_Lv_mash	Float	%MW412	1 s
Lv_mash_shum_on_off	Bit	%MW418.0	1 s
Qsag_Lv_mash_sadan_var1	Float	%MW422	1 s
Var_sag_1_lv_mash	Bit	%MW426.0	1 s
Var_sag_2_lv_mash	Bit	%MW428.0	1 s
Var_sag_3_lv_mash	Bit	%MW430.0	1 s
Var_sag_4_lv_mash	Bit	%MW432.0	1 s
Var_sag_5_lv_mash	Bit	%MW434.0	1 s
Var_sag_6_lv_mash	Bit	%MW436.0	1 s
Var_sag_7_lv_mash	Bit	%MW438.0	1 s
Var_sag_8_lv_mash	Bit	%MW440.0	1 s

Продовження таблиці 4.7

Ter	Тип даних	Адреса	Період опитування
Var_sag_9_lv_mash	Bit	%MW442.0	1 s
Var_sag_10_lv_mash	Bit	%MW444.0	1 s
Var_sag_11_lv_mash	Bit	%MW446.0	1 s
Var_sag_12_lv_mash	Bit	%MW448.0	1 s
Var_sag_13_lv_mash	Bit	%MW450.0	1 s
Var_sag_14_lv_mash	Bit	%MW452.0	1 s
Var_sag_15_lv_mash	Bit	%MW454.0	1 s
Var_sag_16_lv_mash	Bit	%MW456.0	1 s
Var_sag_17_lv_mash	Bit	%MW458.0	1 s
Var_sag_18_lv_mash	Bit	%MW460.0	1 s
Var_sag_19_lv_mash	Bit	%MW462.0	1 s
Var_sag_20_lv_mash	Bit	%MW464.0	1 s
Var_sag_21_lv_mash	Bit	%MW466.0	1 s
Var_sag_22_lv_mash	Bit	%MW468.0	1 s
Var_sag_23_lv_mash	Bit	%MW470.0	1 s
Var_sag_24_lv_mash	Bit	%MW472.0	1 s
Var_sag_25_lv_mash	Bit	%MW474.0	1 s
Var_sag_26_lv_mash	Bit	%MW476.0	1 s
Var_sag_27_lv_mash	Bit	%MW478.0	1 s
Var_sag_28_lv_mash	Bit	%MW480.0	1 s
Level_Tanks_lv_mash	Float	%MW498	1 s
out_reg_lvl_tanks	Float	%MW672	1 s
lvl_tanks_reg_nastr_off	Bit	%MW676.0	1 s
lvl_tanks_reg_nastr_on	Bit	%MW678.0	1 s
Kp_reg_lvl_tanks	Float	%MW680	1 s
Ti_reg_lvl_tanks	Float	%MW684	1 s
lvl_tank_sadan	Float	%MW688	1 s
Add_V_lv_maswh	Bit	%MW694.0	1 s
Sub_V_lv_maswh	Bit	%MW696.0	1 s
lv_mh_kl2	Bit	%MW698.0	100 ms
lv_mh_kl3	Bit	%MW700.0	100 ms
lv_mh_kl4	Bit	%MW702.0	100 ms
sahtna_sagr	Bit	%MW704.0	1 s
Rosd_1_sagr	Bit	%MW706.0	1 s

Rosd_2_sagr	Bit	%MW708.0	1 s
-------------	-----	----------	-----

Таблиця 4.8 Змінні роботи прокатного стану.

Тег	Тип даних	Адреса	Період опитування
D_katan	Float	%MW340	1 s
Dovgina_sag	Float	%MW344	1 s
Pr_stan_dov_sad	Float	%MW348	1 s
Q_vh	Float	%MW352	1 s
V_lv_maswh	Float	%MW356	1 s
N_stana	Float	%MW360	1 s
pr_stan_kl1	Bit	%MW362.0	100 ms
Kp_reg_Pr_stan	Float	%MW366	1 s
Ti_reg_Pr_stan	Float	%MW370	1 s
temp_sag_vh_stan	Float	%MW374	1 s
temp_sag_vh_stan_sadana	Float	%MW378	1 s
lag_f_gain_temp_sag_vh_stan	Float	%MW268	1 s
lag_f_t_temp_sag_vh_stan	Float	%MW272	1 s
t_dtime_temp_sag_vh_stan	Float	%MW276	1 s
Kp_reg_Pr_stan_sag	Float	%MW382	1 s
Ti_reg_Pr_stan_sag	Float	%MW386	1 s
Pr_stan_sag_reg_nastr_on	Bit	%MW388.0	1 s
Pr_stan_sag_reg_nastr_off	Bit	%MW390.0	1 s
Pr_stan_mash_m_a	Bit	%MW640.0	1 s
manual_N_stana_s	Int	%MW644	1 s
regtem_stan_sag_m_a	Bit	%MW648.0	1 s
manual_stan_sag	Int	%MW652	1 s
Nosn	Bit	%MW660.0	1 s
Var_Nosn	Bit	%MW662.0	1 s
Var_pr_stan	Bit	%MW692.0	1 s

Таблиця 4.8 Змінні роботи гартувального пристрою.

Тег	Тип даних	Адреса	Період опитування
lag_f_gain_temp_sag_sagart_pr	Float	%MW502	1 s
lag_f_t_temp_sag_sagart_pr	Float	%MW506	1 s
out_regtem_sagart_pr	Float	%MW510	1 s

Продовження таблиця 4.8

Тег	Тип даних	Адреса	Період опитування
t_dtime_temp_sag_sagart_pr	Float	%MW514	1 s
T_sag_sagart_pr	Float	%MW518	1 s
temp_sag_sad_sagart_pr	Float	%MW522	1 s
temp_sag_sagart_pr	Float	%MW526	1 s
sagart_pr_sag_reg_nastr_on	Bit	%MW528.0	1 s
sagart_pr_sag_reg_nastr_off	Bit	%MW530.0	1 s
Kp_reg_sagart_pr	Float	%MW534	1 s
Ti_reg_sagart_pr	Float	%MW538	1 s
sagart_pr_m_a	Bit	%MW542.0	1 s

4.6 Архітектура імітаційної моделі.

Імітаційна модель складається з ряду програмних листів в UNITY PRO які реалізують функції імітації та управління роботою кожної окремої ділянки лінії прокатки та проекту в TIA Portal V14 в якому реалізовані функції візуалізації (рис.4.7) [31].

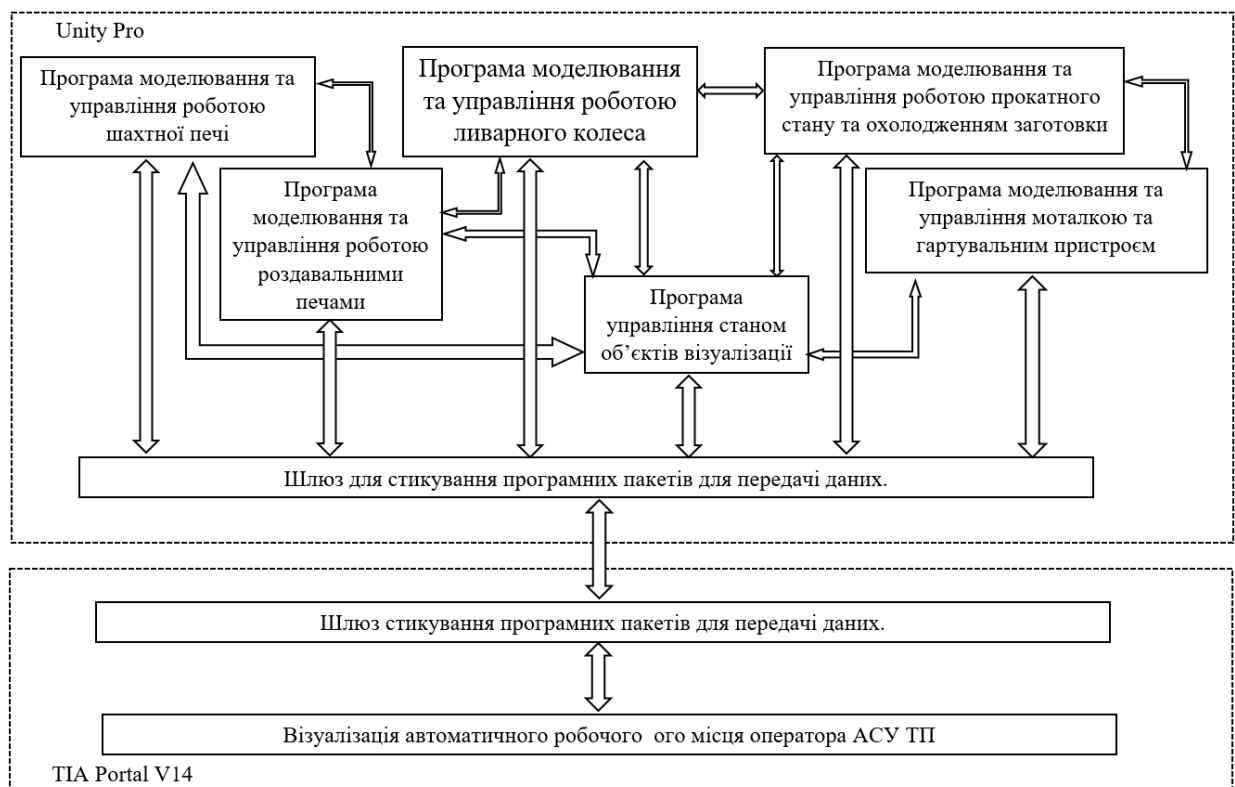


Рисунок 4.7 – Архітектура імітаційної моделі АСУТП з виробництва алюмінієвої катанки наливарно-прокатному агрегаті

4.6.1 Програмні листи імітації та управління роботою окремих ділянок лінії прокатки.

4.6.1.1 Програма моделювання та управління роботою шахтної печі.

В даному програмному листі моделюється одноконтурна система регулювання температури в шахтній печі. Додатково до цієї системи додається імітація випадкових збурень, та алгоритм блокування зливу розплаву. Також передбачена зміна настройок ПІ регулятора, та коефіцієнтів об'єкту.

Шахтна піч моделюється аперіодичною ланкою першого роду з транспортним запізненням:

$$W_{(p)} = \frac{K}{T_p + 1} \cdot e^{-\tau p} \quad (4.1)$$

де: k — коефіцієнт передачі об'єкту ;

T_p — постійна часу об'єкту ;

τ — час транспортного запізнення.

Для шахтної печі обрані наступні коефіцієнти:

k — 2,7;

T_p — 32с;

τ — 13с.

На рисунку 4.8 зображено програму моделювання та управління роботою шахтної печі та її основні секції.

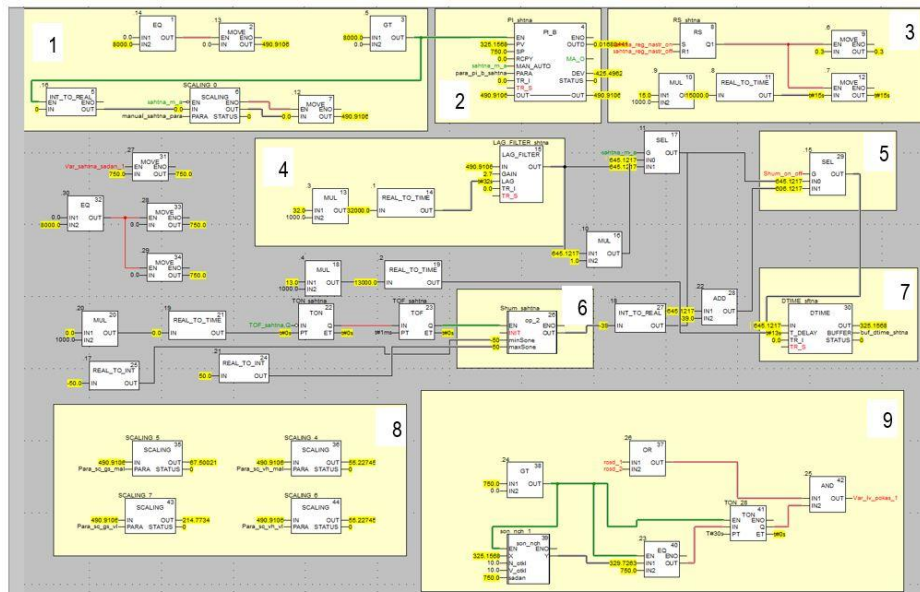


Рис.4.8 – Програма моделювання роботи шахтної печі.

На рисунку 4.9 показано частину програми за номером 1 (рис.4.8), тут реалізуються функції увімкнення в роботу програми за допомогою блоку за номером 3, цей блок вмикає в роботу шахтну піч коли рівень сировини для розплаву в ній більший за 0.0. Також тут реалізується робота шахтної печі в ручному режимі роботи, блок масштабування (6) який перетворює сигнал з АРМ оператора який змінюється від 0 до 100 а проходячи через блок масштабування змінюється в діапазоні 0 до 400.

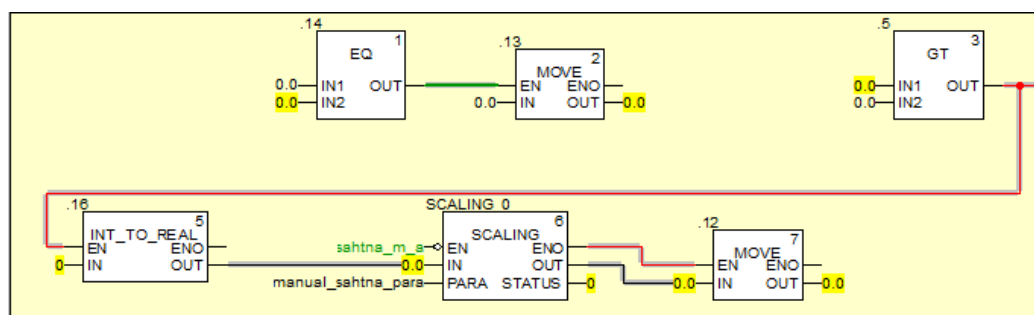


Рисунок 4.9 – Частина програми управління роботою шахтної печі за №1.

За №2 в програмі позначено ПІ регулятор, він вмикається в роботу як і вся інша частина програми коли рівень сировини для розплаву в ній більший за 0.0.

За № 3 (рис.4.10.) в програмі позначено частину яка відповідає за зміну настройок ПІ регулятора блоки за номером 9 та 12 привласнюють встановленні з АРМ настройки настройкам в середині ПІ регулятора. Блок за номером 11 потрібен для коректного задання налаштування часу інтегрування, він перетворює

сигнал типу REAL в TIME так як з АРМ сигнал задається стандартним числом а регулятору потрібно значення часового формату.

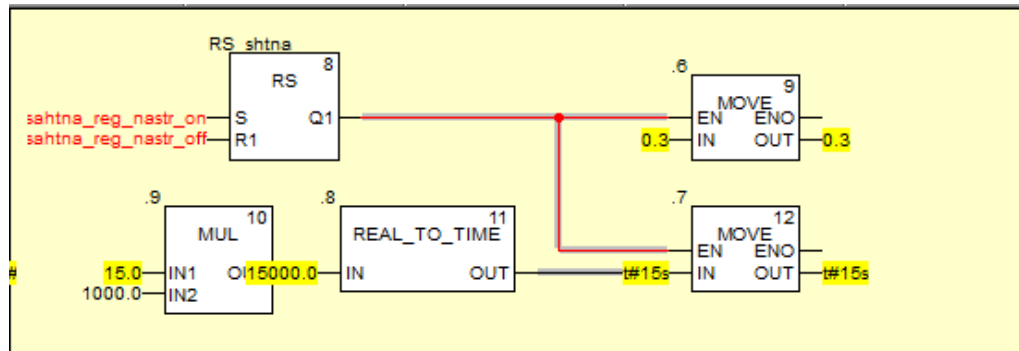


Рисунок 4.10 – Зміна настройок ПІ регулятора.

За №4 та №6 (рис.4.11) реалізована модель об'єкту за формулою 4.1.

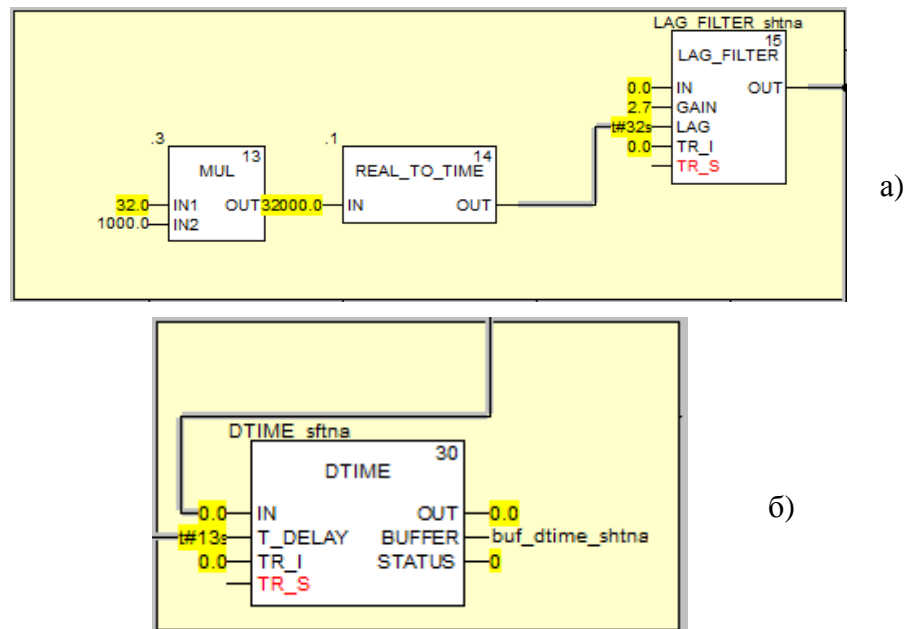


Рисунок 4.11 – Аперіодична ланка 1 роду (а) транспортне запізнення (б).

За № 5 блок який виконує переключання з нормального режиму роботу в режим роботи з формуванням випадкових збурень.

За №7 (рис.4.12) блок який формує випадкові збурення. Даний блок один раз в заданий оператором час формує випадкове число в заданому діапазоні яке в залежності від знаку додається або віднімається від контрольованого параметру [32].

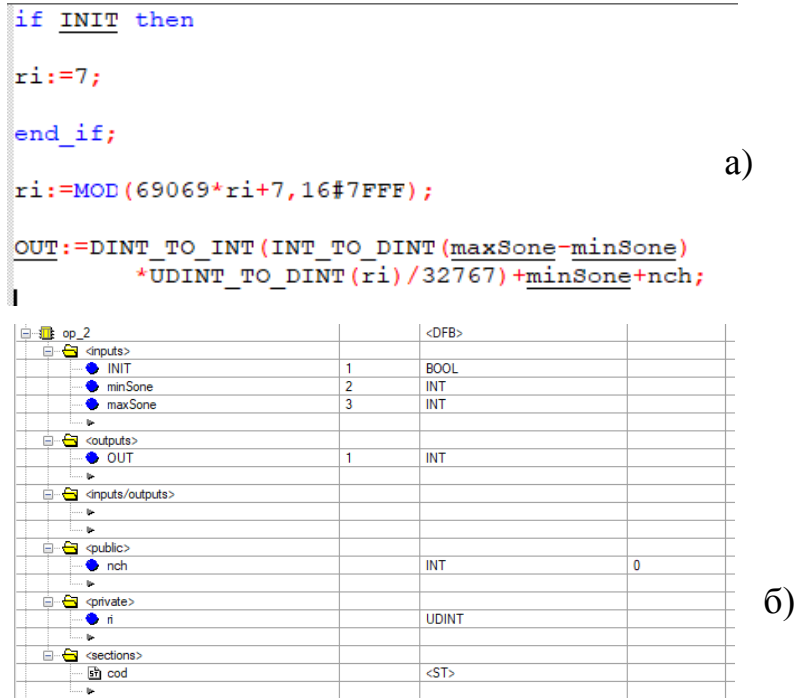


Рисунок 4.12 – Код в середині блоку (а) та його входи та виходи (б).

За №8 позначено ряд блоків для масштабування які потрібні для відображення роботи витрат повітря та газів на пальники.

За №9 показано частину програми яка відповідає за злив розплаву з шахтної печі до однієї з роздавальних печей рисунок 4.13.

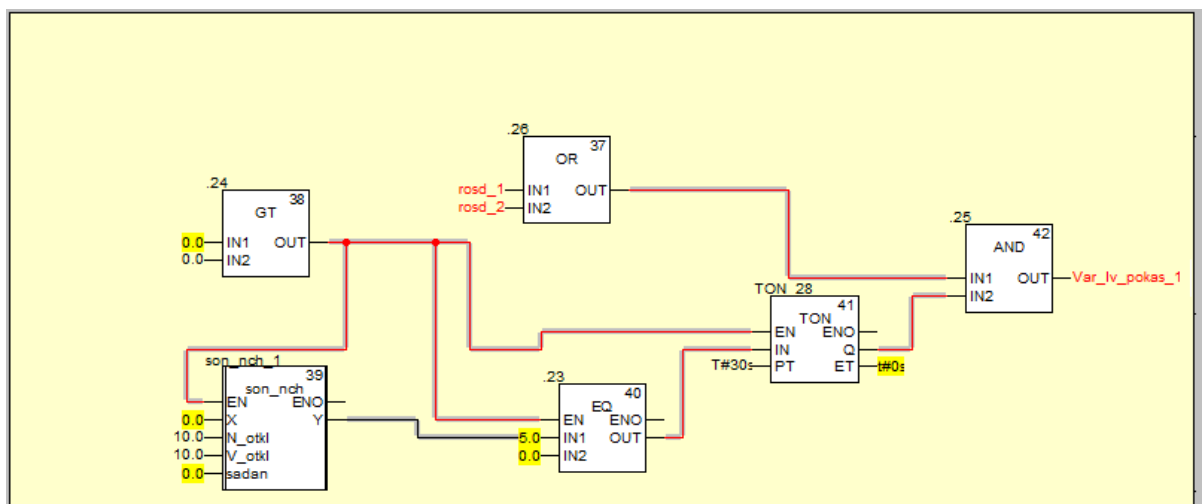


Рисунок 4.13 – Частина за номером № 9.

Дана частина програми працює в тому випадку коли рівень розплаву в роздавальній печі вище 0.0. Основним тут є блок під номером 39, це функціональний блок користувача який реалізує роботу зони нечутливості. На вхід блока приходять параметр температури в шахтній печі та завдання а також мінімальне та максимальне відхилення. Коли параметр температури в заданих

рамках вихід блоку рівний завданню, як тільки параметр температури виходить за вказані межі вихід блоку стає рівним поточному значенню температури. Коли вихід даного блоку є рівним заданню починає працювати таймер, який після 30с активується відповідна змінна яка дозволяє злив розплаву з шахтної печі до обраної роздавальної.

Алгоритм роботи блоку: спочатку вираховується нижня та верхня межі зони нечутливості шляхом віднімання від завдання заданих меж та присвоєння це внутрішнім змінним блоку. Далі якщо контрольована змінна знаходиться в межах визначених цією змінною то виходу блоку присвоюється значення змінної завдання, якщо параметр на вході виходить за межі то вихід блоку стає рівним вхідному параметру. На рисунку 4.14 зображено структуру блоку, та код в середині нього.

```

Var_n:=sadan-N otkl;
Var_v:=sadan+V otkl;

IF X>=Var_n and X<=Var_v THEN

Y:=sadan;

else

Y:=X;

END_IF;
```

a)

<inputs>				
X	1	REAL		
N_otkl	2	REAL		
V_otkl	3	REAL		
sadan	4	REAL		
>				
<outputs>				
Y	1	REAL		5
>				
<inputs/outputs>				
>				
<public>				
Var_n		REAL		
Var_v		REAL		
>				
<private>				
>				
<sections>				
va		<ST>		

б)

Рисунок 4.14 – Код в середині блоку (а) та його входи та виходи (б).

Дана програма майже ідентична для обох роздавальних печей за винятком частин програм які відповідають за пуск програм у роботу. Коефіцієнти для обох роздаточних печей ідентичні:

k — 15;

T_p — 25с;

τ — 10с.

4.6.1.2 Програма моделювання та управління ливарного колеса.

В даному програмному листі моделюється комбінована система регулювання теплового режиму кристалізатору [33]. Додатково до цієї системи додається імітація випадкових збурень. Також передбачена зміна настройок ПІ регулятора, та коефіцієнтів об'єкту. На рисунку 4.15 зображено програму моделювання та управління роботою ливарного колеса.

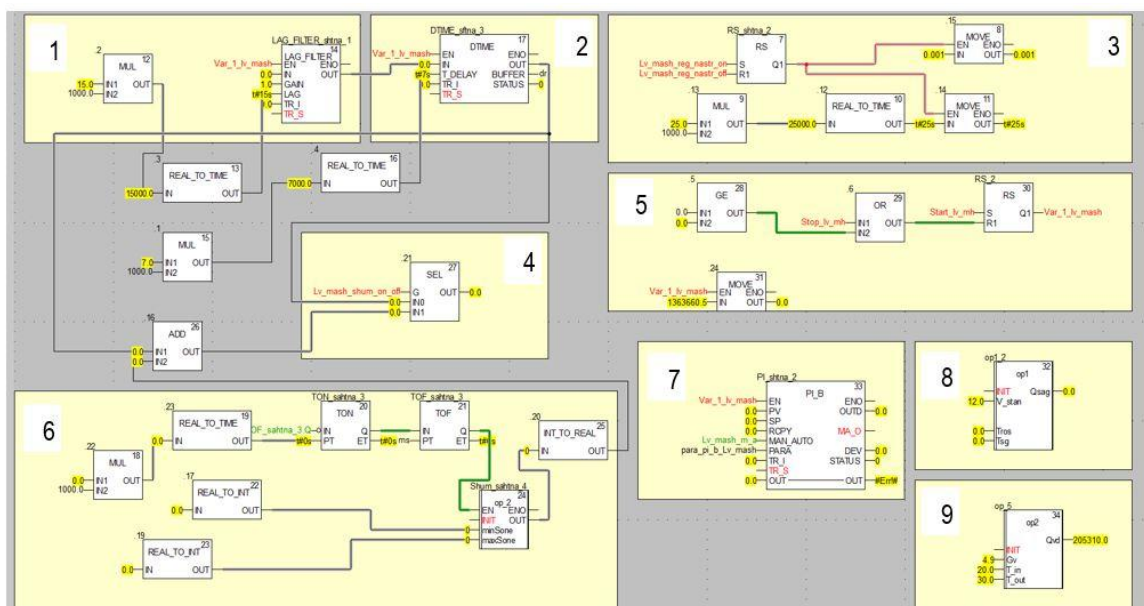


Рисунок 4.15. – Програма моделювання та управління роботою ливарного колеса.

За №1 та №2 зображено аперіодичну ланку першого роду з транспортним запізненням (форм. 4.1). Для ливарного колеса обрані наступні коефіцієнти:

k — 1;

T_p — 15с;

τ — 14с.

№3 частина програми для зміни настройок регулятора. №4 блок який виконує переключання з нормального режиму роботу в режим роботи з формуванням випадкових збурень. №5 частина яка включає програму в роботу. №7 частина програми яка формує випадкові збурення. За №7 Пі регулятор.

№8 блок розрахунку кількості теплоти, що виноситься із заготовкою з кристалізатора за формулою 4.2 [34].

$$Q_{заг} = \rho \frac{V}{60} \cdot F \cdot h_{роз} - G_{роз} \cdot (h_{роз} - h_{заг}), \quad (4.2)$$

де – $G_{роз} \cdot (h_n - h_k)$ – теплота, що віддається гарячим теплоносієм, Вт;

$G_{роз}$ – витрата розплаву, що визначається продуктивністю агрегату та швидкістю лиття, кг/с;

$h_n = L + c_n \cdot T_{роз}$ – ентальпія сплаву на початку виливниці, Дж/кг;

$h_k = L + c_k \cdot T_{заг}$ – ентальпія сплаву у кінці виливниці, Дж/кг;

$T_{роз}$ – початкова та $T_{заг}$ – кінцева температура алюмінієвого сплаву у виливниці, °С;

c_n , c_k – теплоємність алюмінієвого сплаву, відповідно, для початкової та кінцевої температур, Дж/(кг·°С);

На рисунку 4.16 показано код та входи і виходи блоку.

a)

```

if V_stan>0.0 and Tros>0.0 and Tsg>10.0 and init then
  Qsag:=((p_met*V_stan)/60.0)*F*(L+C_met*(Tros+273.0))
  -(G_ros*((L+C_met*(Tros+273.0))-(L+C_sg*(Tsg+273.0))));
else
  Qsag:=0.0;
end_if;

```

b)

op1		<DFB>	
<inputs>			
INIT	1	BOOL	
V_stan	2	REAL	
Tros	5	REAL	
Tsg	6	REAL	
>			
<outputs>			
Qsag	1	REAL	
>			
<inputs/outputs>			
>			
<public>			
C_sg		REAL	1027.0
L		REAL	362300
C_met		REAL	1250.0
p_met		REAL	2700.0
F		REAL	0.0023
G_ros		REAL	1.26
>			
<private>			
>			
<sections>			
op1		<ST>	

Рисунок 4.16 – Код в середині блоку (а) та його входи та виходи (б).

№9 блок розрахунку і кількості теплоти, що втрачається з охолодною водою за формулою 4.3.

$$Q_{вод} = c_{в} \cdot G_{в} \cdot \Delta T_{в} \quad (4.3)$$

де $Q_{вод}$ – кількість теплоти;

$c_{в}$ – питома теплоємність води

$G_{в}$ – витрати води

$\Delta T_{в}$ – різниця між температурою на вході та виході ливарного колеса.

На рисунку 4.17 показано код та входи і виходи блоку.

<code>if INIT then</code>			
<code> Qvd:=0.0;</code>			
<code>end_if;</code>			
<code>if Gv>0.0 and T_in>0.0 and T_out>0.0 then</code>			
<code> Qvd:=C_vd*Gv*abs(T_in-T_out);</code>			
<code>end_if;</code>			

op2		<DFB>	
<input type="checkbox"/> <inputs>			
<input checked="" type="checkbox"/> INIT	2	BOOL	
<input checked="" type="checkbox"/> Gv	3	REAL	
<input checked="" type="checkbox"/> T_in	4	REAL	
<input checked="" type="checkbox"/> T_out	5	REAL	
<input type="checkbox"/> <outputs>			
<input checked="" type="checkbox"/> Qvd	1	REAL	
<input type="checkbox"/> <inputs/outputs>			
<input type="checkbox"/> <public>			
<input checked="" type="checkbox"/> C_vd		REAL	4190.0
<input type="checkbox"/> <private>			
<input type="checkbox"/> <sections>			
<input checked="" type="checkbox"/> op2		<ST>	

а)

б)

Рисунок 4.17 – Код в середині блоку (а) та його входи та виходи (б).

4.6.1.3 Програма моделювання та управління довжиною заготовки і охолодженням її в процесі прокатки.

В даному програмному листі моделюється одноконтурна система регулювання довжиною заготовки між прокатним станом та ливарним колесом. Також передбачена зміна настройок ПІ регулятора, та коефіцієнтів об'єкту.

На рисунку 4.18 показано програмний лист для імітації роботи та управління формування заготовки та регулювання її довжини.

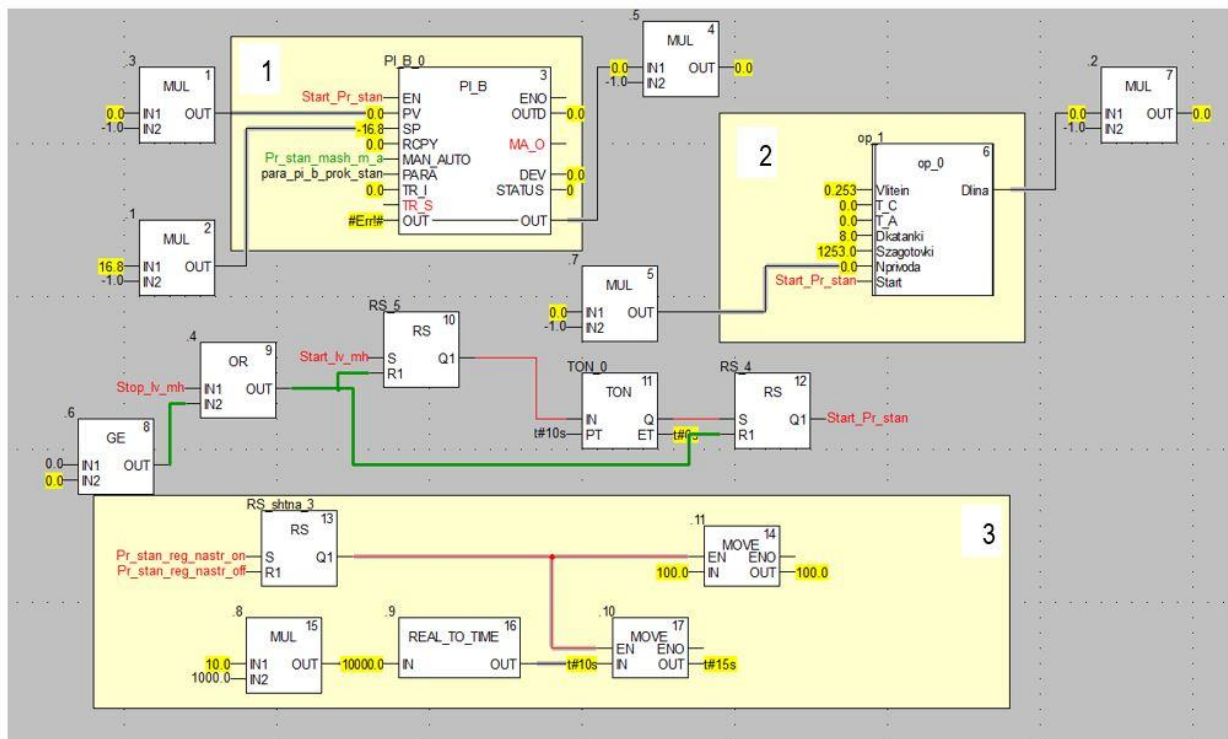


Рисунок 4.18 – Програма імітації формування заготовки та регулювання її довжини.

За №1 ПІ регулятор. №2 блок розрахунку поточної довжини заготовки, даний блок реалізує формулу 4.4. [35], також даний блок реалізує роботу механічних ножиць, які за технологією повинні зрізати перші 10 метрів заготовки при початку роботи.

$$L = L_{zag.} + \left(V_{Л} \cdot c_1 (T_C - T_A) + V_{Л} - \frac{c_2 n}{\lambda} \right) \cdot k \Delta t, \quad (4.6)$$

де L - загальна довжина алюмінієвої заготовки, м;

$L_{zag.} = V_{Л} \cdot \Delta t$ - базова довжина отриманого зливка за цикл лиття, м;

$V_{Л}$ - лінійна швидкість заготовки на виході з ливарного колеса, м/с;

c_1 - коефіцієнт температурного подовження алюмінію;

T_C - температура зливка на виході з ливарного колеса, К;

T_A - температура металу на вході в ливарне колесо, К;

k - кількість циклів лиття;

c_2 - коефіцієнт передачі швидкості прокатного стана;

n – швидкість обертання електропривода;

λ - коефіцієнт витяжки прокатного стана;

Δt – цикл лиття, с

На рисунку 4.19 показано код в середині даного блоку (а) та його структура

(б).

```

if V_stan>0.0 and Tros>0.0 and Tsg>10.0 then
Qsag:=((p_met*v_stan)/60.0)*F*(L+C_met*(Tros+273.0))
F((G_ros*(L+C_met*(Tros+273.0))-(L+C_sg*(Tsg+273.0)));
else
Qsag:=0.0;
end_if;
                    
```

a)

op1		<DFB>	
-inputs>			
INIT	1	BOOL	
V_stan	2	REAL	
Tros	5	REAL	
Tsg	6	REAL	
-outputs>			
Qsag	1	REAL	
-inputs/outputs>			
-public>			
C_sg		REAL	1027.0
L		REAL	362300
C_met		REAL	1250.0
p_met		REAL	2700.0
F		REAL	0.0023
G_ros		REAL	1.26
-private>			
-connections>			
op1		<ST>	

б)

Рисунок 4.19 – Код в середині блоку (а) та його входи та виходи (б).

На рисунку 4.20 показано програму імітації роботи САР охолодження заготовки в процесі прокатки.

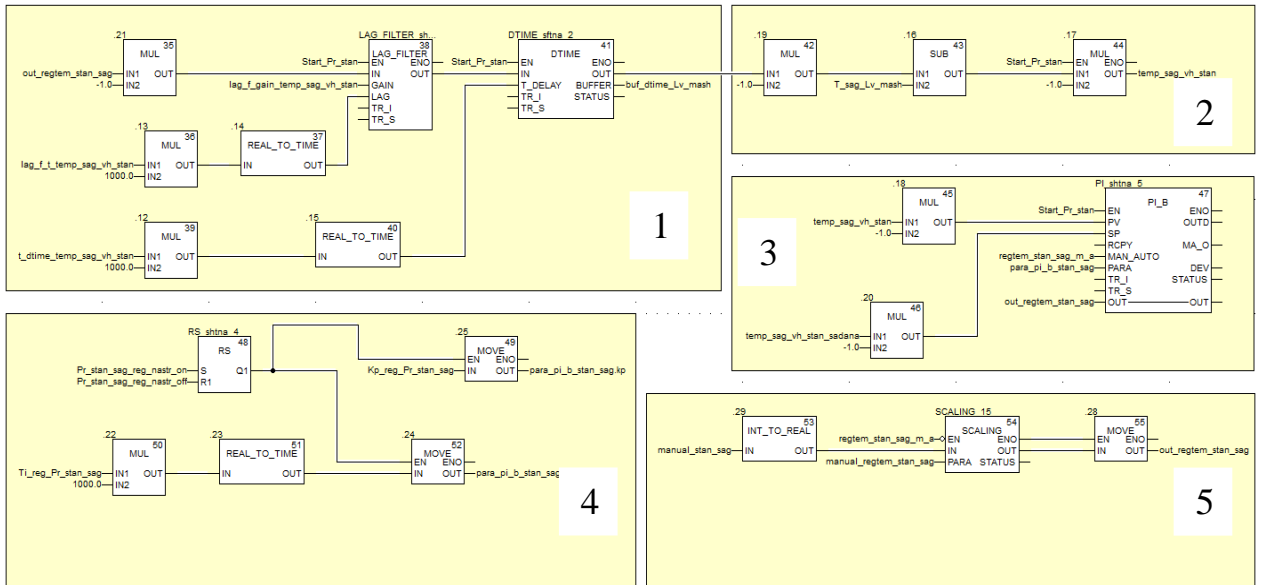


Рисунок 4.20 – Програма охолодження заготовки.

№1 аперіодична ланка першого роду та транспортне запізнення, які імітують об'єкт управління. Для ливарного колеса обрані наступні коефіцієнти:

$k — 2,0;$

$T_p — 15с;$

$\tau — 4с.$

№2 частина програми яка потрібна для інверсії параметру температури. Це потрібно для коректної роботи ПІ регулятора, тому що система температура заготовки на виході з прокатного стану буде мінімальною при максимальній витраті води, тобто регулятор видає максимальну величину впливу на об'єкт управління, і без інверсії вийде що регулятор видасть максимальну величину впливу а заготовка буде не охолоджуватися, а навпаки нагріватися. №3 ПІ регулятор. №4 зміна настройок ПІ регулятора. №5 реалізація роботи програми в ручному режимі.

4.6.1.4 Програма моделювання та управління роботою моталки та гартувальним пристроєм.

В даному програмному листі реалізована робота гартувального пристрою та моталки. Гартувальний пристрій майже ідентичний системі охолодження заготовки на виході з прокатного стану, з реалізацією зміни настройок ПІ регулятора, різниця між ними в параметрах запуску та в змінних для візуалізації значень температури. Система управління роботою моталки працює на логічних блоках та розрахунках на основі ряду формул.

На рисунку 4.21 показано програмний лист імітації роботи моталки.

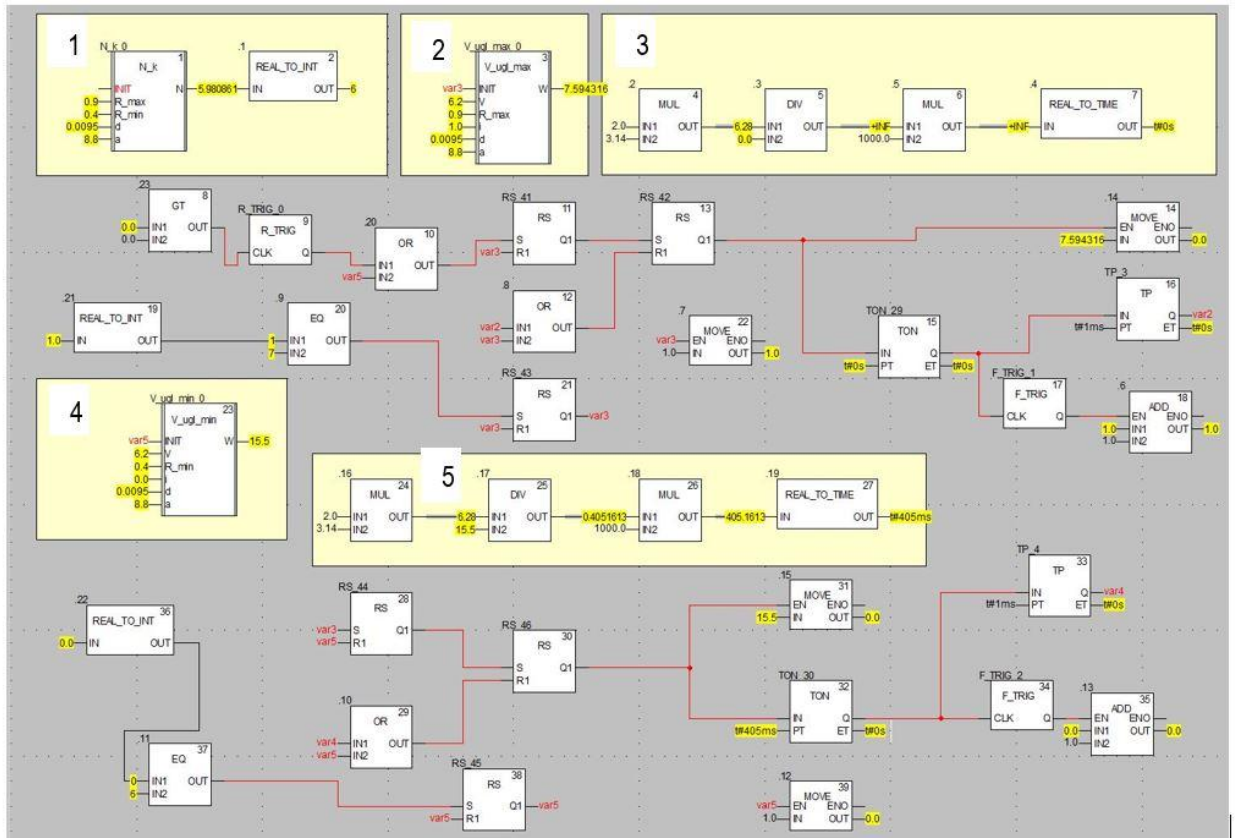


Рисунок 4.21 – Програма управління роботою моталки.

№1 даний функціональний блок (рис.4.22) розраховує кількість витків в одному шарі катанки при формуванні бухти за формулою 4.7. [36].

$$1 \leq i \leq m, m = \frac{R_{\max} - R_{\min}}{d \cdot \alpha}$$

(4.7)

де α – крок укладання витків;

R_{\max} – радіус максимального витка, м;

R_{\min} – радіус мінімального витка, м;

d – діаметр катанки, м.

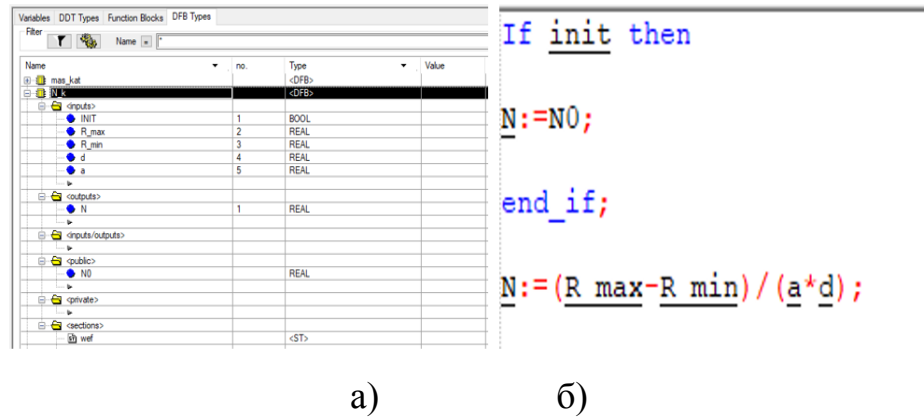


Рисунок 4.22 – Код в середині блоку «N_k» (б), та його входи та виходи (а).

№2 та №4 блоки (рис.4.23) потрібні для розрахунку кутової швидкості для укладки катанки від центру та до центру бухти. Дані блоки мають майже ідентичну структуру, за винятком назви самих блоків назви, параметрів мінімального та максимального радіусів та знаку в формулі розрахунку (див. форм. 4.8).

$$\omega_i = \frac{V}{R_{\max(\min)} \mp (i-1)d \cdot \alpha}, \quad (4.7)$$

де ω_i – кутова швидкість обертання проводки, рад/с;

V – швидкість подачі катанки, м/с;

R_{\max} – радіус максимального витка, м;

R_{\min} – радіус мінімального витка, м;

d – діаметр катанки, м.

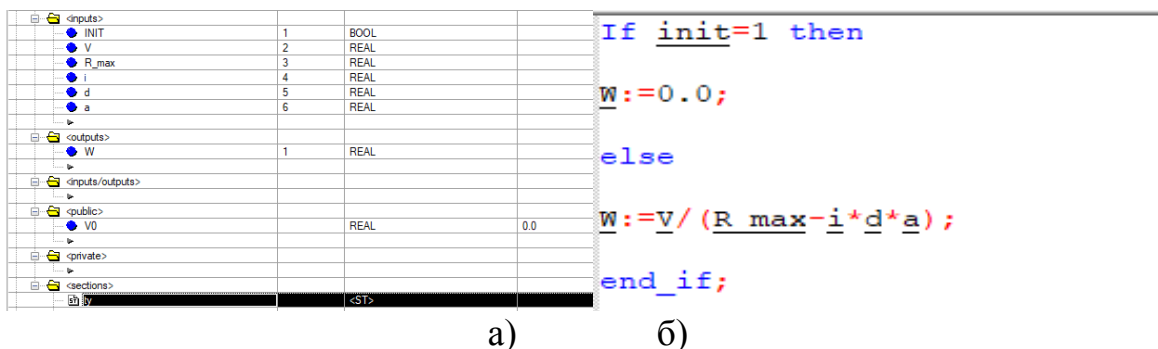


Рисунок 4.23 – Код в середині блоку «V_ugl_max» та «V_ugl_min» (б), та його входи та виходи (а).

№2 та №4 частини (рис.4.24) програм які реалізують формулу 4.8, дана частина програми потрібна для розрахунку часу який кутова швидкість буде перерахована.

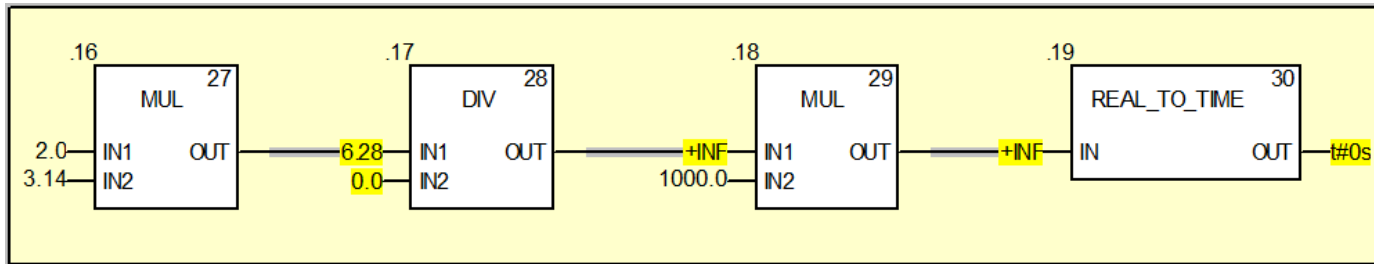


Рисунок 4.24 – Частина програми яка розраховує час для кожного значення кутової швидкості.

Виходячи з усіх вище приведених даних моталка працює наступним чином: блок «N_k» розраховує кількість витків у одному шарі, дане значення приходить до блоків за номерами 20 та 37, дані блоки виконують функцію скидання роботи ліній по укладці проволки від центру до краю та від краю до центру. Блоки «V_ugl_max» та «V_ugl_min» розраховують кутову швидкість з якою моталка повинна працювати спочатку від центру до краю і назад. Дані блоки перераховують кутову швидкість кожного разу коли змінна «i» збільшує своє значення на 1, данна зміна відповідає номеру витку який укладається. Змінна «i» збільшується на одну одиницю кожного разу коли збігає час розрахований частиною програми на рисунку 4.22. Як сказано вище коли змінна «i» стає рівною виходу блоку «N_k» виконується перемикування типу укладання.

4.6.1.5 Програма управління станом об'єктів візуалізації.

Дана програма потрібна для роботи анімації та рівнів розплаву в печах. Дана програма працює на простих елементах таких як таймери логічні блоки та тригери, та в визначений час активують необхідні змінні.

На рисунку 4.25 показано частини програми управління станом об'єктів візуалізації, яка відповідає за роботу витяжки. Дана програма вмикається в роботу коли вихід регулятора який керує температурою в шахтній печі стає більшим за 0.0 (блок № 4), дані умови активують змінну на виході з блока (6), яка в свою чергу активує блок (119) який запускає в роботу «мигалку» створену на основі

блоків «120» «121» «118» змінна на виході блоку (121) змінюється через кожні 1с чим змінює об'єкти візуалізації на АРМ оператора.

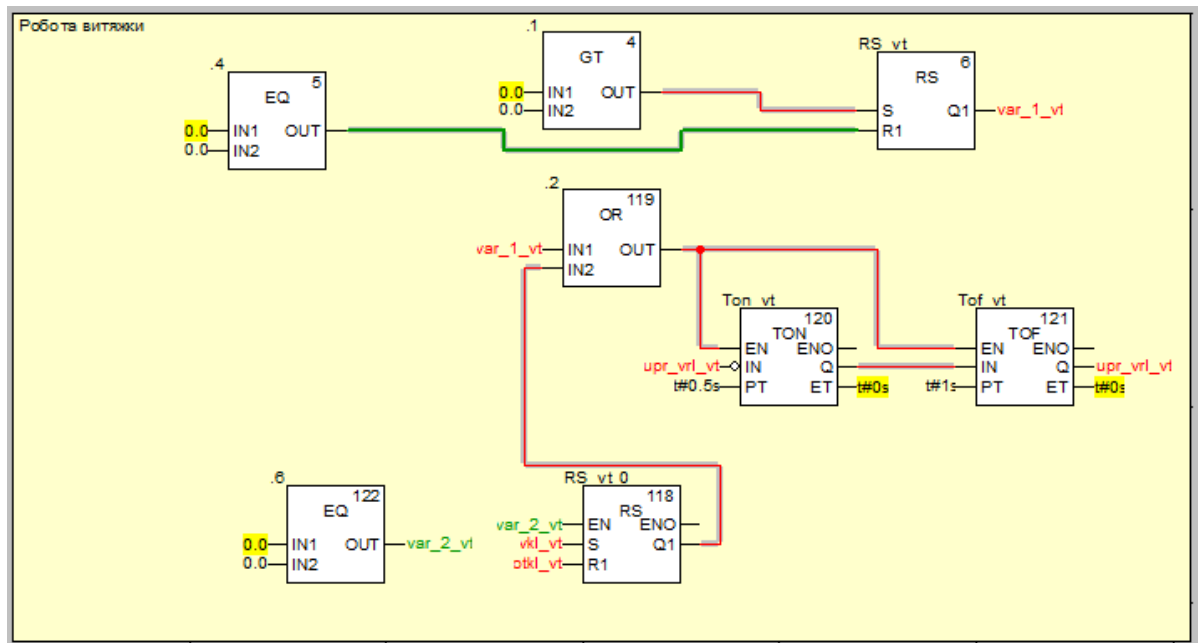


Рисунок 4.25 – Частина програми роботи анімації роботи витяжки.

4.6.2 Створення людино-машинного інтерфейсу тренажера.

Проект ділиться на 4 екрана візуалізації процесу:

- Стартова;
- Шахтна та роздавальні печі;
- Ливарна машина;
- Гартувальний пристрій та моталка.

Та 9 екранів відображення трендів та зміни настройок:

- Параметри та коефіцієнти шахтної печі;
- Параметри та коефіцієнти роздавальної печі №1;
- Параметри та коефіцієнти роздавальної печі №2;
- Параметри та коефіцієнти ливарної машини;
- Параметри та коефіцієнти прокатного стану;
- Параметри та коефіцієнти прокатного стану (заготівка) ;
- Параметри та коефіцієнти витрата води;
- Параметри та коефіцієнти гартувального пристрою;
- Параметри та коефіцієнти моталки.

На рисунку 4.36 зображено екран «Шахтна та роздавальні печі». Це початковий екран процесу, він реалізує процес переплавки сировини в рідкий алюміній та подальший його злив до роздавальних печей. Тут відображаються температури в печах, рівні розплаву, робота пальників та витяжки, панелі контролю температури в ручному режимі та кнопки переходу.

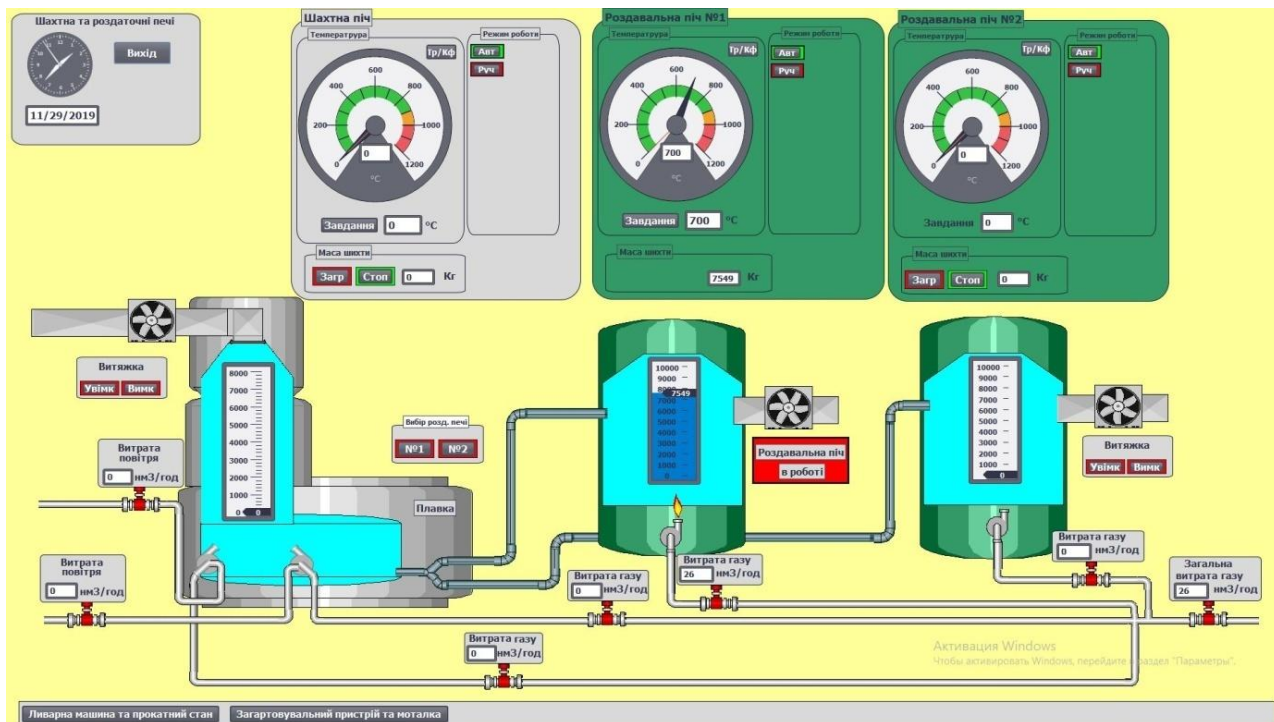


Рисунок 4.36 – Вікно візуалізації пічної ділянки.

На рисунок 4.37 зображено шахтну піч. На даній частині крану позначено панель управління роботою печі (а), тут можна встановити завдання температури для шахтної печі, виконати завантаження сировини до печі, та перейти на екран з параметрами та коефіцієнтами для печі. Також тут присутня візуалізація роботи витяжки при увімкненій печі (б) напис на червоному фоні «Шахтна піч в роботі» закриває кнопки управління роботою витяжки. На шахтній печі показано рівень розплаву в ній, та присутня візуалізація роботи пальників (б). Також до кожного пальника підводиться газ та повітря, та візуалізуються значення їх витрат (г).

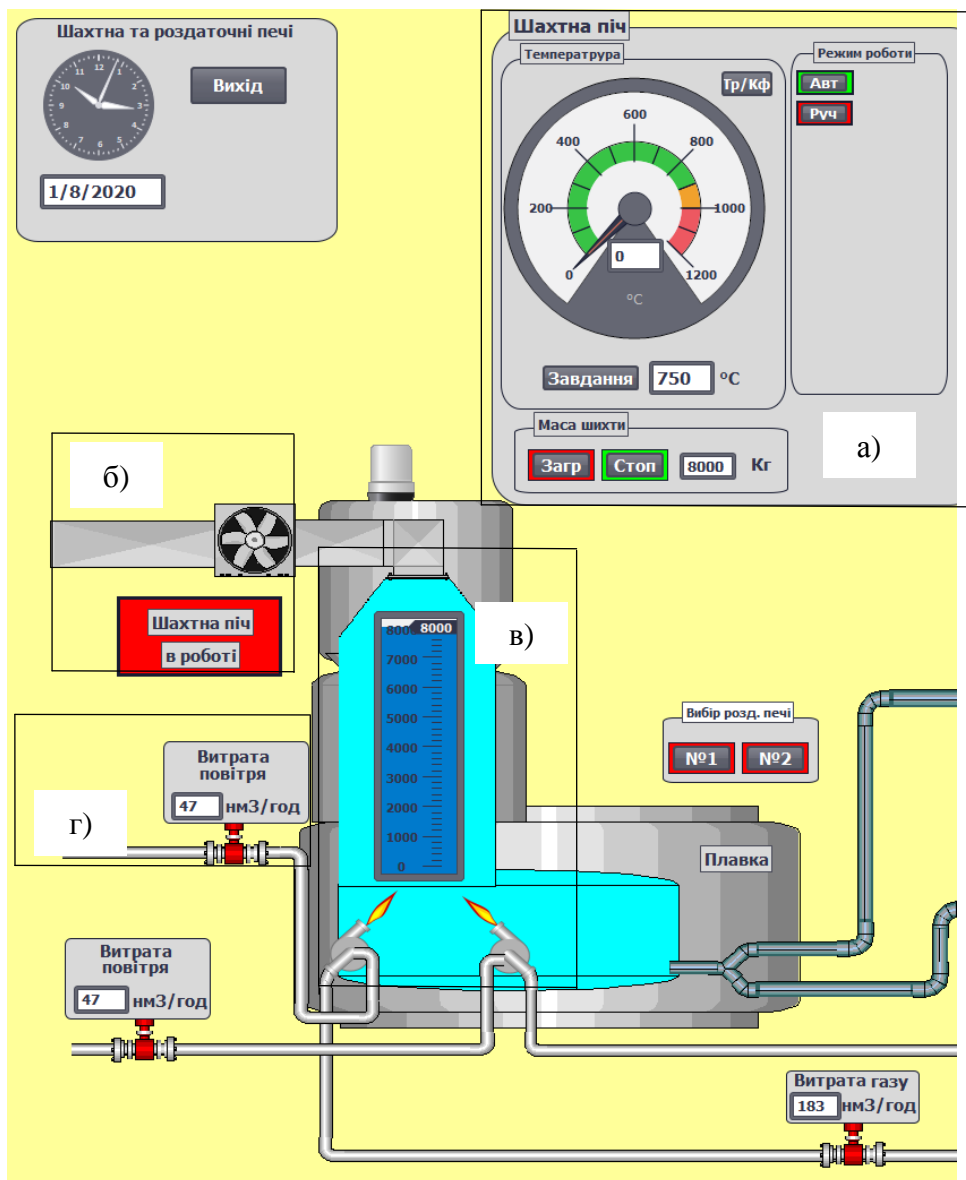


Рисунок 4.37 – Шахтна піч.

На даному ерані присутні наступні елементи відображення та управління:

Елемент Gauge

Даний елемент застосовується для відлбраженнь температур в печах (рис.4.38).

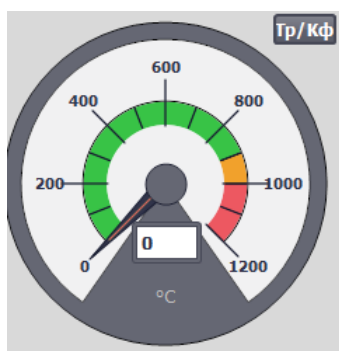


Рисунок 4.38 – Елемент відображення Gauge.

Кожна зі змінних які відповідають значенням температур прив'язується до даного елемента, а його шкала налаштовується відповідно до меж значення цього елемента рисунок 4.39.

The image shows a configuration window for a Gauge object. It is divided into two main sections: 'Process' and 'Label'.
 In the 'Process' section:
 - 'Maximum scale value' is set to 1200.
 - 'Minimum scale value' is set to 0.
 - 'Tag for maximum' is an empty field.
 - 'Process tag' is set to temp_shtna.
 - 'PLC tag' is an empty field.
 - 'Address' is set to %MW38.
 - 'Tag for minimum' is an empty field.
 In the 'Label' section:
 - 'Title' is set to °C.
 - 'Unit' is an empty field.
 - 'Scale gradation' is set to 200.
 A small gauge icon is positioned between the 'Process' and 'Label' sections.

Рисунок 4.39 – Налаштування об'єкту Gauge.

Елемент Bar

Даний елемент застосовується для відображення рівнів розплаву в печах (рис.4.40).

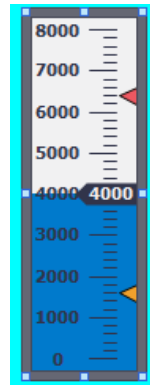


Рисунок 4.40 – Елемент відображення Bar.

Кожна зі змінних які відповідають значенням рівнів в печах прив'язується до даного елемента, а його шкала налаштовується відповідно до меж значення цього елемента рисунок 4.41.

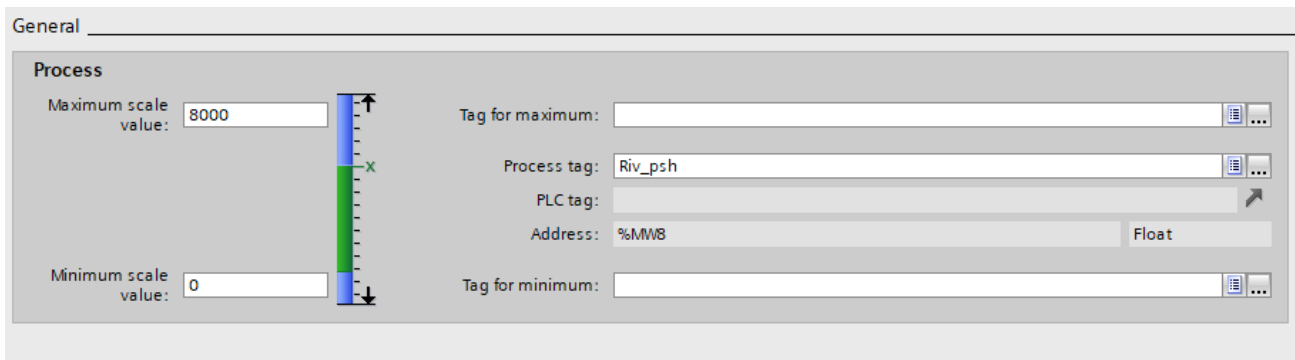


Рисунок 4.41 – Налаштування об'єкта Var.

Елемент I/O field

Даний елемент (рис.4.42) в залежності від його налаштування може бути як елементом відображення так і управління, він виконує функції точного цифрового відображення або встановлення значення деяких параметрів.



Рисунок 4.42 – Елемент відображення I/O field.

Налаштуванням зміна якого обирає те яким цей елемент буде (відображення/управління) є налаштування Type позначений жовтим кольором на рисунку 4.43.

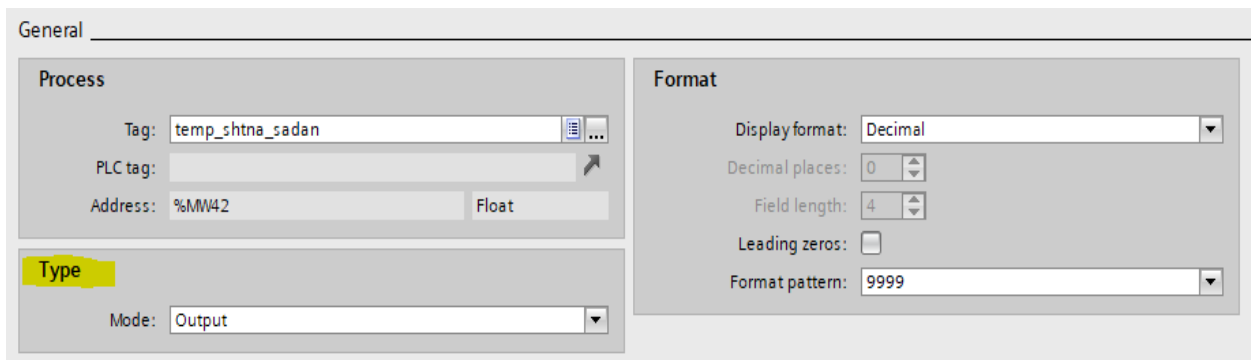


Рисунок 4.43 – Налаштування об'єкту I/O field.

Елемент управління Bottom.

Даний елемент це стандартна кнопка її властивості залежать від налаштування Events (рис.4.44).



Рисунок 4.44 – Налаштування об'єкту Bottom.

Тут присутні наступні налаштування:

1. Вибір типу взаємодії з кнопкою

- клік на кнопку;
- натиск на кнопку;
- відпуск кнопки.

2. Подія після натиснення кнопки.

В даному випадку подією є встановлення біту Rosd_1 в значення «1» та встановлення біту Rosd_2 в значення «0». Але події можуть бути і іншими, наприклад перехід між екранами, або завершення роботи створеної системи відображення.

Елемент управління Slider.

Даний елемент схожий з елементом Bar але останній може лише відображати значення елемента який до нього прив'язано але цей елемент може шляхом зміни повзунка змінювати значення прив'язані до цього елемента змінної (рис.4.45).

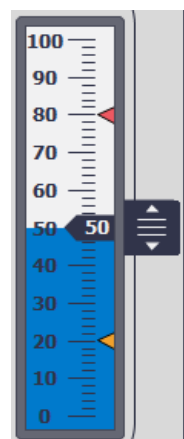


Рисунок 4.45 – Елемент управління Slider.

Усі вище згадані елементи контролю та управління використовуються у всьому проекті, тому згадуються лише один раз.

На рисунку 4.46 зображено панель настройок в якій можна змінити коефіцієнти об'єкту та настройки регулятора, а також увімкнути випадкові збурення (а), та графік зміни температури в шахтній печі (б).

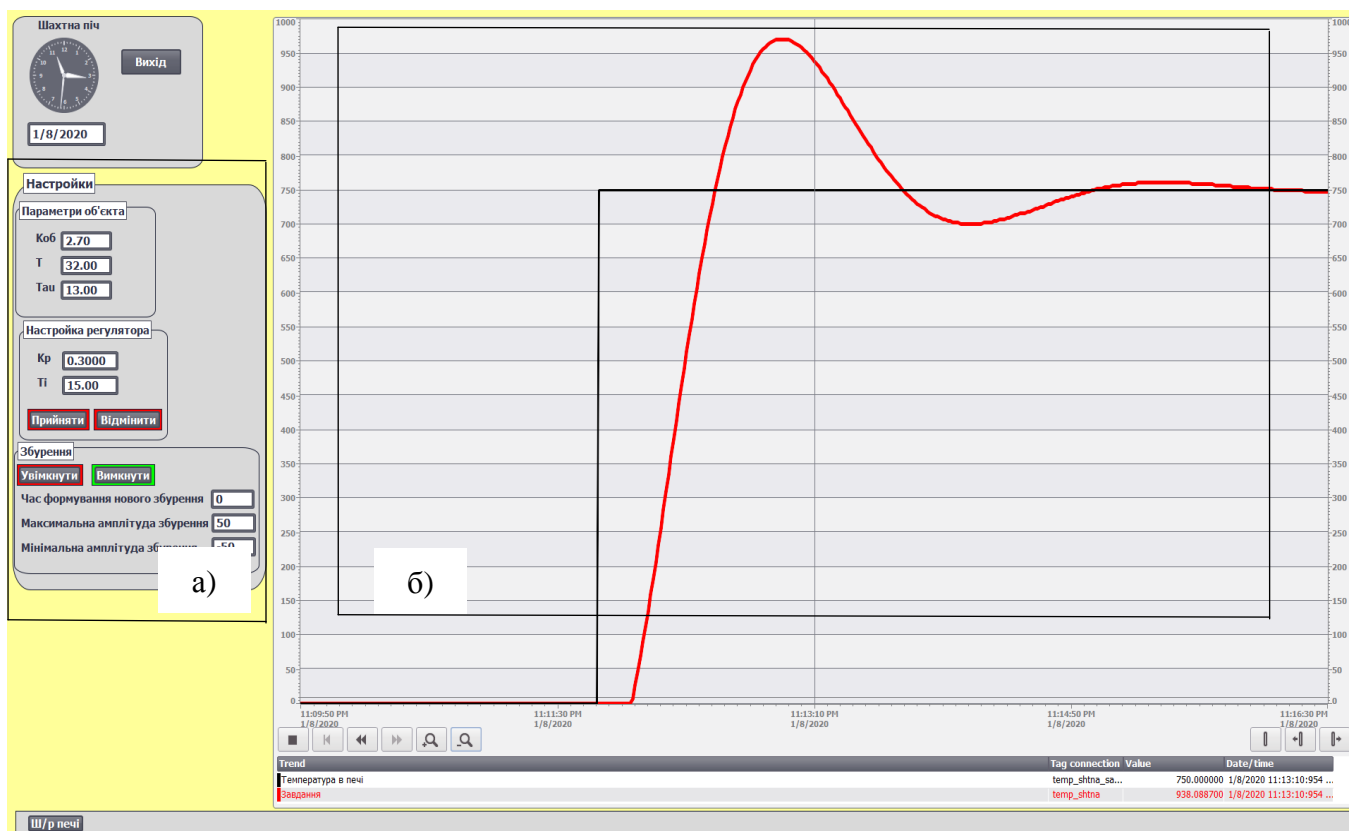


Рисунок 4.46 – Панель настройок (а) та зміна температури в часі (б).

На рисунку 4.47 позначено роздавальні печі. Управління печами проходить з таких же панелей як і шахтна піч (а). В роздавальних печах також присутні панелі управління роботою витяжки рівні розплаву, та візуалізації роботи пальників (б). На відміну від рисунку з зображенням шахтної печі роздавальні печі покищо не в роботі тому панелі управління витяжкою відкриті, рівні розплаву дорівнюють 0.0, і відсутня візуалізація роботи пальників.

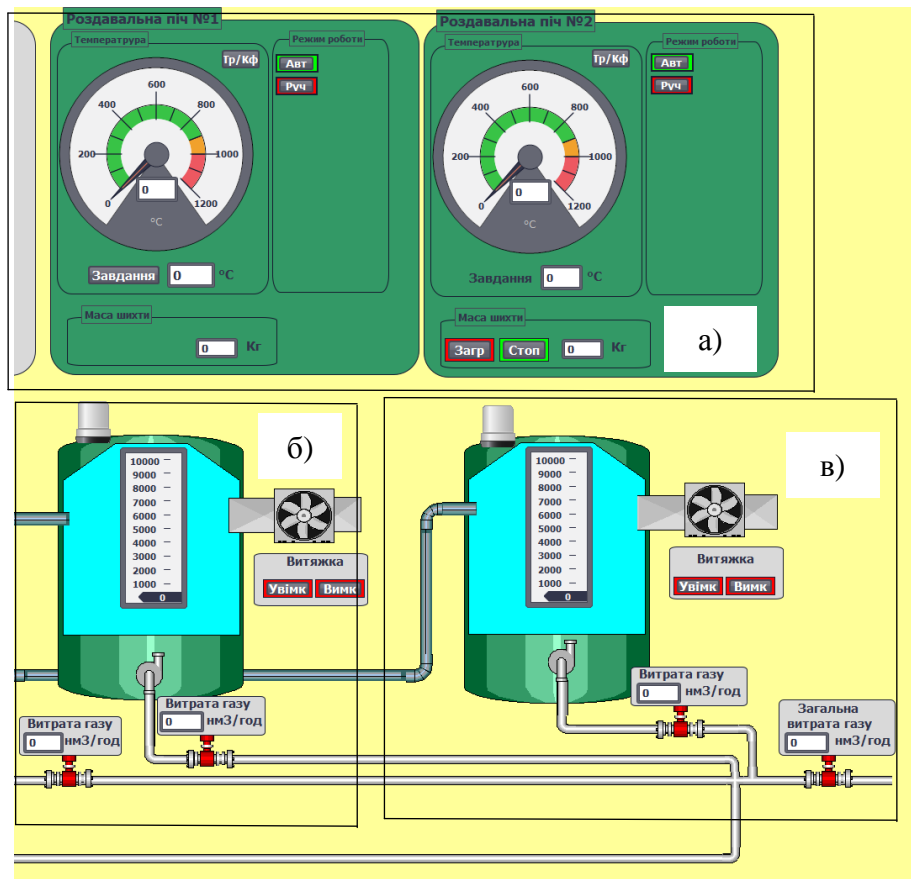


Рисунок 4.47 – Роздавальні печі.

На рисунку 4.48 зображено панель налаштувань в якій можна змінити коефіцієнти об'єкту та налаштування регулятора, а також увімкнути випадкові збурення (а), та графік зміни температури в роздавальній печі №1 (б). Даний графік ідентичний для обох роздавальних печей.

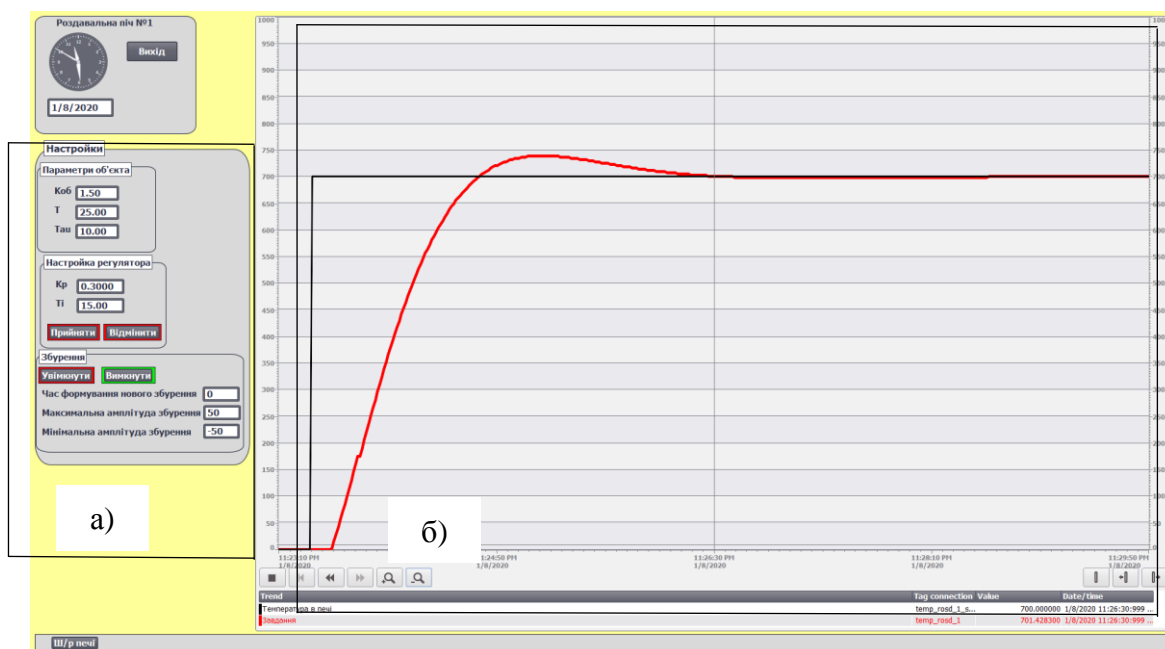


Рисунок 4.48 – Панель налаштувань (а) та зміна температури в часі (б).

На рисунку 4.37 зображено екран «Ливарна машина», даний екран вміщає в себе не тільки ливарну машину а і прокатний стан та охолодження заготовки по ходу нього.

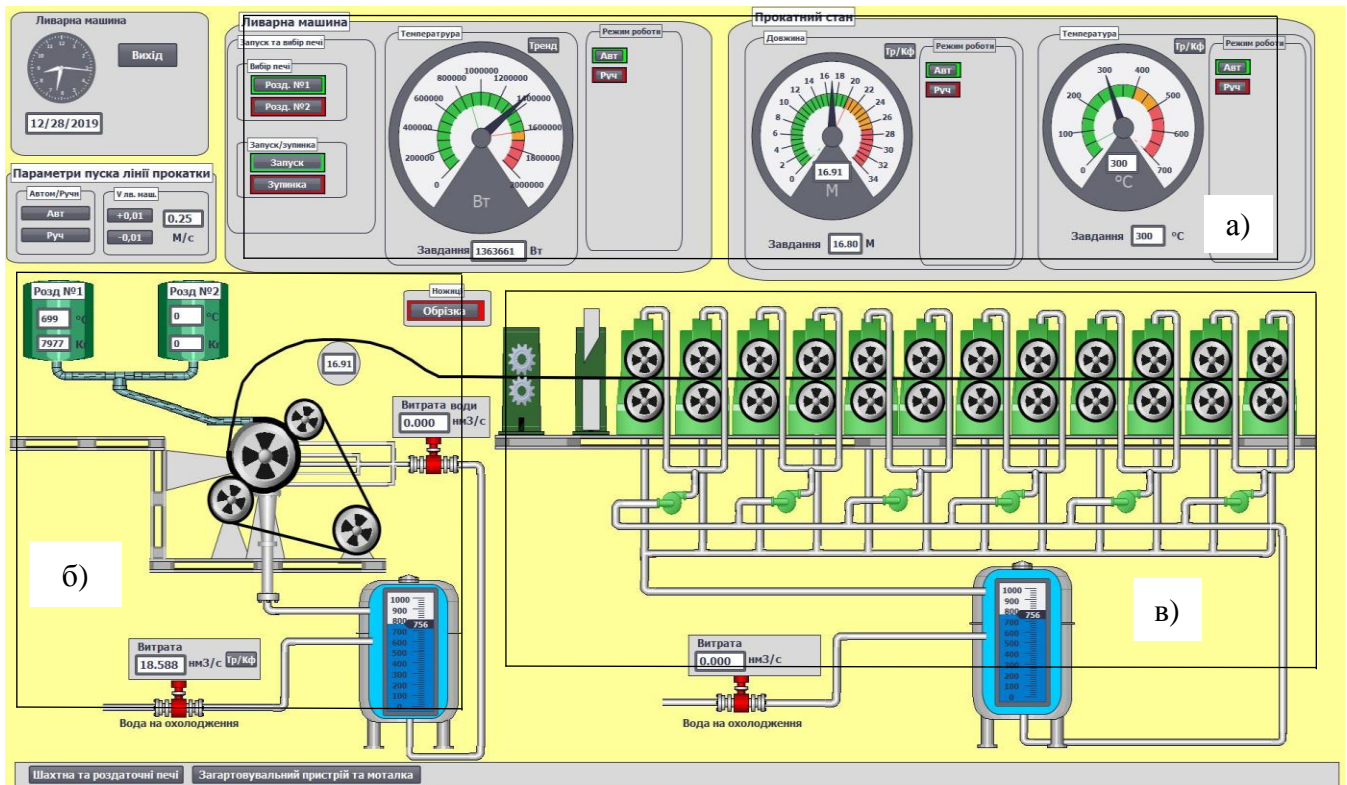


Рисунок 4.37 – Вікно візуалізації роботи ливарної машини та прокатного стану.

Тут відображаються панелі управління ливарним колесом, прокатним станом, та температурою заготовки на виході з нього (а), ливарну машину (б) та прокатний стан (в).

На цьому екрані відображаються температура та рівні розплаву в роздавальних печах, кількість теплоти віднесеною заготовкою, роботу прокатного стану, температуру заготовки. Присутні анімації формування заготовки, роботи ливарної машини, механічних ножиць, прокатного стану. Відображається рівень води в ємностях для охолодження, та кнопки зміни параметру швидкості ливарної машини, та переходу на інші екрани.

На рисунку 4.38 теплового режиму в кристалізаторі ливарного колеса, та панель настройок.

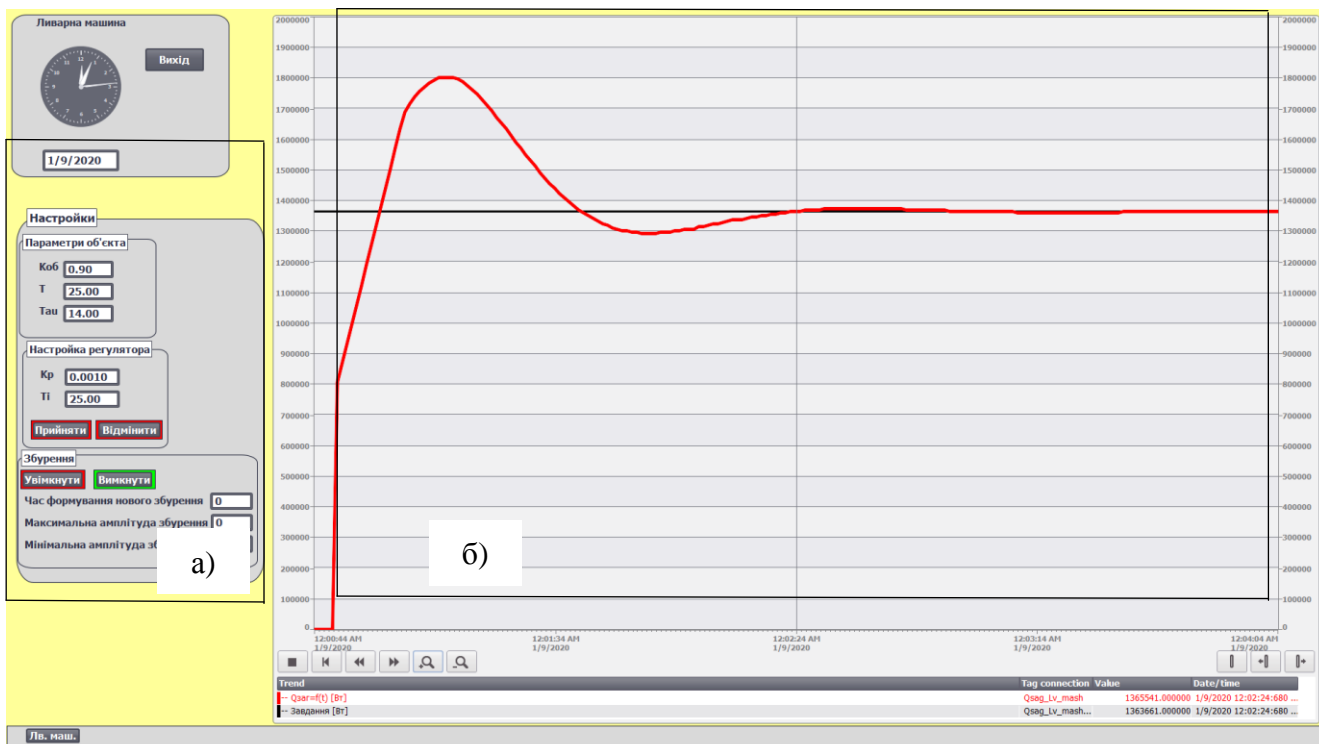


Рисунок 4.38 – Панель настройок (а) та зміна кількості теплоти в часі (б).

На рисунку 4.39 відображено зміну довжини заготівки в часі.

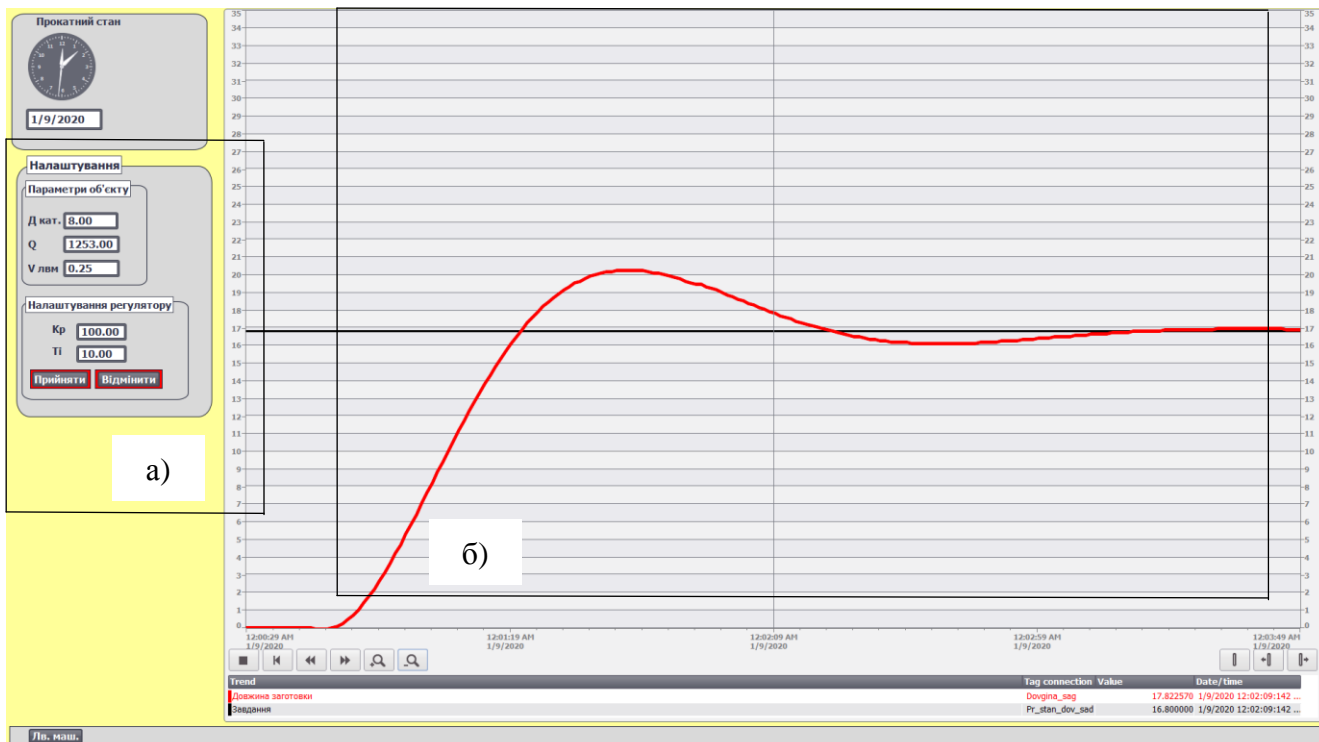


Рисунок 4.39 – Панель настройок (а) та зміна довжини заготівки в часі (б).

На рисунку 4.40 відображено зміну температури заготовки в часі.

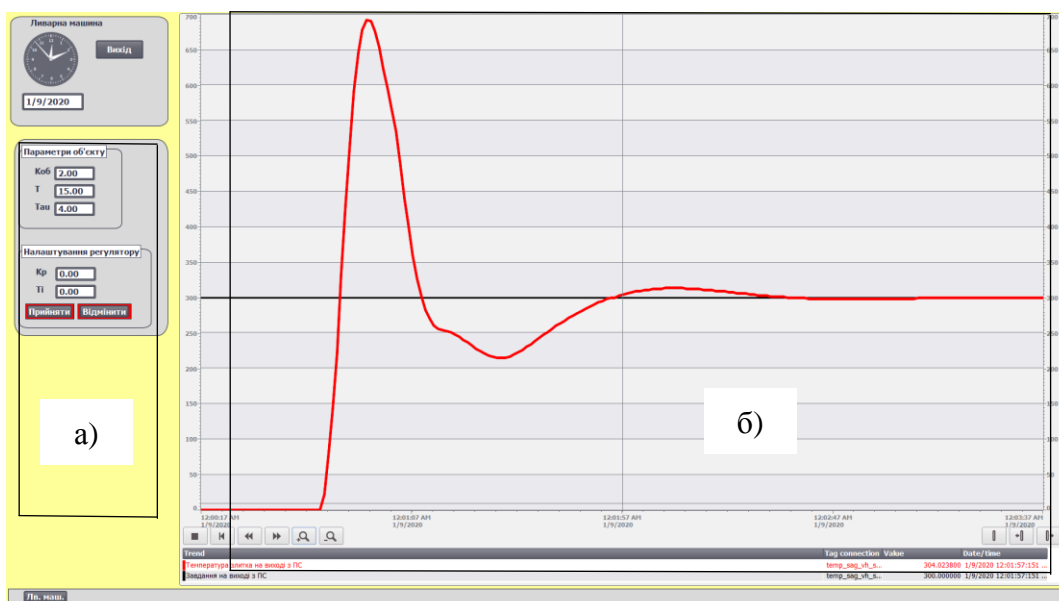


Рисунок 4.40 – Панель настройок (а) та зміна зміну температури заготовки в часі (б).

На рисунку 4.41 зображено екран «Гартувальний пристрій та моталка». Тут відображаються панелі управління гартувальним пристроєм та моталкою (а), графік зміни кутової швидкості в залежності кроку укладання (б), гартувальний пристрій (в), моталка (г).

На даному екрані присутні анімації роботи моталки та укладки бухти. Відображення температури заготовки, та кутової швидкості. Розраховується кількість витків в одному шарі. Присутні анімації роботи моталки та накопичення бухти по ходу її роботи.

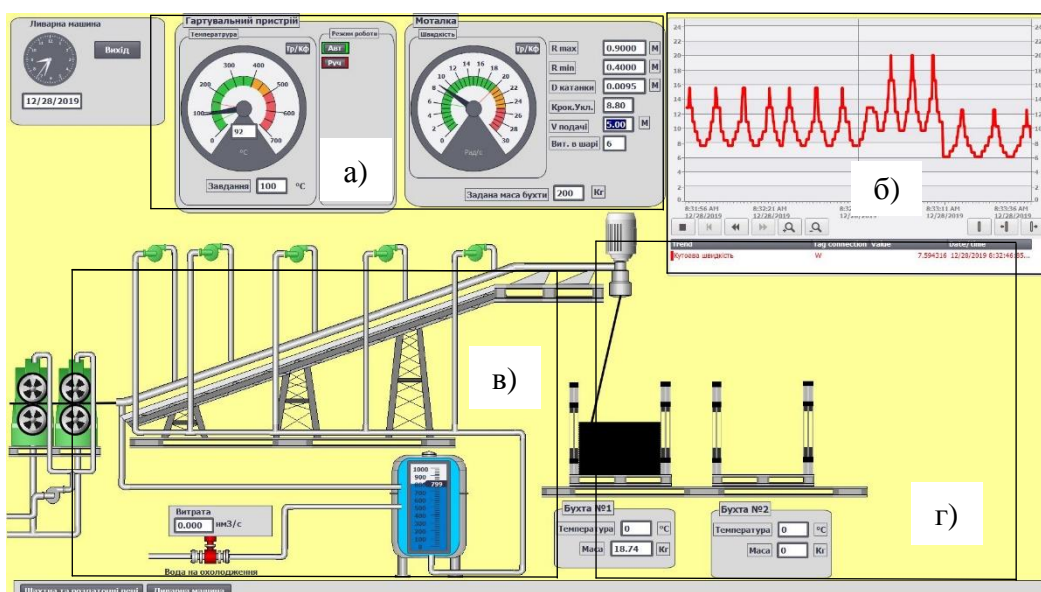


Рисунок 4.41 – Вікно візуалізації гартувального пристрою та моталки.

4.7 Проведення ланцюгових (міжвіконих) досліджень впливу зміни технологічних параметрів або збурень на стан об'єктів автоматизації.

На рисунку 4.42 показано графік зміни температури в шахтній печі з увімкненими збуреннями. Параметри збурень наступні:

Мінімальна величина збурень — -70;

Макимальна величина збурень — 70;

Час формування збурення — 100.



Рисунок 4.42 – робота шахтної печі з увімкненням збуренням.

Даний рисунок ілюструє роботу системи з появою випадкових збурень.

Проведемо дослідження впливу параметрів швидкості лиття та температури розплаву на зміну кількості теплоти заготовки в часі, та на її довжину. Дослідження будемо проводити при наступних параметрах:

$V_{\text{лит1}}=11,4$ м/хв (0,19м/с), $V_{\text{лит2}}=12$ м/хв (0,20м/с), $V_{\text{лит3}}=12,6$ м/хв (0,21м/с), та постійною температурою розплаву $T_{\text{роз}}=700$ °С;

$T_{\text{роз1}}=690$ °С, $T_{\text{роз2}}=700$ °С, $T_{\text{роз3}}=710$ °С, та постійною швидкістю лиття $V_{\text{лит}}=12$ м/хв (0,20м/с),

4.7.1 Дослідження впливу швидкості лиття на кількість теплоти внесеної з заготовкою.

$V_{\text{лит1}}=11,4 \text{ м/хв}$ ($0,19\text{м/с}$), $T_{\text{розп}}=700^{\circ}\text{C}$ (рис.4.43):

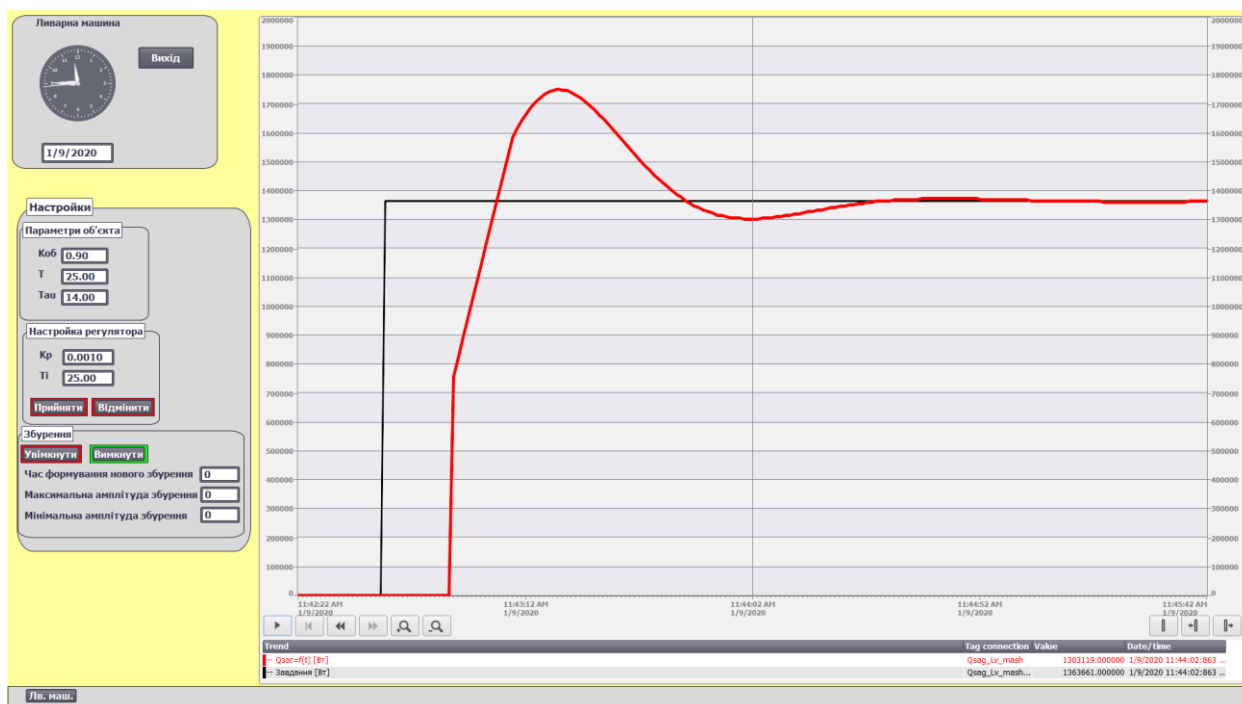


Рисунок 4.43 – Зміна кількості теплоти в часі при $V_{\text{лит}}=11,4 \text{ м/хв}$ ($0,19\text{м/с}$).

$T_{\text{перехідного процесу}} T_{\text{проц}}=2 \text{ мин } 12 \text{ с};$

Перерегулювання $((1303332/1750081)*100\%=20\%$.

$V_{\text{лит2}}=12 \text{ м/хв}$ ($0,20\text{м/с}$), $T_{\text{розп}}=700^{\circ}\text{C}$ (рис.4.44):

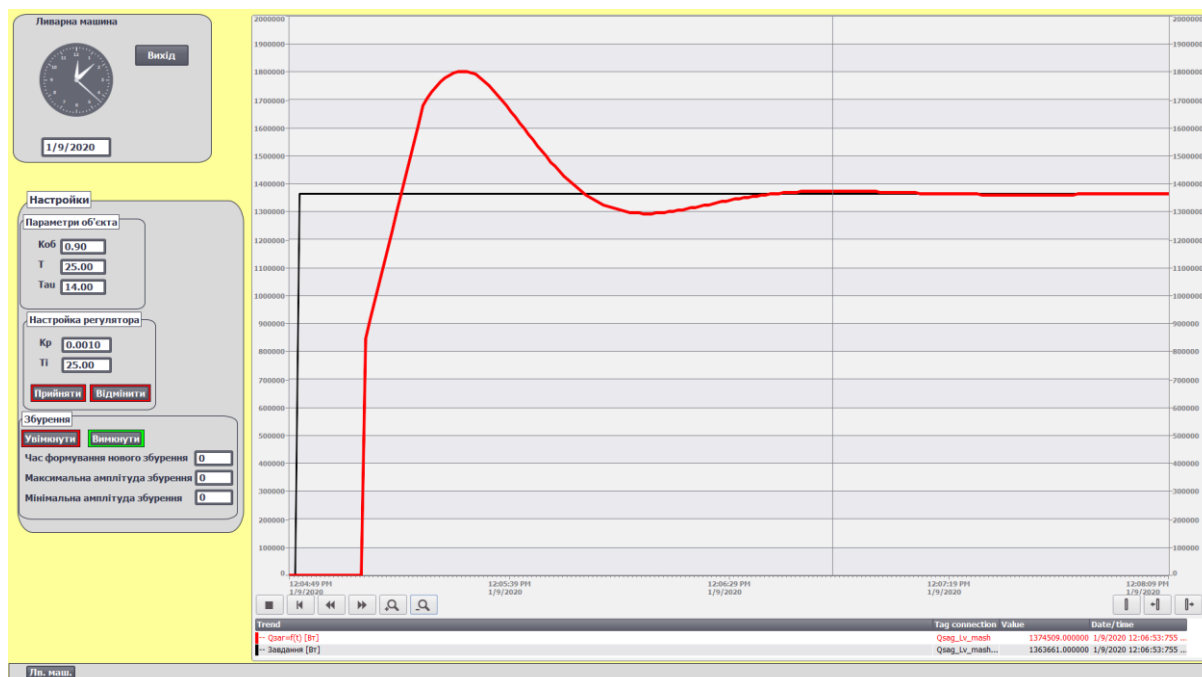


Рисунок 4.44 – Зміна кількості теплоти в часі при $V_{\text{лит}}=12 \text{ м/хв}$ ($0,20\text{м/с}$).

Т перехідного процесу $T_{\text{проц}} = 2 \text{ мин } 21 \text{ с}$;

Перерегулювання $(1294270/1803968) * 100\% = 17.2\%$.

$V_{\text{лит3}} = 12,6 \text{ м/хв}$ ($0,21 \text{ м/с}$), $T_{\text{розп}} = 700^\circ\text{C}$ (рис.4.45):

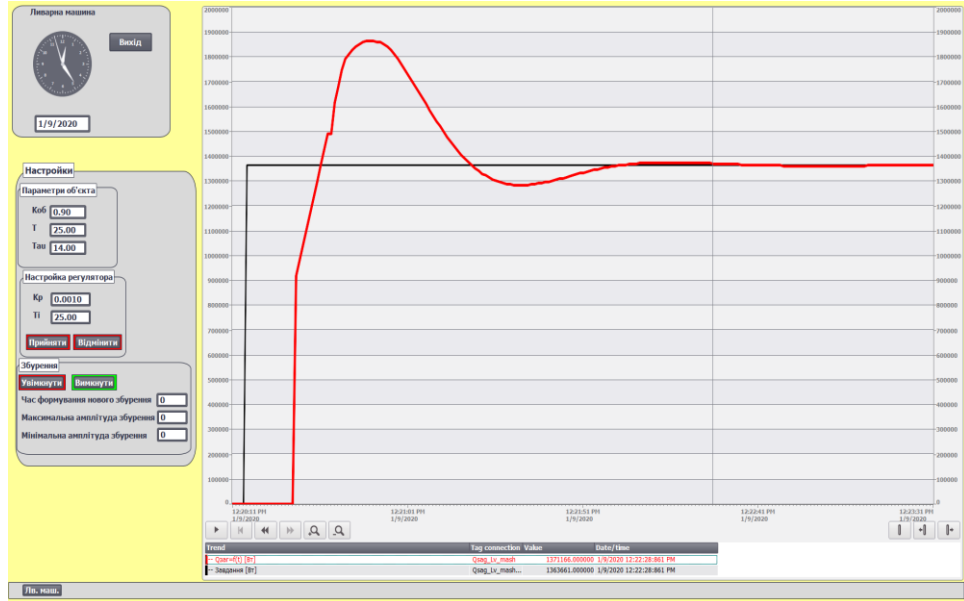


Рисунок 4.45 – Зміна кількості теплоти в часі при $V_{\text{лит}} = 12,6 \text{ м/хв}$ ($0,21 \text{ м/с}$).

Т перехідного процесу $T_{\text{проц}} = 2 \text{ мин } 31$;

Перерегулювання $(1284534/1864582) * 100\% = 18.2\%$.

4.7.2 Дослідження впливу швидкості лиття на довжину заготовки між ливарною машиною та прокатним станом.

$V_{\text{лит1}} = 11,4 \text{ м/хв}$ ($0,19 \text{ м/с}$); $T_{\text{розп}} = 700^\circ\text{C}$ (рис.4.46):



Рисунок 4.46 – Зміна довжини заготовки в часі при $V_{\text{лит}} = 11,4 \text{ м/х}$ ($0,19 \text{ м/с}$).

Т перехідного процесу $T_{\text{проц}} = 2 \text{ мин } 32 \text{ с}$;

Перерегулювання $(16,093 / 20,3176) * 100\% = 23,1\%$.

$V_{\text{лит2}} = 12 \text{ м/хв } (0,20 \text{ м/с})$ $T_{\text{розп}} = 700^\circ\text{C}$ (рис.4.47):



Рисунок 4.47 – Зміна довжини заготовки в часі при $V = 12 \text{ м/хв } (0,20 \text{ м/с})$.

Т перехідного процесу $T_{\text{проц}} = 2 \text{ мин } 39 \text{ с}$;

Перерегулювання $(16,098 / 20,2832) * 100\% = 23,1\%$.

$V_{\text{лит3}} = 12,6 \text{ м/хв } (0,21 \text{ м/с})$ $T_{\text{розп}} = 700^\circ\text{C}$ (рис.4.48):



Рисунок 4.48 – Зміна довжини заготовки в часі при $V = 12,6 \text{ м/хв } (0,21 \text{ м/с})$.

Т перехідного процесу $T_{\text{проц}} = 2 \text{ мин } 49 \text{ с}$;

Перерегулювання $(16,104/20,25) * 100\% = 21.4\%$.

4.7.3 Дослідження впливу температури розплаву лиття на кількість теплоти внесеної з заготовкою.

$T_{\text{роз1}} = 690^\circ\text{C}$ $V_{\text{лит}} = 0.20 \text{ м/с}$ (рис.4.49):

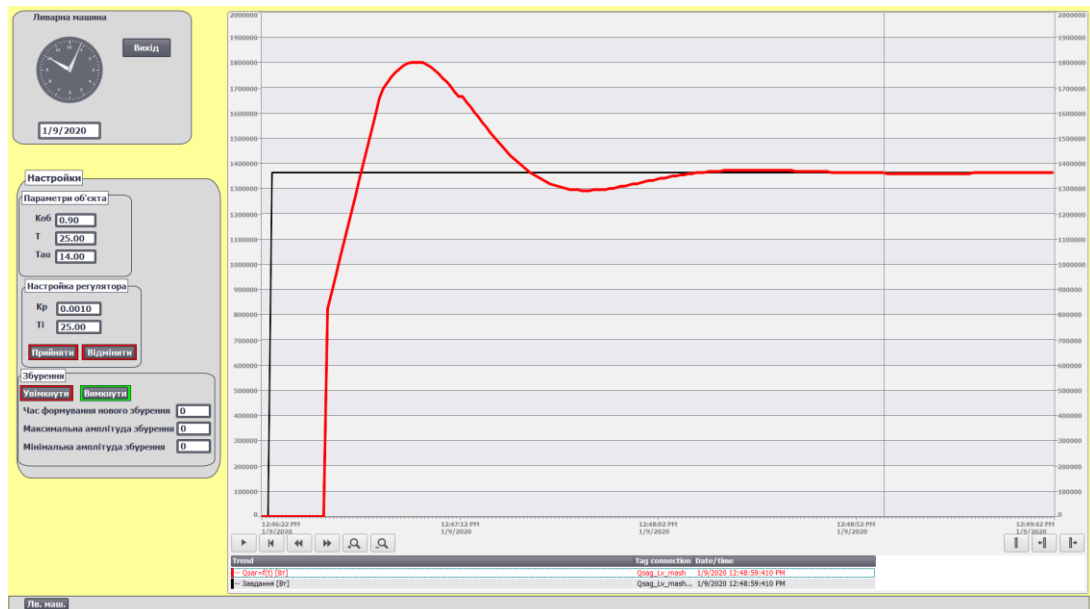


Рисунок 4.49 – Зміна кількості теплоти в часі при $T_{\text{роз}} = 690^\circ\text{C}$.

Т перехідного процесу $T_{\text{проц}} = 2 \text{ мин } 13 \text{ с}$

Перерегулювання $(1294263/1803890) * 100\% = 20\%$

$T_{\text{роз2}} = 690^\circ\text{C}$ $V_{\text{лит}} = 0.20 \text{ м/с}$ (рис.4.50):

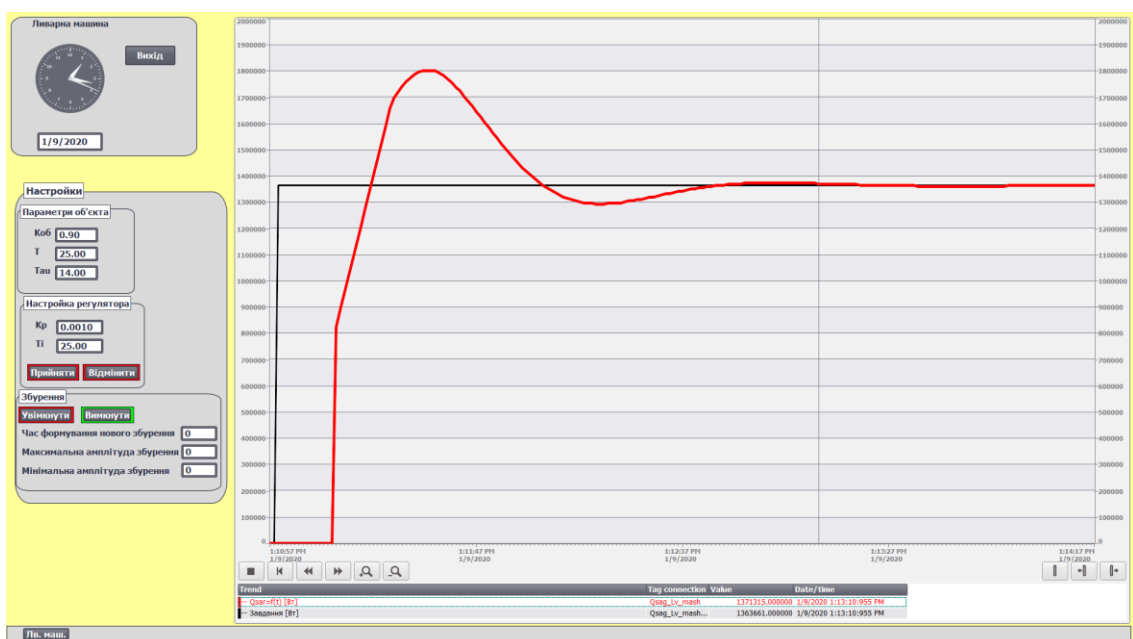


Рисунок 5.50 – Зміна кількості теплоти в часі при $T_{\text{роз}} = 700^\circ\text{C}$.

Т перехідного процесу $T_{\text{проц}} = 2 \text{ мин } 11 \text{ с}$

Перерегулювання $(1294250/1803351) * 100\% = 16,7\%$

$T_{\text{роз3}} = 710^{\circ}\text{C}$ $V_{\text{лит}} = 0.20 \text{ м/с}$ (рис.4.51):

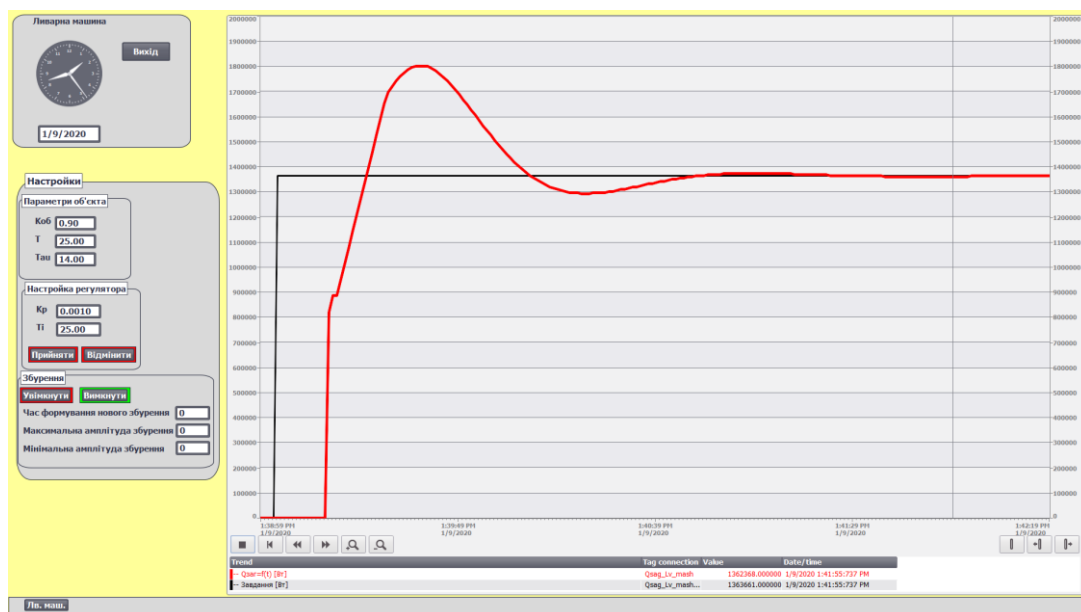


Рисунок 4.51 – Зміна кількості теплоти в часі при $T_{\text{роз}} = 710^{\circ}\text{C}$

Т перехідного процесу $T_{\text{проц}} = 2 \text{ мин } 12 \text{ с}$

Перерегулювання $(1294313/1803561) * 100\% = 16,7\%$

4.7.4 Дослідження впливу температури розплаву на довжину заготовки між ливарною машиною та прокатним станом.

$T_{\text{роз1}} = 690^{\circ}\text{C}$ $V_{\text{лит}} = 0.20 \text{ м/с}$ (рис.4.52):

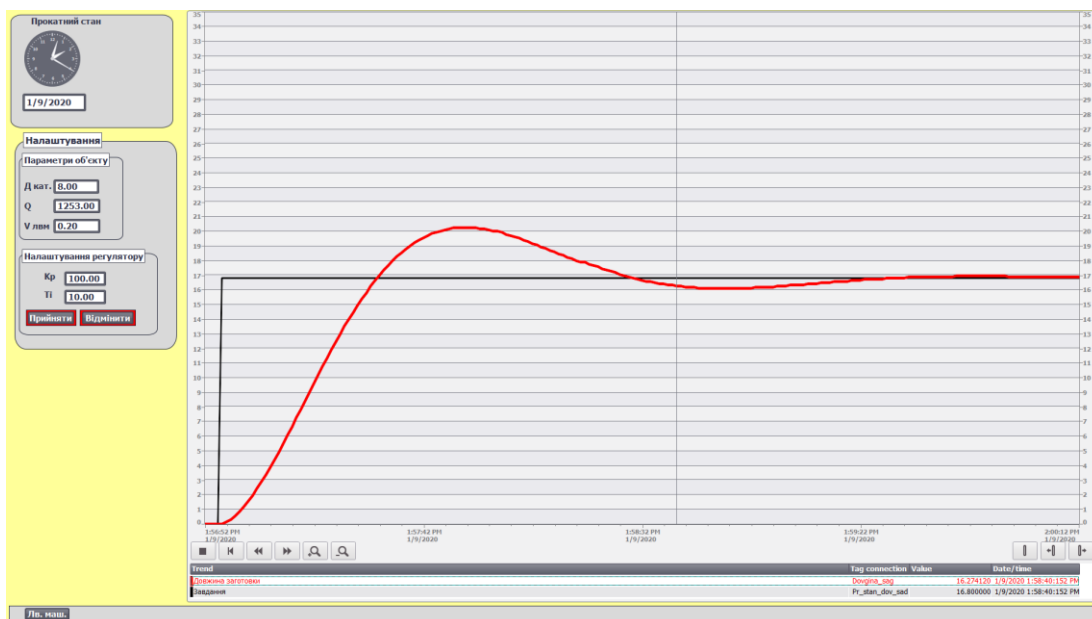


Рисунок 4.52 – Зміна кількості теплоти в часі при $T_{\text{роз}} = 690^{\circ}\text{C}$

Т перехідного процесу $T_{\text{проц}} = 2 \text{ мин } 1 \text{ с}$

Перерегулювання $(16,0952/20,282) * 100\% = 23,1\%$

$T_{\text{роз2}} = 700^\circ\text{C}$ $V_{\text{лит}} = 0.20 \text{ м/с}$ (рис.4.53):



Рисунок 4.53 – Зміна кількості теплоти в часі при $T_{\text{роз}} = 700^\circ\text{C}$.

Т перехідного процесу $T_{\text{проц}} = 3 \text{ мин}$

Перерегулювання $(16,097/20,2828) * 100\% = 23,1\%$

$T_{\text{роз3}} = 710^\circ\text{C}$ $V_{\text{лит}} = 0.20 \text{ м/с}$ (рис.4.54):



Рисунок 4.54 – Зміна кількості теплоти в часі при $T_{\text{роз}} = 710^\circ\text{C}$.

Т перехідного процесу $T_{\text{проц}} = 2 \text{ мин } 47$

Перерегулювання $(16,095/20,284) * 100\% = 23,1\%$

4.7.5 Підбиття підсумків досліджень.

Вплив швидкості на лиття на якість перехідного процесу в кристалізаторі:

$$V_{\text{лит1}}=11,4 \text{ м/хв (0,19м/с)}, T_{\text{розп}}=700^{\circ}\text{C}$$

$$T \text{ перехідного процесу } T_{\text{проц}}= 2\text{мин } 12\text{с};$$

$$\text{Перерегулювання } ((1303332/1750081)*100\%= 74,4\%.$$

$$V_{\text{лит2}}=12 \text{ м/хв (0,20м/с)}, T_{\text{розп}}=700^{\circ}\text{C}$$

$$T \text{ перехідного процесу } T_{\text{проц}}= 2\text{мин } 21\text{с};$$

$$\text{Перерегулювання } (1294270/1803968)*100\%=71,7\%.$$

$$V_{\text{лит3}}=12,6 \text{ м/хв (0,21м/с)}, T_{\text{розп}}=700^{\circ}\text{C}$$

$$T \text{ перехідного процесу } T_{\text{проц}}= 2\text{мин } 31\text{с};$$

$$\text{Перерегулювання } (1284534/1864582)*100\%= 68,89\%.$$

Як видно з цих даних час перехідного процесу збільшується зі збільшенням швидкості лиття, але при цьому зменшується величина перерегулювання.

Вплив швидкості на лиття на якість перехідного процесу формування заготовки:

$$V_{\text{лит1}}=11,4 \text{ м/хв (0,19м/с)}; T_{\text{розп}}=700^{\circ}\text{C}$$

$$T \text{ перехідного процесу } T_{\text{проц}}= 2\text{мин } 32\text{с};$$

$$\text{Перерегулювання } (16,093 /20,3176)*100\%= 79,2\%.$$

$$V_{\text{лит2}}=12 \text{ м/хв (0,20м/с)} T_{\text{розп}} =700^{\circ}\text{C}$$

$$T \text{ перехідного процесу } T_{\text{проц}}= 2\text{мин } 39\text{с};$$

$$\text{Перерегулювання } (16,098/20,2832)*100\%=79,36\%.$$

$$V_{\text{лит3}}=12,6 \text{ м/хв (0,21м/с)} T_{\text{розп}} =700^{\circ}\text{C}$$

$$T \text{ перехідного процесу } T_{\text{проц}}= 2\text{мин } 49\text{с};$$

$$\text{Перерегулювання } (16,104/20,25)*100\%= 79,5\%.$$

З довжиною заготовки ситуація трохи інакше, зі збільшенням швидкості лиття величина перерегулювання збільшується, але при цьому росте час перехідного процесу.

Вплив температури розплаву на якість перехідного процесу в кристалізаторі:

$$T_{\text{роз1}}=690^{\circ}\text{C} \quad V_{\text{лит}}=0.20 \text{ v/c}$$

$$T \text{ перехідного процесу } T_{\text{проц}}= 2 \text{ мин } 13 \text{ с}$$

$$\text{Перерегулювання } (1294263/1803890)*100\%=71,74\%$$

$$T_{\text{роз2}}=690^{\circ}\text{C} \quad V_{\text{лит}}=0.20 \text{ v/c}$$

$$T \text{ перехідного процесу } T_{\text{проц}}= 2 \text{ мин } 11 \text{ с}$$

$$\text{Перерегулювання } (1294250/1803351)*100\%=71,76\%$$

$$T_{\text{роз3}}=710^{\circ}\text{C} \quad V_{\text{лит}}=0.20 \text{ v/c}$$

$$T \text{ перехідного процесу } T_{\text{проц}}= 2 \text{ мин } 12 \text{ с}$$

$$\text{Перерегулювання } (1294313/1803561)*100\%= 71,76\%$$

Як видно з отриманих даних температура розплаву майже не впливає на якість перехідного процесу.

Вплив температури розплаву на якість перехідного процесу формування заготовки:

$$T_{\text{роз1}}=690^{\circ}\text{C} \quad V_{\text{лит}}=0.20 \text{ v/c}$$

$$T \text{ перехідного процесу } T_{\text{проц}}= 2 \text{ мин } 1 \text{ с}$$

$$\text{Перерегулювання } (16,0952/20,282)*100\% = 79,35\%$$

$$T_{\text{роз2}}=700^{\circ}\text{C} \quad V_{\text{лит}}=0.20 \text{ v/c}$$

$$T \text{ перехідного процесу } T_{\text{проц}}= 3 \text{ мин}$$

$$\text{Перерегулювання } (16,097/20,2828)*100\% = 79,36\%$$

$$T_{\text{роз3}}=710^{\circ}\text{C} \quad V_{\text{лит}}=0.20 \text{ v/c}$$

$$T \text{ перехідного процесу } T_{\text{проц}}= 2 \text{ мин } 47$$

$$\text{Перерегулювання } (16,095/20,284)*100\% = 79,66\%$$

З довжиною заготовки все дещо інакше. Зміна температура не впливає на величину перерегулювання, але впливає на час перехідного процесу.

5 СТВОРЕННЯ ІНСТРУКЦІЇ ЩО ДО КОРИСТУВАННЯ ІМІТАЦІЙНОЮ МОДЕЛЮ АСУТП З ВМРОБНИЦТВА АЛЮМІНЕВОЇ КАТАНКИ

5.1 Вхід до проекту тренажера і робота у головному меню.

Для початку роботи потрібно завантажити проект Unity Pro XL контролеру до його імітатору та запустити проект в TIA Portal V14.

Спочатку відкриваємо проекту в Unity Pro XL та завантажити його до імітатору ПЛК. Для цього запускаємо програму Unity Pro XL та відкриваємо проект у відповідній текі. Далі на верхній панелі тиснемо на іконку контролеру, та натискаємо кнопку «Dowland project», на екран покажеться наступна панель див.рис.5.1 на цій панелі тиснемо кнопку «Transfer» та переводимо контролер з режиму «Stop» в режим «Run».

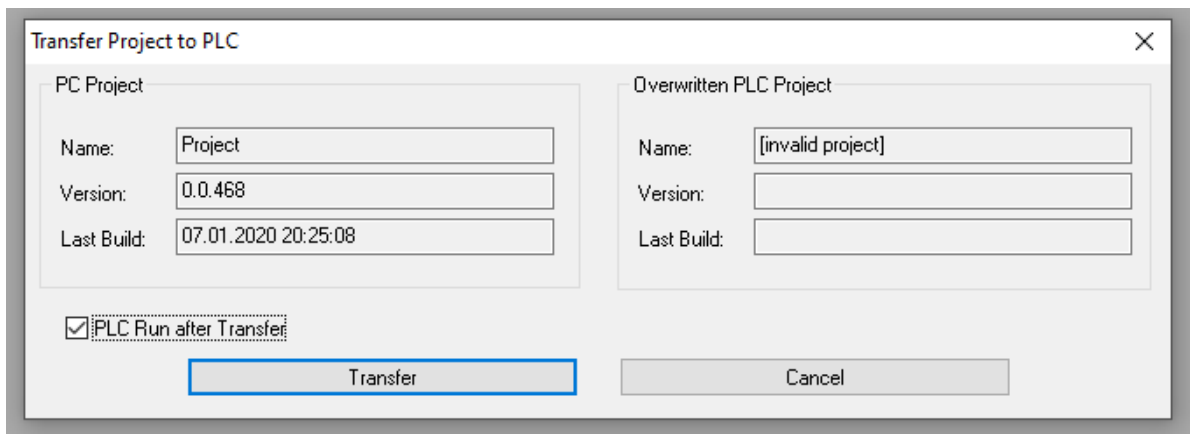


Рисунок 5.1 – Завантаження проекту Unity Pro XL до імітатору контролера.

Контролер можна перевести з режиму «Stop» в режим «Run» одразу після його завантаження поставивши галку напроти «PLS Run after Transfer» на панелі завантаження проекту (рис.5.1).

В TIA Portal V14 також потрібно відкрити проект у відповідній теці та натиснути кнопку «Project view» в нижньому лівому куті екрану програми. Далі розгортаємо проект та натискаємо на папку проекту «Screen» один раз, після цього у на верхній панелі кнопка «Start simulatio» (рис.5.2) стане активною. Тиснемо її і проект запускається. Після цього можна почати роботу.

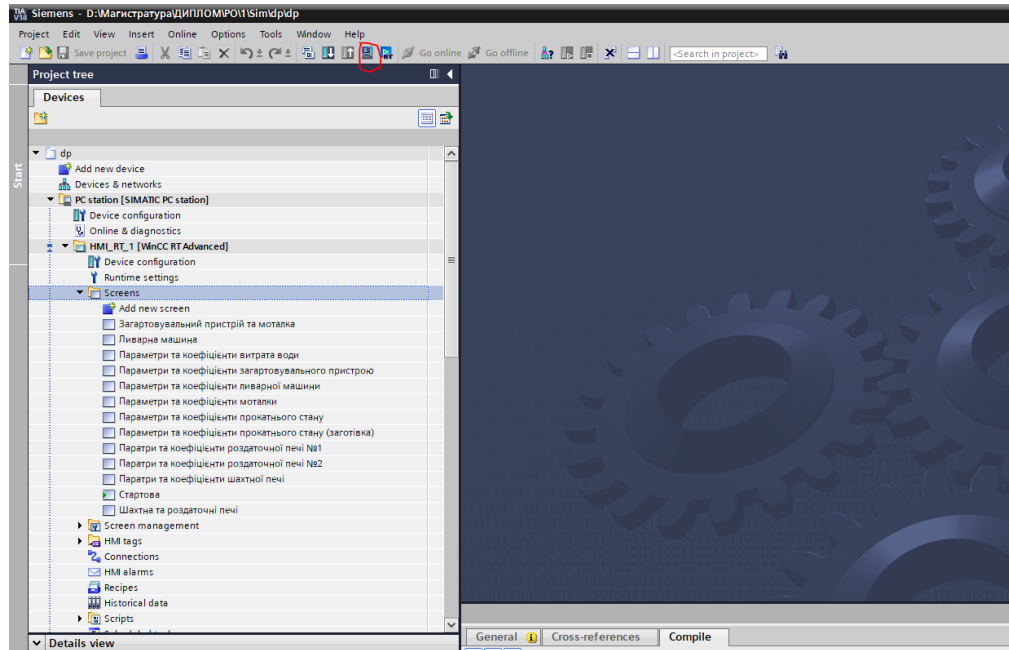


Рисунок 5.2 – Запуск проекту в Portal V14.

5.2 Робота у вікні пічної дільниці та дії з проведення досліджень.

Після запуску проекту першим вікном яке відкриється буде пічна ділянка. Для початку потрібно завантажити в шахтну піч сировину для розплаву, в програмі передбачено неможливість початку плавки в шахтній печі доки в ній немає сировини.

Для початку необхідно натиснути кнопку «Загр» для завантаження сировини для плавки алюмінію. На рисунку 5.3 шахтну піч в процесі її завантаження.

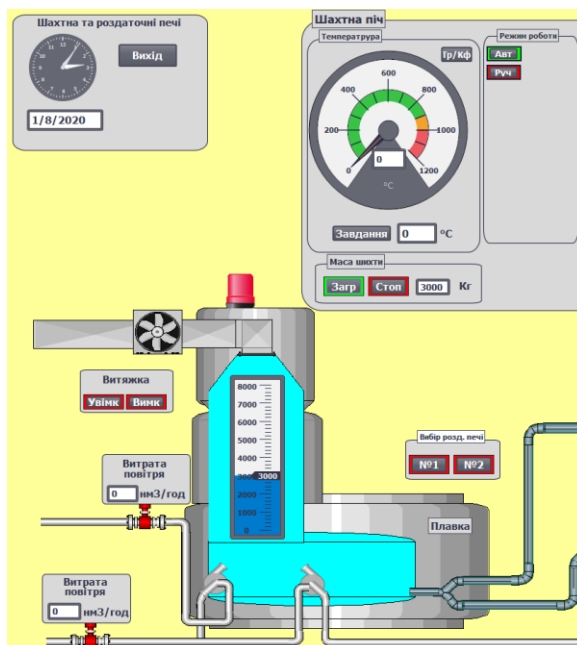


Рисунок 5.3 – Шахтна піч.

Після завантаження можна встановити температуру та розпочати плавку алюмінію. Для цього необхідно натиснути на кнопку «завдання» відкриється наступне вікно див. рис.5.4.

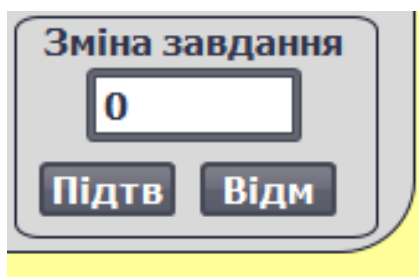
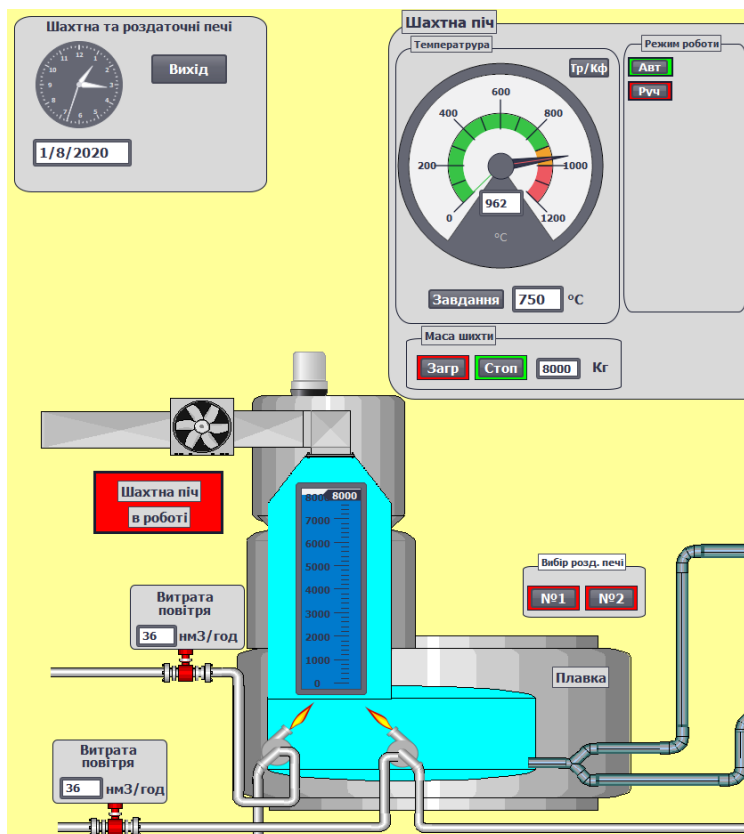


Рисунок 5.4 Вікно встановлення завдання.

Після встановлення та підтвердження завдання 750 градусів почнеться плавка алюмінію, на рисунку 5.5 показано шахтну піч у процесі плавки.



5.5 – Шахтна піч в роботі.

У верхньому лівому куті кожної панелі управління є перехід до екрану з трендом та коефіцієнтами об'єкту. Тиснемо цю кнопку (рис 5.6)

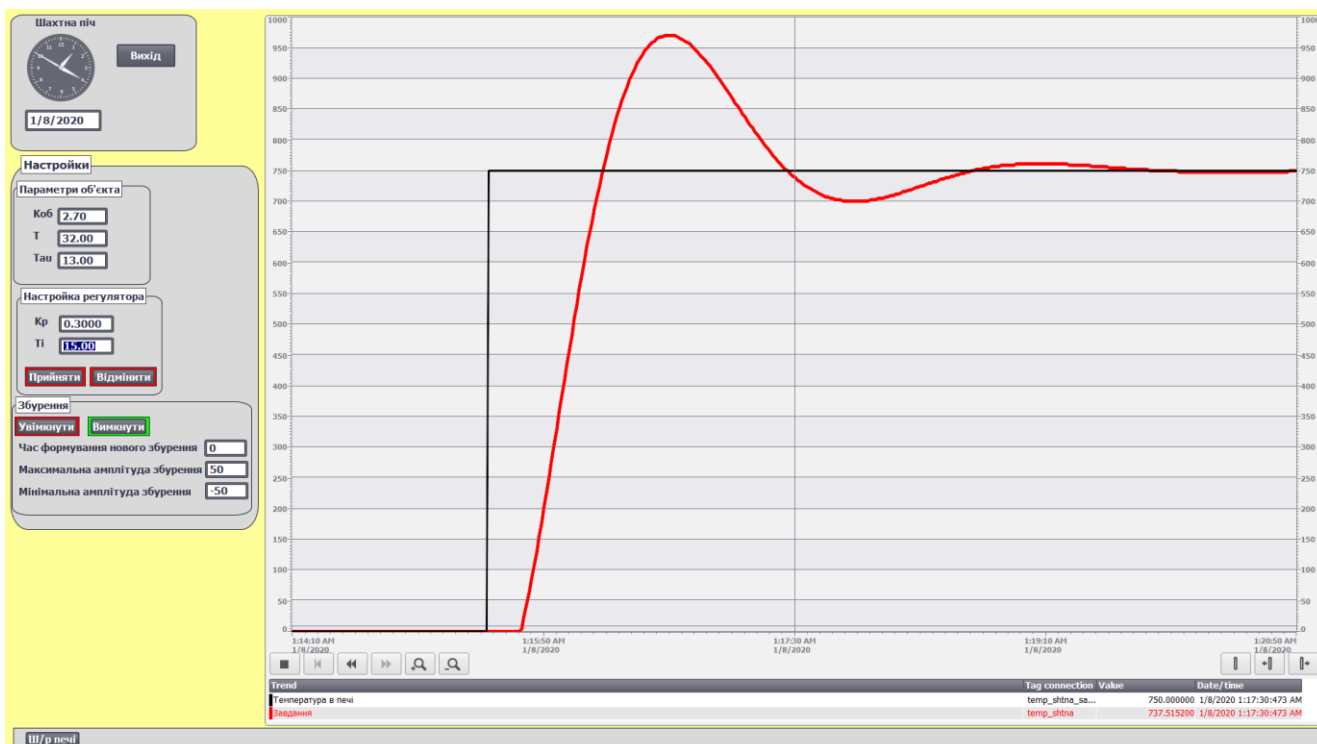


Рисунок 5.6 – Екран налагодження та тестування системи імітації температури в шахтній печі.

На цьому екрані видно зміну температури в часі. Також тут можна змінити налаштування об'єкту, та настройки регулятора.

Звернемося до панелі формування збурень, тут присутні дві кнопки які вмикають та вимикають збурення. Перш ніж прослідкувати роботу системи зі збуреннями потрібно ввести параметри:

Мінімальна величина збурень — -50;

Максимальна величина збурень — 50;

Час формування збурення — 120.

Тобто кожне нове збурення буде формуватися кожні 120 с в діапазоні від -50 до 50 одиниць в шкалі °С.

Увімкнувши збурення можна відслідкувати роботу системи при випадкових збуреннях (рисунок 5.7).



Рисунок 5.7 – Графік температури шахтній печі при увімкнених збуреннях.

Після того як температуру в печі вийде на завдання та протримається в його межах заданий час можна буде завантажити розплав до вибраної роздавальної печі.

Для цього потрібно вибрати відповідну роздавальну піч та почати злив розплаву (рис.5.8).

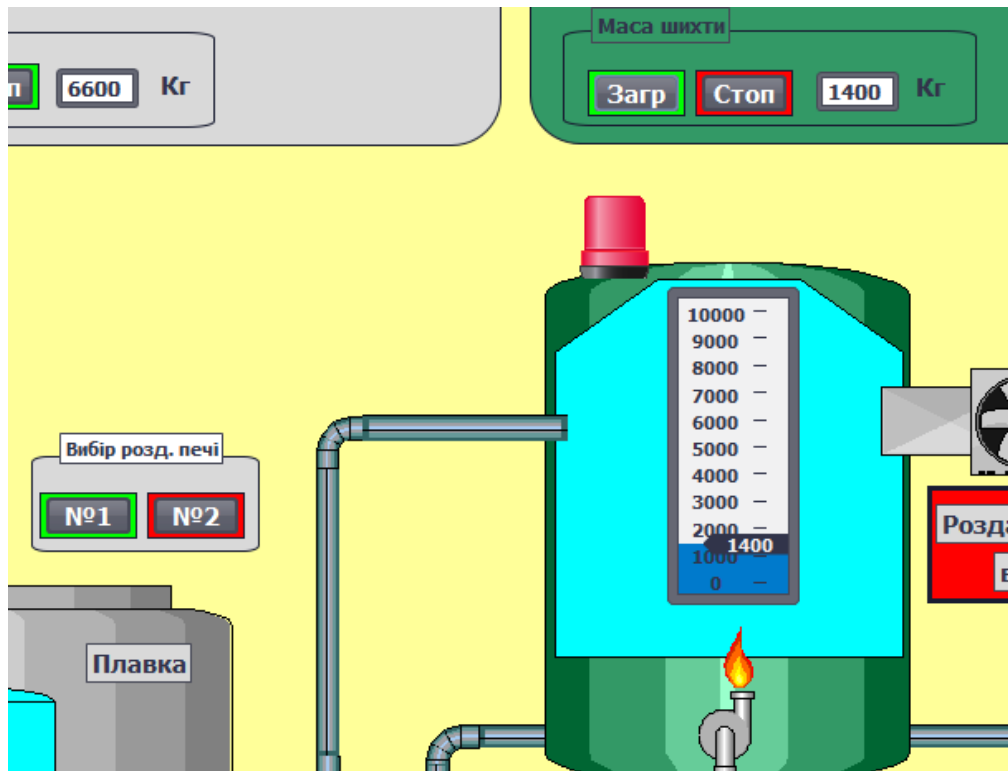


Рисунок 5.8 – Злив розплаву.

Після вибору роздавальної печі та натиснення відповідної кнопки почнеться злив рідкого алюмінію. При цьому завдання для вибраної печі буде встановлене рівним 700 градусам Цельсія. Після того як шахтна піч стане знову порожньою, можна буде почати завантаження нової порції сировини, а у наповненій шахтній печі розплав буде підтримуватися у рідкому вигляді (рис.5.9). Також передбачено ряд блокувань, які не дозволяють статися надзвичайним випадкам, наприклад зупинка зливу алюмінію до наповненої роздаточної печі.

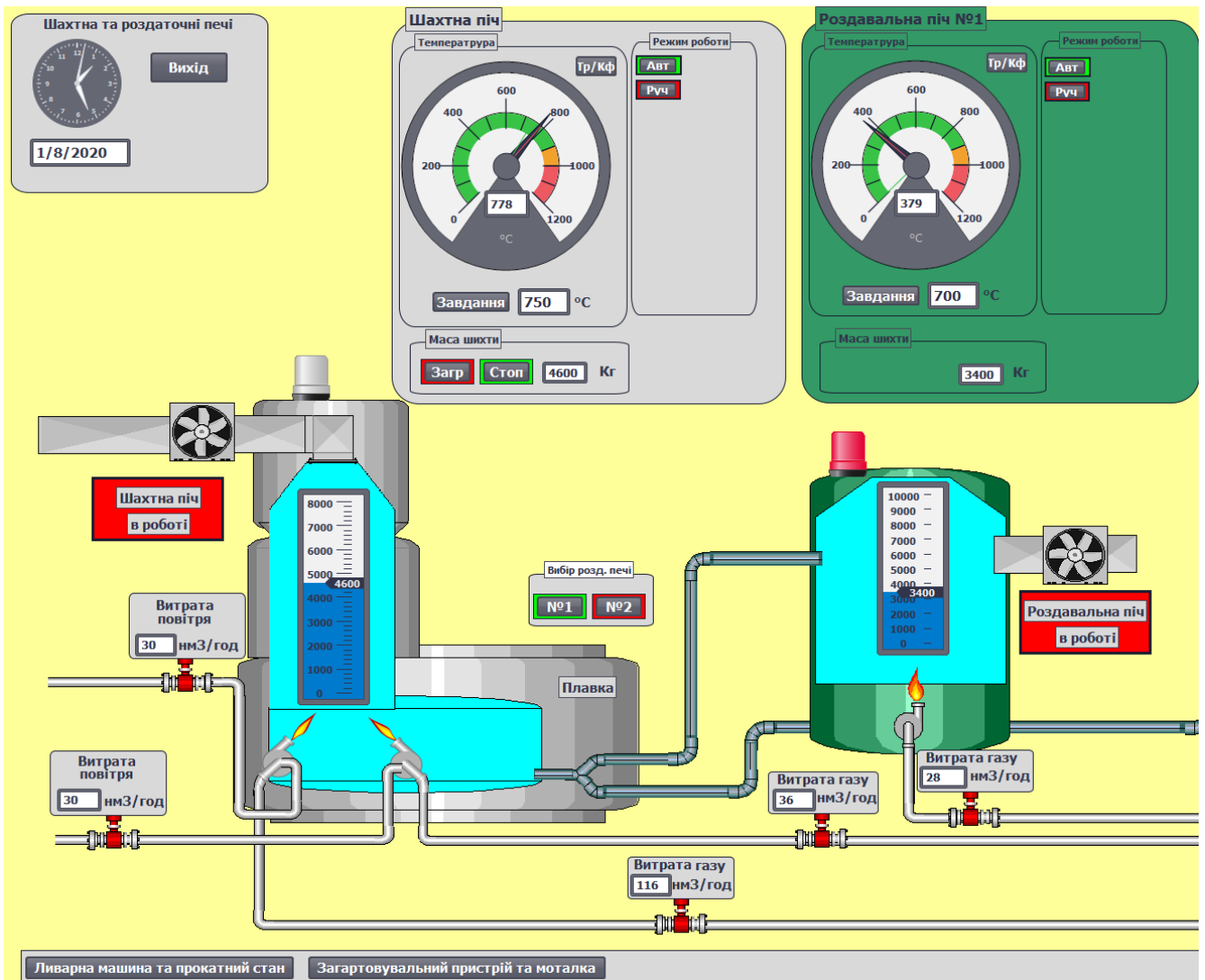


Рисунок.5.9 – Шахтна та роздавальна піч №1 в робот

5.2 Робота у вікні ливарної машини та дії з проведення досліджень.

Після закінчення плавки та зливу розплаву до роздавальної печі переходимо до вікна ливарної машини (рис.5.10). Для цього потрібно натиснути відповідну кно кнопку на нижній панелі.

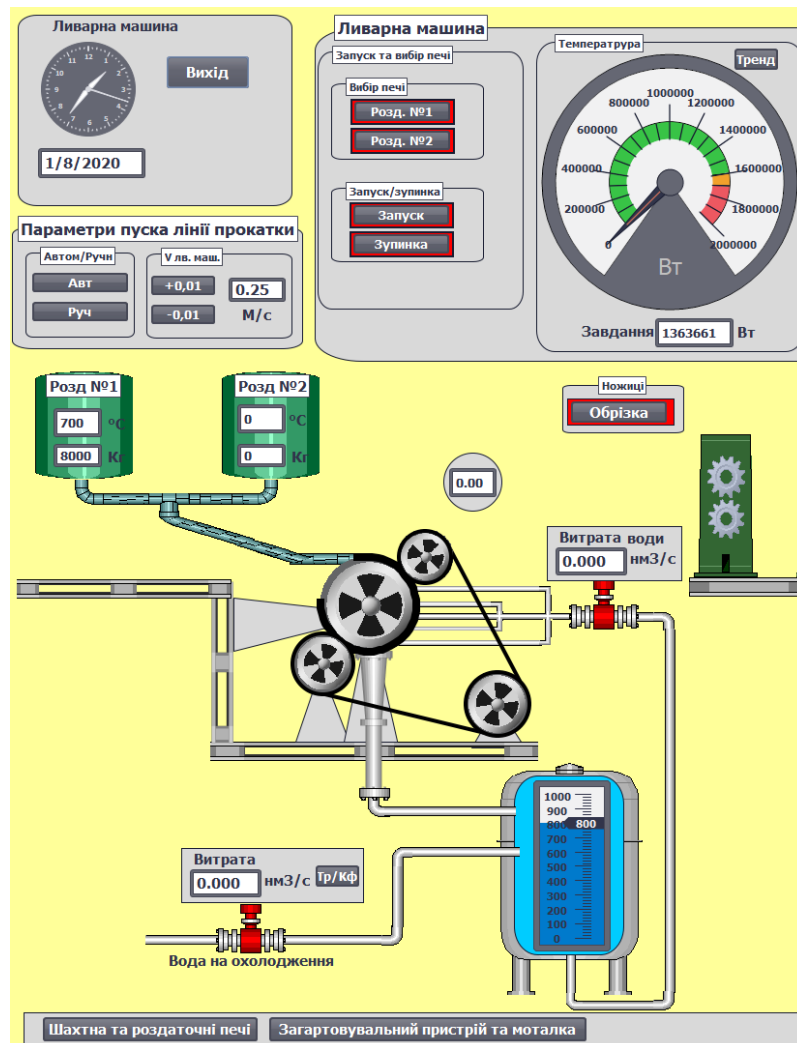


Рисунок 5.10 – Ливарна машина.

Тут присутні елементи індикації значень рівнів та температур в роздавальних печах для кращого розуміння роботи. Для початку роботи потрібно перевести всю лінію прокатки в ручний режим роботи на відповідній панелі. Після цього на панелі ливарної машини вибираємо відповідну роздавальну піч та тиснемо кнопку «Запуск». Після цього потрібно виставити об'єкти Slider для кожного об'єкту на відповідні рівні. Після цього потрібно довести регульовані параметри до потрібних значень (рис.5.10). Також в процесі роботи ливарного колеса по технології потрібно зрізати перші 10 метрів заготовки для цього присутні механічні ножиці та панель їх управлінням.

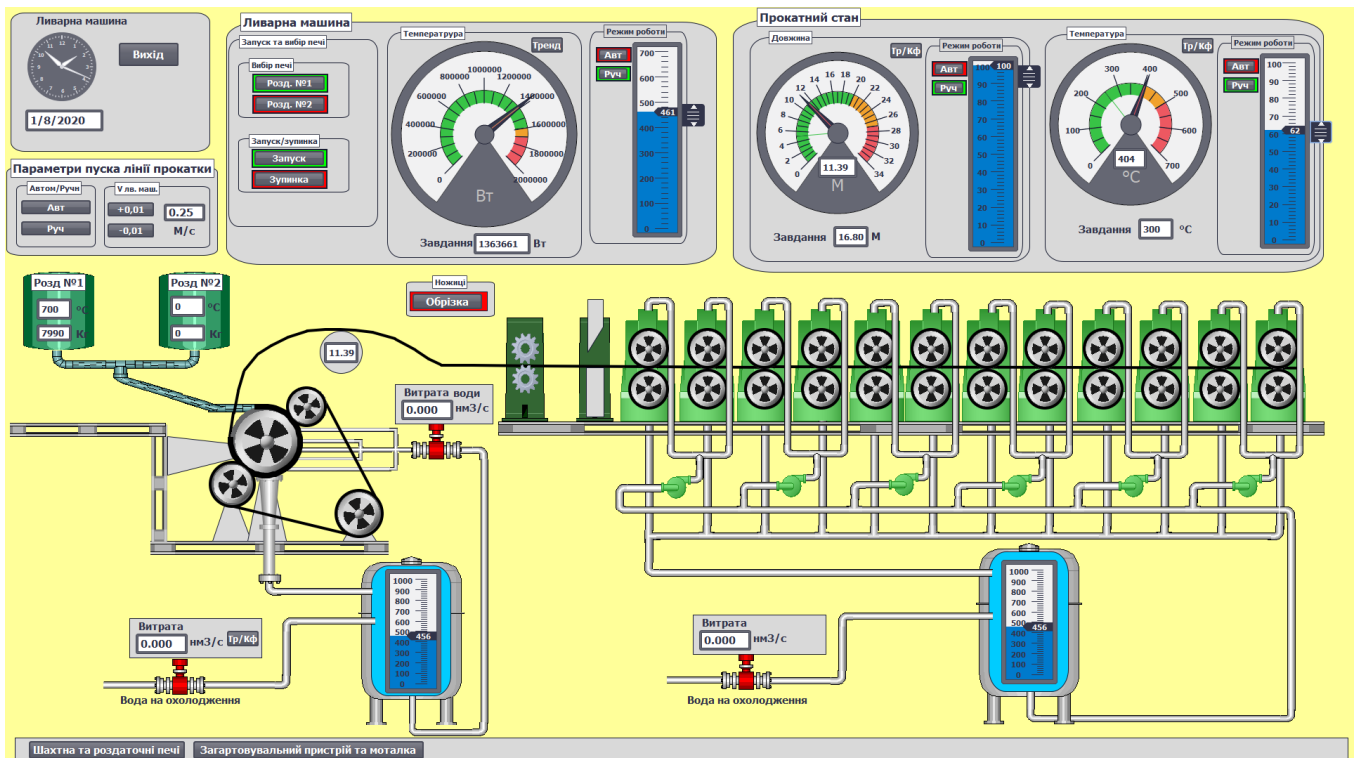


Рисунок 5.11. – Ливарна машина та прокатний стан при їх запуску в роботу.

Після приблизного доведення параметрів до заданих значень лінія переводять до автоматичного режиму, для цього тиснемо кнопку на відповідній панелі.

Далі у верхньому лівому куті панелі управління роботою ливарної машини тиснемо кнопку переходу до екрану з налаштування ми та виставляємо параметри збурень щоб відслідкувати як збурення з боку ливарного колеса будуть впливати на подальший хід процесу. Параметри збурень:

Мінімальна величина збурень — -50;

Максимальна величина збурень — 50;

Час формування збурення — 120.

На рисунку 5.12 показано графік зміни кількості теплоти внесеної з заготівкою, спочатку в ручному режимі потім в автоматичному, та з увімкненням збурень.



Рисунок 5.12 – Графік зміни кількості теплоти.

На панелі управління довжиною заготівки тиснемо кнопку переходу до тренду та настройок. Довжина заготовки майже не чуттєва до збурень. Тому щоб прослідкувати роботу системи регулювання змінємо швидкість ливарного колеса. На рисунку 5.13 показано графік зміни довжини заготовки спочатку в ручному режимі потім в автоматичному, та з зміні швидкості ливарного колеса.

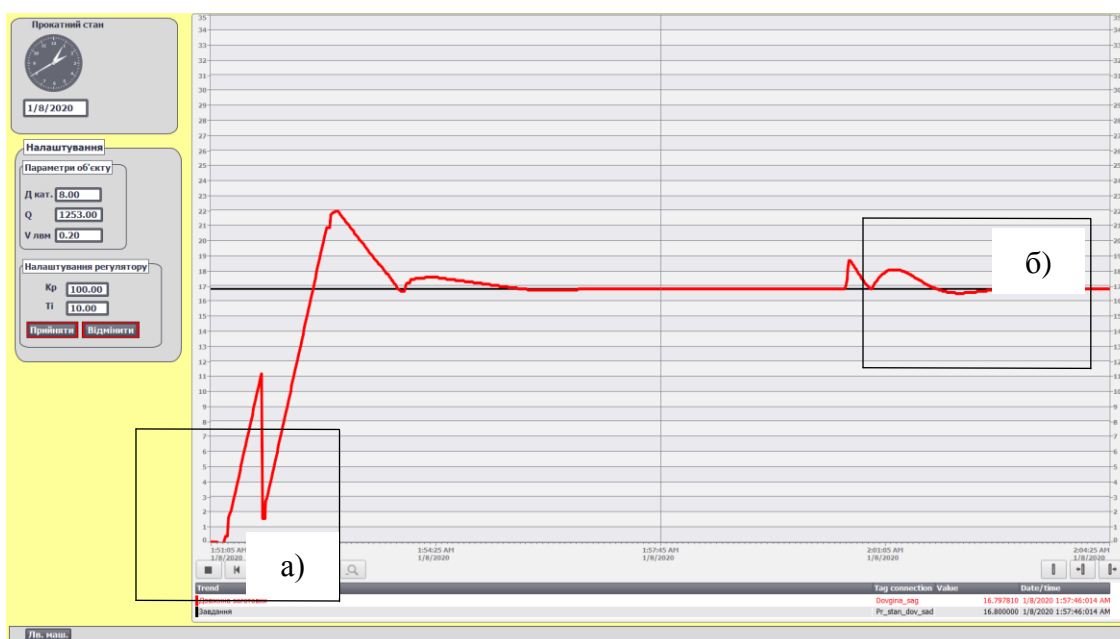


Рисунок 5.13 – Зміна довжини заготовки при зрізі перших 10 метрів (а) та при зміні швидкості ливарного колеса (б).

Температура заготовки на виході з прокатного стану більш чуттєва до збурень з боку ливарного колеса. Переходимо до трендів даної системи. Тут видно як збурення з боку ливарного колеса впливають на температуру заготовки (рис.5.14)



Рисунок 5.14 – Зміна температури заготовки на виході прокатного стану.

5.4 Робота у вікні моталки та дії з проведення досліджень.

На нижній панелі тиснемо кнопку переходу до екрану роботи моталки (рис.5.15).

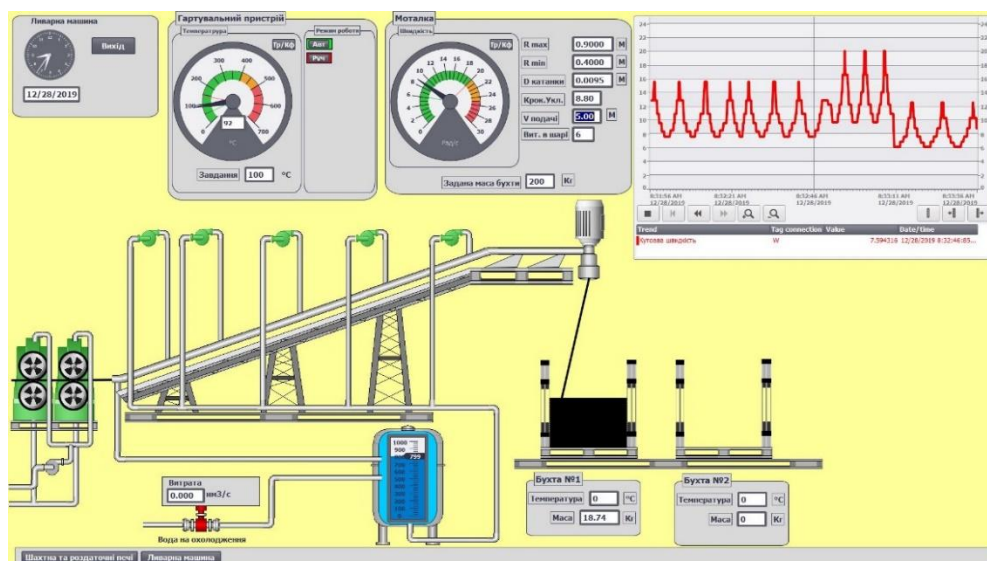


Рисунок 5.15 – Гартувальний пристрій та моталка.

Даний лист працює в автоматичному режимі. Основними тут є завдання потрібних параметрів моталки, та маси бухти рис. 5.16

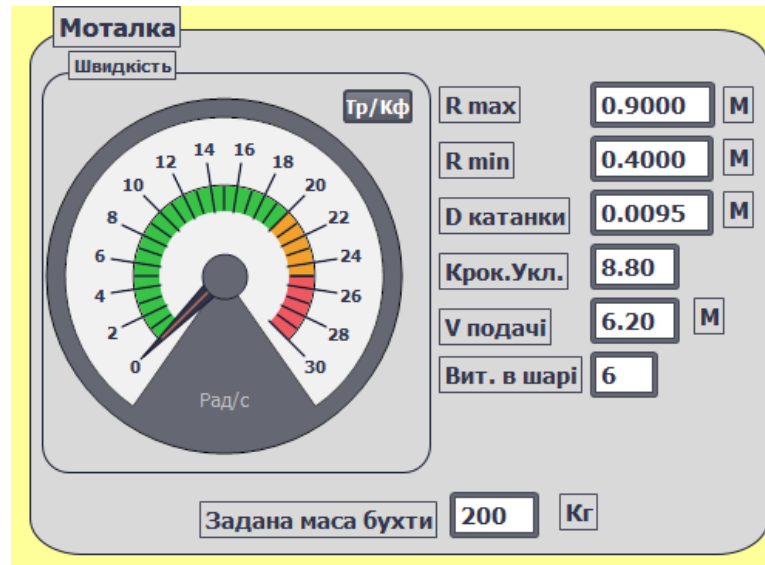


Рисунок 5.16 – Панель управління роботою моталки.

ВИСНОВОК

Розроблена імітаційна модель АСУТП з виробництва алюмінієвої катанки на ливарно-прокатному агрегаті, за допомогою якої можна зрозуміти особливості технологічного процесу, принципи побудови систем автоматичного регулювання та управління, дослідити вплив окремих параметрів на хід технологічного процесу, придбати певний досвід роботи в якості оператора автоматизованого робочого місця та наладника АСУТП. Окрім того розроблений імітатор можна використовувати в якості наочного посібника при моделюванні систем автоматизації, програмуванні мікропроцесорних контролерів, створенні людино-машинного інтерфейсу при проектуванні АСУТП та налагодженні її роботи.

Виконано дослідження систем автоматизації та вплив збурень на якість регулювання. Так, при дослідженні системи автоматичного регулювання теплового режиму кристалізатора встановлено, що при зміні швидкості ливарного колеса, в інтервалі 0,19 м/с — 0,21 м/с максимальне динамічне відхилення регульовано параметра від 386000дж до 388000дж, перерегулювання у перехідному процесі від 17% до 22% зі збільшенням швидкості, а час регулювання збільшується.

При дослідженні впливу температури розплаву на якість регулювання теплового режиму встановлено що теплота що виноситься з заготовкою з ливарного колеса практично не змінюється при коливаннях температури розплаву в межах 690°C — 710°C.

Зміна температури розплаву в діапазоні 690°C — 710°C також не має впливу на якість роботи системи автоматичного регулювання довжини заготовки. Максимальне динамічне відхилення при всіх дослідженнях складає 365234, перерегулювання — 20 % а час регулювання — 2хв 10с.

При дослідженні впливу випадкових збурень на якість регулювання всіх систем автоматизації, встановлено що їх робота відповідає вимогам технології.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Захарова Г.Б., Первухин Д.Н., Байгозин Д.В. Компьютерные тренажеры как средство эффективного обучения: классификация и пример разработки : Екатеринбург : Новые образовательные технологии в вузе – 2009. Секция 4. С. 124-127.
2. Far East (China) Group Limited [Электронный ресурс]. URL:<http://shcablemachinery.ru/1-4-continuous-casting-rolling-line> (дата звернення 10.04.19).
3. Accutech Battery-powered wireless sensor networks [Электронный ресурс]. URL:<http://https://www.se.com/ca/en/product-range-presentation/61237-accutech/> (дата звернення 10.01.20).
4. Modicon M340 для виробників машин, малих і середніх систем автоматизації [Электронный ресурс]. URL: <https://www.se.com/ua/ru/product-range-presentation/1468-modicon-m340/> (дата звернення 10.01.20).
5. Беспровідний польовий модуль Accutech DP20 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.plcsystems.ru/catalog/accutech/detail.php?ID=51731>. (дата звернення 10.01.20).
6. Беспровідний польовий модуль Accutech GP10 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.plcsystems.ru/catalog/accutech/detail.php?ID=51730>. (дата звернення 10.01.20).
7. Беспровідний польовий модуль Accutech TC10 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.plcsystems.ru/catalog/accutech/detail.php?ID=51734>. (дата звернення 10.01.20).
8. Беспровідний польовий модуль Accutech AI10 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.plcsystems.ru/catalog/accutech/detail.php?ID=51736/>.(дата звернення 10.01.20).
9. Стационарные пирометры Thermalert XR - технические характеристики [Электронный ресурс]. URL: <http://pribory.com/product/stationary-e-pirometry-thermalert-xr>. (дата звернення 10.01.20).

10. Датчик швидкості обертання [Электронный ресурс]. URL: <http://www.directindustry.com.ru/prod/noris-group-gmbh/product-186159-19631.html>. (дата звернення 10.01.20).

11. Ротаційний датчик положення [Электронный ресурс]. URL: <http://www.directindustry.com.ru/prod/atek-sensor-technologie/product-50380-1692923.html>. (дата звернення 10.01.20).

12. Тензорезисторний датчик М50 [Электронный ресурс]. URL: <http://m.tenso-m.ru/tenzodatchiki/szhatija-membrannogo-tipa/17>. (дата звернення 10.01.20).

13. Блок ручного управління БРУ-5, БРУ-5К1 [Электронный ресурс]. URL: http://www.microl.ua/index.php?page=shop.product_details&flypage=garden_flypage.tpl&product_id=58&category_id=96&option=com_virtuemart&Itemid=71. (дата звернення 10.01.20).

14. Виконавчий механізм МЕО-100/25-0,25У-99 [Электронный ресурс]. URL: http://cheber.ru/produkcija/meo/meo_100/?item=546. (дата звернення 10.01.20).

15. Базовий радіомодуль Accutech BR20 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.plcsystems.ru/catalog/accutech/detail.php?ID=51732>. (дата звернення 10.01.20).

16. ATV320U55N4B Altivar 320 Преобразователь частоты 5.50 кВт, 3-ф/380 [Электронный ресурс]. URL: <https://chastotnik.com.ua/Schneider+Electric-r-ATV320U55N4B>. (дата звернення 10.01.20).

17. Altivar Easy 310 - ATV310HD11N4E Преобразователи частоты [Электронный ресурс]. URL: <https://www.se.com/ru/ru/product/ATV310HD11N4E>

18. ATV320U11N4C Altivar 320 [Электронный ресурс]. URL: <https://chastotnik.com.ua/Schneider+Electric-r-ATV320U11N4C>. (дата звернення 10.01.20).

19. БП-99 блок живлення [Электронный ресурс]. URL: http://www.elemer.ru/production/bp/bp_99.php. (дата звернення 10.01.20).

20. Усовершенствованные графические терминалы XBTGT7340 [Электронный ресурс]. URL: [https://www.schneider-electric.ua/ru/product/XBTGT7340/сенсорная-панель-xbt-gt-15",-tft-xga-high-end/?range=1434-magelis-xbt-gt&node=166389941](https://www.schneider-electric.ua/ru/product/XBTGT7340/сенсорная-панель-xbt-gt-15). (дата звернення 10.01.20).

21. Блок живлення ABL1REM12050 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.se.com/ru/ru/product/ABL1REM24100/блок-питания-24в,-240вт,-10а>. (дата звернення 10.01.20).

22. Блок живлення ABL1REM24100 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.se.com/ua/ru/product/ABL1REM12050/> (дата звернення 10.01.20).

23. Дозорцев В.М., Кнеллер Д.В. Технологические компьютерные тренажеры: все что вы всегда хотели знать ... Промышленные АСУ и контроллеры. 2004. № 12. 1-13с

24. Афанасев В.В. Афанасева И.В. Тищенко О.Б. Основні компоненти компютерних технологій навчання: НИВО 23.04.98 №68-98.

26. Техника автоматизации и приводы, ООО сименс Simens Simatic TIA c97

26. Шульга А.И, Червоний И.Ф., Егоров С.Г. Производство алюминиевой катанки на технологической линии ContinuousProperzi : Литьё и металлургия, 2008. №1 (45). С. 62-65.

27. Дозорцев В. М. Обучение операторов технологических процессов на базе компьютерных тренажеров: Приборы и системы управления, 1999. №8. С. 61-70.

28. Spanel U., Kreutz M., Roggatz C. Simulator Based Operator Training. *International Journal of Distributed EnergyResources*, 2006. №2. Pp. 3.

29. EcoStruxure™ Control Expert Программное обеспечение для программирования ПЛК Modicon. [Электронный ресурс]. URL:<https://www.se.com/ru/ru/product-range/548-ecostruxure%E2%84%A2-control-expert/>. (дата звернення 10.01.20).

30. Новый TIA PORTAL V14 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.energostandart.ru/novosti/novuj-tia-portal-v14/>.(дата звернення 10.01.20).

31. Ніколаєнко А.М., Якушевич І.В., Розробка імітаційної моделі АСУ ТП, як засобу в сучасній технології навчання / Інженерні та освітні технології 2019 Т.7. №4 .С96-109.

32. Пупена О. М., Ельперін І. В. Програмування промислових контролерів у середовищі UnityPro : навч. Посіб. Київ : Видавництво Ліра-К, 2017. 205 с.

33. Ніколаєнко А.М., Якушевич І.В. Охолодження зливка та стабілізація теплового режиму в кристалізаторі ливарно-прокатного агрегату: Друкована стаття *Металургія : Наукові праці Інженерного інституту Запорізького національного університету*, випуск 2019 1 (1), с.80-85.

34. Ніколаєнко А.М., Трегулова І.П. Патент на корисну модель №136035 Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 25.07.2019, Бюлетень №14.

35. Н Спосіб керування процесом формування алюмінієвої заготовки. Пат. № 69836 Україна UA, МПК(2012.01) G05D 13/00. - # и 2011 14017: Заяв. 28.11.2011; Опубл. 10.05.2012, Бюл. № 9.

36. Спосіб формування бунта в моталках з осьовою подачею катанки. Пат.129203 Україна МКВ В 21 С 47/00. замовл. 16.04.2018; опубл. 25.10.2018.